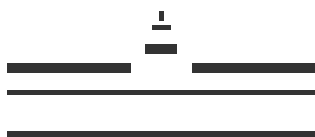




**76. Jahrestagung der
Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft
gemeinsam mit der
Arbeitsgemeinschaft Extraterrestrische Forschung
und dem Fachverband Extraterrestrische Physik der
Deutschen Physikalischen Gesellschaft**

14.–17. März 2016 in Münster



WESTFÄLISCHE
WILHELMS-UNIVERSITÄT
MÜNSTER



INHALTSVERZEICHNIS

Willkommen	5
Einladung zur Mitgliederversammlung DGG	7
Einladung zur Mitgliederversammlung der AEF und DPG-EP	9
Veranstalter/Wissenschaftliche Ausrichter	11
Organisatorische Informationen	13–15
Rahmenprogramm	15–19
DGG-Kolloquium	21
Firmenausstellung	23
Schwerpunktthemen	24–25
Tagungsprogramm – zeitlicher Rahmen	26–27
Sessions – Übersicht	28–29
Sessions – Tabellenübersicht	30–31

Übersicht Vorträge und Poster

Montag, 14. März 2016	33–43
Dienstag, 15. März 2016	45–64
Mittwoch, 16. März 2016	65–85
Donnerstag, 17. März 2016	87–93
Abstracts	95
Lageplan Naturwissenschaftliches Zentrum	533
Hörsäle und Sitzungsräume IG1	534
Hörsaalgebäude der chemischen Institute	535

ISSN 0344-7251

doi:10.2312/dgg76

Redaktion: Westfälische Wilhelms-Universität Münster,
Institut für Geophysik, D-48149 Münster

Herzlich Willkommen

Herzlich willkommen zur gemeinsamen Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft und der Arbeitsgemeinschaft Extraterrestrische Forschung in Münster 2016.

Dieses Jahr gibt es auf Anregung des DGG-Vorstands einige Neuerungen für die Tagung: Die einzelnen Sessions werden von fachkundigen Conve-
nern organisiert. Sie haben über die Präsentationsform (Vortrag oder Poster) entschieden und konnten gezielt Beiträge zu einer Session einladen. Die Vortragszusammenfassungen sind auf dem USB-Stick verfügbar, den Sie mit den Tagungsunterlagen bei der Anmeldung erhalten haben. Dieses Programmheft enthält eine Liste der Vorträge und Poster, sowie Informationen über Ort und Zeit der Veranstaltungen. Auf der Tagung wird die Rolle der Poster-Präsentationen gestärkt. Zwei Poster-Sessions finden an jedem Tag statt, eine vormittags und eine nachmittags. In dieser Zeit werden in der Regel keine weiteren Veranstaltungen stattfinden. Vortragszeiten werden auf 15 Minuten beschränkt (einschließlich Diskussion). Im Anschluss an eine kompakte Eröffnungsveranstaltung haben alle Aussteller die Möglichkeit, ihre Aktivitäten zu präsentieren.

Die Firmenausstellung wird anschließend mit einem Icebreaker eröffnet.

Wir freuen uns, Sie hier in Münster auf der Tagung zu begrüßen und verbleiben mit freundlichen Grüßen

Christine Thomas,

Ulrich Hansen,

Michael Becken

und das Tagungsteam

SUMMIT X One

Unique Flexibility for Seismic Experts



The SUMMIT X One represents the latest generation of DMT's long-standing SUMMIT product line of field seismographs.

Ultra small remote units linking to a lightweight SUMMIT line cable via the new optimized SUMMIT SNAP-ON technology result in the world's most flexible wired seismic data acquisition system.

System benefits:

- For 2D/3D seismic surveys
- Most flexible field deployment
- Fully scalable system
- Highest productivity
- Option for continuous recording
- Only one battery per line segment of 330 m length

Einladung zur Mitgliederversammlung der DGG

B.-G. Lühr, Geschäftsführer, <ase@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 76. Jahrestagung 2016 am

Dienstag, den 15. März 2016 in der Zeit von 17:00 bis 19:00 Uhr

im Hörsaal HS1 in der IG1 (Wilhelm-Klemm-Str. 6-10) der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster stattfinden wird. Um zahlreiches Erscheinen wird gebeten.

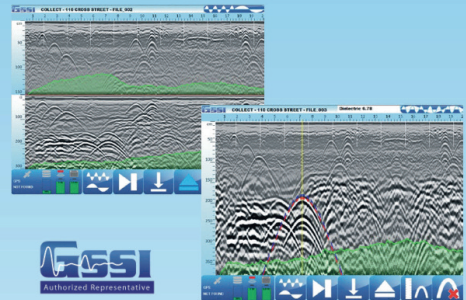
Tagesordnung:

- TOP 1: Begrüßung, Feststellung der fristgerechten Einberufung und der Beschlussfähigkeit
- TOP 2: Genehmigung der Tagesordnung
- TOP 3: Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung am 25. März 2015 in Hannover
- 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 / GMit
- TOP 10: Kurzberichte der Leiter / Sprecher der DGG-Komitees und -Arbeitskreise
Komitees: Publikationen, Öffentlichkeitsarbeit, Internet, Jahrestagungen, Ehrungen, Firmen, Mitglieder, Studierende, Studienfragen, Kooperationen
Arbeitskreise: Angewandte Geophysik, Elektromagnetische Tiefenforschung, Dynamik des Erdinneren, Hydro- und Ingenieur-Geophysik, Induzierte Polarisation, Seismik, Geothermie, Vulkanologie, Geschichte der Geophysik
- TOP 11: Informationen zum „Dachverband Gesellschaften der Festen Erde“
- TOP 12: Anpassung der Mitgliedsbeiträge
- TOP 13: Aussprache
- TOP 14: Entlastung des Vorstandes
- TOP 15: Wahlen (Beisitzer)
- TOP 16: Protokollarische Feststellung des neuen Vorstandes
- TOP 17: Wahl der Kassenprüfer
- TOP 18: Anträge und Beschlüsse
- TOP 19: Verschiedenes

Birger-G. Lühr
(Geschäftsführer)

Topseller Geophysikalische Messgeräte 2016

GSSI SIR-4000 GPR & GF CMD EM & Vista Clara NMR



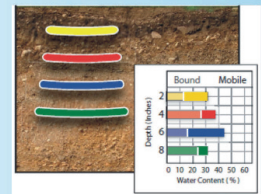
GSSI SIR - 4000 Hybrid-GPR-System - analog und digital, schnell, robust, exakt
Für Ingenieurgeophysik, Baugrund, Leitungsortung, Archäologie, Bodenkunde
Kompatibel zu allen GSSI Antennen (16 MHz bis 2,6 GHz; DF)



Vista Clara NMR Geophysics
DISCUS / DART direkte und **quantitative Bestimmung der Bodenfeuchte**
(Permeabilität, Feldkapazität und Porengröße)
an der Oberfläche und im Bohrloch

Vorteile:

- ✓ Keine Kalibrierung
- ✓ Keine Laboruntersuchungen
- ✓ Keine radioaktiven Quellen

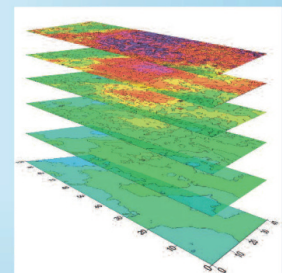


GF Instruments CMD 6L

Multi-Offset FD-EM Gerät mit **sechs** Receivern für Tiefenbereiche von **0,3 bis 2,3 m** für die schnelle und kontaktlose Erfassung von Leitfähigkeit und Inphase
Jetzt auch mit **Inversion**

Auf einen Blick:

- Kabellose Bluetooth Verbindung
- Robustes kompaktes Design
- Hohe Temperaturstabilität
- Digitale Kalibrierung
- GPS kompatibel



Verkauf - Vermietung - Beratung - Schulung - Service von
Hard- und Software aller führenden Hersteller von
Georadar - Elektromagnetik (FD / TD) - Magnetik - Geoelektrik - Seismik - Gravimetrie - Gammasspektrometrie

Allied Associates Geophysical Ltd. Büro Deutschland
Butenwall 56 / D-46325 Borken
Tel.: +49-(0)2861-8085648 / Fax: +49-(0)2861-9026955
susanne@allied-germany.de
www.allied-associates.co.uk / www.allied-germany.de



Einladung zur Mitgliederversammlung der AEF und DPG-EP

Liebe Mitglieder und Freunde der extraterrestrischen Forschung,
im Namen des Vorstands lade ich Sie hiermit herzlich zur Teilnahme
an unserer diesjährigen Mitgliederversammlung am

Donnerstag 17.03.2016 um 11:00 Uhr

in unserem Tagungshörsaal ein (HSAP, Naturwissenschaftliches Zentrum
der Universität Münster, Corrensstraße 4, 48149 Münster).

Die Tagesordnung ist:

1. Begrüßung
2. Feststellung der Beschlussfähigkeit
3. Kenntnisaufnahme des Protokolls der Mitgliederversammlung 2015 (siehe http://aef-ev.de/wp-content/uploads/2015/06/aef_protokoll_jhv_2015.pdf)
4. Bericht des Vorstandes
5. Bericht des Schatzmeisters (AEF)
6. Entlastung des Vorstandes (AEF)
7. Kommissionsstruktur
8. Abstimmung über Anpassung der Mitgliedsbeiträge (AEF). Der AEF- Vorstand schlägt vor, den Normalbeitrag auf 25 Euro festzulegen und für studentische Mitglieder auf 15 Euro.
9. Bericht aus der DPG-Sektion Materie und Kosmos (SMuK)
10. Abstimmung über Beteiligung (DPG-EP) am gemeinsamen Dissertationspreis der DPG-Sektion SMuK.
11. Abstimmung über Tagungsorte 2018 und 2019 (AEF und DPG-EP).
12. Verleihung des Posterpreises der AEF
13. Internationale Weltraumwetterinitiative ISWI
14. Höhepunkte und Veranstaltungen 2016, 2017
15. Webseite und Mitgliederverwaltung (AEF)
16. Sonstiges

Über Ihr Erscheinen würde ich mich sehr freuen,
mit freundlichen Grüßen,

Thomas Wiegelmann für den Vorstand



Benefit from experience

The new DEA – since 1899

We have **117** years of experience working along the whole upstream value chain as operator or project partner. Our **1,400** employees come from **48** nations and manage stakes in production facilities and concessions in Germany, Norway, Denmark, Egypt, Algeria, among others. Our current daily oil and gas production is about **115,000** barrels of oil equivalent. Our focus is on safe, sustainable and environmental conscious exploitation of oil and gas – in each and every of the more than **140** licences, we have interests in.

More to come.

DEA Deutsche Erdoel AG Überseering 40, 22297 Hamburg, Germany

Continue reading on www.dea-group.com

76. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft

gemeinsam mit der

Arbeitsgemeinschaft Extraterrestrische Forschung und dem Fachverband Extraterrestrische Physik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Zeit: 14. – 17. März 2016
Ort: Naturwissenschaftliches Zentrum der Universität Münster
Wilhelm-Klemm Straße 6-10, 48149 Münster
Webseite: www.dgg-2016.de
Büro: Hörsaalgebäude Chemie, Wilhelm-Klemm-Straße 6
Eventmanagement (Tel. +49 176 2073 6349)

Veranstalter

Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V.

Geschäftsstelle: Deutsches GeoForschungsZentrum – GFZ
Telegrafenberg, 14473 Potsdam
Telefon: +49 (0)331 288 1206
Fax: +49 (0)331 288 1204
E-Mail: ase@gfz-potsdam.de
Internet: www.dgg-online.de

Wissenschaftlicher Ausrichter

Westfälische Wilhelms-Universität, Institut für Geophysik

Adresse: Corrensstrasse 24, 48149 Münster
Telefon: +49 (0)251-83 33590
Fax: +49 (0)251-83 36100
E-Mail: dgg-2016@earth.uni-muenster.de
Internet: www.uni-muenster.de/Physik.GP/

Eventmanagement

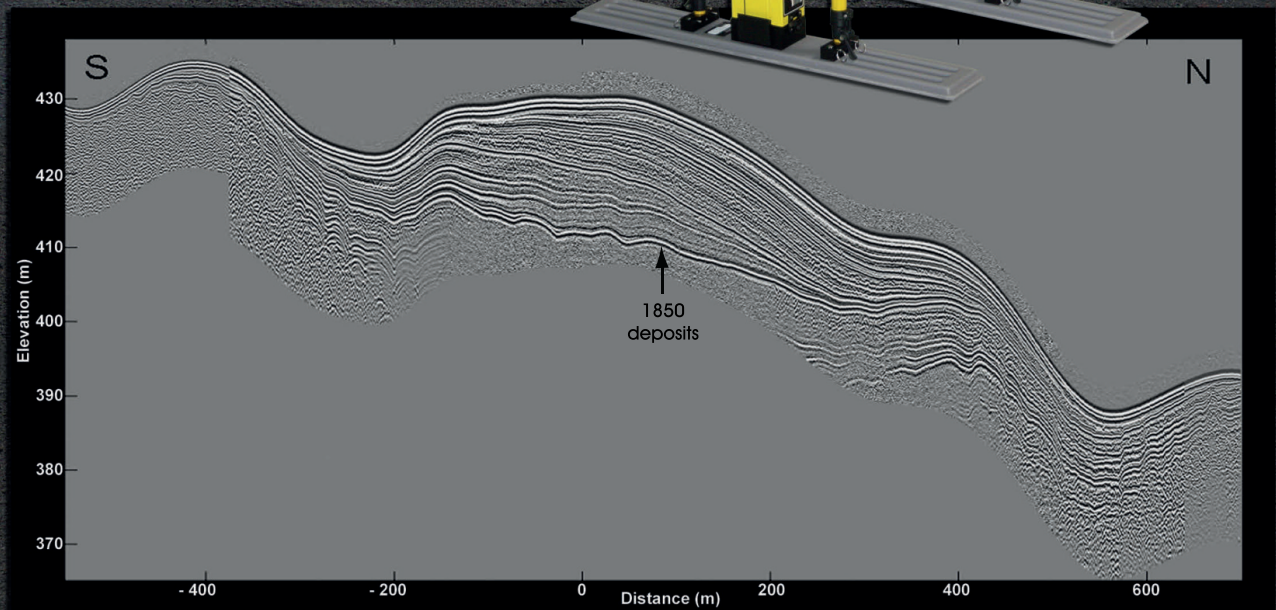
witago - Agentur für Kongress- und Eventmanagement

Kerstin Biegemann

Adresse: Quintschlag 37, 28207 Bremen
Telefon: +49 (0)421 48 543 526 (Büro)
Fax: +49 (0)421 48 543 952
E-Mail: dgg2016@witago.com
Internet: www.witago.com

pulseEKKO PRO

For the GPR Professional



GPR profile of volcanic ash deposition from the Cerro Negro volcano, Nicaragua. Strata is clearly imaged below the 1850 deposits.

 **Sensors & Software**

Sensors & Software Inc. +1 905 624 8909
1040 Stacey Court +1 800 363 3116
Mississauga, ON sales@sensoft.ca
Canada L4W 2X8 www.sensoft.ca

Sensors & Software Europe
c/o CeraTechCenter Office: +49 (2624) 915 9353
Rheinstraße 60a/Unit 4 Fax: +49 (2624) 915 8097
D-56203 Höhr-Grenzhausen DGriess@sensoft.ca

**subsurface
imaging
solutions**

Tagungsgebühren

	Early Bird (bis 8.1.2016)	Pre-Registration (bis 6.3.2016)	On-Site (ab 14.3.2016)
DGG-Mitglied, normal	130,00 €	160,00 €	210,00 €
DGG-Mitglied, Junior	20,00 €	40,00 €	70,00 €
Nichtmitglieder, normal	170,00 €	200,00 €	250,00 €
Nichtmitglieder, Junior	35,00 €	55,00 €	85,00 €
Senior / Schullehrer	70,00 €	80,00 €	130,00 €
Gesellschaftsabend			
Junioren	25,00 €	25,00 €	25,00 €
Nicht-Junioren	35,00 €	35,00 €	35,00 €
Begleitpersonen	60,00 €	60,00 €	60,00 €
Tageskarte	-	-	150,00 €

Junioren sind am 14.03.2016 jünger als 30 Jahre und Senioren älter als 65 Jahre. Der Beitrag für Schullehrer gilt nur für Lehrkräfte an Schulen, jedoch nicht von Hochschulen. Für Stornierungen bis zum 1. Februar 2016 (Schriftform erforderlich) wird eine Gebühr von 30 € erhoben. Bei Stornierungen nach dem 1. Februar 2016 besteht kein Anspruch auf Rückerstattung der Tagungsgebühren. Der Differenzbetrag zwischen Mitgliedern und Nichtmitgliedern wird bei einem Beitritt zur DGG auf den Jahresbeitrag angerechnet.

Weitere organisatorische Informationen

Anreise / Unterkünfte / Tickets für den öffentlichen Nahverkehr

Informationen zu Anreise und Übernachtungsmöglichkeiten in Münster finden Sie auf der Webseite der Tagung. Eine frühzeitige Hotelreservierung wird unbedingt empfohlen. Allen registrierten Kongressteilnehmern wird kostenlos ein Ticket für Busse und Bahnen im Stadtgebiet von Münster zur Verfügung gestellt. Das Ticket wird bei der Anmeldung vor Ort im Tagungsbüro ausgehändigt.

Programmheft und Abstracts

Ein Programmheft wird bei der Anmeldung vor Ort im Tagungsbüro ausgehändigt. Es enthält das Tagungsprogramm, sowie Zeit- und Raumpläne. Abstracts sind auf einem USB-Stick, der mit dem Programmheft ausgegeben wird, verfügbar. Sie stehen außerdem auf den Internetseiten der Tagung online zur Verfügung.

Internetzugang

In den Tagungsgebäuden ist WLAN verfügbar. Bei der Registrierung vor Ort werden die Zugangsdaten ausgegeben, die für die Zeit der Tagung gültig sind. Es werden keine PCs für den Internetzugang zur Verfügung gestellt.



GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH

- Geophysikalische Untersuchungen - Geoelektrik, Gravimetrie, Seismik, Magnetik, Elektromagnetik, Georadar
- Rohstoffexploration: Kohle, Erze, Kali und Salz, Erdöl und Erdgas, Steine und Erden, Wasser, Geothermische Energie
- Geoelektrisches und gravimetrisches Monitoring
- Erschütterungs- und Dehnungsmessungen
- Schwachstellenanalysen an Deichen und Dämmen
- Baugrunduntersuchungen, Hohlraumerkundung
- Planung, Beratung, Qualitätskontrolle

Bautzner Str. 67 | 04347 Leipzig
Tel. 0341-2421 310 | Fax 0341-2421 311 | info@ggl-gmbh.de | www.ggl-gmbh.de



Ingenieurgesellschaft für Geophysikalische Messtechnik mbH



Bohrlochlogging | Elektromagnetik | Erschütterungs-
messung | Gammaskpektrometrie | Geoelektrik
Georadar | Geotechnik | Gravimetrie | Magnetik
Seismik | Seismologie | Software | Radarinterferometrie



Geophysikalische Messtechnik
seit über 30 Jahren Beratung | Service | Vertrieb

www.igm-geophysik.de | info@igm-geophysik.de
Tel. +49 (7551) 4077

Weitere organisatorische Informationen

Mittagstisch

Zum Mittagessen ist vom 14. bis 17. März 2016 ein Bereich im oberen Teil der „Mensa am Ring“ für die Tagungsteilnehmer reserviert (www.studentenwerk-muenster.de/de/essen-a-trinken/mensen/mensa-am-ring). Der Fußweg dorthin beträgt 2 Minuten. Bei der Anmeldung können ermäßigte Essensgutscheine für die Mensa erworben werden. Alternativ kann der jeweilige Verzehr vor Ort in bar zu den regulären Preisen bezahlt werden. Des Weiteren stehen in der näheren Umgebung einige Restaurants zur Verfügung (siehe Aushänge im Tagungsbüro).

Poster

Zur jeweiligen Postersession muss mindestens einer der Autoren am Poster anwesend sein. Es wird empfohlen, die Poster als Handout im DIN-A4-Format für Interessierte am Poster bereitzustellen.

Die Poster mit den Kennungen S1-D, S3-B, S4-C, 1-E, 1-F, 1-G, 2-F, 3-E, 3-F, 5-I, 6-I und 7-C sollen am Montag und Dienstag, die mit den Kennungen S2-D, 1-H, 2-G, 2-H, 2-I, 4-C, 6-J, 6-K, 6-L und 7-C am Mittwoch und Donnerstag hängen.

Für die Poster werden Stellwände im A0-Portrait-Format bereitgestellt. Pro Poster steht eine Posterstellwand zur Verfügung. Befestigungsmaterial wird vor Ort zur Verfügung gestellt. Die Autoren werden gebeten, ihre Poster rechtzeitig am Dienstag bzw. Donnerstag bis spätestens 18 Uhr abzuhängen. Geschieht dies nicht, werden die betreffenden Poster entsorgt.

Vorträge

Die Vortragszeit beträgt 15 Minuten einschließlich drei Minuten für die Diskussion. Bedenken Sie bitte, dass Sie auf eine Diskussion verzichten, wenn Sie die Vortragszeit von 15 Minuten komplett ausnutzen!

Die Zeiten müssen strikt eingehalten werden, um die Synchronisation der Parallelsitzungen zu gewährleisten und nachfolgende Vortragende nicht zu benachteiligen.

Technik

In den Hörsälen steht Vortragstechnik mit Laptops bereit, auf welche die Dateien rechtzeitig aufgespielt werden müssen. Mitgebrachte Laptops können nicht angeschlossen werden. Um einen ungestörten Ablauf zu gewährleisten, gelten für die Übertragung auf die Rechner im jeweiligen Vortragssaal folgende Regelungen:

1. Vorträge am Montagmorgen müssen vor 9:00 Uhr übertragen sein,
2. alle anderen Vorträge jeweils am Vortag bis spätestens 17:30 Uhr.

Die Präsentationen müssen auf einem geeigneten Datenträger (USB-Stick) im Format PDF oder Microsoft PowerPoint vorliegen.

Rahmenprogramm

Begrüßungsabend

Der Begrüßungsabend findet am **Sonntag, den 13. März 2016, von 19:00–21:00 Uhr in der Gaststätte Kruse Baimken, Am Stadtgraben 52, 48143 Münster** (www.kruse-baimken.de) statt. Registrierte Teilnehmer, die sich für den Begrüßungsabend angemeldet haben, können dort ihre Tagungsunterlagen erhalten.

Geoelektrik • Seismik • Elektromagnetik
Georadar • Erschütterungsmonitoring • Magnetik

Vertriebspartner der



ABEM Instrument AB



WASSER
UMWELT
INFRASTRUKTUR
ENERGIE
BAUWERKE
GEOTECHNIK

**CDM
Smith**[®]
cdmsmith.com

listen. think. deliver.

CDM Smith Consult GmbH
Motorstraße 5
70499 Stuttgart
tel: 0711 83076-0

FOCUS YOUR
ENERGY

ARE YOU DRIVEN BY
TAKING THE INITIATIVE
AND BECOMING THE
BEST YOU CAN BE?

MAKE
YOUR
MOVE



cg.com/careers



Passion for Geoscience

Rahmenprogramm

Gesellschaftsabend

Der traditionelle Gesellschaftsabend der DGG findet am **Mittwoch, den 16. März 2016, ab 19:00 Uhr im Café Uferlos, Bismarckallee 11, 48151 Münster** (www.uferlos-muenster.de) statt. Ein Abendessen ist im Preis für den Gesellschaftsabend inbegriffen. Zur Teilnahme an dem Gesellschaftsabend ist eine Anmeldung bei der Registrierung erforderlich.

Studentischer Abend

Der studentische Abend findet am **Montag, den 14. März 2016 ab 19:30 Uhr in der Baracke, Scharnhorststr. 100, 48151 Münster**, statt. Das Gebäude befindet sich zwischen Aasee und dem Institut für Politikwissenschaft. Die Baracke ist ein studentisches Kultur- und Veranstaltungszentrum, welches selbst verwaltet von Studierenden betrieben wird. Das Treffen richtet sich vorrangig an Studierende und bietet die Möglichkeit zum Austausch und Kennenlernen in lockerer Atmosphäre. Es entstehen keine Kosten, allerdings ist eine Anmeldung erforderlich.

„Meet & Greet“-Frühstück für Geophysikerinnen

In diesem Jahr wird zum dritten Mal ein „Meet & Greet“-Frühstück für Geophysikerinnen und Studentinnen der Geophysik stattfinden. Ziel des „Meet & Greet“-Frühstücks ist es, eine Plattform für den gegenseitigen Austausch zu schaffen. Studentinnen wird bei diesem Anlass die Gelegenheit geboten, beruflich fortgeschrittene Geophysikerinnen zu treffen und verschiedene berufliche Werdegänge kennenzulernen.

Das Frühstück findet am **Mittwoch, den 16. März 2016, von 07:00 – 09:00 Uhr im Viva Café in der Mensa am Ring, Domagkstr. 61**, statt. Für die Teilnahme ist eine Anmeldung bei der Registrierung erforderlich.

GSSPE Young Professionals Lunch'n'Learn

In diesem Jahr findet zum dritten Mal ein GSSPE Young Professionals Lunch'n'Learn während der DGG statt. Im Rahmen der Veranstaltung werden einige Berufsanfänger aus verschiedenen Firmen bzw. Instituten über deren Berufseinstieg berichten und die Fragen der Teilnehmer beantworten. Ziel der Veranstaltung ist die Vernetzung junger Geowissenschaftler, um den Austausch sowohl auf der professionellen als auch der persönlichen Ebene zu fördern. Das Lunch'n'Learn beinhaltet einen Vortrag bzw. mehrere kleine Vorträge mit anschließender Q&A Session während eines Mittagessens. Die Teilnahme ist kostenlos. Das Event findet am **Mittwoch, den 16. März 2016, von 12:00 – 13:00 Uhr** (während der Mittagspause) **im Seminarraum 315 des Instituts für Geophysik, Corrensstraße 24, 48149 Münster**, statt. Teilnehmer sollten unter 36 Jahre alt sein.

Exkursionen

Es werden zwei verschiedene Stadtführungen angeboten.
Eine verbindliche Anmeldung ist erforderlich.

▪ Stadtführung „Münster Jovel“

Unterhaltsamer Altstadt Rundgang, Korn und Pumpernickel inklusive

Datum: Donnerstag, 17.03.2016

Beginn: 15:30 Uhr, Dauer: ca. 1,5 h

Treffpunkt: Rathausinnenhof, Chillida-Bänke

▪ Stadtführung „Münster 1648“

Historischer Rundgang zum Westfälischen Frieden

Datum: Donnerstag, 17.03.2016

Beginn: 15:30 Uhr, Dauer: ca. 1,5 h

Treffpunkt: Rathausinnenhof, Chillida-Bänke



Gravity Consult GmbH

Ingenieurbüro für Geodynamik, Bonn

Gravimeter – Seismometer – Service



ZLS Corporation

REF TEK 

A TRIMBLE BRAND

Komplette Mess-Systeme und Beratungsleistungen:
Standortuntersuchungen und Begutachtungen

Information: www.gravity-consult.de

Tel.: 0228-81287551

Kontakt: info@gravity-consult.de

Fax: 0228-81287552

Gravity Consult GmbH Annetenstr. 2 53175 Bonn



**Sparkasse
Münsterland Ost**

Eröffnungsveranstaltung

Die feierliche Eröffnungsveranstaltung findet **am Montag, den 14. März 2016, ab 15:30 bis 17:00 Uhr** im Hörsaal HS1 im Physikalischen Institut (IG1), *Wilhelm-Klemm Straße 10*, statt. Das Programm beinhaltet eine kurze Begrüßung durch die Tagungsleitung vor Ort, durch den Präsidenten der DGG und den Vorsitzenden des AEF. Weitere Grußworte sprechen die Bürgermeisterin der Stadt Münster, die Rektorin der Universität sowie ein Vertreter des Fachbereichs Physik. Umrahmt von einem musikalischen Programm folgen die Ehrungen und Preisverleihungen der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft. Die feierliche Festveranstaltung wird durch einen wissenschaftlichen Vortrag des Empfängers des Günter-Bock-Preises, Felix Hlousek, zum Thema

„Verbessertes Abbild der Krustenstruktur im Umfeld der KTB mittels fokussierender Abbildungsverfahren“

abgeschlossen. Um 17:00 Uhr folgt die Eröffnung der Firmenausstellung mit einer Vorstellung der Aussteller im Hörsaal HS1 und anschließendem Icebreaker im Foyer vor dem Hörsaal.

Plenarvorträge

Montag, 13:00–14:00 Uhr, Hörsaal HS1

Miaki Ishii (Harvard University, Cambridge, Massachusetts)

Through the Looking Glass: the Wonderful World beneath Our Feet

Dienstag, 13:00–14:00 Uhr, Hörsaal HS1

Andreas Fichtner (ETH Zürich)

Multiscale imaging of the Earth - From sedimentary basins to the deep mantle

Mittwoch, 13:00–14:00 Uhr, Hörsaal HS1

Michel Campillo (Université Joseph Fourier, Grenoble)

Seismic imaging without source: beyond surface wave tomography

Donnerstag, 13:00–14:00 Uhr, Hörsaal HS1

Antti Pulkkinen (NASA)

Magnetic Storms and the Electric Power Grid

Öffentlicher Abendvortrag

Der öffentliche Abendvortrag der DGG findet am **Dienstag, den 15. März 2016 um 20:00 Uhr im Hörsaal H1, Schlossplatz 46**, statt.

Es spricht Prof. Dr. Karl-Heinz Glaßmeier zum Thema

„Rosettas Reise an den Anfang unserer Zeit“

Vom Tagungsort aus erreicht man den Hörsaal H1 von der Haltestelle „P+R Coesfelder Kreuz Bussteig A“ z. B. mit den Stadtbuslinien 11, 13 und 22 (aussteigen bei Haltestelle „Landgericht“) oder mit der Stadtbuslinie 1 (aussteigen bei Haltestelle „Krummer Timpen“).

Abschlussveranstaltung

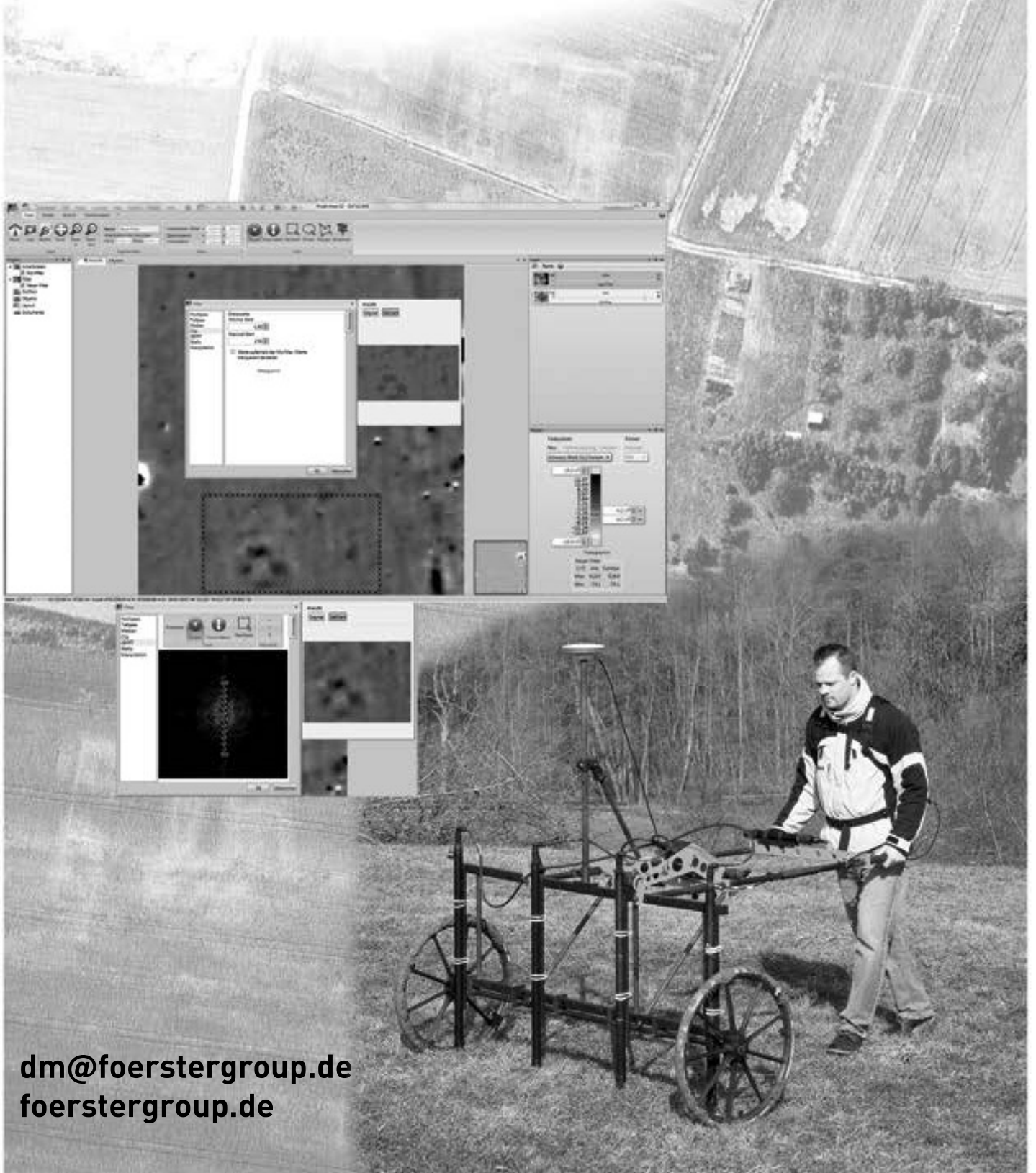
Die Abschlussveranstaltung findet am **Donnerstag, den 17. März 2016, 14:00 bis 15:00 Uhr** im Anschluss an den Plenarvortrag im Hörsaal HS1 statt. Die drei besten Poster und Vorträge von jungen Erstautorinnen und -autoren (unter 32 Jahre) werden prämiert.

Ihr Partner für geomagnetische Erkundungen



FEREX® - Magnetometer

DATA2LINE® - Analysesoftware



dm@foerstergroup.de
foerstergroup.de

DGG-Kolloquium

Der Arbeitskreis Angewandte Geophysik der DGG führt am
16. März 2016 in der Zeit von 09:00 bis 12:30 Uhr
das DGG-Kolloquium zum Thema **„Untergrundspeicherung“**
im Hörsaal HS1 durch.

Moderation: Prof. Dr. Manfred Joswig

9:00 – 09:30

Dr. Max Wippich¹ und Dr. Fritz Wilke¹

(¹DEEP Underground Engineering GmbH, Bad Zwischenahn)

„Planung und Entwicklung eines Kavernenspeichers im diapirischen Salz“

9:30 – 10:00

Prof. Dr. Karl-Heinz Lux¹, Dr. Uwe Düsterloh¹, Dr. Svetlana Lerche¹ und
Oleksandr Dyogtyev¹

(¹Lehrstuhl für Deponietechnik und Geomechanik, Technische Universität Clausthal)

**„Energy Storage in Salt Cavities – Some Aspects with Respect to Load-bearing
Behaviour as well as Documentation of Safety“**

10:00 – 10:30

Frank Hasselkus¹ und Dr. Andreas Reitze¹

(¹SOCON Sonar Control Kavernenvermessung GmbH, Giesen)

„Echometrische Hohlraumvermessungen zur Überwachung von Speicherkavernen“

10:30 – 11:00 Pause

11:00 – 11:30

Dr. Dirk Orlowsky¹, Sven Uchtmann¹ und Jens Langer²

(¹DMT GmbH & Co. KG, Essen; ²DEEP Underground Engineering GmbH, Bad Zwischenahn)

**„3D-Bohrlochradar, eine Messtechnik zur Erkundung des Umfeldes von
Salzkavernen“**

11:30 – 12:00

René Hauer¹, Andreas Bannach¹, Dr. Martin Streibel², Prof. Dr. Michael Kühn² und
Gerard Stienstra³

(¹ESK GmbH, Freiberg; ²Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungs-
Zentrum, ³DNV GL, Arnhem, Niederlande)

**„Modellierung der Auswirkungen von variablen CO₂ Injektionsraten industriellen
Maßstabs auf das Reservoir-Verhalten in einem Aquiferspeicher“**

12:00 – 12:30

Dr. Stefan Lüth¹, Dr. Axel Liebscher¹, Fabian Möller¹, Dr. Mario Wipki¹, Dr. Thomas Kempka¹

(¹Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum)

**„Geologische CO₂-Speicherung am Pilotstandort Ketzin – in 12 Jahren von
der Vorerkundung bis zur Nach-Injektions-Phase“**



Erhalten Sie Ihre Radiokarbon Ergebnisse
bevor Ihre Forschung fossilisiert

BETA

Beta Analytic
Radiokarbon Datierung
Seit 1979

- Ergebnisse möglich in 2-3 Tagen
- Rückmeldung innerhalb von 24 Stunden
- Ergebnisse online verfügbar

Australia Brazil China India Japan Korea UK USA
www.radiocarbon.com

Firmenausstellung

Die Firmenausstellung findet vom **14. bis 16. März im Foyer des Gebäudes IG1** statt. Sie wird am Montag, den 14.03.2016 um 17:00 Uhr mit einer Vorstellung der Aussteller im Hörsaal HS1 und anschließendem Icebreaker im Foyer des Gebäudes IG1 eröffnet.

Am 15. und 16. März 2016 finden zwischen 11:00 Uhr und 13:00 Uhr Gerätedemonstrationen im Außenbereich statt. Genaue Orte und Uhrzeiten werden durch Aushänge bekanntgegeben.

- Allied Associates Geophysical Ltd.
- Cambridge University Press
- CDM Smith Consult GmbH
- DEA Deutsche Erdoel AG
- DMT GmbH & Co. KG
- EAGE
- Ebinger Prüf- und Ortungstechnik GmbH
- Geosym GmbH
- Geotomographie GmbH
- Guralp Systems Ltd.
- IGM GmbH
- Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG
- K. A. Tauber Spezialbau GmbH & Co. KG
- Lennartz Electronic GmbH
- NTK „Diogen“
- Sensors & Software Europe
- Seismic Solutions GbR
- SENSYS Sensorik & Systemtechnologie GmbH
- Society of Exploration Geophysicists
- Sonicon GbR
- Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
- Transient Technologies

Schwerpunktthemen

Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors (S1)

Conveners: Tobias Rolf, Claudia Stein, Christine Thomas

We invite contributions from all fields of geophysics with focus on the deep structure, dynamics and evolution of Earth and planetary bodies. Contributions may use one or more approaches including seismology, geodynamics, geomagnetism, satellite observations, geochemistry and mineral physics. Studies for structures, dynamics and evolution of the mantle transition zone, the lower mantle, inner and outer core are welcome.

Plenarvortrag | Montag, 14.03.2016, 13:00–14:00 Uhr, Hörsaal HS1

Miaki Ishii (Harvard University, Cambridge, Massachusetts)

Through the Looking Glass: the Wonderful World beneath Our Feet

Data, Models and Reality (S3)

Conveners: Boris Kaus, Alexander Grayver, Karin Sigloch

Our current knowledge of the Earth comes from inversions of large datasets and modelling of processes inside the Earth with more or less realistic parameters. Investigations can be divided into two classes: Those carried out to devise "realistic" pictures of the Earth, others to study and delineate the role of particular features and mechanisms. In general the models and inversion results may not represent the real Earth due to assumptions for the models/inversions/data analyses. In this session we welcome contributions highlighting the strength and/or the weakness of the different approaches. Contributions discussing new routes as arising from the combinations of different approaches are especially welcome.

Plenarvortrag | Dienstag, 15.03.2016, 13:00-14:00 Uhr, Hörsaal HS1

Andreas Fichtner (ETH Zürich)

Multiscale imaging of the Earth – From sedimentary basins to the deep mantle

Schwerpunktthemen

Noise (S2)

Conveners: Céline Hadziioannou, Katrin Löer, Uli Wegler

We welcome contributions that use different forms of noise, i.e. seismic noise, electromagnetic noise and others to investigate the Earth. New developments in noise processing and studies on the generation of noise are welcome as well as noise study applications to structures and processes in the Earth and Earth's surface and fluid layers of the Earth.

Plenarvortrag | Mittwoch, 16.03.2016, 13:00–14:00 Uhr, Hörsaal HS1

Michel Campillo (Université Joseph Fourier, Grenoble)

Seismic imaging without source: beyond surface wave tomography

Space Weather and Global Induction (S4)

Conveners: Miriam Sinnhuber, Alexey Kuvshinov, Thomas Wiegelmann

Space weather, the response of the ionosphere/magnetosphere/thermosphere system to changes in the solar wind, connects solar activity with the near-Earth environment. In order to model accurately space weather effects it is important, in particular, to account for global electromagnetic (EM) induction in realistic models of conducting Earth. These models in their turn can be reliably recovered only if the ionosphere/magnetosphere current systems are correctly specified or/and accounted for. Thus there is a pressing need for the synergy of space weather and global EM induction researches. We invite contributions from all areas of space weather research covering solar physics, the ionosphere/magnetosphere system, and the upper atmosphere, as well as contributions on global induction studies of the Earth.

Plenarvortrag | Donnerstag, 17.03.2016, 13:00-14:00 Uhr, Hörsaal HS1

Antti Pulkkinen (NASA)

Magnetic Storms and the Electric Power Grid

Tagungsprogramm – zeitlicher Rahmen

Sonntag, 13.03.2016

19:00 – 21:00 Uhr Begrüßungsabend und Ausgabe der Tagungsunterlagen für angemeldete Teilnehmer (*Gaststätte Kruse Baimken, Am Stadtgraben 52, Münster*)

Montag, 14.03.2016

10:30 – 12:00 Uhr Vorträge
12:00 – 13:00 Uhr Mittagspause
13:00 – 14:00 Uhr Plenarvortrag (S1)
14:00 – 15:30 Uhr Posterausstellung + Kaffee
15:30 – 17:00 Uhr Eröffnungsveranstaltung
17:00 – 17:30 Uhr Eröffnung der Firmenausstellung
17:30 – 19:00 Uhr Firmenausstellung
ab 19:30 Uhr Studentischer Abend (*Baracke, Scharnhorststr. 100, Münster*)

Dienstag, 15.03.2016

09:00 – 10:30 Uhr Vorträge
10:30 – 12:00 Uhr Posterausstellung + Kaffee
12:00 – 13:00 Uhr Mittagspause
13:00 – 14:00 Uhr Plenarvortrag (S3)
14:00 – 15:30 Uhr Vorträge
15:30 – 17:00 Uhr Posterausstellung + Kaffee + Bier
17:00 – 19:00 Uhr Mitgliederversammlung
20:00 – 21:00 Uhr Öffentlicher Abendvortrag (*Hörsaal H1, Schlossplatz 46, Münster*)

Mittwoch, 16.03.2016

07:00 – 09:00 Uhr Meet and Greet (*VIVA Café, Mensa am Ring, Domagkstr. 61, Münster*)
09:00 – 10:30 Uhr Vorträge
10:30 – 12:00 Uhr Posterausstellung + Kaffee
12:00 – 13:00 Uhr Mittagspause (*Lunch'n' Learn, Institut für Geophysik, Seminarraum 315, Corrensstr. 24*)
13:00 – 14:00 Uhr Plenarvortrag (S2)
14:00 – 15:30 Uhr Vorträge
15:30 – 17:00 Uhr Posterausstellung + Kaffee + Bier
ab 19:00 Uhr Gesellschaftsabend (*Café Uferlos, Bismarckallee 11, Münster*)

Donnerstag, 17.03.2016

09:00 – 10:30 Uhr Vorträge
10:30 – 12:00 Uhr Posterausstellung + Kaffee
12:00 – 13:00 Uhr Mittagspause
13:00 – 14:00 Uhr Plenarvortrag (S4)
14:00 – 15:00 Uhr Abschlussveranstaltung (*Hörsaal HS1*)
15:30 – 17:00 Uhr Stadtführungen (*Rathausinnenhof*)

Besondere Termine

FKPE-Sitzung (auf Einladung)

→ Sonntag, 13.03.2016, 09:00 Uhr bis ca. 18:00 Uhr, Senatssaal (1. OG), Schlossplatz 2

DGG-Vorstandssitzung (auf Einladung):

→ Dienstag, 15.03.2016, 09:00 Uhr bis ca. 13:30 Uhr, Geo315

DGG-Mitgliederversammlung

→ Dienstag, 15.03.2016, 17:00 Uhr bis 19:00 Uhr, HS1

AEF/DPG-EP Mitgliederversammlung

→ Donnerstag, 17.03.2016, 11:00 Uhr, HSAP

Sitzungen der Arbeitskreise und Komitees

Die Arbeitskreise und Komitees der DGG haben die Möglichkeit, sich während der Jahrestagung zu treffen. Dafür stehen Seminarräume und Hörsäle zur Verfügung. Die Leiter der Arbeitskreise und Komitees wurden gebeten, den Bedarf bei der Tagungsleitung anzumelden. Notfalls kann dies im Tagungsbüro nachgeholt werden. Bitte nennen Sie einen Termin, die erwartete Personenzahl sowie ggf. die erforderliche technische Ausstattung. Für Ort und Zeit der Treffen bitte die Aushänge am Tagungsbüro beachten.

EAGE/DGG Workshop

Im Anschluss an die Tagung wird im Stadthotel Münster am **Freitag, den 18. März 2016**, ein gemeinsamer Workshop von EAGE und DGG zum Thema „Deep Mineral Exploration: Chasing both Land and Sea Deposits“ stattfinden.

Alle Informationen inklusive der Registrierung für den Workshop sind auf der Internetseite www.eage.org/event/?eventid=1398 zu finden.

Sessions – Übersicht

S1 | Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

- A – Montag, 10:30 - 12:00, Hörsaal A1, Seismology
- B – Dienstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal A1, Dynamics
- C – Dienstag, 14:00 - 15:30, Hörsaal A1, Core and Mantle
- D – Dienstag, 10:30 - 12:00, Foyer HC, *Poster*

S2 | Noise

- A – Mittwoch, 09:00 - 10:30, Hörsaal A1, Characteristics of seismic (and other) noise
- B – Mittwoch, 14:00 - 15:30, Hörsaal A1, New methodologies using ambient noise
- C – Donnerstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal A1, Applications of ambient noise methods
- D – Mittwoch, 10:30 - 12:00, Foyer HC, *Poster*

S3 | Data, Models, and Reality

- A – Dienstag, 14:00 - 15:30, Hörsaal O1
- B – Dienstag, 10:30 - 12:00, Foyer HC, *Poster*

S4 | Space Weather and Global Induction

- A – Mittwoch, 14:00 - 15:30, Hörsaal HSAP
- B – Donnerstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal HSAP
- C – Dienstag, 15:30 - 17:00, Foyer HC, *Poster*

1 | Near Surface Geophysics

- A – Montag, 10:30 - 12:00, Hörsaal C2
- B – Dienstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal C2
- C – Mittwoch, 14:00 - 15:30, Hörsaal HS2
- D – Donnerstag, 09:30 - 10:30, Hörsaal HS2
- E – Montag, 14:00 - 15:30, Foyer IG1, *Poster*
- F – Dienstag, 10:30 - 12:00, Foyer IG1, *Poster*
- G – Dienstag, 15:30 - 17:00, Foyer IG1, *Poster*
- H – Mittwoch, 15:30 - 17:00, Foyer IG1, *Poster*

2 | Exploration and Monitoring

- A – Montag, 10:30 - 12:00, Hörsaal C1, Hydrocarbon
- B – Dienstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal C1, Monitoring/Geothermal
- C – Dienstag, 14:00 - 15:30, Hörsaal C1, Geothermal
- D – Mittwoch, 14:00 - 15:30, Hörsaal C1, Minerals/Marine
- E – Donnerstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal C1, Seismicity
- F – Montag, 14:00 - 15:30, Foyer IG1, Hydrocarbon, *Poster*
- G – Mittwoch, 15:30 - 17:00, Foyer IG1, Geothermal, *Poster*
- H – Mittwoch, 15:30 - 17:00, Foyer IG1, Minerals, *Poster*
- I – Mittwoch, 15:30 - 17:00, Foyer IG1, Seismicity, *Poster*

Sessions – Übersicht

3 | Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

- A – Montag, 10:30 - 12:00, Hörsaal HS2
- B – Dienstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal HS2
- C – Dienstag, 14:00 - 15:30, Hörsaal HS2
- D – Mittwoch, 09:00 - 10:30, Hörsaal HS2

- E – Montag, 14:00 - 15:30, Foyer HC, *Poster*
- F – Dienstag, 15:30 - 17:00, Foyer HC, *Poster*

4 | Geohazards

- A – Mittwoch, 14:00 - 15:30, Hörsaal O1
- B – Donnerstag, 09:15 - 10:30, Hörsaal O1

- C – Mittwoch, 15:30 - 17:00, Foyer HC, *Poster*

5 | Extraterrestrial Physics

- A – Montag, 10:30 - 12:00, Hörsaal HSAP, Exoplaneten und Astrobiologie I
- B – Montag, 14:00 - 15:00, Hörsaal HSAP, Exoplaneten und Astrobiologie II
- C – Dienstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal HSAP, Planeten und kleine Körper I
- D – Dienstag, 11:00 - 12:00, Hörsaal HSAP, Planeten und kleine Körper II
- E – Dienstag, 14:00 - 15:15, Hörsaal HSAP, Planeten und kleine Körper III
- F – Mittwoch, 09:00 - 10:30, Hörsaal HSAP, Sonne und Heliosphäre I
- G – Mittwoch, 11:00 - 12:00, Hörsaal HSAP, Sonne und Heliosphäre II
- H – Mittwoch, 16:00 - 18:00, Hörsaal HSAP, Sonne und Heliosphäre III

- I – Dienstag, 15:30 - 17:00, Foyer HC, *Poster*

6 | Geophysical Methods

- A – Montag, 10:30 - 12:00, Hörsaal HS1, Seismik
- B – Dienstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal HS1, Seismik
- C – Dienstag, 14:00 - 15:30, Hörsaal HS1, Seismik
- D – Mittwoch, 14:00 - 15:30, Hörsaal HS1, Seismologie
- E – Donnerstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal HS1, Seismologie
- F – Dienstag, 14:00 - 15:30, Hörsaal C2, Magnetotellurik und Elektromagnetik
- G – Mittwoch, 14:00 - 15:30, Hörsaal C2, Geoelektrik, IP, GPR
- H – Donnerstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal C2, Magnetik und Gravimetrie

- I – Montag, 14:00 - 15:30, Foyer HC, *Poster* Seismologie
- J – Mittwoch, 10:30 - 12:00, Foyer HC, *Poster* Elektromagnetik
- K – Mittwoch, 15:30 - 17:00, Foyer HC, *Poster* Geoelektrik, GPR
- L – Mittwoch, 15:30 - 17:00, Foyer HC, *Poster* Seismik

7 | History, Outreach and Education

- A – Dienstag, 09:00 - 10:30, Hörsaal O1
- B – Mittwoch, 09:00 - 10:30, Hörsaal O1

- C – Dienstag, 15:30 - 17:00, Foyer HC, *Poster* Studiengänge in D.

Sessions – Tabellenübersicht

Montag, 14. März 2016

	IG1		HC				AP
	HS1	HS2	C1	C2	A1	O1	HSAP
8:00–10:30			Registrierung Foyer HC				
10:30–11:00							
11:00–11:30	6-A	3-A	2-A	1-A	S1-A		5-A
11:30–12:00							
12:00–13:00	Mittagspause						
13:00–14:00	PV-S1						
14:00–14:30	Postersession		Postersession				5-B
14:30–15:00	1-E, 1-F,		S1-D, S3-B, S4-C,				
15:00–15:30	1-G, 2-F		3-E, 3-F, 5-I, 6-I, 7-C				
15:30–17:00	Eröffnungsveranstaltung (HS1, IG1)						
17:00–17:30	Firmenvorstellung (HS1, IG1)						
17:00–19:00	Eröffnung Firmenausstellung (Foyer, IG1)						
ab 19:30	Studentischer Abend (Baracke)						

Dienstag, 15. März 2016

	IG1		HC				AP
	HS1	HS2	C1	C2	A1	O1	HSAP
9:00 – 9:30							
9:30–10:00	6-B	3-B	2-B	1-B	S1-B	7-A	5-C
10:00–10:30							
10:30–11:00	Postersession		Postersession				5-D
11:00–11:30	1-E, 1-F,		S1-D, S3-B, S4-C,				
11:30–12:00	1-G, 2-F		3-E, 3-F, 5-I, 6-I, 7-C				
12:00–13:00	Mittagspause Gerätevorführung im Freien (ab 11:00 Uhr)						
13:00–14:00	PV-S3						
14:00–14:30							
14:30–15:00	6-C	3-C	2-C	6-F	S1-C	S3-A	5-E
15:00–15:30							
15:30–16:00	Postersession		Postersession				
16:00–16:30	1-E, 1-F,		S1-D, S3-B, S4-C,				
16:30–17:00	1-G, 2-F		3-E, 3-F, 5-I, 6-I, 7-C				
17:00–19:00	Mitgliederversammlung DGG (HS1, IG1)						
ab 20:00	öffentlicher Abendvortrag (Hörsaal H1, Schlossplatz 46)						

Mittwoch, 16. März 2016

	IG1		HC				AP
	HS1	HS2	C1	C2	A1	O1	HSAP
9:00 – 9:30	DGG Kolloquium	3-D			S2-A	7-B	5-F
9:30–10:00							
10:00–10:30		Poster-session 1-H, 2-G, 2-H, 2-I	Postersession S2-D, 4-C, 6-J, 6-K, 6-L, 7-C				5-G
10:30–11:00							
11:00–11:30							
11:30–12:00							
12:00–13:00	Mittagspause						
13:00–14:00	PV-S2						
14:00–14:30	6-D	1-C	2-D	6-G	S2-B	4-A	S4-A
14:30–15:00							
15:00–15:30							
15:30–16:00	Postersession 1-H, 2-G, 2-H, 2-I		Postersession S2-D, 4-C, 6-J, 6-K, 6-L, 7-C				5-H
16:00–16:30							
16:30–17:00							
17:00–18:00							
ab 19:00	Gesellschaftsabend (Café Uferlos)						

Donnerstag, 17. März 2016

	IG1		HC				AP
	HS1	HS2	C1	C2	A1	O1	HSAP
9:00 – 9:30	6-E		2-E	6-H	S2-C	4-B	S4-B
9:30–10:00		1-D					
10:00–10:30							
10:30–11:00	Postersession 1-H, 2-G, 2-H, 2-I		Postersession S2-D, 4-C, 6-J, 6-K, 6-L, 7-C				Mitglieder- Versammlung AEF
11:00–11:30							
11:30–12:00							
12:00–13:00	Mittagspause						
13:00–14:00	PV-S4						
14:00–15:00	Abschlussveranstaltung (HS1, IG1)						

Der Sessionname setzt sich aus der Sessionnummer und dem Buchstaben für den Block zusammen (z. B. 1-B zweiter Block von Session 1, S1-A erster Block von Session S1), laufende Postersessions sind **fett gedruckt**.

PV-Plenarvortrag, **S1**: Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors, **S2**: Noise, **S3**: Data, Models, and Reality, **S4**: Space Weather and Global Induction, **1**: Near Surface Geophysics, **2**: Exploration and Monitoring, **3**: Structure and Dynamics of the Crust and Lithosphere, **4**: Geohazards, **5**: AEF -Arbeitskreis Extraterrestrische Forschung, **6**: Geophysical Methods, **7**: History, Outreach, and Education

Montag, 14. März 2016
Vorträge/Poster

6-A Geophysical Methods – Oral Session 1 – Seismik

Montag, 14. März 2016 | 10:30–11:45 | Raum: HS1

Moderation: Bodo Lehmann

10:30–10:45 **6-A.001**

Visco-elastic controlled-source full waveform inversion without surface waves

Paschke, M., Bleibinhaus, F., Krause, M.

10:45–11:00 **6-A.002**

1D and 2D simulations of seismic wave propagation in fractured media

Möller, T., Friederich, W.

11:00–11:15 **6-A.003**

Bestimmung von langwelligen Startmodellen für die seismische Wellenforminversion – Teil 1 Ersteinsatztomographie basierend auf der Adjoint-State Methode

Köhn, D., De Nil, D., Rabbel, W.

11:15–11:30 **6-A.004**

Bestimmung von langwelligen Startmodellen für die seismische Wellenforminversion–Teil 2 CRS-Stack und NIP-Wellentomographie

Köhn, D., De Nil, D., Rabbel, W.

11:30–11:45 **6-A.005**

Rapid and joint analysis of shear-wave splitting with application to the Swiss network

Reiss, M.C., Rumpker, G.

3-A Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere – Oral Session 1

Montag, 14. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: HS2

Moderation: Heidrun Kopp, Jörg Ebbing

10:30–10:45 **3-A.001**

Can compaction, caused by melt extraction and intrusion, generate tectonically effective stresses in the lithosphere?

Wallner, H., Schmeling, H.

10:45–11:00 **3-A.002**

Detektion eines entwässernden Gangnetzwerkes im oberen Mantel der subduzierenden Nazca-Platte

Bloch, W., Kummerow, J., John, T., Wigger, P., Salazar, P., Shapiro, S.A.

11:00–11:15 **3-A.003**

3D Stress Modelling of a Neotectonically Active Area in Northwestern Norway

Gradmann, S., Keiding, M., Olesen, O., Maystrenko, Y.

11:15–11:45 **3-A.004**

Modes of extension and oceanization at magma-poor margins: an example from the Brazilian-African margins

Perez-Gussinye, M., Araujo, M., Ros, E., Andres-Martinez, M., P. Morgan, J.

11:45–12:00 **3-A.005**

SO244 GeoSEA: Offshore Acoustic Monitoring of the northern Chilean margin

Kopp, H., Lange, D., Petersen, F., Hannemann, K., Contreras-Reyes, E.

2-A Exploration and Monitoring – Oral Session 1 – Hydrocarbon

Montag, 14. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: C1

Moderation: Christian Bucker

10:30–11:00 **2-A.001**

Unconventional hydrocarbons: geophysical complexity and uncertainty in shale gas reservoirs

Lovell, M.

11:00–11:15 **2-A.002**

Reservoirs Characterization of the Middle-Miocene Belayim Formation (Nullipore Mamber) in Ras Fanar Oil Field, Gulf of Suez- Egypt

Genedi, M., Ghazala, H., Awad, M.

11:15–11:30 **2-A.003**

Der Einfluss eines variablen Porenradius auf den Formationsfaktor in Karbonatgesteinen

Müller-Huber, E., Schön, J., Börner, F.

11:30–11:45 **2-A.004**

Acquisition and interpretation of the vertical electric field to monitor fluid flux with controlled-source electromagnetics

Tietze, K., Ritter, O., Patzer, C., Veeken, P.

11:45–12:00 **2-A.005**

Three dimensional CSEM modelling in a producing oil field–the effect of steel cased wells

Patzer, C., Tietze, K., Ritter, O.

1-A Near Surface Geophysics – Oral Session 1

Montag, 14. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: C2

Moderation: Thomas Günther

10:30–10:45 **1-A.001**

Geoelektrisches Langzeitmonitoring mit vertikalen Elektrodenstrecken im Salz-/Süßwasser-Übergangsbereich auf Borkum

Grinat, M., Epping, D., Meyer, R.

10:45–11:00 **1-A.002**

Erprobung eines geophysikalischen Messsystems für Horizontalfilterbrunnen

Lay, M., Daffner, T., Mede, M.

11:00–11:15 **1-A.003**

Die breitbandige Temperaturabhängigkeit der komplexen elektrischen Leitfähigkeit für Lockermaterialien mit unterschiedlichen Tonmineralien und unterschiedlichen Ionen im Elektrolyt

Treichel, A., Huisman, J.A., Esser, O., Vereecken, H., Kemna, A.

11:15–11:30 **1-A.004**

Estimating permeability of a CO₂ storage reservoir based on multi-physical observations

Wagner, F.M., Wiese, B., Schmidt-Hattenberger, C., Maurer, H.

11:30–11:45 **1-A.005**

Lösung gekoppelter Inversionsprobleme mit pyGIMLi

Rücker, C., Günther, T., Wagner, F.M.

11:45–12:00 **1-A.006**

Quasi-kontinuierliche airborne NMR mit Hilfe eines Heliumsballons

Costabel, S., Dlugosch, R., Günther, T., Müller-Petke, M.

5-A Extraterrestrial Physics – Oral Session 1 – Exoplaneten und Astrobiologie I

Montag, 14. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: HSAP

Moderation: John Lee Grenfell

10:30–11:00 **5-A.001**

Habitability of extrasolar planets: A review

Griessmeier, J.-M.

11:00–11:15 **5-A.002****Atmospheric effects of stellar cosmic rays on Earth-like exoplanets**

Grenfell, J.L., Tabataba-Vakili, F., Griessmeier, J.-M., Rauer, H.

11:15–11:30 **5-A.003****Atmospheric Modeling of Gas Planets**

Rahner, R., Grenfell, J.L., Rauer, H.

11:30–11:45 **5-A.004****Bestimmung der Orbitalelemente in extrasolaren Multiplanetensystemen mit Hilfe der Transit Time Variation**

Korth, J., Grziwa, S., Pätzold, M.

11:45–12:00 **5-A.005****Die Detektion von Exoplaneten in Lichtkurven der Weltraummission K2**

Grziwa, S., Korth, J., Pätzold, M.

S1-A Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors – Oral Session 1– Seismology

Montag, 14. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: A1

Moderation: Christine Thomas

10:30–10:45 **S1-A.001****Seismische Diskontinuitäten des oberen und unteren Mantels unter Indonesien abgeleitet aus P-Receiver Functions**

Wölbern, I., Rümpker, G.

10:45–11:00 **S1-A.002****Investigation of the Earth's mid- and lower mantle by analysing out-of-plane reflections with seismic array methods**

Schumacher, L., Thomas, C.

11:00–11:15 **S1-A.003****New constraints on the velocity structure at the base of the mantle from the coupling of normal modes**

Durand, S., Debayle, E., Ricard, Y., Lambotte, S., Zaroли, C.

11:15–11:45 **S1-A.004****Seismic constraints on the small scale structure of Earth's mantle**

Rost, S., Bentham, H., Frost, D., Thorne, M., Nowacki, A.

11:45–12:00 **S1-A.005****Traveltime dispersion in an isotropic elastic mantle: strong lower-mantle signal in differential-frequency residuals**

Schuberth, B.S.A., Zaroли, C., Nolet, G.

S1 Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors – Plenary Talk S1

Montag, 14. März 2016 | 13:00–14:00 | Raum: HS1
Moderation: Christine Thomas

13:00–14:00 **PL-S1.001**

Through the Looking Glass: the Wonderful World beneath Our Feet

Ishii, M.

5-B Extraterrestrial Physics – Oral Session 2 – Exoplaneten und Astrobiologie II

Montag, 14. März 2016 | 14:00–15:00 | Raum: HSAP
Moderation: John Lee Grenfell

14:00–14:30 **5-B.001**

Plate tectonics and volcanism on terrestrial planets: Influence on habitability

Noack, L., Rivoldini, A., Van Hoolst, T.

14:30–14:45 **5-B.002**

Feedback cycles in planetary evolution including continental growth and mantle hydration

Höning, D., Spohn, T.

14:45–15:00 **5-B.003**

On the habitability of a stagnant lid Earth

Tosi, N., Stracke, B., Godolt, M., Ruedas, T., Grenfell, J.L., Höning, D., Nikolaou, A., Plesa, A., Breuer, D., Spohn, T.

6-I Geophysical Methods – Poster Session 1 – Seismologie

Montag, 14. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: Foyer Chemie
Moderation: Stefanie Donner

6-I.001

Improved depth estimates for induced seismicity using multiple seismic arrays

Kriegerowski, M., Cesca, S., Dahm, T.

6-I.002

Lokale Verstärkungseffekte induzierter seismischer Ereignisse im Bereich der norddeutschen Gaslagerstätten. Fallstudie zur Mikrozonierung mittels H/V – und Array-Ambient-Noise-Messungen

Fehr, M., Kremers, S., Fritschen, R., Friederich, W.

6-I.003

Relativrelokalisierung von akustischen Emissionen in einem Salzbergwerk mit Hilfe von automatisch bestimmten Einsatzzeiten

Becker, D., Kaiser, D.

6-I.004

Detektion von Erdbeben in Schleswig-Holstein anhand eines offline Kreuzkorrelationsdetektors

Mader, S., Olbert, K., Meier, T.

6-I.005

Automatic determination of onset times for mantle and crustal phases recorded at central Europe

Olbert, K., Cristiano, L., Hartmann, G., Meier, T.

6-I.006

Modelling of Seismic Wave Propagation in Porous Media Using a Nodal Discontinuous Galerkin Method

Boxberg, M.S., Friederich, W.

6-I.007

Scattering and Equipartition of Globally Propagating Body Waves

Sens-Schönfelder, C., Snieder, R., Stähler, S.C.

6-I.008

Simultaneous Inversion of Multiple Waveforms (SIMW) for SKS splitting measurements: Performance and limits derived from synthetic tests

Grund, M., Ritter, J.R.R.

6-I.009

The modularized software package ASKI–full waveform inversion based on waveform sensitivity kernels utilizing external seismic wave propagation codes

Schumacher, F., Friederich, W.

6-I.010

Bimaterial interfaces at the Karadere segment of the North Anatolian Fault, northwestern Turkey

Najdahmadi, S., Bohnhoff, M., Ben-Zion, Y.

6-I.011

Detection capability of the IMS seismic network based on ambient seismic noise measurements

Gaebler, P.J., Ceranna, L.

6-I.012

Earthquake source analysis using multiple data sets: the importance of 3-D Earth structure

Frietsch, M., Ferreira, A.M.G., Vales, D., Funning, G., Carrilho, F.J.R.

3-E Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere – Poster Session 1

Montag, 14. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: Foyer Chemie

Moderation: Heidrun Kopp

3-E.001

Underplating of the Azores Islands made visible by P-wave Receiver Functions

Spieker, K., Rondenay, S., Ramalho, R.S., Thomas, C., Helffrich, G.

3-E.002

Batholithic Structures Influence Seismogenic Processes in the North Chile Seismic Gap

Sobiesiak, M., Schaller, T., Gutknecht, B., Götze, H.-J.

3-E.003

Pitfalls and possibilities studying the magnetic lithosphere from space

Ebbing, J., Baykiev, E., Szwillus, W.

3-E.004

Satellite gravity field models and stress estimates in the South Atlantic

Klinge, L., Götze, H.-J., Ebbing, J.

3-E.005

The lithospheric structure of Egypt and its surroundings by joint analysis of terrestrial and satellite gravity observations

Sobh, M., Ebbing, J., Götze, H.-J.

3-E.006

Electromagnetic investigation of the Pärvie endglacial fault

Kamm, J., Lund, B., Becken, M.

3-E.007**Ableitung eines Geschwindigkeitsmodells im Bereich der COSC-1-Tiefbohrung**

Zschoke, H.K., Simon, H., Buske, S.

3-E.008**A detailed 3D-VSP experiment to image the Alpine Fault at the DFDP-2 drill site (Whataroa, New Zealand)**

Lay, V., Buske, S., Townend, J., Eccles, J., Gorman, A., Schmitt, D.R., Lawton, D.

3-E.009**Borehole seismic in crystalline environment at the COSC-project in central sweden**

Krauß, F., Hedin, P., Almqvist, B., Simon, H., Giese, R., Buske, S., Juhlin, C., Lorenz, H.

3-E.010**Automated inter-station phase velocity measurements across the eastern Mediterranean and Middle East**

El-Sharkawy, A., Weidle, C., Christiano, L., Soomro, R., Lebedev, S., Meier, T.

3-E.011**Clustering and interpretation of earthquake tomography models in the southern Dead Sea basin**

Bauer, K., Braeuer, B.

3-E.012**Die Erdbebenserie im nördlichen Oberrheingraben in 2014-2015**

Homuth, B., Kracht, M., Rumpker, G.

3-E.013**Elastic and acoustic radiative transfer theory–Seismic attenuation parameters in the W-Bohemia/Vogtland region**

Gaebler, P.J., Eulenfeld, T., Wegler, U.

3-E.014**Offshore-aftershock sequence of the Mw=8.2 2014 Iquique earthquake – First results from a marine OBS deployment**

Grevemeyer, I., Lange, D., Kopp, H., Barrientos, S., Contreras-Reyes, E., Vera, E.

3-E.015**Simultaneous inversion for anisotropic and structural crustal properties by stacking of radial and transverse receiver functions**

Link, F., Rumpker, G., Kaviani, A.

3-E.016**A density model of North-western Europe as a test case for forward and inverse modelling**

Haas, P., Ebbing, J.

2-F Exploration and Monitoring – Poster Session 1 – Hydrocarbon

Montag, 14. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: Foyer Physik
Moderation: Christian Bücken

2-F.001

Application of well log data analysis for enhancing shaly gas reservoir evaluation for El Wastani formation, Main sand body, Sequoia field, Offshore west Nile delta, Egypt.

Basal, A.M., Seisa, H.H., Alattar, A.L.

2-F.002

Lithological controls on gas hydrate saturation: Insights from signal classification of NMR downhole logging data

Bauer, K., Kulenkampff, J., Henninges, J., Spangenberg, E.

2-F.003

Possible evidence for a relationship between gas hydrate dissociation and submarine slope failure in the Danube deep-sea fan, Black Sea

Badhani, S., Bialas, J., Berndt, C., Klauke, I., Zander, T.

2-F.004

The EU project FracRisk (2015-2018): some non-/fluid-based monitoring tasks

Eutsch, D., Anuel, M., Osef, J., Erman, G.

2-F.005

Turning pipeline noise into signal for EM exploration

Lindau, T., Becken, M.

1-E Near Surface Geophysics – Poster Session 1

Montag, 14. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: Foyer Physik
Moderation: Tina Wunderlich

1-E.001

Comparative Study of a Sulfate Tracer Monitoring Experiment Using Geoelectrical and Hydrogeological Survey Techniques

Schütze, C., Pohle, M., Kreck, M., Zschornack, L., Werban, U., Dietrich, P., Vienken, T.

1-E.002

Einfluss der Salinität und des pH-Wertes auf Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation

Kuhn, E., Hördt, A.

1-E.003

Vergleich von Temperaturmessungen mit geophysikalischer SAL/TEMP-Bohrlochsonde und Kabellichtlot in Berliner Grundwassermessstellen

Jonas, O., Limberg, A., Börner, F.

1-E.004

Geophysics in the vadose zone: Testing a new borehole tool for geoelectrical measurements

Ochs, J., Klitzsch, N.

1-E.005

Einsatz der Geophysik bei Bau und Überwachung von Horizontalfilterbrunnen

Ballhause, T., Daffner, T., Huber, M., Lay, M., Reimann, P., Rücker, C., Börner, F.

1-E.006

Entwicklung und Betrieb eines Technikumsplatzes zur Überführung von Technologien und Untersuchung von Horizontalfilterbrunnen

Daffner, T., Lay, M., Böhm, L., Reimann, P.

1-E.007

Multimethodische geophysikalische Erkundung eines Wasserwerkstandortes in Berlin

Mierschke, V., Bertschat, A.-S., Dünnbier, K., Braun, M., Börner, F.

1-E.008

Helicopter-borne EM used to delineate the 3D groundwater salinity distribution in the Province of Zeeland, The Netherlands – Pilot study: Terneuzen-Gent Canal Zone

Siemon, B., van Baaren, E., Dabekaussen, W., Delsman, J., Gunnink, J., Karaoulis, M., Oude Essink, G., Pauw, P., Steuer, A.

1-E.009

Verbesserung hydrogeologischer Modelle durch Verknüpfung von aereomagnetischen Daten und Geologie

Ullmann, A., Wiederhold, H., Steuer, A., Siemon, B.

Dienstag, 15. März 2016
Vorträge/Poster

6-B Geophysical Methods – Oral Session 2 – Seismik

Dienstag, 15. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: HS1

Moderation: Stefanie Donner

09:00–09:15 **6-B.001**

Data-driven near-surface velocity analysis

Guntern, C., Schwarz, B., Gajewski, D.

09:15–09:30 **6-B.002**

Wavefront-based joint passive source location and velocity inversion

Schwarz, B., Bauer, A., Gajewski, D.

09:30–09:45 **6-B.003**

A new filter function for diffraction separation with finite-offset CRS

Wissmath, S., Vanelle, C., Schwarz, B., Gajewski, D.

09:45–10:00 **6-B.004**

Improved stacking workflow for diffraction imaging

Walda, J., Schwarz, B., Gajewski, D.

10:00–10:15 **6-B.005**

Utilizing diffractions: wavefront-based tomography revisited

Bauer, A., Schwarz, B., Lotze, M., Werner, T., Gajewski, D.

10:15–10:30 **6-B.006**

Individual and joint 2-D elastic full waveform inversion of Rayleigh and Love waves

Wittkamp, F., Bohlen, T.

3-B Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere – Oral Session 2

Dienstag, 15. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: HS2

Moderation: Frederik Tilmann

09:00–09:15 **3-B.001**

A source model for the 2014/2015 seismic sequence accompanying the Bárðarbunga (Iceland) caldera collapse

Heimann, S., Dahm, T., Cesca, S., Hensch, M.

09:15–09:30 **3-B.002**

The Structure of the Mantle Lithosphere in Central Europe from S-Receiver Functions

Kind, R., Handy, M., Yuan, X., Meier, T.

09:30–09:45 **3-B.003****Seismotectonics of the Pamir and the 1911/2015 M7 Sarez earthquake doublet**

Schurr, B., Kulikova, G., Krüger, F., Metzger, S., Zhang, Y., Ratschbacher, L., Yuan, X.

09:45–10:00 **3-B.004****Imaging the deep structure of the northeastern and eastern margins of the Tibet plateau**

Mechie, J., Qian, H., Karplus, M., Feng, M., Li, H., Zhao, W.

10:00–10:15 **3-B.005****Seismische Streuung und Dämpfung am Vulkan Ätna**

Zieger, T., Sens-Schönfelder, C., Ritter, J.R.R., Lühr, B.

10:15–10:30 **3-B.006****1-D and 3-D velocity analysis of the West Bohemia seismic zone**

Kieslich, A., Alexandrakos, C., Calò, M., Vavryčuk, V., Buske, S.

2-B Exploration and Monitoring – Oral Session 2 – Monitoring/Geothermal

Dienstag, 15. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: C1

Moderation: Nicolai Gestermann, Michael Becken

09:00–09:30 **2-B.001****Using electromagnetic methods for geophysical monitoring**

Ritter, O.

09:30–09:45 **2-B.002****Fluid injection monitoring using electrical resistivity tomography – Five years of CO₂ injection at Ketzin, Germany**

Bergmann, P., Schmidt-Hattenberger, C., Labitzke, T., Wagner, F.M., Just, A., Flechsig, C., Rippe, D.

09:45–10:00 **2-B.003****Potential of ambient seismic noise techniques to monitor injection induced subsurface changes at the St. Gallen geothermal site**

Obermann, A., Kraft, T., Wiemer, S.

10:00–10:15 **2-B.004****An in-situ stimulation experiment in crystalline rock – seismo-hydro-mechanical response during hydraulic fracturing tests**

Doetsch, J., Amann, F., Gischtig, V., Jalali, M., Madonna, C., Evans, K., Valley, B., Giardini, D., Wiemer, S., Maurer, H.

10:15–10:30 **2-B.005**

Tiefe Geothermie–mögliche Umweltauswirkungen infolge hydraulischer und chemischer Stimulationen

Plenefisch, T., Brückner, L., Ceranna, L., Gestermann, N., Houben, G., Tischner, T., Wegler, U., Wellbrink, M., Bönnemann, C.

1-B Near Surface Geophysics – Oral Session 2

Dienstag, 15. März 2016 | 09:00–10:15 | Raum: C2

Moderation: Volkmar Schmidt

09:00–09:30 **1-B.001**

Ground-penetrating radar: a versatile geophysical tool to explore near-surface environments

Tronicke, J.

09:30–09:45 **1-B.002**

Helicopter-borne Ground Penetrating Radar Surveying of glacier beds using crossed antenna surveys

Rabenstein, L., Maurer, H., Langhammer, L., Bauder, A., Funk, M., Lathion, P., Schaer, P.

09:45–10:00 **1-B.003**

2D und 3D Strukturerkundung im subpolaren Permafrost mittels Georadar

Schennen, S., Tronicke, J., Schwamborn, G., Allroggen, N.

10:00–10:15 **1-B.004**

Hochauflösende 4D Georadar Messungen während kontrollierter Infiltrationsexperimente

Allroggen, N., Jackisch, C., Tronicke, J.

5-C Extraterrestrial Physics – Oral Session 3 – Planeten und kleine Körper

Dienstag, 15. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: HSAP

Moderation: Joachim Saur

09:00–09:30 **5-C.001**

Philae-Magnetfeldmessungen an 67/P

Auster, H.U., Heinisch, P., Glaßmeier, K.-H., Richter, I., Przyklenk, A.

09:30–09:45 **5-C.002**

MHD model of Mercury's magnetosphere

Brune, G., Saur, J.

09:45–10:00 **5-C.003****Zonale Winde in der Venusatmosphäre**

Tellmann, S., Pätzold, M., Häusler, B., Bird, M.K., Tyler, G.L., Hinson, D.P.

10:00–10:15 **5-C.004****Dynamik und Temperaturen entlang der Morgen- und Abend-Terminatoren in der oberen Atmosphäre von Venus beobachtet mit erdgebundener Infrarot Spektroskopie**

Krause, P., Sornig, M., Wiegand, M., Wischnewski, C., Stangier, T., Sonnabend, G., Herrmann, M., Kostiuk, T., Livengood, T.

10:15–10:30 **5-C.005****Die Tropopausen Inversionsschicht in der Venusatmosphäre: neue Einblicke durch das Venus Express Radio Science Experiment (VeRa)**

Herrmann, M., Oschlisniok, J., Remus, S., Tellmann, S., Häusler, B., Pätzold, M.

S1-B Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors – Oral Session 2 – Mantle Dynamics

Dienstag, 15. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: A1

Moderation: Tobias Rolf

09:00–09:15 **S1-B.001****A benchmark initiative on mantle convection with melting and melt segregation**

Dohmen, J., Schmeling, H., Dannberg, J., Kalousová, K., Maurice, M., Noack, L., Plesa, A., Spiegelman, M., Thieulot, C., Tosi, N., Wallner, H.

09:15–09:30 **S1-B.002****A complex melt-network and the effect of his geometrical properties on the shear viscosity of the matrix in a partially molten medium**

Kruse, J.P., Schmeling, H.

09:30–10:00 **S1-B.003****Consequences of magma ocean solidification for mantle dynamics and evolution**

Tosi, N., Maurice, M., Plesa, A., Breuer, D.

10:00–10:15 **S1-B.004****Effects of planetary rotation on crystal settling in a terrestrial magma ocean: Spherical shell model**

Maas, C., Hansen, U.

10:15–10:30 **S1-B.005****Compositional layering within the large low shear-wave velocity provinces (LLSVPs) in the lower mantle**

Ballmer, M.

7-A History, Outreach and Education – Oral Session 1 – History

Dienstag, 15. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: O1
Moderation: Johannes Schweitzer

09:00–09:15 **7-A.001**

Wie Wegener mit Gegnern der Kontinentalverschiebung umging

Jacoby, W.

09:15–09:45 **7-A.002**

Historical seismogram reproductions for the source parameters determination of the 1902, Kashgar earthquake.

Kulikova, G., Krüger, F.

09:45–10:00 **7-A.003**

Instrumental magnitude constraints for the 1889 Chilik and the 1887 Verny earthquake, Central Asia

Krüger, F., Kulikova, G., Landgraf, A.

10:00–10:30 **7-A.004**

Christiaan Huygens' Sekundenpendel von 1658: wieviel Fuß misst eine Sekunde?

Fertig, J.

S3-B Data, Models, and Reality – Poster Session 1

Dienstag, 15. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: Foyer Chemie
Moderation: Alexander Gravyer

S3-B.001

Coupling geodynamic with thermodynamic modelling for reconstructions of magmatic systems

Rummel, L., Kaus, B., White, R.

S3-B.002

Geodynamic Inversion to Constrain the Nonlinear Rheology of the Lithosphere

Baumann, T.S., Kaus, B.

S3-B.003

Inversion of magnetotelluric data in a sparse model domain

Nittinger, C., Becken, M.

S3-B.004

Modeling Rotational Waves in Seismology

Abreu, R., Igel, H., Thomas, C., Ferreira, A.M.G., Kamm, J., Reiß, A.-S., Neff, P.

S3-B.005**Untersuchung nicht-stationärer Ozeanauflast in M2-Schweregezeiten anhand des ARTOFS Ozeanmodells**

Schroth, E., Forbriger, T., Westerhaus, M.

S3-B.006**Analysis of the detection threshold of microseismic events in an urban sinkhole area using synthetic seismograms**

Schneider, F., Heimann, S., Reichel, H., Becker, D.

S1-D Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors – Poster Session 1

Dienstag, 15. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: Foyer Chemie

Moderation: Christine Thomas

S1-D.001**Behavior of mantle transition zone discontinuities beneath the Indian Ocean from PP and SS precursors**

Reiß, A.-S., Thomas, C.

S1-D.002**Constraining density and velocity jumps across the 410 km discontinuity**

Saki, M., Thomas, C., Cobden, L., Abreu, R.

S1-D.003**The Influence of Internal Heat Sources on Mantle Convection with Phase Transitions**

Hellenkamp, P., Dude, S., Hansen, U.

S1-D.004**High quality normal mode strain observations at the Black Forest Observatory – an update**

Widmer-Schmidrig, R., Zürn, W., Ferreira, A.M.G., Rivera, L.

S1-D.005**Can we explain the D'' reflector with the post-perovskite phase transition?**

Thomas, C., Cobden, L.

S1-D.006**Seismic analysis of the lower mantle beneath the Pacific using shear-wave travel-times and 3D synthetics**

Abreu, R., Thomas, C., Ritsema, J.

S1-D.007

Roughness on the CMB

Schliffke, N., Hansen, U., Stein, C.

S1-D.008

Thermochemical Structures in the Deep Mantle: Implications for the Onset of Plate Tectonics

Stein, C., Hansen, U.

S1-D.009

Improving source array processing—Implications for array seismology

Heyn, B., Thomas, C.

S1-D.010

Is the Earth's solid inner core melting? Insights from illuminating mesoscale seismic structure

Attanayake, J., Cormier, V.F., Thomas, C.

S1-D.011

The effect of heterogeneous core-mantle boundary heat flux on thermo-chemical convection in planetary cores

Lüschow, V., Trümper, T., Hansen, U.

S1-D.012

The core structure of Mars as expected to be seen by InSight's seismometer

Hempel, S., Garcia, R.

S1-D.013

Some effects of multiple impacts on the thermochemical evolution of Mars

Ruedas, T.

1-F Near Surface Geophysics – Poster Session 2

Dienstag, 15. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: Foyer Physik

Moderation: Thomas Günther

1-F.001

Image Denoising of Migrated Ultrasonic Echo Data Acquired on Concrete

Sieber, S., Niederleithinger, E., Grohmann, M.

1-F.002

Architecture and seasonal variations of a terrestrial CO₂ degassing site using electric resistivity measurements and CO₂ gas measurements

Nickschick, T., Flechsig, C., Kämpf, H.

1-F.003

Near-surface 2D shear wave velocity mapping of the Hartoušov CO₂ degassing area in the Cheb Basin, NW Bohemia (Czech Republic), using Multichannel Analysis of Surface Waves

Henke, M., Flores Estrella, H.

1-F.004

Untertägige Strukturerkundung in einem Salzkörper mit elektromagnetischen und seismischen Reflexionsverfahren

Musmann, P., Gundelach, V.

1-F.005

Erkundung der Jänschwalder Rinne mittels Geoelektrik und Gravimetrie

Dinsel, F., Rücker, C., Petzold, H., Börner, F.

5-D Extraterrestrial Physics – Oral Session 4 – Planeten und kleine Körper II

Dienstag, 15. März 2016 | 11:00–12:00 | Raum: HSAP

Moderation: Joachim Saur

11:00–11:15 **5-D.001**

Die globale Verteilung von Schwefelsäure in der Venusatmosphäre

Oschlisniok, J., Pätzold, M., Häusler, B., Tellmann, S., Bird, M.K., Andert, T.

11:15–11:30 **5-D.002**

Der Ursprung von kleinskaligen Störungen in der unteren Tagionosphäre des Mars

Peter, K., Pätzold, M., Molina-Cuberos, G., Witasse, O., Tellmann, S., Häusler, B., Bird, M.K.

11:30–11:45 **5-D.003**

3D-MHD modeling of the influence of Uranus' unusual magnetic field geometry on the magnetospheric structure

Koch, T., Saur, J.

11:45–12:00 **5-D.004**

Numerical Modeling of the Formation of Large Impact Basins on the Moon – A case-study of the Orientale Basin

Wünnemann, K., Zhu, M.-H.

S3 Data, Models, and Reality – Plenary Talk S3

Dienstag, 15. März 2016 | 13:00–14:00 | Raum: HS1

Moderation: Karin Sigloch

13:00–14:00 **PL-S3.001**

Multiscale imaging of the Earth–From sedimentary basins to the deep mantle

Fichtner, A., Afanasiev, M.

6-C Geophysical Methods – Oral Session 3 – Seismik

Dienstag, 15. März 2016 | 14:00–15:15 | Raum: HS1

Moderation: Bodo Lehmann

14:00–14:15 **6-C.001**

Parallele akustische Reverse-Time-Migration

Morgenstern, R., Hellwig, O., Buske, S.

14:15–14:30 **6-C.002**

3D Abbild im Bereich der KTB durch Anwendung der Fresnel Volumen Migration auf den ISO89 Datensatz

Hlousek, F., Buske, S.

14:30–14:45 **6-C.003**

Integrierte Scherwellen-Seismik bei einer 3D-Seismik für geothermische Exploration in München

Wawerzinek, B., Lüschen, E., Ziesch, J., Buness, H., Thomas, R., Fluch, M.

14:45–15:00 **6-C.004**

Anwendung der Wellenforminversion bei marinen Dual-Sensor-Streamer-Daten

Thiel, N., Kurzmann, A., Bohlen, T.

15:00–15:15 **6-C.005**

Einbindung von realistischen geologischen 3D Modellgeometrien in parallele seismische Finite-Differenzen-Simulationen

Hellwig, O., Zehner, B., Linke, M., Görz, I., Buske, S.

3-C Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere – Oral Session 3

Dienstag, 15. März 2016 | 14:00–15:15 | Raum: HS2
Moderation: Torsten Dahm

14:00–14:15 **3-C.001**

Velocity structure and earthquake cluster analysis in the West Bohemia Seismic Zone: A comparison from different earthquake swarms

Alexandrakis, C., Löberich, E., Calo, M., Vavryčuk, V., Buske, S.

14:15–14:45 **3-C.002**

The crustal structure along the 1999 Izmit/Düzce rupture of the North-Anatolian Fault

Rost, S., Taylor, G., Houseman, G., Cornwell, D., Thompson, D., Kahraman, M.

14:45–15:00 **3-C.003**

Kurzperiodische Arraymessungen am BFO: Potential für in-situ Störungssystem-Kartierung und regionale seismische Überwachung

Mokelke, G., Santoyo Campos, J.C., Joswig, M.

15:00–15:15 **3-C.004**

New seismic signatures from the cross-correlation of scattered wavefields in fault zone environments

Hillers, G., Campillo, M., Ben-Zion, Y., Roux, P.

2-C Exploration and Monitoring – Oral Session 3 – Geothermal

Dienstag, 15. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: C1
Moderation: Nicolai Gestermann

14:00–14:15 **2-C.001**

Temperature Sensor Module–A new tool for groundwater flow measurements

Michalski, A.

14:15–14:30 **2-C.002**

Reprocessing of a 3D seismic data set from a geothermal field in mid-southern Tuscany (Italy)

Jusri, T., Bertani, R., Dini, I., Ciuffi, S., Buske, S.

14:30–14:45 **2-C.003**

VSP in the Krafla Geothermal Field, NE-Iceland

Kästner, F., Halldórsdóttir, S., Hersir, G.P., Planke, S., Giese, R., Gunnarsson, K., Guðmundsson, A., Juliusson, E., Flóvenz, O.G.

14:45–15:00 **2-C.004**

Vertical seismic profiling & Piggy Back experiment in a geothermal area in mid-southern Tuscany

Schreiter, L., Thorwart, M., Bertani, R., Dini, I., Ciuffi, S., Rabbel, W., Buske, S.

15:00–15:15 **2-C.005**

Bruchzonen-Charakterisierung mithilfe quantitativer Auswertung reflektierter mikroseismischer Wellenformen

Oelke, A., Gutjahr, S., Kummerow, J., Reshetnikov, A., Shapiro, S.A.

15:15–15:30 **2-C.006**

Induced seismicity generated by numerical pore pressure modeling and poroelastic stress modeling: Case study Unterhaching geothermal reservoir

Kilicer, N., Dinske, C.

6-F Geophysical Methods – Oral Session 6 – Magnetotellurik und Elektromagnetik

Dienstag, 15. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: C2

Moderation: Kristina Tietze

14:00–14:15 **6-F.001**

Effect of seafloor topography on time domain marine electromagnetic method responses

Cai, J., Tezkan, B., Li, Y.

14:15–14:30 **6-F.002**

Three-dimensional inversion results for an all-at-once approach in magnetotellurics

Wilhelms, W., Börner, R.-U., Spitzer, K.

14:30–14:45 **6-F.003**

Magnetotellurik in Odenwald: eine Machbarkeitsstudie mittels multivariater Auswerteverfahren

Hering, P., Junge, A., Winter, H., Lauritsen, N.

14:45–15:00 **6-F.004**

Magnetotelluric exploration in San Felipe (Mexico) for geothermal purposes

Ruiz-Aguilar, D., Tezkan, B.

15:00–15:15 **6-F.005**

Controlled Source RMT Measurements in Vuoksa Region, Russia

Muttaqien, I., Tezkan, B.

15:15–15:30 **6-F.006**

Cluster Analysis to identify lithology from geophysical borehole data

Methe, P., Goepel, A., Kukowski, N.

5-E Extraterrestrial Physics – Oral Session 5 – Planeten und kleine Körper III

Dienstag, 15. März 2016 | 14:00–15:15 | Raum: HSAP
Moderation: Joachim Saur

14:00–14:30 **5-E.001**

The “EnEx–Enceladus Explorer Initiative”

Funke, O.

14:30–14:45 **5-E.002**

EnEx-RANGE–Akustische Navigationstechnologien in Eis für eine zukünftige Raumfahrtmission

Zierke, S., Eliseev, D., Heinen, D., Linder, P., Scholz, F., Weinstock, L.S., Wiebusch, C.

14:45–15:00 **5-E.003**

Magnetohydrodynamic model of Europa’s interaction with Jupiter’s magnetosphere: Influence of inhomogeneities in Europa’s atmosphere on the plasma environment

Blöcker, A., Saur, J., Roth, L.

15:00–15:15 **5-E.004**

Structure and Density of Callisto’s Atmosphere from a Kinetic Model of the Ionospheric Electron Population

Hartkorn, O., Saur, J., Strobel, D.F.

S1-C Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors – Oral Session 3 – Core Dynamics and Planetary Interiors

Dienstag, 15. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: A1
Moderation: Claudia Stein

14:00–14:15 **S1-C.001**

The Layered Nature of Planetary Mantle Evolution

Dude, S., Hansen, U., Schuberth, B.S.A.

14:15–14:30 **S1-C.002**

Rough layers in planetary mantles

Hansen, U., Stein, C.

14:30–14:45 **S1-C.003**

The role of basin-forming impact in the global lunar evolution

Rolf, T., Zhu, M.-H., Wünnemann, K., Werner, S.

14:45–15:15 **S1-C.004**

Driving planetary dynamos: thermal, compositional, iron snow and stable layers

Christensen, U.

15:15–15:30 **S1-C.005**

Decadal and Intradecadal variation in Earth rotation – a probe of deep Earth processes

Holme, R.

S3-A Data, Models, and Reality – Oral Session 1

Dienstag, 15. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: O1

Moderation: Boris Kaus

14:00–14:15 **S3-A.001**

Comparison between the post-rift subsidence evolution of the Colorado Basin, SE South America, and the Orange Basin, SW Africa

Dressel, I., Scheck-Wenderoth, M.

14:15–14:30 **S3-A.002**

Tides to sense the Earth

Grayver, A., Schnepf, N., Kuvshinov, A., Nair, M., Sabaka, T., Olsen, N.

14:30–14:45 **S3-A.003**

The present-day geodynamics of the India-Asia collision system

Baumann, T.S., Kaus, B., Popov, A.A., Bauville, A.

14:45–15:00 **S3-A.004**

Stochastic inversion for permeability estimation in a hard-rock aquifer

Bruckmann, J.

15:00–15:15 **S3-A.005**

Permeability of fractured rocks – insights from mechanical and hydraulic simulations

Abe, S.

15:15–15:30 **S3-A.006**

Ein Erdbebeninformationsdienst mit Free und Open-Source Tools

Jüngling, S., Schroeder, M., Lühr, B.-G., Woith, H., Wächter, J.

S4-C Space Weather and Global Induction – Poster Session 1

Dienstag, 15. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Chemie
Moderation: Miriam Sinnhuber, Alexey Kuvshinov, Thomas Wiegelmann

S4-C.001

Particle-induced NO production in the mesosphere and lower thermosphere measured by SCIAMACHY

Bender, S., Sinnhuber, M., Burrows, J., Langowski, M.

S4-C.002

Determining upper mantle electrical conductivity from solar quiet variations

Guzavina, M., Becken, M., Kuvshinov, A., Koch, S., Püthe, C.

S4-C.003

A numerical method for automated SSC detection using ground based magnetic observations

Brunke, H.-P., Matzka, J., Morschhauser, A., Stolle, C.

S4-C.004

Proton energy spectra during ground level enhancements as measured by EPHIN aboard SOHO

Heber, B., Herbst, K., Dresing, N., Klassen, A., Kühl, P.

S4-C.005

Mini neutron monitor measurements at the Neumayer III station and on the German research vessel Polarstern

Heber, B., Galsdorf, D., Gieseler, J., Herbst, K., Walter, M., Krüger, H.

7-C History, Outreach and Education – Poster Session 1

Dienstag, 15. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Chemie
Moderation: Ellen Gottschämmer

7-C.001

M.Sc. Programme in Applied Geosciences and Applied Geophysics at RWTH Aachen University

Sieber, S., Wellmann, J.F., Heinzmann, K., Hruska, M., Clauser, C., Van der Kruk, J.

7-C.002

Masterstudiengang Geotechnologie mit Kernfach Angewandte Geophysik an der TU Berlin

Yaramanci, U., Börner, F.

7-C.003

Masterstudiengang „Physik der Erde und Atmosphäre“ Universität Bonn

Zoporowski, A., Kemna, A.

7-C.004

Der Masterstudiengang Physik mit geophysikalischem Schwerpunkt an der TU Braunschweig

Hördt, A.

7-C.005

Der Hamburger Masterstudiengang Geophysik

Vanelle, C., Dehghani, A., Becker, D.

7-C.006

Das MSc-Studium der Geophysik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Kukowski, N., Jahr, T., Goepel, A., Paschke, M., Methe, P.

7-C.007

Masterstudiengang Geophysik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Gottschämmer, E., Bohlen, T.

7-C.008

The Master program „Physics of the Earth and Atmosphere“ at the Institute of Geophysics and Meteorology, University of Cologne

Gurk, M., Wennmacher, A.

7-C.009

Der Masterstudiengang „Geowissenschaften: Umweltdynamik und Georisiken“ an der Universität Leipzig

Schmidt, A., Korn, M., Ehrmann, W.

7-C.010

Der Masterstudiengang Geophysik in Münster

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

7-C.011

Universität Potsdam: Masterstudiengang Geowissenschaften (Vertiefungsrichtung Geophysik)

Tronicke, J., Krüger, F.

3-F Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere – Poster Session 2

Dienstag, 15. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Chemie
Moderation: Jörg Ebbing

3-F.001

Location and wavefield attributes of long-period signals at Villarrica volcano (Chile), determined by array and polarization-moveout analysis

Lehr, J., Thorwart, M., Rabbel, W.

3-F.002

Rayleigh Wave Azimuthal Anisotropy beneath the Hawaiian Swell–Evidence for plume-related mantle flow

Laske, G., Marzen, R.

3-F.003

New Gravity and Magnetics Maps of the Southern Part of the Baltic Sea

Dehghani, A.

3-F.004

NAF-Submarine Canyon in the Gulf Izmit of the Marmara Sea-Turkey

Senoz, M.

3-F.005

Kane Basin, Nares Strait: Sudden transition between undeformed sediments of Greenland and folded sediments of Ellesmere Island

Ehrhardt, A., Schnabel, M., Damm, V.

5-I Extraterrestrial Physics – Poster Session 1

Dienstag, 15. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Chemie
Moderation: Thomas Wiegelmann

5-I.001

X-ray and EUV radiation of solar flares and its ionospheric response on GNSS measurements

Wenzel, D., Berdermann, J., Hoque, M.M., Jakowski, N.

5-I.002

The turbulent cascade near Earth: Total energy transfer and its calculation with third-order structure functions

Meinhardt, G., Saur, J., Banerjee, S.

5-I.003

Ionospheric behaviour during the solar eclipse of March 20, 2015

Danielides, M.

5-I.004

Effects of inclined star-disc encounter on protoplanetary disc size

Bhandare, A., Breslau, A., Pfalzner, S.

5-I.005

Constraints on the thermal, electrical and elastic properties of the Moon

Nawa, V.

5-I.006

Auswirkung der Plasmatemperatur auf MHD-Wellen bei der Interaktion eines Mondes mit dem umgebenden Plasma

Fischer, C., Saur, J., Blöcker, A.

5-I.007

Anelastic versus fully compressible rotating Rayleigh-Benard convection

Lischper, M.

5-I.008

Injection of solar energetic particles into both loop legs of a magnetic cloud

Dresing, N., Gómez-Herrero, R., Heber, B., Hidalgo, M.A., Klassen, A., Temmer, M., Veronig, A.

5-I.009

Dissipation Model for Solar Wind Turbulence by Kinetic Alfvén Waves at Electron Scales

Schreiner, A., Saur, J.

5-I.010

Determination of characteristics of solar energetic particle events near Earth based on neutron monitor data for the assessment of radiation dose rates at flight altitudes

Steigies, C., Bütikofer, R., Heber, B., Galsdorf, D.

5-I.011

Comparison of Optical and Radio Observations of Coronal Mass Ejection

Lu, L., Inhester, B., Feng, L.

5-I.012

Anisotropy in Solar Wind Turbulence Depending on the Local Magnetic Field Scales

Gerick, F., Saur, J., von Papen, M.

5-I.013**Anelastic Versus Fully Compressible Turbulent Rayleigh-Bénard Convection**

Verhoeven, J., Stellmach, S., Wiesehofer, T.

5-I.014**PANDOCA-Professional Aviation DOse Calculator**

Matthiä, D., Meier, M.M.

5-I.015**Auto correlation length of increment time series**

Link, T., Saur, J.

5-I.016**A Space Weather Index for the Radiation Field at Aviation Altitudes**

Meier, M.M., Matthiä, D.

1-G Near Surface Geophysics – Poster Session 3

Dienstag, 15. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Physik

Moderation: Thomas Günther

1-G.001**The influence of hydrogeological and structural conditions on geophysical measurements in the Geodynamic Observatory Moxa, Germany**

Methe, P., Goepel, A., Jahr, T., Paschke, M., Schwarze, C., Ehrenmann, K., Esefelder, R., Iwakiri, S., Kukowski, N.

1-G.002**Nachweis einer elektrischen Leitfähigkeitsanisotropie im Rheinischen Schiefergebirge mit scheinbaren spezifischen Widerstandstensoren**

Löwer, A., Junge, A., Günther, T., Grinat, M., Hering, P.

1-G.003**Monitoring of root systems at the field scale by means of electrical impedance tomography: a numerical feasibility study**

van Treeck, S., Weigand, M., Kemna, A.

1-G.004**Electrical impedance spectroscopy measurements on plant roots: monitoring of day-night cycles of root activity**

Stamm, M., Weigand, M., Kemna, A.

1-G.005

Kopplung von ERT (Electrical Resistivity Tomography) und DP-EC logs (Direct push electrical conductivity) für eine verbesserte geoarchäologische Interpretation

Wunderlich, T., Fischer, P., Rabbel, W., Vött, A., Willershäuser, T.

1-G.006

Untersuchung der Messgenauigkeit des CMD-MiniExplorers unter Feldbedingungen

Folkers, I., Wunderlich, T., Rabbel, W.

1-G.007

Limitations of shallow refraction seismic method

Seisa, H.H., Khalil, M.M., Khalil, M.M.

1-G.008

Methods for local dispersion curve estimation

Fernandez, M.R., Edme, P., Singh, S.

1-G.009

Tests zur Wellenforminversion der aus Ambient Noise ermittelten Green'schen Funktion zur Analyse des oberflächennahen Untergrundes

Wiesenberg, L., Meier, T.

1-G.010

Wellenforminversion zur Untersuchung der Verwitterung von Marmor

Steinkraus, T., Eckel, F., Sobott, R., Siegesmund, S., Meier, T., Auras, M.

Mittwoch, 16. März 2016
Vorträge/Poster

3-D Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere – Oral Session 4

Mittwoch, 16. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: HS2
Moderation: Maria Cherevatova

09:00–09:15 **3-D.001**

Advanced seismic imaging techniques characterize the Alpine Fault at the DFDP-2 drill site in Whataroa (New Zealand)

Lay, V., Buske, S., Lukács, A., Gorman, A., Schmitt, D.R., Bannister, S.

09:15–09:30 **3-D.002**

Anisotropic velocity model building and imaging around the COSC-1 borehole, central Sweden

Simon, H., Krauß, F., Hedin, P., Buske, S., Giese, R., Juhlin, C.

09:30–09:45 **3-D.003**

Electrical conductivity structure of the mantle beneath the Tristan da Cunha hotspot area in southern Atlantic

Chen, J., Baba, K., Jegen, M., Utada, H., Geissler, W.

09:45–10:00 **3-D.004**

Anisotropic Asthenosphere under the Pyrenees–A 3-D Modeling Study of the Orogen

Cembrowski, M., Junge, A., Campanyà, J., Ledo, J.

10:00–10:15 **3-D.005**

Integrated geophysical modelling of the Arabian plate

Fröchtenicht, T., Ebbing, J., Mooney, W.D.

10:15–10:30 **3-D.006**

Analyse von Satelliten-Schweregradienten als Grundlage zur Entwicklung eines Lithosphärenmodells des antarktischen Kontinents

Pappa, F., Ebbing, J., Haas, P.

5-F Extraterrestrial Physics – Oral Session 6 – Sonne und Heliosphäre I

Mittwoch, 16. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: HSAP
Moderation: Bernhard Kliem, Thomas Wiegmann

09:00–09:15 **5-F.001**

Coronal Active Region Modeling based on SDO Data

Barra, S.

09:15–09:30 **5-F.002****MHD Simulations of Flux Rope Eruption and Reformation**

Hassanin, A., Kliem, B.

09:30–09:45 **5-F.003****Data-constrained MHD Simulation of Magnetic Reconnection and Untwisting in a Solar Filament Eruption**

Kliem, B., Su, Y., Yan, X.

09:45–10:00 **5-F.004****Predicting the arrivals at Earth of interplanetary shocks and the Shock Propagation Models (SPMs)**

Zhao, X.H., Feng, X.S., Inhester, B., Wiegmann, T.

10:00–10:15 **5-F.005****Electron acceleration at slow-mode shocks in the magnetic reconnection region in solar flares**

Mann, G.

10:15–10:30 **5-F.006****Efficiency of particle acceleration at interplanetary shocks: Statistical study of STEREO observations**

Theesen, S., Dresing, N., Klassen, A., Heber, B.

S2-A Noise – Oral Session 1 – Characteristics of seismic (and other) noise

Mittwoch, 16. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: A1

Moderation: Ulrich Wegler

09:00–09:30 **S2-A.001****A high-resolution and calibrated model of man-made seismic noise for Europe**

Kraft, T.

09:30–09:45 **S2-A.002****Seismological and Meteorological Measurements to Investigate the Impact of Wind on Seismic Signals**

Lott, F., Al-Qaryouti, M., Ritter, J., Corsmeier, U.

09:45–10:00 **S2-A.003****Influence of Wind Turbines on Seismological Records**

Stammler, K., Ceranna, L.

10:00–10:15 **S2-A.004**

The coherent infrasound noise field—a global view

Ceranna, L., Le Pichon, A.

10:15–10:30 **S2-A.005**

Oceanic excitation of the Earth's Hum

Häfner, R., Widmer-Schmidrig, R.

7-B History, Outreach and Education – Oral Session 2 – Outreach

Mittwoch, 16. März 2016 | 09:00–09:45 | Raum: O1

Moderation: Ellen Gottschämmer

09:00–09:15 **7-B.001**

„GEO an alle“: Die geowissenschaftliche Öffentlichkeitsarbeit der GeoUnion

Ellger, C.

09:15–09:45 **7-B.002**

Kann die Umwelt 50 TW zusätzlich Energie verkraften?

Jacoby, W.

S2-D Noise – Poster Session 1

Mittwoch, 16. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: Foyer Chemie

Moderation: Katrin Löer, Ulrich Wegler, Céline Hadziioannou

S2-D.001

Seismische Störsignale in einem urbanen Untersuchungsgebiet

Reichel, H., Schneider, F., Becker, D.

S2-D.002

Inversion seismischer Noise-Korrelationen nach der Quellverteilung

Ermert, L., Afanasiev, M., Sager, K., Gokhberg, A., Fichtner, A.

S2-D.003

What is the contribution of scattering to the Love-to-Rayleigh ratio in ambient microseismic noise?

Ziane, D., Hadziioannou, C.

S2-D.004**Analyse der Meeresmikroseismik an der seismologischen Station Helgoland (HLG)**

Peikert, J., Cristiano, L., Jahr, T., Meier, T.

S2-D.005**Direction dependent Love and Rayleigh wave noise characteristics using multiple arrays across Europe**

Juretzek, C., Perleth, M., Hadziioannou, C.

S2-D.006**Ambient noise generated by storms and hurricanes in the deep sea**

Perleth, M., Juretzek, C., Hadziioannou, C.

S2-D.007**Seasonal variations of seismic noise sources in the western Ross Sea, Antarctica**

Schmidt-Aursch, M., Lee, W.S., Hong, J.K., Geissler, W., Yun, S.

S2-D.008**Seismic Noise Interferometry on Ice**

Preiswerk, L.E., Walter, F.

S2-D.009**Glacial hydraulics revealed by ambient seismic noise**

Lindner, F., Walter, F.

S2-D.010**Ambient seismic noise analysis to reveal submarine permafrost depth**

Haberland, C., Overduin, P., Ryberg, T., Kneier, F., Jacobi, T., Grigoriev, M., Ohrnberger, M.

S2-D.011**Imaging fluid channels within the NW Bohemia/Vogtland region using ambient seismic noise and MFP Analysis**

Umlauft, J., Flores Estrella, H., Korn, M.

S2-D.012**Monitoring seismic wave speed changes during and after earthquakes near Parkfield: location and depth dependence**

Hadziioannou, C., Hable, S., Obermann, A., Konca, O., Campillo, M.

S2-D.013**Towards a Full Waveform Ambient Noise Inversion**

Sager, K., Ermert, L., Böhm, C., Fichtner, A.

S2-D.014**Core phases constructed from cross-correlations of 2013 Okhotsk earthquake reverberations confirm dominance of waves traveling along the great circle path**

Eulenfeld, T.

6-J Geophysical Methods – Poster Session 2 – Elektromagnetik

Mittwoch, 16. März 2016 | 10:30–12:00 | Raum: Foyer Chemie
Moderation: Kristina Tietze

6-J.001

Three-dimensional transient electromagnetic modelling using rational Krylov methods

Börner, R.-U., Ernst, O.G., Güttel, S.

6-J.002

Direct meshfree magnetotelluric modeling

Wittke, J., Tezkan, B.

6-J.003

Development of the multi-resolution grid modelling for CSEM

Cherevatova, M., Smirnov, M., Egbert, G.

6-J.004

Influence of steel infrastructure on transient electromagnetic fields

Bär, M., Börner, J.H., Börner, R.-U., Spitzer, K.

6-J.005

Individual and joint inversion of DC resistivity and EM methods

Weißflog, J., Eckhofer, F., Börner, R.-U., Eiermann, M., Ernst, O.G., Spitzer, K.

6-J.006

Laterally and Spatially Constrained Inversion of Transient Electromagnetic Data from Sedimentary Basins in the East-African Rift Valley

Seidel, M., Tezkan, B., Yogeshwar, P.

6-J.007

Radiomagnetotellurische Messungen zur Erkundung der oberflächennahen Leitfähigkeitsstruktur bei Schleiz/ Thüringen

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

6-J.008

Mare2DEM on land: MT Data from the Cape Fold Belt (South Africa) revisited

Rulff, P., Weckmann, U.

6-J.009

1D Inversion for Electromagnetic Induction (EMI) Measurements from Multiple Elevations

Tan, X., Mester, A., Zimmermann, E., van der Kruk, J.

6-J.010

Towards airborne magnetic field measurements with fluxgate and induction coil sensors in the DESMEX Project

Nittinger, C., Cherevatova, M., Becken, M., Steuer, A.

6-J.011

Simulation of guided GPR waves for soil moisture sounding

Stadler, S., Igel, J.

6-J.012

FDTD simulations of GPR using a realistic multi-Debye description of lossy and dispersive media

Loewer, M., Igel, J.

6-J.013

Homomorphe Dekonvolution von Radargrammen

Donner, E.

6-J.014

Wie gut sind rechteckförmige Anregungssignale für Spektrale IP Messungen geeignet?

Radic, T.

6-J.015

Technische Umsetzung einer robusten akustischen Navigation in Gletschereis

Weinstock, L.S., Eliseev, D., Heinen, D., Linder, P., Scholz, F., Wickmann, S., Wiebusch, C., Zierke, S.

6-J.016

Schnelles Glasfaser basiertes 7-kanaliges digitales Signalübertragungssystem für Ultraschall Bohrlochsonden und andere Anwendungen.

Radic, T.

5-G Extraterrestrial Physics – Oral Session 7 – Sonne und Heliosphäre II

Mittwoch, 16. März 2016 | 11:00–12:00 | Raum: HSAP

Moderation: Bernhard Kliem, Thomas Wiegelmann

11:00–11:15 **5-G.001**

Turbulence Evolution in the CME-disturbed Solar Wind

Wiengarten, T., Fichtner, H., Kleimann, J., Kissmann, R.

11:15–11:30 **5-G.002**

An Improved Setup to Calculate Propagation Times of Jovian Electrons

Vogt, A., Du Toit Strauss, R., Heber, B., Kopp, A., Köhl, P., Potgieter, M.

11:30–11:45 **5-G.003**

On the geometry of the IBEX Ribbon

Sylla, A.

11:45–12:00 **5-G.004**

Effects of Solar and Galactic Cosmic Rays

Curdt, W., Fleck, B.

S2 Noise – Plenary Talk S2

Mittwoch, 16. März 2016 | 13:00–14:00 | Raum: HS1

Moderation: Céline Hadziioannou

13:00–14:00 **PL-S2.001**

Seismic imaging without source: beyond surface wave tomography

Campillo, M.

6-D Geophysical Methods – Oral Session 4 – Seismologie

Mittwoch, 16. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: HS1

Moderation: Stefanie Donner

14:00–14:30 **6-D.001**

Bridging Geodesy and Seismology – a global approach to combine InSAR and teleseismic waveforms for improved imaging of crustal earthquakes

Sudhaus, H., Heimann, S., Krüger, F., Steinberg, A., Dahm, T.

14:30–14:45 **6-D.002**

Seismic Moment Tensors of Acoustic Emissions Recorded During Laboratory Rock Deformation Experiments: Sensitivity to Attenuation and Velocity Anisotropy

Stierle, E., Vavryčuk, V., Kwiatek, G., Charalampidou, E.-M., Bohnhoff, M.

14:45–15:00 **6-D.003**

Inversion for seismic moment tensors from translational and rotational ground motions

Donner, S., Bernauer, M., Igel, H.

15:00–15:15 **6-D.004**

Drifting tabular iceberg signals observed at seismic stations in Dronning Maud Land, Antarctica

Schweitzer, J., Pirli, M., Matsuoka, K., Moholdt, G.

15:15–15:30 **6-D.005**

Q Estimation from earthquake clusters recorded at high frequencies: Application to the NW Bohemia swarm region

Kriegerowski, M., Cesca, S., Krüger, F., Dahm, T., Horálek, J.

1-C Near Surface Geophysics – Oral Session 3

Mittwoch, 16. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: HS2

Moderation: Tina Wunderlich

14:00–14:30 **1-C.001**

Regionale Charakterisierung von Bodeneigenschaften durch die Kombination von Methoden aus Fernerkundung, Geophysik und Bodenkunde

Meyer, U., Fries, E., Frei, M.

14:30–14:45 **1-C.002**

Einsatz geophysikalischer Verfahren zur Erstellung von Planungskarten für die Nutzung oberflächennaher Geothermie

Kirsch, R., Thomsen, C., Bätzner, K., Wolf, A., Wiederhold, H.

14:45–15:00 **1-C.003**

Geophysikalisches und petrophysikalisches Monitoring von Lösungsprozessen in Kalirückstandshalden

Dünnbier, K., Schicht, T., Thiemann, K., Börner, F.

15:00–15:15 **1-C.004**

Geophysikalische Abbildungsverfahren zur Anwendung auf Ultraschall-Echo-Daten in der zerstörungsfreien Prüfung

Grohmann, M., Niederleithinger, E., Buske, S.

15:15–15:30 **1-C.005**

Coda Wave Interferometry used for monitoring concrete constructions

Niederleithinger, E., Wiggerhauser, H.

2-D Exploration and Monitoring – Oral Session 4 – Minerals/Marine

Mittwoch, 16. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: C1
Moderation: Michael Becken

14:00–14:15 **2-D.001**

Kombinierte Laboruntersuchungen an Schlackenproben

Martin, T., Halisch, M., Kuhn, K.

14:15–14:30 **2-D.002**

Seismic borehole survey in the Kiruna iron ore mine

Giese, R., Juhlin, C., Niklas, J., Virgil, C., Neuhaus, M., Krüger, K., Jurczyk, A.

14:30–14:45 **2-D.003**

Combined interpretation of three-component borehole magnetic and directional seismic measurements

Virgil, C., Neuhaus, M., Hördt, A., Giese, R., Krüger, K., Jurczyk, A., Juhlin, C., Juhojuntti, N.

14:45–15:00 **2-D.004**

Detektierung und Charakterisierung von inaktiven Massivsulfiden im marinen Umfeld mittels transienter Elektromagnetik–eine Fallstudie vom Palinuro Seamount

Hölz, S., Jegen, M.

15:00–15:15 **2-D.005**

Application of 2D Acoustic Full Waveform Inversion to OBC-Data

Kunert, M., Kurzmann, A., Bohlen, T.

15:15–15:30 **2-D.006**

Imaging of Gas Hydrate Deposits in the Black Sea with 2D Acoustic Full Waveform Inversion of OBS data

Gassner, L., Bohlen, T.

6-G Geophysical Methods – Oral Session 7 – Goelektrik, IP, GPR

Mittwoch, 16. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: C2
Moderation: Anita Przyklenk

14:00–14:15 **6-G.001**

Kapazitive Goelektrik auf dem gefrorenen See Prestvannet (Tromsø/ Norwegen)

Przyklenk, A., Hördt, A.

14:15–14:30 **6-G.002****Estrichfeuchteuntersuchungen mit geophysikalischen Methoden – ein Laborversuch**

Kruschwitz, S., Strangfeld, C., Wöstmann, J., Hase, F., Nagel, S.

14:30–14:45 **6-G.003****Temperatur- und Salinitätsabhängigkeit der Grenzflächenleitfähigkeit bei Labormessungen und in einer Theorie der Membranpolarisation**

Bairlein, K., Hördt, A.

14:45–15:00 **6-G.004****Simulation von 2D und 3D Porennetzwerken in der Spektralen Induzierten Polarisation**

Stebner, H., Hördt, A.

15:00–15:15 **6-G.005****2D inversion of DCR and Time Domain IP data using a Finite Element approach on an unstructured mesh: an example from ore exploration**

Adrian, J., Tezkan, B.

15:15–15:30 **6-G.006****Dynamics at fissure eruptions analyzed by video monitoring**

Witt, T., Walter, T.R.

**S4-A Space Weather and Global Induction –
Oral Session 1**

Mittwoch, 16. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: HSAP

Moderation: Miriam Sinnhuber, Alexey Kuvshinov, Thomas Wiegelmann

14:00–14:30 **S4-A.001****CME properties and dynamic evolution in the inner heliosphere**

Temmer, M.

14:30–14:45 **S4-A.002****Near realtime forecasting of MeV protons on the basis of sub relativistic electrons**

Labrenz, J., Heber, B., Köhl, P., Sarlanis, C., Malandraki, O., Posner, A.

14:45–15:00 **S4-A.003****Computation of cosmic ray particle trajectories in the Earth's magnetic field by utilizing different magnetic field models**

Galsdorf, D., Bütikofer, R., Heber, B., Steigies, C., Herbst, K.

15:00–15:15 **S4-A.004****F region postsunset plasma structures at low latitudes deduced from the Swarm satellite constellation**

Stolle, C., Xiong, C., Kervalishvili, G., Lühr, H., Rauberg, J., Michaelis, I.

15:15–15:30 **S4-A.005**

Modelling of the solar eclipse of 20 March 2015 and its influence on VLF measurements at different radio transmissions

Wenzel, D., Berdermann, J., Jakowski, N.

S2-B Noise – Oral Session 2 – New methodologies using ambient noise

Mittwoch, 16. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: A1

Moderation: Céline Hadziioannou

14:00–14:30 **S2-B.001**

Time reversal, cross-correlation and resolution of the near-field: A new seismological imaging approach based on properties of collapsing surface wavefields

Hillers, G., Campillo, M., Ben-Zion, Y., Roux, P.

14:30–14:45 **S2-B.002**

Imaging changes at depth in elastic media using coda waves

Obermann, A., Planès, T., Hadziioannou, C., Campillo, M.

14:45–15:00 **S2-B.003**

Microtremor $H/V(z,f)$ spectral ratio modeling using the diffuse field assumption and the Thomson-Haskell formulation: Considering a fluid layer on top

Lontsi, A.M., Molina-Villegas, J.C., Sánchez-Sesma, F.J., García-Jerez, A., Ohrnberger, M., Krüger, F.

15:00–15:30 **S2-B.004**

Improved surface-wave response from ambient noise in Malargüe, Argentina, using seismic interferometry by multidimensional deconvolution

Weemstra, C., Draganov, D., Ruigrok, E., Wapenaar, K., Gomez, M.

4-A Geohazards – Oral Session 1

Mittwoch, 16. März 2016 | 14:00–15:30 | Raum: O1

Moderation: Fabrice Cotton

14:00–14:15 **4-A.001**

Deformationsanalyse zum Verständnis rutschungsinduzierter seismischer Signale an der Super-Sauze Hangrutschung

Rothmund, S., Häfner, R., Joswig, M.

14:15–14:30 **4-A.002**

Seismic detection and characterization of gravitational mass movements

Fuchs, F., Lenhardt, W., Bokelmann, G.

14:30–14:45 **4-A.003****Seismic monitoring of soft-rock landslides: New case study at Pechgraben–Upper Austria**

Vouillamoz, N., Santoyo Campos, J.C., Ottowitz, D., Jochum, B., Pfeiler, S., Supper, R., Joswig, M.

14:45–15:00 **4-A.004****Seismic monitoring of the Aaknes rockslide**

Kühn, D., Fischer, T., Roth, M.

15:00–15:15 **4-A.005****Bodenbewegungsdienst Deutschland – Konzept, Pilotanwendungen und weiteres Vorgehen**

Lege, T., Kalia, A., Frei, M.

15:15–15:30 **4-A.006****Untersuchung von Subrosionsstrukturen in Bad Frankenhausen mittels hochauflösender SH-Wellen Reflexionsseismik**

Wadas, S., Polom, U., Krawczyk, C.M.

4-C Geohazards – Poster Session 1

Mittwoch, 16. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Chemie

Moderation: Marion Miensopust

4-C.001**Simulation of Ground Motions from the 1759 Lebanon Earthquake for Archaeoseismic Studies**

Schwellenbach, I., Hinzen, K.-G.

4-C.002**Imaging the concealed section of the Whakatane fault below Whakatane city, New Zealand, using a shear wave land streamer system**

Polom, U., Müller, C., Krawczyk, C.M.

4-C.003**Active Tectonics in Port-au-Prince**

Saint Fleur, N., Feuillet, N., Klinger, Y.

4-C.004**VOLCAPSE: A novel ERC project to study dome building volcanoes in high resolution by satellite radar and camera networks**

Walter, T.R.

4-C.005**Monitoring of volcanic activity at Shiveluch volcano (Kamchatka) with TanDEM-X SAR-Interferometry**

Heck, A., Kubanek, J., Westerhaus, M., Gottschämmer, E., Heck, B., Wenzel, F.

4-C.006

Loss to residential buildings of a re-eruption of the Laacher See Volcano

Leder, J., Gottschämmer, E., Daniell, J., Wenzel, F.

4-C.007

A pilot study for the seismic monitoring of Fogo volcano, Cape Verde, using array techniques: conceptual details and initial results

Dietrich, C., Wölbern, I., Rümpker, G.

4-C.008

Geophysical 4D imaging of the 2004 eruption of Mt. St. Helens volcano: A study of its seismic attenuation and scattering characteristics

Haeger, C., Thomas, C., De Siena, L.

4-C.009

Why shear waves often miss the cavity

Burschil, T., Krawczyk, C.M.

4-C.010

Hochauflösende reflexionsseismische Erkundung von Subrosionsstrukturen und oberflächennahen Störungen in Bad Frankenhausen und Umgebung

Wadas, S., Polom, U., Bunes, H., Krawczyk, C.M.

4-C.011

Erdfallgebiet Bad Frankenhausen: Präzisionsnivellements und zeitabhängige Schweremessungen

Kobe, M., Gabriel, G., Krawczyk, C.M.

4-C.012

Strukturerkundung im Karstgebiet Innerste Mulde, Niedersachsen

Miensopust, M., Günther, T., Igel, J.

4-C.013

Petrophysikalische Untersuchungen zur Verkarstung von Gipsgestein

Mai, F., Börner, F.

6-K Geophysical Methods – Poster Session 3 – Goelektrik, GPR

Mittwoch, 16. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Chemie

Moderation: Anita Przyklenk, Christopher Virgil

6-K.001

Joint inversion of NMR and desaturation data using an angular pore model

Hiller, T., Klitzsch, N.

6-K.002

Beschränkte Diffusion und Relaxationsmoden höherer Ordnung – Eine alternative Auswertung von NMR D-T2 Messungen

Müller-Petke, M.

6-K.003

Evaluierung verschiedener NMR Sequenzen zur Ableitung von Diffusions-Relaxationszeit-Verteilung (D-T2)

Obert, A., Dlugosch, R., Günther, T., Müller-Petke, M.

6-K.004

Quo vadis Oberflächen-NMR – adiabatische Pulse?

Dlugosch, R., Müller-Petke, M.

6-K.005

Sättigungsdehnung an Sandsteinen

Moeller, M., Buntebarth, G., Weller, A.

6-K.006

Charakterisierung von Karbonatgesteinen mittels Spektraler Induzierter Polarisation

Hupfer, S., Halisch, M., Weller, A.

6-K.007

Electrical phenomena during CO₂ sequestration

Börner, J.H., Herdegen, V., Repke, J.-U., Spitzer, K.

6-K.008

Numerical Simulation of Nonlinear Effects in Membrane Polarization

Rezaii, N., Hördt, A.

6-K.009

Spatial and temporal monitoring of subsurface water infiltration processes through Time-lapse ERT at the Super-Sauze landslide (Southern French Alps)

Santoyo Campos, J.C., Rothmund, S., Joswig, M.

6-K.010

2D/3D IP Inversion im Zeitbereich: Synthetische Studien und Feldmessungen

Langenbach, H., Tezkan, B.

6-K.011

Empirische Untersuchung von Kopplungseffekten bei Feldmessungen mittels Spektraler Induzierter Polarisation

Lühns, M., Hördt, A., Bairlein, K.

6-K.012

Magnetic and mineralogical properties of salt rocks

Heinrich, F., Schmidt, V., Schramm, M., Mertineit, M.

6-K.013

Improved aeromagnetic compilations and implications for Curie depth estimates over the Greenland inland ice area

Weise, B., Ebbing, J., Heincke, B.

6-K.014

Inversion of gravity gradient data after noise reduction

Jirigalatu, J., Ebbing, J., Sebera, J.

6-L Geophysical Methods – Poster Session 4 – Seismik

Mittwoch, 16. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Chemie

Moderation: Bodo Lehmann

6-L.001

ActiveSeismoPick3D–automatic first arrival determination for large active seismic arrays

Paffrath, M., Küperkoch, L., Wehling-Benatelli, S., Friederich, W.

6-L.002

Quantifying the error in finite-difference simulation caused by staircase interface

Habelitz, P., Bohlen, T.

6-L.003

Time-domain full waveform inversion adjoint state gradients for the stress-velocity formulation of the visco-elastic problem based on a decomposed impedance matrix

Köhn, D., De Nil, D., Rabbel, W.

6-L.004

NEXD: a software package for high order simulation of seismic waves using the Nodal Discontinuous Galerkin Method

Lambrecht, L., Friederich, W.

6-L.005

Subsampling and comparative analysis of interpolation techniques of the 2D Exact Boundary Condition Method

Athanasopoulos, N., Broggini, F., van Manen, D.J.

6-L.006

Das neue Vibroseis-Fahrzeug der TU Bergakademie Freiberg

Buske, S.

6-L.007

Seismische Untersuchungen im Raum Geyer zur mineralischen Rohstoffexploration

Seupel, C., Buske, S.

6-L.008

Aktuelle Ergebnisse der reflexionsseismischen Erkundung des Tannwald Beckens mit P-Wellen und SH-Wellen

Burschil, T., Bunes, H., Gabriel, G.

6-L.009

A qualitative comparison of seismic imaging methods applied to data from the New Jersey Shelf

Riedel, M., Reiche, S., Buske, S.

2-G Exploration and Monitoring – Poster Session 2 – Geothermal

Mittwoch, 16. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Physik

Moderation: Nicolai Gestermann

2-G.001

Magnitude-frequency distribution of induced seismicity at the Landau and Insheim geothermal sites

Barth, A.

2-G.002

Numerical simulation of fluid flow and local thermal non-equilibrium heat transfer in fractured porous media

Hamidi, S., Galvan, B., Heinze, T., Kemna, A., Miller, S.A.

2-G.003

Tracer-based flow-storage repartitions characterizing geothermal reservoirs: a Malm aquifer example (Sauerlach/Munich area), and the ‘truncated signal’ issue

Dewi, D.S., Ghergut, J., Behrens, H., Sauter, M.

2-G.004

Tracermethodische Entwicklungen im BMWi-Vorhaben TRENDS

Ghergut, J., Behrens, H., Sauter, M.

2-G.005

Integrated Borehole Geophysics at the Kimberly Borehole, Idaho

Naumann, F., Schmitt, D.R., Buske, S., Shervais, J.W., Liberty, L.

2-G.006

Geothermal gradients at hydrothermal areas of Georgia

Buntebarth, G., Sangin, S., Melikadze, G., Weller, A.

2-G.007

A dynamic heat transfer coefficient between fractured rock and flowing fluid

Heinze, T., Hamidi, S., Galvan, B., Miller, S.A.

2-G.008

Continuous magneto-telluric monitoring at Rittershoffen geothermal site, northern Alsace

Abdelfettah, Y., Saillhac, P., Schill, E., Larnier, H.

2-G.009

Development of an in-situ thermal conductivity measurement system for exploration of the shallow subsurface

Chirila, M.A., Vienken, T., Peter, D., Bumberger, J.

2-H Exploration and Monitoring – Poster Session 3 – Minerals

Mittwoch, 16. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Physik

Moderation: Michael Becken

2-H.001

Aerogeophysikalische Erkundung von metallischen Rohstoffen im Geyerschen Wald / Erzgebirge

Siemon, B., Ibs-von Seht, M., Steuer, A., Pielawa, J., Meyer, U.

2-H.002

DESMEX: A large scale DC dipole-dipole experiment for mineral exploration – Schleiz, Germany

Rochlitz, R., Günther, T.

2-H.003

Projekt DESMEX: Lagerstättensuche in Thüringen–Vorerkundung mit HEM

Steuer, A., Martin, T., Siemon, B., Meyer, U.

2-H.004

Transient-elektromagnetische Messungen bei Schleiz, Thüringen im Rahmen des DESMEX-Projekts

Ossen, D., Tezkan, B., Yogeshwar, P.

2-H.005

A multi-dimensional long offset transient electromagnetic modeling study to investigate deep mineral deposits within the DESMEX project

Mörbe, W., Yogeshwar, P., Tezkan, B.

2-H.006**On the exploration of a marine aquifer offshore Israel by long-offset transient electromagnetics (LOTEM): 1D modelling and results**

Lippert, K., Tezkan, B., Goldman, M.

2-H.007**Petrophysikalische Untersuchungen zur Erkundung tiefer Erzlagerstätten**

Martin, T., Costabel, S., Günther, T.

2-H.008**Ein petrophysikalisches Modell für die Quantifizierung von Nutzmineralgehalten in einer Greisenlagerstätte aus Bohrlochlogs**

Müller-Huber, E., Kühn, K., Maurer, M., Schmidt, S., Börner, F.

2-H.009**Magnetotelluric exploration of the Kautokeino Greenstone Belt near Masi, Norway – preliminary data analysis**

Schmidt, L.M., Becken, M., Gradmann, S.

2-H.010**Advanced field course 2015: Report on MT measurements at the Karasjok Greenstone Belt in northern Norway**

Harpering, D., Helfer, K., Kolhey, P., Lehwald, L., Mann, R., Riedel, M., Schneider, S., Seitzer, B., Ueding, S., Schmalzl, J., Gradmann, S., Becken, M.

2-H.011**Endlagerwissen, Endlagersuche, Endlagerforschung: wohltuende Entkopplung**

Eutsch, D.

1-H Near Surface Geophysics – Poster Session 4

Mittwoch, 16. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Physik

Moderation: Volkmar Schmidt

1-H.001**Gleichstromgeoelektrische Messungen zur Detektierung von archäologisch relevanten Schichten und zur Untersuchung des sedimentologischen Aufbaus des Hügels Shën Mitri, Albanien**

Hamacher, S., Tezkan, B., Yogeshwar, P., Hauck, T.

1-H.002**3D electrical resistivity imaging for archaeological prospecting – two case studies**

Al Saadi, O., Schmidt, V., Becken, M., Schierhold, K.

1-H.003

Archäomagnetische Messungen und Modellierungen zum römischen Kleinkastell Haselheck am Obergermanisch-Raetischen Limes

Mayer, J., Junge, A.

1-H.004

Processing of magnetic and GPR data to improve geophysical imaging of small-scale archaeological structures

Kahlert, L., Schmidt, V., Al Saadi, O.

1-H.005

Integrated GPR and archaeological investigations reveal internal structure of man-made Skiphóll mound in Leiruvogur, Iceland

Wilken, D., Wunderlich, T., Zori, D., Kalmring, S., Rabbel, W., Byock, J.

1-H.006

Radio waves and sand dunes – GPR surveys on mudbrick fortifications in Uzbekistan

Sonnemann, T., Negus Cleary, M.

2-I Exploration and Monitoring – Poster Session 4 – Seismicity

Mittwoch, 16. März 2016 | 15:30–17:00 | Raum: Foyer Physik

Moderation: Charlotte Krawczyk

2-I.001

Automatische kontinuierliche Detektion schwacher, bergbauinduzierter Ereignisse mit Hilfe von Musterereignissen

Fischer, K.D., Wlecklik, D., Friederich, W.

2-I.002

Die Nachfolge von SiMoN: SiMoN+

Kracht, M., Homuth, B., Rämpker, G.

2-I.003

Seismische Echtzeitüberwachung der Geothermiekraftwerke Insheim und Landau

Brüstle, A., Vasterling, M., Schmidt, B., Wegler, U.

2-I.004

The effects of attenuation correction on source parameters of induced microearthquakes

Fielitz, D., Daniel, G., Rosca, A., Bartzeko, A., Wegler, U.

2-I.005

Seismotectonics of Rudbar Fault (Northern Iran) using relocation of events

Jozi Najafabadi, A., Ghods, A.

5-H Extraterrestrial Physics – Oral Session 8 – Sonne und Heliosphäre III

Mittwoch, 16. März 2016 | 16:00–18:00 | Raum: HSAP

Moderation: Bernhard Kliem, Thomas Wiegelmann

16:00–17:00 **5-H.001**

SOHO – die ersten 20 Jahre

Schwenn, R.

17:00–17:30 **5-H.002**

Radiated energy in solar flares: spectral distribution and the physics behind it

Warmuth, A., Mann, G.

17:30–17:45 **5-H.003**

Differences between the heliosphere and astrospheres

Scherer, K., Fichtner, H., Kleimann, J., Bomans, D., Weis, K., Ferreira, S.

17:45–18:00 **5-H.004**

Was the Solar System shaped by its birth environment?

Vincke, K., Pfalzner, S.

Donnerstag, 17. März 2016
Vorträge/Poster

6-E Geophysical Methods – Oral Session 5 – Seismologie

Donnerstag, 17. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: HS1
Moderation: Stefanie Donner

09:00–09:15 **6-E.001**

Aktuelle Messungen des vierten Nukleartests in Nordkorea

Hartmann, G., Ceranna, L., Gestermann, N., Roß, O., Bönnemann, C.

09:15–09:30 **6-E.002**

Nachbebensuche bei der Feldübung IFE14 der CTBTO in Jordanien

Gestermann, N.

09:30–09:45 **6-E.003**

**Seismische Überwachung von Endlagern für radioaktive Abfälle mittels
Nanoseismic Monitoring**

Blascheck, P., Walter, M., Nussbaum, C., Schefer, S., Joswig, M.

09:45–10:00 **6-E.004**

**Recent seismicity in the Rotenburg region–high-resolution monitoring
and reprocessing results**

Gurbisz, Z., Mokolke, G., Walter, M., Sick, B., Blascheck, P., Joswig, M.

10:00–10:15 **6-E.005**

**Automatische Bebenortung mittels Array- und Netzwerk-Kohärenz:
Beispiel norddeutsche Erdgasfelder**

Sick, B., Joswig, M.

10:15–10:30 **6-E.006**

Asymptotic scaling of the back front of injection-induced seismicity

Johann, L., Dinske, C., Shapiro, S.A.

2-E Exploration and Monitoring – Oral Session 5 – Seismicity

Donnerstag, 17. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: C1
Moderation: Charlotte Krawczyk

09:00–09:15 **2-E.001**

**Optimizing event detection and location in low-seismicity zones:
Case study from the Western Swiss Molasse Basin**

Vouillamoz, N., Abednego, M., Wust-Bloch, G.H., Mosar, J.

09:15–09:30 **2-E.002****Induzierte Seismizität – Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Erdbeben und Fracking bei der Erdgasförderung**

Gestermann, N., Li, G., Taranczewski, T., Ceranna, L.

09:30–09:45 **2-E.003****Statusbericht zum Aufbau eines seismischen Kleinarrays am Kleinen Feldberg / Taunus**

Lindenfeld, M., Rumpker, G., Winter, H.

09:45–10:00 **2-E.004****Seismic wave interaction with underground cavities**

Schneider, F., Esterhazy, S., Perugia, I., Bokelmann, G.

10:00–10:15 **2-E.005****Shear wave splitting by arrival time picking at Common Receiver Gather**

Brüning, L., Shimoda, N., Shapiro, S.A.

10:15–10:30 **2-E.006****Seismic borehole measurements with the SPWD-wireline prototype**

Jaksch, K., Giese, R., Poletto, F., Schleifer, A., Virgil, C., Neuhaus, M.

**6-H Geophysical Methods – Oral Session 8 –
Magnetik und Gravimetrie**

Donnerstag, 17. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: C2

Moderation: Christopher Virgil

09:00–09:15 **6-H.001****Inversion of airborne gravity data to infer bathymetry in the Mediterranean around Italy**

Schaller, T., Scheinert, M., Barthelmes, F.

09:15–09:30 **6-H.002****Zur Kombination von Übertage und Untertage-Gravimetrie mit Hilfe hybrider 3D Modellierungen**

Götze, H.-J., Schmidt, S., Menzel, P.

09:30–09:45 **6-H.003****Die Anwendung von *Level-Of-Detail* und *Mesh-Simplification Strategien* zur Vereinfachung komplexer Untergrundmodelle**

Menzel, P., Alvers, M., Barrio-Alvers, L., Götze, H.-J., Schmidt, S., Plonka, C.

09:45–10:00 **6-H.004**

Euler Deconvolution using Full Tensor Magnetic Gradiometry Data

Schiffler, M., Schneider, M., Queitsch, M., Stolz, R., Meyer, H.-G., Kukowski, N.

10:00–10:15 **6-H.005**

Inversion des kompletten magnetischen Gradiententensors zur Ermittlung des totalen Magnetisierungsvektors

Queitsch, M., Schiffler, M., Stolz, R., Rolf, C., Goepel, A., Meyer, M., Meyer, H.-G., Kukowski, N.

10:15–10:30 **6-H.006**

Noise Reduction of Fluxgate Data by joint Interpretation with Induction Coil Data

Brunke, H.-P., Morschhauser, A.

S4-B Space Weather and Global Induction – Oral Session 2

Donnerstag, 17. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: HSAP

Moderation: Miriam Sinnhuber, Alexey Kuvshinov, Thomas Wiegelmann

09:00–09:30 **S4-B.001**

Global EM induction studies. Progress status, challenges and perspectives

Kuvshinov, A.

09:30–09:45 **S4-B.002**

Towards separation of ionospheric and magnetospheric current systems for global EM induction studies

Neddermann, N.-C., Grayver, A., Kuvshinov, A., Becken, M.

09:45–10:00 **S4-B.003**

Solar particle impact on the middle atmosphere: results of global model studies

Nieder, H., Sinnhuber, M., Versick, S., Reddmann, T.

10:00–10:15 **S4-B.004**

Model study of the 27 day solar rotational signal induced by particle precipitation in trace gases in the mesosphere/lower thermosphere

Fytterer, T., Bender, S., Berger, U., Nieder, H., Sinnhuber, M., Wissing, J.M.

10:15–10:30 **S4-B.005**

Space weather services with a global magnetometer network

Matzka, J., Morschhauser, A., Brunke, H.-P., Stolle, C.

S2-C Noise – Oral Session 3 – Applications of ambient noise methods

Donnerstag, 17. März 2016 | 09:00–10:30 | Raum: A1
Moderation: Katrin Löer

09:00–09:30 **S2-C.001**

Transdimensional Love-wave tomography of the British Isles from ambient noise interferometry

Galetti, E., Curtis, A., Baptie, B., Jenkins, D., Nicolson, H.

09:30–09:45 **S2-C.002**

Ice shelf structure of the Ross Ice Shelf, Antarctica, derived from dispersion curve analysis of ambient seismic noise

Diez, A., Bromirski, P.D., Gerstoft, P., Stephen, R.A., Anthony, R., Aster, R., Chen, C., Nyblade, A., Wiens, D.A.

09:45–10:00 **S2-C.003**

Seismological Field Observation of Mesoscopic Nonlinearity

Gassenmeier, M., Sens-Schönfelder, C., Eulenfeld, T., Tilmann, F., Korn, M.

10:00–10:15 **S2-C.004**

Structural Monitoring of a Highway Bridge using Passive Noise Recordings from Street Traffic

Salvermoser, J., Hadziioannou, C., Stähler, S.C.

10:15–10:30 **S2-C.005**

Gemeinsame Auswertung passiver und aktiver seismischer Messungen sowie geologischer Informationen zur Bestimmung der oberflächennahen Struktur

Horstmann, T., Brüstle, A., Spies, T., Schlittenhardt, J., Schmidt, B.

4-B Geohazards – Oral Session 2

Donnerstag, 17. März 2016 | 09:15–10:30 | Raum: O1
Moderation: Joachim Wassermann

09:15–09:30 **4-B.001**

Paläoseismologie in der Niederrheinischen Bucht – Tektonische und anthropogene Bewegungen an der Rurrand-Störung

Lehmann, K., Hovekamp, A., Salamon, M., Poths, M.

09:30–09:45 **4-B.002**

Seismotectonics of southern Haiti: A new faulting model for the 12 January 2010 M7 earthquake

Saint Fleur, N., Feuillet, N., Grandin, R., Jacques, E., Weil-Accardo, J., Klinger, Y.

09:45–10:00 **4-B.003**

Das Illapel-Erdbeben in Zentral-Chile vom 16. September 2015, ein Paradebeispiel für ein charakteristisches Erdbeben

Tilmann, F., Zhang, Y., Moreno, M., Saul, J., Eckelmann, F., Palo, M., Deng, Z., Babeyko, A., Chen, K., Baez, J.-C., Schurr, B., Wang, R., Dahm, T.

10:00–10:15 **4-B.004**

Thermal observation of the 2014 effusive eruption at Stromboli volcano

Zaksek, K., Hort, M., Lorenz, E.

10:15–10:30 **4-B.005**

Rapid dome morphology changes at Mount St. Helens monitored by seismicity and optical camera data

Salzer, J., Thelen, W.A., James, M., Walter, T.R., Moran, S., Denlinger, R.

1-D Near Surface Geophysics – Oral Session 4

Donnerstag, 17. März 2016 | 09:30–10:30 | Raum: HS2

Moderation: Volkmar Schmidt

09:30–09:45 **1-D.001**

Seismische Untersuchungen zur Klärung der tektonischen Genese einer verdeckten Kreidestruktur (Börnersdorf, Osterzgebirge)

Sonnabend, L., Hlousek, F., Buske, S.

09:45–10:00 **1-D.002**

Refraktionsseismische Standsicherheits-Untersuchungen an der Christuskirche Schwelm

Swoboda, U., Kleinwechter, B.

10:00–10:15 **1-D.003**

Geophysikalische Prospektion hellenistischer Grabhügel in Bergama (Türkei)

Mecking, R., Rabbel, W., Erkul, E., Pirson, F.

10:15–10:30 **1-D.004**

Norse period landscape reconstruction in Igaliku (Southern Greenland) using marine geophysics

Wunderlich, T., Wilken, D., Feldens, P., Preston, J., Mehler, N.

S4 Space Weather and Global Induction – Plenary Talk S4

Donnerstag, 17. März 2016 | 13:00–14:00 | Raum: HS1
Moderation: Miriam Sinnhuber, Thomas Wiegelmann

13:00–14:00 **PL-S4.001**

Magnetic Storms and the Electric Power Grid

Pulkkinen, A.

Abstracts

Öffentlicher Abendvortrag	97
Plenarvortrag S1: Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors	98
Plenarvortrag S2: Noise	99
Plenarvortrag S3: Data, Models, and Reality	100
Plenarvortrag S4: Space Weather and Global Induction	101
S1-A Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors	102
S1-B Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors	107
S1-C Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors	112
S1-D Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors	117
S2-A Noise	130
S2-B Noise	135
S2-C Noise	139
S2-D Noise	144
S3-A Data, Models, and Reality	158
S3-B Data, Models, and Reality	164
S4-A Space Weather and Global Induction	170
S4-B Space Weather and Global Induction	175
S4-C Space Weather and Global Induction	180
1-A Near Surface Geophysics	185
1-B Near Surface Geophysics	191
1-C Near Surface Geophysics	195
1-D Near Surface Geophysics	200
1-E Near Surface Geophysics	204
1-F Near Surface Geophysics	213
1-G Near Surface Geophysics	218
1-H Near Surface Geophysics	228
2-A Exploration and Monitoring	234
2-B Exploration and Monitoring	239
2-C Exploration and Monitoring	244
2-D Exploration and Monitoring	250
2-E Exploration and Monitoring	256
2-F Exploration and Monitoring	262
2-G Exploration and Monitoring	267
2-H Exploration and Monitoring	276
2-I Exploration and Monitoring	287
3-A Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere	292
3-B Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere	297
3-C Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere	303
3-D Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere	307
3-E Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere	313
3-F Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere	329
4-A Geohazards	334
4-B Geohazards	340
4-C Geohazards	345
5-A Extraterrestrial Physics	358
5-B Extraterrestrial Physics	363
5-C Extraterrestrial Physics	366
5-D Extraterrestrial Physics	371
5-E Extraterrestrial Physics	375
5-F Extraterrestrial Physics	379
5-G Extraterrestrial Physics	385
5-H Extraterrestrial Physics	389
5-I Extraterrestrial Physics	393
6-A Geophysical Methods	409

6-B Geophysical Methods.....	414
6-C Geophysical Methods.....	420
6-D Geophysical Methods.....	425
6-E Geophysical Methods.....	430
6-F Geophysical Methods.....	436
6-G Geophysical Methods.....	442
6-H Geophysical Methods - Magnetik und Gravimetrie.....	448
6-I Geophysical Methods.....	454
6-J Geophysical Methods.....	466
6-K Geophysical Methods.....	482
6-L Geophysical Methods.....	496
7-A History, Outreach and Education.....	505
7-B History, Outreach and Education.....	509
7-C History, Outreach and Education.....	511

ROSETTAs Reise an den Anfang unserer Zeit

Glaßmeier, K.-H.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

Als der große englische Naturforscher und Ingenieur Edmund Halley 1705 die Wiederkehr des heute nach ihm benannten großen Kometen für das Jahr 1758 vorhersagte, muss man ihn für einen Fantasten gehalten haben. Die Beobachtung des Halley'schen Kometen an Weihnachten 1758 durch Johann Georg Palitzsch markiert daher in beeindruckender Weise den Übergang in unsere technisch-wissenschaftliche Moderne.

Was sind aber Kometen, wie entstehen sie, was erzählen sie uns über unser und andere Sonnensysteme? Als nach dem Vorbeiflug der europäischen Raumsonde Giotto und ihrer sowjetischen und japanischen Begleiter an 1P/Halley im Jahre 1986 die Idee geboren wurde, eine Messsonde auf der Oberfläche eines Kometenkerns zu landen, da mutete diese Idee ähnlich fantastisch an wie die Vorhersage der Wiederkehr des Halley'schen Kometen. Die erfolgreiche Landung der von ihrem Mutterschiff ROSETTA losgeschickten Sonde PHILAE auf dem Nukleus des Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko markiert einen der Höhepunkte technisch-wissenschaftlichen Könnens der Menschheit, vergleichbar der Entdeckung des Higgs-Bosons und der Gravitationswellen.

Die an Bord der Sonden ROSETTA und PHILAE durchgeführten Messungen erlauben tiefgreifende Ein- und Rückblicke in die Struktur und Dynamik sowie Entstehungsgeschichte kometarer Körper. Die stoffliche Zusammensetzung des Nukleus, seine gravitativen und magnetischen Eigenschaften, die Vielfältigkeit der Oberfläche, rezente Dynamik und andere Eigenschaften des Nukleus von 67P/C-G erlauben wichtige neue Erkenntnisse über die Prozesse im frühen Sonnensystem, stellen liebgeordnete Hypothesen auf den Prüfstand, werfen aber auch viele neue Fragen auf.

Plenarvortrag S1:

Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1 Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors
PL - S1.001

Through the Looking Glass: the Wonderful World beneath Our Feet

Ishii M.

Harvard University, Department of Earth & Planetary Sciences, Cambridge, MA, Vereinigte Staaten von Amerika

The Earth's mantle, even though it lies only about 25 km beneath our feet, is inaccessible to direct sampling due to high pressure and temperature that forbid drilling efforts to reach such depth. The most powerful technique to investigate this region is using seismic energy that propagates through and carries information back to us at the surface. Examination of seismic data reveals structure of the Earth's mantle, not only in variations in seismic wave speeds but also in anisotropy, density, attenuation, and properties of the discontinuities. In this presentation, seismological constraints on the mantle structure are examined and how they can be used to infer dynamics and composition.

Plenarvortrag S2: Noise

S2 Noise
PL - S2.001

Seismic imaging without source: beyond surface wave tomography

Campillo M.

ISTerre, Université de Grenoble-Alpes, Grenoble, Frankreich

During the last years, an increasing number of studies relied on continuous seismic records to image the Earth structure at different scales. In the same period the potential of noise based measurements for monitoring temporal changes in elastic properties of the crust has been demonstrated.

We present here examples of reconstruction of virtual seismograms for the different types of waves used for seismic imaging and monitoring. We present observational evidences of the reconstruction for primary surface waves and body waves. We discuss the limitations of the technique and the part played by scattering in the success of the method at local and global scale. An important issue is related to the reconstruction of scattered (coda) waves that are used for monitoring, or for secondary reconstruction of ballistic waves. We show that the correlations functions obtained from noise or earthquake coda actually contain multiply scattered waves. Analyzing the data recorded on a volcano, we observe weak localization, a subtle self-interference mesoscopic effect that was first described in optics and that is a signature of diffuse fields. An application of scattered waves concerns the waves guided in the fault zone that contain the signature of the damaged structure controlling the dynamic seismic behavior.

The increasing number of seismic stations makes it possible to use array-processing techniques to improve the quality of the signals extracted from the continuous records, an approach widely used in global seismology. We present example of imaging at local scales where the number of stations is used to manipulate the original wavefield and to focus the reconstruction on specific targets.

Plenarvortrag S3: Data, Models, and Reality

S3 Data, Models, and Reality
PL - S3.001

Multiscale imaging of the Earth - From sedimentary basins to the deep mantle

Fichtner A., Afanasiev M.
ETH Zürich, Zürich, Schweiz

Imaging the Earth from sedimentary basins to the deep mantle
Andreas Fichtner, ETH Zurich

Complex interactions of small- and large-scale processes are characteristic for the physics of the Earth, and their proper quantification is key to the integration of interdependent geophysical systems that are today mostly treated as isolated.

Inferring Earth structure over a wide range of scales is the long-standing goal of seismic tomography. While much progress has been made in recent years, the following challenges still seriously limit tomographic resolution: (1) the limited data coverage that results from the irregular distribution of sources and receivers, (2) the consistent integration of small- and large-scale features into one tomographic model, and (3) our inability to assess uncertainties quantitatively and efficiently.

To address these challenges, we developed a multi-scale full waveform inversion that assimilates complete teleseismic and regional seismograms in a broad frequency band from 1/200 to 1/5 Hz. Being based on spectral-element modelling and adjoint techniques, our method simultaneously solves multiple regional- and continental-scale inverse problems in order to jointly resolve Earth structure with resolution lengths ranging from around 10 to more than 5000 km. Different scales are coupled via non-periodic homogenisation, and tomographic resolution is quantified using a random probing technique of the Hessian.

We apply our method to Europe and Western Asia, where resolution is particularly high beneath the North Atlantic, the western Mediterranean and Anatolia. The multitude of geologically interpretable features extend from the shallow surface into the deep mantle. They include the Iceland-Jan Mayen plume system, the lithospheric expression of the North Anatolian Fault Zone, the morphology of subducting lithospheric slabs beneath the western Mediterranean region, as well as the Rhone, Po, Molasse and Ebro basins.

The extension of our approach to the globe is the backbone of an emerging Collaborative Seismic Earth Model (CSEM) that assimilates the complete range of seismic data into one consistent model of the Earth's interior with the help of community contributions. Harnessing the collaborative potential of the seismic community, the CSEM is intended to go beyond the Earth models that individual researchers can construct today and to bridge the gap between crust and mantle tomography on a global scale.

Plenarvortrag S4: Space Weather and Global Induction

S4 Space Weather and Global Induction
PL - S4.001

Magnetic Storms and the Electric Power Grid

Pulkkinen A.

NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Vereinigte Staaten von Amerika

Geomagnetically induced currents (GIC) flowing in long manmade conductor systems have become one of the main space weather concerns. The potential for widespread problems in operating high-voltage power transmission systems during major geomagnetic storms has prompted increasing federal regulatory, science, industry and public interest in the problem. The impact caused by extreme storm events has been of special interest and consequently much of the recent GIC research has been focused on defining extreme GIC event scenarios and quantifying the corresponding transmission system response. In addition, there is an elevated need for developing next generation GIC prediction products for the power industry.

In this presentation, I will discuss the key scientific concepts pertaining to GIC and provide a brief review of the recent progress in developing extreme storm scenarios and new predictive techniques. Much of the recent progress in understanding GIC and its impact on power grids has resulted from improved scientific community-power industry interactions. The common language and information exchange interfaces established between the two communities have led to significant progress in transitioning scientific knowledge into detailed impacts analyses. I will provide a few personal reflections on the interactions with the power industry. We also face a number of future challenges in specifying GIC, for example, in terms of more realistic modeling of the three-dimensional geomagnetic induction process. I will discuss briefly some of these future challenges.

S1-A Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1-A Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1-A.001

Seismische Diskontinuitäten des oberen und unteren Mantels unter Indonesien abgeleitet aus P-Receiver Functions

Wölbern I., Rumpker G.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

Indonesien stellt eine Vergesellschaftung kontinentaler Terrane, Suturzonen und Vulkanbögen dar und formt heute einen Teil des südöstlichen Kontinentalrandes Asiens. Die Entstehung Südostasiens geht zurück auf die Öffnung und Schließung dreier aufeinander folgender Tethys-Ozeane seit dem frühen Devon, die jeweils mit der Abspaltung kontinentaler Fragmente vom Rand Gondwanas verbunden war. Wir untersuchen Daten des 112 Stationen umfassenden temporären MERAMEX-Netzwerks, das im Jahr 2004 durch das GFZ Potsdam in Zentraljava betrieben wurde. P-Receiver Functions wurden analysiert, um die seismische Schichtstruktur unter dem Messgebiet abzuleiten. Für die Kruste hat eine erste Untersuchung bereits eine die tektonische Entwicklung widerspiegelnde komplexe Struktur aufgezeigt.

In dieser Studie wurden Ps-Phasen aus größeren Tiefen ausgewertet. Insgesamt konnten Geschwindigkeitssprünge in acht verschiedenen Tiefenbereichen ermittelt werden. Das deutlichste Signal mit nur wenig Tiefenvariation stammt von der Unterkante der Mantelübergangszone in 660 km Tiefe. Die 410-km-Diskontinuität variiert stärker. Die durchschnittliche Mächtigkeit der Übergangszone stimmt grob mit der des IASP91-Modells überein und impliziert normale Manteltemperaturen in diesem Tiefenbereich. Oberhalb der '410' ist eine Niedriggeschwindigkeitszone erkennbar, deren Oberkante in einer mittleren Tiefe von 370 km liegt. Zusätzliche Diskontinuitäten treten in Tiefen von rund 245 und 300 km auf, die auf eine vertiefte Lehmann- und auf die X-Diskontinuität hinweisen.

Im unteren Mantel werden Signale aus etwa 970, 1320 und 1700 km Tiefe beobachtet. Die erste kann als mögliche Repetti-Diskontinuität interpretiert werden, die als kompositionelle Grenzschicht (Anreicherung von SiO_2) postuliert wurde. Die beiden letzteren treten nur lateral begrenzt auf. Auf die konvertierte Phase aus 1320 km Tiefe folgen Multiple, die scheinbar mit derselben Struktur in Zusammenhang stehen. Aus den Laufzeitunterschieden kann grob eine Schichtmächtigkeit von etwa 50 km abgeschätzt werden, sodass diese Struktur möglicherweise einem subduziertes Lithosphärenfragment entspricht. Die beobachtete Diskontinuität in 1700 km Tiefe könnte mit einem Phasenübergang im SiO_2 -System unter der Annahme reduzierter Temperaturen relativ zum globalen Mittel erklärt werden. Ihre Sichtbarkeit deutet ebenfalls auf eine Anreicherung von SiO_2 und somit auf das Vorhandensein subduzierten Lithosphärenmaterials.

Investigation of the Earth's mid- and lower mantle by analysing out-of-plane reflections with seismic array methods

Schumacher L., Thomas C.

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

The Earth's mid- and lower mantle is thought to be dynamically well mixed and more homogeneous than the upper or lowermost mantle. Tomographic inversions for P- and S-wave seismic velocities show images of long wavelength structures like fast velocity regions descending into the deep Earth or the two antipodal large slow shear-wave velocity provinces at the base of the mantle extending upwards to around 1000 km depth. However, direct observations of mantle heterogeneities are scarce but necessary to make statements concerning their structural differences. To investigate the mid- and lower mantle we search for and analyse seismic signals that reach a seismic array with a backazimuth deviating from the theoretical backazimuth of the earthquake and therefore call them out-of-plane signals. Information on slowness, backazimuth and travel time of the observed out-of-plane arrivals is used to backtrace the wave through a 1D velocity model to its scattering or reflection location and to map seismic heterogeneities in the mid- and lower mantle. Assuming only single scattering in the backtracing algorithm, most out-of-plane signals have to travel as P-to-P and only a few as S-to-P phases, due to their timing. The located reflection points present a view of the 3D structures within the mantle. To validate our approach, we calculate and process synthetic seismograms for 3D wave field propagation through a model containing a slab like heterogeneity and compare them with the earthquake data. Taking into account the radiation pattern of each event in direction of the great circle path and towards the calculated reflection point, it is possible to compare the polarities and waveforms of the out-of-plane signals with the direct P arrival. The data set consists of earthquakes from Japan, the Philippines and the Hindukush recorded at North American networks (e.g. USArray, Alaska and Canada). The data cover a period from 2000-2012 with a minimum magnitude of 5.6 Mw and depths below 100 km. We focus on two different regions: slabs around the North Pacific and the mid Pacific low velocity anomaly. The location of the reflection points found generally agree with fast or slow velocities mapped by seismic tomography models suggesting, that we map slabs enter the lower mantle and heterogeneities with rather low velocities in the mid Pacific.

New constraints on the velocity structure at the base of the mantle from the coupling of normal modes

Durand S.¹, Debayle E.², Ricard Y.², Lambotte S.³, Zaroli C.³

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²LGL-TPE, Lyon, Frankreich, ³EOST, Strasbourg, Frankreich

Most recent tomographic models of Earth's mantle based on the joint inversion of surface waves, body waves and normal modes are biased toward even degrees at the base of the mantle because of the use of normal mode splitting coefficients that are only sensitive to even degrees and because of the uneven body-wave coverage at the base of the mantle. We present SEISGLOB2 our new degree 40 shear velocity tomographic model of Earth's mantle. SEISGLOB2 results from the joint inversion of published normal mode data with our surface wave (~22,000,000 Rayleigh wave phase velocities measured by Durand et al., 2015) and body wave (~400,000 travel times measured by Zaroli et al., 2010) datasets. We made a major effort to include cross-coupling structure coefficients which provide new and valuable constraints on odd spherical harmonic degrees in the lowermost mantle. These observations provide new constraints on the large scale structure at the bottom of the mantle, with strong implications for outer core dynamics.

Seismic constraints on the small scale structure of Earth's mantle

Rost S.¹, Bentham H.¹, Frost D.², Thorne M.³, Nowacki A.¹

¹University of Leeds, School of Earth and Environment, Leeds, Vereinigtes Königreich, ²Arizona State University, School of Earth and Space Exploration, Tempe, Vereinigte Staaten von Amerika, ³University of Utah, Department of Geology and Geophysics, Salt Lake City, Vereinigte Staaten von Amerika

The large scale velocity structure of the Earth's mantle has been well resolved in tomographic models since the birth of this method in the early 1980s. These tomographic studies were essential for our current understanding of the dynamics, structure and composition of our planet. In modern seismological studies there is strong evidence for thermo-chemical or thermal heterogeneities in the form of mantle features such as subducted slabs and the Large Low Shear Velocity Provinces, demonstrating the dynamic interior of our planet. On the other hand, structures on shorter scale-lengths have been resolved using high-frequency seismic methods predominantly on regional scales. These high-resolution methods help us to differentiate the compositional and thermal contributions to the velocity variations resolved in seismic tomography. Here we show results at the edge of the teleseismic resolution using the high-frequency seismic wavefield to resolve small-scale structure with scale-lengths on the order of 10 to 100 km. We use different seismic probes, including the scattered seismic wavefield and wavefield directivity information, to resolve the fine scale structure of the mantle. Our results point to strong lateral and radial variations in the strength and distribution of the fine scale heterogeneities throughout the mantle. Imaging of the Earth's small scale structure allows insight into convection processes in the mantle such as the inefficient mixing of subducted crustal heterogeneities and potentially localized upstreams from the core-mantle boundary. Information essential for our understanding of the Earth's composition and evolution.

Traveltime dispersion in an isotropic elastic mantle: strong lower-mantle signal in differential-frequency residuals

Schuberth B.S.A.¹, Zaroli C.², Nolet G.³

¹Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften - Geophysik, München, Deutschland,

²EOST-IPGS, Sismologie, Strasbourg, Frankreich, ³Géoazur, Université de Nice - Sophia Antipolis, CNRS, OCA, Seismology, Nice, Frankreich

Recently, we developed a new joint forward modelling approach to test geodynamic hypotheses directly against seismic observations. By computing 3-D global wave propagation in synthetic seismic models derived from simulations of mantle flow, seismograms are obtained independent of any seismic data. Here, we show that this is also an excellent tool to study wavefield effects in a consistent manner, as length scales and magnitudes of seismic heterogeneity are constrained by the dynamics of the flow. In this study, we quantify the traveltime dispersion of P- and S-waves caused by diffraction in elastic and isotropic 3-D seismic structures. Intrinsic attenuation (i.e. dissipation of seismic energy) is deliberately neglected, so that any variation of traveltimes with frequency can be attributed to structural effects.

Traveltime residuals are measured at 15, 22.5, 34 and 51 s dominant periods by cross-correlation of 3-D and 1-D synthetic waveforms. Additional simulations are performed for a model in which 3-D structure is removed in the upper 800 km to isolate the dispersion signal of the lower mantle. We find that the structural length scales inherent to a vigorously convecting mantle give rise to significant diffraction-induced body-wave traveltime dispersion. For both P- and S-waves, the difference between long-period and short-period residuals for a given source–receiver pair can reach up to several seconds for the period bands considered here. In general, these ‘differential-frequency’ residuals tend to increase in magnitude with increasing short-period delay. Furthermore, the long-period signal typically is smaller in magnitude than the short-period one; that is, wave-front healing is efficient independent of the sign of the residuals. Unlike the single-frequency residuals, the differential-frequency residuals are surprisingly similar between the ‘lower-mantle’ and the ‘whole-mantle’ model for corresponding source–receiver pairs. Differential-frequency residuals may thus prove useful to precondition tomographic inversions for lower-mantle structure. Standard deviations of the diffraction-induced traveltime dispersion between the longest (51 s) and the shortest (15 s) period considered here are 0.6 and 1.0 s for P- and S-waves, respectively. In the lower-mantle model, standard deviations are 0.3 and 0.6 s, respectively, which gives an average lower-mantle contribution to the total dispersion of 50 per cent for P- and 60 per cent for S-waves.

S1-B Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1-B Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1-B.001

A benchmark initiative on mantle convection with melting and melt segregation

Dohmen J.¹, Schmeling H.¹, Dannberg J.², Kalousová K.³, Maurice M.⁴, Noack L.⁵, Plesa A.⁴, Spiegelman M.⁶, Thieulot C.⁷, Tosi N.⁴, Wallner H.¹

¹Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland, ²Texas A&M University, Department of Mathematics, College Station, TX, Vereinigte Staaten von Amerika, ³Charles University of Prague, Department of Geophysics, Faculty of Mathematics and Physics, Prague, Tschechische Republik, ⁴Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Planetenphysik, Berlin, Deutschland, ⁵Royal Observatory of Belgium, Brussels, Belgien, ⁶Columbia University, Department of Applied Physics and Applied Mathematics, New York, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁷Utrecht University, Department of Earth Sciences, Utrecht, Niederlande

In recent years a number of mantle convection models have been developed which include partial melting within the asthenosphere, estimation of melt volumes, as well as melt extraction with and without redistribution at the surface or within the lithosphere. All these approaches use various simplifying modelling assumptions whose effects on the dynamics of convection including the feedback on melting have not been explored in sufficient detail. To better assess the significance of such assumptions and to provide test cases for the modelling community we carry out a benchmark comparison. The reference model is taken from the mantle convection benchmark, cases 1a to 1c (Blanckenbach et al., 1989), assuming a square box with free slip boundary conditions, the Boussinesq approximation, constant viscosity and Rayleigh numbers of 10^4 to 10^6 . Melting is modelled using a simplified binary solid solution with linearly depth dependent solidus and liquidus temperatures, as well as a solidus temperature depending linearly on depletion. Starting from a plume free initial temperature condition (to avoid melting at the onset time) five cases are investigated: Case 1 includes melting, but without thermal or dynamic feedback on the convection flow. This case provides a total melt generation rate (q_m) in a steady state. Case 2 is identical to case 1 except that latent heat is switched on. Case 3 includes batch melting, melt buoyancy (melt Rayleigh number R_m) and depletion buoyancy, but no melt percolation. Output quantities are the Nusselt number (Nu), root mean square velocity (v_{rms}), the maximum and the total melt volume and q_m approaching a statistical steady state. Case 4 includes two-phase flow, i.e. melt percolation, assuming a constant shear and bulk viscosity of the matrix and various melt retention numbers (R_t). These cases are carried out using the Compaction Boussinesq Approximation (Schmeling, 2000) or the full compaction formulation. For cases 1 – 3 very good agreement is achieved among the various participating codes. For case 4 melting/freezing formulations require some attention to avoid sub-solidus melt fractions. A case 5 is planned where all melt will be extracted and, reinserted in a shallow region above the melted plume. The motivation of this presentation is to summarize first experiences and suggest possible modifications of the case definitions.

A complex melt-network and the effect of his geometrical properties on the shear viscosity of the matrix in a partially molten medium

Kruse J.P. , Schmeling H.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Fachrichtung Geophysik, Frankfurt am Main, Deutschland

The shear viscosity of a solid matrix in a partially molten medium, especially in the olivine-basalt-system, is a commonly discussed topic in geodynamics because it is an important property for the process of melt migration and matrix compaction. Different deformation mechanisms need to be included because the molten phase affects the physical behaviour of the matrix in different ways. The model presented here combines a mechanical weakening process after Schmeling et al (2012) and a short-circuit-diffusion process described by Cooper & Kohlstedt (1986). For both processes a detailed knowledge about the geometrical distribution of the molten phase is needed. Therefore a three-dimensional, interconnected and geometrically self-consistent melt-network was designed. This network combines melt-pockets, melt-tubes and melt-films and includes curved and flat interfaces between the melt and the solid. The mathematical formulation for the important geometrical properties of the network, that affect the physical properties of the matrix, is semi-analytical and contains four unknown free parameters, that describe the shape of the network. Experimental observations on the wetness of an olivine-basalt-system with melt fractions up to 47% were used to fit the free parameters by a grid-search-algorithm. To implement the network into the model of Schmeling et al (2012) parts of the network (melt-pockets and melt-films) were approximated by oblate ellipsoids. The aspect ratio (ratio between short and long half axis) describing these ellipsoids and the ratio of the melt fractions identified with the different melt geometries will change with total melt fraction. To consider the short-circuit-diffusion process a mean characteristic diffusion distance analog to that of Cooper & Kohlstedt (1986) was defined, depending on the free parameters and the melt fraction. Assuming that the intrinsic viscosity of the matrix is affected by the short-circuit-diffusion process, we find a melt-fraction-dependent matrix viscosity that is in good agreement with experimental results from Hirth & Kohlstedt (1995a). Because of the mechanical weakening process the matrix shear viscosity drops to zero at about 33% melt-fraction. At this point the network-model predicts that grains should still be in contact (wetness < 1), implying that mechanical disaggregation may occur even if still some grains are in contact with each other.

Consequences of magma ocean solidification for mantle dynamics and evolution

Tosi N.^{1,2}, Maurice M.¹, Plesa A.¹, Breuer D.¹

¹Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Berlin, Deutschland, ²Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Global-scale melting expected to follow the largest accretionary impacts suggests that the mantle of terrestrial bodies may have been processed through one or multiple magma oceans before reaching a solid state. Several studies have discussed how the fractional crystallization of a magma ocean can establish a primordial compositional stratification that may represent a suitable initial condition to model the thermal evolution of the interior as well as the formation, mixing, and sampling through partial melting of geochemical reservoirs. Fractional crystallization is expected to produce a compositional stratification characterized by a progressive enrichment in heavy incompatible elements from the core-mantle boundary to the surface. Such configuration is gravitationally unstable, it may cause the overturn of the mantle and the formation of a stable chemical layering. This scenario is successful at explaining the generation of the Moon's mare basalts as a consequence of the convective instability of overturned ilmenite-bearing cumulates and the preservation of Mars' geochemical reservoirs as required by the isotopic characteristics of the SNC meteorites. However, it also has a few consequences that can be difficult to reconcile with the subsequent evolution of the interior such as the rapid formation of a stagnant lid preventing the uppermost dense cumulates from sinking into the mantle or the difficulty for thermal convection to start because of the strength of the stable compositional gradient established after the overturn. Using numerical simulations of thermo-chemical convection, we illustrate the above issues and their consequences for the evolution of the interior. We will also present recent results showing that, under a variety of conditions, solid-state convection can start mixing the mantle well before the overlying magma ocean has completely solidified, thereby partly or completely erasing the effects of its fractional crystallization.

Effects of planetary rotation on crystal settling in a terrestrial magma ocean: Spherical shell model

Maas C., Hansen U.

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

Like Moon or Mars, Earth experienced one or several deep magma ocean periods of global extent in a later stage of its accretion. The crystallization of these magma oceans is of key importance for the chemical structure of Earth, the mantle evolution and the onset of plate tectonics. Due to the fast rotation of the early Earth and the small magma viscosity, rotation probably had a profound effect on differentiation processes. For example, Matyska et al. [1994] propose that the distribution of heterogeneities like the two large low shear velocity provinces (LLSVP) at the core mantle boundary is influenced by rotational dynamics of early Earth. Further Garnero and McNamara [2008] suggest that the LLSVPs are very long-living anomalies, probably reaching back to the time of differentiation and solidification of Earth. However, nearly all previous studies neglect the effects of rotation.

In our previous work using a Cartesian model [Maas and Hansen, 2015], a strong influence of rotation as well as of latitude on the differentiation processes in an early magma ocean was revealed. We showed that crystal settling in an early stage of magma ocean crystallization crucially depends on latitude as well as on rotational strength and crystal density.

In order to overcome the restrictions as to the geometry of the Cartesian model, we have developed a spherical model to simulate crystal settling in a rotating spherical shell. This model allows us not only to investigate crystal settling at the poles and the equator, but also at latitudes in-between these regions, as well as the migration of crystals between pole and equator.

References

E. J. Garnero and A. K. McNamara. Structure and dynamics of earth's lower mantle. *Science*, 320(5876):626–628, 2008.

C. Matyska, J. Moser, and D. A. Yuen. The potential influence of radiative heat transfer on the formation of megaplumes in the lower mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 125(1):255–266, 1994.

C. Maas and U. Hansen. Effects of Earth's rotation on the early differentiation of a terrestrial magma ocean. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120(11): 7508-7525, 2015.

Compositional layering within the large low shear-wave velocity provinces (LLSVPs) in the lower mantle

Ballmer M.

ETH Zürich, Zürich, Schweiz

Seismic tomography reveals two antipodal LLSVPs in the Earth's mantle, each extending from the core-mantle boundary (CMB) up to ~1000 km depth. The LLSVPs are thought to host primordial mantle materials that bear witness of early-Earth processes, and/or subducted basalt that has accumulated in the mantle over billions of years. A compositional distinction between the LLSVPs and the ambient mantle is supported by anti-correlation of bulk-sound and shear-wave velocity (V_s) anomalies as well as abrupt lateral gradients in V_s along LLSVP margins. Both of these observations, however, are mainly restricted to LLSVP bottom domains (2300~2900 km depth), or "deep distinct domains" (DDD). Seismic sensitivity calculations suggest that DDDs are more likely to be composed of primordial mantle material than of basaltic material. On the other hand, the seismic signature of LLSVP shallow domains (1000~2300 km depth) is consistent with a basaltic composition, but a purely thermal origin cannot be ruled out. Here, we explore the implications of the hypothesis that LLSVPs are compositionally layered with a primordial bottom domain (or DDD) and a basaltic shallow domain. We test this hypothesis using 2D geodynamic models. Depending on the density difference between primordial and basaltic materials, materials either mix or remain separate as they form thermochemical piles in the deep mantle. Separation of both materials provides an explanation for LLSVP seismic properties, including substantial internal vertical gradients in V_s observed at 400-700 km height above the CMB, as well as out-of-plane reflections on LLSVP sides. Predicted pile geometries are compared to LLSVP and DDD shapes. Geodynamic models predict short-lived "secondary" plumelets to rise from LLSVP roofs and to entrain basaltic material that has evolved in the lower mantle. Long-lived "primary" plumes rise from LLSVP margins and entrain a mix of materials, including small fractions of primordial material. These predictions address the geochemical and geochronological record of Pacific hotspot volcanism. In general, the parameter range spanned by models that are able to reconcile observations provides a constraint for the intrinsic density anomaly (or composition) of DDDs. We use this constraint to evaluate the origin of DDDs from magma-ocean cumulates. The study of LLSVP compositional layering indeed has important implications for our understanding of the evolution and composition of the Earth's mantle.

S1-C Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1-C Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1-C.001

The Layered Nature of Planetary Mantle Evolution

Dude S.¹, Hansen U.¹, Schubert B.S.A.²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften, München, Deutschland

The formation of layered structures is a common feature within many natural systems and occurs on various scales (planets, Earth's oceans, magma chambers, etc.). Since the knowledge of slab stagnation in the transition zone and the mid of the Earth's mantle, the question whether the mantle is or at least has been layered to some degree is still under debate. On this basis we address two important features that lead to layered mantle convection and may affect each other and with this the thermal evolution of the mantle and the evolving heterogeneities. On the one hand we examine a double-diffusive system in the framework of mantle convection. On the other hand we incorporate phase transitions in this scenario.

We performed numerical experiments on double-diffusive mantle convection and show that this is a very robust mechanism to form layers from a previously non-layered state. With the obtained temperature and chemical distribution we computed seismic velocity profiles and calculated synthetic seismograms in order to estimate the seismic visibility of our numerical results.

To determine the interaction of double-diffusive layers with a phase transition we carried out additional numerical experiments ranging from exothermic to endothermic conditions. Taking into account a depth and temperature dependence of the phase transition the results show that on the one hand double-diffusive layering is strongly affected by the presence of phase transition but on the other hand the equilibrium position of the phase transition is shifted depending on the properties of the considered phase transition.

Rough layers in planetary mantles

Hansen U., Stein C.

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

Thermal boundary layers play a key role for the dynamics of the Earth's mantle. They mark the transition between the core and the mantle and, at least locally and transiently, the transition between the upper- and the lower mantle at a depth of 670 km. There is much evidence that these boundary layers do not resemble the picture of a simple thermal boundary layer, as known from thermal convection at high Rayleigh number. Especially the lower boundary seems to be of complex structure, possibly induced by compositionally dense material. Present models of mantle convection, aiming at simulating the complex structure and dynamics of the lower boundary layer require several ad hoc assumptions. Especially the density excess and the mass of compositionally distinct material need to be assumed. Both conditions are critical for the dynamics but hardly constrained. The internal boundary at 670 km is usually implemented by specifying a density jump through a phase boundary. We have developed models where the internal boundary as well as a thermochemical CMB, displaying topography which result from compositionally distinct piles, develop self-consistently without the named ad hoc assumptions. As a starting condition we assume that a chemically stratified mantle, as resulting from fractional crystallization in an early magma ocean, is heated by the hot core. Double diffusive convection in material with strongly temperature dependent viscosity leads then to layering and, in a later state to the formation of a rough lower thermochemical boundary layer.

The role of basin-forming impact in the global lunar evolution

Rolf T.¹, Zhu M.-H.², **Wünnemann K.**³, Werner S.¹

¹University of Oslo, Centre for Earth Evolution and Dynamics, Oslo, Norwegen, ²Macau University of Science and Technology, Space Science Institute, Taipa, Macao, ³Museum für Naturkunde - Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung, Berlin, Deutschland

A striking feature on the lunar surface is the population of impact basins. These large-scale structures have diameters of several 100 to >2000 km and their signature is clearly visible in present-day observables such as the gravity field. The chronology of lunar basins is essential for understanding the age of the lunar surface and its early evolution. However, relatively little work has addressed the question, how large basin-forming impacts affected the internal evolution of the Moon, which is inevitably linked to the surface, e.g. via volcanism and heat loss.

Recently proposed global lunar evolution models can explain various observations on the present-day Moon, but do not, or only partly, consider the thermal input of large basin-forming impacts. We take this as motivation to investigate in more detail the thermochemical evolution of the Moon coupled with its early bombardment.

We use the mantle convection code StagYY to model the long-term evolution of the Moon. In order to investigate the role of impact processes, we consider an insulating (low thermal conductivity) ejecta blanket (representing the lunar regolith) with variable thickness and degree of insulation as well as the impact-induced heat anomaly. To determine the ejecta cover we use recent scaling law that links ejecta thickness to the distance to the rim of the source basin. The impact-induced heat anomaly is determined by performing basin formation modeling using the shock physics code iSALE.

Our results with a single impact event indicate that the shock-induced impact heating leads to a sudden increase in mantle temperature and surface heat flux as well as basaltic melt production, in particular for the largest impacts. These effects are rather short-lived (~50-100 Myrs) and present-day impact-induced temperature or heat-flux anomalies are very small. However, the overall effects are somewhat enhanced with multiple impacts at different times consistent with the lunar bombardment history.

The presence of insulating ejecta further enhances the long-term effects of the lunar bombardment and increases present-day mantle temperatures more substantially depending on the assumed thermal conductivity of the lunar regolith and if the ejecta blanket forms a global cover or not.

Driving planetary dynamos: thermal, compositional, iron snow and stable layers

Christensen U.

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Deutschland

The intrinsic magnetic fields of solid planets in the solar system are thought to be generated by a convection-driven dynamo process in a liquid iron core. However, they show a large diversity in terms of field strength and morphology. Numerical dynamo models suggest that these differences can be explained by different modes of convection. Thermal driving is marginal in the Earth and convection driven by chemical differentiation associated with iron solidification plays a key role. The absence of the latter process could explain the lack of a present-day magnetic field at Mars and Venus. When a solid inner core is growing, but the core-mantle boundary (CMB) heat flow is moderate, a stably stratified layer can form at the top of the fluid core and the dynamo only operates in the deep convecting region. A thick stable layer in Mercury's core could explain the low surface field strength and high degree of axisymmetry of the field. If the core fluid is sulfur-rich, crystallization of iron will proceed top-down. In a top layer, iron snow forms, sink and remelts at greater depth, driving compositional convection in the deep interior and leaving behind a stably stratified layer enriched in sulfur. Models suggest that such scenario could explain the low quadrupole-to-dipole ratio at Ganymede. If the heat flow at Earth's CMB is significantly less than the heat that can be conducted along an adiabatic temperature gradient (about 14 TW), a stable layer of several hundred km thickness would form at the top of the core. However, because mantle convection renders the CMB heat flow highly heterogeneous, in some locations the stratification at the top of the core would be unstable. The consequences are not obvious; conceivably the top layer might convect locally or the local instability may destroy the stratification. Numerical analysis of this scenario shows that heat flux differences are balanced by horizontal advection in a very thin region below the CMB, which leaves the stratification in the bulk of the top layer intact. The magnetic field morphology is rather unlike that of Earth in such model, which makes a strongly subadiabatic CMB heat flux unlikely.

Decadal and Intradecadal variation in Earth rotation – a probe of deep Earth processes

Holme R.^{1,2}

¹Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Deutschland, ²University of Liverpool, Liverpool, Vereinigtes Königreich

Variations in Earth rotation provide a powerful constraint on deep Earth processes and interactions. It has been known for many years that there is a link between variation in rotation and geomagnetic field, often used as a constraint, for example, on the modelling of core flow. Recent work has demonstrated a consistent variation in rotation with a period of around 6 years in the record between 1962 and 2010. Here, I extend this record both with updated data, and back into the past using rotational variation estimates from stellar occultations. A similar oscillation is seen prior to 1950, but with an apparent phase shift compared with recent data. Additional input from ENSO effects and glacial isostatic adjustment / sea level rise is considered to isolate the signal relating to the core. Longer period variations (from 9 years to the classic 60-year variation) have been extracted from length-of-day models – we examine whether “Cleaning” the data of 6-year variation allows cleaner study of longer period variations. Implications for core-flow modelling (including their relation to a possible wave-origin for core-surface flow) will be considered.

S1-D Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1-D Structure and Dynamics of the Deep Earth and Planetary Interiors

S1-D.001

Behavior of mantle transition zone discontinuities beneath the Indian Ocean from PP and SS precursors

Reiß A.-S., Thomas C.

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

As part of the RHUM-RUM project (Réunion Hotspot and Upper Mantle – Réunions Unterer Mantel) we investigate the upwelling plume beneath the volcano Piton de la Fournaise located on La Réunion Island in the Indian Ocean. A long-lived underlying mantle plume is suspected to be responsible for the formation of the island. Understanding the depth origin and dimensions of such a plume helps to better understand mantle processes and the heat flux of the Earth. In this study we use underside reflections of PP and SS waves and their precursors reflected off the seismic discontinuities at 410 km and 660 km depth, which mark the upper and lower boundary of the mantle transition zone. In the case of hot material being present, the 410 km discontinuity, which exists due to the phase change of olivine to spinel, should be depressed significantly. Because of the opposite Clapeyron slope of the phase change of ringwoodite to magnesiowuestite and perovskite at 660 km depth, the topography of this discontinuity should be elevated. In order to investigate the topography of these discontinuities, differential travel times between the main phase and the precursor signals are measured. For this study we analyse over 5500 events with $M_w \geq 5.8$ and bounce points distributed over the entire Indian Ocean. Different source-receiver combinations yield a dense coverage of bounce points and lots of crossing ray paths. Array seismology methods, such as vespagrams and slowness-backazimuth analysis, are used to enhance the signal-to-noise-ratio and detect and identify precursor signals. The differential travel times of robust stacks are corrected for crustal and tomographic features and converted into depth values of the discontinuities. In our data, we can detect clear underside reflections off the 410 km discontinuity and also some off the 660 km discontinuity. Preliminary results indicate a thinned mantle transition zone beneath La Réunion, which we interpret as a hot upwelling.

Constraining density and velocity jumps across the 410 km discontinuity

Saki M.¹, Thomas C.¹, Cobden L.², Abreu R.¹

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Utrecht University, Department of Earth Sciences, Utrecht, Niederlande

We investigate the velocity and density structure of the olivine-to-wadsleyite transition using polarities of precursor arrivals to PP seismic waves that reflect off the 410 km discontinuity beneath the Northern Atlantic. Numerous source-receiver combinations have been used in order to collect a dataset of reflection points beneath our investigation area. We analyzed over 1700 seismograms from $M_w > 5.8$ using array seismology methods to enhance the signal to noise ratio. For each event the polarity of the PP phase is compared to polarity of the precursor signal and we find several events where the polarity of the precursors are opposite to that of PP. There does not seem to be any dependency of the observed polarities on the propagation direction of the seismic waves but interestingly there seems to be a dependency on the distance between source and receiver. The events with epicentral distances greater than 119 degrees mostly show opposite polarities, while for those with smaller epicentral distances the same polarity of the main phase and precursor signal is dominant. Using Zeppritz equations, we analyzed more than 64 million combinations of density, compressional and shear wave velocities for both layers, above and below the 410 km discontinuity in order to find the best combination of those parameters that can explain the observations. The results are indicating combinations of density, P and S wave velocity exhibiting a smaller contrast compared to those from the pyrolite model (the density jump, however is still positive to provide physically meaningful results). The calculated reductions in both compressional and shear wave velocities go up to 13% but mostly fall within the range of less than 7- 8%. We interpret this reduction in elastic properties and seismic velocity of minerals as the effect of a higher than normal content of water of wadsleyite in this region, while we can exclude a reduction in iron.

The Influence of Internal Heat Sources on Mantle Convection with Phase Transitions

Hellenkamp P., Dude S., Hansen U.

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

Changes of mineral phases are known global features within the earth's mantle and basically affect the style of convection, e.g. the endothermic phase change at 660 km depth is supposed to break down convection in two layers. In general, phase transitions are characterized by a density jump $\Delta\rho$ and the Clapeyron slope $\gamma = dp / dT$, where exothermic phase transitions ($\gamma > 0$) enforce convection and endothermic phase transitions ($\gamma < 0$) hinder convection. Since phase transitions correspond to a certain temperature and pressure it is likely that they are affected by the rising internal temperature due to internal heat sources. To examine whether or how internal heating influences phase transitions, a systematic numerical study has been carried out using a two-dimensional, isoviscous mantle convection model. The results exhibit that the phase transition is deflected from its equilibrium depth in the presence of internal heat sources. The strength of this deflection depends on the magnitude of the Clapeyron slope and the part of internal heating on the total heat flux, it also appears to be linear coupled to those quantities. Furthermore, the study indicates that the transition from single- to double-layer convection gets broader and less sharp for an increased internal heating rate. Using the mass flux across the phase boundary as a measure for the degree of layering, we show that internal heating produces a more permeable phase transitions if convection is layered and contrary less permeable in the case of single-layer convection. However, despite the influence of internal heat sources on the equilibrium depth and the width of transition from single- to double-layer convection there is no evidence for a shift of the actual threshold to layered convection, which leads to the assumption that neither the amount nor the presence of internal heating itself affects whether layering occurs or not.

High quality normal mode strain observations at the Black Forest Observatory - an update

Widmer-Schmidrig R.¹, Zürn W.², Ferreira A.M.G.³, Rivera L.⁴

¹Universität Stuttgart, Black Forest Observatory (BFO), Wolfach, Deutschland, ²Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Black Forest Observatory (BFO), Schiltach, Deutschland, ³University College London, Department of Earth Sciences, London, Vereinigtes Königreich, ⁴Institut de Physique du Globe, Université Pierre et Marie Curie, Strasbourg, Frankreich

We present spectra of the lowest-frequency normal modes of the Earth obtained from records of the invar-wire strainmeters and STS-1 broadband seismometers located in the Black Forest Observatory, Germany (BFO) after the disastrous earthquakes off the NW coast of Sumatra in 2004 and off the coast of Japan in 2011. Matching synthetics are computed using a mode summation technique for an elliptical, rotating Earth model without further lateral heterogeneities. We show that for the low-frequency toroidal and spheroidal modes up to 1 mHz the strain meters produce better signal-to-noise ratios than the broadband horizontal seismometers. Overall the comparison with the synthetics is satisfactory but not as good as for vertical accelerations.

However, since our presentation at the DGG a year ago we discovered a bug in the computation of the synthetic strain spectra. Our strain synthetics are now computed with two completely independent codes. These two sets of synthetics agree with each other and reproduce the data much better.

Nonetheless the general conclusion remains unchanged and we think that local cavity effects and local topographic effects must be made responsible for the comparatively poor fit of the strain- and horizontal acceleration-synthetics when compared with the excellent fit of vertical component synthetics. We will supply new observational evidence derived from multiple horizontal component accelerometers operated in the BFO mine in support of the above conjecture.

Can we explain the D'' reflector with the post-perovskite phase transition?

Thomas C.¹, Cobden L.²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Utrecht University, Utrecht, Niederlande

Seismic observations from the lower Earth's mantle indicate a reflector that marks the top of the D'' region. Many studies have imaged this reflector in previous years, many of them in high-velocity regions that could be due to slab graveyards, and many interpretations have been published previously. Since the discovery of the post-perovskite phase transition ten years ago, the D'' reflector has often been interpreted as the place of the phase transition. Even looking at wave forms, polarities, deeper reflectors and amplitudes of the reflected waves has shown agreement with properties of post-perovskite and the confidence of it as the cause for the D'' reflector has been increasing. Here we are looking at several new places and identify D'' reflections in P and S-waves: we target especially low velocity regions and places, where we do not expect slab material in the lowermost mantle. We test wave forms, polarities, amplitudes, timing and frequency content of the reflected waves and compare these across many diverse regions in the mantle. It seems that post-perovskite can still explain many observations; however, a large number of assumptions has to be made to explain all observations in all regions simultaneously and leaves the question whether the reflector in D'' can always be explained through a phase transition to post-perovskite or whether we have to consider other possibilities.

Seismic analysis of the lower mantle beneath the Pacific using shear-wave travel-times and 3D synthetics

Abreu R.¹, Thomas C.¹, Ritsema J.²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²University of Michigan, Michigan, Vereinigte Staaten von Amerika

The structure, origin, and convective nature of the large low velocity anomaly beneath the Pacific are still highly debated. In our study we analyze 19 earthquakes within the Tonga-Fiji region recorded at broadband stations in the Western United States at an epicentral distance range of approximately 75-81°. We measure relative travel times of S, SKS, PS and ScS waves with respect to P waves on both horizontal components to obtain diverse sampling of the Pacific low velocity anomaly. The highly variable traveltimes indicate that the large low velocity anomaly has a complicated structure. We will model these travel time delays using the AxiSEM method and tomographic models as starting models.

Roughness on the CMB

Schliffke N., Hansen U., Stein C.

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

Seismological observations, particularly in tomography, have revealed several structures close to the core-mantle-boundary (CMB) such as LLSVPs (large low shear velocity provinces), ULVZ (ultra low velocity provinces) or D".

A paper by Deschamps et al. (2012) proposed that the seismic anomaly of LLSVPs must result from a higher concentration of iron, iron compounds and silicates. Therefore, for this study we assume that there are chemical reactions between core and mantle which supply the mantle with a "heavy" chemical composition.

The models are calculated by a non-dimensional, full double-diffusive convection code with Dirichlet boundary conditions in both the temperature field and the chemical component. The initial time is approximately after the differentiation and cooling of the magma ocean, resulting in a cold temperature and a linear compositional field.

We studied the influence of Lewis-, Rayleigh- and Buoyancy number and thermal viscosity contrast on the formation of structures on the CMB. We looked at the topography of the CMB, mixing time of the system as well as the stability, volume and number of piles. These results are compared to similar studies with Neumann boundary conditions in the compositional field.

Influx of the chemical composition is crucial for the system. Therefore, we are also studying if there is a correlation between influx and "advection assisted diffusion".

Thermochemical Structures in the Deep Mantle: Implications for the Onset of Plate Tectonics

Stein C., Hansen U.

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

Recently deep thermochemical structures have been studied intensively. The observed large anomalies with reduced seismic velocities (LLSVPs) beneath Africa and the Pacific are obtained in numerical models as an initial dense layer at the core-mantle boundary (CMB) is pushed up to piles by the convective flow (e.g., McNamara et al., *EPSL* 229, 1-9, 2010). Adding a dense CMB layer to a model featuring active plate tectonics, Trim et al. (*EPSL* 405, 1-14, 2014) find that surface mobility is strongly hindered by the dense material and can even vanish completely for a CMB layer that has a too high density or too large a volume.

In a further study we employed a fully rheological model in which oceanic plates form self-consistently. We observe that an initial dense CMB layer strongly affects the formation of plates and therefore the onset time of plate tectonics. We present a systematic 2D parameter study exploring the time of plate initiation and discuss the resulting deep thermal and thermochemical structures in a self-consistent thermochemical mantle convection system.

Improving source array processing - Implications for array seismology

Heyn B., Thomas C.

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

Two new deconvolution approaches are introduced to the source array processing and analysed in order to improve the coherency of source stacks. Both the iterative deconvolution known from the receiver functions as well as the deconvolution with the Hilbert transformed wavelet show certain advantages compared to the standard processing when considering the weak reflection signals from the lowermost mantle such as the reflections from the D'' layer. Nevertheless, the standard vespagram analysis is not able to resolve those signals due to the intrinsic topography of the source arrays, revealing the necessity of a migration during the processing. Moreover, the deconvolution methods including the standard deconvolution showed a significant dependence on the choice of the wavelet both affecting the amplitude and polarity of the weak signals within the stack. So even though the achievable resolution of source array stacks can be improved by the new deconvolution approaches being then almost comparable to receiver arrays, the determination of impedance contrasts via polarities remains limited. However, some further detections of signals reflected at the D'' layer not yet investigated with receiver arrays can be reported, improving the global coverage of seismological observations.

Is the Earth's solid inner core melting? Insights from illuminating mesoscale seismic structure

Attanayake J.¹, Cormier V.F.², Thomas C.¹

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²University of Connecticut, Physics Department, Storrs, Vereinigte Staaten von Amerika

The seismic hemispherical structure of the inner core, in which the Eastern hemisphere is faster and more attenuating than the Western hemisphere, was discovered nearly two decades ago. Two types of geodynamic models have been proposed to explain this puzzling structural configuration: (1) Outer core convection coupled to thermal heterogeneities of the Core-Mantle Boundary, which predicts fast solidification in the Eastern hemisphere and regional melting in the Western hemisphere (2) Convective Translation, in which inner core material solidifies in the Western hemisphere, translates to the Eastern hemisphere, and melts at the solidus in the Eastern hemisphere. While both these geodynamic models have inherent limitations, they can explain some structural features of the inner core. Because these two models predict melting in opposite hemispheres, independently identifying the region that exhibit the signature of melting will enable distinguishing the geodynamic model most consistent with inner core solidification.

Seismic velocity, attenuation, and their correlation along with waveforms at specific epicentral distances are strongly sensitive to thermal perturbations. Here we determine the mesoscale (smaller than hemispheric-scale) velocity and attenuation structure of the inner core by inverting travel times and waveforms of PKIKP and PKiKP phases sampling the inner core. We also model nearly antipodal PKIIKP waveforms reflected from the underside of the Inner Core – Outer Core boundary whose focusing and defocusing are strongly controlled by thermal perturbations at the reflection point. Our preliminary results indicate that the correlation between seismic velocity and attenuation in the inner core is positive globally (hemispherical structure) except beneath the Pacific, where a mantle-like negative correlation between velocity and attenuation is observed. This, together with the observation of strong focusing of PKIIKP waveforms reflected beneath Asia and the absence of strong focusing of PKIIKP reflected beneath the Pacific is consistent with a melting signature confined to the Pacific. Thus, our observations support the hypothesis of inner core solidification driven by outer core convection coupled to thermal heterogeneities of the Core-Mantle Boundary.

The effect of heterogeneous core-mantle boundary heat flux on thermo-chemical convection in planetary cores

Lüscho V., Trümper T., Hansen U.

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

Thermal coupling between convection in Earth's mantle and core was proposed to explain asymmetric features of the geomagnetic field during the history of the Earth. The coupling is caused by laterally varying heat transport from the core to the mantle, induced by lateral temperature gradients in the lower-most mantle. Clues for the temperature gradients were found by seismic tomography.

This numerical study aims to explore the influence of these non-uniform boundary conditions, as compared to uniform heat flux and isothermal boundary conditions on thermo-chemical core convection and some distinct dynamo properties.

In our model the heat flux pattern is modeled by a single spherical harmonic of degree and order 2. This setting conserves equatorial symmetry, but imposes azimuthal heat flux gradients.

Today, convection in the Earth's core is assumed to be driven predominantly by a combination of thermal and compositional buoyancy sources located at the inner-core boundary. Thermal and compositional diffusivities differ by orders of magnitude. The resulting differences in the dynamical behavior of the two components demand an approach with distinct transport equations and boundary conditions for temperature and chemical concentration. Simulations for five different ratios of thermal and chemical driving are made.

We observe that fixed flux conditions promote larger flow scales and an increase of mean kinetic energy densities. The imposed flux pattern locks the outer core flow to the mantle and therefore breaks its azimuthal symmetry, even for relatively low thermal forcing ratios of 20 %. Despite of the symmetry breaking, stable and dipolar dynamos can be maintained due to the partly chemical forcing with its uniform boundary conditions. Additionally, the chemical component partly adopts to the geometry of the heat flux pattern because advective transport of concentration is more effective in regions of increased heat flux.

The core structure of Mars as expected to be seen by InSight's seismometer

Hempel S., Garcia R.

ISAE, DEOS, Toulouse, Frankreich

The question of the Martian core concerns our basic understanding of the planet's thermal evolution, dynamo models for the past and present, the composition of the Martian mantle, especially in regards to its iron content and prevalent phase transitions, which in turn constrain possible regimes of mantle convection. So far the (outer) core radius of Mars is uncertain to about 250 kilometers (Sohl et al., 2005), and evidence neither supports nor falsifies the existence of an inner core (Defraigne et al., 2003). We apply our extensions of the ray tracing toolbox TauP (Crotwell et al., 1999) to compute amplitude loss, ellipticity, crustal and topography corrections in combination with existing models of seismic activity on Mars (Golombek, 1992, Knapmeyer et al., 2006), crustal thickness models (Wieczorek, 2007) and structure models (e.g. Okal and Anderson, 1978, Zharkov and Gudkova, 2000, Rivoldini et al., 2011). In preparation for NASA's discovery mission InSight, we simulate the detected relative travel-time curves at a single seismic station in Elysium Planitia for several models of Martian structure, seismicity, environment and instrument noise. We discuss possibilities and difficulties of considering the effects of Martian ellipticity and topography up to degree 8 and 30, respectively. Furthermore, we demonstrate the effect of low velocity layers, as well as the relevance of modeling the effects of ellipticity and crustal thickness during the interpretation of seismic data acquired by InSight's SEIS instrument on Mars, especially concerning seismic phases which provide direct evidence on the core of Mars.

Some effects of multiple impacts on the thermochemical evolution of Mars

Ruedas T.

Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Planetologie, Münster, Deutschland

The early history of the terrestrial planets was strongly shaped by the occurrence of several large meteorite impacts. A large impact causes not only severe effects on geologically short timescales (i.e., on the order of seconds to centuries), but may also disturb the thermal structure of the mantle and core of a planet for millions of years. Numerical models have shown that even a single large impact can potentially suppress convection on a large scale and extinguish a core dynamo (e.g., Roberts and Arkani-Hamed, 2012; Arkani-Hamed and Olsen, 2010).

This study combines numerical mantle convection models that include a detailed model of mantle mineralogy and chemistry and are coupled with a simple model of core energetics (e.g., Ruedas et al., 2013) with a parameterization of the thermal effects of an impact and a simple description of some aspects of the concomitant mass transport in order to improve existing models in terms of applicability to the real planet Mars. The effects of single and multiple giant impacts on the long-term evolution of the mantle and core of Mars are studied and an assessment is made whether traces of the early giant impacts - apart from the obvious craters - may have survived to the present day and could be observable by geochemical or geophysical methods. Of particular interest in this context are possible variations in the surface heat flow or in the trace element concentrations in the crust.

References

- Arkani-Hamed, J.; Olson, P. (2010): Giant impacts, core stratification, and failure of the Martian dynamo. *J. Geophys. Res.* 115, E07012, doi: 10.1029/2010JE003579
- Roberts, J. H.; Arkani-Hamed, J. (2012): Impact-induced mantle dynamics on Mars. *Icarus* 218(1), 278-289
- Ruedas, T.; Tackley, P. J.; Solomon, S. C. (2013): Thermal and compositional evolution of the martian mantle: Effects of phase transitions and melting. *Phys. Earth Planet. Inter.* 216, 32-58

S2-A Noise

S2-A Noise

S2-A.001

A high-resolution and calibrated model of man-made seismic noise for Europe

Kraft T.

Swiss Seismological Service, ETH Zürich, Zurich, Schweiz

In the past several years, geological energy technologies receive growing attention and have been initiated in or close to urban areas. Some of these technologies involve injecting fluids into the subsurface (e.g., oil and gas development, waste disposal, and geothermal energy development) and have been found or suspected to cause small to moderate sized earthquakes. These earthquakes, which may have gone unnoticed in the past when they occurred in remote sparsely populated areas, are now posing a considerable risk for the public acceptance of these technologies in urban areas. The permanent termination of the EGS project in Basel, Switzerland after a number of induced $ML > 3$ (minor) earthquakes in 2006 is one prominent example.

Appropriate seismic monitoring is the only way to detect and locate induced microearthquakes with sufficient certainty to develop an understanding of the seismic response of the underground to geotechnical operations. It lays the foundation for the establishment of seismic traffic light systems and is therefore an important confidence building measure towards the local population and authorities. These monitoring networks often have to be installed in densely populated areas with strongly heterogeneous, and unfavourable man-made seismic noise conditions. This poses a major challenge on the network design process.

To solve this problem I have developed a high-resolution model of man-made seismic noise in Europe. The model is based on land-use data derived from satellite imagery from the EU-project CORINE and open GIS data from the OpenStreetMap project. The model was calibrated with data of existing seismic stations in Europe. The result is a high-resolution map of man-made seismic noise, that allows the network designer to make educated predictions on the expected noise level for arbitrary locations in Europe. The ambient noise model was successfully tested in several network optimization projects in Switzerland and surrounding countries and will hopefully be a valuable contribution to improving the data quality of microseismic monitoring networks in Europe.

Seismological and Meteorological Measurements to Investigate the Impact of Wind on Seismic Signals

Lott F.¹, Al-Qaryouti M.², Ritter J.R.R.³, Corsmeier U.¹

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland, ²Ministry of Energy and Mineral Resources, Jordan Seismology Observatory, Amman, Jordanien,

³Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruhe, Deutschland

Atmospheric processes such as local wind systems or severe storms influence records of seismological data causing noise within a broad frequency band. Studies, such as Holub et al. (2008) investigate the impact of storms on microseismicity by comparing seismological records with wind data from meteorological observations. However, previous studies lack fine-meshed comparisons of meteorological and seismological data sets due to significant distances between the locations of the measurements. To correlate data sets on small temporal and spatial scales high frequent meteorological and seismological measurements are necessary at the same location.

In the scope of the HGF project DESERVE a campaign to study the influence of wind on ground motion was realized. We designed a target-oriented experiment in the Dead Sea valley where various distinct, daily local wind systems exist and storms appear frequently in the winter season. For the period of one year we operated 15 three-component short period and broadband stations near Madaba in Jordan joined by a 10 m meteorological tower providing three-component wind data with a 20 Hz sampling rate.

In the winter season of 2014/2015 several storms occurred in the area causing multiple records of maximum mean wind speed above 15 m/s. Spectrograms of seismological data reveal distinct signals assignable to the influence of anthropogenic diurnal variations, and the regional and local impact of wind. Results show an influence of wind on ground motion down to wind speeds of less than 5 m/s. Seismological data collocated with bins of mean wind speed reveal an increase in energy density with increasing wind speed. Thereby horizontal components of ground motion show stronger dependency than the vertical components. The gradient of the increase of seismic energy with wind speed differs between 3 - 10 dB/Hz per 5 m/s increase in wind speed at all stations. At frequencies above 10 Hz wind often affects data in various specific frequency bands at different seismological stations probably due to local site effects and differences in the local wind field.

Holub, K.; Rušajová, J.; Sandev, M. (2008): The January 2007 windstorm and its impact on microseisms observed in the Czech Republic. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 17 No. 1, pp. 047-053, doi: 10.1127/0941-2948/2008/0264

Influence of Wind Turbines on Seismological Records

Stammler K., Ceranna L.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

In the area of the Gräfenberg array in Southern Germany a large number of wind turbines has been installed since 2011. The wind turbines are located in various distances to the 13 stations of the array, down to distances of 1.4 km at two sites. The noise spectra of the sensitive GRF stations are significantly affected between 1 and 10 Hz by wind dependent influences of the turbine towers. The effects of the wind turbines are visible in the seismograms at least up to distances of 15 km. Also the borehole station GRFO in about 100 m depth shows wind turbine noise signals comparable to the collocated surface station GRA1. This leads to severely reduced recording and detection capabilities of the single stations and of the whole array at high wind speeds. The results were found by systematically analyzing continuous data records at all GRF stations over many years. The effect of the sedimentary limestone layer beneath all GRF stations as propagation medium for the noise signals is currently under investigation.

The coherent infrasound noise field - a global view

Ceranna L.¹, Le Pichon A.²

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Fachbereich 4.3 Seismologisches Zentralobservatorium, Kernwaffenteststopp, Hannover, Deutschland, ²CEA, DASE, Bruyeres-le-Chatel, Frankreich

In this study we are going to present preliminary results of global coherent infrasound measured at IMS infrasound stations and its correlation with atmospheric dynamics. A new implementation of the Progressive Multi-Channel Correlation (PMCC) algorithm has been used, which enables a better characterization of all received signals in their wave parameter space (e.g., frequency-azimuth space, frequency-trace-velocity space). This, in-turn, allows an accurate signal discrimination, as well as source and propagation studies. For instance, we are using the processing for microbarom source and propagation studies and for analysing the occurrence of mountain associated waves. We are currently performing re-processing of the entire previous IMS infrasound database covering the time period from January 2003 to December 2015; whereas the number of stations has increased from 6 to 48. Results so far indicate a continuous spectrum of coherent signals at IMS stations within the 0.02 to 5.0 Hz band. Moreover, these results could be used for estimating network detection capability based on empirical station coherent infrasound noise models.

Oceanic excitation of the Earth's Hum

Häfner R.¹, Widmer-Schmidrig R.²

¹Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland, ²Universität Stuttgart, Black Forest Observatory (BFO), Schiltach, Deutschland

By stacking the most silent records of broadband seismometer stations, it is possible to observe a continuous excitation of some of the Earth's fundamental spheroidal normal modes. These modes correspond to a global field of Rayleigh waves hidden in the seismic noise. This is the Earth's Hum.

Using the horizontal components of excellent stations, one also finds evidence of excited toroidal modes/Love waves in the frequency band between 3 and 7 mHz. While the spheroidal Hum may be explained by vertical, atmospheric pressure forces, the excitation of these toroidal modes requires horizontal stress fields acting on the Earth's surface.

We study one possible mechanism that may explain this excitation: Oceanic infragravity waves produce pressure fluctuations on submarine slopes. Where these slopes form periodic patterns, a coherent, horizontal stress field can form due to a incident infragravity wave of matching wavenumber and direction of propagation.

We explore the resulting seismic wavefield by using our own mode summation code. By using mode summation, we can constrain the simulation to the modes relevant to the Hum and compute their contribution to the solution in parallel. The resulting speed of this algorithm for a point force allows us to calculate seismic spectra of temporally and spatially extended stress fields by approximating them as large grids of point sources.

Finally, we show how this mechanism can reproduce the observed ratio between Love and Rayleigh wave amplitudes.

S2-B Noise

S2-B Noise

S2-B.001

Time reversal, cross-correlation and resolution of the near-field: A new seismological imaging approach based on properties of collapsing surface wavefields

Hillers G.¹, Campillo M.¹, Ben-Zion Y.², Roux P.¹

¹Univ. Joseph Fourier, ISTerre, Grenoble, Frankreich, ²University of Southern California, Department of Earth Sciences, Los Angeles, Vereinigte Staaten von Amerika

The dense spatial sampling provided by modern seismological acquisitions allows the reconstruction of the seismic wavefield in the near-field from noise cross-correlations. Therefore, the correlation approach allows the resolution of the focus or focal spot, which is a special feature of the cross-correlation wavefield at zero lag time t . The emergence of the focal spot is tied to the physics of a time reversal process. Based on the equivalence of time reversal and cross-correlation, the correlation amplitude distributions at different lag times correspond to a converging (surface) wavefront at $t < 0$, the collapse or focal spot at $t = 0$ and the diverging wavefront at $t > 0$. We introduce a seismological imaging method based on high resolution reconstructions of the focal spot. This approach has been used in medical imaging or elastography; we apply it here for the first time in a seismological context. The approach exploits the dependence of the spot shape on local properties of the propagation medium. We construct noise correlation functions from data collected by a highly-dense Nodal array centered on the San Jacinto fault zone south of Anza (southern California). The focal spot is obtained from the cross-correlation amplitude distributions at zero lag time. Strong body and fault zone waves that are associated with the complex fault zone structure prohibit the straightforward analysis of the spatially variable zero-lag time distributions. We remove the body and fault zone wave components with a filter in the wavenumber domain. This yields improved reconstructions of the surface wave focal spot. The associated data of amplitude vs. distance are fitted with a damped Bessel function. We repeat this analysis using each geophone location as the collapsing point to which the estimates of the wavelength or -speed and of the damping-factor are related. Estimates of medium anisotropy can also be directly inferred from the non-circular spot shape. The overall consistency of the local wavespeed estimates from the focal spot properties and images obtained with a traditional travel time inversion using the same dataset validates the near-field approach. Both methods reveal a complex velocity structure that exhibits pronounced low-velocity zones whose location, extension and continuity depend strongly on frequency.

Imaging changes at depth in elastic media using coda waves

Obermann A.¹, Planès T.², Hadziioannou C.³, Campillo M.⁴

¹Swiss Seismological Service, ETH Zürich, Zurich, Schweiz, ²Colorado School of Mines, Golden, Vereinigte Staaten von Amerika, ³Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften - Geophysik, München, Deutschland, ⁴ISTerre, Grenoble, Frankreich

In the context of seismic monitoring, recent studies made use of the diffuse character of seismic coda waves to locate medium changes in the Earth on the horizontal plane. The depth location, however, remains a challenge. We use 3D wavefield simulations to investigate the lapse-time dependent depth sensitivity of seismic coda waves towards velocity perturbations in an elastic heterogeneous medium. We introduce a thin layer with a perturbed velocity at different depths. Then, we determine the apparent relative velocity changes due to this layer at different times in the coda and for different degrees of heterogeneity of the model. We show that in all cases, the depth sensitivity can be modeled as a combination of bulk and surface wave sensitivity. The partition ratio between bulk and surface waves shows a universal behavior and can be used to construct probabilistic 3-D sensitivity kernels for imaging purposes that combine surface and bulk wave propagation.

We show numerical results where we use these 3D kernels to locate changes in different types of media.

Microtremor H/V(z,f) spectral ratio modeling using the diffuse field assumption and the Thomson-Haskell formulation: Considering a fluid layer on top

Lontsi A.M.¹, Molina-Villegas J.C.², Sánchez-Sesma F.J.², García-Jerez A.^{3,4}, Ohrnberger M.¹, Krüger F.¹
¹Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, ²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería, México D.F., Mexiko, ³Universidad de Granada, Instituto Andaluz de Geofísica, Granada, Spanien, ⁴Universidad de Almería, Departamento de Química y Física, Almería, Spanien

The use of the single station microtremor H/V spectral ratio for subsurface investigation has attracted a number of practitioners in civil/geotechnical engineering over the past few decades. This can be understood by the simplicity of the method to quickly estimate the resonance frequency of the investigated site. However, the noise wavefield data and the corresponding H/V spectrum contains information well beyond the resonance frequency. Extracting these information, that mainly include the shear wave velocity information, delineating the geological formation and to some extend the compressional wave velocity information, requires a model able to interpret the full spectrum of the estimated H/V spectral ratio. A number of models are currently on the rise. We present a brief review of the available methods and their current limitation. We introduce a new approach based on the diffuse field assumption in combination with the Thomson-Haskell matrix formulation for 1D layered media. The method provides the additional advantage that a fluid layer on top of the layer media can be considered. The latter consideration extends the applicability of the H/V method to coastal environments and seafloor investigation.

Improved surface-wave response from ambient noise in Malargüe, Argentina, using seismic interferometry by multidimensional deconvolution

Weemstra C.¹, Draganov D.¹, Ruigrok E.², Wapenaar K.¹, Gomez M.³

¹Delft University of Technology, Department of Geoscience and Engineering, Delft, Niederlande, ²Royal Netherlands Meteorological Institute, De Bilt, Niederlande, ³International Center for Earth Sciences, Comision Nacional de Energia Atomica, Buenos Aires, Argentinien

Generating new seismic responses from existing recordings is generally referred to as seismic interferometry (SI). Conventionally, the new responses are retrieved by simple crosscorrelation of recordings made by separate receivers: a first receiver acts as 'virtual source' whose response is retrieved at the other receivers. The newly retrieved responses can be used to extract receiver-receiver phase velocities, which often serve as input parameter for tomographic inverse problems, or which can be linked to temporally varying parameters such as hydrocarbon production and precipitation. For all applications, however, the accuracy of the retrieved responses is of great importance. In practice, this accuracy is often degraded by irregularities in the illumination pattern: correct response retrieval relies on a uniform illumination of the receivers. Reformulating the theory underlying seismic interferometry by crosscorrelation as a multidimensional deconvolution (MDD) process, allows for correction of these non-uniform illumination patterns by means of a so-called point-spread function (PSF).

We apply SI by MDD to surface-wave data recorded by the Malargüe seismic array in western Argentina. The aperture of the array is approximately 60 km and it is located on a plateau just east of the Andean mountain range. The array has a T-shape: the receivers along one of the two lines act as virtual sources whose responses are retrieved by the receivers along the other (perpendicular) line of receivers. Because SI by MDD relies on one-way wavefields, we select time windows dominated by surface-wave noise traveling in a favorable direction, that is, traversing the line of virtual sources before arriving at the receivers at which we aim to reconstruct the virtual-source responses. These time windows are selected through a frequency-dependent slowness analysis along the two receiver lines. From the selected time windows, virtual-source responses are retrieved by computation of ensemble-averaged crosscorrelations. Similarly, ensemble-averaged crosscorrelations between virtual sources are computed: the point-spread function. We use the PSF to deconvolve the effect of illumination irregularities and the source function from the virtual-source responses. The combined effect of time-window selection and MDD results in more accurate surface-wave responses.

S2-C Noise

S2-C Noise

S2-C.001

Transdimensional Love-wave tomography of the British Isles from ambient noise interferometry

Galetti E.¹, Curtis A.¹, Baptie B.², Jenkins D.^{1,3}, Nicolson H.^{1,4}

¹University of Edinburgh, School of Geosciences, Edinburgh, Vereinigtes Königreich, ²British Geological Survey, Edinburgh, Vereinigtes Königreich, ³WesternGeco Ltd, West Sussex, Vereinigtes Königreich, ⁴Wood Mackenzie, Edinburgh, Vereinigtes Königreich

Over the last decade, seismic interferometry has revolutionised the way seismologists study the Earth's interior by providing novel ways of obtaining information on the subsurface from naturally-occurring seismic ambient noise. Because seismic stations can be installed virtually anywhere on the Earth's surface at any desired time, the use of seismic interferometry may be particularly beneficial in areas where earthquakes tend to be infrequent and of relatively small magnitude, and thus traditional teleseismic or local-earthquake methods are likely to fail.

Within this talk I will present the first Love-wave group velocity and shear velocity maps of the British Isles, which are well known for being characterised by a low level of earthquake activity and an irregular distribution of seismic stations. We first selected 61 seismic stations across the UK and Ireland and produced a set of interferometric inter-station Green's functions by cross-correlating the transverse component of ambient noise recorded between 2002 and 2010. We then calculated Love-wave traveltimes between all possible station pairs and applied a fully non-linear inversion method to produce group velocity maps within 8 different period bands. This inversion method combines the transdimensional reversible-jump Markov chain Monte Carlo (rj-McMC) algorithm with an eikonal raytracer, ensuring that the non-linear character of the inverse problem is fully and correctly accounted for. In a second stage of our study, we used the results of tomography to produce a series of Love-wave group-velocity dispersion curves across the UK and Ireland. By independently inverting each curve and merging all resulting 1D shear-velocity profiles, we finally created a fully three-dimensional model of the crust beneath the British Isles. Results from both group-velocity tomography and shear-velocity inversion agree well with the known geology of the area.

Ice shelf structure of the Ross Ice Shelf, Antarctica, derived from dispersion curve analysis of ambient seismic noise

Diez A.^{1,2}, Bromirski P.D.², Gerstoft P.², Stephen R.A.³, Anthony R.⁴, Aster R.⁴, Chen C.⁵, Nyblade A.⁶, Wiens D.A.⁵
¹Norwegian Polar Institute (NPI), Tromsø, Norwegen, ²Scripps Institution of Oceanography, San Diego, Vereinigte Staaten von Amerika, ³Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hall, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁴Colorado State University, Geosciences Dept., Warner College of Natural Resources, Fort Collins, Colorado, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁵Washington University of St. Louis, Department of Earth and Planetary Sciences, St. Louis, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁶Pennsylvania State University, Department of Geosciences, State College, Vereinigte Staaten von Amerika

An L-shaped array of three-component short period seismic stations were deployed at the Ross Ice Shelf, Antarctica approximately 100 km south of the ice edge, near 180° longitude, from November 18 through 28, 2014. A spectral peak at about 1.6 Hz is interpreted as the resonance frequency of the water column, and is used to estimate the water layer thickness below the ice shelf. Energy above 4 Hz is dominated by Rayleigh and Love waves propagating from the north. Frequency-slowness plots were calculated using beamforming. Resulting Love and Rayleigh wave dispersion curves were inverted for the shear wave velocity profile, from which we derive a density profile. The derived shear wave velocity profiles differ within the firm for the inversions using Rayleigh and Love wave dispersion curves. This difference is attributed to an effective anisotropy due to fine layering. The layered structure of firm, ice, water, and seafloor results in a characteristic dispersion curve pattern below 7 Hz. We investigate the observed structures in more detail by forward modeling of Rayleigh wave dispersion curves for representative firm, ice, water, sediment structures. Rayleigh waves are observed when wavelengths are long enough to span the distance from the ice shelf surface to the seafloor. The forward modeling shows that analysis of seismic data from an ice shelf provides the possibility of resolving ice shelf thickness, water column thickness, and the physical properties of the ice shelf and underlying seafloor using passive-source seismic data.

Seismological Field Observation of Mesoscopic Nonlinearity

Gassenmeier M.¹, Sens-Schönfelder C.¹, Eulenfeld T.², Tilmann F.¹, Korn M.³

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.4 Seismologie, Potsdam, Deutschland, ²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland, ³Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, Deutschland

Noise based observations of seismic velocity changes have been made in various environments. We know of seasonal changes of velocities related to ground water or temperature changes, co-seismic changes originating from shaking or stress redistribution and changes related to volcanic activity. It is often argued that a decrease of velocity is related to the opening of cracks while the closure of cracks leads to a velocity increase if permanent stress changes are invoked. In contrast shaking induced changes are often related to "damage" and subsequent "healing" of the material. The co-seismic decrease and transient recovery of seismic velocities can thus be explained with both - static stress changes or damage/healing processes. This results in ambiguous interpretations of the observations.

Here we present the analysis of one particular seismic station in northern Chile that shows very strong and clear velocity changes associated with several earthquakes ranging from $M_w=5.3$ to $M_w=8.1$. The fact that we can observe the response to several events of various magnitudes from different directions offers the unique possibility to discern the two possible causative processes. For this we develop an empirical model that is based on the local ground acceleration at the sensor site. The eight year of almost continuous observations of velocity changes are well modeled by a daily drop of the velocity followed by an exponential recovery. Both, the amplitude of the drop as well as the recovery time are proportional to the integrated acceleration at the seismic station. Effects of consecutive days are independent and superimposed resulting in strong changes after earthquakes and constantly increasing velocities during quiet days thereafter.

This model describes the continuous velocity changes solely based on the acceleration time series without individually defined dates of events associated with separately inverted parameters. As the local ground acceleration is not correlated to static stress changes we can exclude static stress changes as causative process. The shaking sensitivity and healing process is well known from laboratory experiments in composite materials as mesoscopic nonlinearity. The sensitive behavior at this station is related to the particular near surface material that is a conglomerate cemented with gypsum - so called gypcrete. However, mesoscopic nonlinearity with different parameters might be a key to understand velocity changes also at other sites.

Structural Monitoring of a Highway Bridge using Passive Noise Recordings from Street Traffic

Salvermoser J.¹, Hadziioannou C.¹, Stähler S.C.^{1,2}

¹Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften - Geophysik, München, Deutschland,

²Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Rostock, Deutschland

Structural damage on bridges presents a hazard to public safety. Due to increased safety norms and the aging of structures built after the second world war, the interest in performing structural health monitoring (SHM) is steadily growing.

Different approaches for SHM have been proposed in the last decades to replace the well-established but sometimes unreliable visual inspection. This study contributes to the development of an alternative monitoring system for civil structures based on passive noise measurements (seismic elastic waves). Important features, we aim to improve for future systems are temporal resolution, accuracy of detection and minimizing the logistical effort. Passive noise-based monitoring techniques are predestined to fulfill these requirements.

Damage is often indicated by deviations of wave velocity in the medium caused by opening cracks or perturbed stress conditions (e.g. loss of pretension).

Cross-correlations of traffic noise recorded at geophone receiver pairs on a reinforced concrete bridge were found to be sufficiently stable for comparison and sensitive to velocity changes in the medium. A method named Passive Image Interferometry [Sens-Schönfelder & Wegler, 2006] was used to quantify small velocity fluctuations in the medium and thereby measure structural changes.

The evaluation of more than two months of continuous geophone recordings yielded velocity variations dv/v in the range of -1.5% to +2.1% (temp. range: -23°C to +14°C). The observed fluctuations correlate with associated temperature time series at a striking resemblance which is remarkable for two completely independent data sets.

Due to this strong conformity of the measurements, we proceeded with an estimation of a scaling factor between temperatures and wave velocity changes, a velocity variation rate (VVR) per °C. In a linear regression approach to adjust temperature values to velocity variations for each 24h-interval consecutively, we calculated the best fitting VVRs.

An average value of 0.064 %/°C could be identified which corresponds well to other studies on concrete structures. In the future, we plan on conducting experiments that include real damage scenarios in simulations and laboratory experiments to check the sensitivity of our method to damage induced velocity variations, especially caused by stress corrosion cracking of prestressed concrete steel. The ultimate aim is to develop a working automated SHM system that uses only passive traffic noise as a signal.

Gemeinsame Auswertung passiver und aktiver seismischer Messungen sowie geologischer Informationen zur Bestimmung der oberflächennahen Struktur

Horstmann T.¹, Brüstle A.², Spies T.¹, Schlittenhardt J.¹, Schmidt B.²

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland, ²Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, Mainz, Deutschland

Der Einsatz von passiven seismischen Methoden, wie seismischen Mikrotremormessungen, ist bei geotechnischen Fragestellungen weit verbreitet. Sowohl Einschränkungen der Anwendbarkeit der Methodik als auch notwendige Weiterentwicklungen sind jedoch Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion. Der Beitrag beschäftigt sich mit Unruhemessungen im Rahmen von Mikrozonierungen, z. B. in Gebieten wie Stadtteilen oder Gemeinden. Im betrachteten Gebiet sollen über flächenhaft durchgeführte H/V-Messungen Bereiche mit gleichen Untergrundeigenschaften identifiziert werden und in diesen punktuell mit Array-Messungen das Tiefenprofil der Scherwellengeschwindigkeit ermittelt werden. Da bei der ausschließlichen Nutzung der passiven Messungen es zu Unsicherheiten bei der Bestimmung von Dispersionskurven und zu Mehrdeutigkeit bei der Inversion kommen kann, wurden zusätzlich aktive seismische Messungen und verfügbare geologische Informationen hinzugezogen. Die Arbeiten laufen im Rahmen des MAGS2-Projekts („Mikroseismische Aktivität bei geothermischen Systemen“) und beschäftigen sich mit der Ermittlung der seismischen Gefährdung an Standorten tiefegeothermischer Kraftwerke. Die Messungen wurden im Oberrheingraben und in der Bayerischen Molasse durchgeführt, wo geothermische Kraftwerke betrieben werden. Der Schwerpunkt im Beitrag liegt auf Arbeiten im Bereich Landau/Pfalz. Die Ergebnisse der H/V- und der Array-Messungen werden vorgestellt und mit bekannten geologisch-tektonischen Strukturen verglichen. Folgerungen aus den geologischen Informationen im Hinblick auf die Inversion werden abgeleitet. Die flächendeckenden H/V-Messungen im Messgebiet zeigen mehrere abgrenzbare Bereiche an, die auf jeweils homogene oberflächennahe Untergrundeigenschaften schließen lassen. Neben den passiven seismischen Messungen wurde als eine weitere Grundlage für die Ermittlung der Scherwellengeschwindigkeiten ein aktives Refraktionsexperiment durchgeführt und mit Hilfe der MASW-Methode („Multichannel Analysis of Surface Waves“) ausgewertet. Die ermittelten Dispersionskurven der Rayleigh-Wellen aus dem aktiven Experiment bestätigen die Rayleigh-Dispersionskurven aus den passiven Messungen und stellen daher eine wertvolle Ergänzung dar. Für die Inversion wurde zusätzlich die Rayleigh-Ellipzität berechnet, um die Mehrdeutigkeit einzugrenzen. Die in der Inversion erhaltenen Tiefenprofile der Scherwellengeschwindigkeit stimmen gut mit den Ergebnissen aus der Refraktionsseismik überein.

S2-D Noise

S2-D Noise

S2-D.001

Seismische Störsignale in einem urbanen Untersuchungsgebiet

Reichel H., Schneider F., Becker D.

Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland

In urbanen Umgebungen gibt es eine Vielzahl von seismischen Störsignalen. Quellen sind zum Beispiel die starke Konzentration von Kraftfahrzeugen, Baustellenlärm oder schwere Maschinen. Diese anthropogenen Störungen umfassen einen weiten Frequenzbereich, zeigen eine starke zeitliche Variabilität und können sowohl von transienter wie auch periodischer Natur sein. Aufgrund der starken Bebauung gibt es kaum ruhig gelegene Bereiche, die eine ungestörte seismische Aufzeichnung ermöglichen. Dies beeinträchtigt die Detektionsfähigkeit von seismischen Netzwerken in Bezug auf lokale mikroseismische Ereignisse und macht viele Zeitbereiche für weitergehende Untersuchungen unbrauchbar.

Gleichzeitig gibt es aber urbane, dicht besiedelte Regionen, in denen eine genaue Überwachung von Mikroseismizität im Zuge eines Gefahrenmonitorings von möglicherweise seismogenen Gebieten wichtig ist. Im Rahmen des Projektes "SIMULTAN" (Subrosion und Instabilität von Erdfällen: integrierte multi-skalige Überwachung und Analyse) wurden im Raum Flottbek, im Westen von Hamburg, von der Universität Hamburg drei seismische Stationen installiert. Diese Stationen sollen in ein zukünftiges Echtzeit-Überwachungssystem für ein Erdfallgebiet integriert werden, das durch noch zu installierende Bohrlochstationen sowie weitere Breitbandstationen, die auf dem Gelände des DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) bereits installiert sind, komplettiert wird. Ziel des multidisziplinären SIMULTAN-Projektes ist es, ein besseres Verständnis von den Prozessen der Erdfallstrukturen zu gewinnen. Die Daten der bereits installierten seismischen Stationen werden mittels Frequenzanalysen untersucht. Die verschiedenen Störsignale werden in Bezug auf ihr zeitliche und räumliche Variabilität charakterisiert, um ein besseres Verständnis des urbanen Rauschens zu erhalten. Dies kann dann dazu dienen, die raum-zeitliche Variabilität der Detektionsfähigkeit des Netzwerkes abzuschätzen und Zeitbereiche für weitergehende seismologische Untersuchung (wie z.B. H/V-Studien) zu identifizieren. Diese Arbeit wird durch das 'Geotechnologien'-Projekt "SIMULTAN" (BMBF03G0737A) gefördert.

Inversion seismischer Noise-Korrelationen nach der Quellverteilung

Ermert L., Afanasiev M., Sager K., Gokhberg A., Fichtner A.
ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz

Wir entwickeln eine neue Methode, um für die raum- und zeitabhängige spektrale Leistungsdichteverteilung von seismischen Noise-Quellen zu invertieren. Diese Methode soll zum einen dazu dienen, realistische Vorwärtsmodelle von Noise-Korrelationen zu berechnen. Solche Modelle ermöglichen es, Wellenforminversion mit Noise durchzuführen und eröffnen damit neue Möglichkeiten für Noise-Tomographie jenseits der Annahme, dass die Korrelation der Greenschen Funktion zwischen zwei Stationen entspricht. Zum anderen bringt die Methode möglicherweise neue Erkenntnisse über die Eigenschaften der Noise-Quellen selbst mit sich, und ist damit eine wichtige Ergänzung bestehender Methoden, wie beamforming oder Modellierung aufgrund ozeanographischer Informationen.

Als zu invertierende Beobachtungen verwenden wir die Energie der „kausalen“ (Station A nach B) und „akausalen“ (Station B nach A) Oberflächenwelle, und deren Quotienten. Anhand solcher Messungen wurden in bisherigen Studien Noise-Quellen erfolgreich grob lokalisiert.

Bei der Inversion wird wie folgt vorgegangen: Wir berechnen synthetische Korrelationen anhand Greenscher Funktionen zwischen Quellen und Stationen. Diese Greenschen Funktionen werden mit einem dreidimensionalen, inhomogenen Erdmodell in einem Spektrale-Elemente-Code berechnet. Um die Berechnung der Korrelationen möglichst ökonomisch zu gestalten, arbeiten wir mit einer im Voraus berechneten Datenbank Greenscher Funktionen. Dazu nutzen wir Reziprozität der Greenschen Funktion zwischen Quelle und Empfänger, und nehmen an, dass Noise-Quellen im Raum unkorreliert sind sowie nur an der Erdoberfläche auftreten. Im nächsten Schritt berechnen wir die räumliche Sensitivität der Messungen, welche es erlaubt, den Misfitgradienten in Bezug auf die beschriebenen Signalenergien zu konstruieren. Anhand des Gradienten kann dann das Modell der Quellverteilung in Bezug auf die beobachteten Signalenergien optimiert werden.

Bei der Tagung werden wir die innovative Berechnungsmethode vorstellen, mit der wir Noise-Korrelationen und deren Sensitivität modellieren. Ebenfalls zeigen wir die Ergebnisse für Vorwärtsmodelle und Sensitivität und diskutieren, welche Eigenschaften für das Quellmodell sich aus diesen Resultaten ergeben.

What is the contribution of scattering to the Love-to-Rayleigh ratio in ambient microseismic noise?

Ziane D., Hadziioannou C.

Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften - Geophysik, München, Deutschland

Several observations show the existence of both Rayleigh and Love waves in the secondary microseism. While the Rayleigh wave excitation is well described by Longuet-Higgins, the process responsible for Love wave generation still needs further investigation. Several different mechanisms could excite Love waves in this frequency band: broadly speaking, we can differentiate between source effects, like pressure variations on the oblique sea floor, or internal effects in the medium along the propagation path, such as scattering and conversions.

Here we focus on the internal effects. We solve the elastic wave equation in a random infinite halfspace with a point source placed at the free surface to mimic pressure perturbations excited by ocean waves. For a vertical source direction, we calculate the dependence of Love to Rayleigh energy ratio on scattering properties of the medium and on distance to the source. Furthermore, for a horizontal source direction we calculate the Love to Rayleigh energy ratio dependence on the source-receiver angle. To separate the Love-and the Rayleigh wave energy we calculate the vertical and the horizontal rotational ground motion, according to the polarisation of the different phases.

Analyse der Meereseismik an der seismologischen Station Helgoland (HLG)

Peikert J.¹, Cristiano L.¹, Jahr T.², Meier T.¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, Deutschland, ²Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Jena, Deutschland

Meereseismische Signale von Ozeanwellen stellen den größten Anteil am seismischen Rauschen dar und können noch in großen Entfernungen von der Küste registriert werden. Für die Analyse der Meereseismik wurden Daten der seismologischen Station (HLG) auf der Nordseeinsel Helgoland untersucht, die seit 1956 vom Institut für Geowissenschaften der Christian – Albrechts - Universität zu Kiel betrieben wird und seit 2002 digitale Aufzeichnungen liefert. Der betrachtete Zeitraum betrug 10 Jahre von Anfang 2004 bis Ende 2014.

Mittels Spektrogrammen unterschiedlicher zeitlicher Länge wurden episodische und saisonale Variationen in der Intensität der verschiedenen Frequenzbereiche der Meereseismik untersucht. Um den Einfluss der Ozeanwellen auf die seismischen Registrierungen zu verdeutlichen, wurden Messungen des Seegangs nahe der seismologischen Station mit den Amplituden der Meereseismik verglichen. Dabei wird offensichtlich, dass die Meereseismik im Frequenzbereich zwischen 0,03 Hz und 1 Hz durch den Wellengang in der Nähe der Station erzeugt wird.

Zur genaueren Betrachtung periodischer Signale wurden die mittleren Amplituden der primären, sekundären und lokalen Meereseismik in den Frequenzbereich transformiert. Dabei wurden für die lokale Meereseismik neben saisonalen Schwankungen Peaks mit einer Periode von 24 und 12 Stunden sichtbar, die auf den Einfluss von Gezeiten auf das seismische Signal hinweisen. Der Vergleich mit dem Spektrum der berechneten Gezeiten der festen Erde bestätigte diese Annahme.

Die mittleren Amplituden der sekundären und lokalen Meereseismik weisen auf der vertikalen und den horizontalen Komponenten sehr ähnliche Amplituden und zeitliche Variationen auf, was auf das Vorhandensein von Love-Wellen hinweist. In der primären Meereseismik korrelieren die horizontalen Komponenten schlechter mit der vertikalen Komponente.

Direction dependent Love and Rayleigh wave noise characteristics using multiple arrays across Europe

Juretzek C., Perleth M., Hadziioannou C.

Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften, München, Deutschland

Seismic noise has become an important signal source for tomography and monitoring purposes. Better understanding of the noise field characteristics is crucial to further improve noise applications. Our knowledge about common and different origins of Love and Rayleigh waves in the microseism band is still limited. This applies in particular for constraints on source locations and source mechanisms of Love waves.

Here, 3-component beamforming is used to distinguish between the different polarized wave types in the primary and secondary microseism noise field recorded at several arrays across Europe. We compare characteristics of Love and Rayleigh wave noise, such as source directions and frequency content. Further, Love to Rayleigh wave ratios are measured and a dependence on direction is found, especially in the primary microseism band. Estimates of the kinetic energy density ratios propose a dominance of coherent Love waves in the primary, but not in the secondary microseism band. The seasonality of the noise field characteristics is examined by using a full year of data in 2013 and is found to be stable.

Ambient noise generated by storms and hurricanes in the deep sea

Perleth M., Juretzek C., Hadziioannou C.

Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften - Geophysik, München, Deutschland

The Earth surface is continuously moving, even when no earthquakes occur. This ambient noise is primarily generated by the oceans in the frequency range from 0.04 to 0.2 Hz. Typically, large storms and hurricanes over the ocean generate a substantial amount of ambient noise, both in the primary (single-frequency) and secondary (double frequency) microseism band.

Here, we study the storm Rafael (October 2012) with the aid of a 3-component beamforming method. Both surface and body waves are observed to be generated by the storm. The surface waves are characterized by several continuously acting coastal generation areas. However, it is possible to follow the track of the storm moving away from the coast during a few days, if local sources are faint. In particular, P-waves are observed at higher double-frequencies and only from deep water origins. These results are compared to observations of storm-generated microseismic noise described in other publications.

Seasonal variations of seismic noise sources in the western Ross Sea, Antarctica

Schmidt-Aursch M.¹, Lee W.S.², Hong J.K.², Geissler W.¹, Yun S.²

¹Alfred Wegener Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Deutschland, ²Korean Polar Research Institute, Incheon, Korea, Republik

The Antarctic Ross Sea is one of the key regions for polar research activities. Research stations from several countries located at the coast are the base for inland expeditions. Even in the southern summer, the Ross Sea is partly covered with drifting ice fields; this requires an icebreaker for all marine explorations. Therefore, large geophysical surveys in the Ross Sea are difficult. But the area is of special interest for seismologists: The Terror Rift in the western Ross Sea is a prominent neotectonic structure of the West Antarctic Rift System. It is located near the coast in the Victoria Land Basin and extends parallel to the Transantarctic Mountains. The rifting processes and the accompanying active onshore volcanism lead to increased seismicity in the region. The annual waxing and waning of the sea-ice and the dynamics of the large Ross ice shelf and nearby glaciers generate additional seismic signals.

The Korean Polar Research Institute (KOPRI) and the Alfred-Wegener-Institut (AWI) conducted a pilot study off the Korean Jang Bogo research station in the Terra Nova Bay to explore seismicity and seismic noise in this region. Four broadband ocean-bottom seismometers (OBS) from the German DEPAS pool were deployed in January 2012 with the Korean research icebreaker RV Araon. Three instruments could successfully be recovered after 13 months, the fourth OBS was not accessible due to local sea-ice coverage. It was retrieved one year late in January 2014. All stations recorded data of good quality, one station stopped after 8 months due to a recorder error. The OBS recovered in 2014 recorded more than 17 months of data until the batteries were discharged. In this contribution, we present preliminary results from a seismic noise analysis. We calculated monthly, weekly and daily probabilistic power spectral densities (PPSD) for all stations and channels. Strong seasonal variations are visible in the noise spectra and can be correlated with the sea-ice coverage in the region.

Seismic Noise Interferometry on Ice

Preiswerk L.E.^{1,2}, Walter F.¹

¹ETH Zürich, Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology (VAW), Zürich, Schweiz, ²ETH Zürich, Departement Erdwissenschaften, Zürich, Schweiz

Unstable glaciers are a threat to human infrastructure in alpine terrain, and this hazard is likely to increase with global climate change. Seismometers have been used on hazardous glaciers to monitor the natural englacial seismicity. Seismic events in alpine glaciers, commonly referred to as icequakes, are mostly openings of cracks. Therefore, an increase in icequake activity indicates fracture growth and usually is a warning sign before major break-off events.

A new promising approach to predict the failure of unstable glaciers is ambient noise coda wave interferometry. However, not all glaciers are suitable for seismic interferometry, since glacier ice can be very homogeneous. Only glaciers with enough crevasses or other inhomogeneities provide enough scattering, which is likely the case for unstable glaciers.

Here, we report preliminary results from two field campaigns of summer 2015: Firstly, we installed highly portable seismometers directly on the unstable part of the glacierized northwest face of Weissmies (Switzerland). The seismometers were recording for two weeks. Measurements of surface displacements by GPS and interferometric radar provide valuable complementary data to interpret the seismic observations. Secondly, for two months we operated a network of ice borehole seismometers on Bisgletscher (Switzerland), directly above its unstable tongue. Although no major break-off occurred while the seismometers were active, our results allow us to draw important conclusions regarding the suitability of seismic interferometry on glaciers and the processing required to monitor unstable glaciers.

Glacial hydraulics revealed by ambient seismic noise

Lindner F., Walter F.
ETH Zürich, Zürich, Schweiz

Outburst floods of glacier-dammed lakes pose a severe threat to human infrastructure as large volumes of water can be released within a few days. Moreover, subglacially draining lakes impact ice flow by changing subglacial hydraulic conditions. Consequently, glacier outburst floods have attracted attention in various sub-disciplines of glaciology. However, little is known about the drainage processes as conventional approaches to the study of the subglacial water flow are typically laborious and expensive and often provide point measurements, only. Seismology is an innovative and promising alternative, which in recent years has provided unprecedented insights into various glaciological processes. With respect to subglacial hydraulics, recent studies demonstrate that seismic signals can serve as a proxy for water flow through or under glaciers.

Here we present results from a seismic monitoring exercise of Gornensee, an ice-marginal lake in Switzerland's Canton Valais. In 2007, an on-ice network consisting of eight seismometers continuously recorded a drainage, which emptied the lake volume of 3.6 m^3 over the course of nine days. As the array was located close to the lake, the drainage initiation and water discharge left a clear seismic signature on the continuous seismic record. With this data set, we propose to (1) understand the initiation mechanism of the outburst flood, (2) track the water through the glacial drainage system, and (3) monitor time-dependent changes in the subglacial and englacial conduits.

Ambient seismic noise analysis to reveal submarine permafrost depth

Haberland C.¹, Overduin P.², Ryberg T.³, Kneier F.², Jacobi T.⁴, Grigoriev M.⁵, Ohrnberger M.⁴

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.2 Geophysikalische Tiefensondierung, Potsdam, Deutschland, ²Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Sektion Periglazialforschung, Potsdam, Deutschland, ³Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ⁴Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, ⁵Mel'nikov Permafrost Institute, Yakutsk, Russische Föderation

Permafrost inundated since the last glacial maximum is degrading, potentially releasing trapped or stabilized greenhouse gases, but few observations of the depth of ice-bonded permafrost (IBP) below the sea floor exist for most of the arctic continental shelf. Challenges associated with the detection of IBP include restrictions on the use of powerful seismic sources and the fact that the shelf regions are too shallow for large vessels to operate. This study seeks to test the use of a passive technique for the detection of IBP and the estimation of its depth below the sea floor. Autonomous shallow-water three-component geophones were developed and deployed for almost four weeks around Muostakh Island in the central Laptev Sea, Siberia, Russia. We used spectral ratios of the horizontal and vertical components of the ambient vibration seismic wave (H/V), together with estimated shear wave velocity from the dispersion curves of surface waves, for estimating the thickness of the sediment overlying the IBP. H/V peaks corresponding to the unfrozen sediment layer could be identified and confirmed by numerical modeling. Peaks in spectral ratios modeled for three-layered 1-D systems correspond with varying thickness of the unfrozen sediment. We derived depths of the IBP between 3.7 and 20.7 m \pm 15%, increasing with distance from the shoreline. Correspondence between expected permafrost distribution, modeled response, and observational data suggests that the method is promising for the determination of the thickness of unfrozen sediment.

Imaging fluid channels within the NW Bohemia/Vogtland region using ambient seismic noise and MFP Analysis

Umlauf J., Flores Estrella H., Korn M.

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

Presently ongoing geodynamic processes within the intracontinental lithospheric mantle give rise to different natural phenomena in the NW Bohemia/Vogtland region, among others: earthquake swarms, mineral springs and degassing zones of mantle-derived fluids (mofettes). Their interaction mechanisms and relations are not yet fully understood, therefore they are intensively studied using geophysical, geological and biological approaches.

We focus on the investigation of near-surface channels that conduct mantle-originating fluids as well as CO₂. We aim at the detection, imaging and characterization of the fluid channel structure as well as the observation of their temporal and spatial variability.

The Hartoušov Mofette Field within the Cheb Basin (NW Bohemia/Vogtland region) is a key site to study fluid flow as it is characterized by strong surface degassing of CO₂. On this field, we applied the noise source localization method Matched Field Processing (MFP) considering the fluid flow as seismic noise source. Within multiple campaigns, we measured ambient seismic noise in continuous mode during the night to avoid cultural noise generated by human activity. We used arrays of about 30 randomly distributed stations with 1 to 4 ha extent.

We compared the surface position of the MFP output with punctual CO₂ flux measurements performed by Nickschick et al. (2015) and observed a strong relation between high CO₂ flux values and the position of the MFP maxima.

Additionally, we observed surface indicators for CO₂ degassing on the same positions of the MFP predicted noise sources: wet and dry mofettes accompanied by bog cotton, bug traps and brown to yellow coloured grass.

The MFP maxima can be followed into the subsoil to image the fluid channel structure down to 50 m depth. We analyzed the influence of the array size on the vertical and horizontal MFP resolution as well as the temporal and spatial variability of the flow activity.

Monitoring seismic wave speed changes during and after earthquakes near Parkfield: location and depth dependence

Hadziioannou C.¹, Hable S.¹, Obermann A.², Konca O.³, Campillo M.⁴

¹Ludwig-Maximilians-Universität München, München, Deutschland, ²Swiss Seismological Service, ETH Zürich, Zurich, Schweiz, ³Kandilli Observatory, Istanbul, Türkei, ⁴ISTerre, Grenoble, Frankreich

We measure wave speed changes near the San Andreas fault zone during and after the 2004 Parkfield and 2003 San Simeon events using both horizontal and vertical component records.

Using ambient noise correlations, we calculate the 9 component cross-correlation tensor for each pair of stations. Using these correlation functions, wave speed changes are measured in multiple frequency bands between 0.2 Hz and 4.0 Hz. Combining measurements performed on all 9 components provides us with a better signal-to-noise ratio, which allows us to measure wave speed changes for smaller subsets of stations and at different time windows in the coda.

The co-seismic wave speed drop for both events behaves differently on each side of the fault zone. Moreover, the post-seismic recovery behavior of the wave speed change is frequency dependent and differs for the San Simeon event and the Parkfield event. The coda lapse time dependence of the waveform changes allows us to roughly localize the area of changed seismic wave speed.

Towards a Full Waveform Ambient Noise Inversion

Sager K., Ermert L., Böhm C., Fichtner A.
ETH Zürich, Zürich, Schweiz

Noise tomography usually works under the assumption that the inter-station ambient noise correlation is equal to a scaled version of the Green's function between the two receivers. This assumption, however, is only met under specific conditions, for instance, wavefield diffusivity and equipartitioning, zero attenuation, etc., that are typically not satisfied in the Earth. This inconsistency inhibits the exploitation of the full waveform information contained in noise correlations regarding Earth structure and noise generation. To overcome this limitation we attempt to develop a method that consistently accounts for noise distribution, 3D heterogeneous Earth structure and the full seismic wave propagation physics in order to improve the current resolution of tomographic images of the Earth.

As an initial step towards a full waveform ambient noise inversion we develop a preliminary inversion scheme based on a 2D finite-difference code simulating correlation functions and on adjoint techniques. With respect to our final goal, a simultaneous inversion for noise distribution and Earth structure, we address the following two aspects: (1) the capabilities of different misfit functionals to image wave speed anomalies and source distribution and (2) possible source-structure trade-offs, especially to what extent unresolvable structure could be mapped into the inverted noise source distribution and vice versa.

Core phases constructed from cross-correlations of 2013 Okhotsk earthquake reverberations confirm dominance of waves traveling along the great circle path

Eulenfeld T.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

Core phases are constructed from reverberations of the deep 2013 Okhotsk earthquake (M_w 8.3). For this, Z component data of the late coda (2.8 hours to 8.3 hours after origin time) are cross-correlated in the frequency band 0.05 Hz to 0.1 Hz between 850 world-wide stations.

Analogous to a classical travel time plot, the stack of cross-correlations by interstation distance illustrates the different visible seismic phases. The correlation stack shows mainly core phases with low slowness (e.g. PcP, PKP, PKIKP, (PKIKP)₂, (PKP)₂PcP, (PKP)₂(PcP)₂). The visibility of core phases with long travel times up to two hours and the absence of phases with high slowness (i.e. surface waves and direct P wave) indicate that the late coda of the earthquake consists of waves traveling through the deep earth where attenuation is low.

A low correlation between stations with an interstation distance between 55° and 140° and a high correlation between stations with an interstation distance near 0° or 180° is another mayor feature of the cross-correlation stack which cannot be explained solely by the core shadow but is rather a result of waves traveling preferentially on a great circle path in a layered earth without scattering in horizontal direction. This argument is supported by an analysis of the angles between station pairs and the Okhotsk event as a function of interstation distance showing that station pairs with distance smaller than 55° or larger than 140° tend to lay approximately on a great circle with the Okhotsk event.

S3-A Data, Models, and Reality

S3-A Data, Models, and Reality

S3-A.001

Comparison between the post-rift subsidence evolution of the Colorado Basin, SE South America, and the Orange Basin, SW Africa

Dressel I.^{1,2}, Scheck-Wenderoth M.^{1,2}

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ , Potsdam, Deutschland, ²RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

The structure of the sedimentary basins offshore SE South America and SW Africa has been investigated by several studies in the past. However, the mechanisms responsible for the subsidence evolution are a matter of debate. Though the Colorado Basin and the Orange Basin are along conjugate margins their subsidence evolution might not only be affected by the same processes such as ridge-push by the spreading of the South Atlantic Ocean.

The aim of this study is to investigate both sedimentary basins in order to get new insights about the subsidence evolution and the responsible mechanisms behind. Accordingly, this study deals with a backward modelling approach of the Colorado Basin and Orange Basin that takes individual subsidence components such as load induced subsidence and thermal subsidence into account.

To restore the past as realistic as possible we make use of available information about the present-day crustal and sedimentary configuration of both sedimentary basins. The present-day configuration of the basins is then used as a starting point for the backward modelling.

The modelling results help to quantify the individual subsidence components as well as to restore paleobathymetries. Consequently, vertical movements of each of the basins can be inferred based on the restored paleobathymetries.

Finally, comparing the backward modelling results of the Colorado Basin and the Orange Basin lead to new insights about the subsidence evolution at these conjugate margins and of the mechanisms behind the margin evolution.

Tides to sense the Earth

Grayver A.¹, Schnepf N.², Kuvshinov A.¹, Nair M.², Sabaka T.³, Olsen N.⁴

¹ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz, ²University of Colorado, Boulder, Vereinigte Staaten von Amerika, ³NASA, Planetary Geodynamics Laboratory, Maryland, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁴DTU Space, Kongens Lyngby, Dänemark

Over the last decades, several theoretical and experimental studies established that tidal flow of ocean water masses gives rise to measurable electromagnetic fields. Few years after beginning of the CHAMP mission, extraction of satellite-detected magnetic signal due to the most prominent lunar semi-diurnal tide was demonstrated to be feasible, although with somewhat limited accuracy, but uniform global spatial coverage. Since then, the quality of data, processing and modeling methods as well as our knowledge about dynamics of the ocean tides have experienced substantial improvements leading to a stage where satellite tidal magnetic signals can be used to infer subsurface structure. In 2015, a collaborative project supported by ESA's STSE program was kicked off with the main goal of carrying out necessary data processing and inversion.

We present a short historic review of the problem and the first global electrical conductivity model of the oceanic lithosphere and upper mantle obtained by inverting satellite motional induction signals on the global scale.

The present-day geodynamics of the India-Asia collision system

Baumann T.S., Kaus B., Popov A.A., Bauville A.

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Geowissenschaften - Geophysik, Mainz, Deutschland

We present a 3D geodynamic model of the present-day India-Asia collision system. The model is separated into multiple tectonic blocks for which we estimate the first order rheological properties and their impact on the dynamics of the collision system. This is done by performing systematic simulations with different rheologies to minimize the misfit to observational constraints such as the GPS-velocity field. The simulations are performed with the parallel staggered grid FD code LaMEM using a numerical resolution of at least 512x512x256 cells to resolve dynamically important shear zones reasonably well. A fundamental part of this study is the reconstruction of the 3D present-day geometry of Tibet and the adjacent regions. Our interpretations of crust and mantle lithosphere geometry are jointly based on a globally available shear wave tomography and a global crustal model. We regionally refined and modified our interpretations based on seismicity distributions and focal mechanisms and incorporated regional receiver function studies to improve the accuracy of the Moho in particular. Results suggest that we can identify at least one ‘best-fit’ solution in terms of rheological model properties that reproduces the observed velocity field reasonably well, including the strong rotation of the GPS velocity around the eastern syntaxis of the Himalayas. We also present model co-variances to illustrate the trade-offs between the rheological model parameters, their respective uncertainties, and the model fit.

Stochastic inversion for permeability estimation in a hard-rock aquifer

Bruckmann J.

RWTH Aachen University, Applied Geophysics and Geothermal Energy (GGE), E.ON Energy Research Center, Aachen, Deutschland

Groundwater systems are often characterized by heterogeneous aquifer systems due to spatial variability of hydraulic properties. Especially in hard-rocks with a complex tectonic history hydraulic properties tend to be strongly spatially variable. At the same time only a limited amount of direct measurements or indirect data characterizing subsurface flow is available from boreholes. Yet, assigning adequate hydraulic properties to hydrological units is crucial for a proper groundwater flow assessment. One possibility for addressing parameter heterogeneity and uncertainty in numerical models are stochastic inversion methods. Among them is the Monte Carlo (MC) approach which is based on statistical analysis of a large number of randomly created, equally likely forward simulations. Generation of such an ensemble of model realizations is based on given probability distributions of model parameters as well as information on the parameter's spatial correlation.

In this study, MC with constraining post-processing is used for estimating the permeability distribution in a tectonically limited hard-rock aquifer. The real-world study area is the active drinking water production site Hastenrather Graben near Eschweiler, Germany. A three-dimensional gridded reservoir model of the structurally complex and heterogeneous aquifer system provides the basis for numerical simulations. The finite differences code SHEMAT-Suite is used for the computationally expensive MC simulations of groundwater flow on the JARA-HPC partition part of the supercomputer JURECA at Jülich Supercomputing Centre.

This study addresses the applicability and performance of MC based stochastic inversion for permeability estimation in dependence of observation data density and distribution. A synthetic permeability field of the 3D aquifer model serves as reference for which groundwater flow is simulated. Resulting piezometric heads from observation wells are used as data for constraining post-processing and analysis of estimated permeability fields. Different scenarios of observation well density and distribution reveal the impact of observation data density on stochastic inversion results. Finally, this shows the performance of stochastic inversion for permeability estimation under real-world conditions with a realistically small and sparsely distributed number of observation points based on the scenario in the Hastenrather Graben drinking water production site.

Permeability of fractured rocks – insights from mechanical and hydraulic simulations

Abe S.

Institut für geothermisches Ressourcenmanagement, Bingen, Deutschland

The permeability of fractured rocks plays an important role in the evaluation of fluid reservoirs, both in hydrocarbon production and increasingly also in geothermal projects. Estimates of the permeability of fractured rocks at depth can potentially be improved by a deeper understanding of two aspects, (1) the expected fracture pattern in response to the stress and strain history these rocks have experienced and (2) the relation between fracture patterns, the local stress field and the resulting permeability.

The work presented here combines two numerical simulation approaches which are well established in their respective domains to gain insights into these problems. The brittle deformation of rocks is modelled using a Discrete Element Method (DEM) approach. To enable the fluid flow calculations a voxel dataset of the porosities is calculated from the DEM model and the porosity values are translated into local permeabilities using a modified Kozeny-Carman relation. Based on this micro-permeability field the steady-state Darcy flow of a fluid is then calculated using a standard Finite Difference (FD) method. Calculating the relation between the applied pressure gradient and the resulting fluid flux provides an estimate of the macro-scale permeability tensor of the fractured rock model.

The application of the approach to the simulation of the permeability evolution in a rock sample during uniaxial and triaxial compression tests shows that the trends observed in the simulations are compatible with experimental results in the literature. However, to obtain valid absolute permeability data it will be necessary to calibrate the models, in particular with respect to the parameters in the local porosity-permeability relation.

Ein Erdbebeninformationsdienst mit Free und Open-Source Tools

Jüngling S.¹, Schroeder M.¹, Lühr B.-G.², Woith H.², Wächter J.¹

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 7.5 Zentrum für GeoInformationsTechnologie CeGIT, Potsdam, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.1 Erdbeben- und Vulkanphysik, Potsdam, Deutschland

Am Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam untersucht die Arbeitsgruppe „Erdbeben- und Vulkanphysik“ das raum-zeitliche Verhalten von Erdbeben. In diesem Zusammenhang werden ebenso die Gefährdungen von Vulkanausbrüchen und Tsunamis erforscht. Nach dem Eintreten solcher Extremereignisse sind eine schnelle Erfassung von Ereignisparametern, sowie die Bereitstellung von Informationen für Wissenschaft, wie auch Öffentlichkeit, von hohem Wert. Das übergeordnete Ziel dieser Forschungen stellt jedoch die Reduzierung der Georisiken dar, die von solchen Naturgefahren ausgehen. Um die genannten Ziele zu erreichen, wurde eine umfassende Visualisierung von historischen und aktuellen Erdbeben, Vulkanausbrüchen sowie Tsunamis im Rahmen einer interaktiven Software realisiert. Damit können Nutzer einen schnellen Überblick über z.B. die Seismizität einer bestimmten Region erhalten. Basierend auf den Daten des bekannten GFZ GEOFON Netzwerkes ist eine nutzerfreundliche Web-Mapping-Anwendung entstanden, in die sich historische und aktuelle Erdbebeninformationen der USGS Erdbeben-Datenbank sowie historische Events aus Katalogen wie Pacheco, dem International Seismological Centre (ISC) und weitere einbinden lassen. Diese Zusammenstellung von Datenquellen ist in den Geowissenschaften einzigartig. Neben Erdbebeninformationen stehen auch aktuelle Vorkommen von Vulkanausbrüchen und Tsunamis in der Webanwendung zur Verfügung. Eine weitere Besonderheit der interaktiven und nutzerfreundlichen Anwendung ist die Eingrenzung der Zeit über einen Zeitschieberegler. Nutzer können die Visualisierung der Ereignisse interaktiv über das Verschieben des Zeitschiebereglers ändern. Zusätzlich können die Ereignisse auf Grundlage der Magnitude, der Wellenhöhe oder des Vulkanexplosionsindex eingegrenzt werden. Die Verwendung neuester JavaScript-Bibliotheken ermöglicht es, die Anwendung auf allen Bildschirmgrößen und Geräten darzustellen. Mit dieser Anwendung können Informationen über aktuelle und historische Erdbeben und anderen Extremereignissen auf Grundlage des raum-zeitlichen Zusammenhangs gewonnen werden, wie die damit einhergehende Visualisierung der Seismizität einer bestimmten Region.

S3-B Data, Models, and Reality

S3-B Data, Models, and Reality

S3-B.001

Coupling geodynamic with thermodynamic modelling for reconstructions of magmatic systems

Rummel L.¹, Kaus B.¹, White R.²

¹Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Geowissenschaften - Geophysik, Mainz, Deutschland, ²Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Geowissenschaften, Mainz, Deutschland

Coupling geodynamic with petrological models is fundamental for understanding magmatic systems from the melting source in the mantle to the point of magma crystallisation in the upper crust. Most geodynamic codes use very simplified petrological models consisting of a single, fixed, chemistry.

Here, we develop a method to better track the petrological evolution of the source rock and corresponding volcanic and plutonic rocks by combining a geodynamic code with a thermodynamic model for magma generation and evolution (pMELTS), which calculates Density, melt fraction and the composition of the liquid and solid phase in the chemical system: SiO₂-TiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-Cr₂O₃-FeO-MgO-CaO-Na₂O-K₂O-P₂O₅-H₂O. In order to take into account the chemical depletion of the source rock with increasing melt extraction events, calculation of phase diagrams is performed in two steps:

1) With an initial rock composition density, melt fraction and liquid and solid composition are computed over the full upper mantle P-T range.

2) Once the residual rock composition (equivalent to the solid composition after melt extraction) is significantly different from the initial rock composition and the melt fraction is lower than a critical value, the residual composition is used for next calculations with pMELTS.

The implementation of several melt extraction events take the change in chemistry into account until the solidus is shifted to such high temperatures that the rock cannot be molten anymore under upper mantle conditions. An advantage of this approach is that we can track the change of melt chemistry with time, which can be compared with natural constraints.

In the thermo-mechanical code the informations from pre-computed phase diagrams are carried by each particle using marker-in-cell method. Thus the physical and chemical properties can change locally as a function of previous melt extraction events and P-T conditions. After each melt extraction event, the residual rock composition is compared with the bulk composition of previous computed phase diagrams, so that the used phase diagram is replaced by the phase diagram with the closest bulk chemistry. The melt is extracted directly to the surface as volcanites and within the crust as plutonites.

We have investigated the influence of several input parameters on the magma composition to compare it with real rock samples from Eifel (West-Germany).

Geodynamic Inversion to Constrain the Nonlinear Rheology of the Lithosphere

Baumann T.S., Kaus B.

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland

The rheology of the lithosphere is of key importance for the physics of the lithosphere. Yet, it is probably the most uncertain parameter in geodynamics as experiments have to be extrapolated to geological conditions and as existing geophysical methods such as EET estimation make simplifying assumptions about the structure of the lithosphere. Here, we therefore discuss a new method that employs thermo-mechanical lithospheric-scale forward models of the lithosphere using a realistic initial geometry constructed from geophysical data sets. We employ experimentally determined creep-laws for the various parts of the lithosphere, but assume that the parameters of these creep-laws as well as the temperature structure of the lithosphere are uncertain. This is used as a priori information to formulate a Bayesian inverse problem that employs topography, gravity, horizontal and vertical surface velocities to invert for the unknown material parameters and temperature structure. In order to test the general methodology, we first perform a geodynamic inversion of a synthetic forward model of intraoceanic subduction with known parameters. This requires solving an inverse problem with 14-16 parameters, depending on whether temperature is assumed to be known or not. With the help of a massively parallel direct-search combined with a Markov Chain Monte Carlo method, solving the inverse problem becomes feasible. Results show that the rheological parameters and particularly the effective viscosity structure of the lithosphere can be reconstructed in a probabilistic sense. This also holds, with somewhat larger uncertainties, for the case where the temperature distribution is parametrized.

Finally, we apply the method to a cross-section of the India-Asia collision system. In this case, the number of parameters is larger, which requires solving around $2e6$ forward models. The resulting models fit the data within their respective uncertainty bounds, and show that the Indian mantle lithosphere must have a high viscosity. Results for the Tibetan plateau are less clear, and both models with a weak Asian mantle lithosphere and with a weak Asian lower crust fit the data nearly equally well.

Inversion of magnetotelluric data in a sparse model domain

Nittinger C., Becken M.

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

The magnetotelluric method utilizes natural variations of the geomagnetic field to infer the electrical conductivity distribution of the earth's interior. Magnetotelluric inversion models are usually regularized with smoothing constraints to outweigh the under-determinacy of the heavily ill-posed non-linear problem. We present an inversion scheme that promotes sparsity of the inverse estimate in a model domain describing the subsurface structures with wavelet functions. The objective of the inversion is to determine the few non-zero wavelet coefficients which are required to fit the data. The algorithm produces sparse solutions that explain the data using a linear L2-L1 solver in a non-linear gauss-newton like minimization scheme. The L1 coefficient norm renders the solution sparse in a wavelet basis, but does not impose explicit structural penalties on the model as it is the case for L2 regularization. The used wavelet functions can differ in shape and the resulting inverse models are highly affected by the chosen wavelet basis. We present the results of the inversion scheme using different wavelet bases applied on synthetic as well as on real 2-D magnetotelluric data.

Modeling Rotational Waves in Seismology

Abreu R.¹, Igel H.², Thomas C.¹, Ferreira A.M.G.³, Kamm J.¹, Reiß A.-S.¹, Neff P.⁴

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Ludwig-Maximilians-Universität München, München, Deutschland, ³University College London, London, Vereinigtes Königreich,

⁴Universität Duisburg-Essen, Essen, Deutschland

We analyze the elastic wave propagation phenomena in the presence of microstructure. More precisely, we study 1D seismic wave propagation in micropolar elastic media. Micropolar medium is a generalization of classical elastic media, where each particle has intrinsic rotational degrees of freedom (spin). We perform numerical simulations of wave propagation in a 1D micropolar medium using the Finite-Difference and Pseudospectral methods. We find harmonic analytical solutions for different problem configurations. The spin waveform is directly dependent on the micropolar elastic parameters and different spin waveforms are obtained when applying a source time function over the displacement field only. We give a physical interpretation of the micropolar elastic constants and relate them to dispersion properties of the micropolar wave propagation phenomena. The micropolar effect on numerical seismograms has a direct implication on the wave phase, wave amplitudes and arrival times. We show that the term micro in the name of the theory is relative to the considered scaled inertia density. Unlike density and elastic constants, the inertia density is a physical parameter, which scales with size. Depending on the choice of the scaled inertia relative to the problem in study, we are able to reproduce macro-rotations predicted by the curl operator over a motion field (displacement or velocity). This work forms the basis of the application of micropolar media in seismology, where the term micro is not longer taken as a limitation. The application of micropolar theory in seismic wave propagation in conjunction with the desired scaled inertia density, allow us to obtain rotational fields at a single point without resorting to the use of finite difference approximations usually applied to compute the curl operator.

Untersuchung nicht-stationärer Ozeanauflast in M2-Schweregezeiten anhand des ARTOFS Ozeanmodells

Schroth E.¹, Forbriger T.², Westerhaus M.³

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruhe, Deutschland, ²Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Black Forest Observatory (BFO), Schiltach, Deutschland, ³Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geodätisches Institut, Karlsruhe, Deutschland

Wir analysieren synthetische Schweresignale, die die Antwort des Erdkörpers auf die Gezeitenanregung und die aus Modellrechnungen (ARTOFS, Atlantic Real-Time Ocean Forecast System) gewonnene Ozeanauflast (Krustendeformation und Gravitationswirkung) enthalten und vergleichen die Ergebnisse mit Analysen von Messdaten mehrerer europäischer Stationen. Damit prüfen wir, ob die zeitlichen Variationen der Gezeitenparameter von M2, die in Schwere-Messdaten beobachtet werden, durch eine zeitlich variable Gezeitenantwort der Ozeane erklärt werden können. Die jährliche Variation der Gezeitenparameter der Wellengruppe M2 wird global beobachtet und liegt für die meisten europäischen Stationen in einer Größenordnung von 10^{-4} für den Gravimeterfaktor und 10^{-2}° für die Phase. Als Ursache werden jährliche Änderungen der M2-Amplituden in den Ozeanen vermutet, die das aufgrund der astronomischen Anregung zu erwartende Maß übersteigen (einige cm). Ursache für die auch in Pegeldata und durch Satellitenbeobachtungen nachgewiesenen Variationen sind wahrscheinlich meteorologische Einflüsse und die nichtlineare Ozeanantwort (insbesondere im Flachwasser). ARTOFS enthält beide Effekte und assimiliert Messdaten. Das Modell liefert stündliche Werte der Meereshöhe für den Atlantik. Wir verwenden diese, um mit Hilfe der Green'schen Funktion der Ozeanauflast die dadurch verursachte, zeitabhängige Schwereänderung im Zeitraum von 2010 bis 2013 an den Stationen Black Forest Observatory, Straßburg, Moxa und Membach zu berechnen. Durch Addition mit synthetischen Gezeiten entsteht ein simulierter Datensatz, der die Erdgezeiten und die Ozeanauflast an der jeweiligen Station beschreibt. Durch gleitende Analyse mit Eterna 3.4 bestimmen wir die zeitabhängigen Gezeitenparameter. Neben jährlichen Variationen treten auch Variationen auf kürzerer Zeitskala auf (1-2 Monate), die in den Messdaten nicht beobachtbar sind. Die Amplitude der jährlichen Variation der Gezeitenparameter liegt in der in Messdaten beobachteten Größenordnung. Da das ARTOFS nur den Beitrag des Atlantiks zur Ozeanauflast beschreibt und offensichtlich Signale enthält, die in den tatsächlichen Ozeanen nicht auftreten, sollen die Untersuchungen auch mit globalen Ozeanmodellen fortgesetzt werden.

Analysis of the detection threshold of microseismic events in an urban sinkhole area using synthetic seismograms

Schneider F.¹, Heimann S.², Reichel H.¹, Becker D.¹

¹Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

In April 2009 an $M_w = 0.6$ earthquake took place in Flottbek in the western part of Hamburg. This area is known for its sinkholes and associated microseismic events due to top salt dissolution of a salt diapir striking in North-South direction from the river Elbe in the South to the city of Quickborn north of Hamburg. In June 2015 the SIMULTAN (Sinkhole instability: integrated multi-scale monitoring and analysis) project started with the aim to achieve a better understanding of sinkhole processes in urban areas.

Given the absence of detected microseismic events in several stimulation and storage experiments in Northern Germany in the last years (e.g. GeneSys project), the determination of the minimum magnitude that can be detected with a given network seems vital to address the question of the seismogenic behaviour of a study region. In this poster we will present some preliminary results including computational modelling and field data on the spatio-temporal background noise. Synthetic seismograms are calculated using the seismology toolbox pyrocko based on a precalculated Green's functions database built using the qseis software. The database contains all Green's functions for a specified location discretization of source depth as well as receiver depth and offset for a given 1D velocity model of the study region. To simulate realistic urban conditions we add random noise traces of locally installed seismometers in the study area and investigate how the detection possibilities of microseismic events change with increasing offset, different azimuth angles and focal mechanisms of the trial events. Finally this work will contribute to the development of an early warning system for urban sinkhole regions. This work has been funded by the German 'Geotechnologien' project SIMULTAN (BMBF03G0737A).

S4-A Space Weather and Global Induction

S4-A Space Weather and Global Induction

S4-A.001

CME properties and dynamic evolution in the inner heliosphere

Temmer M.

Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Physik, Graz, Österreich

The Sun is an active star and its most violent activity phenomena are flares and coronal mass ejections (CMEs). CMEs abruptly disrupt the continuous outflow of solar wind by expelling huge clouds of magnetized plasma into interplanetary (IP) space with velocities of a few hundred to a few thousand km/s. Earth-directed CMEs may reach Earth after transit times of about one to five days, in detail depending on their initial velocity, size, and mass, as well as on the coupling processes with the ambient solar wind flow in interplanetary space. Due to the interaction with the Earth's magnetic field, CMEs can cause severe geomagnetic storms and are therefore of high interest to research.

This talk is dedicated to present the current understanding of the physical processes of CME evolution from Sun to Earth. Special focus is put on the flare-CME feedback relation as well as the interaction between CMEs and their ambient environment in IP space.

Near realtime forecasting of MeV protons on the basis of sub relativistic electrons

Labrenz J.¹, Heber B.¹, Kühl P.¹, Sarlanis C.², Malandraki O.³, Posner A.⁴

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik - Extraterrestrische Physik, Kiel, Deutschland, ²ISNet, Athen, Griechenland, ³National Observatory of Athens, IAASARS, Athen, Griechenland, ⁴NASA Headquarters, Heliophysics, Washington DC, Vereinigte Staaten von Amerika

A major impact on manned and unmanned space activities is the sudden and prompt occurrence of solar energetic ion events. In order to provide up to an hour warning before these particles arrive at Earth, relativistic electron and below 50 MeV proton data from the Electron Proton Helium Instrument (EPHIN) on SOHO were used to implement the 'Relativistic Electron Alert System for Exploration (REleASE)'. It has been demonstrated that the analysis of relativistic electron time profiles provides a low miss and false alarm rate.

High Energy Solar Particle Events foRecastIng and Analysis (HESPERIA) is a project funded within the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme (PROTEC-1-2014 Call: Space Weather). Within this project the REleASE forecasting scheme was rewritten in the open access programming language PYTHON and will be made public.

As a next step, we have analyzed the possibility to also use, along with relativistic electrons ($v > 0.9 c$) provided by SOHO, near-relativistic ($v < 0.8 c$) electron measurements from other instruments like the Electron Proton Alpha Monitor (EPAM) aboard the Advanced Composition Explorer (ACE). This would prove to be particularly useful during periods that SOHO does not provide continuous near real-time data. We show that the ACE/EPAM observations can be adapted to the REleASE forecasting scheme to provide reliable SEP forecasts. A comparison of measured and forecast proton intensities by SOHO/EPHIN and ACE/EPAM will be presented. In addition we investigated the false alarm rate and detection probability of solar ion events.

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 637324.

Computation of cosmic ray particle trajectories in the Earth's magnetic field by utilizing different magnetic field models

Galsdorf D.¹, Bütikofer R.², Heber B.¹, Steigies C.¹, Herbst K.¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Kiel, Deutschland,

²Universität Bern, Physikalisches Institut, Bern, Schweiz

Investigations of extreme solar energetic particle (SEP) events rely mostly on measurements of the worldwide network of neutron monitors. For these studies a detailed knowledge about the trajectories of cosmic ray particles in the Earth's magnetic field is essential. To compute these trajectories complex and time-consuming simulations are necessary. However, the calculations are strongly dependent on the highly dynamic Earth's magnetic field. The sum of parameters and the required time for such calculations are dependent on the magnetic field model that is used. I. e. the results may differ based on the complexity of the magnetic field model as well. Moreover for future space weather applications these trajectory calculations are needed in near real-time. But even with modern computing power these calculations, utilizing the more complex magnetic field models, can be too time consuming. In the process of this work we will show trajectories and energy thresholds of the incoming particles as given by the so called cutoff rigidities for selected neutron monitor stations and different situation of the Earth's magnetic field. In a second step we will discuss possibilities to reduce the necessary computing power by reducing the number of necessary simulations by highlighting important and less important differences. An attempt will be undertaken to approximate some of these differences by utilizing established analytic functions.

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 637324.

F region postsunset plasma structures at low latitudes deduced from the Swarm satellite constellation

Stolle C.^{1,2}, Xiong C.¹, Kervalishvili G.¹, Lühr H.¹, Rauberg J.¹, Michaelis I.¹

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

ESA's constellation mission Swarm was successfully launched on 22 November 2013. The three satellites are orbiting the Earth at 470 km and 520 km altitude. The spacecraft carry instruments to monitor the plasma density and magnetic field magnitude and their variations with high quality. We will present results on low latitude F region post sunset plasma irregularities (EPIs). EPIs are characterised by severe plasma density gradients and distinct magnetic field variations and cause GPS signal detection degradations. Our results show rather small scale sizes of EPIs (>44 km) in the zonal direction as well as more fragmented irregularities in the southern hemisphere where the ambient magnetic field is lower than on the northern hemisphere.

From the Swarm spacecraft constellation with a zonal separation of about 150 km, we conclude that larger zonal scale sizes of irregularities exist in the early evening hours (around 1900 LT) and that the irregularities break into smaller structures later in the evening. However, we also observe examples where only one satellite detects EPIs, while the others show undisturbed ionization. We will present also such an example, and compare these observations with detections of depletions on satellites from other missions.

There exist a strong link to low-latitude space weather: the plasma irregularities give rise to severe disturbances of GPS navigational signals and these can also be monitored on board the Swarm satellites simultaneously with the plasma irregularities.

Modelling of the solar eclipse of 20 March 2015 and its influence on VLF measurements at different radio transmissions

Wenzel D., Berdermann J., Jakowski N.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Kommunikation und Navigation, Neustrelitz, Deutschland

The solar eclipse over Northern Europe on 20 March 2015 offered a well-conditioned study of the physical properties of the ionosphere. The obscuration of the Sun by the Moon and the related temporary reduction of solar radiation resulted in significant ionization changes in the whole ionosphere.

The presentation concentrates on changes of the D region ionosphere by means of Very Low Frequency (VLF) measurements. Amplitude data of various navy signals measured by the Global Ionospheric Flare Detection System (GIFDS) at the DLR Neustrelitz are correlated with the gradual obscuration of along diverse VLF propagation paths. In conclusion the Long-Wavelength Propagation Capability code (LWPC) was used to model the eclipse effect on VLF signals in dependence of the obscuration function of each propagation path.

S4-B Space Weather and Global Induction

S4-B Space Weather and Global Induction

S4-B.001

Global EM induction studies. Progress status, challenges and perspectives

Kuvshinov A.

ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz

Electrical conductivity is one of the characteristic physical parameters of materials making up Earth's interior which is sensitive to variations of temperature, chemical composition, water content, and partial melt. As a consequence, estimating mantle electrical conductivity structure is a potentially strong tool for mapping mantle chemistry, mineralogy and physical structure thus presenting a complementary method to seismic studies that focus on the elastic properties of the mantle. Global electromagnetic (EM) induction studies, which provide information on the mantle electrical conductivity, have attracted increasing interest during the last decade, mainly for three reasons. A primary reason is the recent growth in the amount of EM data available, especially from low-Earth orbiting magnetic satellite missions (Oersted, CHAMP, SAC-C, and Swarm). A second reason is the great interest in the characterization of the three-dimensional properties of Earth's mantle on a global scale. Finally, the interest has also resulted from the significant methodological progress made during the last years both in EM data analysis and modelling. In this talk I will summarize advances and challenges in induction data interpretation, and present recent global and regional models of mantle conductivity derived from satellite and ground-based data. I will also discuss possible topics for future research.

Towards separation of ionospheric and magnetospheric current systems for global EM induction studies

Neddermann N.-C.^{1,2}, Grayver A.², Kuvshinov A.², Becken M.¹

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz

Global EM induction studies use magnetic field measurements from geomagnetic observatories or satellite missions to infer electrical conductivity models of the Earth's interior. One of the challenges of such studies is to accurately separate the magnetic effect of magnetospheric and ionospheric source currents, which may overlap in time, frequency and space.

Here, an attempt is presented to separate the different contributions from magnetospheric and ionospheric sources in observed magnetic fields. The used methods are part of a multivariate statistical approach denoted as independent component analysis (ICA) applied to synchronous time series from an array of geomagnetic observatories. The objective of the ICA is to find a linear representation of non-Gaussian data (here magnetic field measurements) so that the estimated components, i.e. the contributions from different magnetospheric and ionospheric source currents, are as independent as possible. To test the approach, synthetic magnetic field data were generated using different models for each of the three main sources: the magnetospheric ring current (Dst), the solar quiet variations (Sq) and the auroral electrojet (AEJ). After manually mixing all three datasets, an extraction of the magnetic fields for the individual sources using the ICA methods works best for the Dst source, mainly due to the fact that the Sq and AEJ sources consist of more than one of the estimated independent component. In a second test, real measured data from the stations in Europe and Japan for the year 2001 are used. We found that also for real data only the magnetic fields produced by the Dst source can be reliably extracted. To evaluate this extraction regarding global EM induction studies, we estimated C-responses, which are locally calculated transfer functions, based on the P10-assumption valid only for the Dst source. Usually these C-responses are deteriorated by the influence of Sq and AEJ in the data, especially in the period range shorter than two days. Using the ICA extracted Dst magnetic fields reveals a clear improvement in the C-responses especially at these shorter periods where Sq and AEJ are dominant.

Solar particle impact on the middle atmosphere: results of global model studies

Nieder H., Sinnhuber M., Versick S., Reddmann T.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruhe, Deutschland

Solar energetic particles and short wave radiation are the main forcings that drive middle atmospheric chemistry. Different altitude ranges are affected from solar proton events, auroral electrons and radiation belt electrons. In a cascade of chemical processes, reactive species like NO_x (N, NO, NO₂) and short lived HO_x (H, OH, HO₂) are formed. Those species act as catalysts for the depletion of Ozone in the mesosphere and stratosphere.

Global model studies from multiple atmospheric chemistry and transport models are presented, all of them including solar forcing and its variability with the solar cycle. Comparisons with measurements show overall good agreement. The impact on ozone is investigated in detail. Particle forcing leads to middle atmospheric polar ozone depletion of more than 30% peak value, while solar radiation accounts for long term changes of about 4% during the solar cycle.

Model study of the 27 day solar rotational signal induced by particle precipitation in trace gases in the mesosphere/lower thermosphere

Fytterer T.¹, Bender S.¹, Berger U.², Nieder H.¹, Sinnhuber M.¹, Wissing J.M.³

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland, ²Leibniz-Institut für Atmosphärenphysik e.V., Kühlungsborn, Deutschland, ³Universität Osnabrück, Institut für Umweltforschung, Osnabrück, Deutschland

Precipitating particles (solar protons and electrons) lead to the formation of odd hydrogen (HO_x = H + OH + HO₂) and odd nitrogen (NO_x = N + NO + NO₂) in the mesosphere/lower thermosphere region (MLT) at 60-130 km. Both species lead to the catalytic depletion of O₃. But HO_x is more important for short-term O₃ variation in the mesosphere while NO_x contributes to monthly-seasonal O₃ variability in the stratosphere. Since O₃ is a major radiative heating and cooling source in the stratosphere and mesosphere, perturbations in O₃ cause temperature variations and influences the thermally balanced wind field. The 3-dimensional global chemistry and transport model (3dCTM) was used to investigate the atmospheric trace gases (NO, OH, O₃) from January 2002 to May 2010 in the MLT. Daytime and nighttime mean zonal means (55°-75° geomagnetic latitudes) were calculated and analyzed with respect to the 27 day solar rotational signal associated with particle precipitation. The respective ionization rates were provided by the 3-dimensional atmospheric ionization module Osnabrück (AIMOS). The applied superposed epoch analysis revealed a distinct 27-day solar rotational signal in all these species when the particle precipitation impact was isolated. Maximum NO enhancements of ~100% with respect to the background are found during summer. The response of OH is generally largest in Southern Hemisphere winter (+10%), where it overlaps with the respective O₃ depletion (-10%).

Comparisons with observations suggest that OH/O₃ variations in Southern Hemisphere winter are qualitatively captured by the 3dCTM. The NO behavior is reproduced in each hemisphere/season above 70 km. The 11-year solar cycle signal is indicated to amplify the particle precipitation impact up to the factor of 1.1. Background variations associated with dynamics are suggested to weakly impact NO, but strongly affect or superpose the response of OH compounds and O₃, especially outside Southern Hemisphere winter.

Space weather services with a global magnetometer network

Matzka J.¹, Morschhauser A.¹, Brunke H.-P.¹, Stolle C.^{1,2}

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

Ground-based geomagnetic data is a versatile and reliable near-real time tool for space weather monitoring. It allows to determine magnetic field fluctuations at the ground and to detect electric currents in the ionosphere and magnetosphere. By measuring magnetic field changes, local induction effects in the subsurface can be predicted, which can affect power transmission networks. For directional drilling operations, the magnetometer data allows to correct for the influence of geomagnetic storms on magnetic declination when determining the borehole position.

Depending on the location of the magnetometer stations and thus the geometry of the network, the strength and type (geometry, source region) of ionospheric or magnetospheric currents can efficiently be determined. For example, storm sudden commencements are features in the magnetic data that are often followed by magnetic storms and thus can be used for forecasting purposes. They are particularly strong on the dayside. Further, magnetometers at high and mid-latitudes show the polar electrojet and its temporal expansion during magnetic storms. In addition, the magnetospheric ring current and thus magnetic storms can be monitored with magnetometers at low latitudes. Finally, equatorial magnetometers allow to determine the strength of the equatorial electrojet. From the global network of magnetometers, global space weather indices are derived.

We will describe the global magnetometer network, the contribution by GFZ's geomagnetic observatories, and its use for space weather services. Beside magnetic data, we contribute electric data and geomagnetic indices. In particular, the Kp index is an important indicator of geomagnetic activity in space weather services and it is used as a driver in many models describing space weather phenomena.

S4-C Space Weather and Global Induction

S4-C Space Weather and Global Induction

S4-C.001

Particle-induced NO production in the mesosphere and lower thermosphere measured by SCIAMACHY

Bender S.¹, Sinnhuber M.¹, Burrows J.², Langowski M.³

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Karlsruhe, Deutschland,

²Universität Bremen, Institut für Umweltphysik, Bremen, Deutschland, ³Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Physik, Greifswald, Deutschland

Charged solar-wind and radiation-belt particles (mainly electrons) produce nitric monoxide (NO) in the upper atmosphere (70--120 km). Large-scale circulations then transport this trace gas down to the stratosphere (below about 45 km). There NO chemically reacts with, i.e., depletes, ozone, influencing the stratospheric ozone layer and with it atmospheric dynamics, possibly all the way down to the surface. Overall, these processes relate space weather to the lower atmosphere and the climate system.

We analyse satellite measurements in the mesosphere and lower thermosphere (MLT, 50--150 km) to connect geomagnetically induced particle precipitation to NO production in the upper atmosphere. The measurements stem from the satellite instrument SCIAMACHY on board the European research satellite Envisat. In particular using the NO gamma emissions, we derive the NO number densities from 60 km to 160 km from the SCIAMACHY UV spectra. We use the UV spectra from two different types of limb scans, one from the ground to 90 km and the other from 50 km to 150 km. We combine both and obtain an almost ten-year global daily data set of NO number densities from 60 km to 90 km, from August 2002 until March 2012.

We analyse this time series with respect to solar and geomagnetic activity using different statistical methods. In particular at polar latitudes, we find a statistically significant connection between the NO number densities and a combination of the solar Lyman-alpha flux and the geomagnetic AE index. Further we aim to construct a simple model for NO in the MLT region, useful to extend and constrain chemistry-climate models.

Determining upper mantle electrical conductivity from solar quiet variations

Guzavina M.¹, Becken M.¹, Kuvshinov A.², Koch S.², Püthe C.²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz

The analysis of solar quiet (Sq) variations can provide information about the electrical conductivity distribution within the range of approx. 100 - 600 km depth and thus constrain the physical conditions and in particular the water content within the upper mantle. However the complexity of the source and its dependence on the solar activity makes this task challenging. The source coefficients should preferably be estimated from single-day magnetic field recordings, as well as on restricted days of low solar activity.

We perform a global estimation of the Sq source field based on the work by Koch and Kuvshinov (2013) and estimate the spherical harmonic expansion (SHE) coefficients of the source field based on a priori computed responses for single SH source functions (unit responses) and a 3-D Earth model constituting of a layered Earth and two-dimensional oceans. We then estimate novel transfer functions originally introduced by Püthe et al. (2015), which relate the individual SHE coefficients which describe the source and the local vertical geomagnetic fields. To estimate transfer functions we use only geomagnetically truly quiet days from global observatory data from time span 2000 - 2010. Additionally, we exclude observatories outside $\pm 6^\circ$ and $\pm 60^\circ$ geomagnetic latitude range to prevent disturbances from polar and equatorial jets.

We determine stable transfer function estimates for the first three time-harmonics for all geomagnetic observatories. Some of our transfer function estimates show a latitudinal trend expressed by descending transfer function values towards lower geomagnetic latitudes. We are able to remove the trend by restricting data to the geomagnetic latitude range between $\pm 6^\circ$ and $\pm 45^\circ$, thus minimizing an influence from the polar electrojet. Remarkably, our estimates remain stable despite a sparser observatory coverage. Furthermore, we establish an interdependence between the a priori 1-D conductivity model used and the obtained transfer function values. Our 1-D deterministic inversion for mantle conductivity yields local 1-D conductivity models comparable to global Schmucker's (1999b) model.

A numerical method for automated SSC detection using ground based magnetic observations

Brunke H.-P.¹, Matzka J.¹, Morschhauser A.¹, Stolle C.^{1,2}

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.3 Erdmagnetfeld, Potsdam, Deutschland, ²Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

In ground based geomagnetic data a sudden storm commencement (SSC) is the first sign of a possibly following magnetic storm. As such it can play an important role in space weather forecasting using observatory data. A global network of observatories at low latitudes covering all longitudes would be particularly useful for such a forecast service.

SSCs are caused by currents in the magnetopause, if the dynamic pressure of the solar wind towards earth suddenly increases. The resulting magnetic variations are transferred through the magnetosphere almost immediately. They are almost simultaneously visible in geomagnetic observatories worldwide, but with a clear dependence on local time and latitude. SSCs are in particular strong on the dayside and less interfered at low latitudes by variations stemming from the polar cap region.

An SSC can easily be recognized in the magnetogram by visual inspection. The typical appearance is characterized by an abrupt rise of the H component within a few minutes by at least a few nT. An automated detection with high selectivity is still a challenge. Existing algorithms detect a high spectral content of the time series in the proximity of an SSC or neuronal networks are used.

Here we propose to fit a step-function with variable step width, slope and offset to the magnetogram. A substantial step width is a prerequisite for an SSC existence. Further the residuals between the magnetogram and the fitted test function are used to avoid false positives. In addition parameters like the increased disturbance after the SSC provide further information. A multitude of parameters have to be combined into an indicator function which gives a high value at the time of a SSC and low values elsewhere. We will present a method leading to such an expression combining a set of partly independent parameters into a function of maximal selectivity between SSCs and other variations. The current method needs a lead time of 25 min.

We test our method with magnetic data of one year and six observatories. In order to assess the success of the method objectively we compare the signal at known SSCs to the maximum signal at days without SSCs. We will discuss a method to find a threshold for the best tradeoff between false alarms and missed events. In this way we want to develop an automated SSC detection for early magnetic storm warning based on a global network of geomagnetic observatories.

Proton energy spectra during ground level enhancements as measured by EPHIN aboard SOHO

Heber B., Herbst K., Dresing N., Klassen A., Kühl P.

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Kiel, Deutschland

Ground Level Enhancements (GLEs) are solar energetic particle (SEP) events that are recorded by ground-based instrumentation. The energy of the particles is so high that they produce secondary particles in the Earth's atmosphere, i.e. protons and neutrons, which are detected as sudden increases in cosmic ray intensities measured by e.g. neutron monitors. Since the launch of SOHO in December 1995 the neutron monitor network recorded 16 GLEs. The Electron Proton Helium INstrument on board SOHO has been designed to measure protons and helium up to 53 MeV/nucleon as well as electrons up to 8.3 MeV. Above these energies, particles penetrate all detector elements and thus, a separation between different particle species becomes more complicated.

Recently we developed a method that allows deriving the energy spectrum for penetrating protons up to more than 1 GeV. In this contribution we present the proton energy spectra for two of the 16 above-mentioned GLEs and compare them to previous measurements.

Although there are differences of up to a factor two the overall shape of the energy spectra agree surprisingly well. Thus it has been demonstrated that EPHIN measurements are a valuable tool for understanding GLE.

Mini neutron monitor measurements at the Neumayer III station and on the German research vessel Polarstern

Heber B.¹, Galsdorf D.¹, Gieseler J.¹, Herbst K.¹, Walter M.², Krüger H.³

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Kiel, Deutschland,

²DESY / Zeuthen, Berlin, Deutschland, ³North-West University, Center for Space Research, Potchefstroom, Südafrika

Investigations of extreme solar energetic particle (SEP) events rely mostly on measurements of the worldwide network of neutron monitors. NMs are ground-based devices to measure the variation of cosmic ray intensities. They are reliable devices but difficult to install because of their size and weight. Therefore a portable mini NM (MNM) that can be installed as an autonomous station at any location that provides suitable conditions has been developed recently. The first continuous measuring MNMs are installed at Neumayer III and the German vessel Polarstern. They are providing scientific data since October 2012 and January 2014, respectively. NM measurements are influenced by the (variable) geomagnetic field and the atmospheric conditions. Thus, in order to interpret the data, a detailed knowledge of the instrument sensitivity with geomagnetic latitude (rigidity) and atmospheric pressure is essential. The rigidity dependence is determined experimentally by utilizing several latitude scans. The Polarstern was specially designed for working in the polar seas and sails usually twice a year in areas with rigidity ranges below 1 GV and above 10 GV. The results of different latitude scans from October 2012 to January 2016 will be presented and discussed in the framework of a yield function.

1-A Near Surface Geophysics

1-A Near Surface Geophysics

1-A.001

Geoelektrisches Langzeitmonitoring mit vertikalen Elektrodenstrecken im Salz-/Süßwasser-Übergangsbereich auf Borkum

Grinat M., Epping D., Meyer R.

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Im September 2009 sind auf der Nordseeinsel Borkum im Rahmen des damaligen CLIWAT-Projektes (<http://cliwat.eu/>) zwei vertikale Elektrodenstrecken in den beiden Wassergewinnungsgebieten Waterdelle und Ostland in Tiefen zwischen 44 m und 65 m unter Gelände fest eingebaut worden. Diese sollen zeitliche Änderungen im Übergangsbereich zwischen der wasserwirtschaftlich genutzten Süßwasserlinse und dem unterlagernden Salzwasser erfassen. Auf diesen vertikalen Elektrodenstrecken werden bis heute automatisch ablaufende gleichstromgeoelektrische Multielektrodenmessungen in einem zeitlichen Abstand von fünf Stunden durchgeführt; jede Messung umfasst dabei 975 Vierpunktanordnungen. Als Messsystem dient das 4point light 10 W (LGM Lippmann). Die Messdaten werden regelmäßig über eine Datenfernübertragung mit GSM/GPRS nach Hannover übertragen. Durch Verwendung einer besseren Elektronik für die aktiven Elektroden ist die Zahl der „Ausreißer“ (vor allem durch Feuchtigkeitseinfluss bedingt) in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen.

Die spezifischen Widerstände sinken in beiden Gebieten bei dem kleinsten Elektrodenabstand von 0,25 m von Werten um 80-90 Ωm in Tiefen um 45 m auf Werte von 1-2 Ωm in 65 m Tiefe und bilden damit den Salz-/Süßwasser-Übergang ab. Tiefenlage und Verlauf dieses Übergangs sind zeitlich sehr stabil. Saisonale Änderungen sind bei Betrachtung einzelner Tiefen jedoch deutlich erkennbar. Diese sind besonders groß im Ostland im Bereich einer durch tonige Lagen begrenzten Sandschicht um 55 m Tiefe. Im Rahmen einer 2015 abgeschlossenen Masterarbeit an der Universität Göttingen, die in Zusammenarbeit mit dem LIAG angefertigt worden ist, konnten diese mit Hilfe von Simulationsrechnungen an einem vereinfachten Dichteströmungsmodell mit den Grundwasserspiegelschwankungen, unterschiedlichen Grundwasserneubildungsraten und den Pumpraten in benachbarten Trinkwasserbrunnen in Verbindung gebracht werden (Ibenthal 2015, s. Abstract S2-1.01 im DGG-Tagungsband 2015).

Erprobung eines geophysikalischen Messsystems für Horizontalfilterbrunnen

Lay M.¹, Daffner T.², Mede M.¹

¹Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Dresden, Deutschland, ²Umweltbüro GmbH Vogtland, Weischlitz im Vogtland, Deutschland

Als Alternative zu klassischen Vertikalfilterbrunnen werden horizontale Fassungsanlagen zur Trinkwassergewinnung und Grundwasserabsenkung eingesetzt. Diese bestehen aus einem horizontalen Strang oder einer Gruppe radialstrahlig angeordneter Filterstränge, die z.B. von einem vertikalen Schacht aus unterirdisch vorgetrieben werden, hydraulisch verbunden sind oder frei auslaufen.

Für Vertikalfilterbrunnen gibt es ein umfangreiches Repertoire an Mess- und Monitoringtechnik mit bewährten Methoden der Bohrlochgeophysik. Im Gegensatz dazu sind Systeme für horizontale Filterstränge kaum oder nur im Experimentalstadium verfügbar.

Aus diesem Grund wurde im Rahmen eines Kooperationsprojekts am DGFZ das Messsystem HoriWell Inspector (HWI) zur Überwachung des hydraulischen und geochemischen Zustands von Horizontalfilterbrunnen entwickelt. Die entlang des wassergesättigten Filterstrangs erfassten Messgrößen sind Zuflussmenge, pH-Wert, Redoxpotenzial, Temperatur, Sauerstoffgehalt und elektrische Leitfähigkeit. Auf Grundlage dieser Parameter wird die Durchlässigkeit und das geochemische Milieu von Filterabschnitt und umgebendem Kiesmantel bestimmt. Daraus lassen sich qualitative Aussagen über mögliche Alterungsprozesse und ggf. erforderliche Regenerierungsmaßnahmen ableiten, die bei einer visuellen Untersuchung des Filterstrangs nicht erkennbar sind.

Das Messsystem ist modular aufgebaut und bietet Kapazitäten für weitere Sensoren und zusätzliche Messmodule. Die Grundvariante untergliedert sich in Sensor- und Elektronikkomponente, Antriebseinheit und Schleusenbauteil.

Die Sensor- bzw. Elektronikkomponente dient zur Erfassung der Messwerte, die Antriebseinheit bewegt die Sensoren extern über ein Schiebegestänge durch den Filterstrang. Das Schleusenbauteil wird für eine druckhaltende Ein- und Ausfahrt der Sensor- und Elektronikkomponente benötigt, während im Filterstrang der hydrostatische Druck anliegt. Der Einsatz der Schleuse ist vor allem bei trocken aufgestellten Horizontalfilterbrunnen erforderlich, da die Filterstränge und der Brunnenschacht nicht direkt hydraulisch verbunden sind.

Der HoriWell Inspector wird nach umfangreichen Komponententests in der Technikumsanlage des Projektpartners Umweltbüro GmbH Vogtland erprobt. Dort können verschiedene hydraulische und geochemische Bedingungen in vier Segmenten mit unterschiedlichen Umgebungsmaterialien simuliert werden.

Im Anschluss an die Tests ist der Einsatz des Messsystems in Horizontalfilterbrunnen geplant.

Die breitbandige Temperaturabhängigkeit der komplexen elektrischen Leitfähigkeit für Lockermaterialien mit unterschiedlichen Tonmineralien und unterschiedlichen Ionen im Elektrolyt

Treichel A.¹, Huisman J.A.¹, Esser O.¹, Vereecken H.¹, Kemna A.²

¹Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland, ²Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Bonn, Deutschland

Die Temperaturabhängigkeit der komplexen elektrischen Leitfähigkeit ist Resultat der temperaturabhängigen Beweglichkeit der Ionen. Saisonale Unterschiede während oberflächennaher Messungen, machen es bereits nötig, die Temperaturabhängigkeit zu berücksichtigen. Verschiedene Mechanismen sind für die komplexe elektrische Leitfähigkeit ursächlich. Der Realteil ist abhängig von den frei beweglichen Ionen im Elektrolyt und der Imaginärteil ist abhängig von Polarisationsprozessen die an der Mineral-Elektrolyt-Grenzfläche auftreten. Diese Grenzfläche wird als Doppelschicht beschrieben. Sie besteht aus der diffusen Schicht, mit zunehmender Ionenbeweglichkeit wie im freien Elektrolyt und der Sternschicht, die im Vergleich möglicherweise eine reduzierte Ionenbeweglichkeit aufweist.

Um die verschiedenen Mechanismen zu verstehen, aus der die makroskopische Leitfähigkeit resultiert, haben wir die komplexe elektrische Leitfähigkeit mittels der spektral induzierten Polarisation (SIP) temperaturabhängig gemessen. Verschiedene Gemische wurden hergestellt: aus Sand, Sand mit Kaolinit und Sand mit Agrarbenonit. Diese Gemische sind zu einem mit einer NaCl-Lösung und zum anderen mit einer CaCl-Lösung der gleichen Leitfähigkeit gesättigt wurden. Der Realteil zeigt eine Temperatur-Abhängigkeit von ungefähr 2% pro °C bei einer Referenztemperatur von 25°C. Dieses Verhalten ist beim Imaginärteil quantitativ ähnlich, allerdings mit deutlichen Abweichungen von den 2% pro °C mit einer Frequenz- Abhängigkeit. Die Phase bewegt sich entsprechend um 0% pro °C mit dem gleichen frequenz- abhängigen Verhalten wie der Imaginärteil. Die Ähnlichkeit der Temperaturabhängigkeit von Real- und Imaginärteil interpretieren wir als Indiz dafür, dass beide durch Ionenmigration in Gebieten mit ähnlicher Beweglichkeit verursacht werden. Die Variationen in der Temperaturabhängigkeit vor allem in der quantitativen Höhe, können durch sekundäre Beiträge der Sternschicht, wo eine Reduktion der Ionenbeweglichkeit angenommen wird, hervor gerufen sein, weil die Eigenschaften der Sternschicht materialabhängig sind. Wir konnten sehen, dass die Temperaturabhängigkeit der Mischungen mit Agrarbenonit und unterschiedlichen Lösungen und pH-Werten sich nicht unterscheidet. Die Mischungen mit Kaolinit zeigen aber deutliche Änderungen in der Temperaturabhängigkeit für unterschiedliche Lösungen und pH-Werte. Wir führen dies auf den unterschiedlichen Aufbau der Tonminerale und den dadurch veränderten Chemismus zurück.

Estimating permeability of a CO₂ storage reservoir based on multi-physical observations

Wagner F.M.^{1,2}, Wiese B.¹, Schmidt-Hattenberger C.¹, Maurer H.²

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 6.3 Geologische Speicherung, Potsdam, Deutschland, ²ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz

To ensure safe geological storage, a thorough comprehension of the reservoir and its spatiotemporal changes is required and therefore demanded by regulating authorities. Reservoir simulations help to improve the process understanding and can guide operational decisions. An agreement between simulated outputs and field observations increases the confidence in the parameterization and predictive capabilities of the subsurface model. While pressure and saturation measurements can be directly compared to simulated values, the integration of geophysical observations is not straightforward and requires petrophysical parameter transformations and hydrogeophysical model coupling.

Based on a field example from the Ketzin CO₂ storage site in Brandenburg, Germany, we present means to estimate the reservoir permeability distribution using a fully-coupled hydrogeophysical inversion of reservoir pressure, CO₂ arrival times in the observations wells, and electrical resistivity data. The latter has been measured weekly in a 3D crosshole arrangement. Honoring an experimentally determined petrophysical relation, the simulated CO₂ distribution is transferred into electrical properties and subsequently used for geoelectrical forward modeling. Transport relevant parameters of the Ketzin reservoir are then estimated based on an iterative comparison between measured and simulated apparent resistivity curves, pressure, and arrival times. The calibrated model captures the migration direction of the CO₂ plume known from seismic surveys and explains the multi-physical calibration dataset. We judge that comprehensive, integrative, and data-driven reservoir models, such as the one presented in this study, can help to improve process understanding and operational safety and should therefore be an integral component of geological storage activities.

Lösung gekoppelter Inversionsprobleme mit pyGIMLi

Rücker C.¹, Günther T.², Wagner F.M.^{3,4}

¹Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland, ²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ³Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ⁴ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz

Viele geowissenschaftliche Fragestellungen sind nicht allein mit einzelnen Messmethoden zu beantworten und erfordern die Integration von geophysikalischen, geotechnologischen oder hydrogeologischen Disziplinen. Die quelloffene C++/Python-Klassen-Bibliothek pyGIMLi bietet einfache Schnittstellen auf Basis einer zeitgemäßen Softwarearchitektur. Sie beinhaltet verschiedene geophysikalische Methoden die, über die Nutzung von speziellen Methodenmanager, in einfachen Python-Skripten bedient und kombiniert werden.

Neben der numerischen Modellierung verschiedener Differentialgleichungen ist die Inversion eine der Haupteinsatzgebiete von pyGIMLi. Über einfache Inversionskonzepte hinausgehend, gibt es sogenannte Frameworks zur Lösung komplexer Aufgaben wie Laterally Constrained Inversion (LCI), Timelapse-Inversion oder mehrere Arten der Kopplung verschiedener Methoden. Wir demonstrieren, wie Lösungsansätze zur Koppelung verschiedener Methoden leicht in pyGIMLi umgesetzt werden können:

Ein komplexes Beispiel ist die gekoppelte hydrogeophysikalische Inversion von timelapse Geoelektrik-Daten für einen simulierten Tracerversuch. Durch simultane Auswertung aller Daten kann dabei die Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeit im Aquifer automatisch rekonstruiert werden. Eine weitere Anwendung ist eine Modellreduktion durch Kopplung einer Magnetresonanz-Sondierung mit einer Pedotransfer-Funktion. Ein anderer typischer Ansatz für die gemeinsame Inversion getrennter Verfahren liegt in der strukturellen Kopplung, etwa durch Blockmodelle oder adaptive Smoothness-Constraints. Möglich ist aber auch die gekoppelte Inversion auf einen gemeinsamen Untergrundparameter unter Zuhilfenahme petrophysikalischer Modelle, beispielsweise die Joint-Inversion von ERT und GPR auf Porosität. Alle Beispiele zeigen, dass durch die Kopplung verschiedener Methoden die Aussagekraft geophysikalischer Daten deutlich erhöht wird.

Quasi-kontinuierliche airborne NMR mit Hilfe eines Heliumsballons

Costabel S.¹, **Dlugosch R.**², **Günther T.**², **Müller-Petke M.**²

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Abteilung 2 Grundwasser und Boden, Berlin, Deutschland, ²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Die BGR hat im April 2015 in Kooperation mit dem LIAG erfolgreich die Möglichkeit getestet, die Grundwasserverteilung im Untergrund mit Hilfe der Nuklearmagnetischen Resonanz (NMR) Methode aus der Luft zu vermessen. Die dazu notwendige Messspule, die normalerweise auf dem Erdboden ausgelegt wird, wurde mit Hilfe eines ringförmigen helium-gefüllten Ballons (Durchmesser: 20 m) in eine Höhe von 4 m angehoben und über das Testgelände in der Döberitzer Heide nahe Berlin und Potsdam bewegt. Entlang eines 150-m langen Profils wurden quasi-kontinuierlich NMR-Daten aufgezeichnet, d.h. während der eigentlichen NMR-Messungen stand der Ballon mitsamt Messgerät zwar still an einer Stelle, wurde dann aber binnen weniger Sekunden auf die jeweils nächste Position auf dem Profil bewegt. Die Messungen wurden mit Hilfe eines auf „lateral constraints“ (LC) basierenden 2-D Inversionsverfahrens ausgewertet, welches aus der airborne EM stammt und am LIAG für die Anwendung mit NMR angepasst wurde. Die erzielten Ergebnisse stimmen mit Beobachtungsbohrungen überein, welche vom LBEG durchgeführt wurden um die geophysikalischen Ergebnisse zu überprüfen. Im Vergleich zu herkömmlichen NMR-Messungen vom Boden aus müssen bei der luftgestützten Methode Einbußen im vertikalen Auflösungsvermögen und in der Eindringtiefe (<40 m) in Kauf genommen werden. Der Vorteil ist jedoch, dass der Messfortschritt im Untersuchungsgebiet um ein Vielfaches größer ist dank der Möglichkeit, Spule und Messgerät schnell und effektiv zu bewegen. Mithilfe von Simulationsrechnungen können wir zeigen, dass mit der quasi-kontinuierlichen airborne NMR Methode in Verbindung mit LC-Inversion ein deutlicher Mehrwert gegenüber der herkömmlichen Messanordnung gewonnen wird, wenn das zu untersuchende Profil mehrere Kilometer lang ist.

1-B Near Surface Geophysics

1-B Near Surface Geophysics

1-B.001

Ground-penetrating radar: a versatile geophysical tool to explore near-surface environments

Tronicke J.

Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

In the past decades, ground-penetrating radar (GPR) has evolved into one of the key geophysical techniques for exploring the shallow subsurface. The success of the GPR method is largely related to its ability to provide subsurface images with a spatial resolution at the decimeter scale; i.e., under favorable site conditions, GPR provides the highest spatial resolution of any near-surface geophysical technique. The GPR technique has proven to provide valuable information regarding subsurface structures, properties, and processes in many different fields of application. Today, GPR is increasingly used in a variety of archaeological, environmental, engineering, geological, and hydrological studies.

Here, after reviewing the methodological basics and some recent advances of modern GPR data acquisition, processing, and interpretation, we present selected case studies illustrating the potential of surface- and borehole-based GPR surveying. These examples cover a variety of typical applications and demonstrate how GPR data can help to better understand subsurface architecture, properties, and processes in two and three dimensions. In addition to classical applications such as imaging subsurface geologic structures, we will also address more challenging problems tackled in current research activities. Such problems include the translation of GPR images into selected petrophysical properties, which still is one of the most challenging methodological tasks, and the imaging of complex hydrological processes, which requires special acquisition and processing strategies to successfully isolate the information of interest. Because GPR is a steadily developing method, we conclude that further methodological progress is expected broadening the applicability of GPR in a variety of problems where detailed spatial information is needed.

Helicopter-borne Ground Penetrating Radar Surveying of glacier beds using crossed antenna surveys

Rabenstein L.^{1,2}, Maurer H.¹, Langhammer L.¹, Bauder A.², Funk M.², Lathion P.³, Schaer P.³

¹ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz, ²ETH Zürich, Glaziologie, Zürich, Schweiz, ³Geosat SA, Sion, Schweiz

After the successful recordings of approximately 1000 km of helicopter-borne ground penetrating radar (GPR) profiles on Swiss glaciers during the last four years, the Swiss Competence Center for Energy Research (SCCER) and the Swiss Geophysical Commission (SGPK) started an initiative to obtain for the first time an accurate estimate of the total ice volume in the Swiss Alps. A key parameter for this task is the 3D bedrock topography underneath glacierized regions and the distribution and variation of internal ice structures.

Although subglacial structures are generally favorable targets for GPR surveying, the quality of glacier bed reflectors varies significantly in the data acquired. There are several factors influencing the quality of bedrock reflections, namely (i) the depth to the bedrock, (ii) damping and/or scattering due to water inclusions, (iii) scattering caused by cracks and crevasses, (iv) anisotropic structures within the ice body and (v) a complex glacier bed geometry.

Factors (ii)-(v) are very significant. We have observed shallow bedrock reflectors at only 50 m depth having much worse quality than reflections originating from >300 m depth. Furthermore, factors (ii)-(v) have a directional dependence, and field experiments have indicated, that a change of antenna orientation may improve the reflector quality considerably. The individual contributions of factors (ii) to (v) to the signal distortion are not yet known precisely, but numerical modelling of GPR data suggests that a complex glacier bed geometry can explain large parts of the directional dependences.

On the basis of these findings a new assembly of GPR antennas was constructed, which consists of two crossed 25 MHz antenna pairs. The antennas are mounted on a wooden frame, which can be towed by a helicopter. Three GNSS antennas record the position, roll, yaw and pitch of the frame, and a laser altimeter measures the height of the antennas above ground. Initial test measurements indicated that such multi-component recordings can improve the results significantly.

2D und 3D Strukturerkundung im subpolaren Permafrost mittels Georadar

Schennen S.¹, Tronicke J.¹, Schwamborn G.², Allroggen N.¹

¹Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, ²Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Sektion Periglazialforschung, Potsdam, Deutschland

Permafrost definiert Untergrund, dessen Temperatur für mindestens zwei aufeinander folgende Jahre weniger als 0 °C beträgt. Auf der nördlichen Hemisphäre erstrecken sich Permafrostgebiete über etwa ein Viertel der Landmasse als typischerweise gefrorene, hochohmige (> 5000 Ohm m) Umgebung. Durch die daraus resultierende niedrige Dämpfung hochfrequenter elektromagnetischer Wellen stellt das Georadar mit seinem Auflösungsvermögen im Dezimeter-Bereich eine hier üblicherweise gut geeignete geophysikalische Methode dar. Häufig kann somit eine hochauflösende Erkundung des Untergrundes bis in mehrere Dekameter Tiefe erfolgen, was den üblichen Tiefen wissenschaftlicher Bohrungen im Permafrost entspricht. Aus geophysikalischen Daten abgeleitete 3D Modelle der Kryostratigraphie bieten daher großes Potential, in geowissenschaftlichen Nachbardisziplinen etablierte invasive und räumlich limitierte Beprobungsverfahren zu erweitern. Wichtige Verknüpfungspunkte bietet hier die Sensitivität des Georadars bzgl. Eis- und Wassergehalt. Letztere ist insbesondere für oberflächennahe, hydrologische Fragestellungen von Interesse, wie z.B. der Charakterisierung einer tauenden Permafrostlandschaft in Bezug auf Drainageeinheiten. Die im Sommer ungefrorene Auftauschicht bildet hierbei eine ca. 0,5 m mächtige Niedriggeschwindigkeitszone aus, die methodisch zusätzliche Ansätze bietet. Ein entscheidender Vorteil des Georadars beruht auf der zerstörungsfreien Erkundung und Wiederholbarkeit von Messungen, die es bei akkurater Positionierung erlaubt, den Einfluss der saisonalen Dynamik der Auftauschicht auf die Datenakquisition zu untersuchen.

In unserem Beitrag demonstrieren wir anhand synthetischer und realer Datenbeispiele aus Sommer und Winter das Potential des Georadars zur Strukturerkundung in Permafrostlandschaften. Unser Untersuchungsgebiet befindet sich im nördlichen Ostsibirien und umfasst mit mehreren 2D (aufgezeichnet mit 40 – 200 MHz) und 3D Datensätzen (aufgezeichnet mit 100 – 200 MHz) Teile der Neusibirischen Inseln und des Lena Deltas. Beide Teilgebiete bieten ein breites Spektrum an typischen Landschaftsformen der Permafrost-Degradation, wie z.B. tauende Eiskomplex-Ablagerungen, drainierende Thermoerosionstäler, sowie von Frostrissen durchzogene Thermokarstsenken. Weiterhin ermöglichen ganzjährig ungefrorene Wasserkörper die Ausbildung von Taufonten, die nicht im Kontakt zur Oberfläche stehen und deren Abbildbarkeit eine weitere aktuelle Fragestellung darstellt.

Hochauflösende 4D Georadar Messungen während kontrollierter Infiltrationsexperimente

Allroggen N.¹, Jackisch C.², Tronicke J.¹

¹Universität Potsdam, Angewandte Geophysik, Potsdam, Deutschland, ²Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Hydrologie, Karlsruhe, Deutschland

Oberflächenbasierte Georadar Messungen sind bekannt als eines der hochauflösendsten geophysikalischen Verfahren zur Erkundung des oberflächennaher Untergrunds. Während 3D Georadar Messungen häufig zur zerstörungsfreien Charakterisierung von Untergrundstrukturen oder des Wassergehaltes herangezogen werden, ist das Potential von zeitabhängigen Messungen (4D) noch nicht vollständig erforscht. Besonders zur Beobachtung, bzw. dem Monitoring von Bodenfeuchteänderungen eröffnet dieses Verfahren vielversprechende Möglichkeiten. Insbesondere unter Feldbedingungen ist dabei auf eine gute Datenqualität und Wiederholbarkeit der Messungen zu achten. Wie bereits in früheren Experimenten gezeigt, sind dazu eine genaue Repositionierung und eine hohe räumliche sowie zeitliche Messpunktdichte erforderlich. Besonders die zeitliche Messpunktdichte limitiert häufig die Interpretationsmöglichkeiten bisheriger Experimente.

Wir stellen Ergebnisse von Feldexperimenten vor, bei welchen wir kleinskalige Infiltrationsexperimente (1 m x 1 m) mit zeitlich hochauflösenden 3D Georadar Messungen begleitet haben. Im Gegensatz zu früheren Experimenten wurde dabei der Experimentaufbau verändert, sodass Georadar Messungen während der Beregnung und Infiltration möglich waren und somit die zeitlich Auflösung deutlich erhöht werden konnte. Neben den geophysikalischen Messungen wurden außerdem klassische hydrologische Untersuchungen (Tracer- und Bodenfeuchtemessungen) durchgeführt, welche zur räumlichen und zeitlichen Interpretation der Georadardaten verwendet werden können. Durch die hohe zeitliche Auflösung der Georadardaten ergeben sich neue Verarbeitungs- und Interpretationsmöglichkeiten, welche dazu beitragen, Änderungen der Bodenfeuchte und ihren Einfluss auf die Georadar Messungen abzubilden und besser zu verstehen.

1-C Near Surface Geophysics

1-C Near Surface Geophysics

1-C.001

Regionale Charakterisierung von Bodeneigenschaften durch die Kombination von Methoden aus Fernerkundung, Geophysik und Bodenkunde

Meyer U.¹, Fries E.², Frei M.³

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B2: Grundwasser und Boden / B2.1: Geophysikalische Erkundung und Technische Mineralogie, Hannover, Deutschland, ²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B2: Grundwasser und Boden / Boden als Ressource - Stoffeigenschaften und Dynamik, Hannover, Deutschland, ³Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B4: Geowissenschaftliche Informationen, Internationale Zusammenarbeit / B4.4: Gefährdungsanalysen, Fernerkundung, Hannover, Deutschland

Der Boden ist weltweit eine der wichtigsten Ressourcen zur Erhaltung der Lebensgrundlagen. Der Bestandserhalt und die nachhaltige Nutzung von Böden sind komplexe Aufgaben, die nur bewältigt werden können, wenn regionale Bodendaten hoher Qualität vorliegen. Solche Daten sind jedoch in vielen Ländern nicht verfügbar und müssen dort kurzfristig erhoben werden, in anderen Ländern ist eine Aktualisierung der Daten durch stark veränderte Nutzungsbedingungen dringend notwendig. Das Projekt RECHARBO (Regionale Charakterisierung von Bodeneigenschaften) hat zum Ziel, Methoden der Fernerkundung, Geophysik und Bodenkunde in möglichst effizienter Weise zu koppeln und neue Technologien zu testen. Die Tests sollen zunächst auf gut dokumentierten Dauerbeobachtungsflächen innerhalb Deutschlands durchgeführt werden. Weiterhin fußt das neue Projekt auf Grundlagen von Vorgängervorhaben der BGR wie "Bodenparameter aus Aerodaten", "Bodenheterogenitäten" und "Vadose Zone".

Insbesondere sollen zum einen Hyperspektral- und Infrarotdaten gemessen von Satelliten und Luftfahrzeugen aus miteinander verknüpft werden, zum anderen Hyperspektraldaten und Daten der Gammastrahlenspektrometrie. Diese Aufnahmen sollen mit Messungen am Boden und an Bodenproben kombiniert bzw. korreliert werden. Darunter sind Messungen der Bodendichte und -feuchte, des spezifischen Widerstands wie analytische Bestimmungen von Tongehalt, anorganischen Hintergrundwerten, organischem Kohlenstoff etc. Schlussendlich sollen einheitliche Flächendaten, die aus Befliegungen oder Satellitenerkundungen stammen, möglichst einfach mit nur wenigen Bodenproben abgeglichen werden können, um eine erste grundlegende, flächenhafte Bodencharakterisierung für eine Untersuchungsregion zu erhalten.

Wenn für die Untersuchungsflächen in Deutschland eine geeignete Prozesskette etabliert werden kann, soll das Verfahren in den Ländern Afrikas und Südostasiens ebenfalls in angepasster Form zum Einsatz kommen.

Einsatz geophysikalischer Verfahren zur Erstellung von Planungskarten für die Nutzung oberflächennaher Geothermie

Kirsch R.¹, Thomsen C.¹, Bätzner K.², Wolf A.¹, Wiederhold H.³

¹Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR), Geologischer Dienst SH, Flintbek, Deutschland, ²Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR), IT, Flintbek, Deutschland, ³Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Die Nutzung oberflächennaher Geothermie mit Erdwärmesonden und Wärmepumpen kann effektiv den Einsatz fossiler Energien auf dem Wärmemarkt ersetzen und so einen Beitrag zum Erreichen der Klimaschutzziele leisten.

Voraussetzung ist allerdings, dass die Dimensionierung der Erdwärmesonden den Untergrundverhältnissen und der benötigten Wärmeleistung angepasst ist.

Ein Schlüsselparameter für die Dimensionierung von Erdwärmesonden ist die Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes. Daher sind die Geologischen Dienste bestrebt, Kartenwerke anzubieten, aus denen die effektive Wärmeleitfähigkeit für unterschiedliche Tiefen abgeleitet werden kann.

Eine derartige Planungskarte zur Nutzung oberflächennaher Geothermie ist für Schleswig-Holstein vom Geologischen Landesdienst erstellt worden. Die Ableitung der effektiven Wärmeleitfähigkeit erfolgt anhand von Bohrergebnissen, wobei die erbohrten Schichten des Untergrundes mit Tabellenwerten für Wärmeleitfähigkeiten attribuiert wurden. So wurde z.B. wassergesättigten Sanden und Geschiebemergeln eine Wärmeleitfähigkeit von 2,4 W/mK zugewiesen, für Tone ist sie lediglich 1,5 W/mK. Insgesamt wurden 28.724 Bohrungen verwendet, darunter 4.069 Bohrungen für den Tiefenbereich bis zu 100 m.

Dennoch waren einige Regionen im ländlichen Raum nur unzureichend mit Bohrungen abgedeckt. Hier wurden geophysikalische Widerstandsverfahren zur Schließung der Datenlücken eingesetzt. Tone mit geringer Wärmeleitfähigkeit sind aufgrund ihres geringen spezifischen elektrischen Widerstands gut von Sanden und Geschiebemergeln unterscheidbar. Aus dem Ergebnis einer Widerstandssondierung kann so, analog zum Ergebnis einer Bohrung, die effektive Wärmeleitfähigkeit abgeleitet werden. Probleme ergeben sich im Küstenbereich mit Grundwasserversalzung, da salzwassergesättigte Sande ähnlich niedrige spezifische elektrische Widerstände zeigen wie Tone.

Die Anwendung der Kombination von Bohrergebnissen und elektromagnetischen Messungen zur Erstellung geothermischer Planungskarten wird an einem Beispiel der schleswig-holsteinischen Westküste demonstriert, wo im Rahmen des INTERREG-Projektes CLIWAT in Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (Hannover) eine aereoelktromagnetische Vermessung mit dem SkyTEM Verfahren erfolgte.

Geophysikalisches und petrophysikalisches Monitoring von Lösungsprozessen in Kalirückstandshalden

Dünnbier K.¹, Schicht T.², Thiemann K.², Börner F.³

¹Technische Universität Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Berlin, Deutschland, ²K-UTEC AG Salt Technologies, Abteilung für Geophysik, Sondershausen, Deutschland, ³Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Von 1903 bis 1996 wurde in Thüringen Kali- und Steinsalz später Bischofit gefördert. Als Ergebnis der Aufbereitung der Kali- und Steinsalze entstehen Rückstandshalden aus Bergmassen oder zwischengelagerten Wertstoffen. Innerhalb der Halden kommt es unvermeidbar zu Setzungen, Auslaugungs- sowie Stoffumwandlungsprozessen, die eine Verringerung der Stabilität bewirken und somit eine Gefährdung für den Menschen und die Umwelt darstellen. Kenntnisse über den inneren Aufbau der Halde und in ihr ablaufende destabilisierend wirkende Prozesse sind daher von besonderem Interesse für die Einschätzung der Haldenstabilität. Hinzu kommt, dass durch die Dynamik des Wasserhaushaltes z.B. saisonal verschiedene Zonen der Halde infolge des differenzierten Eintrags von Niederschlagswasser belastet werden. Diese zeitabhängigen Änderungen des Wassergehaltes, der Sickerwasserbewegung und die daraus resultierenden lokalen Veränderungen der Porosität sollen über einen längeren Zeitraum in Labor und Feld untersucht werden.

Es wird ein seismisches und ein geoelektrisches Monitoringsystem auf einer Halde in Thüringen aufgebaut. Dazu werden Geophone sowie Elektroden fest installiert. Die Messgeräte können remote gesteuert und die Daten gleichzeitig ausgewertet werden. Ziel ist es, entstehende Schwächezonen durch veränderte Wassergehalte und Porositäten frühzeitig erkennen zu können, um sowohl die Lösungsprozesse besser zu verstehen, als auch vor möglichen Gefahren durch Erdfälle oder Rutschungen frühzeitig warnen zu können. Porositätsunterschiede infolge Lösung des Salzes im Gefüge können mit Veränderungen in den seismischen Geschwindigkeiten erkannt werden. Variationen im Wassergehalt beeinflussen dagegen vorrangig den spezifischen elektrischen Widerstand.

Die Kombination aus seismischer Refraktionstomographie und geoelektrischer Widerstandstomographie gibt folglich Auskunft über den Zustand des Gefüges innerhalb der Halde. Spezielle petrophysikalische Untersuchungen unter Nutzung des NMR-Verfahrens sollen zeigen, wie sich das Natriumchlorid in dem originalen Haldenmaterial auflöst und wie sich dadurch der Porenraum des Materials ändert. Das für die begründete Verknüpfung seismischer und elektrischer Gesteinseigenschaften bereits existierende petrophysikalische Modell wird erweitert, um zum Beispiel die Umwandlung von Fest- zu Lockermaterial und umgekehrt noch besser identifizieren und interessierende Kennwertverteilungen innerhalb der Kalirückstandshalde bereitstellen zu können.

Geophysikalische Abbildungsverfahren zur Anwendung auf Ultraschall-Echo-Daten in der zerstörungsfreien Prüfung

Grohmann M.¹, Niederleithinger E.¹, Buske S.²

¹Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), 8.2 Zerstörungsfreie Schadensdiagnose und Umweltmessverfahren, Berlin, Deutschland, ²Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Das Ultraschall-Echo-Verfahren ist eine klassische zerstörungsfreie Prüftechnik zur Bestimmung der Bauteilgeometrie sowie zur Lokalisierung von Einbauteilen und Fehlstellen. Der aktuelle Stand der Technik bei den Abbildungsverfahren ist die SAFT-Rekonstruktion (Synthetic Aperture Focusing Technique). Diese Gruppe von Verfahren weist u.a. Schwierigkeiten bei der Darstellung von steilen Grenzflächen auf und verarbeitet nur die primären Reflexionen am zu abbildendem Objekt korrekt. Als Alternative werden seit einiger Zeit Migrationsmethoden aus dem Bereich der Geophysik evaluiert. Am Beispiel eines Stahlbetonfundamentes wurden in einer Vorarbeit die Kirchhoff-Migration und die Reverse-Time-Migration (RTM) getestet.

Die strahlenbasierten Algorithmen der Kirchhoff-Migration und SAFT-Rekonstruktion sind eng miteinander verwandt. Die RTM hingegen basiert auf der numerischen Lösung der vollständigen Wellengleichung. Durch Kreuzkorrelation von zeitlich vorwärts- und rückwärtsmodellierten Wellenfeldern erzeugt die RTM die migrierte Abbildung. Für die Durchführung der RTM wurde ein 2D akustischer Code verwendet.

Beide Migrationsmethoden wurden an auf Basis der akustischen Wellengleichung generierten synthetischen 2D-Daten sowie an realen Ultraschallmessdaten getestet. Letztere wurden mit Scherwellenprüfköpfen an der Fundamentplatte aufgenommen. Ein Vergleich der Migrationsergebnisse mit den Ergebnissen der SAFT-Rekonstruktion zeigte besonders für die RTM eine deutliche Verbesserung in der Abbildung der Bauteilgeometrie. Die Vorstudie an der Fundamentplatte lieferte somit den Nachweis, dass geophysikalische Migrationsverfahren auf reale Ultraschall-Messdaten anwendbar sind. Jedoch zeigten sich vereinzelt starke Artefakte und systembedingt Schwierigkeiten bei der Abbildung dreidimensionaler Strukturen.

Nunmehr wird vom akustischen Code auf einen elastischen Code umgestellt, da die eigentlichen Ultraschallmessungen mit elastischen Wellen erfolgen. In einem ersten Schritt wurde dies mit dem Softwarepaket Madagascar realisiert und an einem einfachen 2D-Modell getestet. Dabei fanden verschiedene Quellenregungen Anwendung. Des Weiteren wurden zwei Abbildungsbedingungen evaluiert. Ergebnisse der Kreuzkorrelation der Verschiebungskomponenten der zeitlich vorwärts- und rückwärtsmodellierten Wellenfelder wurden mit Resultaten der Kreuzkorrelation der Skalar- und Vektorpotentiale beider Wellenfelder verglichen.

Coda Wave Interferometry used for monitoring concrete constructions

Niederleithinger E.¹, Wiggerhauser H.²

¹Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Berlin, Deutschland, ²Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), 8.2 Zerstörungsfreie Schadensdiagnose und Umweltmessverfahren, Berlin, Deutschland

Concrete is known to be a very useful, flexible and durable construction material. However, due to excess load, fatigue, chemical processes, freeze-thaw or reinforcement corrosion concrete may suffer from degradation. If detected too late, repair is difficult and expensive.

The propagation of ultrasonic waves is influenced by changes in the properties and structure of the material, including, but not limited to, stress, temperature, moisture content and microcracking. Ultrasonic velocities thus may serve as indicators for structural health. Traditional ultrasonic methods as transmission time of flight measurements are used since decades, but are not sensible enough to show subtle changes. Coda Wave Interferometry (CWI), originally developed in seismology to detect stress changes in the earth's crust uses the information in the late part of ultrasonic signals originating from multiple reflections and scattering. Since a few years it is used by several researchers for lab experiments on concrete.

Meanwhile specialized sensors to be embedded in concrete have been developed. We have conducted several lab and a few field experiments, which will be reported here. The capabilities and limitations of CWI are summarized.

1-D Near Surface Geophysics

1-D Near Surface Geophysics

1-D.001

Seismische Untersuchungen zur Klärung der tektonischen Genese einer verdeckten Kreidestruktur (Börnersdorf, Osterzgebirge)

Sonnabend L., Hlousek F., Buske S.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Im Rahmen der Grundgebirgskartierung des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie wurde ein Sedimentbecken aus der Oberkreide mit Mergeln und Sandsteinen nahe Börnersdorf im Osterzgebirge durch drei oberflächennahe Rammkernsondierungen lokalisiert. Seit 2011 wurden im Bereich dieses Beckens zur genauen Klärung der Genese mehrere komplexe integrierte geophysikalische Meßkampagnen durchgeführt. Diese beinhalteten eine hochauflösende flächenhafte magnetische Kartierung, sowie gravimetrische, geoelektrische und seismische 2D-Profile innerhalb und außerhalb des Beckens. Durch diese stetig wachsende Datengrundlage konnte sowohl die Erstreckung als auch das innere Gefüge relativ gut bestimmt werden. Nach aktuellem Kenntnisstand erscheint die Möglichkeit einer tektonischen Entstehung ebenso sinnvoll wie die einer vulkanischen Maarstruktur. Zur genaueren Klärung der Genese wurden die Messungen 2015 durch eine hochauflösende 3D-Seismik innerhalb des Beckens ergänzt. Das Ziel war es, speziell in Verbindung mit den ca. 1.8 km langen seismischen Profilen im süd- und westlichen Randbereich der Struktur, neue Einblicke in die tektonische Situation des Beckens zu liefern sowie die interne Struktur der Beckenfüllung aufzulösen. Für diese 3D-Seismik wurde eine Einzelauslage 456 Empfängern insgesamt achtmal versetzt und somit eine Gesamtfläche von ca. 100m x 400m überdeckt. Durch die Mehrfachverwendung von Schusspositionen in bis zu drei Auslagen sind einzelne Schüsse an bis zu 1400 Empfängern aufgezeichnet worden. Die Anregung erfolgte mit einem beschleunigten Fallgewicht und einem Quellpunktabstand von 5 m. Nach dem Pre-Processing der Daten wurden diese im Anschluss mit verschiedenen Migrationsverfahren bearbeitet. Das Resultat war ein hochauflösendes Abbild der Beckenfüllung sowie der begrenzenden Randstörungen. Das entstandene Untergrundabbild des Beckens wurde mit allen zur Verfügung stehenden geophysikalischen Daten aus dem Messgebiet verglichen und umfassend diskutiert, so dass es weiterführend als Grundlage geologischer Betrachtung im Gebiet dienen kann. Mithin bestärken die Ergebnisse eine tektonische Entstehungstheorie, welche als wahrscheinlichste Variante anzusehen ist.

Refraktionsseismische Standsicherheits-Untersuchungen an der Christuskirche Schwelm

Swoboda U., Kleinwechter B.

DMT GmbH & Co. KG, Geschäftsfeld Geo Engineering & Exploration, Essen, Deutschland

An der Christuskirche zu Schwelm wurden Gebäudeschäden festgestellt, die auf ein Driften von Teilen des Gebäudes zurückgeführt werden. Als Ursache für diese Gebäudebewegung wird vermutet, dass die geologischen Verhältnisse im Bereich des Kirchengebäudes (Schwelmer Massenkalk) zu Instabilitäten führen.

Im Auftrag der Firma Georadar GPR führte DMT GmbH & Co KG seismische Messungen in und neben der Kirche durch. Diese Messungen dienten der Erfassung der Lagerungsverhältnisse und wurden ergänzend zu Bodenradaruntersuchungen vorgenommen. Zum Einsatz kamen die Verfahren seismische Refraktion (Standard), seismische Refraktionstomographie und seismische CMP-Refraktionstomographie.

Die seismischen Messungen erfolgten entlang von neun Profilen mit einer Gesamtlänge von 388m. Davon befanden sich vier Profile im Kirchengebäude und vier auf dem Kirchplatz. Ein weiteres Profil querte das Kirchengebäude durch die Seiteneingänge.

Als seismischen Quelle wurde auf dem Kirchplatz ein Fallgewicht vom Typ VAKIMPAK benutzt. Innerhalb des Kirchengebäudes kam zur Vermeidung von Zerstörungen ein Handhammer mit Dämpfungsplatte zum Einsatz. Die Messdaten wurden mit einer Registrierapparatur des Typs summit II plus erfasst.

Im Vortrag werden die die Datenerfassung und das Processing beschrieben und die Ergebnisse im geologischen Kontext erläutert.

Geophysikalische Prospektion hellenistischer Grabhügel in Bergama (Türkei)

Mecking R.¹, Rabbel W.¹, Erkul E.¹, Pirson F.²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Angewandte Geophysik, Kiel, Deutschland,

²Deutsches Archäologisches Institut, Istanbul, Türkei

Die Stadt Pergamon gehörte im 3. und 2. Jhr. v. Chr. zu den bedeutendsten Städten des hellenistischen Kleinasien. Die Nekropolen und Grabhügel der Stadt sind eine wichtige Quelle für das Verständnis von sozialer Schichtung, Kultur und Politik im hellenistischen Kleinasien. In einem deutsch-französisch-türkischen Projekt sollen Fragen bezüglich der Funeralarchäologie geklärt werden.

Im September 2015 wurden auf dem Grabhügel Yigma Tepe Seismik-, Elektrik-, GPR-, und Magnetikmessungen durchgeführt. Die Kampagne war eine Fortsetzung der im Sommer 2014 begonnenen geophysikalischen Messungen. Ziel ist es, den strukturellen Aufbau des Hügels zu klären und im Hügel liegende Bauten oder deren Überreste zu identifizieren.

Der Grabhügel hat einen Durchmesser von ca. 160 m, ist ca. 30 m hoch und von einem 10-15 m tiefen Graben umgeben.

8 SH-Profile auf der Kuppe des Hügels wurden zur reflexionsseismischen Untersuchung des zentralen Inneren des Grabhügels angelegt. 2 P-Profile und 1 SH-Profil über den gesamten Hügel wurden zur Geschwindigkeitsbestimmung vermessen.

Mit Elektrik, Radar und Magnetik wurde die Kuppe des Hügels vermessen, um oberflächennahe Strukturen zu identifizieren. Diese Methoden wurden ebenfalls in den Flanken des Hügels eingesetzt, um Befestigungsstrukturen, wie die an der Basis teilweise sichtbare Ringmauer, zu kartieren.

Ergebnisse der refraktionsseismischen Auswertung aus dem Vorjahr deuteten auf eine Unterteilung des Hügels in mehrere Phasen hin. Ein verfeinertes Geschwindigkeitsmodell für S- und P-Wellen soll aus den bestehenden Profilen mittels Refraktionstomographie erstellt werden.

Die Auswertung der SH-Reflexionsseismik soll sowohl Auskunft über oberflächennahe Strukturen geben, die mit den Ergebnissen der Elektrikinversion verglichen werden können, als auch Objekte im Zentrum des Hügels sowie stratigraphische Einheiten identifizieren, die von Elektrik, Magnetik und GPR nicht erfasst werden können.

Norse period landscape reconstruction in Igaliku (Southern Greenland) using marine geophysics

Wunderlich T.¹, Wilken D.¹, Feldens P.², Preston J.³, Mehler N.⁴

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Angewandte Geophysik, Kiel, Deutschland,

²Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Rostock, Deutschland, ³University of Edinburgh, School of Geosciences, Edinburgh, Vereinigtes Königreich, ⁴Deutsches Schifffahrtsmuseum, Bremerhaven, Deutschland

In the framework of the Priority Programme 1630 „Harbours from the Roman period until the middle ages“ marine geophysical investigations are carried out at the tip of the Igaliku fjord in southern Greenland. In the western part of the fjord is a small island close to the coast, which has a Norse house ruin on top consisting of large stone blocks. Two other islands in the middle of the fjord also yield ruins. The tidal range is about 3 m and the Norse period water level is supposed to be around 3 m lower than today.

The aims of the survey are the following: (a) reconstructing the former coastline during the Norse period in order to see if the island close to the coast was connected to the land and thus a peninsula in former times and if the two islands in the middle of the fjord were connected, (b) finding archaeological remains on the seafloor such as anchor stones or other finds connected to ships and/or harbours.

In order to achieve these goals we use a combination of sidescan sonar and a two channel 4 kHz reflection seismic system that are mounted on a small inflatable catamaran, which is pushed in front of a dinghy. The whole measurement area is covered by sidescan sonar, which reveals mainly loose stone objects that can be connected to coastal erosion and larger objects from the coastal scarp. The depths of the seabottom reflection from the seismic profile grid and additional walking with a DGPS in the shallow parts of the fjord yield a bathymetry map in which the former coastlines during the Norse period high tide and low tide can be traced. This results in a dry connection from the small island to the coast during former low tide. This also reveals a sheltered bay with unnaturally steep slopes on one side of the island, which might be used as former harbour basin. The two islands in the middle part of the area were also connected during the Norse period and thus form one large elongated island. The penetration of the seismic waves in the submarine ground also show that only in the deeper parts of the fjord, sedimentary layers can be observed. The shallow parts mainly show the bedrock directly on the seafloor, which indicates that the reconstructed coastline is not influenced by sedimentation since the Norse period.

1-E Near Surface Geophysics

1-E Near Surface Geophysics

1-E.001

Comparative Study of a Sulfate Tracer Monitoring Experiment Using Geoelectrical and Hydrogeological Survey Techniques

Schütze C., Pohle M., Kreck M., Zschornack L., Werban U., Dietrich P., Vienken T.

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Monitoring und Erkundunstechnologien (MET), Leipzig, Deutschland

Reactive walls within the groundwater zone or the infiltration of reactive additives are applied within the frame of Enhanced Natural Attenuation (ENA) remediation procedures for groundwater contaminations based on current state of the art. The cooperation project KOPOXI (Development of an in-situ groundwater remediation procedure supporting natural contamination remediation processes within a contamination plume using a combination of permanently installed oxidizer emission wall and oxidant injections), funded by the German Federation of Industrial Research Associations (AIF), was established with the research focus on an application of the innovative combination of both, a permanently installed subsurface reactive wall and additional injections of reagents with the aim to substantially increase remediation efficiency carried out at a pilot site characterized by hydrocarbon contaminations.

Therefore, innovative monitoring strategies for the observation and subsequent process driven optimization of reagents injection procedures are required to be verified and adapted. These monitoring approaches are based on the acquisition of highly spatial-resolved in-situ hydraulic data within observation wells combined with borehole geophysical surveys in order to determine the spatial and temporal extent of the reagents.

Sulfate injections represent the supplement of potential reactive oxidants for remediation. Hence, a tracer test using 350l magnesium sulfate solution was conducted in a medium-scale experiment. The field set-up consisted of one injection well and four fence-lined observation wells for sampling and in-situ measurements of electrical conductivity and temperature. Additionally, 48 borehole electrodes for geoelectrical monitoring were installed at the PVC casing of the four observation wells. A single geoelectrical measurement was carried out once per hour and consisted of a set of 642 borehole electrode configurations. The tracer was injected within a depth between 12.5 to 15.5 m b.g.l. over a period of 100 minutes. The whole experiment including pre-injection phase lasted 2 months.

Results of the experiment display a distinct decrease in apparent resistivity data observable within the first measurements after injection. The geoelectrical measurements provided valuable data for a comprehensive interpretation of hydraulic processes driven by the tracer behavior within the aquifer and reveals the suitability of geophysical monitoring.

Einfluss der Salinität und des pH-Wertes auf Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation

Kuhn E., Hördt A.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

Die Messung der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) ermöglicht prinzipiell die Interpretation hydraulischer Parameter des Untergrundes. Da die elektrischen Größen nicht nur von der Geometrie des Porenraumes, sondern auch von den Eigenschaften des Porenfluids, wie der Temperatur oder der Sättigung etc. abhängen, ist die Abschätzung solcher hydraulischer Parameter mit großen Unsicherheiten verknüpft. Unter kontrollierten Bedingungen werden Labormessungen an Sandsteinen durchgeführt, um den Einfluss zweier Faktoren, der Salinität und des pH-Wertes, zu beurteilen.

Die Phasenverschiebung wird maßgeblich durch die Salinität bestimmt. Mit zunehmender Ionenkonzentration des Porenfluids wird die Amplitude des Phasenspektrums so klein, dass sie unter die Messgenauigkeit fallen kann. Gemäß Archie's Gesetz steigt der Realteil mit Zunahme der Salinität an. Ebenso vergrößert sich auch der Imaginärteil mit der Salinität zu einem Maximum und fällt im hochsalinen Bereich mit einer größeren Steigung ab.

Das Verhalten des Imaginärteils lässt sich mit vorhandenen Modellen aus der Stern-Schicht Polarisation und der Membranpolarisation vergleichen. Beide Modelle geben qualitativ den experimentell bestimmten Imaginärteil in Abhängigkeit der Salinität wieder. Das Stern-Schicht Modell beschreibt den Trend des Imaginärteils mit einer hohen Korrelation. Dagegen liefert das Modell zur Membranpolarisation eine erste physikalische Erklärung des abfallenden Imaginärteils im hochsalinen Bereich.

In mit Säure kontaminierten Regionen ist die Untersuchung der pH-Abhängigkeit von besonderem Interesse. Bisher existieren nur wenige empirische Ergebnisse zu pH-abhängigen Spektren. Eine Schwierigkeit stellt der Einfluss durch die Salinität dar, weil sie bei solchen Untersuchungen immer berücksichtigt oder experimentell konstant gehalten werden muss. Besonders bei alkalischen Fluiden erweist sich die Einstellung des pH-Wertes als eine experimentelle Herausforderung. Die Laborergebnisse zu pH-Wert-abhängigen Spektren ergeben, dass der Effekt gegen andere Einflussfaktoren relativ gering ist. Eine der Theorie entsprechenden Zunahme des Imaginärteils mit steigendem pH-Wert ist im Experiment nicht deutlich ausgeprägt oder wird von anderen Faktoren überdeckt. Die Relaxationszeit ist der einzige Parameter, bei dem eine stärkere pH-Abhängigkeit festgestellt wurde.

Vergleich von Temperaturmessungen mit geophysikalischer SAL/TEMP-Bohrlochsonde und Kabellichtlot in Berliner Grundwassermessstellen

Jonas O.¹, Limberg A.², Börner F.¹

¹Technische Universität Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, Deutschland, ²Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Arbeitsgruppe Landesgeologie, Berlin, Deutschland

Mit geophysikalischen Bohrlochmessverfahren können technische Größen und physikalische Parameter in offenen Bohrungen und Grundwassermessstellen (GWM) lückenlos und quantitativ dokumentiert werden. Eine SAL/TEMP-Sonde erfasst zeitgleich als primäre Messgrößen die spezifische elektrische Leitfähigkeit und die Temperatur des Bohrlochfluids.

Im Rahmen einer Masterarbeit war u.a. die Reliabilität der für die Leitfähigkeitswertkorrektur wichtigen Messgröße Temperatur T einer SAL/TEMP-Sonde unter in-situ-Bedingungen zu prüfen. An ca. 100 ausgewählten, bis 180 m tiefen GWM des Landesgrundwassermessnetzes von Berlin wurden dazu in Kooperation mit der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Messungen durchgeführt. Dabei kamen eine Bohrlochmessapparatur der TU Berlin mit einer kalibrierten SAL/TEMP-Sonde (38 mm) der Firma Robertson Geologging und ein Kabellichtlot der Firma Hydrotechnik mit einem kalibrierten Leitfähigkeits- und Temperatursensor zum Einsatz.

Das Ziel der durchgeführten Befahrungen war, in jeder GWM mit beiden Verfahren kontinuierlich bzw. punktuell teufenabhängig die Temperatur des Grundwassers zu messen und anschließend zu vergleichen und zu prüfen, ob ggf. Korrekturen an den Temperaturprofilen erforderlich sind, um z.B. belastbare Aussagen zur Wasserbeschaffenheit, zu Konvektionserscheinungen und Schichtungsphänomenen aus den Bohrlochmessungen zu gewinnen.

Die gemessenen Temperaturprofile zeigen deutlich die zu erwartenden oberflächennahen jahreszeitlichen, aber auch anthropogen bedingten Temperaturbeeinflussungen und in tieferen Bereichen den durch den geothermischen Gradienten geprägten T-Verlauf.

Jedoch zeigte die vergleichende Auswertung der Messungen, dass insbesondere im Bereich der obersten 15 m zum Teil Abweichungen von mehr als 1 K zwischen den Temperaturmesswerten von SAL/TEMP-Sonde und Kabellichtlot auftreten. Temperaturabweichungen im Zehntel-Kelvin-Bereich sind auch in größeren Tiefen aufgrund der trägen Temperaturanpassung der SAL/TEMP-Sonde trotz vor Messbeginn erfolgter bestmöglicher T-Angleichung und geringer Sondenfahrgeschwindigkeit bei einer signifikanten Anzahl an GWM zu beobachten.

Konsequenzen für zukünftige Temperaturmessungen sind neben der Optimierung der Sondenfahrgeschwindigkeit und der zugehörigen Korrekturen auch ein kontrollierter Temperaturangleich der Bohrlochsonde. Aber auch die technische Neuentwicklung eines Temperatursensors sowie ein modifizierter Sodenaufrbau kommen als mögliche Problemlösung in Frage.

Geophysics in the vadose zone: Testing a new borehole tool for geoelectrical measurements

Ochs J., Klitzsch N.

RWTH Aachen University, Applied Geophysics and Geothermal Energy (GGE), Aachen, Deutschland

Reliable characterization of effective hydraulic properties in the unsaturated soil zone is an important aspect of agriculture, general land use and a reliable forecast of the climate change impact. Geophysical methods allow for a minimal-invasive investigation of the ground and for fast results. We intend utilizing nuclear magnetic resonance (NMR) and induced polarization (IP) in a combined inversion procedure for inferring effective permeabilities from field data directly.

The measurement setup combines a slim-line borehole logging tool for measuring NMR signals in specific depths, an IP borehole device with 20 ceramically veneered ring electrodes distributed over a glassfiber rod of 1 m length together with surface electrodes, and several tensiometers for measuring the soil water potential.

The poster will focus on the newly developed IP borehole tool intended for identifying layers of constant electrical properties and providing 2D measurements with a resolution complementary to the NMR measurements. The combination with surface electrodes is beneficial for increasing the resolved area. A first prototype with steel ring electrodes was built for testing the general applicability of the construction.

Tests in water show the deviation of theoretical from real geometric factors for the electrode array as a systematical error. This effect is attributed to the areal extent of the rings contrasting the assumption of point sources for inverse modeling. Test measurements in soil together with a surface array show artefacts around the subsurface ring electrodes as well.

In order to account for the error, the complete electrode model, as implemented by Rücker and Günther (2011), is applied to the simulation and compared to simulations with point electrodes.

Data visualization and pre-processing steps for the raw geoelectrical data will be presented as well. After the measurement, bad data points are identified based on statistical measures and criteria for automatical data filtering are defined and applied to the test data.

Einsatz der Geophysik bei Bau und Überwachung von Horizontalfilterbrunnen

Ballhause T.¹, Daffner T.², Huber M.³, Lay M.⁴, Reimann P.², Rücker C.¹, Börner F.¹

¹Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland, ²Umweltbüro GmbH Vogtland, Weischlitz im Vogtland, Deutschland, ³HAS GmbH, Hessisch Lichtenau, Deutschland, ⁴Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Dresden, Deutschland

Die Effizienz von Horizontalfilterbrunnen kann wesentlich durch eine auf die angetroffene Geologie optimal abgestimmte Ausbauplanung und eine fundierte Überwachung des Stranges während der Betriebsphase gesteigert werden.

Aktuell wird der Ausbau des Brunnens nur anhand des Materialaustrages vorgenommen. Hierbei kommt es vor allem zum Auswaschen der Unterkornfraktion. Dies kann zu einer Unter- bzw. Überdimensionierung des Filterausbaus führen.

Weiterhin besteht in der Betriebsphase des Brunnens das Problem der frühzeitigen Erkennung von Alterungserscheinungen, wie z.B. Kalkablagerungen, welche zu einer Abnahme der Förderraten führen.

Im Rahmen eines FuE-Vorhabens mit den Partnern TU Berlin, Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Umweltbüro Vogtland GmbH und H. Angers Söhne Bohr- und Brunnenbaugesellschaft mbH werden Verfahren entwickelt, welche die Bau- und Betriebsphase von Horizontalfilterbrunnen optimieren.

Am Dresdner Grundwasserforschungszentrum wird ein Sensorträger entwickelt, der hydraulische Eigenschaften des Brunnens und Parameter zur Wasserbeschaffenheit im laufenden Betrieb bestimmt. Ziel ist es Alterungseffekte rechtzeitig zu erkennen um den Zeitpunkt für eine Regenerierung optimal zu planen. Außerdem soll der Erfolg einer Regenerierung nachgewiesen werden.

An der TU Berlin wird in enger Zusammenarbeit mit H. Anger's Söhne ein auf dem Prinzip der Geoelektrik basierendes Verfahren entwickelt, dass während des Bohrvorganges azimuthal verteilte elektrische Widerstandswerte und damit Informationen zur Lithologie liefert, um die Ausbauplanung zu verbessern.

Hierzu wurde ein Rohrsegment als Elektroenträger entwickelt und gebaut. Auf diesem sind 16 Elektroden installiert, mit denen axiale und radiale Vierpunktmessungen durchgeführt werden. Aus den Messdaten soll ein Abbild des nahen Umfeldes der Bohrung erzeugt werden.

Es wurden Modellrechnungen zur Optimierung der Elektrodengeometrie durchgeführt und ein Funktionsmuster für Tests im Technikum erstellt. Dies wurde in einem See zum Einsatz gebracht um die prinzipielle Funktionsfähigkeit des Verfahrens nach zu weisen.

Des Weiteren wurde an der TU Berlin das Messsystem und die dazugehörige Software entwickelt.

Außerdem wurden die Möglichkeiten einer Bohrungs-Vorauserkundung überprüft, um z.B. mögliche Gefahren für den Bohrvorgang rechtzeitig zu erkennen. Dazu werden sowohl seismische als auch elektrische Verfahren getestet. Hierzu wurden geoelektrische Modellierungen und ein erster Feldtest durchgeführt.

Entwicklung und Betrieb eines Technikumsplatzes zur Überführung von Technologien und Untersuchung von Horizontalfilterbrunnen

Daffner T.¹, Lay M.², Böhm L.¹, **Reimann P.**¹

¹Umweltbüro GmbH Vogtland, Senftenberg, Deutschland, ²Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V., Dresden, Deutschland

Die Effizienz und Langlebigkeit von Horizontalfilterbrunnen kann wesentlich durch eine fundierte geophysikalische Überwachung des Stranges während der Betriebsphase gesteigert werden. Aktuell werden Maßnahmen zur Brunnenregenerierung gegen den altersbedingten Leistungsabfall der Brunnen auf Grundlage von Erfahrungswerten und von Kamerainspektionen eingeleitet.

Die Messung physiko-chemischer Milieuparameter wie der Zuflussmenge, dem pH-Wert, dem Redoxpotential, der Temperatur, dem Sauerstoffgehalt, und der elektrischen Leitfähigkeit im Horizontalfilterbrunnen sind aufgrund der räumlichen Beengtheit im Brunnenschacht und der horizontalen Lage des Filterstranges mittels bekannter Sonden für Vertikalbrunnen derzeit nicht möglich. Technologien, die den hydraulischen und geochemischen Zustand differenziert entlang des Filterstranges bestimmen, helfen bei der Brunnenentwicklung und dienen als Entscheidungsgrundlage für die Wahl von Verfahren zur Brunnensanierung.

Am Technikumsplatz des Umweltbüro GmbH Vogtlands in Weischlitz können Technologien zur Brunnenüberwachung entwickelt, kalibriert und getestet werden. Die Technikumsanlage bietet auf 5m Länge einen realitätstreuen Nachbau eines Horizontalfilterbrunnens, der mit 4 je 1m langen Segmenten verschieden geologisch und hydrogeologisch/hydraulisch ausgebaut ist. Um unterschiedliche geologische Bedingungen zu imitieren, wurden Glaskugeln, Schluff/Feinsand, Torf und Kies/Sand in die verschiedenen Segmente eingebaut und die Filterrohre/Filterkiesschüttung an die „geologischen Randbedingungen“ genau angepasst. Dabei ist eine segmentweise differenzierte und räumlich verteilte Wasserzugabe variabel möglich, sodass jedes befüllte Segment im spezifischen Wassermilieu unter spezifischem Wasserzufluss getestet werden kann. Die Wasserzugabe und die Durchflussmenge können dabei genau bestimmt werden.

Erste Versuche mit der im Rahmen des FuE-Projektes - Geophysik für Horizontalfilterbrunnen -vom DGFZ entwickelten Sonde Hori-Well Inspector zeigen, dass eine Befahrung des horizontalen Stranges möglich ist, um wichtige physikalische Kennwerte für Horizontalfilterbrunnen zu bestimmen.

Multimethodische geophysikalische Erkundung eines Wasserwerkstandortes in Berlin

Mierschke V., **Bertschat A.-S.**, Dünnbier K., Braun M., Börner F.
Technische Universität Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, Deutschland

An einem Wasserwerkgelände in Berlin soll die Ursache für eine Anomalie der elektrischen Wasser-Leitfähigkeiten in den Förderbrunnen des Geländes untersucht werden sowie die grundwasserschützende Deckschicht aus Geschiebemergel kartiert werden. Das 0,15 km² große Untersuchungsgebiete wurde mittels sieben geoelektrischen Profilen, sieben Georadarprofilen, einem Hammerschlagseismikprofil und elf flächenhaft aufgenommenen Geomagnetikmessprofilen auf seinen sedimentologischen Aufbau und auf seine hydrogeologischen Verhältnisse untersucht. Durch die Korrelation der Verfahren unter Einbezug von Bohrdaten und geologischen Karten ergibt sich die kombinierte Interpretation der Messergebnisse. Mittels der geoelektrischen Messungen wird eine flächenhafte Verteilung der spezifischen elektrischen Widerstände von etwa 10 bis 4000 Ωm in bis zu 40 m Tiefe ermittelt. Der aus Feinsanden bis Kies bestehende Grundwasserleiter lässt sich von den überlagernden quartären Sanden im Mittel bei 7 m unter Geländeoberkante abgrenzen. Der Geschiebemergel ist aufgrund seiner petro-physikalischen Eigenschaften nicht von den liegenden gesättigten Sanden zu unterscheiden. Die oberste Grenze der Änderung der Eigenschaften von trockenem zu gesättigtem Sand kann mit Hilfe der seismischen Ergebnisse bestätigt werden. Aus den geoelektrischen Ergebnissen lassen sich mutmaßliche Strömungsbahnen veränderter Leitfähigkeiten von Nordosten nach Südwesten ableiten. Das Ziel der Erfassung des magnetischen Anomaliefeldes ist die Detektion von Kontaminationen im Untergrund in topographieauffälligen Bereichen. In dem vermuteten Gebiet kann jedoch keine eindeutige Quelle als Ursache der erhöhten Leitfähigkeiten im Grundwasser festgestellt werden. Die Ursachen des Stoffeintrages mit der Grundwasserströmung befinden sich vermutlich im Nordosten außerhalb des Geländes. Das reflexionselektromagnetische Verfahren Georadar dringt je nach Frequenz nur in die obersten 5-10 m des Untergrundes ein. Für diese Tiefe ist die vorherrschende Geschwindigkeit des Untergrundes von sandtypischen 0,1 m/ns über Diffraktionshyperbeln identifizierbar. Die Auswertung wird aufgrund von städtischen Störeinflüssen, wie Leitungen, Autos und Flugzeugen, und des Vegetationsbewuchses erschwert.

Helicopter-borne EM used to delineate the 3D groundwater salinity distribution in the Province of Zeeland, The Netherlands – Pilot study: Terneuzen-Gent Canal Zone

Siemon B.¹, van Baaren E.², Dabekaussen W.³, Delsman J.², Gunnink J.³, Karaoulis M.², Oude Essink G.², Pauw P.², Steuer A.¹

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B2.1 Aerogeophysik, Hannover, Deutschland, ²Deltares, Utrecht, Niederlande, ³TNO, Utrecht, Niederlande

In a setting of predominantly saline surface waters, the availability of fresh water for agricultural purposes is not obvious in Zeeland, The Netherlands. Canals and ditches are mainly brackish to saline due to saline seepage, which originates from old marine deposits and salt water transgressions during historical times. The only available fresh groundwater is present in the form of freshwater lenses floating on top of the saline groundwater. This fresh groundwater is vital for agricultural, industrial, ecological, water conservation and drinking water functions. An essential first step for managing this fresh groundwater in a proper way is to know the present spatial fresh-brackish-saline groundwater distribution. Traditional salinity monitoring is labor-intensive and is very time-consuming. As an alternative, airborne electromagnetics (AEM) is fast and can cover large areas in short time. This is why a consortium of BGR, Deltares and TNO started FRESHEM Zeeland (FRESH Salt groundwater distribution by Helicopter ElectroMagnetic survey in the Province of Zeeland). The AEM device used is a helicopter-borne electromagnetic measuring system (Resolve) that allows a fast investigation of upper hundred metres of the Earth's subsurface. In the project, an approach is developed to produce a 3D chloride distribution of the groundwater by the use of the HEM measuring technique in combination with a-priori data, advanced modelling techniques and knowledge of the groundwater system and geology. A secondary goal is the improvement for geological mapping and modelling. As one of the first surveys, the Terneuzen survey covering the Terneuzen-Gent Canal Zone was conducted in October 2014. The goal of this pilot study was to compare the quality of the AEM results with different types of in-situ 0D-1D-2D ground-truth data (such as salinity samples, borehole logs, CVES, TEC probe data and EM31), as well as with an existing regional 3D numerical model of variable-density and coupled solute transport in order to demonstrate the applicability of AEM for delineating large-scale groundwater salinity values. One important topic of the pilot study was the comparison of HEM inversion models which were derived using diverse 1D inversion strategies (SSI, LCI, SCI) and starting models (with and without a-priori data from ground-truth and/or 3D model data). The results demonstrate that HEM inversion models successfully outline the depth of sharp freshwater-salt water interfaces.

Verbesserung hydrogeologischer Modelle durch Verknüpfung von aeroelektromagnetischen Daten und Geologie

Ullmann A.¹, Wiederhold H.¹, Steuer A.², Siemon B.²

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

In Küstengebieten erfordert die Gefahr der Küstenversalzung besonderes Augenmerk bei der Überwachung und dem Schutz von Grundwassersystemen zur Sicherung der Wasserversorgung. Um einer möglichen Verschlechterung der Wasserquantität und Wasserqualität hervorgerufen durch den klimatischen und demographischen Wandel vorzubeugen ist eine umfassende Analyse der Grundwassersysteme erforderlich. Für diese Analyse werden hydrogeologische Modelle, Wasserhaushaltsmodelle und Dichteströmungsmodelle benötigt. Zusätzlich ist eine Untersuchung des gegenwärtigen und zukünftigen Bedarfs der Wasserversorgung notwendig. Im Rahmen des Projektes NAWAK wird in mehreren Modellregionen an der deutschen Nordseeküste der Einfluss des Klimawandels und der demographischen Entwicklung und die daraus resultierenden Veränderungen der ökonomischen Randbedingungen auf die Wasserversorgung untersucht. Darauf aufbauend werden Anpassungsstrategien für eine zukunftsfähige Wasserversorgung entwickelt. Dazu werden exemplarisch für die Modellregionen hydrogeologische Modelle auf Grundlage von geologischen Bohrlochdaten und aeroelektromagnetischen Messungen aufgebaut. Bestehende Grundwasserstrukturen und durch eindringendes Meerwasser hervorgerufene Versalzungszonen lassen sich durch den Leitfähigkeitskontrast zwischen Süß- und Salzwasser bzw. Sanden und Tonen mit elektromagnetischen Methoden erkunden. Besonders die Aeroelektromagnetik liefert eine sehr gute Datenbasis zur Erkundung der Süß-/Salzwassergrenze und zur Interpolation zwischen Ergebnissen aus Bohrungen. Wir demonstrieren unsere Vorgehensweise zur Verknüpfung von geologischen und aeroelektromagnetischen Daten am Beispiel des Modellgebiets Wanna, gelegen an der Mündung der Elbe. Diese beinhaltet auch ein neu entwickeltes Verfahren zur Erkennung von lateralen Leitfähigkeitskontrasten basierend auf den Gradienten der scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstände abgeleitet aus den Daten der Aeroelektromagnetik. Mit Hilfe unseres Ansatzes wurden Tonlinsen identifiziert und eine Verbesserung des geologischen Modells erzielt.

1-F Near Surface Geophysics

1-F Near Surface Geophysics

1-F.001

Image Denoising of Migrated Ultrasonic Echo Data Acquired on Concrete

Sieber S.¹, Niederleithinger E.², Grohmann M.²

¹RWTH Aachen University, Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science (AICES), Aachen, Deutschland, ²Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland

Ultrasonic echo testing has become a common method in civil engineering for the investigation of concrete structures. The detection of inhomogeneities, reinforcing elements and the geometry of the object is required for quality assurance and inspection. This assessment depends on the quality of ultrasonic images which can be improved by using Reverse Time Migration (RTM) rather than the standard method, Synthetic Aperture Focusing Technique (SAFT). Although RTM provides a better mapping of circular objects and (dipping) reflectors, the image is corrupted by migration noise. To suppress the image noise, we have tested various filter methods in the spatial domain, frequency domain as well as in the curvelet domain on ultrasonic RTM images. We found that either a spatial edge detection filter in combination with a lowpass filter (Laplacian of Gaussian filter) or two lowpass filter with different filter parameters (Difference of Gaussian filter) removed artefacts. An additional smoothing was obtained by applying the first generation curvelet transform after downsampling the image matrix and adding Gaussian noise. The proposed filter scheme is able to suppress RTM noise and enhance the image quality such that the objective interpretation of ultrasonic images for quality assessment of concrete specimen is simplified.

Architecture and seasonal variations of a terrestrial CO₂ degassing site using electric resistivity measurements and CO₂ gas measurements

Nickschick T.¹, Flechsig C.¹, Kämpf H.²

¹Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 4.3 Chemie und Physik der Geomaterialien, Potsdam, Deutschland

Strong, subcontinental mantle-dominated CO₂ degassing occurs in the Hartoušov and Bublák mofette fields in the western Eger Rift. Previous studies already showed that distinct anomalies occur within the subsurface beneath CO₂ degassing spots. However, temporal changes of the degassing behaviour at mofettes were only studied using CO₂ flux measurements systematically so far.

The year 2013, especially the first half, was characterized by a very high groundwater level and flooding in the area. This phenomenon occurred during a phase where temporal variations at a mofette were studied. Several electric resistivity tomographies (ERT) across one significant degassing spot over the course of about one year revealed that the degassing site is not a steady system in the subsurface but is altered significantly. Before, mofettes were usually thought as rather slowly evolving systems, where short-term changes in the gas flux are limited to the soil and long-term evolution is linked to its source, the Upper Mantle. Using ERT in fixed intervals and comparing them to gas studies at fixed locations can help explain how steady mofettes and natural, terrestrial degassing sites are and over which timespans they change.

Near-surface 2D shear wave velocity mapping of the Hartoušov CO₂ degassing area in the Cheb Basin, NW Bohemia (Czech Republic), using Multichannel Analysis of Surface Waves

Henke M., Flores Estrella H.

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

For the subsurface characterization of the Hartoušov CO₂ degassing area in the Cheb Basin, NW Bohemia, Czech Republic, several geophysical studies have been presented and several others are ongoing. Within this context, the analysis of active seismic data through the Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) offers a useful tool to estimate vertical and horizontal velocity changes of the shallow subsurface, which can be related to variations on rock elastic properties and/or fluid content, and represents the subsurface layering.

Surface waves were stimulated using a sledgehammer as source, and were measured with 48 vertical geophones with spacing of 1 m using the roll along method with a setup displacement of 2 m. Partially, two source offsets, 10 and 30 m, were used to increase the data quality and the resolution. The measurements were made in the NW area of the main degassing zone (main mofette) and are partially in the same region of former investigations, i.e. CO₂ concentration and gas flux measurements, electric and gravimetric surveys and continuous seismic noise measurements.

The analysis of propagation velocities leads to dispersion curves from which 1D shear wave velocity profiles were inverted. These would be interpolated to create a 2D shear wave velocity map. The observed changes in these maps can be explained with the occurrence of fluid paths and their diffusion in the subsurface or the existence of the Počatky-Plesná fault zone (which position is not fully understood yet) or both features in combination.

Untertägige Strukturerkundung in einem Salzkörper mit elektromagnetischen und seismischen Reflexionsverfahren

Musmann P., Gundelach V.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

Für die Erkundung von Salzstrukturen werden seit vielen Jahrzehnten verschiedene Verfahren und Methoden der Explorations- und Bohrlochgeophysik eingesetzt. Von der Oberfläche wird dabei in der Regel Reflexionsseismik zur Strukturerkundung eingesetzt und mit Bohrlochmessungen in die Tiefe fortgesetzt. Die Erkundungen von der Oberfläche aus reichen jedoch oftmals nicht aus, um die Internstruktur eines Salzkörpers hinreichend zu bestimmen, sodass weiterführende Erkundungen von Untertage notwendig sind. Hierzu werden neben den Erkenntnissen aus Bohrungen vor allem elektromagnetische Reflexionsverfahren (EMR) eingesetzt, mit denen sich die Internstrukturen des Salinars hoch aufgelöst und richtungssensitiv abbilden lassen. Das Vorhandensein hoch leitfähiger Strukturen (bspw. feuchte und tonhaltige Strukturen) kann die Eindringtiefe des EMR-Verfahrens jedoch stark einschränken. Reflexionsseismische Verfahren können oftmals durch solche Strukturen hindurchschauen. Die Messung mehrerer geophysikalischer Parameter sichert darüber hinaus zusätzlich die Erkenntnisse ab. Allerdings sind untertägige reflexionsseismische Messungen kein Standard. Insbesondere der Vollraum und die Bindung der Profile an aufgefahrene Strecken bringen einige Schwierigkeiten für die Seismik mit sich. Um die Möglichkeiten und Einschränkungen von konventionellen reflexionsseismischen Messungen und Datenbearbeitung (2D-Seismik), wie sie in der übertägigen Erkundung standardmäßig eingesetzt werden, bei den Gegebenheiten Untertage zu testen, wurde ein reflexionsseismisches P- und S-Wellen-Profil unter Anwendung des Vibroseis-Verfahrens in einem Salzbergwerk akquiriert und ausgewertet. Entlang des gleichen Profils wurden ebenfalls EMR-Messungen mit leistungsstarken geschirmten Antennen durchgeführt. Die Ergebnisse beider Messungen zeigen einerseits eine gute Übereinstimmung im Reflexionsabbild der Internstruktur des Salzkörpers im Vollraum um die Messstrecke, andererseits auch deutliche Unterschiede bezüglich Auflösungsvermögen und Richtungssensitivität.

Erkundung der Jänschwalder Rinne mittels Geoelektrik und Gravimetrie

Dinsel F.¹, Rucker C.¹, Petzold H.², Börner F.¹

¹Technische Universität Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, Deutschland, ²Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Cottbus, Deutschland

Mit voranschreitender Erschließung des Tagebaus Jänschwalde im Lausitzer Braunkohlerevier wird auch zunehmend die glazigene Struktur der Jänschwalder Rinne erfasst. Besonders relevant ist, dass diese Struktur im Bereich der Hauptarbeitsebene angeschnitten wird und somit auch die Last der Abraumförderbrücke tragen können muss. Damit der bohrtechnische Aufwand der Vorerkundung in Grenzen gehalten werden kann, soll die gemeinsame Auswertung von geoelektrischen Messungen und vorhandenen gravimetrischen Rasterdaten einen möglichst hohen Informationsgehalt erzielen.

Im Zuge der Erprobung einer gemeinsamen Auswertung entsteht ein 3D-Modell des Tagebauabschnitts mit der Programmbibliothek pyGIMLI, das zunächst auf Topografieeffekte (Struktur der Tagebauböschungen, Hoch- und Tiefschnitt) hinsichtlich dort stattfindender geoelektrischer Messungen bemessen und untersucht werden soll. Die modellierten Profile dienen dabei der Korrektur der realen Messungen. Das Modell wird schrittweise der Realität angenähert und besteht zunächst nur aus geoelektrischen Messungen. Danach werden die im Vorfeld an der Oberfläche gewonnenen gravimetrischen Rasterdaten feldfortgesetzt auf die gemessenen geoelektrischen Profile abgestimmt. Diese sollen mit einem eigens programmierten Vorwärtsoperator ebenfalls invertiert werden und die geoelektrischen Messungen ergänzen.

Nach den bisherigen geoelektrischen Messungen zeichnet sich die Rinnenstruktur klar ab, sodass die Daten aufbereitet werden und die Rinne als 3D-Objekt dargestellt werden kann. Die erste Sichtung der Gravimetriedaten zeigt eine gute Ergänzung hinsichtlich der Rinnenstruktur. Das letzte Ziel ist das rechtzeitige Erkennen eines tagebauseitigen Einfallens von bindigen, rutschungsgefährdeten Gleitflächen.

1-G Near Surface Geophysics

1-G Near Surface Geophysics

1-G.001

The influence of hydrogeological and structural conditions on geophysical measurements in the Geodynamic Observatory Moxa, Germany

Methe P., Goepel A., Jahr T., Paschke M., Schwarze C., Ehrenmann K., Esefelder R., Iwakiri S., Kukowski N.
Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Jena, Deutschland

The Geodynamic Observatory Moxa of the Friedrich Schiller University Jena (FSU) is located in a small valley in the Thuringian Slate Mountains about 30 km south of Jena. Among the observatory's equipment are a superconducting gravimeter, a high precision laser-strainmeter array, borehole tiltmeters, a very-broad-band seismometer, downhole temperature sensors and a meteorological station. Due to the very low ambient noise level, instrumental recordings reach high signal accuracy, which also means that they are sensitive to local hydrological effects.

Our study aims to better understand how local hydrogeological processes are mirrored in geophysical measurements. Therefore, (1) datasets of all instruments are combined and related to meteorological data (e.g. air temperature, rain fall). (2) The subsurface structural setting of the observatory and its surroundings has been explored by field mapping, shallow seismic reflection and geoelectrical surveys, and coring. (3) The hydrogeological conditions are estimated through changes of fluid volumes during drilling operations, long-term temperature monitoring in a borehole using a Fiber Bragg Grating Sensor (FBGS), and rock physical measurements on drill cores (permeability, thermal conductivity and diffusivity, p-wave velocity).

Here, we present preliminary results of the comparison between time series of geophysical measurements and meteorological data for the last two years 2014 – 2015, the outcomes of the near-surface geophysical surveys that were conducted in 2015, and the measured physical properties of rocks.

Nachweis einer elektrischen Leitfähigkeitsanisotropie im Rheinischen Schiefergebirge mit scheinbaren spezifischen Widerstandstensenoren

Löwer A.¹, Junge A.¹, Günther T.², Grinat M.², Hering P.¹

¹Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland, ²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Elektrische Leitfähigkeitsanisotropien im Untergrund lassen sich mit geoelektrischen Methoden oft nur unter großem Aufwand nachweisen. Die Betrachtung des scheinbaren spezifischen Widerstandstensors ermöglicht schnelle, großflächige Untersuchungen. Modellstudien zum scheinbaren spezifischen Widerstandstensor zeigen dessen hohe Sensitivität für anisotrope Leitfähigkeitsverteilungen.

Im Sommer 2014 wurde eine großskalige Bipol-Quadrupol-Geoelektrik-Messung im Rheinischen Schiefergebirge durchgeführt. Für die dort anstehenden Gauwacken- und Tonschiefer werden anisotrope elektrische Leitfähigkeiten vermutet.

Die gemessenen scheinbaren spezifischen Widerstandstensenoren zeigen die charakteristischen Merkmale anisotroper Leitfähigkeitsstrukturen, wie eine starke Aufspaltung der Tensorinvarianten und gleichmäßige Rotation sowie die Ausbildung von Schattenzonen. Eine nach der Orientierung der Strombipole getrennte isotrope Inversion liefert unterschiedliche Modelle, welche die gemessenen Tensenoren nicht erklären.

Mit anisotropen Vorwärtsmodellen ist es hingegen möglich die gemessenen Tensenoren zu erklären und die beschriebenen geologischen Strukturen zu bestätigen.

Monitoring of root systems at the field scale by means of electrical impedance tomography: a numerical feasibility study

van Treeck S., Weigand M., Kemna A.

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie,
Fachbereich Geophysik, Bonn, Deutschland

The root system is an important component of the biosphere, linking the soil to the vegetation-atmosphere environment. To improve crop breeding, production and management, it is essential to gain a better understanding of root-soil interactions and associated processes. Here, root architecture, growth and activity play a key role.

Measurement methods capable of imaging, characterizing and monitoring root structure and dynamics in a non-invasive manner are still lacking, in particular for field-scale investigations. Previous laboratory studies on crop root systems using electrical impedance tomography (EIT) provided first insights into the possible monitoring of root system extension and root physiological processes. EIT utilises low-frequency impedance measurements to image the spatial distribution of electrical conduction and polarisation properties, for example in terms of real and imaginary conductivity. The previous studies have indicated that the real conductivity is primarily sensitive to water content changes in the rhizosphere, while imaginary conductivity, originating from polarisation processes around and within individual root segments, captures information on root mass, root length and root activity. We therefore hypothesise that EIT can be used to image the spatial delineation of root systems as well as to monitor root physiological processes.

With a view to establishing EIT as a tool for root system characterisation and monitoring at the field scale, we here present a numerical feasibility study focusing on achievable image resolution of the approach. Synthetic complex conductivity models representing a field with a sequence of crop root systems were generated employing varying electrical model parameterisations. The latter were adapted from available laboratory and field data to simulate realistic scenarios. Synthetic EIT measurements were then computed, contaminated with noise and subsequently inverted by means of finite-element based forward modelling and inversion codes. The imaging capability is assessed by comparing original and reconstructed complex conductivity models. Our results demonstrate that, for the considered model parameterisations, EIT image resolution is sufficient to delineate the extension of root systems of individual plants.

The simulation results will be essential for improving survey design and measurement configurations in planned field experiments, which are currently in the implementation phase.

Electrical impedance spectroscopy measurements on plant roots: monitoring of day-night cycles of root activity

Stamm M., Weigand M., Kemna A.

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Fachbereich Geophysik, Bonn, Deutschland

Plants with their root systems form the connection between the subsoil and the atmosphere. The characterisation and monitoring of roots, and the associated physiological processes, is essential for a better understanding of growth mechanisms and optimisation of crop yields, prompting the demand for suitable monitoring methods. Among the most promising methods applicable both in the laboratory and in the field is electrical impedance spectroscopy (EIS). It utilises low-frequency impedance measurements to infer the electrical conduction and polarisation properties of the root system, for example in terms of real and imaginary conductivity. Previous studies have indicated that the real conductivity is primarily sensitive to water content changes in the rhizosphere, while imaginary conductivity, originating from polarisation processes around and within individual root segments, captures information on root mass, root length and root activity. We therefore hypothesise that EIS can be used to non-invasively characterise and monitor crop root systems, for example in response to environmental stimuli. In order to ultimately prove that EIS measurements are sensitive to root physiological processes, we conducted a laboratory study in which the EIS response of a root system was monitored in the course of a series of artificial day-night cycles. For the experiment we used an oilseed rape plant which was placed inside a rhizotrone filled with nutrient solution. EIS data were continuously collected over three days in the frequency range 0.1 Hz - 45 kHz, with a data acquisition time of seven minutes for a single spectrum. The EIS monitoring data reveal a clear frequency dependence of the complex conductivity. Importantly, significant correlations with the day-night variations are found over a broad frequency band, showing increased imaginary conductivity in the night times. When expressed in complex conductivity phase angles, day-night polarisation dynamics vary from 0.2 mrad at 0.2 Hz to 2 mrad at 550 Hz. Our findings suggest that the polarisation properties of the root system reflect the biophysical cycle of the plant, which includes alternating water and nutrient uptake as well as nitrate accumulation during the night. The results moreover demonstrate that EIS is a suitable non-invasive measurement technique for a functional monitoring of root systems in nutrient solution, offering a high temporal resolution.

Kopplung von ERT (Electrical Resistivity Tomography) und DP-EC logs (Direct push electrical conductivity) für eine verbesserte geoarchäologische Interpretation

Wunderlich T.¹, Fischer P.², Rabbel W.¹, Vött A.², Willershäuser T.²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Angewandte Geophysik, Kiel, Deutschland,

²Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Geographie, Mainz, Deutschland

Zerstörungsfreie geophysikalische Methoden werden häufig in der geoarchäologischen Prospektion angewendet, jedoch ist ein Abgleich mit stratigraphischen Informationen aus Aufschlüssen oder Bohrungen sinnvoll. Dies gilt insbesondere auch für die Inversion von Elektrik-Daten, um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden und die Auflösung zu verbessern. Die Verlässlichkeit des Inversionsergebnisses kann stark verbessert werden, indem Zwangsbedingungen wie zum Beispiel Schichtgrenzen oder in-situ gemessene elektrische Widerstände für gewisse Bereiche des Modells vorgegeben werden. Direct-push EC logs liefern dafür mit der Tiefe sehr hochaufgelöste Werte der elektrischen Leitfähigkeit sowie Änderungen der Korngrößen. Beide Informationen können nun in die ERT einbezogen werden um ein verlässlicheres Modell des Untergrundes zu erhalten.

Es wird gezeigt, dass die Kopplung von Widerständen und Schichtgrenzen zur ERT einen großen Vorteil gegenüber der Vorgabe von Schichtgrenzen alleine hat. Die Vorgabe von Schichtgrenzen ohne Widerstände resultiert häufig in Artefakten, da eine Schichtgrenze abgeleitet aus einer Bohrung nicht unbedingt mit einem Wechsel des Widerstands erfolgen muss.

Die erfolgreiche Kopplung von ERT und DP-EC logs wird an zwei Beispielen aus unterschiedlichen geoarchäologischen Regimen gezeigt: (a) Unter der Holsterburg in Deutschland kann eine durchgehende Kiesschicht in der Inversion kartiert werden, die ohne die direkten Widerstandsmessungen der DP-EC logs nicht gesehen werden würde. (b) In Korfu Stadt (Griechenland) wird besonders der Vorteil von DP-EC logs gegenüber Schichtinformationen alleine deutlich, jedoch muss die hohe Tiefenauflösung der Logs deutlich vereinfacht werden.

Untersuchung der Messgenauigkeit des CMD-MiniExplorers unter Feldbedingungen

Folkers I., Wunderlich T., Rabbel W.

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

Der CMD-MiniExplorer (GF Instruments) ist ein Messgerät der Elektromagnetischen Induktion, welches in der oberflächennahen Prospektion verwendet wird. Um die Verlässlichkeit der je drei gemessenen Leitfähigkeiten und In-Phase-Komponenten (unter Verwendung von drei verschiedenen Spulenabständen) besser quantifizieren zu können, wurden die Einflüsse der Drehung und Neigung, sowie des Bodenabstands der Messsonde unter kontrollierten Bedingungen untersucht. Außerdem wurden Langzeitmessungen durchgeführt, um die Streuung und den Einfluss der Temperatur zu bestimmen. Des Weiteren wurde die Wiederholbarkeit der Messungen auf einem Profil sowie einer Fläche getestet. Auch der Einfluss von verschiedenen Personen, einer GPS-Antenne, der Sondenhalterung, des Datenkabels und des Terminals wurde untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Messwerte sehr stark durch die Drehung und Neigung des Geräts beeinflusst werden, wobei der kleinste Sondenabstand die größten Abweichungen vom wahren Wert misst. Die Streuung der Messwerte hingegen nimmt jedoch mit größer werdendem Sondenabstand zu und liegt bei einer empfohlenen Messdauer von 0,2 s bei maximal 0,15 mS/m. Die Wiederholbarkeit entlang eines Profils ist gut, wobei die Standardabweichung von fünf Wiederholungsmessungen bei max. 4,45 mS/m bzw. 0,18 ppt liegt. Metallische Gegenstände, wie z.B. das Terminal, haben ab einer Entfernung von ca. 1 m keinen Einfluss mehr auf die Daten. Der Einsatz einer GPS-Antenne zur genauen Positionierung des Geräts zeigt keinen Einfluss auf die Daten und ist somit gut anwendbar.

Limitations of shallow refraction seismic method

Seisa H.H.¹, **Khalil M.M.**¹, Khalil M.M.²

¹Mansoura University, Geology Department, Faculty of Science, Mansoura, Ägypten, ²Damietta University, Geology Department, Faculty of Science, Damietta, Ägypten

Shallow refraction seismic method is widely used in different applications such as static correction of reflection data, groundwater investigation as well as in environmental and engineering applications. However, there are several problems affected or damaged this method. These problems can be divided into two main categories; the first one is inherent problem and includes the undetected layer and the lateral effects problems. The second problem is concerned mainly with the interpretation techniques themselves.

The first problem is due to fact that the data neither recorded as first arrivals, nor represent the correct position on the travelttime curve.

The second main problem is related to the interpretation techniques themselves.. The assumption of the interpretation technique is applied on a simple model, but the generalization of this technique is usually wrong where the application conditions are not longer existed.

The use of a travelttime elements instead of imaginary points such as common surface point or common refractor point leads to better interpretation. Travelttime elements are defined as linear parts of the travelttime curve with equal slopes and consequently equal apparent velocities. These elements can be used to identify of horizontal and vertical variations in velocities and at the same time can be used to calculate of the velocities representing subsurface refracting interfaces.

Methods for local dispersion curve estimation

Fernandez M.R.¹, Edme P.², Singh S.³

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruhe, Deutschland, ²Schlumberger Gould Research, Geophysics Department, Cambridge, Vereinigtes Königreich, ³Institut de Physique du Globe de Paris, Marine Geosciences, Paris, Frankreich

Two acquisition and processing techniques are investigated in order to derive Rayleigh wave dispersion curves from active seismic sources. The first method uses complex analytical signals to estimate phase differences between two traces, while the second method is based on the use of spatial gradient of the wavefield. It is shown that both approaches provide new possibilities for local near surface characterization, with minimal field effort, in contrast to conventional methods requiring spatially dense arrays of receivers. In the present work, we first validate the two approaches with synthetic tests and we identify theoretical limitations. It is shown that both methods require a distance between the two sensors to be less than a fraction of the wavelength of interest. The gradient method provides accurate dispersion curve estimations with geophone separation less than a 1/5 of the wavelength, while phase difference methods allows the sensors to be further apart, up to 1/2 the wavelength. Then the robustness of each method is investigated by introducing perturbations in the measurements, like random noise, mis-calibration, tilt and coupling issues. These tests reveal a significant advantage of using phase difference approach for two main reasons. Firstly it is insensitive to any kind of amplitude perturbations, in contrast with the gradient method. Secondly, the fact that larger distances between sensors is allowed enables to reduce the impact of perturbations. Results obtained from a real data experiment (in Kuwait) are consistent with the synthetic data analysis. The estimated dispersion curves are in good agreement with those obtained from conventional array-based method, while offering more local information with a reduced field effort and associated cost.

Tests zur Wellenforminversion der aus Ambient Noise ermittelten Green'schen Funktion zur Analyse des oberflächennahen Untergrundes

Wiesenberg L., Meier T.

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

Untersuchungen mit ambient noise werden erfolgreich zur Untersuchung der Erdkruste aber auch des oberflächennahen Untergrundes eingesetzt. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, Wellenforminversionen der aus ambient noise berechneten Greensfunktionen nach einem 1D Modell des oberflächennahen Untergrundes durchzuführen. Die genutzten Daten entstammen eigener Messungen, mittels drei Komponenten Data-Cubes an einer Lokationen innerhalb des Stadtgebietes von Kiel und in Achterwehr am Rehberg in der Nähe von Kiel. Die Länge der Aufzeichnungen betrug maximal eine Woche. Die Entfernungen zwischen den einzelnen Stationen lagen zwischen zehn und 100 Meter in verschiedenen Ausrichtungen, welche an lokalen Rauschquellen orientiert sind. Die erhobenen Daten wurden innerhalb eines Frequenzbereichs von 30 bis 180 Hz kreuzkorreliert. In den meisten Fällen konnte die Green'sche Funktion ermittelt werden. Vor allem bei den Messungen im Stadtgebiet sind die Einflüsse verschiedener Rauschquellen deutlich auszumachen. Dazu zählen Straßenverkehr und Betrieb in nahegelegenen Gebäuden der Stationsauslage. Durch verschiedene Auslagen sind Vorzugsrichtungen erkennbar. Frequenzen größer als 60 Hz sind oft sehr viel dominanter. Dadurch ist die Eindringtiefe hier geringer als am Rehberg. Außerhalb der Stadt kann eher von einer Gleichverteilung der Quellen ausgegangen werden. Mit Hilfe von Spektrogrammen sind strukturelle Unterschiede mit der Tiefe erkennbar. Diese sind vergleichbar mit Vorkenntnissen des Untergrundes in diesem Gebiet. Die 1D-Wellenforminversion erfolgte nach dem 1D-Modell der Scherwellengeschwindigkeit und der Dämpfung der Scherwellen. Es werden Ergebnisse für unterschiedliche Parametrisierungen des 1D-Modells vorgestellt.

Wellenforminversion zur Untersuchung der Verwitterung von Marmor

Steinkraus T.¹, Eckel F.¹, Sobott R.², Siegesmund S.³, Meier T.¹, Auras M.⁴

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Kiel, Deutschland, ²Labor für Denkmalpflege e.V., Naumburg, Deutschland, ³Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Strukturgeologie und Geodynamik, Göttingen, Deutschland, ⁴Institut für Steinkonservierung e.V., Mainz, Deutschland

Zur Untersuchung der Verwitterung von Marmor wurden Ultraschallmessungen entlang von Profilen auf der Oberfläche der untersuchten Objekte durchgeführt. Seismische Wellen wurden in einem Frequenzbereich zwischen 10 kHz und 300 kHz angeregt, wobei der Abstand zwischen Signalgeber und Signalnehmer schrittweise erhöht wurde. Aus den registrierten Wellenformen wird mittels Partikelschwarmoptimierung ein 1D Tiefenprofil der Scherwellengeschwindigkeit V_s mit konstantem Qualitätsfaktor Q bestimmt. Zunächst wurden Untersuchungen im Labor an einer künstlich verwitterten Gesteinsprobe aus Marmor durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Scherwellengeschwindigkeit und der Gütefaktor Q durch thermische Belastung signifikant verringert werden. Die Scherwellengeschwindigkeit sinkt von ca. 3.08 auf 1.81 km/s und Q von 54 auf 40. Die Veränderungen reichen mehrere Zentimeter tief und weisen nur geringe Änderungen mit der Tiefe auf. Weiterhin wurde die Marmorfassade der Neptungrotte im Park Sanssouci in Potsdam untersucht. Für 28 Profile konnten 1D Tiefenmodelle der Scherwellengeschwindigkeit bestimmt werden. Neben einer starken Variabilität der Scherwellengeschwindigkeit - sie variiert zwischen 1.14 und 3.39 km/s - sind sowohl Verringerungen der Geschwindigkeit mit der Tiefe (Krustenbildung) wie eine Zunahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe möglich (oberflächennahe Auflockerung). Konservierte Fassadenteile zeigen sehr hohe Geschwindigkeiten von 3.05 km/s und hohes Q von 85. Das weist auf eine erfolgreiche Festigung der Fassade hin. Weiterhin wurde die Statue "Nike krönt den Sieger" auf der Berliner Schlossbrücke untersucht. Von Interesse ist das rechte Wadenbein des "Siegers". Spektrogramme zeigen hier eine starke normale Dispersion. Die Scherwellengeschwindigkeit ist oberflächennah auf 0.63 km/s verringert und nimmt mit der Tiefe stark zu. Da bei thermischer Belastung der Gradient mit der Tiefe eher gering ist, werden chemische Einflüsse als Ursache dieses Gradienten vermutet. Ultraschall-Oberflächen-Messungen helfen bei der Analyse des Verwitterungszustandes und bei der Bewertung von Konservierungsmaßnahmen an historischen Bauwerken, ohne Beschädigungen, wie bei Kernbohrungen, zu verursachen.

1-H Near Surface Geophysics

1-H Near Surface Geophysics

1-H.001

Gleichstromgeoelektrische Messungen zur Detektierung von archäologisch relevanten Schichten und zur Untersuchung des sedimentologischen Aufbaus des Hügels Shën Mitri, Albanien

Hamacher S.¹, Tezkan B.¹, Yogeshwar P.¹, Hauck T.²

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, ²Universität zu Köln, Institut für Ur- und Frühgeschichte, Köln, Deutschland

Ein zentrales Thema des Sonderforschungsbereichs 806 „Our Way to Europe“ ist die Migration des modernen Menschen aus Afrika über den Balkan nach Europa vor etwa 40.000 Jahren. Dazu führten das Institut für Ur- und Frühgeschichte und das Archäologische Institut Tirana u. a. am Freilandfundplatz Shën Mitri bei Butrint archäologische Prospektions- und Grabungsaktivitäten durch. Dort liegen über 1000 Steinartefakte vor, die wahrscheinlich in das frühe Jungpaläolithikum zu datieren sind. Unklar waren bisher die Genese des Fundplatzes und das Ausmaß taphonomischer Prozesse. Daher wurden die Ausgrabungen im September 2015 fortgesetzt und vom Institut für Geophysik und Meteorologie geoelektrische Messungen durchgeführt.

Um die Entstehung, sowie den sedimentologischen Aufbau von Shën Mitri besser zu verstehen, wurden sieben DC-Profile mit einem Elektrodenabstand von 5 m vermessen. Weiterhin wurden sieben DC-Profile mit einem kleineren Elektrodenabstand von 0,5 m in einem Raster um den archäologischen Hauptschnitt gemessen. Ziel dieser kleinskaligen Profile ist die Stratifizierung des Untergrundes bis zu einer Tiefe von 8 bis 10 m zu bestimmen, die räumliche Verteilung der Deckschicht zu ermitteln und zu klären, ob es eine stabile Schicht gibt, unter der sich Artefakte finden lassen könnten. Bei diesen kleinskaligen Profilen wurde mit einem Tachimeter die genaue Position aller Elektroden eingemessen. Diese Daten ermöglichten die Bestimmung des Fehlers für die Elektrodenposition und die Berechnung des tatsächlichen Geometriefaktors. Somit konnte der Geometriefehler bestimmt werden und zusammen mit dem Fehler für den gemessenen Widerstand lieferte dies eine realistische Fehlerabschätzung insbesondere für archäologische Fragestellungen mit kleinen Elektrodenabständen. Ein realistisches Fehlermodell ist insbesondere wichtig um Fehlinterpretationen und Überinterpretationen zu vermeiden. Die Fehler für die großskaligen Profile wurden in Anlehnung an das Fehlermodell berechnet und die Topografie mit einem GPS eingemessen. Die Daten wurden mit dem Programm BERT von T. Günther und C. Rücker invertiert. Die untereinander konsistenten 2D-Inversionsergebnisse zeigen u. a. die Mächtigkeit der mit Artefakten durchzogenen Deckschicht und die Ausbreitung der darunterliegenden neogenen, tonigen Ablagerungen. Zudem weisen die großskaligen Profile in Bereichen nahe der Oberfläche bis zu mehreren Metern Tiefe hochohmige Bereiche, bei denen es sich wahrscheinlich um Sandstein handelt.

3D electrical resistivity imaging for archaeological prospecting – two case studies

Al Saadi O.¹, Schmidt V.¹, Becken M.¹, Schierhold K.²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Landschaftsverband Westfalen-Lippe, Altertumskommission für Westfalen, Münster, Deutschland

Electrical resistivity tomography (ERT) methods have been widely used in the last decades for various shallow-depth investigations of archaeological sites. Both 2D and 3D techniques are employed to obtain images of subsurface anomalies. In two case studies, we present the results from 2D, quasi-3D and full 3D roll along surveys using different arrays. A dipole-dipole array with 96 electrodes in a uniform rectangular survey grid has been used in full 3D to investigate a presumed Roman building near Nonnweiler, Saarland province. We utilized a roll-along technique to cover a large part of the archeological site with 1 meter electrode spacing. Higher-resolution images were obtained with 0.5 meter electrode spacing. Additional four parallel 2D profiles have been carried out in dipole-dipole array with 0.5 meter electrode spacing and 1 meter between adjacent profiles. 3D inversion of the data obtained with 1 meter electrode spacing showed high resistivity anomalies especially in the upper parts of the study area. The higher-resolution survey with 0.5 meter spacing added substantial details to the inversion images. The 3D inversion results of the four parallel 2D lines confirmed some of the resistive features but we also missed some of the details of structures elongated in parallel to the profiles direction. The second target is a megalith grave in Rheine, Westfalen. Obstacles (trees) on the grave hindered a uniform survey grid; instead we employed a trapezoidal setup and used a Wenner-Schlumberger array (roughly 1 meter electrode spacing) to investigate the earth-covered grave. The 3D sections showed highly resistive features of about 10000 ohmmeters in the middle part of the mound. This corresponds to the central part of the mound and may represent the megalith grave itself. These results will be discussed in view of archeological findings from an earlier excavation of the grave.

Archäomagnetische Messungen und Modellierungen zum römischen Kleinkastell Haselheck am Obergermanisch-Raetischen Limes

Mayer J., Junge A.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

Das römische Kleinkastell Haselheck (Wp 4/85) bei Echzell in der Wetterau gehört zum Weltkulturerbe „Obergermanisch-Raetischer Limes“. Dennoch ist über die Wehranlage nur wenig bekannt. Die bis zu den hier vorgestellten Messungen einzige und erste Untersuchung des Kastells fand im Zuge der Prospektionen der Reichs-Limeskommission im Jahre 1886 statt. Hierbei konnten lediglich lückenhafte Erkenntnisse über Lage und Ausdehnung der Kastellmauer sowie des umschließenden Wehrgrabens gewonnen werden.

Bei Messungen im Herbst 2014 wurden in Teilen des Kastellareals geomagnetische Kartierungen mit einem Fluxgate-Gradiometer durchgeführt. Dabei konnte die Lage der Kastellumwehrung anhand der erstellten Magnetikkarten bestätigt werden. Zusätzlich wurde im Innenbereich des Kastells ein Gebäude nachgewiesen, das den Archäologen bisher unbekannt war.

Zur besseren Interpretation der gewonnenen Daten wurden mehrere 2-dimensionale Modelle mit unterschiedlicher Geometrie und physikalischen Parametern entlang fünf ausgesuchter Profile der Kastellumwehrung berechnet. Hierbei zeigte sich, dass eine einfache Zwei- oder Dreikörpergeometrie, welche die magnetischen Störkörper in Mauerreste sowie einen verfüllten Graben aufteilt, nicht ausreicht, um die aufgenommenen Daten zufriedenstellend nachzubilden. Dagegen war es mit komplexeren Modellen möglich, die Profilkurven mit geringen Abweichungen anzunähern. Dabei variierte die den Berechnungen zugrundeliegende Geometrie zwischen den einzelnen Modellen teils erheblich, sodass auf eine sehr inhomogene Verfüllung des Wehrgrabens und einen unterschiedlich guten Erhaltungsgrad der Bausubstanz der Kastellmauer geschlossen werden muss.

Processing of magnetic and GPR data to improve geophysical imaging of small-scale archaeological structures

Kahlert L., Schmidt V., Al Saadi O.

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

In the region around St. Wendel in the North of the Saarland, the remains of Roman and Celtic cultures have been in the focus of archaeological excavation and geophysical prospection. Magnetic and ground penetrating-radar data were acquired at a Celtic burial site near Nonnweiler, which showed small-scale anomalies. Based on first interpretations, an area of 15 x 25 m was excavated, bringing to light 17 graves and ritual pits with various content (rock plates, cremation remains, ceramics, iron and bronze objects). However, many of these small-scale objects could not be readily identified in the geophysical image. A second site – a location of Roman settlement - shows outcrops of walls and deposits of hypocaust fragments and roofing tiles and remained unexcavated. Since it is desired to non-destructively gain information about these cultures, we have tried to improve the geophysical image to extract more detailed information. With the archaeological findings as well as the corresponding magnetic susceptibilities, which were measured on-site, it is attempted to evaluate the results of magnetic data processing. We have tested different post-processing filters to improve spatial resolution and anomaly contrast. These included directional filters, reduction to pole and the analytic signal amplitude. The latter successfully enhanced grave-related anomalies over background data. Additionally, ground penetrating-radar measurements were conducted on parallel profiles with a spacing of 0.5 m, using a 900-MHz-antenna. After a standard 2D processing and interpolating values on a 3D grid, several post-processing methods were tested to improve the resolution of this dataset. One of these methods is calculating texture attributes, of which especially the contrast improved the visibility of distinct reflections. Another used method is overlay analysis which made it possible to identify linear structures.

Integrated GPR and archaeological investigations reveal internal structure of man-made Skiphóll mound in Leiruvogur, Iceland

Wilken D.¹, **Wunderlich T.**¹, Zori D.², Kalmring S.³, Rabbel W.¹, Byock J.⁴

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, Deutschland, ²Baylor University, Baylor Interdisciplinary Core, Waco, Vereinigte Staaten von Amerika, ³Zentrum für Baltische und Skandinavische Archäologie, Schloss Gottorf, Schleswig, Deutschland, ⁴University of California, Los Angeles, Cotsen Institute of Archaeology and Scandinavian Section, Los Angeles, Vereinigte Staaten von Amerika

During the landnám (period of land-taking, AD 870-930), people from Scandinavia emigrated to Iceland. Mosfell Valley, which is found in the Southwest of Iceland, was settled during the early days of the landnám. The region was one of the country's cultural centers. The valley's harbor site was mentioned to be in Leiruvogur Bay. Modern constructions make the prospection and exploration of this harbor site nearly impossible. One of the few places that are left untouched is a mound known in oral tradition as Skiphóll (Ship Hill), that could once have been used as landmark for incoming ships.

In this paper we present an integrated study comprising a GPR (Ground Penetrating Radar) survey, excavation work and coring that was conducted on the Inner Skiphóll. The aims of the study were to date the Inner Skiphóll to show that it existed during the Viking Age and to investigate the interior of the mound to understand its structure and use. Therefore, efforts have been done to increase the GPR resolution by proper topography based imaging and to create an integrated interpretation of all data. A reconstruction of the mound's appearance in AD 1500 was possible through depth comparisons of the Katla tephra lenses found in cores with the near-surface reflections in the GPR radargrams. Excavations showed several mound and ditch features dating to between AD 871 and 1226. The GPR data slices showed reflections that correlate well with these features. Furthermore, the correlation of the GPR reflections with the excavated portions of the ditch allows the projection of the archaeological features beyond the excavation area. The nature of the mound and ditches exposed in excavation and a ship-shaped anomaly reconstructed from the GPR slices, makes it appear most likely that the Skiphóll mound complex had a ritual function beyond just marking the harbor.

Radio waves and sand dunes – GPR surveys on mudbrick fortifications in Uzbekistan

Sonnemann T.¹, Negus Cleary M.²

¹Leiden University, Faculty of Archaeology, Leiden, Niederlande, ²University of Melbourne, Centre for Classics and Archaeology, Melbourne, Australien

As part of Sydney University's Karakalpak-Australian Archaeological Expedition, a long-running archaeological research project, GPR surveys were conducted to investigate the mudbrick structures of ancient Chorasmia, an ancient culture located in the Amu Darya delta, in western Uzbekistan. The once fertile area is suffering severe desertification. Large parts of the fortress of Akchakhan-kala (Kazakly-yatkan), the target site of the investigation, are hidden under sand dunes. Magnetometry surveys conducted previously indicated that the use of a 3-dimensional prospection method to distinguish collapsed mudbrick walls from the covering sand would provide better information about sub-surface structures. The constantly changing topography of the site provided a challenging environment for data collection and processing, and was measured using a total station for each survey unit. The resulting GPR data shows the importance of mapping the dunes and apply topographic correction to the investigated area. The results of the GPR surveys revealed the structure of entrance gates, floor patterns and canal features of the ancient walled site. The survey was made possible through the support of a National Geographic-Waitt Research Grant.

2-A Exploration and Monitoring

2-A Exploration and Monitoring

2-A.001

Unconventional hydrocarbons: geophysical complexity and uncertainty in shale gas reservoirs

Lovell M.

University of Leicester, Geology, Leicester, Vereinigtes Königreich

Unconventional hydrocarbon reservoirs include tight-gas sands, shale gas, shale oil, coal bed methane, heavy oil and tar sands, as well as gas-hydrate deposits. They are governed by the same petroleum system rules as conventional resources, but are different in that recovery requires special operations such as hydraulic fracturing. Geophysics plays an important role in both exploration and monitoring at a range of scales.

Shale gas is the most topical of these unconventional resources, primarily as a result of their successful production in North America. “Shale gas” refers to organic-rich fine-grained formations, or mudstones, consisting primarily of clay- and silt-sized particles, where free gas occupies the pores and adsorbed gas is fixed onto organic surfaces; the term may also include thinly interbedded organic rich shales and siltstones/sandstones. There has been little or no primary migration and so the shale is effectively the source rock and the reservoir. The relative proportions of free and adsorbed gas may vary considerably. The free gas component, primarily in inorganic pores, may be viewed similarly to a conventional reservoir. The adsorbed gas component, however, is trapped under pressure, adsorbed onto organic pore surfaces from which it yields on depressurisation. For both free and adsorbed phases the gas is disseminated throughout the rock; it is pervasive but is not a continuous phase. Formation permeability is very low and methane cannot easily flow through the rock. Assessing the volume of these two different phases is required to evaluate the hydrocarbon potential of a shale gas reservoir.

Detailed petrophysical models are essential; models that honour the underlying geology, and respect the physical properties of the solid-fluid system, but also conform with the dynamics of the system as it changes during production. Increased understanding of these complex systems has enabled considerable progress, but significant uncertainties remain. A key part of shale gas exploration and production is monitoring, both from an environmental standpoint to reassure society, but also to improve our models, and our understanding, as production proceeds. Geophysics has an important role to play, from determining the lateral and vertical extent of shale formations to monitoring hydraulically-induced earthquakes; in the downhole evaluation and calculation of the gas initially in place to the location of hydraulically-induced fractures.

Reservoirs Characterization of the Middle-Miocene Belayim Formation (Nullipore Mamber) in Ras Fanar Oil Field, Gulf of Suez- Egypt

Genedi M., Ghazala H., Awad M.

Mansoura University, Geology Department, Faculty of Science, Mansoura, Ägypten

Wireline logs of 13 wells from Ras Fanar oil Field were studied to delineate petrophysical attributes of the Middle Miocene Nullipore Member. The lithofacies, porosities and water saturation are determined and the net pay parameters are also estimated. The early diagenesis (dolomitization and leaching) of the leached lime-packstone (NA1 and NA2 zones) undergone enhanced the petrophysical properties sufficiently. This facies appear to be more favorable as hydrocarbon-bearing zones. The dolomitized wackestone facies (NB1 and NB2 zones) have proven to be productive of oil only, (KK84-9, KK84-SE1A, RF-A8b, and RF-A3a well). It is characterized by moderate-good effective porosity values (16-29%), relatively high water saturation (28-38%), thin net pay thicknesses (14.5-25ft at RF-A8b and KK84-9 well, respectively). Whereas, the leached lime-packstone facies represented by zones NA1 and NA2, has proven to be productive of oil and/or gas because of the sufficient effective porosity values (up to 36%), low water saturation (4% at RF-B2 well), thick net pay thickness. The pattern and trend of the various parameters clearly account for the distribution of the hydrocarbon production. Hydrocarbon production in this field is obviously localized on a structural high such as RF-B1 well, but in the others are confined to down-thrown block such as KK84-9 well. The derived parameter distribution maps indicate that the production does not always exist on structurally high areas such as KK84-2 well. The leached lime-packstone (NA) facies is more productive all over the area particular in the up-thrown fault blocks in the eastern part. Whereas, the dolomitized wackestone (NB) facies are locally productive westward at RF-A8b well. Production of hydrocarbons (gas and/or oil) is limited to the northern structure (up-thrown fault blocks) complex in fresh-water-altered packstone (NA) and the down-thrown fault block in the dolomitized carbonate reservoirs (KK84-9 well).

Der Einfluss eines variablen Porenradius auf den Formationsfaktor in Karbonatgesteinen

Müller-Huber E.¹, Schön J.², Börner F.¹

¹Technische Universität Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, Deutschland, ²Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Angewandte Geophysik, Leoben, Österreich

Karbonatformationen sind von großer wirtschaftlicher Bedeutung, da sie einen Großteil der globalen Kohlenwasserstoffvorkommen beherbergen, aber auch z.B. als Grundwasserspeicher dienen. Karbonate zeichnen sich aufgrund ihres organischen Ursprungs und diverser diagenetischer Prozesse durch besonders komplexe Porenraumeigenschaften aus. Daher ist eine profunde Kenntnis des Einflusses verschiedener Porentypen und Porenverbindungen auf z.B. Bohrlochmessdaten von essentieller Bedeutung, um die ermittelte Porosität hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit richtig einschätzen zu können.

Die häufig verwendete Archie-Beziehung, die ursprünglich für tonfreie Sandsteine aufgestellt wurde, definiert den Formationsfaktor als das Verhältnis des spezifischen elektrischen Widerstands eines vollständig wassergesättigten Gesteins zum Widerstand des leitfähigen Porenwassers. Der Formationsfaktor steht mit der Porosität über einen empirisch definierten Exponenten m in Beziehung, der vom Formationstyp abhängig ist. Für die Modellierung des Formationsfaktors werden häufig Kapillarmodelle verwendet, die für Kapillaren mit konstantem kreisförmigem Querschnitt definiert wurden. Für natürliche Gesteine stellt diese Annahme jedoch eine starke Vereinfachung dar. Daher wurde ein modifiziertes Kapillarmodell entwickelt, das zunächst einen geraden Porenkanal mit einem veränderlichen Radius (Minimum: Porenhalsradius r_i ; Maximum: Porenkörperradius r_b) beschreibt. Dieses neue Modell kann somit den Einfluss der Porenform (ausgedrückt als Verhältnis r_b/r_i) auf den Formationsfaktor und die Porosität erklären. Nach dem Modell stellt sich der Formationsfaktor als Produkt aus drei Einflüssen dar, nämlich Porosität, r_b/r_i und Tortuosität. Exponent m wird in diesem Fall von der Porosität und dem Verhältnis r_b/r_i kontrolliert. Um die Ergebnisse der Modellrechnungen zu testen, wurde eine petrophysikalische Datenbank von Karbonatgesteinen mit verschiedensten Gefüge- und Porentypen erstellt. Es zeigte sich, dass die unterschiedlichen Karbonattypen durch spezifische Kombinationen aus Formationsfaktor, Porosität, Exponent m und Verhältnis r_b/r_i gekennzeichnet sind. Dieser neue Ansatz kann verwendet werden, um das die Porenraumgeometrie charakterisierende Verhältnis r_b/r_i aus Porosität und Formationsfaktor aus z.B. Bohrlochlogs zu berechnen und erweitert dadurch das Verständnis für die komplexen Porenraumgeometrien in Karbonaten, was auch für die Einschätzung der hydraulischen Leitfähigkeit von Bedeutung ist.

Acquisition and interpretation of the vertical electric field to monitor fluid flux with controlled-source electromagnetics

Tietze K.¹, Ritter O.^{1,2}, Patzer C.¹, Veecken P.³

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland, ³Wintershall Holding GmbH, Kassel, Deutschland

Electromagnetic methods have recently become of interest for monitoring fluids including oil, gas, geothermal reservoirs, carbon sequestration, water etc. We investigate the applicability of controlled-source electromagnetic (CSEM) methods to monitor fluid movements in a German oilfield (Bockstedt), where injected brines have much lower electrical resistivity than oil within the reservoir.

3D CSEM modelling suggested that measurement of the vertical electric field component E_z in shallow boreholes and use of alternative source configurations consisting of combinations of vertical and horizontal dipoles are most sensitive to resistivity changes in the reservoir.

We have developed a modular tool to measure the vertical electrical field in shallow observation boreholes. In autumn 2015, the tool equipped with three non-polarizing silver-silver/chloride electrodes, was deployed in a newly drilled observation borehole with plastic casing. Subsequently, a borehole CSEM survey (4 transmitters, 27 surface receivers) was conducted across the oil field including a horizontal-vertical source, whereby the current was injected via the steel-casing of a 1.3 km deep abandoned oil-well. The field campaign was a repeat measurement of a CSEM survey conducted in 2014, but the vertical electric field was measured in 2015 for the first time.

As expected, amplitudes of the vertical electric field are much smaller (by two orders of magnitude) than the horizontal components, but the obtained CSEM response functions are of high quality over the entire frequency range (1/64 to 200 Hz). Preliminary comparison of observed and modelled responses shows good agreement. However, the results also indicate a high susceptibility of the vertical field measurements to deviations of the observation borehole from verticality which has to be accounted for before any attempt to modelling and interpretation of the observed CSEM data.

Three dimensional CSEM modelling in a producing oil field - the effect of steel cased wells

Patzer C., Tietze K., Ritter O.

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

Electromagnetic methods have recently become of interest for monitoring applications including oil, gas, geothermal reservoirs, carbon sequestration, water etc.

Particularly for oil reservoir monitoring, a large number of existing steel cased wells influence the propagation electromagnetic fields in the subsurface and this distortion cannot be neglected.

Since the horizontal dimensions of well casings are very small compared to their vertical extent and background structures, finite difference or even finite element discretisation which is typically used for 3D CSEM modelling or inversion becomes computationally prohibitively costly.

Instead of trying to describe the geometry and huge resistivity contrast between steel and surrounding rock explicitly, we extended a method described by Tang et al. (2015) which calculates equivalent source currents for the calculation of a secondary primary field generated by the boreholes based on an integral equation approach.

With this new approach we cannot only include steel cased wells into our forward modelling and inversion codes but we are also able to consider electromagnetic response and interaction between multiple wells.

We demonstrate the effect of steel cased wells on model responses for a range of 3D conductivity structures. We show how the sensitivity of 3D inversion is affected and finally we discuss consequences for planning CSEM field surveys if boreholes are present in the area under investigation.

2-B Exploration and Monitoring

2-B Exploration and Monitoring

2-B.001

Using electromagnetic methods for geophysical monitoring

Ritter O.

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

Electromagnetic (EM) methods have been applied for natural resource exploration as well as tectonic studies for more than a century. Monitoring of subsurface processes by continuous or time-lapse EM measurements has only recently attracted a wider interest, at least in practice. Besides target sensitivity, crucial requirements for monitoring are sufficient accuracy and repeatability of measurements. Continuous recordings of natural source EM (magnetotelluric) data have been applied to study long-term changes of active tectonic systems but also for geotechnical installations, such as enhanced geothermal systems. Magnetotelluric monitoring data are challenged by fluctuating signal-to-noise ratios and temporal inhomogeneities of the source field. Controlled-source EM methods offer better defined signal-to-noise ratios and higher sensitivity to resistive structures at the price of more limited sounding depths and a far more complex spatial field geometry which requires high accuracy with respect to re-positioning sensors. When compared with surface-only measurements, borehole-to-surface configurations significantly increase the sensitivity of CSEM measurements to deep targets (reservoirs). We review concepts, success stories and failures of natural and controlled source EM monitoring based on case studies from around the world.

Fluid injection monitoring using electrical resistivity tomography – Five years of CO₂ injection at Ketzin, Germany

Bergmann P.^{1,2}, Schmidt-Hattenberger C.¹, Labitzke T.¹, Wagner F.M.^{3,4}, Just A.⁵, Flechsig C.⁵, Rippe D.¹

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Sintef Petroleum Research, Trondheim, Norwegen, ³Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ⁴ETH Zürich, Zürich, Schweiz, ⁵Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Leipzig, Deutschland

At the Ketzin site, Germany, approximately 67 kilotons of CO₂ have been injected into a sandstone layer at about 630 m depth between the years 2008 and 2013. As part of the geophysical monitoring programme, time-lapse electrical resistivity tomography (ERT) has been applied using surface-downhole and crosshole ERT measurements. The first setup was performed by electrodes at the ground surface and permanent downhole electrodes in three wells (one injection well and two observation wells), whereas the latter setup made use of the downhole electrodes only. Inversions were performed with the BERT software and a priori structural constraints, collected from the logged lithology and interpretation of seismic measurements, were partly taken into account. The inversion scheme considered the variable data quality in an error-weight scheme, which was essential in order to deal with the ambient noise levels and the temporally progressing degradation of the technical downhole components. Both the crosshole and surface-downhole ERT measurements consistently image a resistivity build-up near the point of CO₂ injection. A second resistivity signature was observed in the caprock section of the injection well and could be traced back to an infiltration of CO₂ into a section where the well annulus was completed in a non-standard manner.

Laboratory measurements on core samples and Archie fluid substitution indicate a resistivity increase of a factor of about 2-4 when brine is replaced by CO₂. On the basis of these petrophysical results and the imaged resistivity changes, CO₂ saturation levels in the reservoir were estimated. The CO₂ saturation levels were then calibrated by near-well CO₂ saturations, which were inferred from periodic neutron-gamma logs. This allowed to interpolate imaged CO₂ saturation levels onto a daily to weekly basis. Apart from the CO₂ saturation we found that CO₂-dissolution and reservoir pressure variations, driven by the dynamic CO₂ injection, have an impact on estimated CO₂ saturation levels.

Potential of ambient seismic noise techniques to monitor injection induced subsurface changes at the St. Gallen geothermal site

Obermann A., Kraft T., Wiemer S.
Swiss Seismological Service, ETH Zürich, Zurich, Schweiz

The failures of two recent deep geothermal energy projects in Switzerland (Basel, 2006; St. Gallen, 2013) have again highlighted that one of the key challenges for the successful development and operation of deep underground heat exchangers is to control the risk of inducing potentially hazardous seismic events. In St. Gallen, after an injection test and two acid injections that were accompanied by a small number of micro-earthquakes ($ML < 0.2$), operators were surprised by an uncontrolled gas release from the formation (gas kick). The “killing” procedures that had to be initiated following standard drilling procedures led to a $ML3.5$ earthquake.

With ambient seismic noise cross correlations from nine stations, we observe a significant loss of waveform coherence that we can horizontally and vertically constrain to the injection location of the fluid. The loss of waveform coherence starts with the onset of the fluid injections 4 days prior to the gas kick. We interpret the loss of coherence as a local perturbation of the medium. We show how ambient seismic noise analysis can be used to assess the aseismic response of the subsurface to geomechanical well operations and how this method could have helped to recognize the unexpected reservoir dynamics at an earlier stage than the microseismic response alone, allowed.

An in-situ stimulation experiment in crystalline rock – seismo-hydro-mechanical response during hydraulic fracturing tests

Doetsch J.¹, Amann F.¹, Gischig V.¹, Jalali M.¹, Madonna C.¹, Evans K.¹, Valley B.², Giardini D.¹, Wiemer S.³, Maurer H.¹

¹ETH Zürich, Departement Erdwissenschaften, Zürich, Schweiz, ²University of Neuchâtel, Neuchâtel, Schweiz, ³Swiss Seismological Service, ETH Zürich, Zurich, Schweiz

A 30m-scale in-situ stimulation experiment is currently being executed at the Grimsel Test Site in Switzerland. The underground laboratory lies in crystalline rock at a depth of 480 m, and exhibits well-documented geology that is presenting some analogies with the crystalline basement targeted for the exploitation of deep geothermal energy resources in Switzerland. Within the experimental volume, approximately $30 \times 30 \times 30 \text{ m}^3$ in size, a series of stimulation experiments spanning from hydraulic fracturing to controlled fault-slip experiments have been or will be executed. The experiments aim at contributing to a better understanding of seismo-hydro-mechanical processes associated with high-pressure fluid injections in crystalline rocks, and its coupling to permeability creation.

In this contribution, we present results of a first phase of the project, which is a rock mass characterization phase aimed at describing the detailed geology of the target rock volume and the stress field in both, the far-field and in the vicinity of the fault zone. The stress characterization campaign combined stress relief methods (overcoring of USBM and CSIRO-HI probes) with hydraulic fracturing (HF) and hydraulic testing of pre-existing fractures (HTPF) in three boreholes, one sub-vertical and two sub-horizontal boreholes. During all hydraulic stress measurements, micro-seismicity was monitored and localized in real time utilizing a dense network of piezo-electric sensors.

One sub-horizontal borehole dedicated to stress characterization penetrates one of the fault zones targeted for a future fault-slip experiment. Results reveal a significant drop in the minimum stress component towards the fault zone. A second sub-horizontal borehole was drilled approximately parallel to the best a-priori estimate of the minimum horizontal stress direction. The validity of this assumption was supported by microseismic events that accompanied the injections which defined a planar structure transverse to the borehole axis. However, due to near wellbore stress concentrations, the hydraulic fractures in this borehole were initiated as steep, sub-axial fractures which possibly rotated upon propagation to the microseismically-defined plane normal to the borehole axis. In addition to the above findings, the induced seismicity also provides insights into possible relationships between injection volume, pressure and stress magnitudes, on one hand, and the level of induced seismicity, on the other hand.

Tiefe Geothermie - mögliche Umweltauswirkungen infolge hydraulischer und chemischer Stimulationen

Plenefisch T., Brückner L., Ceranna L., Gestermann N., Houben G., Tischner T., Wegler U., Wellbrink M., Bönemann C.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

Die BGR hat auf Grundlage einer Verwaltungsvereinbarung mit dem Umweltbundesamt (UBA) eine Studie erarbeitet, in der möglichen Umweltauswirkungen, die sowohl durch hydraulische als auch chemische Stimulationen in der tiefen Geothermie entstehen können, untersucht und bewertet werden. Die Untersuchungen und Analysen erfolgten auf der Basis existierender Studien und Informationen von Projektbetreibern. Die beiden wesentlichen Umweltauswirkungen, die betrachtet werden, sind die induzierte Seismizität und mögliche Beeinträchtigungen der zur Trinkwasserversorgung dienenden Grundwasserleiter und Oberflächengewässer.

Insgesamt sind in der Studie Informationen zu 30 hydraulischen und 26 chemischen Stimulationsmaßnahmen zum Teil auch aus dem angrenzenden Ausland zusammengetragen und analysiert worden. Bei den hydraulischen Stimulationen wurden zu zwei Dritteln Wasserfracs und zu einem Drittel Stützmittelfracs durchgeführt. Während bei den Wasserfracs ausschließlich Wasser eingesetzt wurde, kamen bei den übrigen Behandlungen Zusatzstoffe zum Einsatz, die in ihrer Menge und Art aus trinkwasserhygienischer Sicht nicht relevant sind. Chemische Stimulationen zur Verbesserung der bohrlochnahen Zuflussbedingungen wurden vor allem im süddeutschen Molassebecken durchgeführt.

Trotz der geringen Anzahl der durchgeführten Stimulationen variieren diese aufgrund ihrer geologischen Randbedingungen und ihrer technischen Umsetzung. Die einzelnen Geothermiestandorte bzw. die zugehörigen Gesteinsbehandlungen werden nach geothermischen Potenzialregionen, wie Oberrheingraben, Norddeutsches Becken oder Süddeutsche Molasse klassifiziert und ihre Charakteristika beschrieben. Diese Beschreibungen umfassen die Spezifika des tektonischen Umfeldes, der geothermischen Anlagen, der individuellen Gesteinsbehandlungen sowie der eventuell aufgetretenen Seismizität.

Das Fazit der Studie ist, dass die tiefe Geothermie in Deutschland keine unbeherrschbaren Risiken für die Umwelt birgt. Bei Einhaltung der bestehenden Vorschriften, Regelwerke sowie des Standes von Wissenschaft und Technik kann eine Beeinträchtigung von Grundwasser im Zusammenhang mit hydraulischen Stimulationen in der tiefen Geothermie faktisch ausgeschlossen werden. Das Risiko von spürbaren seismischen Ereignissen kann durch ein geeignetes Monitoring sowie durch ein entsprechendes Frühwarnsystem und Reaktionsschema minimiert werden.

2-C Exploration and Monitoring

2-C Exploration and Monitoring

2-C.001

Temperature Sensor Module - A new tool for groundwater flow measurements

Michalski A.

RWTH Aachen University, Applied Geophysics and Geothermal Energy (GGE), Aachen, Deutschland

Geothermal fields can be an ecological and sustainable complement for modern multifunctional building energy concepts. Such an approach, which includes a gas-fired combined heat and power (CHP) unit, photovoltaics and a borehole heat exchanger (BHE) field, was realized at the E.ON Energy Research Center at the RWTH University. The long-term operation of such a BHE field can strongly depend on groundwater flow. Its strength and direction can influence the heat transport in the subsurface and thus the efficiency of the BHE field.

Here we present a new temperature sensor module for measuring the temperature distribution inside and in the immediate vicinity of an installed BHE. Using numerical simulations for heat transport in porous media groundwater flow can be deduced directly from the provided temperature data. The one-meter long temperature sensor modules are modular and can be installed at different depths within a BHE. In comparison with other measuring devices its compact design makes it possible to measure temperature distribution and groundwater flow during operation of the BHE. In addition, the arrangement of the temperature sensors enables not only measurement of the temperature distribution outside of the BHE but also within the borehole heat exchanger, thus statements about the thermal resistance of the backfill material and its long-term behavior can be made. The new developed temperature sensor modules are able to detect changes in temperature distribution smaller than 0.03 K. Based on numerical simulations such small temperature changes can be associated with groundwater flow velocities as small as 10 m per day.

Reprocessing of a 3D seismic data set from a geothermal field in mid-southern Tuscany (Italy)

Jusri T.¹, Bertani R.², Dini I.², Ciuffi S.², Buske S.¹

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Enel Green Power, Geothermal Center of Excellence, Pisa, Italien

We present a seismic data processing sequence used to reprocess a 3D seismic data set acquired from a geothermal field in mid-southern Tuscany, Italy. Dominated by a metamorphic environment and severe topography, the data poses challenges in revealing the main geothermal target reflector in the area due to strong wave field scattering and a relatively low signal-to-noise ratio.

We begin the approach with enhancing the signal-to-noise ratio especially at later travel times through an optimal preprocessing phase with thorough parameter tests. Refraction statics and tomostatics correction methods are investigated in detail to obtain the most reliable method in dealing with such data characteristics. Another emphasis is put on the migration algorithm, where we utilize Fresnel Volume Migration (FVM) algorithm as an extension of conventional Kirchhoff prestack depth migration. The result of this processing flow yields a significant improvement of the 3D seismic image cube compared to a previous industry processing result. As a consequence, the reliability of interpreting the seismic data is improved and a more accurate geological model of the area can be provided for further exploration stages in this area.

VSP in the Krafla Geothermal Field, NE-Iceland

Kästner F.¹, Halldórsdóttir S.², Hersir G.P.², Planke S.³, Giese R.¹, Gunnarsson K.², Guðmundsson A.⁴, Juliusson E.⁴, Flóvenz O.G.²

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Iceland GeoSurvey, ISOR, Reykjavik, Island, ³Volcanic Basin Petroleum Research (VBPR), Oslo, Norwegen, ⁴Landsvirkjun, Reykjavik, Island

A VSP test experiment at the high temperature geothermal field Krafla in NE-Iceland has been carried out. In two boreholes a zero-, far- and multi-offset VSP were applied to assess the applicability of VSP as a method for delineating subsurface structures like magmatic bodies zones of supercritical fluids, superheated steam and zones of high permeability in volcanic geothermal fields. Because of high well temperatures (~150 °C) and high attenuating surface layers a challenging field preparation and evaluation were necessary. Three-component seismic data with a sufficient signal-to-noise ratio and dominant signal frequencies around 20 Hz down to 2200 m depth for both air gun and explosive sources were recorded. Hence, the data provide a good basis for several processing and imaging techniques. As part of a Master's thesis standard and novel processing techniques of a subset of the data (zero and far-offset from one well) has been tested and shows promising results in accordance with the lithology from well data. Besides determining velocity profiles for both P- and S-waves a 3D Kirchhoff depth migration and Fresnel volume migration have been applied and tested. Results show structures in the vicinity and below the well for only one source location and it can be assumed that further interpretations and integration will provide a good alternative and addition to hitherto only applied surface seismic, teleseismic, and potential methods. Especially, for geothermal sites it has been shown, that VSP can be applied and provide information of geometries where dipping faults and fracture zones are expected. The research leading to these results has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme under grant agreement No. 608553 (Project IMAGE).

Vertical seismic profiling & Piggy Back experiment in a geothermal area in mid-southern Tuscany

Schreiter L.¹, Thorwart M.², Bertani R.³, Dini I.³, Ciuffi S.³, Rabbel W.², Buske S.¹

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, Deutschland, ³Enel Green Power, Geothermal Center of Excellence, Pisa, Italien

Deep geothermal reservoirs are generally characterized by high temperatures and pressures, sometimes located in hard rock environments and even close to a super-critical state. For characterization of such a deep super-critical geothermal reservoir, the imaging of the subsurface at the highest possible resolution is required to reduce the uncertainties in exploration prior to the drilling phase.

Here we present the first results of a seismic survey for characterization of a possible drilling target horizon within a deep super-critical geothermal reservoir in Tuscany (project DESCRAMBLE). The seismic data were acquired in November 2015 and comprised a Vertical Seismic Profiling (VSP) survey complemented by simultaneous recording of the source signals by a surface network of 340 one- and three-component geophones distributed over an area of approximately 6 km x 6 km around the drill site. The investigation area is characterized by complex geology with strong velocity contrasts, near-surface inhomogeneities and fracture zones. Moreover significant topography influences the recorded seismic wavefield and presents a challenge for conventional seismic imaging methods. The applied processing workflow tries to circumvent such issues by firstly performing first-arrival tomography to derive shallow P-wave velocity models followed by the application of three-dimensional focusing prestack depth migration methods. The results obtained from the surface seismic network allow a first structural interpretation, which will be directly integrated into geological modeling of the geothermal reservoir. Special emphasis is put on the determination of constraints in physical and petrological parameters as well as estimating uncertainties in the derived rock-physical parameters.

Bruchzonen-Charakterisierung mithilfe quantitativer Auswertung reflektierter mikroseismischer Wellenformen

Oelke A., Gutjahr S., Kummerow J., Reshetnikov A., Shapiro S.A.
Freie Universität Berlin, Fachrichtung Geophysik, Berlin, Deutschland

Mikroseismische Beben liefern detaillierte Informationen zur Struktur des Untergrundes. Die passiven seismischen Daten können migriert werden, um ein hochauflösendes Abbild des Untergrundes zu erzeugen. In unserer Arbeit reprozessieren wir ausgewählte mikroseismische Beben des Datensatzes vom geothermischen Reservoir Basel-1 um zusätzliche Informationen zu erhalten.

Reflektierte Phasen werden durch die clusterweise Betrachtung von Wellenformen identifiziert und quantitativ analysiert. Hier machen wir uns zunutze, dass Beben, die eine hohe Wellenformähnlichkeit aufweisen und an einem ähnlichen Ort auftreten, gleiche Strahlwege haben und somit die gleichen Strukturen beleuchten.

Mithilfe der Tiefenmigration bestimmen wir Zonen hoher Reflektivität in der Umgebung des Bohrlochs. Diesen Zonen ordnen wir aus dem Amplituden-Verhältnis der reflektierten zur direkten Welle einen lokalen Reflexionskoeffizienten zu. Unter Berücksichtigung der Abstrahlcharakteristik der Beben und Korrektur der Amplituden aufgrund unterschiedlicher Dämpfung und Strahlwege der direkten und reflektierten Phase können wir die Reflektivität der abgebildeten Strukturen bestimmen und ein räumliches Abbild der Reflektoren und deren Reflexionskoeffizienten erstellen. Vergleichen wir diese Werte mit dem theoretischen Reflexionskoeffizienten an einer einzelnen Fluid-Schicht, der sowohl von der Frequenz als auch vom Einfallswinkel abhängt, so können wir die Höhe des Bruchs bestimmen. Teilweise liegen die bestimmten Reflexionskoeffizienten unter den theoretisch zu erwartenden Kurven, was auf eine komplexe Bruchzone anstelle eines einzelnen Bruchs hinweist.

Im Basel-Reservoir treten Reflexionskoeffizienten der Größenordnung 0.1 auf, was effektive fluidgefüllte Bruchhöhen im Zentimeterbereich bedeutet.

Induced seismicity generated by numerical pore pressure modeling and poroelastic stress modeling: Case study Unterhaching geothermal reservoir

Kilicer N., Dinske C.

Freie Universität Berlin, Fachrichtung Geophysik, Berlin, Deutschland

Fluid injections in geothermal reservoirs may induce earthquakes. In order to understand the triggering mechanism, we develop two different 3D-models to describe the induced seismicity during production of geothermal energy taking into account anisotropically distributed permeability. Here we present our results for Unterhaching geothermal reservoir in the Molasse basin in South Germany. In order to get most realistic results we use the real engineering data. On the one hand, we apply the theory of diffusional relaxation of the pore-fluid pressure described by Shapiro (2009) using data for reinjection pressure to obtain time-dependent solutions for pore-fluid pressure distribution due to fluid injection. On the another hand, the theory of Biot's Poroelasticity (1962) is applied which gives us solutions for time-dependent pore-fluid pressure distribution and stresses by using flow data. Both modeling approaches follow the fact that injection of fluid causes an increase of pore-fluid pressure and acts compressive for the surrounding reservoir-rock. On the contrary, the production of fluid causes a decrease in pore-fluid pressure and acts tensile. The absolute values for stress changes from the poroelastic stress model support this. Next, we generate synthetic seismicity by comparing computed changes in Coulomb-Failure-Stress to critical pore pressure value necessary for the reactivation pre-existing fractures in the reservoir. For this purpose, we build 100 realizations of different critical pore pressure values homogeneously distributed between a minimum value C_{min} and maximum value C_{max} representing most unstable and most stable fractures respectively. By comparison the results for synthetic seismicity from both models with the observed seismicity in Unterhaching geothermal reservoir, we conclude that the poroelastic effect is secondary.

2-D Exploration and Monitoring

2-D Exploration and Monitoring

2-D.001

Kombinierte Laboruntersuchungen an Schlackenproben

Martin T.¹, Halisch M.², Kuhn K.³

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B2.1 Geophysikalische Erkundung - Technische Mineralogie, Berlin, Deutschland, ²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland,

³Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B1.2 Geologie der mineralischen Rohstoffe, Hannover, Deutschland

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsprojektes ROBEHA wurden u.a. Feldmessungen mit dem Spektral Induzierten Polarisationsverfahren (SIP) an historischen Schlackenhalde durchgeführt. Ziel dabei ist der zerstörungsfreie und aufwendungsarme Nachweis der vorhandenen Restminerale. So sollen möglichst die verschiedenen Schlackentypen voneinander unterschieden werden können und der Internaufbau der Halde charakterisiert werden. Der Hintergrund dafür ist eine mögliche Rückgewinnung von Metallen aus den Schlacken. Die Ergebnisse der SIP-Feldmessungen zeigten die zu erwartenden hohen Phasenwerte für die Schlacken im Gegensatz zu dem umgebenden Material. Es zeigte sich jedoch auch, dass sich entlang der Profile die Phasensignale der Schlacken hinsichtlich ihrer Stärke und ihrer Form im Frequenzspektrum deutlich unterscheiden. Daher wurden sowohl Lockermaterial- als auch Festgesteinsproben im Feld entnommen und im Labor untersucht. Durch die Labortests konnten die unterschiedlichen SIP Phasensignale bestätigt werden. So variierte das Phasenmaximum für die Lockermaterialproben zwischen 150 und 250 mrad, währenddessen die Festgesteinsproben sogar Werte bis beinahe 700 mrad aufweisen. Auch die Form des Phasenspektrums unterschied sich zum Teil deutlich. Während einige Proben ein Cole-Cole-Verhalten mit einem eindeutigen Frequenzmaximum zeigen, kennzeichnen andere Proben ein bimodales Verhalten mit zwei ausgeprägten Maxima. Aber auch ein „Hängematteneffekt“ konnte beobachtet werden. Dabei wird ein Minimum im Phasenspektrum bei Frequenzen zwischen 1 und 100 Hz dadurch sichtbar, dass sich das Phasenmaximum außerhalb des untersuchten Frequenzminimums zu befinden scheint (< 1 mHz) und sich bei hohen Frequenzen (> 1 kHz) die Phasen u.a. aufgrund von EM Effekten erhöhen. Auch die spezifischen Widerstände variieren zwischen wenigen Ωm und $2000 \Omega\text{m}$.

Mithilfe der anschließenden petrophysikalischen und mineralogischen Untersuchungen wie BET, Quecksilberporosimetrie, CT, REM und RFA wurde versucht, Korrelationen zwischen den SIP Signalen und der mineralogischen Zusammensetzung der Schlacken zu finden.

Seismic borehole survey in the Kiruna iron ore mine

Giese R.¹, Juhlin C.², Niklas J.³, Virgil C.⁴, Neuhaus M.⁴, Krüger K.¹, Jurczyk A.¹

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 4.2 Geomechanik und Rheologie, Potsdam, Deutschland, ²Uppsala University, Earth Science Department, Uppsala, Schweden, ³Luossavaara-Kiirunavaara AB (LKAB), Kiruna, Schweden, ⁴Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

As mineral extraction is moving towards greater depths it becomes vital to extract as much information as possible from the expensive boreholes, and to carefully plan the drilling operations. In November 2015, a combined directional seismic and magnetic borehole technique for high-resolution imaging of the bedrock around and ahead of the well path was tested in a pilot survey in the Kiruna mine, Sweden. The measurements took place at 775 m depth in a newly drilled horizontal exploratory borehole of 45 m length. The SPWD - (Seismic Prediction While Drilling) laboratory prototype was used for the seismic borehole measurements. It is equipped with four magnetostrictive actuators building the seismic source and four three-component geophone receivers which are pneumatically coupled to the borehole wall. The controlled actuators allow the alignment of the generated seismic field in predefined directions. At each shot location the seismic waves were amplified in three different directions: radial to the borehole axis, parallel to the borehole axis towards the well bottom and parallel towards the well head. Three different source lines with a source point interval of 0.5 m were measured within the well, two horizontal lines and a line vertical up. In total 1380 shots at 230 source locations were generated during the test. The source signal was a 12 sec long sweep with frequency increasing linearly from 200 Hz to 4000 Hz. The survey geometry was complemented by five three-component geophone anchors installed in 1 m deep boreholes at distances of 20 m to 60 m from the wellhead. Initial processing consisted of correlation, vertical stacking and sorting the data. First breaks recorded at the fixed geophone locations reveal average velocities for P- and S- waves of 5800 m/s and 3200 m/s, respectively. The reflected wavefield shows some dipping reflections close to the first breaks which can be correlated with fracture zones visible in the images taken by the SPWD tool-integrated camera system. Future processing and migration will attempt to image the ore body and its host rock. Finally, a combined interpretation of the magnetic and seismic data is envisaged. The borehole measurements in Kiruna were funded by VINNOVA (Sweden's Innovation Agency) and by LKAB.

Combined interpretation of three-component borehole magnetic and directional seismic measurements

Virgil C.¹, Neuhaus M.¹, Hördt A.¹, Giese R.², Krüger K.², Jurczyk A.², Juhlin C.³, Juhojuntti N.⁴

¹Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 6.4 Zentrum für Wissenschaftliches Bohren, Potsdam, Deutschland, ³Uppsala University, Earth Science Department, Uppsala, Schweden, ⁴Luossavaara-Kiirunavaara AB (LKAB), Kiruna, Schweden

Comprehensive information about the petrological and geological setting is of paramount interest for ore exploration and mining purposes. In case of magnetized minerals, borehole magnetics have proven highly conducive and are used in modern exploration. An important improvement is the introduction of three-component borehole magnetic sondes with integrated orientation modules. However, even with three component information the interpretation of magnetic data and thus the modeling of source bodies is still ambiguous. Especially the spatial extension and the estimated ore content are subject to strong uncertainties. To improve the interpretation of the magnetic data a seismic survey is the perfect complement to constrain the model. While a sufficient seismic resolution, comparable to the resolution obtained by three component borehole magnetics, can only be achieved with borehole seismics, commonly used seismic tools lack directional information. Here, in an innovative approach, we present a combined application of a unique directional seismic borehole tool and an oriented three component borehole magnetometer, the Seismic Prediction While Drilling (SPWD) laboratory prototype and the Göttinger Borehole Magnetometer (GBM), respectively.

Both tools were applied at a site located in the Kiirunavaara iron ore mine (Kiruna, Sweden), run by the Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag (LKAB). The borehole is horizontally drilled with a length of 45 m. The drilling itself was financed by Sweden's innovation agency VINNOVA and by LKAB. The selected drill site is ideally suited in the proximity to the Kiirunavaara ore sheet which yields strong magnetic anomalies as well as high seismic contrasts. The interpretation of the data is separated into two steps. First, the seismic measurement will be used to create a structural, three-dimensional model of the drill hole environment. This model will serve in a second step as an initial geometrical model for the inversion of the magnetic data. For each rock unit the magnetization vector will be calculated. Based on the strength of the magnetization and the seismic velocity, potential ore bodies will be categorized with respect to the expected ore content. This will help to develop next generation survey concepts, contributing to more efficient exploration and thus to a more economic use of resources.

Detektierung und Charakterisierung von inaktiven Massivsulfiden im marinen Umfeld mittels transienter Elektromagnetik - eine Fallstudie vom Palinuro Seamount

Hölz S., Jegen M.

GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel, Deutschland

Die Exploration nach SMS (seafloor massive sulfides) Strukturen im marinen Umfeld ist durch die verfügbaren Technologien auf Strukturen beschränkt, die in Verbindung zu einem aktiven Hydrothermalsystem stehen. So wurden die bekannten SMS Lagerstätten fast ausschließlich durch Anomalien in der Wassersäule (Temperatur, chemische Tracer) oder durch Oberflächenstrukturen am Meeresboden (Schlote) entdeckt. Für die Suche nach SMS Lagerstätten, die mit keinem hydrothermalen System mehr in Verbindung stehen und die durch Sedimentation und/oder Erosion überprägt sind, sind diese Methoden nicht geeignet.

Unsere Arbeitsgruppe hat vorgeschlagen, dass - wie an Land auch - Messungen mit einem transient elektromagnetischen (TEM) Spulensystem für die Exploration von SMS Strukturen im marinen Umfeld geeignet sein sollten. Im Rahmen der Ausfahrt PO483 (RV Poseidon, April 2015) haben wir Messungen mit einem solchen TEM System am Palinuro Seamount (Tyrrhenischen See) durchgeführt. In vorhergehenden Untersuchungen waren dort Massivsulfide unter Sedimenten erbohrt worden. Dieser Fund war außergewöhnlich, da er weder aufgrund von hydrothermalen Aktivität noch aufgrund von Oberflächenstrukturen gemacht wurde. Der Seamount ist somit im marinen Umfeld z.Z. die einzige bekannte inaktive SMS Struktur unter sedimentärer Überdeckung!

Die Messungen wurden mit unserem neuen marinen TEM Induktionssystem („MARTEMIS“) durchgeführt. Das System besteht aus einer koinzidenten, quadratischen Spule mit einer Fläche von 4.3m x 4.3m. Diese Spule befindet sich 14m unter einem Gestell, in dem der eigentliche Sender, die Elektronik, die Energieversorgung und Sensoren (z.B. Höhenmesser) untergebracht sind. Während des Experiments wurde das Gesamtsystem zunächst in geringer Wassertiefe (ca. 50m) getestet und kalibriert und dann über das Windenkabel des Schiffs zum Meeresgrund gefiert und dort dann in geringer Höhe (3-5m) mit geringer Geschwindigkeit (0.1 – 0.2kn) über dem Meeresgrund bewegt. Messungen wurden entlang einer Profillinie von ca. 400m Länge gemacht, die sich auch über das Bohrgebiet erstreckte. Die Inversion der Daten zeigt einen Bereich von ca. 120mx70m mit stark erhöhten Leitfähigkeiten in geringer Tiefe um die Bohrungen herum und einen weiteren Bereich (Breite ca. 130m) mit erhöhten Leitfähigkeiten in größeren Tiefen (>25m), der bisher unbekannt war. Dieses Ergebnis stellt unseres Wissens nach die erste Entdeckung eines inaktiven und überdeckten SMS Struktur im marinen Umfeld dar.

Application of 2D Acoustic Full Waveform Inversion to OBC-Data

Kunert M., Kurzmann A., Bohlen T.

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

The full waveform inversion (FWI) is an efficient method to resolve complex subsurface structures. In contrast to conventional ray based methods FWI is able to exploit the full content of the observed seismic data, i. e. amplitudes and phases. Thereby, FWI has the potential to resolve structures at or below the wavelength. Furthermore FWI may support the seismic and petrophysical interpretation by assigning physical parameters to reflectivity images obtained by classical migration.

In this work we applied 2D acoustic FWI in the time domain to a marine seismic data set which was acquired in a river delta using ocean bottom cables. The aim of the seismic survey was to characterise a deep oil and gas deposit. The aim of FWI was the imaging of the near surface region, where rising gases stop at impenetrable sediments and form small-scaled gas accumulations reducing seismic velocities. These gas "pockets" cause difficulties for standard seismic imaging methods and are supposed to be resolved by FWI. Within the shallow sediments we assume significantly high attenuation, which we considered as a modelling parameter in the FWI framework.

Due to the occurrence of strong guided waves in the shallow water, which could not be explained sufficiently by acoustic seismic modelling, we focused on the first cycles of the refracted waves. We implemented and applied a nested workflow involving time windowing, offset windowing and frequency filtering. Although the FWI workflow considered only a fraction of the data, the reconstructed velocity model shows small-scale structures. In particular, we identified low-velocity areas as potential fault zones or gas "pockets". The comparison of the FWI model with the result of a standard reflection seismic imaging method shows a high similarity. On the one hand, this can be considered as a validation of the FWI strategy. On the other hand, the availability of structural information and physical parameters improves the petrophysical characterisation of the subsurface.

Imaging of Gas Hydrate Deposits in the Black Sea with 2D Acoustic Full Waveform Inversion of OBS data

Gassner L., Bohlen T.

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

Within the SUGAR-III project gas hydrate deposits of the Danube Delta Deep Sea Fan are explored with seismic, electromagnetic and petrophysical methods. Reflection seismics show evidence of so called bottom simulating reflectors (BSR) which are an indicator for gas accumulations beneath hydrated sediments. Beside reflection seismic measurements 15 ocean bottom seismometers (OBS) have been deployed providing hydrophone and geophone data with maximum offsets of 9 km. In this study 2D adjoint-state acoustic full waveform inversion (FWI) is applied to 5 OBS stations deployed along a profile of about 14 km length.

The 2D starting model of P-wave velocity and density is derived from first arrival travel-time tomography and empirical relations. 3D geometrical spreading effects are corrected by a transformation of the field data. Because of high amplitude ringing after the direct wave we use multiples and refracted waves only. The FWI is applied to the recorded pressure field at frequencies between 5 Hz and 20 Hz and the unknown source time function is inverted. Parameters in the water column are kept constant during the inversion. Additionally an approximated Hessian Matrix is used to precondition the gradients.

As expected, the resolution of the P-wave velocity model is improved by the FWI. It shows high-velocity anomalies in a depth of about 300m below the seafloor which is in good agreement with a BSR horizon determined from reflection seismics. The reconstructed anomalies have a magnitude of 200 m/s to 300 m/s which corresponds to P-wave velocities of hydrated sediments. Due to the limited OBS coverage, results are reliable only in the central part of the profile. Unknown effects from 3D topography of the seafloor and shallow sub seafloor structures may limit the resolution. The results encourage the future application of an elastic FWI to as well invert for S-wave velocity.

2-E Exploration and Monitoring

2-E Exploration and Monitoring

2-E.001

Optimizing event detection and location in low-seismicity zones: Case study from the Western Swiss Molasse Basin

Vouillamoz N.^{1,2}, Abednego M.², Wust-Bloch G.H.³, Mosar J.²

¹Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland, ²University of Fribourg, Department of Geosciences, Fribourg, Schweiz, ³Tel-Aviv University, Department of Geophysics and Planetary Sciences, Tel-Aviv, Israel

Obtaining robust event catalogs in regions of low-seismicity rate can be time-consuming since quality events are less frequent and sensor coverage is generally sparse. Optimizing event detection and location in such regions is all the more crucial that they host a higher density of sensitive infrastructures. The methodology consists in reprocessing existing data recorded by a permanent network and in boosting the final catalog resolution by temporarily deploying portable sparse mini-arrays in the target area. Sonogram analysis is applied on existing and new datasets to detect waveforms barely emerging from the background noise. A visual interactive event analysis module is used to test for picking simulations, event association, spatial cross-correlation and location ambiguities. It also provides backazimuth and slowness estimations when sparse array data is available. The method was applied to a low-seismicity region in the Western Swiss Molasse Basin where two sparse mini-arrays were temporarily deployed. A 90% increase in earthquake detection was achieved when reprocessing 4 years of available data recorded by two fixed Swiss accelerometers and one broadband station in the target area (2009-2013). Low magnitude estimations were empirically calibrated over four magnitude units, down to -1.7 ML, lowering the existing catalog completeness by close to one magnitude unit. After validating picking and location accuracies with standard residual-based scheme, 174 new events were relocated, illuminating zones of previously undetected microseismic activity.

Induzierte Seismizität – Betrachtung des Zusammenhangs zwischen Erdbeben und Fracking bei der Erdgasförderung

Gestermann N.¹, Li G.², Taranczewski T.¹, Ceranna L.¹

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland, ²Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland

Zur Einschätzung der induzierten Seismizität bei hydraulischen Stimulationsmaßnahmen bei der Erdgasförderung werden Beobachtungen und numerische Modellierungen herangezogen. Hierzu werden die Rissdimensionen einer hydraulischen Stimulationsmaßnahme im Norddeutschen Becken modelliert. Ferner wird die mit einer solchen Maßnahme einhergehende seismische Aktivität sowohl numerisch modelliert als auch anhand von Registrierungen in Niedersachsen genauer untersucht.

Für die Simulationen wird dabei ein standortunabhängiges, synthetisches und repräsentatives geologisches Modell im Norddeutschen Becken zugrunde gelegt. Insgesamt zeigen die Resultate aus beiden Modellierungsansätzen eine hohe Übereinstimmung, was auf eine hinreichende Prognosegüte solcher Verfahren schließen lässt. Zusätzlich werden die Ergebnisse durch die aufgezeichnete Seismizität in Niedersachsen bestätigt.

Statusbericht zum Aufbau eines seismischen Kleinarrays am Kleinen Feldberg / Taunus

Lindenfeld M., Rümpler G., Winter H.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Fachrichtung Geophysik, Frankfurt am Main, Deutschland

Im Rahmen des BMWi-Projektes FERRY (Seismische Fernüberwachung geothermischer Kraftwerke mittels Arraytechnologien) wurde ein seismisches Array auf dem Gebiet des Taunus Observatoriums am Kleinen Feldberg errichtet. Ziel ist ein den Oberrheingraben überdeckendes und von den Kraftwerksbetreibern unabhängiges seismisches Monitoring zukünftiger geothermischer Anlagen von zentraler Stelle aus. Aufgrund seiner Abgelegenheit bietet dieser Ort gute Voraussetzungen, um auch relativ schwache Beben im Rhein-Main Gebiet detektieren und lokalisieren zu können.

Korrelationsanalysen der Registrierungen eines temporären Arrays, die mithilfe des NORSAR Instituts durchgeführt wurden, zeigten, dass Stationsabstände > 150 m ein optimales Signal/Rausch-Verhältnis beim Beamforming gewährleisten. Das aus diesen Voruntersuchungen abgeleitete permanente Array besitzt eine Apertur von etwa 700 m mit TNS als zentralem Element. Jeweils drei und fünf Stationen befinden sich (näherungsweise) auf zwei konzentrischen Kreisen um die Regionalnetzstation TNS.

Die Bauarbeiten zur Errichtung des Arrays begannen im Herbst 2014 und wurden Ende 2015 abgeschlossen. Die Geräte sind zum Schutz gegen Wetter und Vandalismus in Betonschächten von ca. 1 m Tiefe untergebracht. Für Stationen in der Nähe des Taunusobservatoriums erfolgt Stromversorgung und Datenanbindung über Kabel, an den übrigen Stationen wurden Solaranlagen installiert und die Daten werden über das LTE Mobilfunknetz übertragen.

Die Aufzeichnungen des Arrays werden mit der von NORSAR bereitgestellten DPEP- Software ausgewertet (FK-Analyse, Beamforming, Detektion). Wir zeigen Datenbeispiele und Lokalisierungen von Beben im Taunus und im nördlichen Oberrheingraben. Es konnten noch Ereignisse in einer Entfernung von über 50 km mit Magnituden knapp unter 1 geortet werden. Zur Überprüfung vergleichen wir unsere Ergebnisse mit den Lokalisierungen des SiMoN-Netzes. Dabei zeigen sich teilweise systematische Abweichungen im berechneten Backazimuth, deren Ursache vermutlich in einer lateral inhomogenen Geschwindigkeitsverteilung im Bereich der Erdkruste liegt. Mit der Analyse von möglichst vielen lokalen Beben sollen diese systematischen Missweisungen erfasst und damit eine Basis für die Kalibrierung des Arrays zur Erhöhung der Lokalisierungsgenauigkeit geschaffen werden.

Seismic wave interaction with underground cavities

Schneider F.¹, Esterhazy S.^{1,2}, Perugia I.², Bokelmann G.¹

¹Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Österreich, ²Universität Wien, Fakultät für Mathematik, Wien, Österreich

Realization of the future Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty (CTBT) will require ensuring its compliance, making the CTBT a prime example of forensic seismology. Following indications of a nuclear explosion obtained on the basis of the (IMS) monitoring network further evidence needs to be sought at the location of the suspicious event. For such an On-Site Inspection (OSI) at a possible nuclear test site the treaty lists several techniques that can be carried out by the inspection team, including aftershock monitoring and the conduction of active seismic surveys. While those techniques are already well established, a third group of methods labeled as "resonance seismometry" is less well defined and needs further elaboration.

A prime structural target that is expected to be present as a remnant of an underground nuclear explosion is a cavity at the location and depth the bomb was fired. Originally "resonance seismometry" referred to resonant seismic emission of the cavity within the medium that could be stimulated by an incident seismic wave of the right frequency and observed as peaks in the spectrum of seismic stations in the vicinity of the cavity. However, it is not yet clear which are the conditions for which resonant emissions of the cavity could be observed. In order to define distance-, frequency- and amplitude ranges at which resonant emissions could be observed we study the interaction of seismic waves with underground cavities. As a generic model for possible resonances we use a spherical acoustic cavity in an elastic full-space. To solve the forward problem for the full elastic wave field around acoustic spherical inclusions, we implemented an analytical solution (Korneev, 1993). This yields the possibility of generating scattering cross-sections, amplitude spectrums and synthetic seismograms for plane incident waves. Here, we focus on the questions whether or not we can expect resonant responses in the wave field scattered from the cavity. We show results for varying input parameters such as dimensions, densities, and seismic velocities in and around the cavity, in order to discuss the applicability of such observations during an OSI.

Shear wave splitting by arrival time picking at Common Receiver Gather

Brüning L., Shimoda N., Shapiro S.A.

Freie Universität Berlin, Fachrichtung Geophysik, Berlin, Deutschland

For microseismic analysis picking of the arrival time of P- and S-waves is necessary. A new Common Receiver Gather (CRG) developed by Shimoda et al. is utilized to arrival time picking process by applying cross correlation for event sorting and the lag time for time datum of flattening. This work is focused on the workflow of picking the P-wave as well as the S 1 - and S 2 -wave and the effect of shear wave splitting.

The dataset and the processed CRG belong to a fracking stage in a shale gas field. The picking work begins with creating the CRG by sorting all events with cross correlation and flattening with lag time, which is based on waveform similarity. Thus, the detection of wave phases becomes easier. Before starting picking it is required to check each of three channels (x-, y-, z-component) carefully to figure out which phase appears most evident on which channel. It is necessary to switch between the channels during the entire picking process since the amplitude value of several S- and P-waves is small and can't be identified by using only one channel. After having determined an appropriate channel picking of P-wave arrival times can begin. This processing step is followed by flattening the P-picks with lag set and choosing another suitable channel for picking the S 1 - wave arrival times. The same procedure with flattening S 1 - picks repeats for picking the S 2 -wave arrival time.

After completing the picking process the differential arrival time of S1 and S2 can be calculated and utilized for further analysis:

The difference of S 1 - and S 2 - arrival time, which is the result of shear wave splitting, might reveal relations between the event location and anisotropy effects. Since the subsurface consists of different layers and structures the arrival time of both S-waves can differ for events with equal distances to the receiver. For that, the relative position of the events are plotted and color-coded for the event's S-wave splitting time. Moreover, the distance between receiver and each event is calculated and plotted in dependency of the differential time of both S-waves. The result is convenient to visualize and analyze possible trends like the correlation of the distance between receiver and event location and the difference of the arrival times of both S-waves. Beyond, differential arrival times which deviate from the trend can indicate picking misinterpretations or event dislocations.

Seismic borehole measurements with the SPWD-wireline prototype

Jaksch K.¹, Giese R.¹, Poletto F.², Schleifer A.², Virgil C.³, Neuhaus M.³

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 6.4 Zentrum für Wissenschaftliches Bohren, Potsdam, Deutschland, ²OGS Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Sgonico, Italien, ³Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

The SPWD-wireline prototype with sources and receivers has been developed for the acoustic exploration of borehole surroundings up to a depth of 2000 m. The combination of sources and receivers in the same borehole device is an important step for a significant improvement of the resolution. The SPWD-wireline prototype uses a seismic phased-array source, which consists of four individually-controlled magnetostrictive actuators. In this way, the acoustic waves can be amplified in predefined directions by constructive interference to focus several sweep signals from 100 Hz to 5000 Hz.

To validate the applicability of the SPWD-wireline prototype within a sedimentary environment it had been applied in three boreholes of the test site “Piana di Toppo” (PITOP) operated by the OGS Trieste (NE Italy). The inter-well distances are approximately 30-40 m. In PITOP well 3 the SPWD-wireline prototype was operated over 250 m of borehole length. In PITOP well 1 the waves were recorded by six 3-component geophone levels of a Sercel SlimWave tool and also in PITOP well 2 with outside of the casing cemented 29 3-component geophone receivers. Two different types of SPWD source signals have been tested during the field experiment: linear and single frequency sweeps. The acoustic wave transmission tests have been conducted with mono-frequency sweep signals between 120 Hz and 1920 Hz. All signal frequencies have been successfully transmitted over a distance of 50 m within the fluid-filled conglomerates of the test location. Based on the single frequency performance a linear sweep with frequencies from 120 Hz to 2600 Hz and 7.5 s length has been applied for the acoustic borehole survey in well 3. The upper frequency limit was chosen to allow a high-resolution structural investigation around well 3 and also around well 2 by the geophone chain. Moreover, three different source amplification directions were used in the vertical plane at each point for these measurements.

The SPWD-wireline prototype has been successfully applied at the PITOP test site. Several adaptations and new developed systems have been integrated into SPWD-wireline prototype to ensure a safe operation during the well test. These are a temperature monitoring system, tool azimuth measuring system and a trigger-system for combined downhole and surface measurements.

This work was funded by the DGMK within the project 751: Acoustic Wave Emission for Enhanced Oil Recovery (WAVE.O.R.).

2-F Exploration and Monitoring

2-F Exploration and Monitoring

2-F.001

Application of well log data analysis for enhancing shaly gas reservoir evaluation for El Wastani formation, Main sand body, Sequoia field, Offshore west Nile delta, Egypt.

Basal A.M.¹, Seisa H.H.², Alattar A.L.³

¹Damietta University, Geology Department, Faculty of Science, Damietta, Ägypten, ²Mansoura University, Geology Department, Faculty of Science, Mansoura, Ägypten, ³Tabbin Institute for Metallurgical Studies (TIMS), Cairo, Ägypten

Gas reservoir represent special cause, hence it is effect on the various well log curve shape are very different. The neutron (Φ_N) and density (ρ_b) logs represent the most logs effected by the presence of gas, hence it has very low hydrogen index (HI) and low density. This is can be let to extremely low neutron porosity and extremely high density one (i.e. gas crossover). The presence of shale will complicate the situation as the effect of shale on the well log data is in the opposite direction of that of gas. To obtain the effective porosity (Φ_{eff}), effective of shale if any to correction are needed one for shale and other for low density gas. The presence of shale can mask the effect of gas on the well log data and easily can by based potential zones. This problem necessitated especial technique for treating such shale reservoir as induce of El Wastani formation Sequoia Field Offshore Nile Delta. The presented technique based essentially on the available in well log data for two development wells represent main sand in sequoia D3 and D4. A number of cross plots between Φ_N vs. Φ_D and $(\Phi_D - \Phi_N)$ vs. gamma ray (GR) were constructed to address problem and differentiated between clean and shale gas zone. Irreducible water saturation (S_{wirr}) was also calculated for each zones of interest using formation resistivity factor (F) as ($S_{wirr} = \sqrt{F/2000}$). The reservoir quality performance was evaluated through cross plotting S_{wirr} vs. S_w and S_w vs. Φ to give a more feature about relative permeability to water and gas (K_{rw} & K_{rg}), grain size distribution and water cut (W.C). The permeability (K) was calculated using S_{wirr} and Timur model. The hydraulic flow unit (HFU) were interpreted through cross plotting reservoir quality index (RQI) vs Φ_z in logarithmic scale.

Lithological controls on gas hydrate saturation: Insights from signal classification of NMR downhole logging data

Bauer K.¹, Kulenkampff J.², Henniges J.¹, Spangenberg E.¹

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Leipzig, Deutschland

Nuclear magnetic resonance (NMR) downhole logging data are analyzed with a new strategy to study gas hydrate-bearing sediments in the Mackenzie Delta (NW Canada). NMR logging is a powerful tool to study geological reservoir formations. The measurements are based on interactions between the magnetic moments of protons in geological formation water and an external magnetic field. Inversion of the measured raw data provides so-called transverse relaxation time (T2) distribution curves or spectra. Different parts of the T2 curve are related with distinct pore radii and corresponding fluid components. A common practice in the analysis of T2 distribution curves is to extract single-valued parameters such as apparent total porosity. Moreover, the derived total NMR apparent porosity and the gamma-gamma density log apparent porosity can be combined to estimate gas hydrate saturation in hydrate-bearing sediments. To avoid potential loss of information, in our new approach we analyze the entire T2 distribution curves as quasi-continuous signals to characterize the rock formation. We apply self-organizing maps, a neural network clustering technique, to subdivide the data set of NMR curves into classes with a similar and distinctive signal shape. The method includes (1) preparation of data vectors, (2) unsupervised learning, (3) cluster definition, and (4) classification and depthmapping of all NMR signals. Each signal class thus represents a specific pore size distribution which can be interpreted in terms of distinct lithologies and reservoir types. A key step in the interpretation strategy is to reconcile the NMR classes with other log data not considered in the clustering analysis, such as gamma ray, hydrate saturation, and other logs. Our results defined six main lithologies within the target zone. Gas hydrate layers were recognized by their low signal amplitudes for all relaxation times. Most importantly, two subtypes of hydrate-bearing shaly sands were identified. They show distinct NMR signals and differ in hydrate saturation and gamma ray values. An inverse linear relationship between hydrate saturation and clay content was concluded. Finally, we infer that the gas hydrate is not grain coating, but rather, pore filling with matrix support is the preferred growth habit model for the studied formation.

Possible evidence for a relationship between gas hydrate dissociation and submarine slope failure in the Danube deep-sea fan, Black Sea

Badhani S., Bialas J., Berndt C., Klaucke I., Zander T.
GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Marine Geodynamik, Kiel, Deutschland

Nearly 110 km of high-resolution multichannel seismic data from the Romanian Black Sea reveal slope failures and paleo canyons of the Danube deep-sea fan. The new data allow detailed investigation of a submarine landslide identified during a regional seismic and multibeam bathymetric survey. The landslide scar has a dimension of 3 x 2.5 km and covers an area of about 8 km². The volume of the mobilized material is estimated to approximately 0.36 km³. Based on average sedimentation rates in the Danube deep-sea fan, age of the landslide is estimated to be around 12 ka. The absence of deposits at the foot of the landslide and the vicinity of the paleo canyon suggest that the material removed during the slide event was drained through the paleo canyon. We observe an upward bending bottom simulating reflector (BSR) beneath and active gas expulsion from the seafloor encircling the landslide scar. The water depth of the slide area correlates with the upper limit of hydrate stability. Modeling the base of the gas hydrate stability zone (BGHSZ) for the paleo-water conditions during the last glacial maximum (LGM) reveals an upward bending trend. The modeled BGHSZ for LGM crops out in the vicinity of the headwall of the landslide whereas the present day BSR crops out at the foot of the failed area. Therefore, we propose that warming of the Black Sea might have caused dissociation of gas hydrates resulting in building increased sediment pore pressure, possibly triggering the landslide identified in our data.

The EU project FracRisk (2015-2018): some non-/fluid-based monitoring tasks

Eutsch D.¹, Anuel M.², Osef J.², Erman G.¹

¹Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Göttingen, Deutschland, ²WP6 team S, FracRisk, Deutschland

The EU project *FracRisk* (06/2015–05/2018) set out to *provide decision support tools for dealing with fracking-related hazards* [McDermott 2014]. It relies on top-down approaches to FEP screening in order to reduce the risk assessment job to a small set of relevant scenarios, and on efficient, FEP-overriding source/pathway/target (SPT) compartmentalizing [Sauter 2012]. Though long-established in the realm of radioactive waste management, FEP concepts prove of limited value when applied to shale-gas (SG) exploitation, whose main environmental footprint stems from low intrinsic productivity (need to frequently re-enter the wells), rather than from *hazards*. Thus viewed, SG development is neither a significant-*risk technology*, nor *the game changer*. Artificial and natural tracers may serve several purposes in the SG context: besides assessing un-/desired transport connectivity between **S** and **T**, or within **S** and **P**, and quantifying fluid/solute/mineral mixing/dilution/transfer within/between **S** and **P**, a more significant contribution is expected from tracers in measuring **productivity-critical** transport parameters within **S** (porosity, retardation, dispersion). However, parameter inversion from measured tracer signals poses great challenges in **single-well** settings (as used for SG), where flow-field reversal destroys the equivalence between tracer residence times and fluid transport parameters. Recent tracer-technological innovations address inflow profiling, proppant imaging, proppant-embedded tracers; yet, to date, not a single example is known of a tracer-based estimation of a frac-related parameter. The poster shows **1**: a more efficient approach to inflow profiling (versus Ghergut 2015), using pulsed tracer additions during terminal HF stages; **2**: type-curve sets for assessing parameter sensitivity, and, where applicable, inverting tracer signals in terms of production-critical parameters (frac volume, fissure aperture and spacing, fluid-rock interface area), for liquid-/gas-phase tracers detectable uphole during backflow/production (no downhole instrumentation required); of all target parameters, matrix porosity appears most recalcitrant to tracer-based estimation, unless reactive tracers with very special properties would become available (steerable-delay in-situ release was realized for casing-/proppant-embedded, yet not for matrix-pervading tracers); **3**: SNL and other non-fluid-based monitoring techniques aid in reducing the ambiguity of tracer signal inversion.

Turning pipeline noise into signal for EM exploration

Lindau T., Becken M.

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

Many of the pipelines forming the dense system of water-, oil- and gas pipelines present in central Europe are protected against electrochemical corrosion by impressed current cathodic protection (ICCP) systems. In normal operation mode an ICCP system injects a DC current into the pipeline. However, for occasional pipeline integrity tests the current is switched on- and off periodically, generating time-varying electrical currents and thereby inducing secondary electric- and magnetic fields in the surrounding earth. While these fields are usually considered to be unwanted cultural noise in electromagnetic exploration, this work aims at utilizing the fields generated by the ICCP system for determining the electrical resistivity of the subsurface. Due to the omnipresence of pipelines in industrialized regions we consider the use of pipeline signals to be of interest not only as a stand-alone method, but also in combination with conventional EM methods like MT and CSEM. Since the pipeline signal is already contained in the data, the use of pipeline sources yields valuable additional information about the subsurface with limited additional effort.

For our study a pipeline segment near Herford, Germany of approximately 30km length operated by the Westnetz GmbH is selected as a test site. The current injected into the pipeline segment originates in a rectified 50Hz AC signal which is periodically switched on and off. The pipe current decays away from the injection point in an unknown fashion. Magnetic Fields generated by the local pipe current and proportional to the current strength are measured along the pipe path in order to determine the currents decay function. Electric field data was recorded at more than 40 stations in an area of about 40km² in vicinity to the pipeline. Transfer functions between the local electric fields and the injected source current at the injection point are estimated for frequencies ranging from 0.03 Hz to 20Hz using robust time series processing techniques. The resulting transfer functions are inverted for 1D conductivity models of the subsurface using an elaborate pipeline model. We demonstrate how changes in the various pipeline parameters in our model may influence the inversion process and discuss the impact of inaccurately estimated parameters on the inversion results.

2-G Exploration and Monitoring

2-G Exploration and Monitoring

2-G.001

Magnitude-frequency distribution of induced seismicity at the Landau and Insheim geothermal sites

Barth A.

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

Seismic activity in the densely populated Upper Rhine Graben/Germany (URG) is an important issue for the public, politics, and industry. The spatial analysis of magnitude-frequency distributions of both, tectonic and induced seismicity, provides valuable information about local seismicity pattern and seismic hazard assessment.

The URG is a NNE-SSW striking continental rift north of the Alpine mountain chain in the German-French-Swiss border region and it is one of the active seismic regions in Central Europe. Its total length is about 320 km from Basel/Switzerland in the south to Frankfurt/Germany in the north. We use b -value variations of the tectonic seismicity along the URG to separate four distinct sections with significant differences in earthquake magnitude distributions: the Basel region in the Swiss-France-German border region ($b=0.83$), the region between Mulhouse and Freiburg in the southern URG ($b=1.42$), the central URG ($b=0.93$), and the northern URG ($b=1.06$).

According to this separation, the geothermal power plants of Landau and Insheim are located in the transition of the central URG to its northern part. The seismic network in their surrounding detected 1.982 induced events between September 2009 and August 2013 with magnitudes as low as $M_L -1.0$.

We analyse the b -value of the magnitude-frequency distribution for several periods of induced seismicity and compare it to the local tectonic activity level. Both geothermal sites show b -values near the tectonic background level during operation and circulation. However, the Insheim seismic volume generally shows higher values. A stimulation test at the Insheim geothermal site in 2010 and a seismic crisis at Landau in 2012 show significantly increased b -values of $1.54(\pm.13)$ and $1.41(\pm.10)$, respectively.

Assuming unchanged operational parameters for the Landau injection, the increase in b -value and absolute number of seismic events might be due to an activation of a new structural patch by fluid diffusion. However, also a change in of the injection parameters might be responsible. Further analysis of the various phases of activity reveals a generally different behaviour of the two nearby geothermal sites of Landau and Insheim, due to different reservoir characteristics and injection histories.

Numerical simulation of fluid flow and local thermal non-equilibrium heat transfer in fractured porous media

Hamidi S.¹, Galvan B.², Heinze T.¹, Kemna A.¹, Miller S.A.²

¹Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Fachbereich Geophysik, Bonn, Deutschland, ²University of Neuchâtel, Centre for Hydrogeology and Geothermics, Neuchâtel, Schweiz

Geothermal power is typically a base-load power source by being independent of weather variations. Therefore with increasing demand of renewable energies, geothermal energy becomes more prominent. Due to high costs of drilling and deep exploration, it is beneficial to study the heat extraction of such a system numerically in advance. Despite numerous studies in this area, heat production estimation of such a system is still a challenge.

There are two main models describing heat transfer between a hot rock and a flowing fluid. One is based on an immediate thermal equilibrium between the rock and fluid. The other one considers the heat flow in fluid and rock separately but coupled through a fluid-rock heat transfer term. The former approach is known as local thermal equilibrium model (LTE) and the latter as local thermal non-equilibrium (LTNE).

The previous numerical simulations of geothermal systems are mostly based on the LTE assumption; however, studies show the validity of this model only under restricted conditions. We present a comparison between these two models using a two-dimensional numerical simulation of coupled fluid flow and heat transport in a porous medium.

The role of permeability, porosity, heat transfer term and fluid injection pressure is investigated in various parameter studies. For this purpose, a simple scenario has been assumed in which cold water is flowing through a hot porous medium with a single fracture zone, while the porosity and permeability of rock and fracture zone are kept constant. Fluid temperature difference between LTE and LTNE modeling results is computed over time and space. It can be seen that the difference between the two models depends strongly on the fracture zone permeability and the fluid-rock heat transfer coefficient. Our results show that the LTE model underestimates the fluid temperature in the fracture zone while it overestimates this temperature outside the fracture zone. Finally, we consider a typical field-scale scenario and present a numerical simulation of a geothermal system in production phase using both LTE and LTNE model approaches.

Tracer-based flow-storage repartitions characterizing geothermal reservoirs: a Malm aquifer example (Sauerlach/Munich area), and the 'truncated signal' issue

Dewi D.S., Ghergut J., Behrens H., Sauter M.

Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Göttingen, Deutschland

Flow-storage repartition (FSR) analysis is a versatile tool for characterizing subsurface flow and transport systems. FSR can be derived from measured signals of inter-well tracer tests, if certain requirements are met - basically, the same as required for equivalence between fluid residence time distribution (RTD) and a measured inter-well tracer signal. Nominally, a FSR is derived from a RTD as a trajectory in normalized {1st, 0th}-order statistical moment space; more intuitively, as a parametric plot of 0th-order against 1st-order statistical moments of RTD (alias 'tracer signal', pre-processed and de-convolved if necessary) truncated at time t , with time t as a parameter running from the first tracer input to the latest available tracer sampling; the 0th-order moments being normalized by total tracer recovery, and 1st-order moments by the mean RT. Fracture-dominated systems will plot in the upper left (high F, low S) corner of FSR diagrams; a homogeneous single-continuum with no dispersion (infinite Peclet number) displays a straight line from $\{F,S\}=\{0,0\}$ to $\{F,S\}=\{1,1\}$. This analysis tool appears particularly attractive for characterizing markedly-heterogeneous, porous-fissured-fractured (partly karstified) formations like those targeted by geothermal exploration in the Malm-Molasse basin, and especially for quantifying flow and transport contributions from contrasting facies types ('reef' versus 'bedded'). However, tracer tests conducted in such systems with inter-well distances of some hundreds of metres (as required by geothermal reservoir sizing considerations) face the problem of very long residence times - and thus the need to deal with incomplete (truncated) signals. For the geothermal well triplet at the Sauerlach site near Munich, we predict tracer peak times exceeding 2 years, and signal tails decreasing by less than 50% over >10 years, which puts great uncertainty on the (extrapolation-based) normalizing factors needed to calculate FSR. Looking at the Sauerlach example, we find that premature interruption of tracer sampling systematically leads to overestimating the reservoir's storage capacity and underestimating its flow capacity, with misestimation generally increasing as the bedded/reef interfacial area per volume is increased. Financial support from German BMWi is gratefully acknowledged. - Gefördert durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Projekt TRENDS, FKZ 0325515).

Tracermethodische Entwicklungen im BMWi-Vorhaben TRENDS

Ghert J., Behrens H., Sauter M.

Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Göttingen, Deutschland

Bei künstlichen Fluidmarkierungen (Tracertests, TT) im Grundwasser steht typischerweise die Ermittlung von Fluidverweilzeiten (transportwirksamen Porositäten) im Mittelpunkt, um darauf basierend z.B. Schutzzonen zu dimensionieren; oder aber der Ausschluss ('Negativnachweis') einer Transportverbindung zwischen Schutzgut und etwaigen Schadstoffquellen. Bei *inter-well* (IW) TT in tiefen Georeservoiren geht es hingegen um den Nachweis der (erwünschten) Transportverbindung etwa zwischen geothermischen Produktions- und Reinjektionsbohrungen; die Aussage über Fließzeiten kommt jedoch 'zu spät', um darauf basierend etwa eine geothermische Anlage (neu) zu dimensionieren. Eine Erkundungs- und planerische Funktion können IWTT bei tiefen Georeservoiren damit kaum erfüllen. Dafür wird dort *single-well* (SW) TT erheblich mehr Bedeutung beigemessen, als im Grundwasserbereich; zumal bei Erschließung eines neuen Reservoirs zunächst meistens nur 1 Bohrung zur Verfügung steht. Die mit SWTT geknüpften Erwartungen sind allerdings nur erfüllbar mit Tracerstoffen/-stoffpaaren, deren quantitativer Nachweis Qualitätsstandards unterliegt und deren physikochemisches Verhalten in einer Detailliertheit (reservoirmilieuabhängig) und Genauigkeit zu ermitteln ist, die man von Grundwasser-TT nicht gewohnt ist, und womit auch heutige Spitzentechnologien der laborinstrumentellen Tracerdetektion und -quantifizierung sich überfordert sehen. Während bei IWTT eine 10%e Fehlerbreite im gemessenen Tracersignal eine ähnlich große Unsicherheit der ermittelten Verweilzeit (Porosität) bedeutet, sind 10% Abweichung bei SWTT-Signalen mit Änderungen der Zielparameter (Porosität, Dispersion, Kluftapertur, -dichte) um Faktoren 3-300 verbunden. Konservative Tracer sind bei *push-pull* SWTT in tiefen Formationen (ohne nennenswerten natürlichen Drift) wenig aussagekräftig für nicht-kluftgeprägte, bedingt nützlich für natürlich-geklüftete Reservoirs, hingegen sehr empfehlenswert im Zshg mit Stimulationsmaßnahmen, sowie zur 'kabellosen' Zuflussprofilierung in Multirissystemen. Die SWTT-Sensitivität gegenüber hydrogeologischen Parametern lässt sich durch Einsatz dual-partitionierender Reaktivtracer verbessern. Für IWTT besteht wiederum dringend Bedarf an einer größeren Anzahl **gesichert-konservativer und 'gut-messbarer' Tracer** - so auch, aktuell, für die Markierung diverser simultaner Geothermiekreisläufe im Großraum München. Tracermethodische Entwicklungen werden durch das **BMWi** (FKZ **0325515-TRENDS**) gefördert.

Integrated Borehole Geophysics at the Kimberly Borehole, Idaho

Naumann F.¹, Schmitt D.R.², Buske S.¹, Shervais J.W.³, Liberty L.⁴

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²University of Alberta, Department of Physics, Edmonton, Kanada, ³Utah State University, Department of Geology,

Logan, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁴Boise State University, Department of Geosciences, Boise, Vereinigte Staaten von Amerika

The Twin Falls volcanic center in Idaho (US) is known for its high heat flow and geothermal gradient. The goal of the study presented here is to investigate the geothermal potential primarily with geophysical methods. To image the successive volcanism of the Snake River Plain, representative drill sites were selected. Using a 1.96 km deep borehole located in the town of Kimberly, Idaho, geophysical borehole logs, zero-offset and walk-away vertical seismic profiles were acquired to assess the hydrogeological boundaries of the volcanic province. Borehole logs assist with subsurface rock characterization, determination of types and depth of fractures and the analysis of in-situ physical rock properties to support previous lithologic results. Natural and spectral gamma radiation, magnetic susceptibility and neutron counts proved to be particularly helpful to differentiate between basalt, sediment and three rhyolite units in depth. Another attempt was the detection of fractures with logging tools like the dual laterolog, the borehole televiewer, the full waveform sonic and the caliper. In conjunction with core scans a large number of natural fractures have been discovered. The comprehensive analysis of all logs shows natural fractures or brittle zones for the deepest rhyolite unit between 605 and 1956 m depth. According to the present knowledge fractures are open and are associated with high porosity rock. However, no evidence could be found for drilling induced fractures and borehole breakouts. Temperature measurements reveal a significant zone of possible water accumulation that is associated with the Snake River Aquifer. Although temperatures at depth are too low for geothermal power generation, a calculation of radiogenic heat production seems promising. The objectives of the seismic measurements were the correlation of reflections with geologic features near the borehole. For this, a zero-offset VSP survey was performed. Processing of the corresponding seismic section included wavefield separation and an analysis of primary and multiple seismic events. Primary reflections are associated with a change in rock formation and therefore flow boundaries can be imaged. In summary the applied geophysical methods provide a good basis for the interpretation of the geological environment as well as for an assessment of the geothermal potential of the investigation area.

Geothermal gradients at hydrothermal areas of Georgia

Buntebarth G.¹, Sangin S.¹, Melikadze G.², Weller A.¹

¹Technische Universität Clausthal, Institut für Geophysik, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland, ²Tbilisi State University, Institute of Geophysics, Tbilisi, Georgien

A joint project of Ivane Javakishvili Tbilisi State University and Clausthal University of Technology uses temperature measurements in shallow wells and petrophysical data to determine the heat flux density in several areas of Georgia.

The evaluation of the geothermal potential is based on the knowledge of the distribution of heat flux density that can be determined from the geothermal gradients and the thermal conductivity.

The occurrence of hot springs gives evidence of the increased geothermal potential in several areas in Georgia. But the hydrothermal flow in the Caucasus region driven by ongoing tectonic activities causes a varying temperature field that impedes the determination of stable temperature gradients. Conventional temperature logging provides only a snapshot of the temperature distribution in a well. We applied a technology based on continuous stationary measurements with up to eight temperature sensors fixed at different depths in the well. Temperature measurements have been performed in ten wells with the instrument "LogBox-multiT". The temperature field was recorded during a minimum time of 1 day and up to 1 month. This way of measurements enables the detection of water flow within the monitored boreholes. Some measurements have been repeated several months later. Hydrothermal activities have affected most of the records. Stable gradients were observed only in a minority of wells. Some special effects were identified in some wells. We recognized a cold water impact at a depth of 50 m in the well at Oni. The well at Kobuleti indicated a continuous temperature increase at all sensors, but the temperature gradient proved to be nearly constant at the monitored depths. A cluster of four neighboring wells was investigated at Borjomi, which is the location of the famous health resort with production of mineral water. The resulting temperature gradients for the depth range between 9 and 95 m vary between 56 and 74 mK/m. Assuming a thermal conductivity of 2.1 W/(m*K), we get a mean heat flux density of 138 mW/m² for the Borjomi area.

A dynamic heat transfer coefficient between fractured rock and flowing fluid

Heinze T.¹, **Hamidi S.**¹, Galvan B.², Miller S.A.²

¹Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie, Fachbereich Geophysik, Bonn, Deutschland, ²University of Neuchâtel, Centre for Hydrogeology and Geothermics, Neuchâtel, Schweiz

Estimation of hot water production remains a major challenge for geothermal industry. There are two main models describing heat transfer between a hot rock and a flowing fluid. One assumes an immediate local thermal equilibrium, the other one, called local thermal non-equilibrium (LTNE), calculates rock and fluid temperature separately and explicitly determines heat transfer between rock and fluid. While LTNE does not require the strong assumption of instantaneous thermal equilibrium, the parameters for explicit heat transfer between rock and fluid are loosely defined. This work focuses on the heat transfer coefficient between rock and flowing. In previous studies values for this coefficient vary over several orders of magnitude (e.g. Zhao and Tso, 1993; Zhao, 2014; Shaik et al., 2011). Further, the heat transfer coefficient was previously assumed to be constant in time and space, though it is known to depend e.g. on temperatures, flow velocity and fracture aperture, which are dynamically changing in an evolving system.

Based on an experimental setup with simple geometry, we derive a dynamic heat transfer coefficient dependent on fracture aperture, flow velocity and thermal parameters. We implement our newly derived model in an explicit Euler scheme on a finite difference grid and compare the results of our simulations to experimental data, achieving a good agreement for most tested temperature ranges. In comparison to a static heat transfer coefficient, a dynamic coefficient changes the fluid and rock temperature distribution in the fractured system but not necessarily alters the fluid outflow temperature.

We show possible extensions of our approach with a simulation on reservoir scale. In opposite to existing models and empiric approaches our model intrinsically adjusts to spatial heterogeneity and temporal changes in flow and temperature. Our model can be extended by including more constitutive relationships linking permeability, fracture aperture, fluid pressure and heat transfer.

References:

J Zhao and CP Tso. Heat transfer by water flow in rock fractures and the application to hot dry rock geothermal systems. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech*, 30(6):633–41, 1993.

Z Zhao. On the heat transfer coefficient between rock fracture walls and flowing fluid. *Comput Geotech*, 59:105–11, 2014.

AR Shaik, SS Rahman, NH Tran, and T Tran. Numerical simulation of Fluid-Rock coupling heat transfer in naturally fractured geothermal systems. *Appl Ther Eng*, 31:1600–1606, 2011.

Continuous magneto-telluric monitoring at Rittershoffen geothermal site, northern Alsace

Abdelfettah Y.¹, Saillhac P.², **Schill E.**¹, Larnier H.²

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Nukleare Entsorgung, Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland,

²EOST, Strasbourg, Frankreich

Changes in fluid pathways in the subsurface of a geothermal project during stimulation and operation are typically inferred from micro-seismic monitoring. It can provide information on shear processes in and of fractures. At the European EGS site Soultz-sous-Forêts, however, considerable a-seismic deformation occurs during reservoir engineering and operation (e.g. Cornet et al., 1997). Electromagnetic methods are sensitive to changes in the electric resistivity distribution of the subsurface. Its variation over time includes seismic and a-seismic deformation that is linked to hydraulic connectivity changes.

Against this background, continuous and time-lapse magneto-telluric (MT) measurement have been acquired over a period of about five month (July to November 2014). This period includes two injection experiments into a deep geothermal well at Rittershoffen (F). Data have been processed using a remote reference station at Welschbruch (F) and transfer response functions have been calculated using robust processing method. Both, apparent resistivity and phase tensor reveal transient variations in subsurface conductivity structure, mainly at frequencies between 0.05 and 0.1 Hz. This frequency range approximately corresponds to the depth of the reservoir. Variation in resistivity occur over two orders of magnitudes (1 to 0.01 ohm m). Variation in the relative phase difference tensor may reach up to 100%. Two of the periods of transient variation coincide with the two injection experiments, but no distinction from other periods of transient variation can be made. The variations reveal a duration between 2-3 and 6-7 days. Quiet periods are in the order of several days as well. It should be noted that the number of transient variation decreases in the month of November.

In conclusion, the depth of our observation suggests that we trace variation in fluid circulation in the geothermal reservoir. However, exclusive observation of reservoir engineering is not obtained. We may suggest that we observe periodic recharge of the reservoir, which is common in fractured environment.

Cornet, F.H., J. Helm, H. Poitrenaud and A. Etchecopar. 1997. Seismic and aseismic slips induced by large scale fluid injections. *Pure appl. Geophys.*, 150, 563–583.

Development of an in-situ thermal conductivity measurement system for exploration of the shallow subsurface

Chirila M.A., Vienken T., Peter D., Bumberger J.

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Monitoring und Erkundungstechnologien (MET), Leipzig, Deutschland

A commonly utilized technique in Europe, for the exploitation of the shallow geothermal potential, are geothermal heat pump systems. To guarantee a sustainable use of systems by saving resources, and minimizing the potential negative impacts induced by temperature changes within soil and groundwater, new geothermal exploration methods and tools are required.

The knowledge of the underground thermal properties is a necessity for a correct and optimum design of borehole heat exchangers. Mapping the temporal and spatial variability of thermal conductivity, with high resolution in the shallow subsurface for geothermal purposes, requires a high degree of technical effort to procure adequate samples for thermal analysis. A collection of such samples from the soil can disturb sample homogeneity, so great care must be taken during sample procurement. Factors such as transportation and sample storage can also influence measurement results. The thermal probes available on the market can perform vertical thermal conductivity logs only by integration into a drilling system. However, thermal conductivity measurements using direct push method with this type of probes are not possible, due to physical and mechanical limitations. Applying vertical forces using direct push technology, where forces can reach 154kN in order to penetrate the shallow subsurface, can damage the probe and the sensor systems. The aim of this study is to develop a new robust thermal conductivity probe, called thermal conductivity profiler (TCP), that operates based on the principles of a hollow cylindrical geometry as a heat source. To perform thermal conductivity measurements in situ, by direct push, the transient line heat source theoretical approach on a hollow cylindrical geometry is used. At the same time, this work presents laboratory results obtained when this novel tubular probe system was tested on different materials for calibration. By using the hollow cylindrical probe, the thermal conductivity results have an error of less than 2.5% for solid samples like Teflon, Agar Jelly, and Nylatron.

These findings are useful to achieve a proper thermal energy balance in the shallow subsurface by using direct push technology and TCP. Moreover, creating vertical logs with thermal conductivity values can be useful to determine borehole heat exchanger design, geothermal heat pump architecture and optimization procedure, in order to avoid conflicts between users.

2-H Exploration and Monitoring

2-H Exploration and Monitoring

2-H.001

Aerogeophysikalische Erkundung von metallischen Rohstoffen im Geyerschen Wald / Erzgebirge

Siemon B., Ibs-von Seht M., Steuer A., Pielawa J., Meyer U.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B2.1 Aerogeophysik, Hannover, Deutschland

Die BGR führt ein Forschungsprojekt zur Erkundung von metallischen Rohstoffen im Erzgebirge gemeinsam mit dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie (HIF) am HZDR und der Technischen Universität Bergakademie Freiberg (TUBAF) durch, um im Geyerschen Wald nach Rohstoffen wie Zinn, Wolfram, Zink und Indium zu suchen. Das Projekt wird begleitet durch das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Das Sächsische Oberbergamt (SOBA) hat die Aufsuchungsgenehmigung für die wissenschaftliche Erkundung erteilt. Für die Erkundung kommen auch geophysikalische Methoden aus der Luft zum Einsatz. Anders als Erkundungsbohrungen ist die Aerogeophysik flächendeckend und greift nicht zerstörend in den Boden ein.

Das BGR-Teilprojekt „ErzExplora“ hat das Ziel, das Pilotgebiet „Geyer“ im nördlichen Randbereich des Erzgebirges mit verschiedenen Verfahren der Hubschrauber-geophysik zu untersuchen. Im Oktober 2013 und Frühjahr 2014 kamen das derzeitige BGR-Hubschraubermesssystem, das Daten zu den Methoden Frequenzelektromagnetik (HEM), Aeromagnetik (HMG) und Aeroradiometrie (HRD) gleichzeitig registrieren kann, zum Einsatz. An zehn Messflugtagen konnten in dem etwa 135 km² großen Messgebiet Daten entlang von 189 Mess- und 14 Kontrollprofilen mit einer Gesamtlänge von knapp 1900 km erfasst werden. Aufgrund der z.T. dichten Besiedlung sowie mehrerer Hochspannungsleitungsstrassen im Messgebiet musste ein erheblicher Teil der Messdaten der Elektromagnetik zunächst entfernt werden. Kleine Datenlücken, z.B. hervorgerufen von leitfähigen Installationen längs der Verkehrswege konnten zufriedenstellend durch 2D-Interpolation geschlossen werden. Dies war jedoch entlang der Hochspannungsleitungen sowie in der Nähe von Ortschaften und Industriegebieten nur gedingt möglich.

Es werden Übersichtskarten und Vertikalschnitte des spezifischen Widerstandes (HEM), der Anomalien des erdmagnetischen Feldes (HMG) und der Gesamtstrahlung (HRD) vorgestellt, die eine gute Übereinstimmung mit der bekannten Geologie zeigen, aber auch Strukturen aufzeigen, die nicht in der Geologischen Karte zu sehen sind. Eine Interpretation der aerogeophysikalischen Ergebnisse hinsichtlich des Vorkommens von metallischen Rohstoffen steht aber noch aus.

DESMEX: A large scale DC dipole-dipole experiment for mineral exploration – Schleiz, Germany

Rochlitz R., Günther T.

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Sektion 2 - Geoelektrik und Elektromagnetik, Hannover, Deutschland

The main objective of the joint research project DESMEX (Deep Electromagnetic Soundings for Mineral EXploration) is the development of a semi-airborne electromagnetic exploration system for mineral deposits to a depth of 1 km. In their vicinity, electric conductivity is known to show significantly increased values, which can be best identified with the help of electric and electromagnetic methods. One potential target for DESMEX is an antimonite deposit, located within the Berga anticline near Schleiz, Germany. It was mined to a depth of approximately 100 m in the last centuries, but no information is available for greater depths.

In October 2015, we conducted a large scale 2D DC pre-investigation survey perpendicular to the strike of this deposit across the Berga anticline. The first goal was to obtain a significant resistivity distribution in this area for modeling studies as basis of the DESMEX main experiment. In addition, the course of the mineralization zone at depths below 100 m should be evaluated.

For recording, we used 3-channel data loggers developed by LIAG and ADU07e data loggers by Metronix. The profile consists of 35 Ag/AgCl electrodes with a spacing of 125 m over a length of more than 4 km. The data quality can be accessed with the help of reciprocal dipole-dipole configurations. In the end, a significant resistivity distribution can be obtained from inversion to a depth of about 500 m.

The host rocks, clay and silt slate, show resistivities about 1000 Ωm , whereas the antimonite deposit is indicated as a 50 m thick zone of 100 Ωm . Furthermore, other conductive rocks, such as black shales, and fault zones can be identified. These are interpreted in agreement with ground based transient electromagnetic and helicopter based frequency-domain measurements of the DESMEX project partners.

Projekt DESMEX: Lagerstättensuche in Thüringen - Vorerkundung mit HEM

Steuer A., Martin T., Siemon B., Meyer U.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) führte im Mai 2015 zwischen den Städten Schleiz und Greiz (Thüringen) geophysikalische Messflüge mit ihrem Hubschrauber durch.

Bei der Messkampagne handelt es sich um eine Vorerkundung mit dem Standardmesssystem der BGR Hubschraubergeophysik im Rahmen des vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) geförderten Projektes DESMEX (Deep Electromagnetic Soundings for Mineral Exploration). Im DESMEX-Projekt wird ein neues semi-airborne Verfahren (elektromagnetische Sender am Boden, Empfängersonden vom Hubschrauber geschleppt) entwickelt, mit dem Erkundungstiefen von bis zu 1000 Metern erreicht werden sollen. Es soll später zur Erkundung mineralischer Rohstoffe eingesetzt werden. Verbundpartner der BGR sind die Universitäten Münster, Köln und Freiberg, das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) in Hannover, das Leibniz-Institut für Photonische Technologien (IPHT) in Jena sowie die Firmen Supracon AG, Jena, und Metronix GmbH, Braunschweig. Weiterhin begleitet die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie das Projekt.

Das bei der Vorerkundung verwendete Standardmesssystem der BGR besteht aus einem Hubschrauber als Systemträger, den simultan registrierenden geophysikalischen Messinstrumenten für die Methoden Elektromagnetik (HEM), Magnetik (HMG) und Radiometrie (HRD), die sich in einer geschleppten Flugsonde (HEM und HMG) bzw. im Hubschrauber (HRD) befinden, den Navigations- und Positionierungsinstrumenten und einer Bodenstation zur Erfassung der zeitlich variablen Messgrößen.

Mit elektromagnetischen Messungen kann die Leitfähigkeit von Gesteinsschichten im Untergrund bestimmt werden. Bei dieser Vorerkundung wurde der Untergrund des ehemaligen Bergbaugesbietes bis in eine Tiefe von 150 Metern kartiert. Mit den ausgewerteten Daten können unter anderem Aussagen darüber getroffen werden, welche Strukturen sich im Untergrund befinden, wie die Grenzen verlaufen und wo sich eventuell Lagerstätten befinden.

Die bei den Messflügen gewonnenen Daten sollen einerseits neben geologischen Überlegungen als Entscheidungsgrundlage für die Gebietsbestimmung des Hauptexperimentes dienen, andererseits in das Lagerstättenmodell am Ende des Projektes einfließen. Die Daten stehen nach Abschluss des Projektes über das Fachinformationssystem (FIS) Geophysik des LIAG zur Verfügung.

Transient-elektromagnetische Messungen bei Schleiz, Thüringen im Rahmen des DESMEX-Projekts

Ossen D., Tezkan B., Yogeshwar P.

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

DESMEX (Deep electromagnetic sounding for mineral exploration) ist ein Verbundprojekt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme r4 – Innovative Technologien für Ressourceneffizienz – Forschung zur Bereitstellung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe gefördert wird. Primäres Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines neuen semi-airborne Explorationskonzeptes für die Erkundung von heimischen Rohstoffpotenzialen, im Speziellen von Erzen. Im besonderen Fokus steht die Entwicklung zur flächenhaften und möglichst hochauflösenden Abdeckung durch elektromagnetische Verfahren mit Eindringtiefen bis 1000 Metern Tiefe. Weiterhin sollen bekannte Lagerstätten sowie bekannte Datensätze neu bewertet und Konzepte entwickelt werden zur Erfassung von bisher unbekanntem Rohstoffvorkommen, beispielsweise von Hochtechnologiemetallen, die bisher nicht Gegenstand der Bergbauaktivitäten waren. Als Untersuchungsgebiet wurde das ostthüringer Schiefergebirge in der Gegend von Schleiz bis Greiz ausgewählt, da hier das Vorkommen von antimonitführenden Gängen bekannt ist.

Im Rahmen einer Vorerkundung des Projekts wurden im Sommer 2015 transient-elektromagnetische (TEM) Messungen bei Schleiz durchgeführt. Hierbei wurden 7 km Profil und 70 TEM Stationen vermessen. Die Datenqualität variiert gebietsabhängig entlang der vermessenen Profile. Es konnten allerdings Bereiche mit schlechter von Bereichen guter Datenqualität getrennt werden. Die verringerte Datenqualität kann auf eine durch das Messgebiet verlaufende Gaspipeline und evtl. auf unterirdische Schachtsysteme des Altbergbaus zurückgeführt werden.

Die TEM-Daten wurden mittels konventionellen 1D Occam und Marquardt Inversionsalgorithmen ausgewertet. Im Allgemeinen zeigen die Ergebnisse einen 3- bis 4-Schichtfall. Charakteristisch sind eine schlecht leitfähige Schicht bis zu einer Tiefe von 100 bis 200 m und einem spezifischen Widerstand von bis zu mehreren 1000 Ωm und eine darunter liegende gut leitfähige Schicht mit etwa 100 Ωm . Die Erkundungstiefe liegt bei 300 bis 500 m. Die TEM-Ergebnisse dienen insbesondere zur Planung und Durchführung einer LOTEM-Messkampagne für Zieltiefen bis etwa 1000 m.

A multi-dimensional long offset transient electromagnetic modeling study to investigate deep mineral deposits within the DESMEX project

Mörbe W., Yogeshwar P., Tezkan B.

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

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

To define the geometry, grid and the transmitter/receiver settings of the LOTEM survey beforehand, one and two dimensional modeling studies are carried out, for which a good conducting ore vein embedded in more resistive host rocks is assumed. Within the modeling study, the thickness and the dipping angle of the ore vein as well as the resistivity of the neighbouring rocks are varied. A priori informations, e.g. high resistivities in the survey area for the upper 100 m, revealed by central loop transient electromagnetic measurements carried out in August 2015, were included in the modeling study. Additionally, geological informations delivered insights in the strike direction and extension of the ore vein in the upper 200 m. Here, we present the results of the LOTEM modeling studies with focus on the detectability of the ore vein for depths down to 1000 m under consideration of a realizable survey setup.

On the exploration of a marine aquifer offshore Israel by long-offset transient electromagnetics (LOTEM): 1D modelling and results

Lippert K.¹, Tezkan B.¹, Goldman M.²

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, ²Geophysical Institute of Israel, Lod, Israel

The existence of aquifers extending from land under the sea up to several kilometers was observed and examined all over the world. The coastal aquifer of Israel is a heavily used groundwater reservoir, which has to be constant monitored to ensure the drinking water supply. It is well known that the aquifer is grouped into four subaquifers, which were managed separately. Former land based measurements show that the two lower subaquifers are in several places blocked to seawater intrusion and consequently candidates for submarine extension.

Due to a very close relationship between salinity and electrical resistivity, electromagnetic methods were leading techniques in solving hydrogeological problems. A multicomponent time-domain marine CSEM measurement (LOTEM) was carried out in 2009 and 2011 in very shallow waterdepths of max. 50 m. On this poster we present supporting 1D modeling studies to examine the detectability of the submarine aquifer with different components, the influence of the so called "Airwave" and the influence of stacking errors on the inversion. We also look into some practical questions like the adaptability of 1D Inversions on data sets over a obviously 2D subsurface.

Finally we present the results from 1D Occam Inversions of our real measured data with which we were able to proof with all measured components the submarine existence of the coastal aquifer up to a distance to the coast of approx. 3.2 km to 3.6 km.

Petrophysikalische Untersuchungen zur Erkundung tiefer Erzlagerstätten

Martin T.¹, Costabel S.¹, Günther T.²

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), B2.1 Geophysikalische Erkundung - Technische Mineralogie, Berlin, Deutschland, ²Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Petrophysikalische Untersuchungen an Gesteinsproben aus (Antimonit-)Erzgängen sowie deren Umgebungsgesteinen sind wichtiger Bestandteil des vom BMBF geförderten DESMEX Projektes, welches sich mit der Erkundung tiefer Erzlagerstätten (bis 1000 m Tiefe) mithilfe semi-airborne gestützter elektromagnetischer (EM) Messverfahren im Thüringer Raum beschäftigt. Die petrophysikalischen Informationen, insbesondere die elektrischen Eigenschaften, sind unabdingbar für die spätere dreidimensionale Modellierung der Ganglagerstätten auf Basis der semi-airborne EM Daten.

Proben aus dem Zieltiefenbereich können im Untersuchungsgebiet allerdings nicht mehr in-situ gewonnen werden. Aus diesem Grund wird vorwiegend an Referenzproben gearbeitet, die in geologischen Sammlungen zu finden sind. Diese Gesteinsproben sind zum Teil sehr klein und dürfen in der Regel auch nicht zerstört werden, so dass die ursprünglich für die elektrischen Messungen benötigte regelmäßige Probengeometrie (z.B. Zylinderform) meist nicht gewährleistet ist. Daher werden die elektrischen Eigenschaften direkt an den Handstücken gemessen. Mithilfe winziger Bohrungen (1 mm Durchmesser, 1 mm Tiefe) und gut leitfähigem Kleber werden die Elektroden am Gestein angebracht. Durch Verwendung mehrerer Elektroden (> 4) ist zudem eine Berücksichtigung der Anisotropie und Inhomogenität der Probe möglich. Die Bestimmung des Geometriefaktors erfolgt durch die Digitalisierung der Probengeometrie mittels eines 3-D Scanners und anschließender elektrischer FE-Modellierung. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen werden an ausgewählten Musterproben mit der bisher genutzten zylindrischen Messgeometrie verglichen. Um sicher zu stellen, dass auch die Induzierte Polarisation (IP) an den Handstücken reproduzierbar gemessen werden kann, werden bei Bedarf die Handstücke alternativ in eine mit definiertem unpolarisierbaren Sand gefüllten Wanne vergraben und gemessen. Damit kann der IP Effekt über die ganze Probe erfasst werden.

Ein petrophysikalisches Modell für die Quantifizierung von Nutzmineralgehalten in einer Greisenlagerstätte aus Bohrlochlogs

Müller-Huber E.¹, Kühn K.², Maurer M.³, Schmidt S.³, Börner F.¹

¹Technische Universität Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, Deutschland, ²G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH, Halsbrücke, Deutschland, ³BBi – Brunnen- und Bohrlochinspektion GmbH, Gommern, Deutschland

Die Quantifizierung der Lithologie ist nicht nur von Interesse für die Bewertung und Charakterisierung von Kohlenwasserstoffreservoirs, sondern auch in der Exploration von Erzlagerstätten. Eine Methode, um die Lithologie und Mineralisation zu untersuchen, ist die Analyse von Bohrkernen. Da das Gewinnen von Kernmaterial jedoch zeitaufwändig und kostspielig ist, stehen, wenn überhaupt, meist nur begrenzt Bohrkern zur Verfügung. Die Abschätzung der lithologischen Zusammensetzung und der Mineralisation mit Hilfe von Bohrlochlogs ist daher eine praktische und wirtschaftliche Alternative.

In der Kohlenwasserstoffexploration stehen kommerzielle Softwarepakete für die Abschätzung der Mineral- und Fluidzusammensetzung zur Verfügung. Diese basieren meist auf der Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen deren volumetrischen Konzentrationen und den gemessenen Bohrlochlogs, wie er für Messungen von Dichte, photoelektrischem Faktor, Neutronporosität oder der akustischer Laufzeit gegeben ist. Im Fall, dass die Zahl der Unbekannten größer ist, als die Anzahl gemessener Logs, sind für die Lösung des unterbestimmten Problems zusätzliche Randbedingungen notwendig. Weiterhin ist die Kenntnis der petrophysikalischen Eigenschaften „reiner“ Minerale und Fluide für die lineare Abschätzung notwendig. Die Konzentrationen werden schließlich durch iterative Minimierung der Differenz zwischen den abgeschätzten und gemessenen Logdaten ermittelt.

Um die Anwendbarkeit einer linearen Inversion von Bohrlochlogs zur Quantifizierung von Lithologie und Mineralisation in Erzlagerstätten zu testen, wurden an reinen Mineralen und Proben aus einer Li-Sn-W-Lagerstätte petrophysikalische und mineralogische Untersuchungen durchgeführt. Basierend auf Labormessungen von Dichte, elektrischem Widerstand, natürlicher Gammastrahlung, Kompressionswellengeschwindigkeit und magnetischer Suszeptibilität wurden die für die Mineralbestimmung in dieser Lagerstätte vielversprechendsten Parameter ausgewählt. Da vorerst nur die generelle Anwendbarkeit der Methode überprüft werden sollte, wurde als einfachster Fall die Anzahl der unbekannt Mineralen/Fluide gleich der Anzahl an einfließenden Daten gewählt. Die berechnete Zusammensetzung wurde schließlich mit den Ergebnissen der mineralogischen Analysen (RDA, ...) verglichen, wobei eine zumeist gute Übereinstimmung erzielt werden konnte. Dies stellt einen ersten Schritt zur Anwendung eines logbasierten volumetrischen Mineralmodells auf Erzlagerstätten dar.

Magnetotelluric exploration of the Kautokeino Greenstone Belt near Masi, Norway – preliminary data analysis

Schmidt L.M.¹, Becken M.¹, Gradmann S.²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Geological Survey of Norway, Trondheim, Norwegen

The Kautokeino greenstone belt is a ~1.8 Ga old ca. 200 km long formation in the Baltic Shield craton. Previous geophysical and geological investigations revealed that in the Masi area the formation comprises mainly of Proterozoic quartzite and amphibolite. The area is crossed by a postglacial fault zone, resulting in a high degree of rock fracturing. Greenstone Belts are typically accompanied by industrially important mineral deposits such as gold or copper. However, the mineral potential of the Kautokeino greenstone belt is yet unclear.

In summer 2015, we carried out 42 MT soundings along a 20 km long East-West profile across the greenstone belt near Masi. The measured periods range from 0.01-100 s. Initial data processing with robust estimation techniques yielded good-quality MT transfer functions for most sites. The data cover an extremely broad variation in apparent resistivities from 100000 ohm-m to 0.01 ohm-m, exhibit phases out of the quadrant at many stations and indicate strong current channeling effects. Additionally, we may have to consider complications due to source effects in high-latitude regions. In order to measure the amount of distortion in the data, a phase tensor analysis was performed. However, in the case of current channeling, the phase tensor cannot be determined. To investigate the data characteristics further, we apply multi-variate processing techniques (principal components analysis). In our contribution, we will discuss the data and their characteristics and present preliminary modeling results.

Advanced field course 2015: Report on MT measurements at the Karasjok Greenstone Belt in northern Norway

Harpering D.¹, Helfer K.¹, Kolhey P.¹, Lehwald L.¹, Mann R.¹, Riedel M.¹, Schneider S.¹, Seitzer B.¹, Ueding S.¹, Schmalzl J.¹, Gradmann S.², Becken M.¹

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Geological Survey of Norway, Trondheim, Norwegen

The Karasjok Greenstone Belt is part of a Fennoscandian Paleoproterozoic greenstone belt that extends into northern Norway. Greenstone belts are often associated with ore deposits. To investigate the internal electrical conductivity structure of the greenstone belt, we conducted magnetotelluric profile measurements at 37 sites in the framework of a student field trip. Here, we describe the results from these measurements, which provided the first true depth data from this region. Previous geological studies were restricted by the lack of outcrop and potential field studies by poor depth constraints. The profile has a length of around 15 km roughly aligned in east-west direction. Dimensionality analysis of the magnetotelluric phase tensor shows a clear 3D behaviour of the measured data. Due to the complex properties of the data, a 3D inversion is applied only for a short period range in order to obtain preliminary electrical resistivity models for the upper few kilometers of the greenstone belt. The 3D electrical resistivity estimated from the profile data reveals two highly conductive bodies north and south of the profile in the eastern part of the greenstone belt at about 4 km depth. In the west, we find a highly resistive area, which is separated by a relatively sharp interface from the less resistive part in the east. Based on these results, we suggest that the more resistive part in the west can be explained by the Storra Guorpmet structure consisting of gabbro, whereas the eastern, more conductive part could correspond to the Gimešvárri and Skierrevárri structure consisting mainly of greenstone and olivine. A connection between the highly conductive bodies without a thorough knowledge of the geology cannot be done, because of the large uncertainties in 3D inversions. Therefore these results need to be interpreted with great caution.

Endlagerwissen, Endlagersuche, Endlagerforschung: wohltuende Entkopplung

Eutsch D.

Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Göttingen, Deutschland

Am Stammtisch spottet man gern (*Q*: Wie lange dürfen wir Sr-Sorption am Kaolinit noch erforschen? *A*: Ein Vierteljahrhundert habt Ihr schon, 4 Jahre dürft Ihr noch, bis sich der Forschungsetat halbiert. Und: Gut, dass nun Gott zuständig ist! Katholiken goutieren Salz, Protestanten rufen *Ton*). Aber die Entkopplung zwischen Endlagersuche und -wissen erweist sich als fruchtbar für die Geowissenschaft. Denn Kriterien für die *Besteignung* eines Standorts wird die Wissenschaft nie liefern, sondern nur für Eignung schlechthin (Bestes bleibt Theologiesache). Dabei ist es keine triviale Aufgabe, mit Eignungskriterien jenes klare Bild zu zeichnen, das Teile der Öffentlichkeit/Behörden verlangen. Dass dies dennoch gelingen kann, zeigen woanders die Dialogergebnisse [dialog-erdgasundfrac.de], und im Endlagerfach selbst die vorliegenden Erkenntnisse über Salzformationen (wohl zum Unmut des Steuerzahlers: Was denn ist da noch zu forschen?). Ton ist allerdings ein komplexeres Objekt, da selbst als Strömungs-/Transportmedium, Ionen-/Klüfte-/Partikelfabrik wirksam, in nicht so wohlsortierten Raumzeitskalen. Was für Endlager im Salz die Salzplastizität tut, soll im Ton die Verheilung induzierter Klüfte leisten; ob überhaupt, wie gut, wie schnell ist in der Tat (mehr als bei Salzformationen) standortabhängig, und die maßgebenden Prozesse nicht so einfach vorhersagbar - Prozesse übrigens, für die bei anderen 'tonhaltigen' Georeservoiraufgaben Prognosefähigkeit noch dringender benötigt wird, als zur Endlagerfindung. Das Poster erinnert in einem historisch-unsystematischen Streifzug vier Meilensteine einer nachhaltigen Befruchtung der Geowissenschaft (in Hydrogeologie, Hydrometrie, Geothermie) durch die Endlagerforschung, und umreißt zwei weitere, die die Erforschung gekoppelter THMCB-Prozesse am Tonstein liefern kann, in Anlehnung an das von T. Schäfer (2012) lancierte Programm ('Anthropogen-induzierte Gradienten in geringpermeablem Gestein'), mit speziellem Mehrwert für die Erschließung und Bewirtschaftung nicht-/fossiler Energieressourcen und tiefer Untergrundräume. Da das hydrogeologische Methodenarsenal (Hydraulik-/Tracertests) kaum im systemrelevanten Maßstab (von Störungszone bis Schutzgut etc) anwendbar, und für Ortungsaufgaben oder ein Realzeitmonitoring der Bildung/Alteration von Klüften ohnehin ungeeignet ist, kommt speziellen geophysikalischen Ansätzen wiederum eine vierfache Schlüsselrolle zu: bei Standortsuche, Prozessidentifikation und -ortung, Systemmonitoring.

2-I Exploration and Monitoring

2-I Exploration and Monitoring

2-I.001

Automatische kontinuierliche Detektion schwacher, bergbauinduzierter Ereignisse mit Hilfe von Musterereignissen

Fischer K.D., Wlecklik D., Friederich W.

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

Die Nutzung des Untergrunds durch Bergbau, Geothermie oder der Kohlenwasserstoffindustrie führt regelmäßig zu seismischen Erschütterungen der Umgebung. Durch die flache Herdtiefe und die oftmals dichte Besiedlung der Umgebung werden diese anthropogenen Erdbeben häufig durch den Menschen wahrgenommen und verursachen in seltenen Fällen Sachschäden. Zur Information der Anwohner und zur Klärung von Schadensfällen ist daher eine Überwachung induzierter Erdbeben notwendig und zunehmend durch behördliche Auflagen gefordert. Eine zuverlässige Detektion und Lokalisierung kleiner seismischer Erschütterungen erfordert in der Regel jedoch ein dichtes, lokales Stationsnetz, dass sowohl in der Anschaffung als auch im laufenden Betrieb zu erheblichen Kosten führen kann. Von Ende 2014 bis Anfang 2015 wurde im Bereich des Steinkohlenbergwerks Prosper-Haniel (Bottrop) ein lokales seismisches Netz aus 12 Stationen aufgebaut. Dieses Netz konnte Erdbeben ab Magnitude 0.5 zuverlässig erfassen und lokalisieren. Aus den Wellenformen der detektierten Ereignisse eines Zeitraums von 4 Wochen wurden mit Hilfe einer Clusteranalyse Musterereignisse einer permanenten Station gewonnen. Mit Hilfe dieser Musterereignisse ist es möglich, weitere schwache seismische Erschütterungen zu detektieren und einzelnen Abbaufeldern zuzuordnen. Diese Musterereignisse wurden auch für den im MAGS Projekt entwickelten Detektor der seismologischen Software Seiscomp3 zur automatischen, kontinuierlichen Überwachung des Bergwerks Prosper-Haniel genutzt. Die damit gewonnenen Ergebnisse einer einzelnen permanenten Station werden mit den Ergebnissen der Clusteranalyse verglichen und hinsichtlich der Anzahl, Magnitude und Lokalisierung der Ereignisse bewertet.

Die Nachfolge von SiMoN: SiMoN+

Kracht M.¹, Homuth B.¹, Rümpker G.²

¹Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden, Deutschland, ²Goethe-Universität Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland

Bei dem „Verbundprojekt SiMoN“ – Seismisches Monitoring im Zusammenhang mit der geothermischen Nutzung des Nördlichen Oberrheingraben, das von der Goethe Universität Frankfurt im Verbund mit dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) durchgeführt wurde, ging es um das Verständnis natürlicher Seismizität im Bereich des nördlichen Oberrheingrabens. Das Projekt wurde bis 30. September 2015 vom BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) gefördert.

Als Verwertungsoption aus dem Vorläuferprojekt werden ein verändertes seismische Netz und die Strukturen im Rahmen einer Kooperationsvereinbarung seit 1. Dezember 2015 gemeinsam von der Goethe Universität Frankfurt und dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie als SiMoN+ (Seismisches Monitoring im Zusammenhang mit der geothermischen Nutzung des Nördlichen Oberrheingraben – plus) betrieben.

Im Projekt SiMoN+ geht es unter anderem um die Überwachung und Analyse induzierter Seismizität während der verschiedenen Phasen bei Tiefengeothermieprojekten (Bohrung, Reservoirtests, Betrieb). Die induzierte Seismizität soll dabei möglichst gering gehalten werden. Detaillierte Kenntnisse der natürlichen Seismizität bilden die Voraussetzung um Rückschlüsse auf aktive Störungszonen, ihre Bewegungsmechanismen und Spannungsverhältnisse im Untergrund zu ziehen. Diese Informationen sind notwendig zur Abschätzung der möglichen induzierten Seismizität.

Ergänzend zu den obligatorischen, von der Bergbehörde geforderten seismischen Monitoring-Systemen soll im Rahmen von SiMoN+ eine unabhängige seismische Überwachung von Tiefengeothermieprojekten im nördlichen Oberrheingraben betrieben werden. SiMoN+ soll auch die Datengrundlage für die Analyse der geologischen, tektonischen und hydraulischen Randbedingungen sowie deren Korrelation mit den grundlegenden Auslösemechanismen der Seismizität liefern. Das Projekt wird vom HMUKLV (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) gefördert.

Ein wichtiges Element bei dem Projekt SiMoN+ ist die Bereitstellung der gewonnenen Daten für die Öffentlichkeit. Dabei werden seit Ende 2012 Tagesseismogramme, die alle 2 Minuten aktualisiert werden, der Öffentlichkeit weiterhin zur Verfügung gestellt und zwar unter <http://www.hlnug.de/themen/geologie/erdbeben.html>.

Seismische Echtzeitüberwachung der Geothermiekraftwerke Insheim und Landau

Brüstle A.¹, Vasterling M.², Schmidt B.¹, Wegler U.²

¹Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, Mainz, Deutschland, ²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

Im Rahmen des MAGS2-Projekts wird die im MAGS-Projekt begonnene seismologische Datenerfassung in der Region der beiden Geothermiekraftwerke Landau und Insheim (mittlerer Oberrheingraben) fortgeführt. Hierfür wird ein lokales seismisches Netzwerk, bestehend aus 14 Oberflächen-Stationen, von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) betrieben. Auf Grund des schlechten Signal-zu-Rausch-Verhältnisses durch die starke Besiedlung und die unverfestigte Sedimentauflage im Bereich der Grabenstruktur, wird das Netzwerk durch 4 Bohrloch-Stationen in Tiefen von etwa 100-300m ergänzt. Diese werden vom Landeserdbebendienst Rheinland-Pfalz (LER), z.T. in Kooperation mit industriellen Partnern, betrieben. Die Ereignisdetektion erfolgt in Echtzeit mit Hilfe des im MAGS-Projekt entwickelten Kreuzkorrelations-Detektors, der in die Auswerte-Software SeisComp3 integriert wurde. Durch die geringe Ausdehnung des Netzes von weniger als 20 km ist die übliche Bestimmung der Lokalmagnitude nicht möglich und es wird deshalb eine Relativmagnitude aus dem Amplitudenverhältnis der beobachteten zu den größeren Ereignissen mit bekannter Lokalmagnitude bestimmt. Die manuelle Ereignis-Auswertung und Ereignis-Lokalisierung erfolgt mit Hilfe von SeisComp3 und NonLinLoc zeitnah unter Verwendung von lokalen Geschwindigkeitsmodellen. Für das jeweilige 1D-Geschwindigkeitsmodell wurden mit Hilfe von VELEST Stationskorrekturen bestimmt, um Laufzeitabweichungen auf Grund der unterschiedlichen Sedimentmächtigkeiten im Bereich des Landauer Schollenfeldes zu berücksichtigen. So wurden seit dem Beginn des MAGS2-Projekts im Oktober 2013 mehr als 350 Ereignisse automatisch detektiert, die als geothermisch induzierte Ereignisse klassifiziert wurden. Die manuelle Auswertung ergab, dass 73% aller bekannten Ereignisse (Detektionen der BGR und industrieller Betreiber) im Bereich Landau und Insheim mit dem Kreuzkorrelations-Detektor identifiziert werden konnten. Ereignisse, die nicht automatisch detektiert wurden, waren meist zu schwach, um diese in den aufgezeichneten Wellenformdaten mehrerer Seismometer des Stationsnetzes identifizieren zu können und waren somit nicht lokalisierbar. Die ausgewerteten Ereignisse lassen sich eindeutig einem der beiden Reservoirs zuordnen, da deren seismischen Wolken deutlich voneinander getrennt sind.

The effects of attenuation correction on source parameters of induced microearthquakes

Fielitz D.¹, Daniel G.², Rosca A.², Bartzeko A.³, Wegler U.¹

¹Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland, ²Magnitude, Saint Tulle, Frankreich, ³Baker Hughes, Celle, Deutschland

We quantify the effects of seismic attenuation correction and site amplification correction on source parameter estimations of microearthquakes. For this purpose, we introduce a new time domain approach consisting of an iterative inversion of bandpass-filtered seismogram envelopes to independently derive estimates of structural parameters (scattering and intrinsic attenuation, Q_s^{-1} and Q_i^{-1}), the source energy spectrum and site amplification factors R_i . The general intention of the iterative inversion is to use results from a previous iteration step to constrain the model for the subsequent step. In particular, we use power-law fits for Q_s^{-1} and Q_i^{-1} , obtained during the initial inversion step, to estimate the source-energy spectrum over the entire frequency range and primarily in frequency bands, where the initial inversion was not successful. In order to evaluate the results of envelope inversion and to identify trade-offs between source and structural parameters we additionally calculate source parameters in the frequency domain by inverting individual displacement spectra. In summary, we compare three different approaches: (1) envelope inversion, (2) spectral inversion with constant Q (inverse sum of Q_s^{-1} and Q_i^{-1}) and no site correction R_i , and (3) spectral inversion corrected with frequency-dependent Q and individual site correction R_i for each station.

We investigated source parameters of 8 microearthquakes in the magnitude range from 0.9 to 1.5 which occurred during the hydraulic stimulation treatment at the KTB in 2000. Induced seismicity was recorded with a temporal seismic network, consisting of 20 – 30 available stations depending on the noise conditions, at epicentral distances < 20 km. From the inversions we obtain estimates of seismic moment M_0 ranging from 3×10^{10} to 2.5×10^{11} Nm and estimates of corner frequencies f_c ranging from 15 to 80 Hz. Furthermore, we observe a significant trade-off between attenuation Q and corner frequency f_c . By using approach (3) the corner frequency is reduced by up to 80 % as compared to the constant Q analysis in (2). Including frequency-dependent attenuation and site amplification correction also reduced scatter in seismic moment and corner frequency estimates and improved the general fit with estimates derived from envelope inversion. Our results indicate that the attenuation model has a significant influence on corner frequency estimates and related parameters, e.g. source radius and radiated energy.

Seismotectonics of Rudbar Fault (Northern Iran) using relocation of events

Jozi Najafabadi A.^{1,2}, Ghods A.²

¹Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland, ²Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran, Islamische Republik

The Rudbar earthquake of 1990 June 20 is the largest instrumental recorded earthquake in the Alborz mountain belt in the North of Iran. The surface rupture was estimated by geological observations. The rupture showed about 80 km of left-lateral strike-slip motion on an almost vertical fault with three segments. The ISC epicenter of earthquake is located in 15 km north of surface rupture. The epicenters of aftershocks are distributed in a wide area which is in inconsistency with the sub-vertical strike-slip causative fault. To have an insight into the seismotectonics of the region, a precise assessment of seismicity is required. we located the events in the region during 14 months using a local network. Afterwards, we added previous local, regional and teleseismic events located by others to the catalogue and then applied multiple-event relocation analysis based on the hypocentroidal decomposition (HDC) algorithm of Jordan & Sverdrup (1981). The obtained results have resolved some of the inconsistencies in the region.

3-A Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-A Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-A.001

Can compaction, caused by melt extraction and intrusion, generate tectonically effective stresses in the lithosphere?

Wallner H., Schmeling H.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

Aim of our study is to deepen understanding the role of melt processes while the lithospheric evolution by means of numerical modeling. In the sense of plate tectonics, on the one hand, stresses are transferred by stiff lithospheric plates, on the other, lithosphere is deformed, broken, or modified in various ways. Melting often plays an important role but is not easy to model numerically due to all the interactions of physics, phase changes, non-linearities, time scales, petrology, heterogeneities and chemical reactions.

Here we restrict on a thermo-mechanical model of visco-plastic two phase flow with partial melting. Viscosity is temperature-, stress- and depth-dependent. Freezing and melting are determined by a simplified linear binary solid solution model. The fast melt transport through and into the lithosphere, acting on a short time scale, is replaced by melt extraction and intrusion in a given emplacement level. Numerical approximation is done in 2D with Finite Differences with markers in an Eulerian formulation.

A scenario of continental rifting serves for a model of lithosphere above asthenosphere under extensional conditions.

An anomaly of increased temperature at the bottom produces a low fraction of melt initially in the asthenosphere.

Above a porosity limit melt is extracted and leads to compaction at its origin which induces under-pressure attracting ambient melt and contracting the depleted matrix. In a higher, colder lithospheric level the emplaced melt extends the matrix, immediately freezes; an increase of enrichment and heating takes place. The dilatation of the rock matrix generates relative high compaction pressures if it's viscosity is high as in the uppermost mantle lithosphere. Local and temporary varying stresses provide deviatoric components which sometimes may be the origin of tectonic activity in nature.

Divergence terms of the full compaction formulation, responsible for viscous stress, are tested and discussed. Quality and stability of the numerical solution for the irrotational potential is challenging. The behavior is not intuitively comprehensible and under discussion.

Detektion eines entwässernden Gangnetzwerkes im oberen Mantel der subduzierenden Nazca-Platte

Bloch W.¹, Kummerow J.¹, John T.¹, Wigger P.¹, Salazar P.^{2,3}, Shapiro S.A.¹

¹Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften, Berlin, Deutschland, ²Universidad Catolica del Norte, Departamento de Ciencias Geologicas, Antofagasta, Chile, ³National Research Center for Integrated Natural Disasters Management (CIGIDEN), Santiago, Chile

Subduktionszonen weltweit zeigen das gemeinsame Muster einer Doppelten Seismischen Zone (DSZ). Seismische Ereignisse treten in diesen entlang von zwei deutlich voneinander getrennten, Slab-parallelen Bändern auf. Das obere Band befindet sich an der Kontaktfläche zwischen der ozeanischen und der kontinentalen Lithosphäre und das untere fünf bis 30 Kilometer unterhalb im ozeanischen Mantel. Die Erdbebenentstehung im oberen Band kann durch verschiedene Modelle wie *Thermal Runaway* oder *Dehydration Embrittlement* hinreichend erklärt werden. Modelle für das untere Band beruhen dahingegen auf der noch unbelegten Annahme, dass der ozeanische Mantel in Tiefen bis zu 30 Kilometer unterhalb des Meeresbodens hydratisiert ist. Ausgehend von dieser Annahme wird argumentiert, dass im unteren seismischen Band Mineralentwässerungsreaktionen stattfinden, die über eine Erhöhung des Fluiddruckes oder die Aktivierung von vordefinierten Schwächezonen das Auftreten seismischer Ereignisse befördern.

Das Vorhandensein eines freien Fluides hat deutliche Auswirkungen auf die petrophysikalischen Eigenschaften eines Gesteins. Insbesondere das seismische P- zu S-Wellen-Geschwindigkeitsverhältnis (V_p/V_s) kann sich bei Vorhandensein einer freien Fluidphase auf Werte erhöhen, die fluidfreie Lithologien nicht aufweisen. In einem fluidfreien ozeanischen Mantel kann kein höherer Wert als 1.8 erreicht werden.

In dieser Studie bestimmen wir V_p/V_s in der unteren seismischen Zone aus lokalen Erdbebendaten mit 2.10 ± 0.09 . Dies impliziert, dass ein fluidgefüllter Porenraum im oberen Mantel der subduzierenden Nazca-Platte vorhanden sein muss. Aus poroelastischen Betrachtungen heraus sind wir in der Lage, die absolute Porosität in Verbindung mit der Porenraumgeometrie einzugrenzen. Es zeigt sich, dass sich der bestimmte V_p/V_s -Wert am besten durch geringe (etwa 0.1%), gangartige (ungefähr flächige) Porosität erklären lässt. Bei dieser Geometrie, erreicht der Porenraum gerade den kritischen Volumenanteil, ab dem eine weitreichende Interkonnektivität gegeben ist. Er ist also in der Lage, das System zu entwässern. Wir können weiterhin zeigen, dass sich ein solcher Porenraum bei Abfall des Fluiddruckes auf einen Wert unterhalb des lithostatischen Druckes sofort schließt. Diese Ergebnisse stehen in sehr gutem Einklang mit Labor- und Geländebefunden. Sie implizieren weiterhin, dass der obere Mantel der subduzierenden Nazca-Platte bis in 30 Kilometer Tiefe unterhalb des Meeresbodens hydratisiert sein muss.

3D Stress Modelling of a Neotectonically Active Area in Northwestern Norway

Gradmann S., Keiding M., Olesen O., Maystrenko Y.
Geological Survey of Norway, Trondheim, Norwegen

The Nordland area in NW Norway is one of the tectonically most active areas in Fennoscandia. It exhibits patterns of extension, which are in contradiction to the first-order regional stress pattern which reflects compression from ridge-push. The regional stress field stems from the interaction of ridge push and GIA (glacial isostatic adjustment); the local stress field mainly results from gravitational stresses as well as the flexural effects of sediment erosion and re-deposition. Whereas the first three effects are fairly well constrained, the latter is only poorly known and is the focus of this study.

A number of data sets are collected within the project: Seismicity is monitored by a 2-year local seismic network and the stress regime at depth is derived from fault plane solutions. Surface deformation is recorded by a dense GPS network and DInSAR satellites. In-situ stresses are measured in a couple of relevant boreholes.

We develop 3D finite element numerical models of crustal scale, using existing geometric constraints from previous geophysical studies. Internal body forces (e.g. variations in topography) already yield significant deviatoric stresses, which are often omitted in stress models. We apply the far-field stress fields (GIA, ridge-push, sediment redistribution) as effective force boundary conditions to the sides or base of the model. This way, we can account for all stress sources at once, but can also vary them separately in order to examine their relative contributions to the observed stress and strain rate fields.

We develop a best-fit model using the different seismological and geodetic data sets collected and compiled within the project. Effects of lateral density changes and pre-existing weakness zones on stress localization are studied in connection to observed clusters of enhanced seismic activity.

Modes of extension and oceanization at magma-poor margins: an example from the Brazilian-African margins

Perez-Gussinye M.¹, Araujo M.², Ros E.³, Andres-Martinez M.¹, P. Morgan J.³

¹Universität Bremen, MARUM - Zentrum für Marine Umweltwissenschaften und Fachbereich Geowissenschaften, Bremen, Deutschland, ²CENPES Research Centre, Petrobras, Rio de Janeiro, Brasilien, ³Royal Holloway, Department Earth Sciences, Egham, Vereinigtes Königreich

Along the margins of the South Atlantic from the Camamu/Gabao to the North Santos/South Kwanza conjugate margins, rift architecture changes considerably. On the Brazilian side, from North to South, the margin width increases, syn-rift subsidence decreases and the degree of conjugate margin asymmetry varies. Here we suggest that these changes in architectural styles can be explained with a combination of three well known extensional modes: core-complex, wide and narrow rift modes with a fourth one, sequential faulting mode, which arises at the last stages of extension and can explain the formation of conjugate margin asymmetry. The prevalence of any of these modes during extension depends on the strength of the lower crust at the start of rifting and on extension velocity and determines the overall margin architecture. Melting and serpentinisation are also strongly linked with lower crustal rheology: weaker rheologies lead to less coupling between lithospheric layers and a slower mantle uplift, hence result in less melting and serpentinisation than when strong rheologies are present in the lower crust. Here we show how likely changes in crustal strength and lithospheric configuration from the northern San Francisco craton to the southern Ribeira belt, may have led to the rich variety in extensional and oceanization styles observed in this margin sector.

SO244 GeoSEA: Offshore Acoustic Monitoring of the northern Chilean margin

Kopp H.^{1,2}, Lange D.¹, Petersen F.^{1,2}, Hannemann K.¹, Contreras-Reyes E.³

¹GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel, Deutschland, ²Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland, ³Universidad de Chile, Santiago, Chile

The aim of RV SONNE cruise SO244 (31. Oct. - 13 Dec.) was to install a subduction zone acoustic monitoring system (GeoSEA) on the marine forearc and outer rise of the South American subduction system around 21°S. This segment of the Nazca-South American plate boundary has last ruptured in an earthquake in 1877 and was identified as a seismic gap prior to the 2014 Iquique/Pisagua earthquake (Mw=8.1). The southern portion of the segment remains unbroken by a recent earthquake. Seafloor geodetic measurements provide a way to monitor crustal deformation at high resolution comparable to the satellite-based GPS technique upon which terrestrial geodesy is largely based. The GeoSEA Network consists of autonomous seafloor transponders installed on 4 m high tripods, which were lowered to the seabed on the deep-sea cable of RV SONNE. The transponders within an array intercommunicate via acoustic signals for a period of up to 3.5 years. An additional component of the network is GeoSURF, a self-steering autonomous surface vehicle (Wave Glider), which monitors system health and is capable to upload the seafloor data to the sea surface and to transfer it via satellite. We have chosen three areas on the middle and lower slope and the outer rise for the set-up of three sub-arrays. The array in Area 1 on the middle continental slope consists of 8 transponders located in pairs on four topographic ridges, which are surface expressions of faults at depth. Area 2 is located on the outer rise seaward of the trench where 5 stations monitor extension across plate-bending related normal faults. The third area is located at water depth >5000 m on the lower continental slope where an array of 10 stations measures diffuse strain build-up. Data from all networks and all stations were successfully uploaded to GeoSURF and/or a high performance USBL transceiver lowered into the water from RV SONNE. The seabed installation of a total of 23 transponders records pressure, temperature, water sound velocity, salinity, and baselines between stations. Baselines cover distances of up to 2600 m with a precision of ±2 mm.

3-B Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-B Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-B.001

A source model for the 2014/2015 seismic sequence accompanying the Bárðarbunga (Iceland) caldera collapse

Heimann S.¹, **Dahm T.**¹, Cesca S.¹, Hensch M.²

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.1 Erdbeben- und Vulkanphysik, Potsdam, Deutschland, ²Icelandic Meteorological Office, Reykjavik, Island

The 2014-2015 Bárðarbunga, Iceland, caldera collapse was accompanied by a notable seismic sequence, with more than 70 $M > 5$ events recorded between summer 2014 and spring 2015. Thanks to the exceptional monitoring conditions, including seismic stations at local and regional distances, we were able to perform an accurate seismological study of the earthquake source processes. We perform full moment tensor (MT) inversion for 77 $M > 5$ events, and combine our analysis with a waveform correlation classification, in order to infer rupture processes for weaker events. Our results reveal that seismic events cluster beneath the northern and southern caldera rims and are characterized by the superposition of a common near-vertical negative compensated linear vector dipole (CLVD) and a normal faulting component, with different orientation. The strike of the double couple (DC) at the southern cluster corresponds to the orientation of the southern rim. However, the DC component of the mechanisms in the northern cluster is incompatible with the geometry of the northern caldera rim, and is thus of difficult interpretation. We use a new moment tensor decomposition, to demonstrate that standard moment tensor decomposition may be misleading for asymmetric collapses. We propose here instead a simple mechanical model to explain all seismological observations: an initial failure along a steep fault is followed by a collapse and a deformation response of a deeper magmatic reservoir. Shear faulting occurs as thrust mechanism along an outward dipping fault (northern rim) and as normal faulting along an inward dipping fault (southern rim). The deeper deformation is modeled as a CLVD. A standard moment tensor decomposition is unable to explain the true geometry of the rupture process. Our solutions indicate that the magmatic reservoir beneath the caldera has a small compressibility.

The Structure of the Mantle Lithosphere in Central Europe from S-Receiver Functions

Kind R.¹, Handy M.², Yuan X.¹, Meier T.³

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Freie Universität Berlin, Fachrichtung Geophysik, Berlin, Deutschland, ³Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Kiel, Deutschland

Data from about 650 permanent and temporary seismic broadband stations accessed from the open EIDA Archive yielded about 49.000 S-receiver functions. Selection criteria were a signal-to-noise ratio of at least two of the S signal on the SV component, low noise on the P component before the S arrival time and a relatively good approximation of the delta impulse on the SV component after deconvolution. All traces were checked visually. Smooth images of major discontinuities in the upper mantle were obtained by applying an eight-seconds low-pass filter. Observations of the Moho and the discontinuity at 410 km depth serve as a check of the quality of the analysis.

We observe two widespread negative (i.e., downward reduction in velocity) discontinuities. The shallower one in about the 50 km to 150 km depth interval occurs everywhere in the study area and is interpreted as the lithosphere-asthenosphere boundary (LAB) in Phanerozoic Europe. According to similar observations in the north American craton, it is interpreted as mid-lithospheric discontinuity (MLD) in the east European craton (EEC). The second negative discontinuity seen beneath the EEC, the Trans-European Suture Zone, the Bohemian Massif, and parts of the Pannonian Basin lies at a depth interval of about 150 km to 300 km. It is interpreted as cratonic LAB reaching well the S and E of the Tornquist-Teisseyre Zone, which is considered the boundary of the EEC at the shallower levels. The deeper cratonic LAB has anomalous topography: Below the Pannonian Basin it shallows to c. 150 km but deepens to c. 300 km below the Bohemian Massif. There is a jump in the cratonic LAB along the northern edge of the Bohemian Massif, where the LAB suddenly changes depth from 200 km in the north to 300 km in the south. We tentatively interpret these observations as a result of overthrusting the EEC mantle lithosphere during the Variscan orogeny, which also lead to partly delimitation of the EEC mantle lithosphere deep underneath the Bohemian Massif.

The subduction below the Alps seems to be confined to about 150-200 km depth, consistent with the previously published results of P-wave tomography. We confirm the south-east subduction direction below the central Alps, but the data below the eastern Alps are less clear concerning subduction direction. We see also indications of northeastward subduction below the Dinarides to about 200 km depth in an area where previous P-wave tomography indicates a slab gap.

Seismotectonics of the Pamir and the 1911/2015 M7 Sarez earthquake doublet

Schurr B.¹, Kulikova G.², Krüger F.², Metzger S.³, Zhang Y.⁴, Ratschbacher L.⁵, Yuan X.³

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 4.1 Dynamik der Lithosphäre, Potsdam, Deutschland, ²Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, ³Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ⁴Peking University, Peking, China, Volksrepublik, ⁵Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Freiberg, Deutschland

The Pamir, located northwest of Tibet, is part of the India-Asia collision zone. Pamir crust accommodated a similar amount of shortening as Tibet, albeit over a smaller distance. Currently, it exhibits some of the highest strain rates in Asia and a deep reaching continental subduction zone. We characterize the deformation of the seismogenic crust of the Pamir based on a large number of earthquake hypocentres and source mechanisms from temporary seismic network data. We also produced a new and comprehensive neotectonic map of the Pamir, which we relate to the seismic deformation. Along Pamir's northern margin, we find thrust and dextral strike-slip faulting along west to northwest trending planes, indicating slip partitioning between northward thrusting and westward extrusion. An active, north-northeast trending, sinistral transtensional fault system dissects the Pamir's interior, connecting the lakes Karakul and Sarez. East of this lineament, the Pamir moves northward en bloc, showing little seismicity and internal deformation. The western Pamir exhibits a higher amount of seismic deformation; sinistral strike-slip faulting on northeast trending or conjugate planes and normal faulting indicate east-west extension and north-south shortening. We explain this deformation pattern by the gravitational collapse of the western Pamir Plateau margin and the lateral extrusion of Pamir rocks into the Tajik-Afghan depression.

The largest instrumentally recorded earthquake in the Pamir occurred in February 1911. It caused one of the largest rock-slides on Earth, damming and forming the over 500 m deep Lake Sarez. We have collected, scanned and digitized analogue seismic records from 13 stations worldwide to relocate its hypocenter and determine its magnitude (mB 7.3, Mw 7.3 and Ms 7.7). The good quality of the digitized waveforms allowed their modeling, revealing a NE-striking sinistral strike-slip focal mechanism in accordance with current regional tectonics. On 7.12.2015 another Mw 7.2 shallow earthquake struck the central Pamir plateau. Location, size and mechanism seem to be very similar to the 1911 event. Possibly both ruptured on the Suarez-Karakul fault system, a relatively young structure in Central Asian tectonics. Activation of the Sarez-Karakul fault system may ultimately be caused by the NEward propagation of India's western transform margin into Asia, thereby linking deformation in the Pamir all the way to the Chaman fault in the south in Afghanistan.

Imaging the deep structure of the northeastern and eastern margins of the Tibet plateau

Mechie J.¹, Qian H.², Karplus M.³, Feng M.⁴, Li H.², Zhao W.⁵

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Chinese Academy of Geological Sciences, State Key Laboratory of Continental Tectonics and Dynamics, Institute of Geology, Beijing, China, Volksrepublik, ³University of Texas at El Paso, Department of Geological Sciences, El Paso, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁴Chinese Academy of Geological Sciences, Institute of Geomechanics, Beijing, China, Volksrepublik, ⁵Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, China, Volksrepublik

Within the framework of the International Deep Profiling of Tibet and the Himalaya (INDEPTH) project, two experiments examined the deep structure of the northeastern margin of the Tibet plateau, including the Songpan-Ganzi terrane, Kunlun Shan (mountains), Qaidam basin and Qilian Shan. Major results from these two experiments include the recognition of Moho overlap beneath the southern Qaidam basin and the top of the currently subducting Asian lithospheric mantle beneath the Qilian Shan, Qaidam basin and high Tibetan plateau. The crustal material between the Moho overlap beneath the southern 50 km of the Qaidam basin may represent Songpan-Ganzi lower crust underthrusting or flowing northward beneath the Qaidam basin Moho. This process is facilitated by the underthrusting and subduction of Asian lithospheric mantle beneath north Tibet. As the frontal thrust and mantle suture at the northeastern margin of the plateau move northwards through time, the Songpan-Ganzi lower crust can flow out from beneath the high plateau. Thus the high Tibetan plateau may be thickening northward into south Qaidam as its weak, thickened lower crust is injected beneath stronger Qaidam crust. From June 2012 to October 2013, the Chinese Academy of Geological Sciences (CAGS) together with the Deutsches GeoForschungs-Zentrum Potsdam (GFZ) operated an array of 80 broadband seismic stations across the eastern margin of the Tibet plateau in a 300 km by 150 km area straddling the Longmenshan fault zone around the epicentre of the Wenchuan earthquake. From a P receiver function analysis of the data, the Moho occurs at 40-50 km depth in the SE below the Sichuan basin and deepens to the NW to 55-65 km depth under the Songpan-Ganzi terrane in the high Tibetan plateau. Along the trend of the Longmenshan fault zone from NE to SW the change in Moho depths exhibits a variable character and as in the case of the northeastern margin of the plateau there are, in some places, indications of Moho overlap.

Seismische Streuung und Dämpfung am Vulkan Ätna

Zieger T.¹, Sens-Schönfelder C.², Ritter J.R.R.¹, Lühr, B.³

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruhe, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.4 Seismologie, Potsdam, Deutschland,

³Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.1 Erdbeben- und Vulkanphysik, Potsdam, Deutschland

Seit Aki und Chouet (1975) die Herkunft von Kodawellen näher untersuchten, spielen Beobachtungen und Messungen dieser Wellen eine immer größer werdende Rolle in der Analyse von Dämpfungseigenschaften. Sie zeigten, dass die Kodaanregung stark von der vorherrschenden Struktur des Gesteinskörpers abhängt. In diesem Vortrag werden Ergebnisse über die räumlichen Unterschiede von kleinräumigen Heterogenitäten unterhalb des Ätna Vulkans aus der Analyse von lokalen Erdbeben- und Airgun-Schüssen gezeigt, die während der aktiven Phase des TOMO-ETNA Projektes im Juli 2014 generiert wurden. Die Peak-delay-Zeit Analyse, welche als Verzögerungszeit zwischen dem Einsatz der direkten S-Welle und der ankommenden Maximalamplitude definiert ist, drückt die Stärke von Streuung entlang des seismischen Strahlweges aus. Aufgrund der veränderten Abstrahlcharakteristik von Airgun-Schüssen im Vergleich zu Erdbeben wurde weiterhin eine neue Methodik entwickelt, welche das Energieverhältnis aus verschiedenen Zeitfenstern der P-Welle als direktes Maß für die Abschätzung von seismischer Streuung im Untergrund verwendet. Die Ergebnisse wurden in Abhängigkeit des Rückazimut auf die Stationslokationen projiziert, woraus sich ein Abbild des Untergrunds am Ätna ergibt. Dabei zeigten sich starke Inhomogenitäten im Osten des Vulkans bis an die östliche Küste Siziliens. Des Weiteren wurden mit Hilfe der entwickelten Methodik lokale Erdbeben- und Airgun-Schüsse in der Region untersucht, um einen Vergleich aus aktiven und passiven Quellen zu erhalten und die Plausibilität der Ergebnisse der Airgun Analyse zu überprüfen. Die Kodabetrachtung von lokalen Erdbeben und aktiven Quellen wie etwa Airgun-Schüssen ist ein wichtiges seismisches Instrument, um zufällig verteilte kleinräumige Heterogenitäten im Untergrund zu betrachten.

1-D and 3-D velocity analysis of the West Bohemia seismic zone

Kieslich A.¹, Alexandrakis C.¹, Calò M.², Vavryčuk V.³, Buske S.¹

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland, ²UC Berkeley, Berkeley Seismological Laboratory, Berkeley, Vereinigte Staaten von Amerika, ³Czech Academy of Sciences, Institute of Geophysics, Prague, Tschechische Republik

The Nový Kostel seismic zone in West Bohemia (Czech Republic) is a very active seismic area. Frequent seismic swarms occur at the junction of the Mariánské-Lázně Fault and the Počátky-Plesná Fault Zone, located at the town Nový Kostel.

Several studies already produced models of the crustal structure of the Nový Kostel region by using a variety of geophysical methods and data. Previous studies have used the 2008 and 2011 earthquake swarms, which activated two different sections of the fault zone. The main objective of this study is to calculate a swarm-independent model. This model will be compared to the 2008 and 2011 models to identify changes in the velocity field and swarm-specific features.

First, a new model is created using the software VELEST. This program was designed to derive 1-D velocity models from earthquake data to be used as initial reference models for seismic tomography. The model is obtained by using about 500 selected earthquakes from twenty years of data (from 1991 to 2011) recorded by the WEBNET seismic network.

The derived model is then used for analysis with a double-difference tomography algorithm (tomoDD). The main focus is hereby on the relocation of the earthquakes, the derivation of P- and S-velocity models and the analysis of the V_p/V_s ratio. Furthermore, the results are tested for their resolution by synthetic tests.

3-C Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-C Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-C.001

Velocity structure and earthquake cluster analysis in the West Bohemia Seismic Zone: A comparison from different earthquake swarms

Alexandrakis C.¹, Löberich E.², Calo M.³, Vavryčuk V.⁴, Buske S.¹

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Österreich, ³Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexiko, ⁴Czech Academy of Sciences, Institute of Geophysics, Prague, Tschechische Republik

Earthquake swarms, fluid migration and gas springs are indications of the ongoing geodynamic processes within the West Bohemia seismic zone located at the Czech-German border. The possible relationship between the fluids, gas and seismicity is of particular interest, and has motivated numerous past, ongoing and future studies including a multidisciplinary monitoring proposal through International Continental Scientific Drilling Program (ICDP).

The most seismically active area within the West Bohemia seismic zone is located at the Czech town Nový Kostel. The Nový Kostel zone experiences frequent swarms of several hundreds to thousands of earthquakes over a period of weeks to several months. The seismicity is always located in the same area and depth range (~5-15 km), however the activated fault segments and planes differ. For example, the 2008 swarm activated the southern end of the seismic zone and the 2011 swarm activated the northern segment. Interestingly, the recent 2014 swarm activated the region connecting the northern and southern segments of the seismic zone. This indicates ongoing changes to the local stress field and may relate to fluid migration and/or the complicated tectonic situation.

Here, we examine the Nový Kostel zone using swarm-dependent velocity models for the 2008 and 2011 swarms and compare the earthquake clustering patterns. The P- and S-wave velocity models are calculated from observations recorded by the West Bohemia Seismic Network (WEBNET) using double-difference tomography. The models are compared in terms of swarm-dependent velocities and structures. Since the P-to-S velocity ratio is particularly sensitive to the presence of pore fluids, we derive ratio models directly from the inverted P- and S-wave models in order to investigate their potential influence on the seismicity. In addition, clustering and rupture patterns within the individual earthquake swarm sequences show similarities where the swarms overlap. These patterns are analyzed and interpreted in relation to the velocity models, in order to identify possible triggering mechanisms for the periodic seismic energy release.

The crustal structure along the 1999 Izmit/Düzce rupture of the North-Anatolian Fault

Rost S.¹, Taylor G.¹, Houseman G.¹, Cornwell D.², Thompson D.², Kahraman M.³

¹University of Leeds, School of Earth and Environment, Leeds, Vereinigtes Königreich, ²University of Aberdeen, School of Geosciences, Aberdeen, Vereinigtes Königreich, ³Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Istanbul, Türkei

Deformation along continental strike-slip faults is localized onto narrow fault zones at the surface, which may slip suddenly and catastrophically in earthquakes. On the other hand, strain in the upper mantle is likely more broadly distributed and is thought to occur by continuous ductile creep. The transition between these two states is poorly understood although it controls the behaviour of the fault zone during the earthquake loading cycle.

To understand the structure of and strain distribution across the North-Anatolian Fault Zone (NAFZ) we deployed temporary seismic stations in the region of the 1999 Izmit (M7.5) and Düzce (M7.2) earthquakes. The rectangular array consisted of 66 seismic stations with a nominal station spacing of 7 km and seven additional stations forming a semi-circular ring towards the east (Dense Array for Northern Anatolia – DANA). Using this very dense seismic dataset and a combination of established (e.g. H-k stacking and common conversion point migration) and novel (e.g. scattering migration, scattering inversion and ambient noise autocorrelation) seismic processing techniques allows unprecedented resolution of the crustal structure in this region which can be used as a proxy for strain distribution throughout the crust. This study resolves sharp changes in crustal structure across and along the surface expression of the two branches of the NAFZ at scale lengths less than 10 km at mid to lower-crustal depths. The results indicate that the trace of the northern NAFZ branch varies from the mid-crust to the upper mantle and it is likely to be less than 5 km wide throughout the crust. On the other hand the southern branch seems to be sub vertical and is not traceable into the mantle. The results are consistent with a narrow fault zone accommodating postseismic deformation in the lower crust, as opposed to a broad ductile region below the seismogenic region of the fault.

Kurzperiodische Arraymessungen am BFO: Potential für in-situ Störungssystem-Kartierung und regionale seismische Überwachung

Mokelke G., Santoyo Campos J.C., Joswig M.
Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland

Im April 2015 wurde von Seiten des Instituts für Geophysik Stuttgart in den Bergwerksstollen, in denen auch das BFO angesiedelt ist, ein Klein-Array mit vier Seismometern installiert. Das BFO befindet sich in/bei der „Grube Anton“, im Wittichener Granit im Heubachtal nördlich von Schiltach im Zentral-Schwarzwald. Die Forschungsziele des BFO sind im Bereich der langperiodischen Bewegungen des Erdkörpers verankert, während im Rahmen dieser Untersuchung der kurzperiodische Frequenz- und räumliche Nahbereich bis rund 100 km betrachtet wird.

Kennzeichnend für das BFO ist die geringe Beeinträchtigung durch anthropogene und natürliche seismische Bodenunruhe. Das Ausmaß dieser Bodenbewegungen im Tages-, Wochen- und Jahresgang wird von uns genauer dargelegt. Aufgrund der für mitteleuropäische Verhältnisse optimalen Bodenunruhe-Werte ist es möglich, durch manuelle/visuelle Begutachtung der Wellenformdaten in Sonogrammen (noise-adaptierten Spektrogrammen) Kleinstbeben mit Magnituden von $ML = 0$ noch in einer Distanz von 100 km aufzufinden. Durch beam-forming ist es möglich, eine Quellregion anzugeben, ohne dass zwingend externe Stationen hinzugezogen werden müssen.

Die Schwerpunkte der Beobachtung und Auswertung liegen bei:

- a) Ermittlung von Bodenunruhwerten in einem aufgelassenen Bergwerk in einer Granitstruktur und Auffinden von aktiven Störungszonen im Zentralschwarzwald und in der unmittelbaren Umgebung des Grubengebäudes. Dies geschieht im Rahmen eines Projekts des Landesforschungszentrums Geothermie (LFZG) als Voruntersuchung und Grundlagenforschung für den Aufbau des GeoLaB im Schwarzwald.
- b) Testen der Möglichkeit, ein Array im BFO zur Voruntersuchung von Standorten tiefer Geothermie-Projekte im zentralen Bereich des Oberrheingrabens (ORG) zwischen Karlsruhe und Mulhouse zu verwenden. Unseren Ergebnissen zufolge ist durch die direkte Ankopplung an das Grundgebirge und trotz der distanzierten Lage zum ORG eine Arrayinstallationen im BFO gegenüber einer Installation auf/im Graben-Sediment vorteilhafter und der Observationsbereich ist vergrößert.
- c) Wir evaluieren das Potential, das eine Array-Installation unter den Bedingungen im BFO zur Untersuchung des Erdbebengebiets der westlichen Schwäbischen Alb bietet. Die Möglichkeiten der Überwachung der Westalb-Störungszone mit visuellen und korrelativen Methoden und des beam-formings werden von uns eingehender untersucht.

New seismic signatures from the cross-correlation of scattered wavefields in fault zone environments

Hillers G.¹, Campillo M.¹, Ben-Zion Y.², Roux P.¹

¹Univ. Joseph Fourier, ISTERre, Grenoble, Frankreich, ²University of Southern California, Department of Earth Sciences, Los Angeles, Vereinigte Staaten von Amerika

Seismic wavefields interact with low-velocity fault damage zones. Here we extend the class of known fault zone waves (head and trapped waves) and present three new types of seismic observables that can provide additional constraints for the characterization of (strike-slip) fault zone environments. The seismic signatures emerge in cross-correlation functions that are obtained from scattered wavefields.

First, we discuss fault zone trapped noise using data from an array installed across the Calico fault zone. Multiple analyses of noise correlation functions indicate that the high-frequency (>1 Hz) ambient wavefield is trapped in the cavity/waveguide-like structure of the damage zone. Manifestations of trapped noise are an increased randomization of propagation directions through in-fault scattering and sub-critical reflections at the fault zone boundaries, which leads to a reduction of wavefield coherence across the region of the velocity gradient.

Second, we show evidence of in-fault reverberations or multiples using the same data set. Manifestations of the reverberations are significant, consistent wavefronts in the coda of cross-correlation functions that are obtained from records of regional earthquake waveforms and seismic noise. These arrivals are associated with waves that follow a multiple-reflected propagation path inside the low-velocity damage zone. The physical reconstruction of Green's functions is evident from the high similarity between the signals obtained from the two different scattered wavefields. We constrained key properties of the trapping damage low-velocity zone from the arrival structure of the reverberation wavefield that are compatible with estimates obtained with more traditional techniques. We show additional reconstructions of reverberations in the coda of cross-correlation functions that we obtained from 1992 Landers earthquake aftershock waveforms recorded by a linear array. This indicates that reverberations constitute a more general key seismic signature of fault damage zones.

Third, we discuss interface-phases that emerge in noise-correlations between stations of a linear fault zone array across the San Jacinto fault and stations from the surrounding regional networks. These phases are indicative of the material contrast resulting from the cumulative fault offset. We discuss basic properties of these arrivals and strategies for the inference of propagation effects governed by the local velocity structure.

3-D Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-D Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-D.001

Advanced seismic imaging techniques characterize the Alpine Fault at the DFDP-2 drill site in Whataroa (New Zealand)

Lay V.¹, Buske S.¹, Lukács A.², Gorman A.², Schmitt D.R.³, Bannister S.⁴

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²University of Otago, Department of Geology, Dunedin, Neuseeland, ³University of Alberta, Edmonton, Kanada, ⁴GNS Sciences, Lower Hutt, Neuseeland

The plate-bounding Alpine Fault in New Zealand is an 850 km long transpressive continental fault zone that is late in its earthquake cycle. The Deep Fault Drilling Project (DFDP) aims to deliver insight into the geological structure of this fault zone and its evolution by drilling and sampling the Alpine Fault at depth. We have acquired and processed reflection seismic data to image the subsurface around the drill site. The resulting velocity models and seismic images of the upper 5 km show complex subsurface structures around the Alpine Fault zone. The most prominent feature is a strong reflector at depths of 1.2-2.2 km with a dip of $\sim 40^\circ$ to the southeast below the DFDP-2 borehole, which we assume to be the main trace of the Alpine Fault. The reflector exhibits varying lateral reflectivity along its extent. Additionally, subparallel reflectors are imaged that we interpret as secondary branches of the main fault zone. The derived P-wave velocity models reveal a 400-600 m thick sedimentary layer with velocities of ~ 2.3 km/s above a schist basement with velocities of 4.5-5.5 km/s. A pronounced low-velocity layer with velocities of approximately 3.5 km/s can be observed within the basement at 0.8-2 km depth. Small-scale low-velocity anomalies appear at the top of the basement and can be correlated to the fault zone. The results provide a reliable basis for a seismic site characterization at the DFDP-2 drill site and correlate with preliminary cutting and logging results from the drilling. Thus, the presented seismic images are crucial for further structural and geological investigations of the architecture of the Alpine Fault in this area.

Anisotropic velocity model building and imaging around the COSC-1 borehole, central Sweden

Simon H.¹, Krauß F.², Hedin P.³, Buske S.¹, Giese R.², Juhlin C.³

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 6.4 Zentrum für Wissenschaftliches Bohren, Potsdam, Deutschland, ³Uppsala University, Earth Science Department, Uppsala, Schweden

The Scandinavian Caledonides provide a well preserved example of a Paleozoic continent-continent collision, where the surface geology in combination with geophysical data provide control of the geometry of parts of the Caledonian structure. The project COSC (Collisional Orogeny in the Scandinavian Caledonides) investigates the structure and physical conditions of the orogen units and the underlying basement with two approximately 2.5 km deep fully cored boreholes in western Jämtland, central Sweden.

In 2014 the COSC-1 borehole was successfully drilled through the Seve Nappe Complex. This unit, mainly consisting of gneisses, belongs to the so-called Middle Allochthons and has been ductilely deformed and transported during collisional orogeny.

A major seismic survey was conducted in and around the COSC-1 borehole to allow extrapolation of results from core analysis and downhole logging to the structures around the borehole. The survey comprised both seismic reflection and transmission experiments and consisted of three parts: 1) a high resolution zero-offset VSP, 2) a multi-azimuthal walkaway VSP in combination with three long offset surface lines, and 3) a limited 3D seismic survey.

The data from the multi-azimuthal walkaway VSP and the surface lines were used to derive a detailed velocity model around the COSC-1 borehole by inverting the first arrival travel times. The comparison of velocities from these tomography results with a velocity function calculated from the zero-offset VSP revealed clear differences in velocities for mainly horizontally and vertically traveling waves. Therefore, an anisotropic VTI model was constructed, using the P-wave velocity function from zero-offset VSP and the Thomson parameters ϵ and δ . The latter were partly derived from ultrasonic lab measurements on COSC-1 core samples. Traveltimes were calculated with an anisotropic eikonal solver and serve as the basis for the application of imaging approaches like pre-stack depth migration techniques. The results of the investigations are high-resolution images of the structures around the borehole. The obtained information is vital not only for a reliable spatial extrapolation of the structural and petrophysical properties observed in the borehole away from it, but also for a thorough understanding of the tectonic and geodynamic setting in the investigation area.

Electrical conductivity structure of the mantle beneath the Tristan da Cunha hotspot area in southern Atlantic

Chen J.¹, Baba K.², Jegen M.¹, Utada H.², Geissler W.³

¹GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel, Deutschland, ²The University of Tokyo, Earthquake Research Institute, Tokyo, Japan, ³Alfred Wegener Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven, Deutschland

Tristan da Cunha Island is one of the hot spots in the Atlantic Ocean. The discussion about its source have not reached consensus yet whether it is in shallow asthenosphere or deeper mantle, because of lack of the geophysical observations in the area.

A marine magnetotelluric (MT) experiment was conducted together with seismic observations in the area in 2012–2013 by collaboration between Germany and Japan, in order to give further constraints on the physical state of the mantle beneath the area. A total of 26 seafloor stations were deployed around the Tristan da Cunha islands and available data were retrieved from 24 stations. The MT responses were estimated for those available sites.

We applied iterative topographic effect correction and one-dimensional (1-D) conductivity structure inversion (Baba and Chave, 2005; Baba et al., 2010). 3-D inversion analysis incorporating the topographic effect is now going on. The local small-scale topography and the far continental coast effects are incorporated as the distortion term in the inversion (Baba et al., 2013). Preliminary result evinces no significant conductive anomaly arising from the mantle transition zone, suggesting that the source of hotspot activity at the current may be shallow in the upper mantle or the up-welling is almost dead.

Anisotropic Asthenosphere under the Pyrenees - A 3-D Modeling Study of the Orogen

Cembrowski M.¹, Junge A.¹, Companyà J.², Ledo J.³

¹Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Fachrichtung Geophysik, Frankfurt am Main, Deutschland, ²Dublin Institute for Advanced Studies, Geophysics, Dublin, Irland, ³Universitat de Barcelona, Departament de Geodinàmica i Geofísica, Barcelona, Spanien

The Pyrenees have formed due to the convergence and the subsequent collision between the Iberian and European plates from Late Cretaceous to Early Miocene. The collision resulted in the subduction of the Iberian continental lower crust below the continental European crust. The electromagnetic signature of the Pyrenees can reveal a lot about its tectonic history and therefore Magnetotelluric studies play an important role in understanding the evolution of the orogen. Two-dimensional MT studies show a high conductive body in the lower subducted Iberian crust that is thought to be caused by the presence of partial melting. Moreover, a change in depth of the asthenosphere was found under the Pyrenees.

We perform 3-D resistivity modeling of the orogen and its surrounding areas by fitting phase tensors and induction arrows. The data reveal a good conductive lithospheric body along the axial zone of the Pyrenees that we interpret as being the partial melt body. For periods >1000 s the data feature an enormous phase split with its minimum and maximum phase oriented perpendicular and parallel to the strike direction of the orogen. We show that the split is partly caused by the induction effect of the surrounding oceans, but an anisotropic asthenosphere is needed to fully explain the phase difference. We analyze the cause of anisotropy and relate it to present day plate motion.

Integrated geophysical modelling of the Arabian plate

Fröchtenicht T.¹, Ebbing J.¹, Mooney W.D.²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Geophysik und Geoinformation, Kiel, Deutschland, ²USGS, Menlo Park, Vereinigte Staaten von Amerika

The Arabian plate was formed at 30 Ma as rifting was initiated in the Red Sea and Gulf of Aden, driven by the Afar mantle plume. The lithospheric structure of Arabia preserves the history of formation of this young tectonic plate. This study presents a 3D geophysical model of the lithospheric structure of the Saudi Arabian peninsula. The model is based on a preexisting 3D model derived from GOCE satellite gravity gradients. In addition, a magnetic basement model has been considered by modelling two magnetic datasets (aeromagnetic and pole-reduced EMAG2-data). The use of airborne magnetic data leads to a refinement of the model on a local scale. The magnetic data are sensitive to the magnetisation of the basement and the depth to the Curie isotherm. We estimate Curie isotherm from all three models as an input for thermal modelling. These different basement definitions will be used in addition to test the influence of the different parameterization on heat-flow modelling. Furthermore, the preexisting 3D model can be modified by using constraints given as seismic and tomographic information as well as gravity measurements. The geophysical information are supplemented by geological and tectonic maps and rock characteristics.

Analyse von Satelliten-Schweregradienten als Grundlage zur Entwicklung eines Lithosphärenmodells des antarktischen Kontinents

Pappa F., Ebbing J., Haas P.

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

Für das Verständnis der geodynamischen Vergangenheit ist eine möglichst genaue Kenntnis der Dichtestruktur der Lithosphäre von großer Bedeutung. Aufgrund ihrer Sensitivität für Dichteveränderungen können Gradienten des Erdschwerefeldes, wie sie im Zuge der GOCE-Satellitenmission gemessen wurden, dazu beitragen, Kontraste und Geometrien der wesentlichen lithosphärischen Grenzflächen besser zu erfassen, so z.B. Eis- und Sedimentmächtigkeiten, Moho-Tiefe sowie Temperatur und Komposition des lithosphärischen Mantels.

Die Kenntnisse über die Lithosphäre des antarktischen Kontinents sind noch sehr lückenhaft. Wir präsentieren Sensitivitätsanalysen von Schweregradienten hinsichtlich unterschiedlicher Moho-Geometrien und -Dichtekontraste sowie Mächtigkeits- und Dichteveränderungen des lithosphärischen Mantels und vergleichen unsere Ergebnisse mit jüngsten seismologischen Untersuchungen in dem Gebiet.

Eine Gegenüberstellung der bezüglich Eis, Wasser und Gesteinstopographie korrigierten GOCE-Gradienten mit unterschiedlichen Krustenmodellen deutet darauf hin, dass der antarktische Kontinent zwar weitgehend isostatisch ausgeglichen ist. Es bedarf jedoch eines bedeutenden Beitrags des lithosphärischen Mantels, um den Ausgleich erklären zu können. Hier zeigen sich regionale Unterschiede, beispielsweise zwischen West- und Ostantarktis, die auf unterschiedliche Temperaturen und Mantelkompositionen hindeuten und somit unterschiedliche Alter der Lithosphäre vermuten lassen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als Grundlage für zukünftige umfassende dreidimensionale Modellierungen der antarktischen Lithosphäre genutzt werden.

3-E Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-E Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-E.001

Underplating of the Azores Islands made visible by P-wave Receiver Functions

Spieker K.¹, Rondenay S.¹, Ramalho R.S.^{2,3}, Thomas C.⁴, Helffrich G.⁵

¹University of Bergen, Department of Earth Science, Bergen, Norwegen, ²University of Bristol, School of Earth Science, Bristol, Vereinigtes Königreich, ³Columbia University, Lamont-Doherty Earth Observatory, New York, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁴Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ⁵Tokyo Institute of Technology, Earth-Life Science Institute, Tokyo, Japan

The Azores plateau is located near the Mid-Atlantic Ridge and consists of nine islands. Various methods including seismic reflection, gravity, and passive seismology, have been used to investigate the crustal thickness beneath the islands. They have yielded depth estimates that range between roughly 10 km and 30 km, but until now, a model of the fine-scale crustal structure has been lacking. Geochemical studies carried out across the islands suggest the existence of volcanic interfaces within the shallow crust. Moreover, magma might have accumulated beneath the existing crust (magmatic underplating), causing a shift of the crust-mantle boundary to lower depths. In this study, we use data from ten seismic stations located on the Azores Islands to investigate the crustal structure with P-wave receiver functions (PRFs). A challenge of using ocean island data is oceanic noise that interferes with the useful conversion signals. Here, we employ a frequency-domain deconvolution with objective regularisation based on the pre-event noise spectrum to reduce the effect of the oceanic noise. Our fine-scale PRFs yield conversions at about 0.3 s, 1 s, and 2-3.5 s, which we attribute to a shallow volcanic interface, a mid-crustal interface, and the crust-mantle boundary, respectively. Following the interpretation of similar PRF studies beneath other volcanic ocean islands, the 1 s signal (mid-crustal interface) may correspond to a conversion at the top of the underplated magmatic material. Underplating is most pronounced in the southeastern portion of the Azores plateau. Considering lower seismic P- and S-wave velocities within the volcanic interfaces ($v_p=4.9$ km/s, $v_s=2.6$ km/s) and higher velocities within the underplated material ($v_p=7.3$ km/s, $v_s=4.2$ km/s) compared to the normal crust ($v_p=6.3$ km/s, $v_s=3.6$ km/s), the total crustal thickness amounts to approximately 12-15 km.

Batholithic Structures Influence Seismogenic Processes in the North Chile Seismic Gap

Sobiesiak M.¹, Schaller T.², Gutknecht B.¹, Götze H.-J.¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Kiel, Deutschland, ²Technische Universität Dresden, Institut für Planetare Geodäsie, Geodätische Erdsystemforschung, Dresden, Deutschland

Our research focus lies on the North Chile Seismic Gap (NCSG) where we were able to examine the rupture area of three earthquakes of magnitudes between M7.9 and M8.2, combining the analysis of the gravity field, normal stress loads on the subduction interface, seismic activity and density modeling. The observations we gained on the Mw 8.1, 1995 Antofagasta earthquake led us to suggest that dense batholithic bodies in the overriding crust, remnants of the Jurassic – Early Cretaceous volcanic arc, influence seismogenic processes through the contact of these bodies with the subduction interface. In case of the M8.1 Antofagasta earthquake we were able to link patches of high slip to the contact areas of batholiths with the interface, forming asperity structures here. We further identified a segment boundary on Mejillones Peninsula between the Antofagasta and the Mw 7.9 Tocopilla follow-up earthquake where new observations suggest that the thinning of batholiths might play a role in generating the segment boundary. First attempts to verify our hypothesis in case of the Mw 8.1, 2014 Iquique earthquake showed that the congruence of a strong gradient in isostatic residual anomalies from the gravity field with thicknesses of the batholiths, high anomalies from vertical stress loads and the distribution of co-seismic slip strongly support our hypothesis. However, when the batholithic bodies act as asperity generating features, foster formation of segment boundaries, influence either start or stopping phases of large earthquakes, is still the target of future investigations.

Pitfalls and possibilities studying the magnetic lithosphere from space

Ebbing J.¹, Baykiev E.², Szwillus W.¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, Deutschland, ²Norwegian university of science and technology (NTNU), Trondheim, Norwegen

Satellite magnetic data have an increasing resolution and their global coverage make them ideal to study the magnetic lithosphere of the Earth. The lithospheric magnetic field is related to the magnetization in the lithosphere and the depth to the magnetic sources itself. The base of the magnetic lithosphere is linked to the Curie temperature, which relates the magnetic lithosphere and the thermal state of the lithosphere. Conventionally, the Moho boundary depth is taken as the maximum magnetic depth and the long-wavelength magnetic field is interpreted to estimate the deepest magnetic sources.

However, the lithospheric magnetic field is derived by removing, at least, a core field contribution, which dominates the long-wavelength signal, which as well relates to the deepest magnetic source. We demonstrate the overlap of long-wavelength signal content by forward modelling the magnetic field from a lithosphere based on gravity, seismological and heat-flow data against data in satellite height.

The model shows that for parts of the world it is reasonable to assume that parts of the upper mantle are magnetized.

The large anomalies at satellite height cannot be explained with conventional models of crustal magnetization.

However, the impact of core and lithosphere field separation is significant as well. The use of magnetic gradients might help to establish better models of lithosphere magnetization, which in turn allow to update core field contributions. The ongoing Swarm satellite mission will hopefully allow to validate the different field contributions with a higher degree of confidence.

Satellite gravity field models and stress estimates in the South Atlantic

Klinge L., Götze H.-J., Ebbing J.

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Geophysik und Geoinformation, Kiel, Deutschland

New satellite gravity fields e.g. EGM2008, GOCO3S and recently EIGEN-6C4 provide high-accuracy and globally uniform information of the Earth's gravity field. The main goal of our study is to investigate the impact of the new gravity fields and their processed anomalies (Bouguer, free-air and Vening-Meinesz residual fields) on lithospheric modelling of passive plate margins in the area of the South Atlantic.

For the area in between the latitudes 10° N – 50° S and longitudes 60° W - 20° E, we calculated station-complete Bouguer anomalies both on- and offshore. The corrected field is compared with forward calculated gravity from the S - wave tomography model SL2013sv. Bouguer anomalies and seismic tomography provide more insight in the mass distribution within the oceanic lithosphere and the ocean-continent transition zones than free-air anomalies, which are dominated by bathymetry and topography.

In a next step we calculated isostatic residual fields (Vening-Meinesz isostasy with regard to different lithospheric rigidities) to remove the regional component (long wavelength part) from the satellite gravity field. Furthermore, stress is calculated from a global discrete density model called CRUST1.0. Vertical stress is directly calculated from densities and layer thicknesses of this model. Horizontal stress is estimated through differences in Gravitational Potential Energy (ΔGPE) from CRUST1.0 to a reference model. In general, the oceanic lithosphere is characterized by negative ΔGPE values indicating that the ocean basins are under compression.

The examination of global gravity field models and stress estimates from the global density model allow an analysis of the passive continental margins, as well as of the oceanic lithosphere with homogenous resolution and coverage. Comparison of stress estimations from ΔGPE and a uniaxial approach shows only small differences. However, the choice of the reference has a major impact on the magnitude of the horizontal stress.

The lithospheric structure of Egypt and its surroundings by joint analysis of terrestrial and satellite gravity observations

Sobh M.^{1,2}, Ebbing J.¹, Götze H.-J.¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Geophysik und Geoinformation, Kiel, Deutschland, ²National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Geodynamics, Cairo, Ägypten

The present-day structure and dynamics of Egypt and adjacent region are controlled by the relative motions of three major plates; Eurasia, Africa, and Arabia, The interaction between these plate margins causes a complex geodynamic setting and for example, the role or existence of the Saharan meta-craton is under discussion.

To gain insights into the lithospheric structure we analyze terrestrial and satellite data in combination with few seismic constraints.

To construct a regional background model, we start modelling crustal thickness using the satellite gravity gradients. The preliminary results show that the crustal thickness getting shallow toward the northern and eastern coast, and deeper toward western Desert and northeastern Sinai.

Comparison to global tomography shows there are high S-wave velocity anomalies in the upper 100 km of the mantle beneath the Saharan meta-craton typical of cratonic lithosphere, but that the S-wave velocity anomalies in the 175–250 km depth are much lower than those typical of other cratons.

The model will be further refined using local gravity data. Our available measured terrestrial gravity data do not provide a homogenous coverage over the study area. Therefore, regional compilations have to be used as well, which are based on different sources. Evaluation of our measured and these gridded data show that the agreement between the data sets is accurate enough for the long- to intermediate wavelength, but not to model local structures over the entire study area.

Electromagnetic investigation of the Pärvie endglacial fault

Kamm J.^{1,2}, Lund B.², Becken M.¹

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Uppsala University, Earth Science Department, Uppsala, Schweden

Endglacial faults are neotectonic structures that are temporally correlated with the end of the last glaciation (~ 10 kA BP). Major endglacial faults have so far been only found in Fennoscandia, with the Pärvie fault being by far the largest known to exist. Its observable surface expression extends 155 km and it was likely formed in a one-step event of magnitude 7-8, possibly rupturing the entire crust. The fault is a steeply dipping thrust fault that can only be plausibly explained as a reactivation of pre-existing structures. While the rupture connects small lineaments in the geological map, there is no indication of a major consistent weakness zone at the surface and micro-seismological results do not show a clearly defined fault plane at depth. Using radio-magnetotelluric measurements on lakes crossing the fault scarp, we show that the fault is associated with moderately conductive structures near the earth surface. Magnetotelluric measurements indicate in preliminary models that these structures can be followed downwards and are possibly related to fluids residing in the sediment fill and the fractured rocks.

Ableitung eines Geschwindigkeitsmodells im Bereich der COSC-1-Tiefbohrung

Zschoke H.K., Simon H., Buske S.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Im Rahmen des ICDP Projektes COSC (Collisional Orogeny in the Scandinavian Caledonides) werden zwei Kernbohrungen in den Skandinavischen Kaledoniden abgeteuft, um das Verständnis rezenter Gebirgsbildungsprozesse zu verbessern. Dazu wurde im Jahr 2014 die COSC-1-Bohrung nahe Åre im westlichen Zentralschweden bis in eine Tiefe von ca. 2,5 km realisiert. Zur Festlegung der exakten Bohrlokation wurden im Sommer 2010 das 36 km lange hochauflösende reflexionsseismische 2D-Profil Byxtjärn-Liten und das 7 km lange Verbindungsprofil Kallsjön-Fröå akquiriert. Diese seismischen Profile liefern wichtige strukturelle Informationen über den krustalen Aufbau im Bereich der potentiellen Bohrungen sowie erstmals ein hochauflösendes Abbild der obersten acht Kilometer in dieser Region. Zunächst wurden durch eine Ersteinsatztomografie zwei Geschwindigkeitsmodelle direkt aus den vorliegenden Datensätzen berechnet. Diese oberflächennahen Modelle wurden anschließend mit einem 1D-Geschwindigkeitsmodell, das auf Ergebnissen früherer refraktionsseismischer Weitwinkelprofile basiert, bis in eine Tiefe von 9 km fortgesetzt. Am Ende wurden die gewonnenen Ergebnisse mit Literaturwerten und aktuellen Daten anderer Verfahren, wie einer Zero-offset-VSP-Messung, Bohrlochuntersuchungen (z.B. Sonic-Log) und multiazimuthalen VSP-Messungen, verglichen und validiert. Im Ergebnis entstand ein Geschwindigkeitsmodell im Bereich der COSC-Bohrungen, das als Grundlage für weitere geologische und geophysikalische Untersuchungen und Analysen dienen kann.

A detailed 3D-VSP experiment to image the Alpine Fault at the DFDP-2 drill site (Whataroa, New Zealand)

Lay V.¹, Buske S.¹, Townend J.², Eccles J.³, Gorman A.⁴, Schmitt D.R.⁵, Lawton D.⁶

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Victoria University Wellington, Wellington, Neuseeland, ³University of Auckland, Auckland, Neuseeland, ⁴University of Otago, Department of Geology, Dunedin, Neuseeland, ⁵University of Alberta, Edmonton, Kanada, ⁶University of Calgary, Calgary, Kanada

The plate-bounding Alpine Fault in New Zealand is an 850 km long transpressive continental fault zone that is late in its earthquake cycle. The Deep Fault Drilling Project (DFDP) aims to deliver insight into the geological structure of this fault zone and its evolution by drilling and sampling the Alpine Fault at depth. Previously analysed 2D reflection seismic data image the main Alpine Fault reflector at a depth of 1.2-2.2 km with a dip of approximately 40° to the southeast below the DFDP-2 borehole. Additionally, there are indicators of a more complex 3D fault structure with several fault branches which have not yet been clearly imaged in detail.

For that reason we acquired a 3D-VSP seismic data set at the DFDP-2 drill site in January 2016. A zero-offset VSP and a walk-away VSP survey were conducted using a Vibroseis source. Within the borehole, a permanently installed "Distributed Acoustic Fibre Optic Cable" (down to 892 m) and a 3C Sercel slimwave tool (down to 400 m) were used to record the seismic wavefield. In addition, an array of 160 3C receivers with a spacing of 10 m perpendicular and 20 m parallel to the main strike of the Alpine Fault was set up and moved successively along the valley to record reflections from the main Alpine Fault zone over a broad depth range and to derive a detailed 3D tomographic velocity model in the hanging wall.

We will show results from the acoustic forward modelling of the acquisition scenario as well as preliminary results from the data analysis. The data will be used to verify and improve the existing velocity model derived from the previously acquired 2D reflection line and processed by advanced seismic imaging methods to derive a structural image of the fault zone at depth. Finally, the results will provide a detailed basis for a seismic site characterization at the DFDP-2 drill site. Since the existing borehole did not intersect the Alpine Fault at depth, detailed seismic images will be of crucial importance for further structural and geological investigations of the architecture of the Alpine Fault in this area.

borehole seismic in crystalline environment at the COSC-project in central sweden

Krauß F.¹, Hedin P.², Almqvist B.², Simon H.³, Giese R.¹, Buske S.³, Juhlin C.², Lorenz H.²

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 6.4 Zentrum für Wissenschaftliches Bohren, Potsdam, Deutschland, ²Uppsala University, Earth Science Department, Uppsala, Schweden, ³Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

As support for the COSC drilling project (Collisional Orogeny in the Scandinavian Caledonides), an extensive seismic survey took place during September and October 2014 in and around the newly drilled 2.5 km deep COSC-1 borehole. The main aim of the COSC project is to better understand orogenic processes in past and recently active mountain belts. The COSC-1 borehole was drilled through the Seve Nappe Complex, a part of the Middle Allochthon of the Scandinavian Caledonides that comprises units originating from the outer margin of Baltica. The core recovery was nearly 100%.

The seismic survey consisted of three parts: a limited 3D-survey, a high resolution zero-offset VSP (vertical seismic profile) and a multi-azimuthal walkaway VSP (MSP). For the zero-offset VSP (ZVSP) a hydraulic hammer source was used and activated over a period of 20 s as a sequence of impacts with increasing hit frequency. The wave field was recorded in the borehole by 15 3C-receivers using a geophone chain with an inter-tool spacing of 10 m and a record length of 25 s. The ZVSP was designed to provide a geophone spacing of 2 m over the whole borehole length. The source was located about 30 m away from the wellhead. During the ZVSP and MSP experiments the wave field was also recorded on 429 1C-geophones with a 3D-geometry centred at the drill site.

As first pre-processing steps, the VSP data from the hammer source were decoded and vertically stacked. Afterwards, the shots were merged to get a continuous shot gather. A horizontal rotation was performed, based on the S-wave arrivals.

The rotated ZVSP-data show a high signal-to-noise ratio and good data quality. Signal frequencies up to 150 Hz were observed. On the vertical component, clear direct P-wave arrivals are visible. Several P-wave reflections occur below 1600 m logging depth. On both horizontal components, clear direct S-wave arrivals are visible after rotation what suggests that the penetrated rock is anisotropic. In addition, several PS-converted waves can be identified.

In order to integrate the borehole data into the 3D surface seismic data, further processing concentrated only on the P-waves. First, deconvolution was applied to sharpen the signals and to suppress multiples. Then the wave field was separated into upgoing and downgoing components by median filtering. Finally, a corridor stack was generated using the upgoing wave field in order to allow correlation with the borehole logging data and the surface seismic data.

Automated inter-station phase velocity measurements across the eastern Mediterranean and Middle East

El-Sharkawy A.^{1,2}, Weidle C.¹, Christiano L.¹, Soomro R.¹, Lebedev S.³, Meier T.¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, Deutschland, ²National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Helwan, Cairo, Ägypten, ³Dublin Institute for Advanced Studies, Dublin, Irland

The lithospheric structure of northeastern Africa, eastern Mediterranean and the Middle East is highly variable. It ranges from young oceanic lithosphere in the Red Sea to what is considered the oldest oceanic lithosphere on Earth in the Mediterranean Sea north of Libya, and from highly deformed continental lithosphere at the east-Mediterranean margins to more stable continental lithosphere of Phanerozoic origin and to cratonic lithosphere beneath the Arabian Peninsula. Details of the lithospheric structure are, however, poorly known. Surface waves are ideally suited for studies of the lithosphere and sublithospheric mantle. Our goal is to better define the 3D lithospheric shear-wave velocity structure within this region by surface wave tomography. Using regional to teleseismic Rayleigh and Love waves that traverse the area we can obtain information about its seismic structure by examining phase velocities as a function of frequency. A newly developed algorithm for automated inter-station phase velocity measurements (Soomro et al. 2016) is applied to obtain both Rayleigh and Love fundamental mode phase velocities. We utilize a database consisting of more than 3800 earthquakes recorded by more than 1850 broadband seismic stations within the area, provided by the European Integrated Data Archive (WebDc/EIDA) and IRIS. Moreover, for the first time, data from the Egyptian National Seismological Network (ENSN), from up to 25 broad band seismic stations, is also included in the analysis. For each station pair nearly on the same great circle path, the waveforms are cross correlated and the fundamental modes dispersion curves are calculated from the phase of the weighted cross correlation functions. Path average dispersion curves are obtained by averaging the smooth parts of single-event dispersion curves. Parameters tests and preliminary results of automatically measured phase velocities are presented here. For selected inter-station paths, inversions for the 1D path-average S-wave velocity structure are shown. Our broadband surface wave measurements, utilizing the dense sampling of the area with newly available data, can offer important new insights into the structure and evolution of the lithosphere beneath the entire region.

Reference

Soomro, R., C. Weidle, L. Cristiano, S. Lebedev, T. Meier. Phase velocities of Rayleigh and Love waves in central and northern Europe from automated, broadband, inter-station measurements, *Geophys. J. Int.*, 204, 517–534, 2016

Clustering and interpretation of earthquake tomography models in the southern Dead Sea basin

Bauer K., Braeuer B.

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

The Dead Sea transform (DST) represents the boundary between the Arabian and the African plates. Ongoing left-lateral relative plate motion and strike-slip deformation started in the Early Miocene (20 MA) and produced a total shift of 107 km until present. The Dead Sea basin (DSB) located in the central part of the DST is one of the largest pull-apart basins in the world. It was formed from step-over of different fault strands at a major segment boundary of the transform fault system. The basin development was accompanied by deposition of clastics and evaporites and subsequent salt diapirism. Ongoing deformation within the basin and activity of the boundary faults are indicated by increased seismicity.

The internal architecture of the DSB and the crustal structure around the DST were subject of several large scientific projects carried out since 2000. Here we report on a local earthquake tomography study from the southern DSB. In 2006-2008, a dense seismic network consisting of 65 stations was operated for 18 months in the southern part of the DSB and surrounding regions. Altogether 530 well-constrained seismic events with 13,970 P- and 12,760 S-wave arrival times were used for a travel time inversion for V_p , V_p/V_s velocity structure and seismicity distribution. The work flow included 1D inversion, 2.5D and 3D tomography, and resolution analysis.

We demonstrate a possible strategy how several tomographic models such as V_p , V_s and V_p/V_s can be integrated for a combined lithological interpretation. We analyzed the tomographic models derived by 2.5D inversion using neural network clustering techniques. The method allows us to identify major lithologies by their petrophysical signatures. Remapping the clusters into the subsurface reveals the distribution of basin sediments, prebasin sedimentary rocks, and crystalline basement. The DSB shows an asymmetric structure with thickness variation from 5 km in the west to 13 km in the east. Most importantly, a well-defined body under the eastern part of the basin down to 18 km depth was identified by the algorithm. Considering its geometry and petrophysical signature, this unit is interpreted as prebasin sediments and not as crystalline basement. The seismicity distribution supports our results, where events are concentrated along boundaries of the basin and the deep prebasin sedimentary body.

Die Erdbebenserie im nördlichen Oberrheingraben in 2014-2015

Homuth B.¹, Kracht M.¹, Rümpker G.²

¹Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Wiesbaden, Deutschland, ²Goethe-Universität Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland

Seit März 2014 treten eine ungewöhnlich große Menge von Erdbeben südöstlich der Stadt Darmstadt im nördlichen Oberrheingraben auf. Während der Zeit bis April 2015 konnten 356 Erdbeben mit Magnituden von $ML = -0,6$ bis $4,2$ aufgezeichnet werden. Es konnten zwei Quellcluster identifiziert werden, die lateral ca. 5 km voneinander getrennt sind. Die Hypozentren innerhalb dieser Cluster sind vertikal ausgerichtet und erstrecken sich über einen Tiefenbereich von 1 bis 8 km mit einer lateralen Ausdehnung von etwa 1 bis 2 km. Dies ist das erste Mal in fast 150 Jahren, dass eine solche Aktivität in der Region beobachtet werden konnte. Historische Aufzeichnungen aus dem 19. Jahrhundert berichten von über 2000 verspürten Erdbeben im Zeitraum von 1869 bis 1871 mit maximalen Intensitäten von VII. Die Beobachtungen der aktuellen Erdbebenserie entsprechen nicht einer typischen Nachbebensequenz oder einem typischen Erdbebenschwarm. Es kann eher als eine Mischung aus mehreren kleinen Nachbebensequenzen und einer schwarmbebenartigen Hintergrundseismizität betrachtet werden. Ob die zeitliche Lücke zwischen der aktuellen seismischen Aktivität, die tatsächlich teilweise an gleicher Stelle lokalisiert wurde wie Teile der seismischen Schwarmbebenaktivität im 19. Jahrhundert, als seismischer Zyklus interpretiert werden kann, bleibt unklar. Die Untersuchungen zur aktuellen seismischen Aktivität im nördlichen Oberrheingraben wurden innerhalb des Projektes SiMoN durchgeführt, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie bis 30. September 2015 gefördert wurde und im Verbund zwischen der Goethe Universität Frankfurt und dem Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie durchgeführt wurde.

Elastic and acoustic radiative transfer theory - Seismic attenuation parameters in the W-Bohemia/Vogtland region

Gaebler P.J., Eulenfeld T., Wegler U.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Fachbereich 4.3 Seismologisches Zentralobservatorium, Kernwaffenteststopp, Hannover, Deutschland

We estimate frequency-dependent seismic scattering and intrinsic attenuation parameters for the crustal structure beneath the W-Bohemia/Vogtland swarm earthquake region close to the border of Czech Republic and Germany. The parameter estimations are based on fitting synthetic envelopes modeled using elastic and acoustic radiative transfer theory to observed seismogram envelopes from 14 shallow local events from the October 2008 W-Bohemia/Vogtland earthquake swarm. The two different methods yield similar results for the estimated crustal parameters and show a comparable frequency dependence of both transport mean free path and intrinsic absorption path length. Results suggest, that intrinsic seismic attenuation plays a greater role than attenuation due to scattering of seismic energy in the W-Bohemia/Vogtland region for the investigated epicentral distance range and frequency bands from 3 to 24 Hz. From the elastic simulations we conclude, that forward scattering is required to explain the data, however, the strength of forward scattering is not resolvable. The elastic approach shows smaller errors in the parameter estimation compared to the results from the acoustic simulations. The frequency dependence of the transport mean free path suggests a random medium described by a nearly exponential autocorrelation function. However the parameters describing this random medium, fluctuation strength and correlation length, can not be estimated independently, but only a combination of the parameters related to the transport mean free path of the medium can be computed. We furthermore conclude from the results of the elastic simulations, that it is not possible to resolve the value of the mean free path of the random medium.

Offshore-aftershock sequence of the Mw=8.2 2014 Iquique earthquake – First results from a marine OBS deployment

Grevenmeyer I.¹, Lange D.¹, **Kopp H.**¹, Barrientos S.², Contreras-Reyes E.², Vera E.²

¹GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, Kiel, Deutschland, ²Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas - Departamento de Geofísica, Santiago, Chile

On 1 April 2014, a M=8.2 earthquake ruptured a portion of the subduction zone in northern Chile offshore of the city of Iquique between 19.5°S to 21°S. A large earthquake had been expected in the subduction zone off northern Chile, which had not ruptured in a megathrust earthquake since a M~8.8 event hit the area in 1877. However, the 2014 earthquake did only affect the northern region of the 1877 rupture and left an unbroken segment to the South. Previously, in 2007 the M=7.7 Tocopilla earthquake broke the southernmost part of the 1877 fault zone between 22°S and 23°S. Slip during this event, was limited to the deeper extent of the seismogenic zone, leaving shallower regions un-ruptured. In December 2014 we deployed an offshore network of 15 ocean-bottom-seismometers between 19°S and 22°S using the Chilean Navy ship OPV Toro, covering the aftershock zone of the 2014 Iquique event and the un-ruptured offshore domain in the South. The network was recovered in November 2015 with the German RV SONNE. Here, we report first results of aftershock seismicity in the epicentral domain of the 2014 Iquique mainshock and near the up-dip limit of the 1877 megathrust fault.

Simultaneous inversion for anisotropic and structural crustal properties by stacking of radial and transverse receiver functions

Link F., Rumpker G., Kaviani A.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

The well-known H- κ -stacking method of Zhu and Kanamori (2000) has developed into a standard tool to infer the thickness of the crust, H, and the average P to S-wave velocity ratio, κ . Here, we present an extension of the method to include the inversion for anisotropic crustal properties. For a single anisotropic crustal layer, this involves the computation of delay times and amplitudes for 20 P-to-S converted phases and their crustal reverberations, instead of (up to) five phases in the isotropic case (Kaviani and Rumpker, 2015). The delay times and amplitudes exhibit a complex dependency on slowness and backazimuth. They can be calculated semi-analytically from the eigenvalues and eigenvectors of the system matrix, as defined by Woodhouse (1974). A comparison of the calculated delay times and amplitudes with those obtained by similar methods (Frederiksen and Bostock, 2000) shows a very good agreement between the results.

In our approach, the crust exhibits hexagonal anisotropy with a horizontal symmetry axis, such that the anisotropic properties are defined by two parameters: the orientation of the symmetry axis w.r.t. North, φ , and the percentage of anisotropy, a . The inversion, thus, involves a grid search in a 4-dimensional parameter space (H, κ , φ , a) and the stacking of both radial and transverse receiver functions. Known input parameters are the average P-wave velocity of the crust, and the slowness vector (as given by the event-receiver configuration and a global 1D-velocity model). The computations are performed by the new software package AnStack which is based on MATLAB.

Synthetic test show that the extended anisotropic stacking has advantages compared to the conventional H- κ stacking as it may allow for inversions at even higher noise levels. We further test for the effect of the azimuthal distribution of events on the results. It turns out, that the orientation of the symmetry axis is most sensitive to limitations and gaps in the azimuthal distribution. The extended stacking method provides an average model of the anisotropic crust below a station. Therefore, internal (vertical) variations cannot be resolved. Complex structures, which differ from the assumed single-layer model, will also affect the results. For example, an inclination of the layer boundary may cause an apparent anisotropic effect. We will also show examples for the application of the method to recently obtained data sets.

A density model of North-western Europe as a test case for forward and inverse modelling

Haas P., Ebbing J.

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

We present a density model and the observed fields for Northwestern Europe. The model has been established based on a pre-existing crustal P-wave velocity model (based on Kelly et al., 2007 and later modifications).

The central part of the model covers the Viking Graben on the Norwegian shelf and the transition to the British Islands. The area is characterized by a thick sequence of sediments overlying continental crust of varying thickness. The complex geological nature is well expressed in the velocity model, which is based on a wealth of seismic data.

Contributions of upper mantle sources are excluded and we forward model the gravity field and the gravity gradients at the surface, airborne and satellite height.

These fields allow now to validate forward and inverse modelling algorithms and to study the benefit of using multiple components of the gravity field.

This model is selected as a validation area for inverse and forward modelling methods as part of the IAGA Working Group "Modeling and Inversion of Gravity-Solid Earth Coupling".

3-F Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-F Structure and Dynamics of the Earth's Crust and Lithosphere

3-F.001

Location and wavefield attributes of long-period signals at Villarrica volcano (Chile), determined by array and polarization-moveout analysis

Lehr J., Thorwart M., Rabbel W.

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

Villarrica Volcano is the most active volcano in Chile whose latest eruption occurred in March 2015. Increasing the knowledge on it is thus crucial to an effective monitoring and hazard assessment. In this context, long-period volcanic signals (LP) are considered to be a key to the understanding of fluid dynamics and volcanic plumbing system. However, standard seismological location tools usually fail due to the emergent onset of such signals. Therefore, a careful trial of alternative methods is required.

In March 2012, a dense seismic network was installed at Villarrica for two weeks with 50 stations covering the volcanic edifice including 6 subarrays. About 400 LP events were identified.

We tested two location approaches at the basis of a show-case event. In a first trial, the subarrays were used to determine backazimuths and slowness by beamforming. The epicenter was derived by intersecting azimuthal rays. It locates ca. 1 km southeast of the summit crater. At frequencies above 2 Hz, additional maxima appear in the semblance distribution of near-summit arrays which can be interpreted as side-scattered signals.

Since the crossing points of the backazimuth rays showed some scattering we tested polarization analysis (applied to the subset of 3-component stations) as an alternative. Although the direct interpretation of the backazimuths was unreliable, we identified two characteristic patterns within the time series of rectilinearity that can be interpreted as “onsets”: the starting point of a 2 to 10 s long time interval of almost constant rectilinearity (value of 0.7 to 0.9 indicating elongated elliptical), and a follow-up minimum (with rectilinearity at 0.0, indicating circular polarization). Both patterns can be clearly identified on several stations. The corresponding arrival times show nearly linear moveouts of 550 m/s and 270 m/s, respectively. At corresponding frequencies and stations, similar apparent horizontal velocities are found by the beamforming. A grid search was performed to find the epicenter by fitting the “onset”-times. It lies 2 km southeast of the crater thus close to the one found by beamforming.

The good accordance in the results of the new polarization and the conventional beamforming method makes the moveout approach, at least in the case of this data set, a promising amendment to the existing LP-location toolbox. A thorough test of its general applicability is planned.

Rayleigh Wave Azimuthal Anisotropy beneath the Hawaiian Swell - Evidence for plume-related mantle flow

Laske G.¹, Marzen R.²

¹Scripps Institution of Oceanography, IGPP, La Jolla, Vereinigte Staaten von Amerika, ²Rice University, Houston, Vereinigte Staaten von Amerika

During the two-stage Hawaiian PLUME (Plume-Lithosphere Undersea Melt Experiment) deployment, we collected continuous seismic data at ten land stations and nearly 70 ocean bottom sites from 2005 through mid-2007. Both the usage broad-band seismometers as well as the central location of Hawaii with good azimuthal seismicity coverage allows us to conduct a comprehensive analysis of surface wave azimuthal anisotropy at periods between 20 and 100 s. Using a triangle method that we developed for earlier studies, we fit propagating spherical wave fronts to the phases at three stations simultaneously to determine the frequency-dependent average phase velocity within these triangles. We use the standard Smith-and-Dahlen parameterization to express azimuthal variations. A systematic comparison between results obtained for different truncation levels in the trigonometric expansion allows us to assess stability of the results and assign error bars.

We observe a marked shift in the overall geometry of fast directions. At periods shorter than about 30 s, the fast direction aligns coherently with the fossil spreading direction across the entire PLUME network. This result supports the idea that flow-aligned asthenospheric material is added to the cooling plate as it thickens. This is also consistent with published PLUME shear-wave splitting observations. However, at longer periods, that sense the asthenosphere below the fast direction rotates incoherently, indicating that flow in the asthenosphere is significantly perturbed from the direction of current plate motion. We present results from forward modeling as well as initial inversions that suggest that plume-related mantle flow does not reach into the upper lithosphere, at the scales imposed by both the PLUME station spacing and the surface waves used in this study.

New Gravity and Magnetism Maps of the Southern Part of the Baltic Sea

Dehghani A.

Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland

During the last 20 years many marine cruises were organized by the University of Hamburg in the southern part of the Baltic Sea. On all these cruises the gravity and magnetism data were collected along profiles. The gravity measurements were carried out using the modern Air and Sea Gravimeter KSS 31M of Bodenseewerke. For the magnetism measurements in the first 10 years a Marine Gradiometer of type GEOMETRICS was deployed. In the last 10 years a modern SEYSPY gradiometer of Marine Magnetism was used.

All collected data were processed uniformly to be able to produce new gravity and magnetism maps of the research area.

The coverage of the data is satisfied for 2-D and 3-D modelling of the crustal structure in the area.

Most of the tectonic units of the structures in the Bays of Mecklenburg, Luebeck and Kiel are observed in the new gravity and magnetism maps.

The results of 2-D and 3-D modelling for some local and regional areas will be presented and discussed.

NAF-Submarine Canyon in the Gulf Izmit of the Marmara Sea-Turkey

Senoz M.

DEU-DBTE, Marine Geology-Geophysics, Izmir, Türkiye

The North Anatolian Fault system (NAF), one of the world's major continental transform Systems, separates the Anatolian and the Eurasian plates for more than 1,600 km in northern Turkey. Marmara Sea and Gulf of Izmit are subsident parts of NAF through tectonic movement. The Gulf of Izmit was a lake during glacial times like the Sea of Marmara self. Strong erosion events influenced the earth surface in this times and new morphological structures (canyon, river bed and fluvial channels) created. The Sea bottom of Marmara Sea and Gulf of Izmit (part of NAF) was affected strong during Izmit Earthquake 1999. The new bathymetry, multibeam bathymetry, chirp and high resolution seismic data permit the preparing of the very detailed bathymetry, multibeam bathymetry and seismic (topography) maps of the seabottom. In this maps was first time possible to interpret the Izmit Gulf Canyon between the western basin of the Izmit Gulf and Çınarcık Basin in the eastern of the Marmara Sea. The recent development of the data collection and processing technology will permit better data enhancement and data interpretation in the Future.

Kane Basin, Nares Strait: Sudden transition between undeformed sediments of Greenland and folded sediments of Ellesmere Island

Ehrhardt A., Schnabel M., Damm V.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Marine Seismik, Hannover, Deutschland

The nature of the Nares-Strait (NS), a seaway between Greenland and Ellesmere Island, is important to understand the plate tectonic history of the Arctic region. As it is clear that rifting and seafloor spreading took place between Greenland and Baffin Island, it is unclear how the extension was compensated between Greenland and Ellesmere Island. Already Alfred Wegener suggested some kind of left lateral transform fault along the NS, a straight seaway separating the Greenland Plate from the North American Plate, nowadays proposed as the Wegener-Fault. Plate tectonic reconstruction models require a transform fault for the compensation of several hundred km of extension and seafloor spreading from Late Cretaceous to Eocene times. However, land geological data do not support this thesis and let assume that no lateral displacement occurred between Greenland and Ellesmere Island. With the formation of the recent Midatlantic Ridge System between Greenland and Europe since the early Eocene, the western branch became inactive and consequently the proposed transform fault, too. Northeast motion of Greenland replaced the left lateral transform and caused compression. The inactive transform fault was overprinted and as a consequence it was altered, probably displaced and is difficult to recognize.

The Kane Basin is one of a series of basins that are aligned along the NS. It resembles probably a pull-apart basin following the approach that NS developed as transform fault.

This paper presents insight into the Kane Basin by means of 2D seismic data, sonobuoy data, gravity and magnetic data acquired during surveys of BGR in 2001 and 2010. The eastern Kane Basin is characterized by a deeper rim and a more shallow central part. Most of it is floored by Proterozoic crust without any sediment on top of it. Only in the western part of the Kane Basin a sedimentary infill can be recorded which terminates with an erosional truncation on to the seafloor. Because of the mapped sediment and fault pattern, a pull-apart development of the Kane Basin can't be supported. However, the steepening of the sedimentary beds towards Ellesmere Island and anticlinal deformation parallel to the NS point to the presence of a strike-slip fault that runs parallel to the Ellesmere Island coastline. As this fault represents also the western border of the Greenland continental plate it can be considered as a relict of the Wegener Fault.

4-A Geohazards

4-A Geohazards

4-A.001

Deformationsanalyse zum Verständnis rutschungsinduzierter seismischer Signale an der Super-Sauze Hangrutschung

Rothmund S., Häfner R., Joswig M.

Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland

An kriechenden bis langsam bewegenden bindigen Lockergesteinshangrutschungen in den Alpen konnte mittels der passiven seismischen Messmethode Nanoseismic Monitoring rutschungsinduzierte, impulshafte Bruchprozesse ($M_L < 0$), sog. Slidequakes, sowie ETS-ähnliche Signale (episodic tremor and slip) erfasst werden. Die Sonogrammsignaturen von Slidequakes sind vergleichbar mit denen von Lokalbeben, jedoch können keine Momententensoren aufgrund des schlechten Signal-Rausch-Verhältnis bestimmt werden. Seit einigen Jahren wird versucht seismische Beobachtungen aus Erdbeben und geodätischen Messungen zu kombinieren. Diese zeigten, dass die Achsen des seismischen und des geodätischen Strain-Rate-Tensors eine ähnliche Orientierung und Stil aufweisen. In diesem Vortrag soll diskutiert werden, inwieweit sich diese Beobachtungen der Krustendeformation auf den deutlich kleinskaligeren Bereich von Lockergesteinshangrutschungen am Beispiel der Super-Sauze Hangrutschung (Südfranzösische Alpen) übertragen lassen. Weiterhin soll gezeigt werden, welche Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen die Strainanalyse im Zusammenhang mit rutschungsinduzierten, schwachen seismischen Signalen bietet und wie diese zum Verständnis des Auftretens und der möglichen Generierungsmechanismen dieser seismischen Signalen beitragen kann.

Die beobachtete Kinematik an der Super-Sauze Hangrutschung ist heterogen in Raum und Zeit und konnte aus multitemporalen Luftbildern, DGPS- und TLS-Messungen abgeleitet werden. Auf die ermittelten Verschiebungsfelder wurde eine Deformationsanalyse angewandt, wodurch die Strain-Raten an der Oberfläche sowie die Scherungsraten in Bewegungsrichtung bestimmt werden können. Die Strainfelder visualisieren Bereiche mit heterogenen Mustern, welche die zeitlich und räumlich variable Extension und Kompression von Teilgebieten reflektieren. In den Regionen mit einem Deformationsabfall ist ein bevorzugtes Auftreten von Slidequakes zu erwarten. Die Bereiche mit erhöhten Scherungsraten sind hingegen vermutlich eher prädestiniert für ein Auftreten von ETS-ähnlichen Signalen, da diese häufig in den Grenzbereichen zwischen Festgestein und Rutschungsmaterial, in denen sich Scherzonen ausbilden, auftreten.

Seismic detection and characterization of gravitational mass movements

Fuchs F.¹, Lenhardt W.², Bokelmann G.¹

¹Universität Wien, Institut für Meteorologie und Geophysik, Wien, Österreich, ²Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, Österreich

Rapid gravitational mass movements, such as landslides, rockfalls, or avalanches are repeatedly recognized during routine seismic monitoring at national earthquake observatories. Yet, utilizing the tools of seismology for fast detection and characterization of mass movements is uncommon. Here we present a set of past landslide and rockfall events in Austria and neighboring countries, which were well-recorded by several permanent seismic stations. We aim at identifying seismically observable parameters of the mass movements, where additional geological and geographical data is available. Based on this set of well-recorded slide events we propose a processing routine for event detection and location as well as discrimination from earthquakes, which can lay ground for a routine detection of rapid mass movements through remote seismic monitoring.

Seismic monitoring of soft-rock landslides: New case study at Pechgraben - Upper Austria

Vouillamoz N.^{1,2}, Santoyo Campos J.C.¹, Ottowitz D.³, Jochum B.³, Pfeiler S.³, Supper R.³, Joswig M.¹

¹Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland, ²University of Fribourg, Department of Geosciences, Fribourg, Schweiz, ³Geologische Bundesanstalt, Fachabteilung Geophysik, Wien, Österreich

Creeping soft-rock landslides trigger various seismic signals which relate to key dynamics of the slope instability. A new seismic monitoring study is carried out at Pechgraben - Upper Austria, where a clay-shale rich mudslide was reactivated in summer 2013 after heavy rainfalls. The well geophysical instrumentation of the Pechgraben mudslide by the Geological Survey of Austria (TEMPEL/LAMOND network including permanent Electrical Resistivity Tomography - ERT, GPS, piezometers, soil temperature/humidity and photomonitoring) is expected as a better basis for joint interpretation of seismic source processes. Seismic data are acquired by small-aperture (< 30 m) sparse seismic arrays. Potential events are recognized by frequency-time signatures in sonograms, where sonograms are spectrograms featuring a frequency-dependent noise adaptation that enhance the display of weak signal energy down to the noise threshold. Further signal evaluation follows an interactive scheme where a semi-automated beam forming method enables for approximate source location. Three seismic arrays were deployed at Pechgraben in October 2015 for an eight day feasibility study. About 200 seismic signals potentially triggered by the landslide were manually picked on night-time measurements. Target signals occur in tremor-like sequences and have duration within 1 – 8 seconds. Local magnitudes are calibrated down to $M_L -1.5$ (Wood-Anderson amplitude $\approx 0.1 \mu m$ in 100 m distance). Observed waveforms display high degree of similarity with seismic signals catalogued at other soft-rock landslides suggesting that a general typology of seismic source processes could be established for creeping soft-rock instabilities with potential further implications in landslide mitigation and forecasting.

Seismic monitoring of the Aaknes rockslide

Kühn D.¹, Fischer T.², Roth M.¹

¹NORSAR, Kjeller, Norwegen, ²Charles University of Prague, Institute of Hydrogeology, Engineering Geology and Applied Geophysics, Prague, Tschechische Republik

Rock avalanches and related tsunamis represent a serious natural hazard in Norway. During the 20th century, three major tsunami disasters occurred due to subaerial rockslides with maximum run-up heights between 40-74 m. Historical records from the last 400 years show that 2-3 catastrophic events take place per century, claiming 250 lives in total (Blikra et al., 2006).

We present results of seismic monitoring of the Aaknes unstable rock slope in Norway, one of the most investigated rockslides in the world. The rockslide tsunami hazard and the tsunami early warning system are managed by the Aaknes/Tafjord Beredskap IKS. A variety of measurement and monitoring techniques has been applied to the slope, among others geophysical, hydrological and geological methods as well as point- and area based displacement monitoring (e.g. Ganerød et al., 2008; Oppikofer et al., 2009; Heincke et al., 2010).

In October 2005, a seismic network has been installed consisting of 8 3-C geophones covering an area of about 250 x 150 m in the upper part of the unstable slope. Thousands of local seismic events are recorded yearly including rock falls, rock and snow avalanches and slip events. The large complexity of recorded seismograms renders traditional processing in terms of arrival time picking and linearized location difficult. In particular, some events are recorded on few stations only, many waveforms are missing impulsive onsets, and the frequency content of the waveforms strongly varies among stations. Instead, we applied an automatic procedure for identifying and classifying local seismic events and developed a migration stacking method to determine the hypocentre locations that does not require arrival time measurements. We calibrate the location method using surface shots and apply it to 9 years of seismic monitoring data. We find a strong seasonal variability of the rockslide activity and compare it with rainfall.

Bodenbewegungsdienst Deutschland – Konzept, Pilotanwendungen und weiteres Vorgehen

Lege T., Kalia A., Frei M.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Gefährdungsanalysen, Fernerkundung, Hannover, Deutschland

Vielfach wird die Erdoberfläche als unbeweglich angesehen. Und doch bewegt sie sich. Natürliche und anthropogene Bodenbewegungen wie Setzungen, Hebungen, Hangrutschungen, Schwankungen des Grundwasserspiegels, Erdfälle usw. lassen sich millimetergenau mit der satellitengestützten Radarinterferometrie entdecken und verfolgen.

Die Ursachen für Bodenbewegungen liegen nahezu ausschließlich in der Wechselwirkung geologischer Prozesse (z.B. Tektonik, Subrosion, ...) oder anthropogener Maßnahmen (z.B. Bergbau, Wasserbewirtschaftung, ...) mit (hydro-) geologischen und geophysikalischen Eigenschaften der Gesteine und Gesteinsformationen des Untergrundes. Die Kenntnis klein- und großflächiger Bodenbewegungen stellt somit eine wichtige Randbedingung sowohl für (hydro-) geologisches bzw. geophysikalisches Prozessverständnis als auch für den Schutz der Bevölkerung, ihrer Umwelt und ihrer Investitionen dar.

So kann die Extraktion oder Versenkung von Fluiden (Gas, Wasser, Öl) zu einem Absinken oder Ansteigen des Lagerstättendrucks führen. Landabsenkungen oder -hebungen aber auch Erdbeben können die Folge sein. Sie können zu Gebäude- und Infrastrukturschäden führen sowie die hydro (geo-)logischen Verhältnisse als wichtige Randbedingungen für Ökosysteme, Landwirtschaft sowie Küsten- und Hochwasserschutz beeinflussen.

Der vorliegende Beitrag stellt das Konzept des Copernicus-Dienstes für einen bundesweit einheitlichen Bodenbewegungs-Datensatz auf der Basis der Satelliten-Radarinterferometrie vor. Das Konzept wurde in detaillierter Auswertung aus den Ergebnissen zahlreicher gut besuchter Veranstaltungen und Workshops unter Beteiligung der für Geologie, Bergbau, Vermessung, Verkehr und Geodaten zuständigen Behörden, von Forschungseinrichtungen und Unternehmen hergeleitet, abgestimmt und erfolgreich in Pilotanwendungen getestet.

Als Ergebnis der Pilotanwendungen wird ein überregionaler, versatzfreier Bodenbewegungsdatensatz sowie regionale Datensätze mit sehr hoher räumlicher Auflösung vorgestellt. Landabsenkungen in norddeutschen Gasfördergebieten und Küstenregionen, Massenbewegungen und Auswirkungen des Bergbaus in verschiedenen Regionen Deutschlands werden beleuchtet.

Das weitere Vorgehen zur Erstellung eines bundesweiten Bodenbewegungsdatensatzes auf der Basis der Daten des Radar-Satelliten Sentinel-1A des ESA Copernicus Programms wird skizziert.

Untersuchung von Subrosionsstrukturen in Bad Frankenhausen mittels hochauflösender SH-Wellen Reflexionsseismik

Wadas S.¹, Polom U.¹, Krawczyk C.M.^{1,2}

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

Subrosionsprozesse und die durch sie entstehenden Strukturen wie Erdfälle und Senkungen stellen weltweit ein hohes Georisiko dar, insbesondere wenn diese Phänomene im urbanen Raum auftreten. Die detaillierte Analyse der Subrosionsstrukturen und die Untersuchung der Entstehungsprozesse sind daher von großer Bedeutung. Das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) hat es sich deshalb zum Ziel gesetzt, ein umfassendes physikalisch-geologisch-hydrologisches Erdfall- und Subrosionsmodell für oberflächennahe Subrosionsstrukturen zu entwickeln. Eines der Arbeitspakete umfasst die reflexionsseismischen Methoden.

Das gewählte Untersuchungsgebiet ist in Bad Frankenhausen im Norden Thüringens gelegen. Der Untergrund Thüringens ist in weiten Teilen von den von Auslaugung betroffenen salinaren Abfolgen des Zechsteins geprägt. Bad Frankenhausen befindet sich südlich des Kyffhäuser an der Kyffhäuser-Südrand-Störung, welche vermutlich als Wegsamkeit für die Fluide dient, die für die Auslaugung verantwortlich sind. Der Subrosionsprozess wird außerdem durch anthropogene Faktoren wie Bebauung und Solegewinnung beeinflusst.

2014 und 2015 wurden im mittelalterlich geprägten Stadtteil von Bad Frankenhausen reflexionsseismische Messungen an der Oberkirche mit dem berühmten schiefen Kirchturm und in der Nähe des Quellgrund-Erdfall, einem der ältesten Erdfälle der Region, durchgeführt. Insgesamt wurden 8 reflexionsseismische SH-Wellen-Profile mit einer Gesamtlänge von ca. 1 km aufgenommen. Zum Einsatz kamen ein 72-Kanal- und ein 120-Kanal-Landstreamer mit einem Geophonabstand von 1 m sowie ein elektrodynamischer Mikrovibrator.

Bei der Analyse der seismischen Sektionen wurden strukturelle Parameter ermittelt, die mit der Auslaugung der im Untergrund vorhandenen Anhydrite des Zechsteins in Verbindung gebracht werden können. Es sind laterale und vertikale Variationen erkennbar, die auf einen stark heterogenen Untergrund hindeuten. Dieser ist zudem von zahlreichen kleinräumigen Störungs- und Bruchstrukturen mit Sprunghöhen von ca. 1 - 10 m gekennzeichnet. Außerdem sind die an der Erdoberfläche sichtbaren Subsidenzbereiche auch in den oberflächennahen Strukturen der seismischen Sektionen bis in Tiefen von ca. 30 m identifizierbar. Neben den strukturellen Parametern konnten auch Auffälligkeiten im Hinblick auf das Absorptions- und Streuverhalten des seismischen Wellenfeldes im Untergrund ausgemacht werden, insbesondere die Ausbildung von Diffraktionen.

4-B Geohazards

4-B Geohazards

4-B.001

Paläoseismologie in der Niederrheinischen Bucht – Tektonische und anthropogene Bewegungen an der Rurrand-Störung

Lehmann K.¹, Hovekamp A.², Salamon M.¹, Poths M.²

¹Geologischer Dienst NRW, Krefeld, Deutschland, ²RWE Power AG, Köln, Deutschland

Im EU-Projekt PALEOSIS wurde 1999 der Paläoseismikschurf „Jülich-Stallbusch“ am Rurrand, einer Hauptverwerfung der Niederrheinischen Bucht, angelegt, um das Auftreten möglicher Schadenbeben in vorhistorischer Zeit zu untersuchen. Im Aufschluss wurden mehrere seit dem Pleistozän aktive Störungslinien innerhalb eines Bereichs von ca. 16 m dokumentiert. Zu den beobachteten Schichtversätzen tragen neben tektonischen Prozessen auch signifikante bergbaulich verursachte Bewegungen bei. Hervorgerufen werden diese durch die für den sicheren Bergbaubetrieb erforderliche Grundwasserentnahme in den Braunkohletagebauen des Rheinischen Reviers. Diese verursacht eine großräumige, weitgehend gleichförmige Geländeabsenkung. An den Hauptstörungen kann es auch zu einer stufenartigen Absatzbildung an der Tagesoberfläche kommen, wenn die Sumpfungsmaßnahmen aufgrund besonderer geologischer Verhältnisse auf beiden Seiten der Störung unterschiedlich starke Bodensenkungen verursachen. Eine abschließende Unterscheidung der Wirkungen anthropogener und tektonischer Prozesse im Schurf war ohne ein zusätzliches messtechnisches Monitoring zur Erfassung der anthropogenen Bewegungsanteile nicht möglich.

Zur Klärung dieser Fragestellung wurden im Jahr 2000 vier Messprofile mit geodätischen Bodenpunkten parallel zum Schurf eingerichtet. Lage- und Höhenänderungen an diesen Punkten werden seitdem mit geodätischen Präzisionsmessungen beobachtet. Die Messergebnisse zeigen, dass der Unterschied zwischen den Absenkungen von Hangend- und Liegendsholle im Zeitraum von 2000 bis 2015 22 cm betrug. Die anthropogen verursachte Absatzbildung war dabei auf einen Schurfabschnitt von nur ca. 4 m begrenzt. Eine Übertragung von Messungen an nahe gelegenen Leitnivelement-Punkten zeigt, dass die sumpfungsbedingte Bodensenkung seit ihrem Beginn im Jahr 1958 bis 1999 an der Schurfposition etwa 40 cm betragen hat. Dies bedeutet, dass die anderen im Schurf dokumentierten Versätze an den Störungslinien als tektonisch einzustufen sind. Diese neuen Erkenntnisse lassen nun eine paläoseismologische Deutung des Schurfes Jülich-Stallbusch zu. Der Gesamtbetrag der Versätze von 3,0 bis > 5,0 m, der seit der Weichsel-Kaltzeit verursacht wurde, lässt auf Bewegungsraten schließen, die die gesamte durchschnittliche tektonische Rate von etwa 0,06 bis 0,09 mm/a wiedergeben. Unter der plausiblen Annahme einer koseismischen Entstehung kann auf das Auftreten mehrerer Erdbeben mit $M_w > 6$ seit etwa 43 ka B.P. geschlossen werden.

Seismotectonics of southern Haiti: A new faulting model for the 12 January 2010 M7 earthquake

Saint Fleur N.¹, Feuillet N.², Grandin R.², Jacques E.², Weil-Accardo J.², Klinger Y.²

¹Bureau des Mines et de l'Energie, Unité Technique de Sismologie, Delmas, Haiti, ²Institut de Physique du Globe de Paris, Laboratoire de Tectonique et Mécanique de la Lithosphère, Paris, Frankreich

The prevailing consensus is that the 2010 Mw7.0 Haiti earthquake left the Enriquillo–Plantain Garden strike-slip Fault (EPGF) unruptured but broke unmapped blind north-dipping thrusts. Using high-resolution topography, aerial images, bathymetry and geology we identified previously unrecognized south-dipping NW-SE-striking active thrusts in southern Haiti. One of them, Lamentin thrust (LT), cuts across the crowded city of Carrefour, extends offshore into Port-au-Prince Bay and connects at depth with the EPGF. We propose that both faults broke in 2010. The rupture likely initiated on the thrust and propagated further along the EPGF due to unclamping. This scenario is consistent with geodetic, seismological and field data. The 2010 earthquake increased the stress toward failure on the unruptured segments of the EPGF and on neighboring thrusts, significantly increasing the seismic hazard in the Port-au-Prince urban area. The numerous active thrusts recognized in that area must be considered for future evaluation of the seismic hazard.

Das Illapel-Erdbeben in Zentral-Chile vom 16. September 2015, ein Paradebeispiel für ein charakteristisches Erdbeben

Tilmann F.^{1,2}, Zhang Y.³, Moreno M.¹, Saul J.¹, Eckelmann F.¹, Palo M.¹, Deng Z.¹, Babeyko A.¹, Chen K.¹, Baez J.-C.⁴, Schurr B.¹, Wang R.¹, Dahm T.¹

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften, Berlin, Deutschland, ³Peking University, School of Earth and Space Sciences, Beijing, China, Volksrepublik, ⁴Universidad de Chile, Centro Sismológico Nacional, Santiago, Chile

Am 16. September 2015 kam es am zentralchilenischen Kontinentalrand erneut zu einem schweren Erdbeben der Magnitude $M_w=8.2$. Mit kombinieren Inversionen der statischen Verschiebungsfelder aus GPS und InSAR-Daten und teleseismischen Wellenformen sowie Accelerometer- und dynamischen GPS-Daten mit der Backprojection von hochfrequenten (HF) teleseismischen Wellenformen. Damit erstellen wir eine umfassende Beschreibung des Bruchprozesses, der auch die Messungen an Tsunami-Bojen im Pazifik erfolgreich erklären kann. Weiterhin untersuchen wir die Nachbebensequenz, für die wir die Tiefen mit Hilfe von Tiefenphasen recht genau bestimmen konnten und für deren größere Ereignisse wir zusätzlich Momenttensoren bestimmt haben. Der Bruch begann in der Nähe der Küste in einer Tiefe von 30-35 km, aber pflanzte sich dann nach Norden und auch nach Westen entlang der Plattengrenzfläche in flachere Bereich fort, wobei ein maximaler Versatz von 5-6 m auftrat. Im Gegensatz dazu wurde im HF-Bereich seismische Energie, hauptsächlich am unteren Ende der Zone des intensivsten Versatzes abgestrahlt. Die signifikante Abstrahlung in diesem Frequenzbereich erreicht ihren Höhepunkt 30 s nach Beginn des Bebens und fällt dann schnell ab. Im langperiodischen Bereich erreicht der Bruch erst nach ~45 s seinen Höhepunkt und es lässt sich für insgesamt 80-100 s signifikante Aktivität feststellen. Diese Diskrepanz deutet daraufhin, dass die finale Phase in einem glatt verlaufenden Bruch im flachen Bereich der Plattengrenzfläche bestand. In 1943 brach ein weiteres großes Erdbeben praktisch den identischen Bereich des Plattenrandes. Wir gehen der Frage nach, inwieweit das 2015er Beben tatsächlich eine Wiederholung des 1943er Bebens war, wie es von der „Charakteristischen Erdbeben“-Hypothese, die einen Ansatz der Gefährdungsabschätzung darstellt, postuliert wird, oder ob es sich doch um ein substantiell anderes Beben handelte, was das Vorhersagepotential der vergangenen Erdbeben Geschichte weiter schmälern würde.

Thermal observation of the 2014 effusive eruption at Stromboli volcano

Zaksek K.¹, Hort M.¹, Lorenz E.²

¹Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland, ²Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Institut für Optische Sensorsysteme, Berlin, Deutschland

Typical activity of Stromboli volcano (Aeolian Islands, Italy) is characterized by regular explosions that eject particles above the crater terrace a couple of times per hour. Continuous effusive activity is uncommon for Stromboli. During the last decades only three major effusive episodes were recorded: 1985/86, 2002/03 and 2007. The effusive activity presents no direct hazard to the island's inhabitants. However, the effusive activity might trigger even a tsunami. Thus, the effusive activity at Stromboli is an exceptional activity that can be a precursor of a major hazard in the broader area. The latest effusive activity period at Stromboli started on 6th August 2014. This event had been preceded by 2 months of increased Strombolian activity and several lava overflows from its different craters. Lava flows extended down the Sciara del Fuoco from a fracture 650 m a.s.l.. The effusive period lasted until 13th November 2014. Thermal observations of this event allowed us to estimate the time averaged lava discharge rate. The thermal data was retrieved by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and the small TET-1 satellite (German abbreviation for "Technologie-Erprobungsträger 1" meaning Technology Experiment Carrier). This was the first time a small and cheap satellite provided a long term satellite monitoring of active lava flows at high spatial resolution (160 m) and a relatively high temporal resolution (~3 days, sometimes even 2 images per day).

TET-1 data were not available for the whole eruption period, but we were still able to retrieve time averaged lava discharge with a combined use of TET-1 and MODIS data. The results correspond well to field observation data using a combination of cameras operating in different channels. The mean output rate for the entire eruption equals $0.87 \text{ m}^3/\text{s}$, which is higher than in the 2002–03 eruption, but less than in the 2007 eruption. These differences can be partially explained by the model based on Poiseuille flow, where the pivotal role belongs to the height difference between the crater terrace and the effusive vent, i.e. the driving magmastatic pressure. During the three months long eruption Stromboli erupted an estimated volume of $7.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ of material.

Rapid dome morphology changes at Mount St. Helens monitored by seismicity and optical camera data

Salzer J.¹, Thelen W.A.^{2,3}, James M.⁴, Walter T.R.¹, Moran S.², Denlinger R.²

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ²USGS, Cascades Volcano Observatory, Vancouver, WA, Vereinigte Staaten von Amerika, ³USGS, Hawaiian Volcano Observatory, Hawaii National Park, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁴Universität Lancaster, Lancaster Environment Centre, Lancaster, Vereinigtes Königreich

Volcanic lava domes pose a serious hazard to the surrounding area, in particular due the potential of destabilization and the development of far-reaching block and ash flows. Therefore, it is important to monitor and understand mechanisms of deformation and destabilization during dome growth. This study focuses on short term deformation associated with earthquakes and tremor at Mount St. Helens, observed over a 6-week period in the summer of 2006. Monitoring data from fixed installed time lapse cameras were compared to seismic records, to test for links and interactions between different volcanic processes. We use Digital Image Correlation (DIC) to compute the displacement field between successive optical images, and compare the results to the occurrence and characteristics of the associated seismic events.

The results reveal that the steady dome growth at Mount St. Helens was interrupted by short term downward displacements reaching meter-scale. The displacements were associated with low frequency, large magnitude seismic events followed by a tremor-like signal, only observed in the data from the closest seismic stations. We find a direct correlation between the amplitudes of the displacements and the amplitude of the associated tremor. For a selected event we reproject the DIC-derived displacement fields obtained from two cameras onto the topography, which enables 3D displacement vectors to be derived for areas visible in both cameras. This shows that the co-seismic deformation is marked by subsidence of the dome in a segmented fashion, the central region displaying mainly vertical motion, while the displacements on the talus are more slope-parallel. We conjecture that fluids are mobilized and evacuated from within the dome structure during the low frequency earthquake, and the following tremor is recording the gravity-driven response of the upper parts of the dome, marked by the subsidence.

4-C Geohazards

4-C Geohazards

4-C.001

Simulation of Ground Motions from the 1759 Lebanon Earthquake for Archaeoseismic Studies

Schwellenbach I., Hinzen K.-G.

Universität zu Köln, Earthquake Geology and Archaeoseismology, Bergisch Gladbach, Deutschland

The analysis of macroseismic data published in a map by Ambraseys & Barazangi (1989) in combination with calculated Green's functions for a 1D model of the Levant is used to generate synthetic seismograms of the November 25, 1759, Lebanon earthquake. These seismograms will serve as input ground motions in numerical tests of archaeoseismic structures in the area.

The extension of the felt area is used to estimate the moment magnitude M_w . Further earthquake parameters including the length and width of the fault can be calculated using empirical relations referring to M_w .

By using these parameters and the 1D subsurface model, a set of Green's functions is calculated. The source is simulated by an arbitrary number of rectangular sub-sources. By optimizing the fit between the calculated intensity distribution and the macroseismic data, matching synthetic ground motions are derived.

Two probable causative faults of the Lebanon earthquake, the Yammoûneh Fault and the Serghaya Fault, are tested in the simulation with varying earthquake parameters. In order to compare macroseismic observations and calculations, the PGA value for each of the 4900 simulated observation points is calculated and converted into Modified Mercalli Intensity. The fit of the intensity distribution is used to constrain earthquake parameters. The best fitting model shows an average intensity deviation of 0.56 for each observation point with a source on the Serghaya Fault.

According to this analysis, the November 25, 1759, Lebanon earthquake with $M_w = 7.1 \pm 0.2$ had a surface rupture length of 66 ± 22 km, a rupture width of 16 ± 2 km and a focal depth of 14.5 ± 2.5 km. The seismic moment was $(10 \pm 7) \cdot 10^{19}$ Nm.

Imaging the concealed section of the Whakatane fault below Whakatane city, New Zealand, using a shear wave land streamer system

Polom U.¹, Müller C.², Krawczyk C.M.³

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), S1, Hannover, Deutschland, ²GNS Science, Tectonophysics, Upper Hutt, Wellington, Neuseeland, ³Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.7 Oberflächennahe Geophysik, Potsdam, Deutschland

The Mw 7.1 Darfield Earthquake in September 2010 ruptured the surface along the Greendale Fault that was not known prior to the earthquake. The subsequent Mw 6.3 Christchurch earthquake in February 2011 demonstrated that concealed active faults have a significant risk potential for urban infrastructure and human life in New Zealand if they are located beneath or close to such areas. Mapping exposures and analysis of active faults incorporated into the National Seismic Hazard Model (NSHM) suggests that several thousands of these active structures are yet to be identified and have the potential to generate moderate to large magnitude earthquakes (i.e. magnitudes >5). Geological mapping suggests that active faults pass beneath, or within many urban areas in New Zealand, including Auckland, Blenheim, Christchurch, Hastings/Napier, Nelson, Rotorua, Taupo, Wellington, and Whakatane.

Since no established methodology for routinely locating and assessing the earthquake hazard posed by concealed active faults is available, the principal objective of the presented study was to evaluate the usefulness of high-resolution shear wave seismic reflection profiling using a land streamer to locate buried faults in urban areas of New Zealand. During the survey carried out in the city of Whakatane in February 2015, the method was first tested over a well known surface outcrop of the Edgecumbe Fault 30 km south-west of Whakatane city. This allowed further to investigate the principle shear wave propagation characteristics in the unknown sediments, consisting mainly of effusive rock material of the Taupo volcanic zone mixed with marine transgression units. Subsequently the survey was continued within Whakatane city using night operation time slots to reduce the urban noise.

In total, 11 profiles of 5.7 km length in high data quality were acquired, showing concealed rupture structures of obviously different age in the shallow sediments down to 100 m depth. Subject to depth verification by drillings normal fault displacements of up to 15 m are visible in depths of 20-40 m, deeper rupture structures show displacements of up to 20 m. Furthermore, indications of strike-slip fault activities are visible. The concealed rupture structures found are not aligned at former estimated fault lineaments or main surface structures like the Whakatane river bed. Correlations exist with small topographic variations detected by LIDAR imaging and surface signatures on a historic map of 1867.

Active Tectonics in Port-au-Prince

Saint Fleur N.¹, **Feuillet N.**², Klinger Y.²

¹Bureau des Mines et de l'Energie, Unité Technique de Sismologie, Delmas, Haiti, ²Institut de Physique du Globe de Paris, Laboratoire de Tectonique et Mécanique de la Lithosphère, Paris, Frankreich

The M7.0, 2010 Haiti earthquake was enigmatic for several authors. One of the reasons of the poor understanding of this event is that the fault system was not well known and no detailed mapping was available. Here, using high-resolution LIDAR topography, aerial photographs, bathymetric chart, together with geological data complemented with field observations, we carried out a morphotectonic analysis at all scales. In particular, in the Cul-de-Sac – Enriquillo plain where lies the capital city of Port-au-Prince, we mapped numerous NW-SE to WNW-ESE-striking Quaternary folds and thrusts. Some of them are north-dipping and located to the southern front of the Matheux-Neiba Lower Miocene fold. Others, such as Ganthier, Jacquet, Nan Cadastre, and Port-au-Prince itself, are south-dipping and located to the northern front of the Massif de la Selle – Sierra de Bahoruco (MSB) Lower Miocene fold. Moreover, we analysed the drainage network at the northern front of the MSB by mapping the fans of the main rivers and their associated drainage basins. We found that the areas of all the fans were compatible with their drainage basins, except the paleofan of Port-au-Prince. This paleofan has been offset by 7.9 ± 0.3 km by the main strike-slip Enriquillo-Plantain Garden Fault (EPGF) and a minimum slip rate of ~ 3 mm/yr over the Pleistocene has been deduced. In a recent paper of ours, we showed that the 2010 Haiti earthquake activated both one of the young thrusts (Lamentin) and the EPGF, consistently with the boundary conditions. Thus, such major and complex ruptures directly threaten the densely urban area of Port-au-Prince.

VOLCAPSE: A novel ERC project to study dome building volcanoes in high resolution by satellite radar and camera networks

Walter T.R.

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

At dome building volcanoes, the explosive excavation of a crater and the initial stages of dome formation are one of the most dynamic morphometric changes that may occur. Associated with initial explosions, pathways for new magma are developing, zones of structural weakness are initiated, and pyroclastic flows directed by the new and developing morphology. However, due to the common lack of observations, these initial stages at dome building remained hidden. Consequently, the observation of this early explosion and dome growth episode is the key for understanding the imminent eruption dynamics.

Here we highlight "VOLCAPSE", a 5-year ERC consolidator project that has the aim to investigate destructive-constructive activity at dome building volcanoes by a combination of time lapse imaging methods. Preliminary results are presented for Merapi (Indonesia) and for Colima (Mexico), both of which show dome activity in the past years, and both display very profound changes in the summit crater morphology. At Merapi volcano, the summit crater changed in 2010, and at Colima volcano in 2015, both now directing new avalanches and pyroclastic flows towards the south. We observe the changing crater geometry and early dome formation by satellite radar data (COSMO-SkyMed and TerraSAR-X satellites) and also install fixed time-lapse cameras located at several kilometers distance. Advantage of the satellite radar data is that observations are possible day and night, even during eruptions, and provide edifice-wide views. Advantage of the camera data is the high temporal and spatial resolution during clear skies, and focused views onto the dome.

First results reveal that a combination of these methods provide insights into how dome building phases works. By means of interferometric processing and particle image velocimetry, the digital flow field is computed from consecutive image acquisitions, showing that vertical dome growth dominates at the beginning, followed by horizontal growth and fracture formation. Combination of camera data and satellite radar data allows coverage of large and small displacements. Gravitational spreading of the dome, and grading into a later flow domain becomes evident after critical dome heights are reached. The VOLCAPSE project therefore will allow a detailed view into the explosive crater formation and new dome formation, and allows testing the combination of innovative methods that may be applicable for monitoring at volcanoes elsewhere.

Monitoring of volcanic activity at Shiveluch volcano (Kamchatka) with TanDEM-X SAR-Interferometry

Heck A.¹, Kubanek J.², Westerhaus M.², Gottschämmer E.¹, Heck B.², Wenzel F.¹

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruhe, Deutschland, ²Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geodätisches Institut, Karlsruhe, Deutschland

As part of the Ring of Fire, Shiveluch volcano is one of the largest and most active volcanoes on Kamchatka Peninsula. During the Holocene, only the southern part of the Shiveluch massive was active. Since the last Plinian eruption in 1964, the activity of Shiveluch is characterized by periods of dome growth and explosive eruptions. The recent active phase began in 1999 and continues until today. Due to present circumstances at active volcanoes, such as smoke development, danger of explosions, or lava flows, as well as poor weather conditions and inaccessible area, it is difficult to observe the interaction between dome growth, dome destruction, and explosive eruptions in regular intervals. Consequently, a reconstruction of the eruption processes is hardly possible, though important for a better understanding of the eruption mechanism as well as for hazard forecast and risk assessment.

A new approach is given by the bistatic radar data acquired by the TanDEM-X satellite mission. This mission is composed of two nearly identical satellites, TerraSAR-X and TanDEM-X, flying in a close helix formation. On one hand, the radar signals penetrate clouds and partially vegetation and snow considering the average wavelength of about 3.1 cm. On the other hand, in comparison with conventional InSAR methods, the bistatic radar mode has the advantage that there are no difficulties due to temporal decorrelation. By interferometric evaluation of the simultaneously recorded SAR images, it is possible to calculate high-resolution digital elevation models (DEMs) of Shiveluch volcano and its surroundings. Furthermore, the short recurrence interval of 11 days allows to generate time series of DEMs, with which finally volumetric changes of the dome and of lava flows can be determined, as well as lava effusion rates. Here, this method is used at Shiveluch volcano with data from June 2011 to September 2014. Although Shiveluch has a fissured topography with steep slopes, the changes caused by volcanic activity can successfully be derived and quantified.

Loss to residential buildings of a re-eruption of the Laacher See Volcano

Leder J., **Gottschämmer E.**, Daniell J., Wenzel F.

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

We estimate damage and loss to the residential building stock by tephra fallout for a re-eruption of the Laacher See Volcano in Germany with similar volcanological features as compared to the 10.900 BC eruption (VEI = 6) but current population and wind conditions.

This eruption was the largest eruption north of the Alps since the Late Quaternary. It generated several fallout fans with proximal deposits of several meters of height. The main cities that would be affected today are Cologne, Bonn, Koblenz and Frankfurt with a total population of 2,2 mio. people. We derive possible wind fields from an analysis of 44 years of radiosonde observations provided by the Deutsche Wetterdienst (DWD). As they vary significantly with season the loss numbers and patterns reflect this dependency. We use the HAZMAP software to calculate the spatial distribution of tephra. HAZMAP simulates the tephra distribution using a 2D advection-diffusion-sedimentation model. The tephra pressure serves as hazard parameter that leads to roof and building damage. As the physical parameter for snowload damage is also pressure we utilize the available knowledge on snowload damage to buildings and derive vulnerability curves that are representative within a geocell of 1 x 1 km. Available information on the replacement values in each geocell allows estimating the loss. We find – depended on wind conditions - a range of 18 to 27 billion 2015-Euros.

A pilot study for the seismic monitoring of Fogo volcano, Cape Verde, using array techniques: conceptual details and initial results

Dietrich C., Wölbern I., Rümpker G.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

The islands of Cape Verde are thought to originate from a stationary mantle plume underlying an almost stationary tectonic plate. Since settlement of the islands began during the 16th century, Fogo is the only island of the archipelago with reported volcanic eruptions. The eruptions occur at relatively regular intervals of approximately 20 years, where the most recent eruption took place from November 2014 to February 2015.

Previous studies of earthquakes in relation to magmatic processes beneath Fogo were based on conventional seismic network configurations. However, significant seismicity has been reported to occur offshore to the southwest of the neighboring island of Brava and more recently between the islands of Brava and Fogo. Array seismology can provide detailed information on seismic activity within and surrounding the islands and to lower the detection threshold.

To further test the potential of array techniques for the monitoring of the volcano-related seismic activity surrounding Fogo, we started a pilot study involving the setup of a test array consisting of 10 seismic stations distributed over an aperture of 700 m. The installation of the array took place in October 2015. All stations are equipped with Omnirecs CUBE dataloggers, and either 4.5 Hz geophones (7 stations) or Trillium-Compact broad-band seismometers (3 stations). The stations are powered using conventional car batteries (70 Ah capacity) and are buried completely as a security measure. The first service visit is planned for January 2016.

The stations are distributed over two circles surrounding a central station. The inner circle with a radius of 175 m is occupied by three stations. Five stations, including the three broad-band stations, are located on the outer circle with a radius of 350 m. One additional station is located between the inner and outer circle. The configuration has been designed to optimize the properties of array transfer function for a reference frequency of 7.5 Hz. Initial results based on the recordings of the test array will be presented.

To further improve the capabilities for event localization, we are planning to install three additional broad-band stations, distributed across the island of Fogo, during the upcoming service visit. In the longer term of the monitoring project, we also intend to carry out ambient seismic noise studies and to include infrasound data from the nearby IMS stations on the island of Maio.

Geophysical 4D imaging of the 2004 eruption of Mt. St. Helens volcano: A study of its seismic attenuation and scattering characteristics

Haeger C.^{1,2}, Thomas C.¹, De Siena L.³

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ³University of Aberdeen, Dept. of Geology and Petroleum Geology, Aberdeen, Vereinigtes Königreich

We analyzed the structure of the Mt. St. Helens volcanic system by employing a 3D attenuation tomography calculated with the P-wave Coda-Normalization method and an array seismological migration technique for two independent datasets surrounding the last eruptive cycle. The pre-eruption dataset consists of 631 traces of local earthquakes with magnitudes $M < 3$, recorded between 2000 and 2003, the post-eruption dataset consists of 251 traces recorded between 2007 and 2009. The tomographic images show a shallow, highly attenuating body located west of the center of the volcanic edifice before the eruption that seems to have disappeared in the 2007-2009 images. Since resolution tests indicated poor resolution we tested the disappearance of this body by using migration, a technique suitable for locating scattered energy in the subsurface. Migration results show a low scattering body surrounded by strong scatterers for a 2003 earthquake. After the eruption, all evidence for that high attenuation, low scattering body has vanished and the migration results for 2008 show a more random distribution of scattered energy. This anomaly could be interpreted as a body of volcanic fluids or melt, since seismic waves would get scattered at the body's rim or enter and get attenuated.

Why shear waves often miss the cavity

Burschil T.¹, **Krawczyk C.M.**²

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

Shear-wave reflection-seismic methods often struggle with sinkhole detection even if the high impedance contrast between rock and cavity should be suitable. Cavities and cracks are supposed to have no shear stiffness so that shear waves do not propagate into or through the voids. To evaluate the influence of a possible fracture zone above a cavity as reason for poor seismic imaging, we applied 2D seismic modeling with finite differences. Seismic response was modeled for a reference input model, a cavity input model, and various fracture input models including the cavity underneath the fracture zone.

The reference and cavity models delineate the expected reflections and multiples and a bright reflection of the cavity. For the fracture input models a fracture zone derived from numerical crack-propagation modeling (Schneider-Löbens et al., 2015) was realized. The cracks were implemented as voids with an aperture of one grid point (i.e. 0.1 m). Seismic modeling shows that the shear wave does not pass the fracture zone and the cavity stays hidden. Furthermore, sequences with randomly discontinuous cracks in the fracture zone, comparable to the displacement discontinuity model with zero crack stiffness, are modeled to simulate partially seismic pathways through cracks. Depending on the amount of pathways, reflections of the cavity are detectable at the surface. For cracks with higher aperture, the percentage of rock grid points in the cracks has to increase to detect the cavity, since connected grid points are needed to generate seismic pathways.

Different hypothetical fillings of the fracture zone were tested too. Cracks filled with air or water, characterized by zero shear stiffness, shadow the cavity, while shear waves pass a mineralized fracture zone and reflect at the cavity. Furthermore, crack orientation in the fracture zone is important for seismic pathways. While tensile crack orientation allows shear wave transmission, crossing conjugated cracks hide the cavity. P-wave modeling shows that the fracture zone has no fundamental influence on the cavity reflection.

The gist of this paper: A fracture zone can avoid transmission of shear waves and shadow a cavity; seismic pathways are crucial for shear wave propagation through a fracture zone.

Schneider-Löbens, C., Wuttke, M.W., Backers, T., & Krawczyk, C.M. (2015). Numerical modeling approach of sinkhole propagation using the eXtended FEM code 'roxol'. Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-12230-2.

Hochauflösende reflexionsseismische Erkundung von Subrosionsstrukturen und oberflächennahen Störungen in Bad Frankenhausen und Umgebung

Wadas S.¹, Polom U.¹, Bunes H.¹, Krawczyk C.M.^{1,2}

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

Subrosion bezeichnet die Auslaugung von leicht löslichen Gesteinen im Untergrund z.B. von Evaporite und ist ein globales Phänomen. Durch ungesättigte Wässer, die durch Brüche und Störungen im Untergrund zirkulieren, wird Gesteinsmaterial gelöst und es findet eine Massenumlagerung statt. Es bilden sich Senken und Erdfälle aus, die insbesondere in urbanen Gebieten ein hohes Georisiko darstellen. Für die Entwicklung eines umfassenden physikalisch-geologisch-hydrologischen Erdfall- und Subrosionsmodells ist die Verwendung von reflexionsseismischen Methoden vor allem im Hinblick auf die Analyse der entstehenden Strukturen im oberflächennahen Untergrund unerlässlich.

Das Untersuchungsgebiet umfasst den Innenstadtbereich und die Umgebung von Bad Frankenhausen in Thüringen und liegt südlich des Kyffhäuser Gebirges an der Kyffhäuser-Südrand-Störung. Der geologische Untergrund Thüringens ist gekennzeichnet von durch Subrosion beeinflussten Ablagerungen aus dem Zechstein. Im Arbeitsgebiet sind das insbesondere die Gesteine der Staßfurt-, der Leine- und der Werra-Formation.

Im Verlauf mehrerer Messkampagnen wurden im mittelalterlich geprägten Stadtteil von Bad Frankenhausen und in der näheren Umgebung 11 reflexionsseismische Scherwellenprofile mit einer Gesamtlänge von ca. 3,6 km gemessen. Es wurden ein Landstreamer als Empfänger und ein elektrodynamischer Vibrator als seismische Quelle verwendet. Die seismischen Profile im mittelalterlichen Stadtzentrum erforderten spezielle Anpassungen bezüglich der Messgeräte und der Konfiguration, um der engen Bebauung, den verschiedenen Untergrundverhältnissen und der Topographie gerecht zu werden.

Die Analyse der seismischen Sektionen zeigte vor allem kleinräumige strukturelle Parameter, die mit dem anhaltenden Prozess der Subrosion in Verbindung gebracht werden können. Diskontinuierliche Reflektoren, Bruchstrukturen mit vertikalen Versätzen von ca. 1 – 10 m und Diffraktionen belegen einen vertikal und lateral stark heterogen ausgeprägten Untergrund. Die Diffraktionen sind auch Hinweise für im Untergrund vorhandene Hohlräume, die durch Bohrungen nachgewiesen wurden. Senkungsstrukturen die mit der Subrosion in Verbindung gebracht werden sind oberflächennah bis in Tiefen von ca. 30 m sichtbar. Oberflächennahe Störungen, die Wegsamkeiten für die zirkulierenden Wässer darstellen wurden ebenfalls identifiziert und weisen auf eine komplexe regionale Geologie hin.

Erdfallgebiet Bad Frankenhausen: Präzisionsnivellements und zeitabhängige Schweremessungen

Kobe M.¹, Gabriel G.¹, Krawczyk C.M.^{1,2}

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

Erdfälle und Absenkungen sind Geländeformen an der Erdoberfläche, deren Ursache in Subrosion, also der lokalen Ablaugung gut wasserlöslicher Gesteine im Untergrund (wie z.B. Kalk, Salz oder Gips) durch Grundwasserbewegung, liegen kann. Sie bergen auf Grund ihres oftmals unvorhersehbaren und plötzlichen Auftretens besonders in besiedelten Gebieten ein hohes Gefährdungspotenzial.

Das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) untersucht Subrosionsprozesse unter Verwendung verschiedener geophysikalischer Methoden in einem integrierten Ansatz und möchte damit einen Beitrag zum Prozessverständnis und daraus resultierender Strukturen leisten. Ein aktuelles Untersuchungsgebiet stellt hierbei die Ortschaft Bad Frankenhausen (Thüringen) dar. Das geologische Milieu ist stark durch die kontinuierliche Auslaugung der Steinsalze im Zechstein-Salinar, welches in Deutschland und hauptsächlich in Thüringen weit verbreitet ist, gekennzeichnet. Die regionale Grundwasserdynamik wird maßgeblich durch die Kyffhäuser-Südrandstörung und damit einhergehende Wegsamkeiten für Fluide beeinflusst. Außerdem werden lokale Grundwasserbewegungen durch anthropogene Eingriffe, wie z. B. Solegewinnung, beschleunigt.

In Bad Frankenhausen werden seit ca. zwei Jahren Feldmessungen mit dem Schwerpunkt auf der Beobachtung von Oberflächendeformation und ggf. Massenumlagerungen durchgeführt. Unter Verwendung der Gravimetrie und von Nivellements wird der Versuch unternommen, zeitliche Änderungen aufzuzeichnen. Dazu gibt es seit März 2014 quartalsweise Wiederholungsmessungen auf einem festgelegten Messnetz. Unter Verwendung des step-by-step Verfahrens werden jeweils vier Gravimeter (vom Typ LaCoste & Romberg sowie Scintrex) eingesetzt. Alle eingesetzten Geräte korrespondieren sehr gut miteinander. Die gemessenen Werte weisen in sich eine hohe Konsistenz auf. Die ausgeglichenen Schwerewerte befinden sich im Bereich einer Genauigkeit von $\leq 2\mu\text{Gal}$ für die Scintrex-Gravimeter, $\leq 5-7\mu\text{Gal}$ für die LCR-Gravimeter und $\leq 1,5\mu\text{Gal}$ für die gemeinsame Ausgleichung mehrerer Geräte. Jede Messkampagne wird von einem Präzisionsnivellement im Messnetz und auf weiteren 140 Punkten im Untersuchungsgebiet begleitet. Die Auswertung zeigt vertikale Bewegungen im aktiven Senkungsgebiet in Bad Frankenhausen von bislang einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern. Die Ergebnisse bestätigen damit qualitativ und quantitativ die Ergebnisse eines zehnjährigen Senkungslevellements (2000-2011).

Strukturerkundung im Karstgebiet Innerste Mulde, Niedersachsen

Miensopust M., Günther T., Igel J.

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Die Kalksteinformationen der westlichen Flanke der Innerste Mulde in Niedersachsen beherbergen ein 27 km langes Karstwassersystem. Dieses ist an der Oberfläche durch zahlreiche Erdfälle und Einbruchstrukturen gekennzeichnet. Das Karstwasser tritt an mehreren Quellen aus – eine davon ist die temporär schüttende Quelle namens Kirschensoog. Seit dem Frühjahr 2015 wurden verschiedene elektrische und elektromagnetische Methoden eingesetzt, um die geologischen Strukturen im Umfeld der temporären Quelle Kirschensoog zu erkunden. Die tonhaltige Deckschicht weist eine starke elektromagnetische Dämpfung auf, so dass die Erkundungstiefe von Georadar sehr eingeschränkt ist. Dennoch lassen sich schrägeinfallende Reflektoren mit wechselnder räumlicher Orientierung erkennen, die teilweise auch in den Widerstandsmodellen der Geoelektrik wiederzufinden sind. Vermutlich handelt es sich hierbei um die Bankung der Kalksteine oder um Kluffstrukturen. Die ungewöhnlich niedrigen elektrischen Widerstände der Kalksteine sind möglicherweise ein Anzeichen für Zerrüttung und Vorhandensein von Fluiden.

Ein ca. 1 km langes Geoelektrikprofil zur Erkundung der regionalen Strukturen ist im Einklang mit der geologischen Karte und existierenden Hubschrauber-Elektromagnetik-Ergebnissen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Teil des im Jahr 2000 beflogenen Messgebietes Rhüden – Lutter a.B.). Mit dem Geoelektrikprofil lassen sich aber einzelne Bereiche unterschiedlichen Widerstands besser differenzieren und detailliertere Informationen über die Neigung der einzelnen Schichten gewinnen.

Petrophysikalische Untersuchungen zur Verkarstung von Gipsgestein

Mai F., Börner F.

Technische Universität Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, Deutschland

Erdfälle entstehen in verschiedenen geologischen Milieus und stellen ein erhebliches Georisiko vor allem in dicht besiedelten Gebieten dar, bei dem erhebliche Schäden an Menschen und Sachgütern entstehen können. Häufig sind sie mit Anomalien im Grundwasserströmungsfeld und Heterogenitäten in der Zusammensetzung der Sedimente verbunden. Um die Genese von Erdfällen besser zu verstehen und langfristig auch deren Entstehung prognostizieren zu können, werden Lösungsvorgänge von Salzen, Gips- und Kalkgesteinen sowie deren Folgeprozesse aus petrophysikalischer Sicht analysiert und damit Möglichkeiten für deren begründete geophysikalische Erkundung aufgezeigt.

Das Lösungsverhalten von Salzgesteinen und der Einfluss von salzhaltigem Porenwasser auf die geophysikalisch messbaren Eigenschaften ist recht gut bekannt. Wenig erforscht ist bisher die Charakterisierung des Lösungsprozesses von Gips und Anhydrit im Grundwasserströmungsfeld und der Einfluss dieses Lösens z.B. auf das umliegende Gestein. Im Rahmen des Projektverbundes „SIMULTAN“ werden im WP 4 gemeinsam mit dem UFZ Leipzig diese Lösungsprozesse und deren Korrelation mit hydraulischen Erscheinungen vorrangig unter Nutzung geoelektrischer Verfahren und Direct Push-Sondierungen untersucht. An der TU Berlin werden diese Lösungsprozesse im Labor- und Technikumsmaßstab an Probenmaterial experimentell simuliert, um deren Wirkung auf petrophysikalische Parameter nachzuweisen. Dabei wird sowohl die Lösung der verkarstungsfähigen Gesteine selbst als auch die Beeinflussung benachbarter, nichtlöslicher Lockersedimente betrachtet. Schwerpunktmäßig werden die komplexe frequenzabhängige elektrische Leitfähigkeit (mHz bis kHz), das Eigenpotenzial und die Laufzeit elastischer Wellen analysiert. Dafür werden zunächst systematische Labormessungen der komplexen elektrischen Leitfähigkeit an Lockersand-Proben vorgenommen, die mit Porenwässern unterschiedlicher Ionenzusammensetzung (z.B. Calciumsulfat und/oder Natriumchlorid) gesättigt sind. Anhand der Ergebnisse können Effekte von erhöhtem Gipsgehalt im Grund- bzw. Porenwasser auf die Leitfähigkeitsbeiträge des Gesteines abgeschätzt werden.

Die Laborergebnisse werden für den Aufbau eines Technikumsversuchs genutzt, mit dem ein geoelektrisches Monitoring erdfallbildender Prozesse unter kontrollierten Bedingungen im Labormaßstab durchgeführt werden soll. Diese Arbeiten dienen der Vorbereitung von Feldmessungen in erdfallgefährdeten Gebieten.

5-A Extraterrestrial Physics

5-A Extraterrestrial Physics

5-A.001

Habitability of extrasolar planets: A review

Griessmeier J.-M.

CNRS / Université d'Orléans, LPC2E, Orleans, Frankreich

One of the many fascinating questions in the field of exoplanet studies is the search for habitable worlds. A lot of progress has been made on this subject in recent years, dealing with three main aspects. Firstly, the boundaries of the "liquid water habitable zone" have been revised, leading to a wider zone around the host star. Secondly, a number of extrasolar planets with orbits within the habitable zone of their host star have been detected, which allows to estimate the number of such planets per host star. Finally, it becomes clear that while the existence of liquid water on a planetary surface may be a necessary condition for habitability, this criterion is far from being sufficient. A number of additional conditions needs to be fulfilled for "true" habitability. Some of these new aspects that have recently been suggested to be important are the presence of planetary magnetic fields, the impact of galactic and stellar cosmic rays, and the coupling between planetary interiors, atmospheres and habitability. In this presentation, we will give a overview of the current state and review recent developments in the field.

Atmospheric effects of stellar cosmic rays on Earth-like exoplanets

Grenfell J.L.¹, Tabataba-Vakili F.², Griessmeier J.-M.³, Rauer H.¹

¹DLR-EPA, Berlin Adlershof, Deutschland, ²University of Oxford, Physics, Oxford, Vereinigtes Königreich, ³CNES, Orleans, Frankreich

M-dwarf stars are generally considered favourable for rocky planet detection. However, such planets may be subject to extreme conditions due to possible high stellar activity. The goal of this work is to determine the potential effect of stellar cosmic rays on key atmospheric species of Earth-like planets orbiting in the habitable zone of M-dwarf stars and show corresponding changes in the planetary spectra. We build upon the cosmic rays model scheme of Grenfell et al. (2012), who considered cosmic ray induced NO_x production, by adding further cosmic ray induced production mechanisms (e.g. for HO_x) and introducing primary protons of a wider energy range (16 MeV - 0.5 TeV). Previous studies suggested that planets in the habitable zone that are subject to strong flaring conditions have high atmospheric methane concentrations, while their ozone biosignature is completely destroyed. Our current study shows, however, that adding cosmic ray induced HO_x production can cause a decrease in atmospheric methane abundance of up to 80%. Furthermore, the cosmic ray induced HO_x molecules react with NO_x to produce HNO₃, which produces strong HNO₃ signals in the theoretical spectra and reduces NO_x-induced catalytic destruction of ozone so that more than 25% of the ozone column remains. Hence, an ozone signal remains visible in the theoretical spectrum (albeit with a weaker intensity) when incorporating the new cosmic ray induced NO_x and HO_x schemes, even for a constantly flaring M-star case. We also find that HNO₃ levels may be high enough to be potentially detectable. Since ozone concentrations, which act as the key shield against harmful UV radiation, are affected by cosmic rays via NO_x-induced catalytic destruction of ozone, the impact of stellar cosmic rays on surface UV fluxes is also studied.

Atmospheric Modeling of Gas Planets

Rahner R.¹, Grenfell J.L.², Rauer H.²

¹Technische Universität Berlin, Zentrum für Astronomie und Astrophysik, Berlin, Deutschland, ²DLR-EPA, Berlin Adlershof, Deutschland

Numerical modeling of hot gaseous exoplanets is a necessary step on the pathway to understanding the potential habitability of cooler, denser objects. We present here some first results from numerical modeling studies of Hot Jupiters and Mini Gas Planets. We calculate temperature using a straightforward grey radiative transfer scheme and estimate planetary chemical composition assuming solar composition using the NASA Chemical Equilibrium with Applications (CEA) model.

Bestimmung der Orbitalelemente in extrasolaren Multiplanetensystemen mit Hilfe der Transit Time Variation

Korth J., Grziwa S., Pätzold M.

Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln, Planetenforschung, Köln, Deutschland

Eine grundlegende Annahme der Transitmethode zur Detektion von extrasolaren Planeten ist, dass der Transitplanet seinen Stern auf einem stabilen Keplerorbit umkreist. Transit Time Variation (TTV) bezeichnet die Abweichung der wahren orbitalen Periode eines Transitplaneten von seiner mittleren orbitalen Periode. Diese Abweichungen können u.a. von der gravitativen Wechselwirkung mit einem weiteren (unbekannten oder nicht-transitierenden) Planeten verursacht werden, die die Bahn des Transitplaneten stört. Mit dieser Methode können daher noch unbekannte Planeten detektiert und somit Multiplanetensysteme entdeckt werden.

Der Verlauf und die Stärke der TTV hängen von den Orbitalelementen des Planetensystems ab. Simulationen von Multiplanetensystemen zeigen, dass die TTV, abhängig von der Planetenkonstellation, langperiodisch sein kann (10 bis 100 Orbitperioden der Planeten) und die Beobachtungzeit von Weltraumteleskopen übersteigen kann. Falls die Beobachtungzeit jedoch kürzer als die TTV-Periode ist, können dennoch erste Annahmen über die Orbitalelemente getroffen werden und durch Simulationen der Planetensysteme und der TTV mögliche zukünftige Entwicklungen der Orbitalelemente abgeschätzt werden.

TTV ist somit eine geeignete Methode um bisher unentdeckte Planeten ohne Nachbeobachtung mit Teleskopen zu entdecken und gleichzeitig die Orbitalelemente des Multiplanetensystems zu bestimmen.

Die Detektion von Exoplaneten in Lichtkurven der Weltraummission K2

Grziwa S., Korth J., Pätzold M.

Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln, Planetenforschung, Köln, Deutschland

Die Beobachtungen der Weltraumteleskope CoRoT und Kepler haben die Anzahl der entdeckten Exoplaneten in den letzten Jahren stark ansteigen lassen. Dazu mussten hunderttausende Lichtkurven mit Hilfe von Software nach charakteristischen Transits durchsucht werden. Das RIU-PF entwickelte wavelet-basierte modellunabhängige Filtermethoden, welche die Sternvariationen in den Lichtkurven verursacht durch Sternflecken, Pulsation etc. und Störungen stark reduzieren können. In Verbindung mit der langjährig erprobten Detektionspipeline EXOTRANS konnten dadurch Transits mit einer Tiefe von 30 ppm (0,003%) detektiert werden.

Das einzige momentan operative Weltraumteleskop zur Suche nach Exoplaneten ist die Kepler Nachfolgemission K2. Durch den Ausfall von zwei Gyroskopen zur Lagestabilisierung ist die „Pointing“-Genauigkeit des Teleskops stark reduziert. Mit Hilfe zusätzlich entwickelter Software am RIU-PF werden die dadurch verursachten Störungen zum Großteil ausgeglichen. Damit ist es möglich auch die K2 Lichtkurven nach planetaren Transits zu durchsuchen. Die im Rahmen der KEST Kooperation detektierten Planeten und Kandidaten aus der Weltraummission K2 werden präsentiert.

5-B Extraterrestrial Physics

5-B Extraterrestrial Physics

5-B.001

Plate tectonics and volcanism on terrestrial planets: Influence on habitability

Noack L., Rivoldini A., Van Hoolst T.

Royal Observatory of Belgium, Brussels, Belgium

Planets are typically classified as potentially life-bearing planets (i.e. habitable planets) if they are rocky planets and if a liquid (e.g. water) could exist at the surface. The latter depends on several factors, like for example the amount of available solar energy, greenhouse effects in the atmosphere and an efficient CO₂-cycle. However, the definition of the habitable zone should be updated to include possible geophysical constraints, that could potentially influence the CO₂-cycle. Planets like Mars without plate tectonics and no or only limited volcanic events can only be considered to be habitable at the inner boundary of the habitable zone, since the greenhouse effect needed to ensure liquid surface water farther away from the sun is strongly reduced.

We investigate how these geophysical processes depend on the mass and interior structure of terrestrial planets. We find that plate tectonics, if it occurs, always leads to sufficient volcanic outgassing and therefore greenhouse effect needed for the outer boundary of the habitable zone (several tens of bar CO₂). One-plate planets, however, may suffer strong volcanic limitations if their mass and/or iron content exceeds a critical value, reducing their possible surface habitability.

Feedback cycles in planetary evolution including continental growth and mantle hydration

Höning D., Spohn T.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Berlin, Deutschland

The evolution of planets with plate tectonics is significantly affected by several intertwined feedback cycles. On Earth, one of these feedback loops includes the cycling of water in the mantle. Water is transported into the mantle at subduction zones and outgassed at mid-ocean ridges. In the Earth's mantle, water reduces its viscosity, and therefore increases the speed of mantle convection and plate subduction, eventually increasing the rates of mantle water regassing and outgassing. A second feedback loop describes the production and erosion of continental crust. Continents are formed in subduction zones, whose total length is determined by the fraction of continental crust. Furthermore, the fraction of continental crust determines the amount of eroded sediments. These sediments eventually enter subduction zones and affect the production of new continental crust. Both feedback loops affect each other: As a wet mantle increases the speed of subduction, continental production speeds up. On the other hand, the total length of subduction zones and the rate at which sediments are subducted (both being functions of continental coverage) affect the rate of mantle water regassing. A system that includes both cycles develop stable and unstable fixed points. We couple these feedback cycles to a thermal evolution model that reproduces present day observations. We show how the Earth has been affected by these feedback cycles during its evolution, and argue that the present day state of the Earth regarding mantle hydration and continental coverage might actually be unstable.

On the habitability of a stagnant lid Earth

Tosi N.^{1,2}, Stracke B.¹, Godolt M.¹, Ruedas T.^{1,3}, Grenfell J.L.¹, Höning D.¹, Nikolaou A.¹, Plesa A.¹, Breuer D.¹, Spohn T.¹

¹Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Berlin, Deutschland, ²Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland, ³Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster, Deutschland

Whether plate tectonics is a recurrent feature of terrestrial bodies orbiting other stars or is unique to the Earth is unknown. The stagnant-lid may rather be the most common tectonic mode through which terrestrial bodies operate. Here we model the thermal history of the mantle, the outgassing evolution of H₂O and CO₂, and the resulting climate of a hypothetical planet with the same mass, radius, and composition as the Earth, but lacking plate tectonics. We employ a 1-D model of parameterized stagnant-lid convection to simulate the evolution of melt generation, crust production, and volatile extraction over a timespan of 4.5 Gyr, focusing on the effects of three key mantle parameters: the initial temperature, which controls the overall volume of partial melt produced; the initial water content, which affects the mantle rheology and solidus temperature; and the oxygen fugacity, which is employed in a model of redox melting to determine the amount of carbon stored in partial melts. We assume that the planet lost its primordial atmosphere but possesses an Earth-like ocean, and use the H₂O and CO₂ outgassed by melts extracted from the interior to build up a secondary atmosphere over time. We calculate the atmospheric pressure based on the solubility of H₂O and CO₂ in basaltic magmas at the evolving pressure conditions of the surface. We then employ a 1-D radiative-convective, cloud-free stationary atmospheric model to calculate the resulting atmospheric temperature, pressure and water content, and the corresponding boundaries of the habitable zone. The evolution of the interior is characterized by an initial production of a large amount of partial melt accompanied by the formation of crust that rapidly grows until its thickness matches that of the stagnant lid so that the convecting sublithospheric mantle prevents further crustal growth. On the one hand, the high solubility of water in surface magmas limits the maximal partial pressure of atmospheric H₂O to a few tens of bars, even for initial water concentrations in excess of thousands of ppm. On the other hand, the low solubility of CO₂ causes most of the carbon to be outgassed. As a consequence, the partial pressure of atmospheric CO₂ is mainly controlled by the redox state of the mantle, with values that range from a few up to tens of bars for oxygen fugacities between the iron-wüstite buffer and one log-unit above it. Our results suggest rather warm (habitable) surface temperatures over long timescales.

5-C Extraterrestrial Physics

5-C Extraterrestrial Physics

5-C.001

Philae-Magnetfeldmessungen an 67/P

Auster H.U., Heinisch P., Glaßmeier K.-H., Richter I., Przyklenk A.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

Im November 2014 landete die Landeeinheit PHILAE der ESA-Mission ROSETTA auf dem Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko. An Bord von PHILAE befand sich ein Fluxgatemagnetometer mit dem u.a. die magnetischen Eigenschaften des kometaren Materials untersucht werden sollten.

Auf Grund einer Fehlfunktion der Harpunen konnte PHILAE nicht wie vorgesehen verankert werden. So prallte PHILAE an der Oberfläche ab und flog weitere zwei Stunden mit mehreren Oberflächenkontakten bis zu seinem endgültigen Landeplatz.

Während des Abstieges, der unerwarteten Flugphase über die Kometenoberfläche und weiteren 16 Stunden auf dem Kometen konnte das Magnetfeldexperiment ROMAP kontinuierlich Daten sammeln.

An keiner der Landestellen konnte ein Oberflächenfeld größer 1nT nachgewiesen werden, so dass man auf Grund der äußerst geringen Magnetisierung des kometaren Materials einen die Planetenbildung beschleunigenden Beitrag des Magnetfeldes im Skalenbereich von Metern ausschließen kann.

Des Weiteren konnte die Magnetfeldmessung an Bord von PHILAE genutzt werden, um die Bewegung des Landers während der Flugphase zu analysieren. Der Vergleich der an Bord von Orbiter und Lander gemessenen Magnetfeldvariationen lieferte die für die Voraussage der Kommunikationsfenster notwendige Kenntnis der Orientierung von PHILAE.

Im Vortrag werden sowohl die wissenschaftlichen Ergebnisse der Magnetfeldmessung am Kometen 67/P vorgestellt als auch die Exkursion von PHILAE nach der missglückten Landung nachgezeichnet.

MHD model of Mercury's magnetosphere

Brune G., Saur J.

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

We model the interaction of Mercury's magnetosphere with the solar wind using a magneto- hydrodynamic (MHD) model to explain properties of the magnetosphere measured by the MESSENGER probe. To understand the variability of Mercury's magnetosphere we conduct a series of simulations with varying solar wind plasma and exospheric properties. The variable density of Mercury's exosphere, the highly eccentric orbit of Mercury, and the intrinsic variability of the solar wind, lead to a huge variation of starting conditions regarding solar wind density, velocity, background magnetic field strength and exosphere properties. We show that our model reproduces main properties of the magnetosphere within the range of the parameter variation. We show that a fully structured magnetosphere with a well established bow-shock and magneto-pause can only be produced at ram-pressures below 10 nPa , which is comparable to the expected ram-pressures of 8 to 21 nPa derived from recent works on MESSENGER data analysis.

Zonale Winde in der Venusatmosphäre

Tellmann S.¹, Pätzold M.¹, Häusler B.², Bird M.K.¹, Tyler G.L.³, Hinson D.P.³

¹Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln, Planetenforschung, Köln, Deutschland,

²Universität der Bundeswehr München, Institut für Raumfahrttechnik und Weltraumnutzung, Neubiberg, Deutschland,

³Stanford University, Department of Electrical Engineering, Stanford, Vereinigte Staaten von Amerika

Im Gegensatz zur Erde ist die Venus ein sehr langsam rotierender Planet. Ein Venustag dauert fast 243 Erdtage. Trotzdem rotiert die Venusatmosphäre mit einer viel größeren Geschwindigkeit von ca. 110 m/s an der Obergrenze der dichten Wolkenschicht (ca. 65 km). Während sich diese als Superrotation bezeichnete Windgeschwindigkeit in dieser Höhe durch die Beobachtung der Wolkenstrukturen ableiten lässt, gibt es keine Möglichkeit, die Windgeschwindigkeit in der darüber befindlichen Mesosphäre durch Fernerkundung direkt zu messen. Da sich die Venusatmosphäre jedoch weitgehend in zyklostrophischem Gleichgewicht befindet, können zonale Winde auch aus Temperaturdaten abgeleitet werden. Die hierzu benötigten globalen Temperaturmessungen können aus Radio Okkultationsdaten des VeRa Experiments auf Venus Express gewonnenen werden. Die auf diesem Wege abgeleiteten Winde können zudem mit Rotationsgeschwindigkeiten verglichen werden, die in situ gemessen wurden, bzw. die aus anderen Temperaturmessungen abgeleitet wurden.

Dynamik und Temperaturen entlang der Morgen- und Abend-Terminatoren in der oberen Atmosphäre von Venus beobachtet mit erdgebundener Infrarot Spektroskopie

Krause P.^{1,2}, Sornig M.¹, Wiegand M.², Wischnewski C.³, Stangier T.³, Sonnabend G.³, Herrmann M.¹, Kostiuk T.⁴, Livengood T.^{4,5}

¹Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln, Planetenphysik, Köln, Deutschland, ²Universität zu Köln, 1. Physikalisches Institut, Köln, Deutschland, ³RPG Radiometer Physics GmbH, Meckenheim, Deutschland, ⁴NASA Goddard Space Flight Center, Maryland, Vereinigte Staaten von Amerika, ⁵University of Maryland, CRESST, College Park, MD, Vereinigte Staaten von Amerika

Die Tag-Nacht Grenze stellt einen sehr interessanten aber bisher wenig untersuchten Bereich der Venus Atmosphäre dar. Besonders von Interesse ist die Übergangszone der beiden dominierenden Windphänomene in der Venus Atmosphäre, des retrograden superrotierenden zonalen (RSZ) Winds unterhalb von 90km und des „sub-solar to anti-solar“ (SS-AS) Winds oberhalb von 120 km. Eine genaue Untersuchung des dynamischen Verhaltens der Windgeschwindigkeiten und der Temperaturen entlang des Morgen- und des Abend-Terminators in dieser Übergangszone, führen zu einem besseren Verständnis des globalen Verhaltens der Venus-Atmosphäre und hilft globale Zirkulations-Modelle zu verbessern. Mit dem Instrument THIS (Tuneable Heterodyne Infrared Spectrometer) ist es möglich genau diese Übergangszone, durch die Messung von nicht-thermischen CO₂-Emissionlinien im Infrarotbereich zu untersuchen. Zwischen 2007 und 2015 wurden mehrere Messkampagnen durchgeführt, bei denen die beiden Terminatoren im Schwerpunkt der Beobachtungen lagen. Die Studie zeigt unter anderem Unterschiede zwischen den Temperaturen des Morgen- und des Abend-Terminators, sowie ein Breitengrad abhängiges Verhalten der Temperaturen und Windgeschwindigkeiten.

Die Tropopausen Inversionsschicht in der Venusatmosphäre: neue Einblicke durch das Venus Express Radio Science Experiment (VeRa)

Herrmann M.¹, Oshlisniok J.¹, Remus S.², Tellmann S.¹, Häusler B.³, Pätzold M.¹

¹Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln, Planetenforschung, Köln, Deutschland, ²ESA-ESTEC, Noordwijk, Niederlande, ³Universität der Bundeswehr München, Institut für Raumfahrttechnik und Weltraumnutzung, Neubiberg, Deutschland

Die Inversionsschicht in der Nähe der Tropopause der Venusatmosphäre ist ein häufig auftretendes und herausstechendes Phänomen in Temperatur-Höhen-Profilen in hohen Breitengraden. Die Tropopause befindet sich in einer Höhe von ca. 60km. Eine besondere Aufmerksamkeit verdient die Inversionsschicht, da sie die fast adiabatische Troposphäre von der sehr variablen stabil geschichteten Mesosphäre trennt. Der Höhenbereich der Inversionsschicht ist deswegen möglicherweise der Ort, an dem Schwerewellen entstehen [1].

Das Radio Science Experiment (VeRa) an Bord von Venus Express [2,3] lieferte Daten über den Höhenbereich von 100-40 km in der Venusatmosphäre[4,5], so dass während der Lebensdauer von Venus Express von 2006-2014 mehr als 800 vertikal hochaufgelöste Profile der Temperatur, des Druckes und der Dichte gewonnen wurden. Die Profile überdecken fast alle Lokalzeiten und Breitengrade. Starke Änderungen des refraktiven Indexes in einem geringen Höhenbereich (wenige 100m) führen zu so genannten Multipath Effekten. Diese können mit der üblichen Datenerfassungsmethode (closed-loop) nicht aufgelöst werden. Die Entwicklung einer neuen Datenauswertungsmethode auf Basis von VeRa open loop Daten ermöglicht die notwendige Frequenzauflösung, um den in der Tropopause in einem Höhenbereich von max. 2km auftretenden Multipath aufzulösen. Die Inversionsschicht zeigt sich dabei um bis zu 10K kälter als bisher angenommen. Die neuen Ergebnisse helfen, ein besseres Bild von der thermischen Beschaffenheit der Venusatmosphäre zu erhalten, und somit atmosphärische Modelle zu verbessern.

Quellen:

- [1] Tellmann, S. et al.: 'Small-scale temperature fluctuations seen by the VeRa Radio Science Experiment on Venus Express' *Icarus* 221, 2012.
- [2] Häusler, B. et al.: 'Radio science investigations by VeRa onboard the Venus Express spacecraft' *Planetary and Space Science* 54, 2006
- [3] Häusler, B. et al.: ', Venus Atmospheric, Ionospheric, Surface and Interplanetary Radio-Wave Propagation Studies with the VeRa Radio Science experiment' *Eur. Space Agency, Spec. Publ., ESA SP 1295*, 2007
- [4] Pätzold, M. et al.: 'The structure of Venus' middle atmosphere and ionosphere', *Nature* 450, 2007
- [5] Tellmann, S. et al.: 'Structure of the Venus neutral atmosphere as observed by the Radio Science experiment VeRa on Venus Express', *Journal of Geophysical Research* 114, 2009

5-D Extraterrestrial Physics

5-D Extraterrestrial Physics

5-D.001

Die globale Verteilung von Schwefelsäure in der Venusatmosphäre

Oschlisniok J.¹, Pätzold M.¹, Häusler B.², Tellmann S.¹, Bird M.K.³, Andert T.²

¹Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln, Planetenforschung, Köln, Deutschland, ²Institut für Raumfahrttechnik, Universität der Bundeswehr, München, Deutschland, ³Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Argelander Institut für Astronomie, Bonn, Deutschland

In der Venusatmosphäre befindet sich in einer Höhenregion zwischen ca. 50 und 70 km Höhe eine Wolkendecke aus flüssiger und gasförmiger Schwefelsäure, welche den gesamten Planeten umhüllt. Der gasförmige Anteil ist für eine starke Absorption von Radiowellen verantwortlich. Aus der Absorption der Radiosignale lässt sich auf die Konzentration von H₂SO₄ schließen. Zwischen 2006 und 2015 sondierte das Experiment VeRa auf Venus Express die Atmosphäre des Planeten mit Radiosignalen im X- und S-Band (8,4 und 2,3 GHz). Aus den gesammelten Daten konnte zum ersten Mal ein globales Bild über die Verteilung von H₂SO₄ gewonnen werden, woraus Rückschlüsse auf die Transportprozesse in der Venusatmosphäre gezogen werden. Präsentiert wird die globale Verteilung von H₂SO₄, sowie Vergleiche mit Ergebnissen früherer Missionen. Mit Hilfe eines Transportmodells werden Aussagen über die Winddynamik in der Venusatmosphäre gemacht.

Der Ursprung von kleinskaligen Störungen in der unteren Tagionosphäre des Mars

Peter K.¹, Pätzold M.¹, Molina-Cuberos G.², Witasse O.³, Tellmann S.¹, Häusler B.⁴, Bird M.K.^{1,5}

¹Rheinisches Institut für Umweltforschung an der Universität zu Köln, Planetenforschung, Köln, Deutschland,

²University of Murcia, Murcia, Spanien, ³ESA-ESTEC, Noordwijk, Niederlande, ⁴Universität der Bundeswehr München, Institut für Raumfahrttechnik, München, Deutschland, ⁵Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Argelander Institut für Astronomie, Bonn, Deutschland

Seit 2004 sondiert das Radio-Okkultations-Experiment MaRS (Mars Express Radio Science) auf der Raumsonde Mars Express (MEX) die Atmosphäre und Ionosphäre des Mars. Ca. 800 vertikale Profile der ionosphärischen Elektronendichte wurden bis heute beobachtet. Ein Teil der MaRS Beobachtungen der Tagionosphäre enthält kleinskalige Störungen in der unteren Ionosphäre. Die Elektronendichteprofile zeigen hier anormale kleinskalige Strukturen im Höhenbereich der unteren ionosphärischen Hauptschicht M1, welche entweder mit M1 verbunden oder komplett separiert sind. Mögliche Quellen für diese zusätzliche Elektronendichte, wie z.B. ionosphärisches NO⁺, der Fluss von meteoroidischen Partikeln in die Atmosphäre, SEP (solar energetic particles) Events und atmosphärische Wellen, werden untersucht. Ein photochemisches 1D-Modell der Tagionosphäre des Mars (IonA-2) gekoppelt mit einem Modell für die Ablation/chemischen Reaktionen von Meteoroiden mit der Atmosphäre/Ionosphäre (MSDM) in Kombination mit weiteren Umgebungsparametern wird benutzt um die Ursprünge der kleinskaligen Störungen in der unteren Marsionosphäre zu untersuchen.

3D-MHD modeling of the influence of Uranus' unusual magnetic field geometry on the magnetospheric structure

Koch T., Saur J.

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

The Voyager 2 flyby in January 1986 revealed the complex structure of Uranus' rotation axis and magnetic field geometry. With an inclination of the planetary equator of around 97.8° w.r.t. the orbital plane and a high contribution of quadrupole and octopole moments to the intrinsic magnetic field Uranus is a unique planetary object in our solar system. Due to the axial tilt Uranus undergoes different angles of incidences of the solar wind onto the planetary magnetic field throughout the day and Uranian year. Prior work predicts a convection-dominated magnetosphere (Vasyliunas 1986), movement of the neutral sheet (Schulz & McNab 1996) and a twisted magnetotail structure (Behannon et al. 1987).

Here we apply a magnetohydrodynamic MHD model to describe the interaction of the solar wind with Uranus and its magnetic field environment. We model the so called pole-on constellation from 1986, where the rotation axis points towards the sun. For this purpose we introduce time-dependent Gauss coefficients describing the evolution of the magnetic field potential w.r.t. the inertial frame of reference, where our model equations are valid. This method enables the use of a corotating intrinsic magnetic field as inner boundary condition in the ZEUS-MP Code.

Numerical Modeling of the Formation of Large Impact Basins on the Moon – A case-study of the Orientale Basin

Wünnemann K.¹, Zhu M.-H.²

¹Museum für Naturkunde - Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung, Berlin, Deutschland, ²Macau University of Science and Technology, Space Science Institute, Taipa, Macao

Large impact basins are the most prominent and oldest landforms on the Moon. Although only a relatively small number of roughly ~50-60 basin structures are known, basin-forming impactors clearly dominate over the smaller projectiles in terms of the mass and energy they delivered to the Moon. The impactors penetrate deep into the crust and may even excavate mantle material. They produce large volumes of impact melt and ejecta, which may cover an area with a radius several times larger than the actual basin. They produced prominent gravity anomalies that have recently been recorded in great detail by the GRAIL mission. Only a few such events may have completely resurfaced the Moon by inverting the crustal stratigraphy, and by emplacing impact melt and originally deep seated crustal or mantle material into the near surface strata.

The formation and structure of the Orientale basin on the Moon has been extensively studied in the past, however, estimates of its transient crater size, excavated volume and depth, and ejecta distribution remain uncertain. Here, we present a new numerical model to reinvestigate the formation and structure of Orientale basin and better constrain impact parameters such as impactor size and velocity. Unlike previous models, the observed ejecta distribution and ejecta thickness were used as the primary constraints to estimate transient crater size - the best measure of impact energy. Models were also compared to basin morphology and morphometry, and subsurface structures derived from high-resolution remote sensing observations and gravity data, respectively. The best-fit model suggests a 100-km diameter impactor with a velocity of ~ 12 km s⁻¹ formed the Orientale basin on a relatively 'cold' Moon. In this impact scenario the transient crater diameter is ~ 400 km or 460 km depending on whether the crater is defined using the diameter of the excavation zone or the diameter of the growing cavity at the time of maximum crater volume, respectively. The volume of ejecta material is ~ 4.70 x 10⁶ km³, in agreement with recent estimates of the Orientale ejecta blanket thickness from remote sensing studies. The model also confirms the remote sensing spectroscopic observations that no mantle material was excavated and deposited at Orientale's rim.

5-E Extraterrestrial Physics

5-E Extraterrestrial Physics

5-E.001

The “EnEx - Enceladus Explorer Initiative“

Funke O.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Raumfahrtmanagement | Navigation, Bonn, Deutschland

The search for extraterrestrial life in our solar system is a fascinating and challenging task in space flight. One of the most promising sites for potential extraterrestrial microbial life is Saturn’s icy moon Enceladus. In the run-up of a future space mission for robotic exploration of life on Enceladus, however, it is inevitable to invent different key technologies that allow full autonomous operation. Such technologies address e.g. remote detection of targets for investigation, localization and navigation, contamination-free sampling and in-situ analysis. For this purpose DLR Space Administration started the “EnEx - Enceladus Explorer Initiative”, in which different German research facilities are funded for collaboration in the development of a fully maneuverable melting probe. The EnEx-probe is equipped with a variety of sensors, offers in-situ decontamination capability and a unique sampling system. In November/December 2014 a field test of the EnEx-probe was successfully conducted in international cooperation in Antarctica, resulting in a sample return from a subglacial lake. In this talk the scientific and technical aims of the EnEx-Initiative will be presented.

EnEx-RANGE - Akustische Navigationstechnologien in Eis für eine zukünftige Raumfahrtmission

Zierke S., Eliseev D., Heinen D., Linder P., Scholz F., Weinstock L.S., Wiebusch C.
RWTH Aachen University, Physikalisches Institut, Aachen, Deutschland

Im EnEx-RANGE-Projekt im Rahmen der Enceladus-Explorer-Initiative des DLR Raumfahrtmanagement werden akustische Navigationstechnologien für eine zukünftige Raumfahrtmission erforscht. Diese soll die Suche nach extraterrestrischem Leben auf dem Saturnmond Enceladus ermöglichen.

Dabei soll eine autonome Schmelzsonde, die EnEx-Sonde, zu einer oberflächennahen, wassergefüllten Spalte im Eispanzer des Enceladus navigieren und eine Flüssigkeitsprobe entnehmen.

Eine erste EnEx-Sonde wurde im vorangegangenen EnEx-Verbundprojekt gebaut und erfolgreich in einem terrestrischen Testszenario in der Antarktis demonstriert. Zur Navigation der EnEx-Sonde im Festkörper Eis werden neben etablierten Navigationslösungen zwei akustische Systeme verwendet. Dies ist zum einen ein System zur Lokalisierung der Sonde, welches Signalgeber an bekannten Referenzpositionen und Empfänger in der Sonde verwendet. Durch Bestimmung der Signallaufzeit und anschließender Trilateration kann die Position der Sonde relativ zu den Signalgebern bestimmt werden. Zum anderen verwendet die Sonde ein System zur sonographischen Untersuchung des Vorfeldes auf Basis von Phasenarrays.

Beide Systeme werden im Rahmen von EnEx-RANGE weiterentwickelt und auf Alpengletschern getestet. Die Signalgeber des Ortungssystems werden durch ein Netzwerk autonom agierender Schmelzsonden mit akustischer Sensorik ersetzt. Diese Schmelzsonden lokalisieren sich über akustische Signale gegenseitig im Gletschereis und dienen als Referenzsystem für die EnEx-Sonde.

In diesem Vortrag wird ein Überblick über EnEx-RANGE gegeben und das intelligente akustische Sensornetzwerk, die akustischen Navigationssysteme der Sonde und bisherige Resultate präsentiert.

Magnetohydrodynamic model of Europa's interaction with Jupiter's magnetosphere: Influence of inhomogeneities in Europa's atmosphere on the plasma environment

Blöcker A.¹, Saur J.¹, Roth L.²

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, ²Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Schweden

We study the influence of atmospheric inhomogeneities on Europa's plasma interaction with Jupiter's magnetosphere and the plasma environment. We apply a three-dimensional magnetohydrodynamic (MHD) model, which includes plasma production and loss due to electron impact ionization and dissociative recombination, and electromagnetic induction in a subsurface water ocean. We show that an atmospheric inhomogeneity, such as a water vapor plume, affects the plasma interaction in the way that a pronounced north-south asymmetry in the near and the Alfvénic far field develops. Furthermore, a small *Alfvén wingle*t within Europa's Alfvén wing forms.

We also investigate if such signatures of atmospheric inhomogeneities are visible in magnetic field measurements of the Galileo magnetometer. In addition to our MHD model we apply an analytic approach based on the model by Saur et al. (2007) for our studies. We compare the model results with the observed magnetic field data from three Europa flybys when the Galileo spacecraft flew through the Alfvén wings.

Structure and Density of Callisto's Atmosphere from a Kinetic Model of the Ionospheric Electron Population

Hartkorn O.¹, Saur J.¹, Strobel D.F.²

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, ²Johns Hopkins University, Department of Earth and Planetary Sciences, Baltimore, Vereinigte Staaten von Amerika

We develop a kinetic model of the ionospheric electron population of Jupiter's moon Callisto within a prescribed neutral atmosphere composed of O₂, CO₂ and H₂O. We calculate the electron energy distribution function as a function of space by solving the Boltzmann equation and assuming a stationary balance between local sources and sinks of electrons and electron energy. Electron transport within the ionosphere is neglected, since collision time scales are shorter than transport time scales in the region of Callisto's ionosphere where the major part of electrons is located and the major part of the atmospheric UV emission is generated. Photoionization is the major electron source within Callisto's atmosphere [Cunningham *et al.*, 2015]. Therefore, we calculate the energy dependent photoelectron spectrum as primary source term of the Boltzmann equation. We also consider secondary ionization from ionizing collisions between ionospheric electrons and neutrals. The resulting Boltzmann equation including also the relevant electron and electron energy loss processes is solved rigorously delivering electron distribution functions at every point of Callisto's atmosphere. From these distribution functions, we calculate electron densities and intensities of electron impact generated ultraviolet (UV) emissions from Callisto's atmosphere. The kinetic description of the electron population is well suited to jointly analyze and interpret radio occultation and HST observations of Callisto. Comparing our modeled electron densities with the radio occultation observations by the Galileo spacecraft [Kliore *et al.*, 2002] and our modeled UV emissions with Hubble Space Telescope (HST) observations [Cunningham *et al.*, 2015], we find that Callisto's atmosphere has a mean O₂ column density of $1.9 \pm 1.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-2}$. We also find that Callisto's atmosphere possesses a day night asymmetry: the O₂ column densities at the subsolar point are significantly larger than the O₂ column density at the terminator. Further, our model shows that electron densities of an atmospheric volume element are a factor of 2 smaller if the relative amount of H₂O in this volume element is in the range of 0.01% or larger. At Callisto, 1 photon is emitted at O I 135.6 nm per every 170 electron ion pairs generated and per every 60 electron ion pairs produced by secondary electron impact ionization.

5-F Extraterrestrial Physics

5-F Extraterrestrial Physics

5-F.001

Coronal Active Region Modeling based on SDO Data

Barra S.

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Deutschland

The heating of the solar corona, which has a temperature of order of 10^6 K compared to 5000K in the photosphere, is yet a puzzling problem.

Several models to describe the physical parameters, e.g. temperature or density, along coronal loops with different assumptions for the relevant physical processes (like wave damping) were suggested in the past, for example the RTV78 model by Rosner, Tucker and Vaiana. With these models and the knowledge of the 3D configuration of the magnetic field above an active region it is possible to calculate the radiation emitted by the coronal loops above this region. This 3D field configuration can be provided by different ways of modeling using SDO/HMI vector magnetograms as boundary conditions.

We use different fields models and loop models to compute the coronal plasma along these loops, obtaining synthesized images in different wavelength. The images can be compared to observational data from the multispectral imager SDO/AIA. Such comparisons allow us to evaluate the quality of our model approach.

MHD Simulations of Flux Rope Eruption and Reformation

Hassanin A., Kliem B.

Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Potsdam, Deutschland

We present numerical simulations of a confined solar filament eruption, which produced a flare but no coronal mass ejection. The simulations start from a force-free flux rope equilibrium maintained by the magnetic flux overlying an arched flux rope anchored in the photosphere. The flux rope represents the filament and the overlying flux represents the main magnetic flux of the modeled active region, rooted in the main polarities (sunspots). The parameters are set such that (1) the flux rope twist is close to the threshold for the onset of the helical kink instability and (2) the overlying field is strong enough to halt the rise of the unstable rope at 3—4 times the initial height. The eruption involves two phases of magnetic reconnection. First, the flux rope is cut through by reconnection with the overlying flux. Then the legs of the rope come into contact and reconnect, forming a new, less twisted and stable rope. We study options for building up new magnetic energy and helicity in the reformed flux rope, which could lead to a further eruption. This is intended to serve as a model for homologous flares. Results will be discussed for rotating and converging motions in the photosphere, which are often observed. These correspond, respectively, to a twisting of the reformed rope and to a changing balance between the rope and the overlying flux.

Data-constrained MHD Simulation of Magnetic Reconnection and Untwisting in a Solar Filament Eruption

Kliem B.¹, Su Y.², Yan X.³

¹Universität Potsdam, Institut für Physik und Astronomie, Potsdam, Deutschland, ²Nanjing University, School of Astronomy and Space Science, Nanjing, China, Volksrepublik, ³Yunnan Observatories, CAS, Yunnan, China, Volksrepublik

We present an MHD simulation of a confined, partial eruption of a solar filament in active region (AR) 12178 on 2014 Oct 3, which was observed in the H-alpha line at very high resolution of 0.17 arcsec with the one-meter New Vacuum Solar Telescope (NVST) of the Yunnan Observatories (China). Only half of the filament erupted. The eruption was halted in the corona, producing a small flare but no coronal mass ejection. This event is distinguished by the very clear observations of a reconnecting current sheet and of an untwisting motion of the erupted filament. The initial condition of our simulation is constrained by the photospheric magnetogram and the H-alpha images of the filament. Two magnetic flux ropes were inserted along the path of the filament into a potential-field extrapolation of the magnetogram. A stable and a weakly unstable rope model the non-erupting eastern and the erupting western sections of the filament, respectively. The configuration was then numerically relaxed using a magnetofrictional scheme, to obtain a smooth nonlinear force-free field model of the active region. The MHD simulation starting from this model reproduces the event in very good qualitative and quantitative agreement. We obtain the confined, partial eruption of the western filament section, the reconnecting current sheet under the erupting flux, and the untwisting of the erupted rope. The untwisting is found to occur by propagation of the twist from the flux rope to large-scale untwisted flux after reconnection with that flux, which connects the modeled AR with a neighboring AR. This study demonstrates that the combination of the flux rope insertion method with MHD simulations represents a powerful tool for the investigation of solar eruptions.

Predicting the arrivals at Earth of interplanetary shocks and the Shock Propagation Models (SPMs)

Zhao X.H.¹, Feng X.S.², Inhester B.¹, Wiegmann T.¹

¹Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Deutschland, ²National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, Volksrepublik

Violent forms of solar activity, such as solar flares, coronal mass ejections (CMEs) and so on, are believed to be major sources of strong interplanetary (IP) disturbances and corresponding non-recurrent geomagnetic storms. Predicting the arrival times of solar disturbances and their related shock waves at Earth is an important aspect of space weather forecasting. This talk will firstly give a brief review for current status of CME/shock arrival time predictions. Then, it will lay emphasis on the Shock propagation models (SPMs) that we have developed during the past years. These models consist of four versions, i.e. SPM, SPM2, SPM3 and SSPM. The fundamental principles of theory, input, and output of these models as well as their applications are demonstrated. A real time prediction of the model has been run online in order to give the arrival time prediction of the CME-related IP shocks actually before they reach the Earth. Finally, we give a general outlook for further work in the arrival time prediction.

Electron acceleration at slow-mode shocks in the magnetic reconnection region in solar flares

Mann G.

Leibniz-Institut fuer Astrophysik Potsdam (AIP), Physik der Sonne, Potsdam, Deutschland

A solar flare appears as a sudden enhancement of the emission of electromagnetic radiation of the Sun covering a broad range of the spectrum from the radio up to the gamma-ray range. That indicates the generation of energetic electrons during flares, which are considered as the manifestation of magnetic reconnection in the solar corona. Spacecraft observations in the Earth's magnetosphere, as for instance by NASA's MMS mission, have shown that electrons can efficiently be accelerated at the slow-mode shocks occurring in the magnetic reconnection region.

This mechanism is applied to solar flares. The electrons are accelerated by the cross-shock potential at slow-mode shocks resulting in magnetic field aligned beams of energetic electrons in the downstream region. The interaction of this electron beam with the plasma leads to the excitation of whistler waves and, subsequently, to a strong heating of the electrons in the downstream region.

Considering this process under coronal circumstances, enough electrons with energies $> 30\text{-keV}$ are generated in the magnetic reconnection region as required for the hard X-ray radiation during solar flares as observed by NASA's RHESSI mission.

Efficiency of particle acceleration at interplanetary shocks: Statistical study of STEREO observations

Theesen S., Dresing N., Klassen A., Heber B.

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Kiel, Deutschland

Although shocks are known to be accelerators of energetic charged particles many questions regarding the acceleration efficiency and the required conditions are not fully understood. Especially the acceleration of electrons by shocks is often questioned. In this study we determine the efficiency of interplanetary shocks for <100 keV electrons, and for ions at ~ 0.1 and ~ 2 MeV energies measured by the SEPT instruments aboard the twin STEREO spacecraft. We employ an online STEREO in-situ shock catalog providing all shocks observed since 2007 until mid 2014 (observed by STEREO A) and until end of 2013 (observed by STEREO B). In total 475 shocks are listed. To determine the acceleration efficiency of these shocks, we analyze the associated intensity increases (shock spikes) during the shock crossings. For the near-relativistic electrons we take into account the issue of possible ion contamination in the SEPT instrument. We find the highest acceleration efficiency for 100 keV ions with shock-associated increases in 27 % of the cases. The 2 MeV ions only show an associated increase in 5 % of the shock crossings. For electrons the shocks are nearly ineffective. Only 5 shock-associated electron increases were found which corresponds to only 1 % of all shock crossings.

5-G Extraterrestrial Physics

5-G Extraterrestrial Physics

5-G.001

Turbulence Evolution in the CME-disturbed Solar Wind

Wiengarten T.¹, **Fichtner H.**¹, Kleimann J.¹, Kissmann R.²

¹Ruhr-Universität Bochum, Institut für Theoretische Physik IV, Bochum, Deutschland, ²Universität Innsbruck, Institut für Astro- und Teilchenphysik, Innsbruck, Österreich

We present the implementation of turbulence transport equations in addition to the Reynolds-averaged magnetohydrodynamic equations within the Cronos framework. The model is validated by comparisons with earlier findings before it is extended to be applicable to regions in the solar wind that are not highly super-Alfvénic. Subsequently, we concentrate on effects on the turbulence evolution for transient events by injecting a coronal mass ejection (CME). We find that the steep gradients and shocks associated with these structures result in enhanced turbulence levels and reduced cross-helicity. These findings enable a significantly improved modelling of the heliospheric transport of energetic particles.

An Improved Setup to Calculate Propagation Times of Jovian Electrons

Vogt A.¹, Du Toit Strauss R.², Heber B.¹, Kopp A.³, Kühl P.¹, Potgieter M.²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik - Heliosphärische Teilchenphysik, Kiel, Deutschland, ²North-West University, Potchefstroom Campus, Potchefstroom, Südafrika,

³Université libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgien

Although the main physical processes are well known, describing the transport of charged particles in the inner heliosphere is still a challenge for transport codes due to various different parameters, such as diffusion coefficients, affecting the propagation of these particles. To investigate these dependencies, electrons accelerated in Jupiter's magnetosphere have been used for several decades.

Utilizing a GPU-accelerated algorithm to solve Parker's transport equation by means of stochastic differential equations (SDEs), our code offers the possibility to perform extensive parameter studies on the propagation of Jovian electrons in the inner heliosphere. In this study we compare counting rates of low-MeV electrons originating from the Jovian magnetosphere, measured by various spacecraft, with our simulation results for different parameter sets. Furthermore, an updated Jovian source spectrum, a new expression for the particles' mean free path and expected propagation times are presented.

On the geometry of the IBEX Ribbon

Sylla A.

Ruhr-Universität Bochum, Institut für Theoretische Physik IV, Bochum, Deutschland

The Energetic Neutral Atom (ENA) full-sky maps obtained with the Interstellar Boundary Explorer (IBEX) show an unexpected bright narrow band of increased intensity. This so-called ENA ribbon results from charge exchange of interstellar neutral atoms with protons in the outer heliosphere or beyond. Among other hypotheses it has been argued that this ribbon may be related to a neutral density enhancement, or H-wave, in the local interstellar medium. Here we quantitatively demonstrate, on the basis of an analytical model of the principal large-scale heliospheric structure, that this scenario for the ribbon formation leads to results that are fully consistent with the observed location of the ribbon in the full-sky maps at all energies detected with high-energy sensor IBEX-Hi.

Effects of Solar and Galactic Cosmic Rays

Curd W.¹, Fleck B.²

¹Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Sonnenkorona, Göttingen, Deutschland, ²NASA Goddard Space Flight Center, Washington DC, Vereinigte Staaten von Amerika

We report empirical evidence about the relative strength of the Cosmic Ray Flux (CRF) and the flux of Solar Energetic Particles (SEPs) as recorded outside the geocorona by technical systems of the SOHO spacecraft. While the solar array efficiency degraded irreversibly down to $\approx 77\%$ of its original level over roughly 1 1/2 solar cycles, Single Event Upsets (SEUs) in the solid state recorder (SSR) have been reversed by the memory protection mechanism. We compare the daily CRF observed by the Oulu station with the daily SOHO SEU rate and with the degradation curve of the solar arrays. The Oulu CRF and the SOHO SSR SEU rate are both modulated by the solar cycle and are highly correlated, except for sharp spikes in the SEU rate, caused by isolated SEP events, which also show up as discontinuities in the otherwise slowly decreasing solar ray efficiency. This allows to discriminate between effects with solar and non-solar origin and to compare the relative strength of both. We find that during solar cycle 23 (1996 Apr 1 -- 2008 Aug 31) only 6% of the total number of SSR SEUs were caused by SEPs; the remaining 94% were due to galactic cosmic rays. During the maximum period of cycle 23 (2000 Jan 1 -- 2003 Dec 31), the SEP contribution increased to 22%, and during 2001, the year with the highest SEP rate, to 30%. About 40% of the total solar array degradation during the 17 years from Jan 1996 through Feb 2013 can be attributed to proton events, i.e. the effect of a series of short-lived, violent SEP events is comparable to the cycle-integrated damage by cosmic rays. Our findings may serve as argument in the disputed cause of the anomaly in C-14 production during AD 774/775.

5-H Extraterrestrial Physics

5-H Extraterrestrial Physics

5-H.001

SOHO – die ersten 20 Jahre

Schwenn R.

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg, Deutschland

Am 2. Dezember 1995 wurde das Solar Heliospheric Observatory (SOHO) - ein Gemeinschaftsprojekt von ESA und NASA - gestartet. Wenige Monate später erreichte die Raumsonde ihre vorgesehene Bahn um den Librationspunkt L1, 1,5 Mio. km vor der Erde und nahm mit allen Instrumenten den Betrieb auf. Was dann an Daten und Bildern eintraf, erfüllte – nein, übertraf – alle Erwartungen, und erregte sofort große öffentliche Aufmerksamkeit, wohl auch deshalb, weil erstmalig fast alles gleich ins Internet gestellt wurde. So konnten Astronomen und Laien in aller Welt beinahe in Echtzeit das Brodeln der Photosphäre im EUV-Licht bestaunen, gewaltige Sonneneruptionen und ihre Ausbreitung bis weit hinaus in den Weltraum verfolgen, konnten Tausende von Kleinkometen auf die Sonne einstürzen sehen und vieles mehr. Bis heute ist die Faszination, die von SOHO ausgeht, ungebrochen. Fast alle Instrumente arbeiten fleißig weiter und unterstützen so die inzwischen gestarteten Nachfolgemissionen, z.B. STEREO, SDO, Hinode. Übrigens: nach 2 Jahren Missionsdauer hatte SOHO die Anforderung für den „Missionserfolg“ erreicht. Jetzt feiern wir schon 20 Jahre SOHO, und die Mission lebt weiter!

Radiated energy in solar flares: spectral distribution and the physics behind it

Warmuth A., Mann G.

Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP), Potsdam, Deutschland

While it may sound surprising, the total amount of energy radiated in solar flares and its spectral distribution has only recently been sufficiently constrained in a quantitative sense. I will give an overview of the characteristics of flare emissions over the whole electromagnetic spectrum, with an emphasis on the energy partition between different components. I will then discuss how the observed signatures are generated by different mechanisms and flare components, and what we can learn from them about energy release, transport, and conversion processes in solar flares.

Differences between the heliosphere and astrospheres

Scherer K.¹, Fichtner H.¹, Kleimann J.¹, Bomans D.², Weis K.², Ferreira S.³

¹Ruhr-Universität Bochum, Institut für Theoretische Physik IV, Bochum, Deutschland, ²Ruhr-Universität Bochum, Astronomisches Institut, Bochum, Deutschland, ³North-West University, Potchefstroom, Südafrika

The heliosphere is a special astrosphere. While the former is well explored by fleet of spacecraft, informations of the latter can only become available by remote observations. Especially, bow shocks around hot stars can be observed in the H-alpha light. For the heliosphere sophisticated models exist, including ions and neutrals, the models of astrospheres includes only ions and cooling functions. We compare here these different models and discuss commonalities and differences. Furthermore, we show that different astrospherical observational features are due to projection effects.

Was the Solar System shaped by its birth environment?

Vincke K., Pflanzner S.

Max Planck Institute for Radioastronomy (MPIfR), Bonn, Deutschland

There is a number of indications that our Sun – as most stars – was born as part of a stellar cluster. Stellar clusters are groups of a few tens up to several tens of thousands of stars and their members are usually surrounded by protoplanetary discs, the predecessors of planetary systems. These discs are influenced by nearby stars changing the disc mass and size and thus shaping eventually forming planetary systems.

Our work focusses on stellar fly-bys reducing the sizes of protoplanetary discs in such stellar clusters. We set up numerical simulations (Nbody) of the two types of young, massive ($>10.000 M_{\text{Sun}}$) stellar clusters, which are representative for clusters found in the solar neighbourhood and compact starburst clusters, and follow their evolution. These two types of environments differ in their stellar density by several orders of magnitude and follow separate evolutionary tracks. We trace each encounter between two stars within the clusters and determine the disc sizes after each such event.

The resulting disc-size distributions yield distinct forms of planetary systems for the two cluster types and give a more stringent indication in which kind of stellar cluster our Solar System could have formed.

5-I Extraterrestrial Physics

5-I Extraterrestrial Physics

5-I.001

X-ray and EUV radiation of solar flares and its ionospheric response on GNSS measurements

Wenzel D., Berdermann J., Hoque M.M., Jakowski N.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Kommunikation und Navigation, Neustrelitz, Deutschland

The Earth's ionosphere is primarily generated by solar EUV radiation and X-rays. Whereas higher energetic X-rays penetrate down to the D region ionosphere, EUV radiation causes an enhanced ionization in the upper E and F region. During a solar flare, we observe a sudden release of energy distributed over the whole electromagnetic spectrum, but the spectral distribution may vary strongly from flare to flare.

The present poster demonstrates the variable ratio of X-ray and EUV radiation components during selected solar flares recorded by the GOES and SDO satellites and the associated different influences on the ionosphere found in GNSS (Global Navigation Satellite System) and GIFDS (Global Ionospheric Flare Detection System) measurements. The dual-frequency GNSS measurements can effectively be used to derive the total electron content (TEC) of the ionosphere. Our investigation shows that the first derivative of the vertical TEC is a good indicator for EUV flares. Furthermore, the solar zenith angle dependence of flare induced ionization enhancements in GNSS measurements is presented.

The turbulent cascade near Earth: Total energy transfer and its calculation with third-order structure functions

Meinhardt G., Saur J., Banerjee S.

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie - Weltraumgeophysik, Köln, Deutschland

Using measured data of the ACE spacecraft placed at the Earth's L1-point, we study turbulent fluctuations in solar wind velocity and magnetic field under use of the Elsässer variables. We show that these fluctuations exhibit a turbulent cascade, we directly measure the rate of total (magnetic + kinetic) energy transfer in the cascade to smaller scales and show that these cascade rates agree with known heating rates of the solar wind. We adopt the method of Mac Bride et al. (2008) using third-order structure functions to analyze ACE's data. The cascade rates we derive with these methods show heating rates that coincide with the heating of the solar wind which was derived from temperature gradients in previous works (e.g. Vasquez et. al, 2007). We find differences in cascade rates of slow (< 400 km/s) and fast (> 500 km/s) solar wind conditions as well as in cascade rates of fluctuations parallel or perpendicular to the flow direction of the solar wind.

Ionospheric behaviour during the solar eclipse of March 20, 2015

Danielides M.

Danielides Space Science Consulting, Bentzin, Deutschland

A total solar eclipse occurred on March 20, 2015. It was visible from the North Atlantic and Arctic Oceans. This event was a unique opportunity to study a natural and sudden decrease of solar radiation input to Earth ionosphere. The change of VLF radio propagation between North America and Europe during the eclipse is investigated in this case study. Utilizing a passive VLF radio measurement method combined with a 1D-3 fluid model made it possible to monitor sudden changes at low altitude ionospheric layers (D and E region). The temporal variations of electron and ion densities due to this sudden "cooling" of the ionosphere and related effects are discussed.

Effects of inclined star-disc encounter on protoplanetary disc size

Bhandare A., Breslau A., Pfalzner S.

Max Planck Institute for Radioastronomy (MPIfR), Bonn, Deutschland

Most, if not all, young stars are initially surrounded by protoplanetary discs. Owing to the preferential formation of stars in stellar clusters, the protoplanetary discs around these stars potentially may be affected by the cluster environment. Various works have investigated the influence of stellar fly-bys on discs, although many of them consider only the effects due to parabolic, coplanar encounters often for equal-mass stars, which is only a very special case. We perform numerical simulations to study the fate of protoplanetary discs due to the impact of parabolic star-disc encounter for the less investigated case of inclined up to coplanar, retrograde encounters, which is a much more common case. Here, we concentrate on the disc size after such encounters because this limits the size of the potentially forming planetary systems. Covering a wide range of periastron distances and mass ratios between the mass of the perturber and central star, we find that despite the prograde, coplanar encounters having the strongest effect on the disc size, inclined and even the least destructive retrograde encounters mostly also have a considerable effect, especially for close periastron passages. Interestingly, we find a nearly linear dependence of the disc size on the orbital inclination for the prograde encounters but not for the retrograde case. We found a simple fitting formula of the form $r_{\text{final}} \approx 1.6 \times (m_{12})^{-0.2} \times (r_{\text{peri}})^{0.72}$ which can be applied directly to cluster simulations to determine the disc size distribution in different cluster environments. We also determine the final orbital parameters of the particles in the disc such as eccentricities, inclinations and semi-major axes. Using this information the presented study can be used to investigate the implications of stellar encounters for highly inclined Sedna-like bodies in our solar system. In addition, with the possibilities that ALMA offers, now a direct comparison to observations is possible.

Constraints on the thermal, electrical and elastic properties of the Moon

Nawa V.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

This study deals with constraints of mineralogical and thermal structure of the moon based on the analysis of Love-number and magneto-electric observations on the lunar surface. Therefore the thermal evolution of the moon beginning from the moment of the complete differentiation till today has been modeled using a 1D finite difference code. For the thermal evolution model the parameters of thermal conductivity, heat capacity and density were taken as temperature and partly pressure dependent, resulting in a time-dependence of these properties. Furthermore, the convection inside the moon has been implemented using an effective thermal conductivity based on Nusselt number. Melting processes and the related latent heat of iron and silicate melting were taken into account using an effective heat capacity. The radiogenic heat production has been modelled including a fractionation of incompatible radioactive elements into a temporally growing crust. The derived selenotherm has then been used to model the elastic deformation response due to the Earth-Moon-tides in a form of the k_2 Love number and the tidal dissipation factor Q . The electrical conductivity of the lunar rocks were evaluated from the temperature profile in order to calculate the lunar day side magnetometer transfer function. Furthermore, additional electrical conductivity measurements of lunar analogue materials have been carried out. The modelled results were compared with the observed lunar mass, moment of inertia, k_2 Love number and magnetometer transfer-function. The parameters of mineralogical boundaries between crust/upper-mantle, upper/lower mantle and core/mantle, the lunar minerals water content and the initial temperature after differentiation were chosen by applying a fitting procedure using a Downhill Simplex algorithm. The obtained results imply that the lunar near side crust has a thickness of 40 ± 3 km, the inter-mantle boundary lies in a depth of 930 ± 14 km below the surface and the radius of the core is 475 ± 9 km. Further the initial temperature after differentiation is found to be 2910 ± 40 K. The amount of water in the lunar minerals is about 15 ± 3 ppm.

Auswirkung der Plasmatemperatur auf MHD-Wellen bei der Interaktion eines Mondes mit dem umgebenden Plasma

Fischer C., Saur J., Blöcker A.

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

Monde sind im Allgemeinen von Plasma umgeben und wirken als Hindernisse für das anströmende magnetosphärische Plasma. Wenn der Mond eine dünne Atmosphäre besitzt, wie zum Beispiel die Jupitermonde, dann kommt es zu Stößen zwischen den Neutralteilchen der Atmosphäre und den geladenen Teilchen des Plasmas. Um die auftretenden Wechselwirkungen, insbesondere die entstehenden Wellenphänomene, besser zu verstehen, wurde systematisch die Plasmatemperatur variiert. Dazu untersuchten wir sieben verschiedene Modell-Szenarien mit verschiedenen Plasmatemperaturen und entsprechenden Plasma-Betas. Am Beispiel des Jupitermondes Europa wurden numerische Simulationen der Plasmawechselwirkung mit einem dreidimensionalen Ein-Fluid MHD-Modell durchgeführt. Die Simulationsergebnisse wurden anschließend mit analytischen Modellen der MHD-Wellen verglichen. Die Auswertung zeigt, dass die auftretenden Alfvén-Flügel nur geringfügig durch die Temperatur beeinflusst werden und sich Alfvén-Wellen, auch bei großen Plasma-Betas, gut durch die linearisierte Wellentheorie beschreiben lassen. Die Magnetosonischen Wellen sind dagegen druckabhängig und werden daher stärker durch thermische Effekte beeinflusst. Bei großen Betas sind die Wellenstörungen für die Slow-Mode in Relation zum Hintergrund schwächer als bei kleinen Betas. Außerdem erzeugt die Slow-Mode bei großen Betas eine stärkere Rückkopplung mit dem Magnetfeld, wo der magnetische Druck den thermischen Druck ausgleicht. Weiterhin lässt sich die Slow-Mode für große Betas nicht mehr durch die linearisierte Wellentheorie beschreiben.

Anelastic versus fully compressible rotating Rayleigh-Benard convection

Lischper M.

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

The Anelastic Approximation is widely used for numerical simulations of thermal convection in astrophysical bodies that feature a non-negligible density stratification. The flow speeds in the convective regions of those bodies often are much smaller than the speed of sound. The Anelastic Approximation filters out sound waves by eliminating the corresponding time scales from the governing equations, thus removing the need to resolve these waves numerically. Rotation is able to significantly alter the spatial and temporal scales of convection and allows for the occurrence of such phenomena as inertial waves and oscillatory instability, both absent in non-rotating convection. Recent theoretical work has shown that the time scales originally eliminated in the Anelastic framework might not be negligible when considering flows in a rotating frame of reference and possibly lead to physically deficient solutions. The study at hand compares direct numerical simulations of Anelastic and fully compressible rotating Rayleigh-Benard convection and aims at identifying possible inconsistencies between the two approaches.

Injection of solar energetic particles into both loop legs of a magnetic cloud

Dresing N.¹, Gómez-Herrero R.², **Heber B.**¹, Hidalgo M.A.², Klassen A.¹, Temmer M.³, Veronig A.³

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Kiel, Deutschland,

²University of Alcalá, Space Research Group, Alcalá, Spanien, ³Karl-Franzens-Universität Graz, Graz, Österreich

The SEP event on 7 Nov 2013 was observed by both STEREO spacecraft, which were longitudinally separated by 68° at that time. While STEREO A observed the expected characteristics of an SEP event at a well-connected position, STEREO B detected a very anisotropic bi-directional distribution of near-relativistic electrons and was situated inside a magnetic-cloud-like structure during the early phase of the event. We examine the source of the bi-directional SEP distribution at STEREO B. On the one hand this distribution could be caused by a double injection into both loop legs of the MC. On the other hand, a mirroring scenario where the incident beam is reflected in the opposite loop leg could be the reason. The relative intensity and timing of the energetic electron increases in the different viewing directions of the SEPT telescope at STEREO B strongly suggest that the bi-directional electron distribution is formed by SEP injections in both loop legs of the MC separately instead of by mirroring. Observations by the Nancay Radioheliograph of two distinct radio sources during the SEP injection further support the above scenario.

To determine the orientation and topology of the MC close to the Sun and at 1 AU a Graduated Cylindrical Shell (GCS) model is applied to the coronagraph observations from three viewpoints as well as a Global Magnetic Cloud model to the in situ measurements at STEREO B.

We also estimate the path lengths of the electrons propagating through the MC to estimate the amount of magnetic field line winding inside the structure. We find that the electrons paths are 50% longer compared to the dimension of the loop itself and therefore the magnetic field line winding is rather small.

Dissipation Model for Solar Wind Turbulence by Kinetic Alfvén Waves at Electron Scales

Schreiner A., Saur J.

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie - Extraterrestrische Physik, Köln, Deutschland

Similar to neutral fluids and gases on Earth, magnetic fluctuations in the solar wind develop characteristic turbulent features. In contrast to hydrodynamic fluids, the solar wind is not dominated by direct collisions. Hence, direct particle collisions can not be responsible for dissipation of turbulent energy and particle heating.

To help better understand the physical mechanisms of the dissipation process in solar wind turbulence, we develop a model which describes magnetic energy spectra at electron scales. Our model combines the energy transport process from large to small scales and collisionless damping processes, which extract energy from the magnetic fluctuations in the kinetic regime. We assume wave-particle interactions to be the main damping process and focus on the role of kinetic Alfvén waves. The damping is described through the imaginary part of the wave frequency, which we obtain from linear Vlasov theory.

We show that damping by kinetic Alfvén waves can explain the observed quasi-exponential shape of magnetic spectra in the dissipation range and might be the dominant dissipation process at least for the given plasma conditions studied here. Our dissipation model reveals the independence of the dissipation scale from the energy cascade rate, which is a remarkable difference compared to hydrodynamic turbulence. The model provides the possibility to investigate the influence of different damping processes and varying solar wind conditions on the dissipation scales.

Determination of characteristics of solar energetic particle events near Earth based on neutron monitor data for the assessment of radiation dose rates at flight altitudes

Steigies C.¹, Bütikofer R.², Heber B.¹, Galsdorf D.¹

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Experimentelle und Angewandte Physik, Kiel, Deutschland,

²Universität Bern, Physikalisches Institut, Bern, Schweiz

The radiation dose rate due to cosmic rays at flight altitudes is about 5 $\mu\text{Sv/h}$, two orders of magnitude higher than at sea level. During extreme Solar Energetic Particle (SEP) events the radiation dose along high latitude routes can be significantly increased, reaching or exceeding the legal limit of 1 mSv for the general population.

These extreme events, which can be registered by ground-based Neutron Monitors (NMs), are called Ground Level Enhancements (GLE), the primary particles in these events have energies larger than the atmospheric cutoff which is about 500 MeV.

The radiation dose rates at flight altitudes can be calculated when the primary (solar) cosmic ray flux near the Earth is known.

We present an inversion procedure, which uses the measurements from the worldwide network of NMs to determine the characteristics of the solar cosmic rays near Earth during a GLE.

The procedure makes use of the knowledge about the cosmic ray transport in the geomagnetic field and in the Earth's atmosphere as well as about the NM detection efficiency.

The procedures for the calculations of the cosmic ray trajectories in the geomagnetic field during the time of the GLE are presented in a poster by Galsdorf et al. at this conference.

The NM yield function combines the transport of the cosmic ray particles in the Earth's atmosphere with the NM detection efficiency for incident nucleons. The yield functions can be determined by latitude surveys (for example with a mini NM on board the research vessel Polarstern) or by Monte Carlo simulations.

We acknowledge the NMDB database (www.nmdb.eu), founded under the European Union's FP7 programme (contract no. 213007) for providing data.

The GLE inversion procedure has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 637324.

Comparison of Optical and Radio Observations of Coronal Mass Ejection

Lu L.¹, Inhester B.¹, Feng L.²

¹Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Deutschland, ²Purple Mountain Observatory, Nanjing, China, Volksrepublik

In this work, we apply three kinds of methods to derive the 3D distance of CME from the Sun, i.e., stereoscopic reconstruction, polarization degree method, and frequency inversion of type II radio burst. The first method is based on geometry, and the second method is based on Thompson Scattering Theory. Both of the first two methods make use of optical observation, while the third one makes use of radio observation. We expect the distances obtained from them to be due to different physical mechanisms which lead to the observations

Anisotropy in Solar Wind Turbulence Depending on the Local Magnetic Field Scales

Gerick F., Saur J., von Papen M.

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

In contrast to hydrodynamics there is strong theoretical and experimental evidence for an anisotropic scaling of the inertial range spectrum in magnetohydrodynamic (MHD) turbulence. The widely accepted model of "critical balance" (Goldreich & Sridhar, 1995) suggests power-laws of k^{-2} parallel and $k^{-5/3}$ perpendicular to a local magnetic field. We reproduce the results of Horbury et al. (2008) and further analyze the sensitivity of the obtained scalings on the frequency-dependent local magnetic field definition. We find that the averaging scales should not be significantly larger than the scales of the eddies under consideration. We also investigate the distribution of the orientations of the averaged magnetic field components.

Anelastic Versus Fully Compressible Turbulent Rayleigh-Bénard Convection

Verhoeven J.^{1,2}, Stellmach S.², Wiesehöfer T.²

¹University of California, Santa Cruz, Department of Earth and Planetary Sciences, Santa Cruz, CA, Vereinigte Staaten von Amerika, ²Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland

Direct numerical simulations of stellar or planetary convection often employ the so-called Anelastic Approximation in order to account for a strong density stratification without the need of explicitly resolving acoustic time scales. In this work, we explore the validity bounds of this approximation. Numerical simulations of turbulent Rayleigh-Bénard convection in an ideal gas, using either the anelastic approximation or the fully compressible equations, are compared. Theoretically, the anelastic approximation is expected to hold in weakly superadiabatic systems with $\epsilon = \Delta T / T_r \ll 1$, where ΔT denotes the superadiabatic temperature drop over the convective layer and T_r the bottom temperature. Using direct numerical simulations, a systematic comparison of anelastic and fully compressible convection is carried out. With decreasing superadiabaticity ϵ , the fully compressible results are found to converge linearly to the anelastic solution with larger density contrasts generally improving the match. We conclude that in many solar and planetary applications, where the superadiabaticity is expected to be vanishingly small, results obtained with the anelastic approximation are in fact more accurate than fully compressible computations, which typically fail to reach small ϵ for numerical reasons. On the other hand, if the astrophysical system studied contains $\epsilon \sim O(1)$ regions, such as the solar photosphere, fully compressible simulations have the advantage of capturing the full physics. Interestingly, even in weakly superadiabatic regions, like the bulk of the solar convection zone, the errors introduced by using artificially large values for ϵ for efficiency reasons remain moderate. If quantitative errors of the order of 10% are acceptable in such low ϵ regions, our work suggests that fully compressible simulations can indeed be computationally more efficient than their anelastic counterparts.

PANDOCA - Professional Aviation DOse Calculator

Matthiä D., Meier M.M.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V., Institut für Luft- und Raumfahrtmedizin, Köln, Deutschland

The PANDOCA (Professional Aviation Dose Calculator) software was developed at the German Aerospace Center (DLR) for the calculation of route doses in aviation. The calculations are based on galactic cosmic ray spectra taking into account primary nuclei from hydrogen to iron by direct transport calculations of hydrogen and helium nuclei and approximating heavier nuclei by the number of protons equaling the corresponding atomic number. A comparison to experimental data recorded on several flights with a tissue equivalent proportional counter shows very good agreement between model calculations and measurements.

In addition to the calculation of the radiation exposure from galactic cosmic rays, the PANDOCA model can also be used for an assessment of the contribution of solar events producing highly energetic particles which may have the potential to increase the dose rate at aviation altitudes. The expected increase in dose rates during such events can be estimated using neutron monitor and satellite measurements. Potential mitigation measures can be evaluated based on their effect and cost.

Auto correlation length of increment time series

Link T., Saur J.

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

The increment method, i.e. pre-whitening and post-darkening, is a successful filter method which is applied in many spectral analysis problems to improve the resolution of frequency spectra. The applications to power spectra of magnetic field fluctuations in the solar wind resolves the spectral break from the inertial frame to the dissipation frame with high accuracy. The increment method centers the original time series, eliminates a linear trend and filters uncorrelated noise in the power spectra. In this study we derive a similar expression for the auto correlation length based on increment time series. For interplanetary magnetic field turbulence the correlation length can be interpreted as the length scale on which large eddies are correlated. We test our derived expression with synthetic data, which includes high and low frequency noise. Low frequency noise is realized with linear trends, which could always be eliminated by the new increment method. In our study uniformly random distributed numbers represent high frequency noise, which is intensified by the increment method. As a consequence, a low pass filter needs to be applied initially.

A Space Weather Index for the Radiation Field at Aviation Altitudes

Meier M.M., Matthiä D.

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Köln, Deutschland

The additional dose contribution to the radiation exposure at aviation altitudes during Solar Particle Events (SPEs) has been a matter of concern for many years. After the Halloween storms in 2003 several airlines began to implement mitigation measures such as rerouting and lowering flight altitudes in response to alerts on the NOAA S-scale regarding solar radiation storms. These alerts are based on the integral proton flux above 10 MeV measured aboard the corresponding GOES-satellite which is operated outside the Earth's atmosphere in a geosynchronous orbit. This integral proton flux has, however, been proved to be an insufficient parameter to apply to the radiation field at aviation altitudes without an accompanying analysis of the shape of the energy spectrum. Consequently, false alarms and corresponding disproportionate reactions ensued. Since mitigating measures can be quite cost-intensive, there has been a demand for appropriate space weather information among responsible airline managers for about a decade. Against this background, we propose the introduction of a new Space Weather index D, based on dose rates at aviation altitudes produced by solar protons during solar radiation storms, as the relevant parameter for the assessment of corresponding radiation exposure.

6-A Geophysical Methods

6-A Geophysical Methods

6-A.001

Visco-elastic controlled-source full waveform inversion without surface waves

Paschke M.¹, Bleibinhaus F.², Krause M.¹

¹Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Geophysik, Jena, Deutschland, ²Montanuniversität Leoben, Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik - Angewandte Geophysik, Leoben, Österreich

We developed a frequency-domain visco-elastic full waveform inversion for onshore seismic experiments with topography. The forward modeling is based on a finite-difference time-domain algorithm by Robertsson that uses the image-method to ensure a stress-free condition at the surface. The time-domain data is Fourier-transformed at every point in the model space during the forward modeling for a given set of frequencies. The motivation for this approach is the reduced amount of memory when computing kernels, and the straightforward implementation of the multiscale approach. For the inversion, we calculate the Frechet derivative matrix explicitly, and we implement a Levenberg-Marquardt scheme that allows for computing the resolution matrix. To reduce the size of the Frechet derivative matrix, and to stabilize the inversion, an adapted inverse mesh is used. The node spacing is controlled by the velocity distribution and the chosen frequencies.

To focus the inversion on body waves (P, P-coda, and S) we mute the surface waves from the data. Consistent spatiotemporal weighting factors are applied to the wavefields during the Fourier transform to obtain the corresponding kernels.

We test our code with a synthetic study using the Marmousi model with arbitrary topography. This study also demonstrates the importance of topography and muting surface waves in controlled-source full waveform inversion.

1D and 2D simulations of seismic wave propagation in fractured media

Möller T., Friederich W.

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

Fractures and cracks have a significant influence on the propagation of seismic waves. Their presence causes reflections and scattering and makes the medium effectively anisotropic. We present a numerical approach to simulation of seismic waves in fractured media that does not require direct modelling of the fracture itself, but uses the concept of linear slip interfaces developed by Schoenberg (1980). This condition states that at an interface between two imperfectly bonded elastic media, stress is continuous across the interface while displacement is discontinuous. It is assumed that the jump of displacement is proportional to stress which implies a jump in particle velocity at the interface. We use this condition as a boundary condition to the elastic wave equation and solve this equation in the framework of a Nodal Discontinuous Galerkin scheme using a velocity-stress formulation. We use meshes with tetrahedral elements to discretise the medium. Each individual element face may be declared as a slip interface. Numerical fluxes have been derived by solving the 1D Riemann problem for slip interfaces with elastic and viscoelastic rheology. Viscoelasticity is realised either by a Kelvin-Voigt body or a Standard Linear Solid. These fluxes are not limited to 1D and can - with little modification - be used for simulations in higher dimensions as well. The Nodal Discontinuous Galerkin code “neXd” developed by Lambrecht (2013) is used as a basis for the numerical implementation of this concept. We present examples of simulations in 1D and 2D that illustrate the influence of fractures on the seismic wavefield. We demonstrate the accuracy of the simulation through comparison to an analytical solution in 1D.

Bestimmung von langwelligen Startmodellen für die seismische Wellenforminversion - Teil 1 Ersteinsatztomographie basierend auf der Adjoint-State Methode

Köhn D., De Nil D., Rabbel W.

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

Der Schlüssel zur erfolgreichen Anwendung einer hochauflösenden seismischen Wellenforminversion (Full Waveform Inversion, FWI) ist ein langwelliges Startmodell. In dieser zweiteiligen Arbeit vergleichen wir zwei Strategien zur Startmodellbestimmung für eine seismische FWI auf der Explorationsskala basierend auf dem refraktierten bzw. reflektierten Wellenfeld. Enthält der Datensatz ausreichend große Offsetinformationen besteht der klassische Ansatz zur Bestimmung eines P-Wellengeschwindigkeitsstartmodells in einer Ersteinsatztomographie (First-Arrival Traveltime Tomography, FATT). Während die meisten FATT Codes auf einem strahlenbasierten Ansatz beruhen, wenden wir analog zu Leung & Qian (2006), Taillandier et al. (2009) und Bretaudeau et al. (2014) die Adjoint-State Methode auf die Eikonal-Gleichung an. Dazu wird ähnlich wie bei der FWI zunächst das Vorwärtsproblem mit einem Fast Sweeping Ansatz gelöst, die Laufzeitresiduen an den Empfängerpositionen bestimmt und mit diesen Residuen als Randbedingung das adjungierte Laufzeitfeld berechnet. Dieses Laufzeitfeld bildet den Kern einer iterativen limited memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (l-BFGS) Quasi-Newton Optimierung bei der sukzessive das P-Wellengeschwindigkeitsmodell verbessert wird, bis die Laufzeitresiduen hinreichend minimiert sind. Die Bestimmung eines einfachen linearen 1D Gradientenstartmodells für die FATT erfolgt mit Hilfe eines Grid Searchs, welcher die Zielfunktion für einen ausgewählten Teil des Parameterraums kartiert. Mit Hilfe der von uns entwickelten Open Source Programmpakete RAJZEL für die FATT und dem FWI-Code DENISE Black-Edition werden Anwendbarkeit und Auflösung dieses kombinierten Ansatzes anhand einer modifizierten Version des elastischen Marmousi-2 Modells demonstriert. Datengrundlage bildet dabei eine realistische OBC Akquisitionsgeometrie mit einem maximalen Offset von 9 km sowie einer minimalen Frequenz von 3.5 Hz, angelehnt an die Felddatenanwendung in Operto (2015). Der modulare Aufbau beider Programmpakete und die konsistenten Datenformate erlauben eine effektive und einfache Kombination von FATT und FWI.

Danksagung:

Diese Arbeit wurde im Rahmen des ANGUS+ Forschungsprojekts, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), durchgeführt.

Bestimmung von langwelligen Startmodellen für die seismische Wellenforminversion - Teil 2 CRS-Stack und NIP-Wellentomographie

Köhn D., De Nil D., Rabbel W.

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

Der Schlüssel zur erfolgreichen Anwendung einer hochauflösenden seismischen Wellenforminversion (Full Waveform Inversion, FWI) ist ein langwelliges Startmodell. In dieser zweiteiligen Arbeit vergleichen wir zwei Strategien zur Startmodellbestimmung für eine seismische FWI auf der Explorationsskala basierend auf dem refraktierten, bzw. reflektierten Wellenfeld. Während im ersten Teil der Schwerpunkt auf dem refraktierten Wellenfeld lag, betrachten wir nun das reflektierte Wellenfeld. Üblicherweise erfolgt die Ableitung von Startmodellen aus dem reflektierten Wellenfeld über eine kohärenzbasierte Common-Midpoint (CMP) Analyse zur Bestimmung eines Normal-MoveOut (NMO) Geschwindigkeitsmodells, sowie der anschließenden Konversion von NMO- in Intervall-Geschwindigkeiten mit Hilfe einer Dix Inversion. Die CMP-Laufzeitapproximation hat allerdings den Nachteil, daß diese nur für lateral homogene Medien ohne signifikante Neigungen oder Krümmungen der Schichtgrenzen korrekt ist. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, kann dies zu deutlichen Fehlern im abgeleiteten Geschwindigkeitsmodell führen. Aus diesem Grund ersetzen wir in dieser Arbeit die klassische CMP Analyse durch die Common-Reflection Surface (CRS) Analyse (Mann et al. 1999, Jäger et al. 2001, Mann, 2002). Die aus der CRS Analyse abgeleiteten Stapel-Parameter bilden die Grundlage für einen reflexionsseismischen Tomographieansatz (NIP-wave tomography) mit dem sich ein langwelliges P-Wellengeschwindigkeitsmodell des Untergrundes bestimmen läßt (Duveneck 2004). Im Gegensatz zu anderen tomographischen Ansätzen erfolgt die Bestimmung der Stapel-Parameter nicht durch Picken in den Common-Shot Gathern, sondern in der Zero-Offset Sektion. Hierbei erleichtert das höhere Signal-zu-Rausch Verhältnis die Identifizierung kohärenter Reflexionseinsätze. Die Anwendbarkeit und Auflösung der Kombination aus CRS-Stack, NIP-Wellentomographie und seismischer FWI werden exemplarisch anhand des Marmousi-2 Modells für eine marine Streamer Akquisitionsgometrie veranschaulicht.

Danksagung: Wir bedanken uns bei Dirk Gajewski, sowie den Sponsoren des WIT Konsortiums für die Erlaubnis deren CRS-Stack und NIP-Wellentomographie Codes zu verwenden. Diese Arbeit wurde im Rahmen des ANGUS+ Forschungsprojekts, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), durchgeführt.

Rapid and joint analysis of shear-wave splitting with application to the Swiss network

Reiss M.C., Rumpker G.

Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland

Shear wave splitting analysis from teleseismic phases has become a standard tool to infer upper-mantle seismic anisotropy. The resulting splitting parameters, fast-axis orientation and delay time, are usually interpreted in terms of the lattice-preferred orientation of olivine crystals and hence provide information on deformation and flow processes in the upper mantle. The increasing number of earthquake recordings from permanent and temporary seismic networks results in comprehensive studies of seismic anisotropy world-wide. The comparison with global mantle-flow models further advances our understanding of Earth's interior. However, increasingly large data sets pose the inevitable question as to how to process them. Well-established routines and programs are accurate but often slow and impractical for analyzing large amounts of data, while fully-automated routines may lead to erroneous results and interpretations. Additionally, shear-wave-splitting results are seldom evaluated using well-defined criteria which complicates a straightforward comparison. In view of the upcoming "big" projects such as AlpArray, we re-examine our splitting-analysis subroutines and develop a new script library for MATLAB.

The processing based on this package involves the following: i) direct reading of miniSEED-files and an initial screening and categorizing of XKS-waveforms using a pre-set SNR-threshold. ii) analysis of the particle motion of selected phases and successive correction for sensor miss-alignment based on the orientation of the major axis of the particle motion in the long-period limit. iii) splitting analysis of selected events, while enabling a check upon frequency dependence. Seismograms are first rotated into radial and transverse components, then the energy-minimization method is applied, which provides the splitting parameters. To estimate errors, the analysis is done for different time windows. iiiii) joint-splitting analysis for all events/phases recorded at one station, where the energy content of all phases is inverted simultaneously. This allows to decrease the influence of noise and to increase the robustness of the measurements when deriving hypothetical one or two-layer splitting parameters.

Overall, the package enables a quick and objective analysis while the user controls the quality criteria. We test these new routines using the broadband stations of the Swiss permanent digital network SDSN and compare our results with those published previously.

6-B Geophysical Methods

6-B Geophysical Methods

6-B.001

Data-driven near-surface velocity analysis

Guntern C., Schwarz B., Gajewski D.

Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland

The accurate knowledge of the seismic velocity near the surface is important for many applications in processing, which range from the correction of static effects and the elimination of surface-related multiple reflections to tomographic inversion. In addition, in the context of marine multi-channel acquisition, the velocity of the water column is usually assumed to be constant, although previous studies have shown that internal variations, caused by changes in salinity or temperature, often cannot be neglected, but in turn can contain information on climate-relevant oceanographic processes. In this work, we suggest to detect near-surface heterogeneity and obtain a reliable estimate for the near-surface velocity with a new method that evaluates deviations in wavefield attributes determined with two individual parametrizations of a common-reflection-surface (CRS) stacking operator. The specific form of these parametrizations leads to a high sensitivity of the obtained attributes with regards to velocity changes and heterogeneities near the surface. In particular, these deviations vanish for a correctly chosen near-surface velocity, allowing for data-driven applicability of the proposed strategy. Complex synthetic and field data examples reveal that even velocity deviations in the low percent range can be detected, which suggests a strong potential not only for an overall improvement of the CRS workflow, but also for efficient discrimination of surface-related multiples from primary reflections.

Wavefront-based joint passive source location and velocity inversion

Schwarz B., Bauer A., Gajewski D.

Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland

Stacking still can be considered one of the most reliable processes in seismology. In both, active and passive regimes, the locally coherent summation of amplitudes can lead to a significant increase of the signal-to-noise ratio and especially weak events, which were barely recognizable in the raw data, can be made accessible for further processing and interpretation. With the introduction of normalized velocity spectra for active source acquisitions, the process of stacking was shown to be applicable in a fully data-driven fashion. The common-reflection-surface (CRS) technique can be viewed as a physically justified extension of the conventional stacking scheme, utilizing redundant information not only in a single but in several neighboring common-midpoint gathers. The zero-offset CRS traveltimes moveout is parametrized in terms of surface measurements of kinematic attributes, which utilize reciprocity and ray path symmetries to describe the two-way process of the actual wave propagation in active seismic experiments by the propagation of auxiliary one-way wavefronts. For the diffraction case, only the attributes of a single one-way wavefront, originating from the diffracting structure are sufficient to explain the traveltimes differences observed at the surface. While paraxial ray theory gives rise to a second-order approximation of the CRS traveltimes, many higher-order approximations were subsequently introduced either by squaring the second-order expression or by employing principles of optics and geometry. It was recently discovered that all of these higher-order operators can be formulated either for the optical projection or in an auxiliary medium of a constant effective velocity. Utilizing this duality and the one-way nature of the CRS parameters, we present a simple data-driven stacking scheme that, besides estimating the emerging wavefront properties, also allows for the measurement of the a priori unknown excitation time of a passive seismic source. In addition, we demonstrate with data examples that the output of the suggested workflow can directly be used for subsequent wavefront-based tomography, leading to a reliable joint inversion of the source location and the velocity model.

A new filter function for diffraction separation with finite-offset CRS

Wissmath S., Vanelle C., Schwarz B., Gajewski D.

Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland

Diffraction only data can be used to improve migration velocities, NIP wave tomography and to better resolve small scale structures. With the so far commonly-used filter to separate diffractions from reflections it was necessary to use data-dependent thresholds to achieve the best image. We suggest a new filter function based on the finite offset (FO) common-reflection-surface (CRS) method, which is a specific type of multiparameter (MP) stacking methods. MP stacking methods are an extension of the CMP concept. In addition to providing reliable time images, they can lead to further information on the subsurface in terms of stacking parameters, the so-called kinematic wavefield attributes. A clear physical interpretation of the CRS stacking parameters exists for monotypic waves in the zero offset (ZO) case, where three parameters describe the incidence/emergence angles and curvatures of two hypothetical wavefronts at the CMP under consideration. In the finite offset case the number of parameters increases to five. We use these common offset parameters to separate diffractions from reflections with a newly-introduced filter function. The new filter function permits the use of a single, constant threshold value that no longer depends on the dataset under consideration. Therefore the diffraction separation becomes completely data driven. Application to simple generic data and field data confirms the reliable separation using the new filter function.

Improved stacking workflow for diffraction imaging

Walda J., Schwarz B., Gajewski D.

Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland

Diffractions provide information below the classical Rayleigh limit like edges and pinch-outs. The common-reflection-surface (CRS) stack increases the signal-to-noise ratio significantly compared to the classical common-midpoint (CMP) stack and its three attributes can be used for further applications like diffraction separation, pre-stack data enhancement, traveltimes decomposition, pre-stack slope determination or data-driven pre- and post-stack time migration. However the treatment of conflicting dips during the parameter estimation of the CRS operator is not reliable and often leads to suppression of the less dominant events. In our work we seek to recognize diffractions correctly in the framework of CRS processing. Furthermore, we show that with more recently introduced higher-order CRS operators diffractions can be recognized even better.

For the parameter estimation of the CRS attributes we use a global optimization scheme, namely differential evolution, where a priori information can be used as additional input or constraints. However, we used a purely data-driven approach. Therefore, no a priori information were used in our field data examples. Furthermore, we split the whole search space in smaller parts with respect to the angle parameter. In each part the most coherent event is searched and stacked. Therefore, conflicting events at a specific sample can be recognized in the stack and attributes. This allows to consider conflicting dips which is necessary to recognize diffractions that are masked by stronger reflection events. The CRS attributes are used for diffraction separation and pre-stack data enhancement to show the potential to regularize and interpolate the whole wave-field rather than mostly reflections as previously. With this workflow we can enhance the acquired data without a loss of information and extract diffracted events.

Utilizing diffractions: wavefront-based tomography revisited

Bauer A., Schwarz B., Lotze M., Werner T., Gajewski D.
Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland

The estimation of seismic velocities plays a central role in physically characterizing the Earth's interior. Recently, full-waveform inversion (FWI) has become the primary tool for inferring the velocity structure with the highest possible resolution. However, FWI is computationally highly demanding and current implementations still mostly require reasonably accurate starting models to ensure stable convergence. In contrast to FWI, the established process of depth migration performs well also for models with less detail. For the inversion of smooth velocity models, stabilized tomographic techniques exist, which rely on the local coherence of the recorded wavefield and can be formulated either in the pre- or in the poststack domain. In this work, we review the largely data-driven normal-incidence-point (NIP) tomography, which is based on kinematic wavefield attributes obtained during the common-reflection-surface (CRS) stack. The CRS stack was shown to be a powerful tool for data analysis and enhancement. While the increased signal-to-noise ratio and the regularization and interpolation capabilities are virtues on their own, the physically meaningful attributes acquired during the CRS stack can also be used for sophisticated subsequent processes such as wavefield characterization and separation. The poststack approach NIP tomography benefits of the decreased noise level and data reduction and directly uses the first- and second-order attributes provided by CRS for data-driven velocity inversion. Whereas in previous works, NIP tomography has been applied mainly to reflection data, resulting in smooth velocity models suitable for migration of targets with moderately complex overburden, this work has the emphasis on using diffracted contributions in the wavefield for velocity inversion. Based on recently formulated diffraction symmetries, we motivate a two-step strategy, in which tomographic models gained via application to reflection data are subsequently refined using diffractions. Simple synthetics as well as an industrial field data example confirm the general finding that diffraction-based NIP tomography can lead to increased lateral resolution in the velocity inversion.

Individual and joint 2-D elastic full waveform inversion of Rayleigh and Love waves

Wittkamp F., Bohlen T.

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

Shallow-seismic Rayleigh and Love waves are attractive for geotechnical site investigations. They exhibit a high signal to noise ratio in field data recordings and have a high sensitivity to the S-wave velocity, an important lithological and geotechnical parameter to characterize the very shallow subsurface. In recent time full waveform inversion (FWI) has been successfully applied to reconstruct shallow 2-D shear wave velocity models using either Rayleigh waves or Love waves where mostly the Rayleigh waves have been utilized.

The aims of this synthetic study are (1) to compare the performance of individual waveform inversions of Rayleigh or Love waves and (2) to explore the benefits of a simultaneous joint-inversion of both types of surface waves.

For these purposes we use a 2-D elastic time-domain FWI algorithm which is based on the adjoint state method. The gradients are preconditioned with an approximated Hessian. During the iterative inversion we use the quasi-Newton limited-memory BFGS method with Wolfe condition based step length. In the joint-inversion we simply add the objective functions and the gradients. Our synthetic 2-D test model emulates a realistic situation where a circular-shaped shallow small-scale low velocity anomaly (trench) is embedded in a depth dependent background model. The 1-D starting model consists of a linear vertical gradient. The material parameters S-wave velocity, Density, and P-wave velocity are inverted.

The true shear wave velocity model could be satisfactorily reconstructed by both the individual waveform inversions and the joint inversion of both wave types. The FWI of Rayleigh waves, however, suffers from artifacts at the source positions which become more pronounced by unknown P-wave velocities near the source positions. These artifacts also appear in the results of the joint inversion. They limit the resolution of the final S-wave velocity and the final data fit. The individual FWI of Love waves does not suffer from source artifacts and thus allows for a smooth convergence and excellent final fit of both model and waveforms. Also the density model was recovered surprisingly well by the individual inversion of Love waves. In our 2-D synthetic example the single inversion of Love waves was thus superior to the individual inversion of Rayleigh waves and the joint-inversion of Rayleigh and Love waves.

6-C Geophysical Methods

6-C Geophysical Methods

6-C.001

Parallele akustische Reverse-Time-Migration

Morgenstern R., Hellwig O., Buske S.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Die seismische Abbildung des Untergrundes spielt in vielen Bereichen der angewandten Geophysik eine wichtige Rolle. Im Fall von komplexen Untergrundgeometrien liefern dabei in der Regel die auf der Wellengleichung basierenden Migrationsverfahren die qualitativ besten Ergebnisse. Insbesondere die Reverse-Time-Migration (RTM) hat sich in der Praxis bewährt. Sie verlangt jedoch eine gute Kenntnis des zugrunde liegenden Geschwindigkeitsmodells, um Artefakte zu vermeiden.

Basierend auf einem existierenden Programm zur Finite-Differenzen-Modellierung der Wellenausbreitung haben wir ein entsprechendes RTM-Programm mit verschiedenen Abbildungsbedingungen entwickelt und für den akustischen Fall auf einer parallelen Rechnerarchitektur implementiert. Die implementierten Abbildungsbedingungen wurden anschließend an einfachen synthetischen Modellen getestet. Nach den vielversprechenden Tests wurde das Verfahren in einem nächsten Schritt auf reale Daten angewendet. Auch hier liefert die Reverse-Time-Migration sehr gute Abbildungsergebnisse. Dies zeigt sich besonders deutlich im Vergleich mit den Ergebnissen strahlenbasierter Verfahren.

3D Abbild im Bereich der KTB durch Anwendung der Fresnel Volumen Migration auf den ISO89 Datensatz

Hlousek F., Buske S.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Das Umfeld der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB) Oberpfalz ist gekennzeichnet durch komplexe dreidimensionale Strukturen mit unterschiedlichen Streichrichtungen und mit unterschiedlichem Einfallen der einzelnen Strukturelemente. Diese Strukturen wurden in der Vergangenheit mittels zahlreicher seismischer Messkampagnen untersucht und abgebildet. Das verlässlichste Abbild wurde dabei durch eine 3D Messung (Integrierte Seismik Oberpfalz, ISO89) erreicht, welche in der Lage ist, alle Strukturen unabhängig von ihrer Streichrichtung und ihres Einfallens korrekt abzubilden. Wir zeigen das Abbild, das durch die Anwendung der Fresnel Volumen Migration auf diesen Datensatz erreicht werden kann. Bei dieser Methode wird der Migrationsoperator der Kirchhoff pre-stack Tiefenmigration auf das Fresnel Volumen um einen zurück propagierten Strahl beschränkt. Dadurch wird das Abbild der Reflektoren auf den physikalisch zur Reflexion beitragenden Teil beschränkt und das Abbild fokussiert. Hierfür muss zunächst die Auftauchrichtung der reflektierten Signale bestimmt werden, was eine besondere Herausforderung für 3D Datensätze darstellt. Wir verwenden ein lokales slant-stack Verfahren im Orts-Zeit-Bereich mit Semblance als Maß für die Kohärenz des seismischen Signals. Für dieses Verfahren können unterschiedliche Wirkungsbereiche verwendet sowie eine flächig gleichmäßige Verteilung der Empfänger mittels gezielter Reduktion der Spuren erreicht werden. Wir diskutieren unterschiedliche Geometrien und zeigen, wie Voronoi Zellen eine räumlich ausgeglichene Verteilung ermöglichen.

Die Anwendung der Fresnel Volumen Migration führt zu einem deutlichen Abbild der reflektiven Strukturen und stellt eine erhebliche Verbesserung gegenüber der klassischen Kirchhoff pre-stack Tiefenmigration dar.

Integrierte Scherwellen-Seismik bei einer 3D-Seismik für geothermische Exploration in München

Wawerzinek B.¹, Lüschen E.¹, Ziesch J.¹, Bunes H.¹, Thomas R.¹, Fluch M.²

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ²DMT GmbH & Co. KG, Essen, Deutschland

Im Rahmen der von den Stadtwerke München (SWM) beauftragten 3D-seismischen Messungen (Projekt GRAME, Messfläche 170 km²) für die geothermische Exploration wurden vom LIAG im Teilprojekt GeoParaMoL begleitende Scherwellenmessungen durchgeführt. Mit einer Kombination von P-Wellen und S-Wellen sollen qualitative und quantitative Aussagen über Elastizitätskonstanten, Porosität bzw. Transmissivität und andere Gesteinseigenschaften ermöglicht werden, um eine fazielle Beschreibung unterschiedlicher Malm-Einheiten im Aquifer zu unterstützen.

Das Feldexperiment bestand aus zwei Einheiten:

- 1) Mittels einer linienhaften 3-Komponenten-Auslage wurde der größte Teil der insgesamt über 7000 Vibrationspunkte parallel zur normalen 3D-Auslage mitregistriert. Hierbei sollen neben den P-Wellen direkt von den Vibratoren abgestrahlte Scherwellen oder an der Basis der oberen Lockerschicht von P zu S konvertierte Wellen, aber auch die an diversen Molasse-Horizonten konvertierten Scherwellen einem 3D-Reflexionsprocessing zugeführt werden. Dieses Experiment fand im Zeitraum von November 2015 bis März 2016 statt. Ein derartiges Vorgehen wurde schon bei 3D-seismischen Messungen des LIAG in Unterhaching und Schneeberg erfolgreich getestet.
- 2) Bei dem aktiven Experiment wurden mittels der SHOVER-Methode (Edelmann, 1981) die Vertikalvibratoren als Scherwellenquelle benutzt, da heute schwere Horizontal-Vibratoren nicht mehr zur Verfügung stehen. Bei dieser Methode werden vier standardmäßige Vertikalvibratoren paarweise nebeneinander aufgestellt und um 180° zueinander gedrehte Sweep-Signale ausgesendet. Das Experiment fand vom 05. bis 08. Januar 2016 statt. Je Vibrationspunkt wurden 24 Sweeps mit Frequenzen von 8-48 Hz und einer Dauer von 20 s angeregt.

Als Empfänger wurden keine Geophone, sondern digitale Beschleunigungssensoren (MEMS) verwendet. Diese waren als Einzel-3-Komponenten-Sensoren mit 50 bzw. 30 m Abständen auf einer Hauptlinie und zwei Querlinien aufgestellt. Erste Datensichtungen im Rahmen der Feld-Qualitätskontrolle geben zu positiven Erwartungen bezüglich der Anregung von Scherwellen Anlass.

Quelle:

EDELMANN, H.A.K. (1981): SHOVER shear-wave generation by vibration orthogonal to the polarization. – Geophysical Prospecting 29, 541-549.

Die Förderung erfolgt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Anwendung der Wellenforminversion bei marinen Dual-Sensor-Streamer-Daten

Thiel N., Kurzmann A., Bohlen T.

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

Seit einigen Jahren werden von der Firma Petroleum Geo-Service (PGS) sogenannte Dual-Sensor-Streamer für die marine Akquisitionen eingesetzt. Diese registrieren zusätzlich zum Druckwellenfeld die vertikale Partikelgeschwindigkeit. Mithilfe der aufgezeichneten Partikelgeschwindigkeit kann das Wellenfeld in ein hinauflaufendes und ein hinablaufendes Wellenfeld aufgespalten werden. Das hinauflaufende Wellenfeld enthält die von unten kommenden Wellen, das hinablaufende Wellenfeld enthält die Reflexionen an der Meeresoberfläche (Receiverghost).

Durch die Wellenfeldtrennung können unter anderem die durch die Überlagerung der Wellenfelder entstehenden Einschnitte im Amplitudenspektrum entfernt werden, was vorteilhaft für die seismische Abbildung ist.

Bei der Verwendung solcher dualen Datensätze in der Wellenforminversion mit Hilfe adjungierter Wellenfelder muss beachtet werden, dass die Reflexionen an der Meeresoberfläche bei der Vorwärtssimulation mit modelliert werden. Eine Wellenfeldtrennung der modellierten Seismogramme, sowie eine Anpassung der adjungierten Quellen ist somit notwendig.

Die Einflüsse der Wellenfeldtrennung auf die Daten und deren Auswirkungen auf die Wellenforminversion werden hier anhand eines synthetischen 2D marinen Modells mit Salzstruktur untersucht und vorgestellt.

Einbindung von realistischen geologischen 3D Modellgeometrien in parallele seismische Finite-Differenzen-Simulationen

Hellwig O.¹, Zehner B.², Linke M.¹, Görz I.¹, Buske S.¹

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Berlin, Deutschland

Seismische Simulationen werden unter anderem benutzt, um Effekte der Wellenausbreitung in komplexen Medien zu verstehen und Akquisitionsgeometrien bei der Planung von seismischen Messungen zu optimieren. Mittels Parallelisierung lässt sich die Wellenausbreitung auch in großen 3D-Modellen simulieren. Während sich einfache geologische Strukturen mit Hilfe mathematischer Funktionen beschreiben lassen, werden komplexe Geometrien häufig in Form von triangulierten Flächen beschrieben, welche Formationsgrenzen darstellen oder geologische Körper umschließen. Um diese Modelle für parallele Finite-Differenzen-Simulationen zu nutzen, müssen sie in ein regelmäßiges kartesisches Gitter überführt werden. Die Software Skua-Gocad von Paradigm enthält bereits eine Funktion zur Überführung von Modellen aus Dreiecksnetzen in ein Voxel-Gitter. Allerdings ist diese nur eingeschränkt für die Erzeugung großer Gitter mit feiner räumlicher Auflösung, wie für unsere Finite-Differenzen-Simulationen erforderlich, ausgelegt. Deshalb wählen wir einen Ansatz, bei dem ein Rasterer in die parallele Simulationssoftware integriert ist, der jedem Punkt des Finite-Differenzen-Gitters eindeutig einen entsprechenden geologischen Körper zuordnet. Die Eingabe für diesen Rasterer ist ein dreiecksbasiertes, wasserdichtes Oberflächenmodell im Gocad-Surface-Format, das die verschiedenen geologischen Einheiten darstellt. Dieses Modell wird zu Beginn der Simulation von allen an der parallelen Rechnung beteiligten Prozessoren gelesen. Jeder Prozessor rastert das Modell nur für sein Teilgebiet und ordnet den Gitterpunkten die entsprechenden Modellparameter zu. Das gerasterte Modell muss nicht auf der Festplatte gespeichert werden. Der Leseaufwand beschränkt sich auf das Gocad-Modell, und jeder Prozessor muss nur die gerasterten Modellparameter im Arbeitsspeicher halten, die für die Simulation benötigt werden. Am Beispiel eines Salzstockmodells mit 1100 x 860 x 700 Gitterpunkten zeigen wir Snapshots des Wellenfeldes und Seismogramme für eine 3D elastische Simulation. Auf dem Cluster des Rechenzentrums der TU Bergakademie Freiberg beträgt die Rechenzeit für 6000 berechnete Zeitschritte unter Verwendung von 125 Prozessoren ca. 48 Minuten. Das Rastern des Modells nimmt davon deutlich weniger als eine Minute in Anspruch. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass die von uns vorgestellte Methode die Einbindung komplexer, realitätsnaher 3D Strukturen in seismische Simulationen in effizienter Weise ermöglicht.

6-D Geophysical Methods

6-D Geophysical Methods

6-D.001

Bridging Geodesy and Seismology – a global approach to combine InSAR and teleseismic waveforms for improved imaging of crustal earthquakes

Sudhaus H.¹, Heimann S.², Krüger F.³, Steinberg A.³, Dahm T.²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum

Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.1 Erdbeben- und Vulkanphysik, Potsdam, Deutschland,

³Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland

Earthquake source models from teleseismic waveforms of the global seismological networks serve us since decades with timely earthquake source information, comprehensive catalogs, and became indispensable for many geoscientific research applications. The vastly improved availability of space-geodetic InSAR data (Interferometric Synthetic Aperture Radar), e.g. through ESA's Sentinel-1 SAR satellite, provides tremendously improved chances to also globally observe near-field earthquake surface deformation. Imagine the large potential using these new global data sets similarly to the teleseismic waveforms! From InSAR data we not only obtain independent and precisely located source solutions, additionally these near-field earthquake surface displacements proportional to the scalar seismic moment M_0 and sensitive to the rupture extension of shallow earthquakes. Indeed, now such geodetic source models are reported for significant earthquakes regularly and within short response times. However, the real capacity, we think, is offered in deep-rooted combined use of geodetic surface displacements and teleseismic waveforms for routine earthquake source analyses not realized so far.

In the framework of the just started DFG Emmy-Noether Project “Bridging Geodesy and Seismology” (geophysik.uni-kiel.de/~hsudhaus/bridges.html) we are working on improved data combination, harmonized modelling techniques and standards, and towards an apt software implementation for routine use. Here we involve and further develop the open-source seismological software package Pyrocko (emolch.github.io/pyrocko).

In this presentation we introduce our approach and show case study results that outline significant synergy effects of the combined data use. First of all, we are able to constrain finite rupture properties instead of sole static solutions for geodetic source models or point source approximations for teleseismic source models. By using Bayesian approaches, we can also quantify improvements on source parameter constraints. For example, InSAR data and teleseismic waveforms are complementing each other in constraining shallow fault slip and deeper rupture parts, respectively, such that estimates of the scalar seismic moment M_0 improve along with that of fault slip and rupture dimension.

Furthermore, trade-offs between the last two are reduced. Potentially, for rupture dynamics we also improve direct estimates of the hazard-relevant position of rupture nucleation and rupture velocity.

Seismic Moment Tensors of Acoustic Emissions Recorded During Laboratory Rock Deformation Experiments: Sensitivity to Attenuation and Velocity Anisotropy

Stierle E.¹, Vavryčuk V.², Kwiatek G.¹, Charalampidou E.-M.³, Bohnhoff M.^{1,4}

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 4.2 Geomechanik und Rheologie, Potsdam, Deutschland, ²Czech Academy of Sciences, Institute of Geophysics, Prague, Tschechische Republik, ³Heriot-Watt University, Institute of Petroleum Engineering, Edinburgh, Vereinigtes Königreich, ⁴Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften, Berlin, Deutschland

The seismic moment tensors can provide information on the size and orientation of fractures producing acoustic emissions (AEs) and on the stress conditions in the sample. The moment tensor inversion of AEs is, however, a demanding procedure requiring carefully calibrated sensors and accurate knowledge of the velocity model. In the standard moment tensor inversion of field observations, the velocity model is usually isotropic and time independent. In laboratory experiments, the velocity model is often anisotropic and time dependent and attenuation might be significant due to opening or closure of micro-cracks in the sample during loading.

We study the sensitivity of the moment tensor inversion to anisotropy of P-wave velocities and attenuation of the rock sample. We show that retrieved moment tensors critically depend on anisotropy and attenuation and their negligence may lead to misinterpretations of the source mechanisms. The accuracy of the inversion also depends on the fracturing mode of AEs: tensile events are more sensitive to P-wave anisotropy and attenuation than shear events. We show that geometry of faulting in anisotropic rocks should be studied using the source tensors, since the P and T axes of the moment tensors are affected by velocity anisotropy and deviate from the true orientation of faulting. The stronger the anisotropy is, the larger the deviations are. Finally, we prove that the moment tensor inversion applied to a large dataset of AEs can be utilized to provide information on the attenuation parameters of the rock sample. The method is capable of measuring anisotropic attenuation in the sample and allows for detection of dilatant cracking according to the stress regime.

Inversion for seismic moment tensors from translational and rotational ground motions

Donner S., Bernauer M., Igel H.

Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften - Geophysik, München, Deutschland

By a synthetic study we investigate the potential of rotational ground motions for the resolution of the seismic moment tensor and its centroid depths during full waveform inversion on a regional scale. The study is based on a series of Bayesian inversions. In two scenarios we compare the inversion results based on translational ground motion only and additional rotational ground motion while keeping the total amount of data constant. The first scenario is based on a theoretical station distribution while in the second scenario synthetic waveforms are calculated for the real distribution of the Iranian National Seismic Network (INSN).

We can show that the resolution of the moment tensor can be increased significantly by incorporating rotational ground motion data. Especially, the usually problematic components M_{xz} and M_{yz} as well as all components containing spatial derivatives with depth benefit most. Their information gain increased by more than 100%. Also, the resolution of the centroid depths is much better.

With only half the number of 6C stations compared to 3C stations we can not only obtain the same but even better results. This is of great importance considering e.g. the maintenance efforts for a seismic network.

Drifting tabular iceberg signals observed at seismic stations in Dronning Maud Land, Antarctica

Schweitzer J.¹, Pirli M.², Matsuoka K.³, Moholdt G.³

¹NORSAR, Kjeller, Norwegen, ²Tårnbyveien, Skjetten, Norwegen, ³Norwegian Polar Institute (NPI), Tromsø, Norwegen

We analysed a large dataset of seismic signals, recorded by station TROLL in Dronning Maud Land, Antarctica. The signals, recorded in April – December 2012, came from sources near the edge of the ice shelves, at distances of 230 – 500 km from TROLL. The sources, which moved westwards with time, could be associated with four large, tabular icebergs, drifting between 15°E and 8°W. Combining the seismological data with information from satellite remote sensing, we found that one third of the signals can be attributed to individual icebergs. The trajectories of three of the associated icebergs are known through iceberg tracking databases, whereas the fourth one, a fragment of one of the other three, is untracked, and only scarce information is available from satellite imagery. The observed seismic signals exhibit a wide variety of frequency characteristics, from unstructured episodes to occurrences of iceberg harmonic tremor. Although we are not able to determine the exact cause of the signals, we classify them into five classes on a phenomenological basis. This study demonstrates the potential of regional seismic networks for iceberg monitoring as supplementary resources to information obtained with remote sensing technologies.

Q Estimation from earthquake clusters recorded at high frequencies: Application to the NW Bohemia swarm region

Kriegerowski M.¹, Cesca S.², Krüger F.¹, Dahm T.², Horálek J.³

¹Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland, ³Czech Academy of Sciences, Institute of Geophysics, Prague, Tschechische Republik

We propose an attenuation tomography approach based on relative amplitude spectral ratios which gives new insight into rock properties at the source region of earthquake swarms. Western Bohemia provides us with a favorable testing environment as the present earthquake swarm activity is located in a confined focal region which is significantly smaller than the average source receiver distance – a fundamental assumption of the presented method. This study will contribute to the ICDP proposal “Eger rift” which includes plans to install borehole monitoring in the investigated region.

The general assumption that all double difference approaches share is that due to the similar ray paths effects along the greater part of the rays cancel out. This, however indicates a need for recordings of high quality and high sampling rate, not only to ensure precise event locations but also because the relative amplitude spectral ratio method exploits high frequencies beyond the corner frequency which are less affected by source effects.

Conducted synthetic tests show the feasibility of the presented method and demonstrate influences from perturbations in source locations and travel time estimates. These sources of errors can be attributed to the complex velocity structure of the investigated region. The presented method indicates a strong sensitivity for the signal-to-noise ratio and therefore to the quality of recordings. In this context the benefit from bore hole seismometers which allow noise-reduced recordings leading to an increased stability of Q estimates is highlighted.

A synthetic earthquake catalog incorporating source characteristics deduced from preceding moment tensor inversions ensures realistic synthetic test settings.

6-E Geophysical Methods

6-E Geophysical Methods

6-E.001

Aktuelle Messungen des vierten Nukleartests in Nordkorea

Hartmann G., Ceranna L., Gester mann N., Roß O., Bönnemann C.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

Am 06.01.2016 um 02:30:00 MEZ wurde in der nordkoreanischen Provinz Nord-Hamgyong ein vierter unterirdischer Kernwaffentest durchgeführt. Die von offiziellen nordkoreanischen Stellen bestätigte Explosion wurde von seismischen Stationen des internationalen Überwachungssystems (IMS) für das Kernwaffenteststoppabkommen (CTBT) zuverlässig detektiert. Unter Verwendung zusätzlicher seismischer Stationen im regionalen Entfernungsbereich, die nicht Teil des IMS sind, konnte das Epizentrum ($41.38^{\circ}\text{N} / 129.05^{\circ}\text{E}$) mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Es liegt im Bereich des Testgeländes, wo auch die bisher verifizierten Tests Nordkoreas von 2006, 2009 und 2013 durchgeführt wurden. Die Analyse der seismischen Signale ergab klare Indizien für den explosionsartigen Charakter des Ereignisses. Dazu wurden die Amplituden und die spektralen Eigenschaften der Seismogramme untersucht. Auch die große Ähnlichkeit der Signale des aktuellen Ereignisses mit den drei vorangegangenen Nukleartests sind starke Indizien für eine Sprengung als Ursache. So zeigen die Registrierungen der 8200 km entfernten IMS-Station GERES die gleiche Signalform und unterscheiden sich für die vier Ereignisse lediglich in ihren Amplituden. Die Stärke des diesjährigen Ereignisses wurde mit einer Magnitude m_b 5,1 bestimmt und war damit gleichgroß wie beim Nukleartest 2013; 2006 und 2009 lagen die Magnituden bei 4,2 bzw. 4,8. Daraus lässt sich eine Ladungsstärke von ~ 14 kt TNT-Äquivalent ableiten (2006: 0,7 kt, 2009: 5,4 kt). Jedoch sind diese Werte aufgrund fehlender Informationen über die Testbedingungen und die konkreten geologischen Verhältnisse mit einer großen Ungenauigkeit belegt. Solche Kenntnisse sind aber für eine zuverlässige Magnituden-Ladungsbeziehung im nordkoreanischen Testgebiet erforderlich.

Auch wenn solche Signalstärken aus technischer Sicht nur schwer durch eine konventionelle chemische Sprengung erreicht werden können, ist die endgültige Bestätigung einer nuklearen Explosion nur anhand nachgewiesener radioaktiver Spaltprodukte möglich. Bei unterirdischen Kernsprengungen können am ehesten Xenon-Isotope in die Atmosphäre entweichen. Dies kann auch mit größerer Verzögerung erfolgen. Zum Nachweis dienen die hochsensitiven Radionuklidstationen des IMS. Mittels atmosphärischer Transportmodellierung und Zerfallsberechnungen können Ort, Zeit und Isotopenverhältnisse der Freisetzung auf Konsistenz zu einer Nuklearexplosion geprüft werden, wodurch 2006 und 2013 die Bestätigung der Nukleartests gelang.

Nachbebensuche bei der Feldübung IFE14 der CTBTO in Jordanien

Gestermann N.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

Der Kernwaffenteststopp-Vertrag (CTBT – Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty), der 1996 von der UN-Vollversammlung angenommen wurde, soll Kernwaffentests aller Art verbieten. Er ist noch nicht in Kraft getreten, da ihn bislang nicht alle Länder unterzeichnet oder ratifiziert haben. Die Überwachungsorganisation CTBTO (CTBT-Organisation) in Wien ist noch provisorisch, baut aber seit 1997 ein weltweites Kontrollnetz auf, welches die Einhaltung des Vertrages künftig überwachen soll, und ist bereits jetzt in der Lage, eine mögliche Vertragsverletzung aufzuspüren.

Falls das Überwachungssystem der CTBTO einen Test nicht zweifelsfrei nachweisen kann, sieht der Vertrag als letztes Verifikationsmittel eine Vor-Ort-Inspektion (OSI - On-site Inspection) in einem Gebiet bis zu einer Größe von 1000 km² vor. Im November 2014 wurde von der CTBTO die umfassende Feldübung IFE14 (Integrated Field Exercise 2014) in Jordanien im Küstenstreifen des Toten Meeres durchgeführt. Es war eine simulierte OSI unter möglichst realistischen Bedingungen mit einem Szenario einer vollzogenen Vertragsverletzung.

Für eine OSI sind gemäß Vertrag nur bestimmte Technologien zugelassen. Eines der erlaubten Verfahren ist das Monitoring der Seismizität im Inspektionsgebiet. Wie bei tektonischen Erdbeben werden nach einer Sprengung Nachbeben erzeugt, die einen Hinweis auf den Ort des möglichen Nukleartests liefern.

Die Erfassung der Seismizität im Inspektionsgebiet von IFE14 erfolgte mittels Mini-Arrays (4 Elemente, Apertur ca. 100 m). Der Erfolg der Nachbebensuche basiert auf vielen Faktoren. Hierzu gehören u. A. ein an die potentiellen Testorte angepasstes Design des Stationsnetzes sowie die Auswahl geeigneter Standorte. Der Aufbau der Stationen in der gebirgigen Region des Toten Meeres war unter vielen Gesichtspunkten eine Herausforderung. Auf Grund der zeitlichen Limitierung und der begrenzten personellen Ressourcen konnten insgesamt nur 16 der geplanten 35 Stationen installiert werden.

Vorgestellt werden das Stationsnetz, Ergebnisse zur Abschätzung der Detektionsfähigkeit sowie eine erste Auswertung der seismischen Daten. Es wurde angestrebt, eine Detektionsfähigkeit von -2.0 (ML) für das gesamte Inspektionsgebiet zu erreichen, was jedoch nicht vollständig gelang. Die drei kleinen Sprengungen mit Ladungsstärken zwischen 3 und 10 kg TNT-Äquivalent, die zur Kontrolle der Detektionsfähigkeit des Stationsnetzes durchgeführt wurden, konnte das System zuverlässig detektieren und lokalisieren.

Seismische Überwachung von Endlagern für radioaktive Abfälle mittels Nanoseismic Monitoring

Blascheck P.¹, Walter M.², Nussbaum C.³, Schefer S.³, Joswig M.¹

¹Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland, ²Seismic Solutions, Esslingen, Deutschland,

³Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Wabern, Schweiz

Die Erforschung der Seismizität in der unmittelbaren Umgebung von Endlagern für radioaktive Abfälle ist eine der wichtigsten Aufgaben bei der Suche nach geeigneten Standorten. Nicht nur die direkte Gefährdung des Abfalls durch Erschütterungen, sondern auch die mögliche Erzeugung bzw. Erweiterung von Klüften und die damit verbundene Gefahr für die geologische Barriere machen eine rechtzeitige, umfassende hochauflösende Vorerkundung nötig. Dafür werden Methoden benötigt, um mit geringem Aufwand baldmöglichst erste Ergebnisse zu erzielen.

Das Institut für Geophysik der Universität Stuttgart betreibt ein lokales Messnetzwerk am Schweizer Forschungsfelslabor Mont Terri. Durch den Aufschluss einer Verwerfung mitten im Labor lassen sich Überwachungskonzepte verifizieren. Seit Anfang April 2014 liefern 2 unterirdische Kleinarrays (SNS) kontinuierlich Daten, welche seit Mitte Juli bzw. September 2015 von zwei weiteren oberflächlichen SNS ergänzt wurden. Über 1600 Ereignisse konnten aus Bulletins weltweit identifiziert und etwa 200 undokumentierte lokale Ereignisse zusätzlich lokalisiert werden. Die im nahen Umfeld des Labors gemessene, überwiegend flache, Seismizität kann zur Abschätzung der Integrität des Deckgebirges wesentlich beitragen. Die seismo-tektonische Kartierung von aktiven Verwerfungszonen erlaubt die Bewertung des Potentials zur Ausbildung bzw. Reaktivierung von Wasserwegsamkeiten. Zur Bestimmung von Schwellen für Detektion und Lokalisierung seismischer Ereignisse wurden verschiedene Methoden verglichen sowie die Vollständigkeitsmagnitude bestimmt. Das Hintergrundrauschen jedes Seismometers beeinflusst die Empfindlichkeit des Netzwerks. Entsprechend können daraus abgeleitete Abschätzungen über die Leistungsfähigkeit mit Hilfe der tatsächlich registrierten Ereignisse verifiziert werden.

Recent seismicity in the Rotenburg region - high-resolution monitoring and reprocessing results

Gurbisz Z.¹, Mokolke G.¹, Walter M.^{1,2}, Sick B.¹, Blascheck P.¹, Joswig M.¹

¹Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland, ²Seismic Solutions, Esslingen, Deutschland

In the context of the DGMK project 761, the Rotenburg region has been monitored by a local high-resolution network for the last two years. We combine one array (3C + 9x 1C) with two small arrays and five 3C single stations, additionally WEG and BGR data is available. Our installation covers an area of 11,5 km by 16 km. Within this area we achieve a detection threshold of ML 0.5 as derived from 35 events in a distance of up to 100 km. In spite of this sensitivity no small events were observed as expected from major earthquakes such as Rotenburg 2004 (ML 4.5) and Visselhövede 2012 (ML 2.9).

Reprocessing BGR data from the past by cross correlating seismograms from those 35 events has unveiled further events. Additionally fixed depth assumptions were removed and the depth determination improved. This indicated singular deeper earthquakes beside the majority of shallow, probably induced events at reservoir level of gas depletion. Recent results will be presented in the context of the seismo-tectonic setting of Rotenburg.

Automatische Bebenortung mittels Array- und Netzwerk-Kohärenz: Beispiel norddeutsche Erdgasfelder

Sick B., Joswig M.

Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland

Für Echtzeit-Monitoring oder um eine große Anzahl an Ereignissen zu prozessieren ist eine automatische Ereignislokalisierung notwendig. Konventionelle Lokalisierungsmethoden basieren auf dem picken von Ersteinsatzzeiten an Einzelstationen. Jedoch wird die Assoziation von Phasen bei niedrigen Signal-Rausch-Verhältnissen fehleranfällig, vor allem für S-Phasen deren Einsätze von der Coda vorheriger Phasen überlagert ist. Wenn ein Überwachungsnetzwerk klein ist oder aufgrund schwacher Ereignisse nur wenige Einsatzzeiten bestimmt werden können, kann bereits ein falsch bestimmter Phaseneinsatz zu großen Fehlern im Hypozentrum und der Magnitude führen. Ereignislokalisierung durch Source-Scanning, welches in den letzten beiden Jahrzehnten entwickelt wurde, kann hier robustere Resultate produzieren. Es basiert auf einem Laufzeit korrigierten Stack einer charakteristischen Funktion aus den Wellenformen auf einem zuvor definierten Lokalisierungsgitter. Diese Studie untersucht, inwiefern Source-Scanning durch eine Kombination mit Informationen seismischer Oberflächenarrays erweitert und verbessert werden kann. Die Arraymethoden basieren auf der Kohärenz der gefilterten Wellenformen, wohingegen Source-Scanning eine Kohärenz zwischen ansonsten inkohärenten Wellenformen von weit entfernten Stationen durch die charakteristische Funktion gewinnt. STA/LTA wird als charakteristische Funktion benutzt. Für Einzelstationen wird die Vertikalkomponente für P-Einsätze und die radial und transversal Komponenten für S-Einsätze benutzt. Für Arraystationen wird das gestackte Vertikalseismogramm, gewichtet mit einer STA/LTA Funktion der Fisher-ratio benutzt. Dies ist jeweils abhängig von Back-Azimuth und Slowness welche pro Gitterzelle berechnet werden können. Die Methode erlaubt es zusätzlich Topographieinformation im 3D Laufzeitmodell zu berücksichtigen und dadurch flache Hypozentren besser einzuschränken. In den gezeigten Beispielen reduziert die Erweiterung durch Array-Techniken Fehler im Hypozentrum um bis zu einen Faktor von 2.8 im Vergleich zu herkömmlichen Source-Scanning Techniken.

Asymptotic scaling of the back front of injection-induced seismicity

Johann L., Dinske C., Shapiro S.A.

Freie Universität Berlin, Fachrichtung Geophysik, Berlin, Deutschland

Fluid-injections into unconventional reservoirs, performed for fluid-mobility enhancement are frequently accompanied by microseismicity. Previous studies demonstrate that pore-fluid pressure diffusion is the controlling mechanism of event triggering. In some cases the hydraulic diffusivity of the rock strongly depends on the pressure and thus, the diffusion process becomes non-linear. To understand the main features of fluid-induced seismicity, the analysis of spatio-temporal event distributions is a useful tool. Using the triggering front of seismicity during the injection, hydraulic transport properties can be characterized. Yet, it is known that the seismic activity does not stop with the termination of the fluid-injection. As soon as the injection has stopped an aseismic domain evolves around the source, the upper boundary of which is called the back front of seismicity.

To study the spatio-temporal behavior of postinjection-induced seismicity and to further examine hydraulic transport properties of the reservoir, we introduce a novel scaling relation for the back front. It shows that the back front of seismicity is sensitive to the Euclidean dimension of seismic growth as well as to the non-linearity of pore-fluid pressure diffusion.

To validate the theory, we implement a comprehensive study in 3D. We solve numerically for the non-linear equation of diffusion and use the obtained pressure distributions for the generation of synthetic seismicity. We analyze the temporal dependence of the back front and compare it to theoretically predicted values. Furthermore, we apply the scaling law to real data.

Our study verifies the theoretically derived back front scaling law. Therefore, this relation can be used for the optimization of hydraulic fracturing operations and further reservoir characterization, particularly if one of the controlling parameters is unknown.

6-F Geophysical Methods

6-F Geophysical Methods

6-F.001

Effect of seafloor topography on time domain marine electromagnetic method responses

Cai J.¹, Tezkan B.¹, Li Y.²

¹Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie, Köln, Deutschland, ²Ocean University of China, Key Lab of Submarine Geosciences and Prospecting Techniques of Ministry of Education, Qingdao, China, Volksrepublik

Marine time domain controlled-source electromagnetic methods (CSEM) have been successfully used for hydrocarbon exploration and ground water detection . It also has gained an increasing attention due to its potential to solve the air wave problem in shallow water environments (water depth less than 300 m). As the application of time domain marine CSEM increases, surveys in areas with strong topography are inevitable. In these cases, bathymetry information could be included in the interpretation of the measured electromagnetic field. If the bathymetry effects are not taken into account, they may affect the interpretation results.

We use an adaptive finite element algorithm for 2.5D time domain marine controlled-source electromagnetic to calculate the time domain CSEM responses of conductivity models with strong seafloor topography. The algorithm is implemented on an unstructured triangular mesh that can readily accommodate complex conductivity structures including rough bathymetry and dipping interfaces. To validate the algorithm and code, the FE numerical results were compared with analytic solutions of a layered model, and FD solutions over a 2D model with bathymetry. According to the modeling results, the time domain marine CSEM can target the oil reservoir effectively in both shallow water and deep water. However, the seafloor topography distort the CSEM responses in time domain significantly.

To investigate the bathymetry effects on CSEM interpretation results, we apply the 1D Occam inversion algorithm to the synthetic time domain CSEM data of the 2D conductivity model with topography. When the 1D inversion is applied to the area far from the 2D topography, the inversion results are predictably good. But when the measurements are conducted in the areas with strong topography, they should be taken into account in the interpretation. The inversion results could be distorted by the bathymetry effects, and the influences depend on the scale of the topography and on the measuring configuration.

Three-dimensional inversion results for an all-at-once approach in magnetotellurics

Wilhelms W., Börner R.-U., Spitzer K.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

We have developed a three-dimensional inversion scheme for magnetotelluric data using an all-at-once approach. This is the first time this Newton-type approach is successfully implemented and run for magnetotelluric 3D problems. We present inversion results for a COMMEMI model that demonstrate its feasibility. All anomalies are identified and their spatial expansions are recovered.

The all-at-once approach requires no explicit forward calculation, because the forward modelling equations are incorporated in the objective function as constraints. This leads to a huge, so-called Karush-Kuhn-Tucker (KKT) system, which is solved in each step of the iteration procedure to update model parameters, Lagrangian multipliers, and data - all at once.

Each Newton step requires second derivatives of the objective function. In our case this is a 3x3 Block-Hessian, a huge matrix that is not set up explicitly. In contrast, its nine parts are stored individually. Together with the right-hand side vector containing first derivatives of the objective function the KKT system is obtained. It is a sparse and ill-conditioned system of linear equations. Its solution is challenging. Direct solvers, e.g., PARDISO, break down due to their memory requirements even for moderate problem sizes when the KKT system is set up for a certain number of frequencies. We use a preconditioned sQMR method (symmetric quasi minimal residual), a Krylov subspace technique, to successfully solve the KKT system.

Magnetotellurik in Odenwald: eine Machbarkeitsstudie mittels multivariater Auswerteverfahren

Hering P.¹, Junge A.¹, Winter H.¹, Lauritsen N.²

¹Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Geowissenschaften, Frankfurt am Main, Deutschland, ²DTU Space, Copenhagen, Dänemark

Im November 2015 wurde eine Machbarkeitsstudie für magnetotellurische Messungen am Rande des nördlichen Oberrheingrabens im Odenwald durchgeführt. In der Magnetotellurik werden natürliche elektrische und magnetische Felder mittels frequenzabhängiger Übertragungsfunktionen in einen Zusammenhang gesetzt und auf diese Weise Informationen über die elektrische Leitfähigkeitsverteilung des Untergrundes gewonnen. Auf Grund der gewünschten Erkundungstiefe von bis zu maximal 8 km lag der Fokus auf Auswertefrequenzen zwischen 6 kHz und 1 s (audiomagnetotellurischer Bereich). Da dieser Frequenzbereich erfahrungsgemäß stark von anthropogenen Störsignalen beeinflusst wird, wurden, in Kooperation mit dem GFZ-Potsdam und dem Gerätehersteller METRONIX, insgesamt vier Referenzstationen in großer Entfernung zum Messgebiet aufgebaut. Die an allen Stationen zeitlich synchron aufgezeichneten Zeitreihen konnten im Weiteren mittels eines multivariaten Auswerteverfahrens (nach *Egbert, 1997*) ausgewertet und analysiert werden. Datenanteile, welche inkohärent zwischen einzelnen Stationsorten sind, werden hierbei als lokale Störsignalquellen erkannt und aussortiert. Um gleichzeitig einen möglichst hohen Anteil an natürlichen Signalquellen in die Auswertung mit einzubeziehen, beinhaltet das Auswerteverfahren zusätzlich ein eigens eingeführtes Selektionskriterium, basierend auf einer Eigenwertzerlegung der Datenmatrizen.

Die Resultate für den Messstandort im Odenwald zeigten eine stark beeinträchtigte Datenqualität über den gesamten Frequenzbereich. Mittels des multivariaten Auswerteverfahrens konnten die magnetotellurischen Übertragungsfunktionen in einigen Bereichen signifikant verbessert werden, wobei die Notwendigkeit von Referenzstationen mit guter Datenqualität hierbei sehr deutlich wurde. In anderen Bereichen (MT-Dead-Band, AMT-Dead-Band) fiel die Anregung aus natürlichen Signalquellen allerdings zu gering aus, um befriedigende Ergebnisse für die Übertragungsfunktionen zu erzielen. Auf Grund der gewonnen Erkenntnisse wurde der auswertbare Frequenzbereich für den Messstandort für zukünftige Messungen auf Frequenzen zwischen 1 kHz und 10 Hz beschränkt.

Magnetotelluric exploration in San Felipe (Mexico) for geothermal purposes

Ruiz-Aguilar D., Tezkan B.

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

San Felipe's area, which is located in the oriental part of Baja California peninsula (Mexico), has geothermal surface manifestations such as hot springs and high temperature in drinking water wells. In order to define the geometry and volume of this feasible geothermal system, a geophysical survey has been carried out during March, 2014. 17 TEM (Time-Domain Electromagnetic) and MT (Magnetotelluric) soundings were recorded along 4 different lines, with NW-SE and NE-SW orientation. Both techniques were applied in the same spots, so that the static shift correction for MT data and a joint inversion could be done. Also, the spatial distribution of the soundings allows to realize a 3D modeling. TEM soundings were acquired using 50 x 50 m single-loop configuration with a terraTEM device (Geonics Ltd.). On the other hand, MT signals were recorded with Metronix systems in the frequency range from 1000 Hz to 1 Hz. Also, we are using D.C soundings that were acquired in the same survey area some decades ago. As first step, 1D Modeling of TEM data was done, using Marquardt and Occam techniques. Inversion results have yielded three- layers resistivity models in which a resistive layer is situated between to conductive layers, conductive-resistive-conductive. The last conductive layer could be associated to a clay gap structure which is related to the geothermal alteration of the area. Since some D.C soundings are near from TEM stations, we performed joint D.C-TEM inversion to them and results confirmed the 1D TEM interpretation. Afterwards a pseudo-3D inversion scheme was performed with SCI (Spatially Constrained Inversion) algorithm. SCI results are consistent to traditional 1D inversion results. Finally, MT Transfer Functions were obtained and analyzed. 1D and 2D MT inversion results are showing consistency to previous interpretation of TEM and D.C data.

Controlled Source RMT Measurements in Vuoksa Region, Russia

Muttaqien I., Tezkan B.

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

Controlled source radiomagnetotelluric (CSRMT) is a modification of the standard RMT method. It uses horizontal electric dipole with length varying from 200-700 m as a source emitting frequency from 1-1000 kHz. This method is mainly intended for application in the remote area where there is no enough radio transmitter available. By lowering the frequency to 1 kHz, the depth of investigation is triple than standard RMT.

Our first CSRMT measurement was made in Vuoksa Region, around 100 km north of St. Petersburg Russia. A 700 m dipole was used as a source emitting rectangular signal with main frequency of 0.5, 11.3, 30 and 105 kHz. We made 1.95 km profile, 97 in-line soundings were made along the profile with 20 m spacing starting with offset of 10 m and 3 soundings off the profile. Thus we have a complete data of near field, transition and far field zones. 2 components of electric field, and 3 components of magnetic field were measured in each sounding using RMT-5 receiving instrument. During CSRMT measurements, normal RMT method was also performed in every soundings.

We present 2D inversion of CSRMT in far field zones and 2D RMT inversion along the profile using non linear conjugate gradient (NLCG) of Mackie (2001). We have a good agreement between CSRMT far field zones model with the RMT model. In addition, transfer functions of near field, transition and far field zones could be interpreted by a common 2D conductivity model using SLDMEM3F, the algorithm of Druskin and Kninzhermann (1994). From the RMT model, we calculate the response for CSRMT sounding curves using SLDMEM3F at every stations and fit the observed data.

Cluster Analysis to identify lithology from geophysical borehole data

Methe P., Goepel A., Kukowski N.

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Jena, Deutschland

The identification of the lithological composition of subsurface rocks usually requires deep probing through coring. However, since coring is very expensive, geophysical borehole logs often are the only available data to derive information on subsurface rocks. Whereas geophysical logging provides considerable information about rock physical properties and therefore e.g. also considerably aids to identify aquifers and aquitards, so far, geophysical logging data have not much been analyzed in order to estimate their potential to identify rock lithology.

Therefore, In order to derive information on lithology, we tested several cluster analysis algorithms on geophysical borehole data (Ward hierarchical clustering, k-Means, Mean-Shift and DBSCAN). Our tests also included high-dimensional clustering with the DBSCAN algorithm applied simultaneously on several geophysical logs (gamma log, density log, caliper log, porosity log, p-wave velocity log).

In the framework of our cluster analysis tests, we used borehole data from the 1179 m deep drill hole EF-FB 1/12, which was drilled in the center of the Thuringian Basin during the INFLUINS project. To evaluate our results, we compared them with laboratory measurements (multi sensor core logging and measurements on individual drill core samples) of physical rock properties (density, p-wave velocity, magnetic susceptibility) of available core samples (533 m core in total).

Our comparison showed that some of the applied cluster analysis algorithms (especially DBSCAN) were able to identify lithology on the meter-scale, e.g. the Middle Dolomite (6 m thick) of the Middle Muschelkalk (Triassic) as well as embedded layers of anhydrite and mudstone (a few meters thick) in between the rock salt of the Salinarroet-formation in the Upper Buntsandstein could be identified. Further, we show that the density logs and the sonic logs are most suitable for cluster analysis, as density and p-wave velocity show significant contrast between different lithologies. The certainty of cluster analysis algorithms decreases in cases of gradual lithological changes or the occurrence of high-frequency alternating sequences, i.e. alternating layers that are thinner than sample intervals and maximum logging tool resolutions.

6-G Geophysical Methods

6-G Geophysical Methods

6-G.001

Kapazitive Geoelektrik auf dem gefrorenen See Prestvannet (Tromsø/ Norwegen)

Przyklenk A., Hördt A.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

Die kapazitive Geoelektrik ist ein Verfahren zur Bestimmung des spezifischen Widerstandes und/oder der elektrischen Permittivität. Eine galvanisch entkoppelte 4-Punkt Elektrodenkonfiguration wird, im Vergleich zu DC- oder IP-Messungen, bei relativ hohen Frequenzen betrieben ($f = 100\text{Hz}-100\text{kHz}$). Als Elektroden können isolierte Kabel, Platten oder Scheiben verwendet werden. Bestehende kommerzielle Messgeräte und Prototypen nutzen den Vorteil, dass Elektroden von Hand oder mit Automobilen über das zu vermessende Profil gezogen werden können. Zeitaufwändiges Abstecken der Profile mit Spießelektroden bleibt dadurch erspart und als Ergebnis liegen, wie in der DC-Geoelektrik, Kartierungen des spezifischen Widerstandes ρ vor.

Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist es, Spektren der elektrischen Permittivität ϵ_r zu bestimmen. Insbesondere in Böden mit hohem Wasser oder Eisanteil weisen die elektrischen Parameter eine charakteristische Frequenzabhängigkeit auf. Um $\epsilon_r(f)$ experimentell zu ermitteln, sind phasensensitive Messungen notwendig, weil die erforderliche Information im Imaginärteil der komplexen Impedanz steckt. Da phasensensitive Messungen eine Herausforderung darstellen und sich unser Messsystem noch in der Testphase befindet, haben wir im April 2015 Messungen auf dem zugefrorenen See Prestvannet, in Tromsø (Norwegen) durchgeführt. Der Messort wurde ausgewählt, da der gefrorene See als homogener Halbraum mit charakteristischer Dispersion von Eis angenommen werden kann und somit zum Testen unseres neuen Konzepts gut geeignet ist. Außerdem wird der See trotz leichter Erreichbarkeit nicht durch anthropogene Einflüsse gestört.

Es werden Ergebnisse einer Feldmessung mit dem geoelektrischen Messsystem „Chameleon“ (Radic Research/ Deutschland) vorgestellt. Die Chameleon ist eigens für die Untersuchung von Permafrost Böden entwickelt worden und besitzt für eine Geoelektrik-Apparatur eine große Bandbreite (bis 250kHz), so dass über mehrere Dekaden die typische Dispersion von Eis und Eisgemischen gemessen werden kann. Gemessene komplexe Impedanzspektren werden invertiert und durch geeignete Parametrisierung der frequenzabhängigen elektrischen Größen, durch Debye und Cole-Cole Modelle, werden Spektren von $\rho(f)$ und $\epsilon_r(f)$ bestimmt. Die Ergebnisse werden mit der aus der Literatur bekannten charakteristischen Frequenzabhängigkeit von Wassereis verglichen.

Estrichfeuchteuntersuchungen mit geophysikalischen Methoden - ein Laborversuch

Kruschwitz S.¹, Strangfeld C.¹, Wöstmann J.¹, Hase F.², Nagel S.¹

¹Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Deutschland, ²HTW Berlin, Berlin, Deutschland

Zur Bestimmung des Feuchtezustands und insbesondere der Belegereife von Estrichfußböden kommen in Deutschland zerstörende Prüfverfahren zum Einsatz, die eine punktuelle Probenahme erfordern. Hierbei ergeben sich immer wieder Fehlinterpretationen, da zum einen die Probenahme selbst zu einer Veränderung des Feuchtezustands führt und zum anderen, weil die Verfahren an sich mitunter ungenau sind (z.B. abhängig von der Estrichzusammensetzung). Zusammen mit vier Forschungsinstituten und dem Industriepartner Bosch wurden an der BAM zerstörungsfreie Prüfverfahren auf deren Tauglichkeit zur Estrichfeuchtemessung untersucht und mit den herkömmlichen zerstörenden Verfahren verglichen.

Für diesen Versuch kamen verschiedene geophysikalische Verfahren zum Einsatz, darunter Nuklear Magnetische Resonanz (NMR), elektrische Widerstandsmessungen und Impulsradar (GPR). Es wurden neun verschiedene Estrichsorten hergestellt und während der Trocknungsphase bei Konstant-Normklima gelagert. Diese wurden sowohl zerstörend als auch zerstörungsfrei mit den o. g. Verfahren untersucht. Gleichzeitig wurden die Masseänderungen der Proben zur Bestimmung des integralen Feuchtehalts aufgezeichnet.

Die Ergebnisse zeigen zum einen, dass das Abtrocknungsverhalten von zementgebundenen Estrichen grundsätzlich unterschiedlich von dem anhydritgebundener Estriche ist. Während sich bei ersteren zügig ein deutlicher Feuchtegradient über die Höhe der Proben einstellt, verläuft dieser bei der zweiten Probengruppe sehr flach. Dies lässt sich vor allem in den NMR Daten räumlich hochaufgelöst nachvollziehen - die Datenakquise erfolgte mit einer NMR MOUSE PM 25. Ein ähnliches Bild ergibt sich auch aus den elektrischen Widerstandsmessungen, die mittels sog. Multi-Ring-Elektroden (MRE) durchgeführt wurden. MRE bezeichnen als Vertikalprofil angeordnete Ringelektroden mit einem Abstand von ca. 1-2 mm, zwischen denen jeweils Zwei-Punkt Widerstandsmessungen durchgeführt werden. Bei sehr geringen Feuchtegehalten (z.T. auch um die Belegereife) waren mit dieser Methode jedoch wegen der zu hohen Übergangswiderstände nur bedingt Messungen möglich. Im Gegensatz zu NMR und MRE sind mit dem Radarverfahren (2 GHz Antenne) keine tiefenbezogenen Aussagen möglich. Jedoch lässt sich über eine Amplitudenauswertung von direkter und an der Rückwand reflektierter Welle teilweise eine Aussage über Restfeuchtigkeit im Volumen treffen. Ebenso zeigt die Laufzeitdifferenz der beiden Wellen eine starke Abhängigkeit vom Feuchtegehalt.

Temperatur- und Salinitätsabhängigkeit der Grenzflächenleitfähigkeit bei Labormessungen und in einer Theorie der Membranpolarisation

Bairlein K., Hördt A.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

Die komplexe elektrische Leitfähigkeit im niederfrequenten Bereich (1 mHz bis 1 kHz), die bei der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) gemessen wird, setzt sich für erzfremde Gesteine aus der Leitfähigkeit der Porenflüssigkeit und der Leitfähigkeit der Grenzfläche zwischen Gestein und Porenfluid (elektrische Doppelschicht, EDL) zusammen. Sowohl das Porenfluid an sich, als auch die EDL werden stark durch die Temperatur und die Ionenkonzentration beeinflusst. Während die Abhängigkeit der Fluidleitfähigkeit von der Temperatur und der Salinität bekannt ist, sind die Auswirkungen auf die Grenzflächenleitfähigkeit nicht eindeutig, da für die Grenzflächenleitfähigkeit mehrere Parameter, unter anderem die Ionenmobilität und das elektrische Potential in der EDL, entscheidend sind. Zur Untersuchung der Temperaturabhängigkeit der Grenzflächenleitfähigkeit wurden SIP-Messungen an einer Sandsteinprobe bei Temperaturen von 0 bis 40 °C und Ionenkonzentrationen zwischen 1 und 2000 mol/m³ durchgeführt. Durch die Messungen bei verschiedenen Salinitäten war die Bestimmung des Widerstandsformationsfaktors und damit die Trennung des Realteils der Leitfähigkeit in dessen elektrolytischen Anteil und die Grenzflächenleitfähigkeit möglich. Beide Anteile nehmen mit steigender Temperatur zu, ebenso wie der Imaginärteil der Leitfähigkeit. Die Temperaturabhängigkeit wird von der Salinität beeinflusst: Je größer die Ionenkonzentration ist, desto schwächer wird die Abhängigkeit des Imaginärteils von der Temperatur, während der Realteil der Grenzflächenleitfähigkeit eine Zunahme der Temperaturabhängigkeit mit steigender Ionenkonzentration zeigt.

Die Messergebnisse werden mit einem erweiterten Membranpolarisationsmodell verglichen, das die Polarisationseffekte mithilfe eines Zylindermodells beschreibt. Die Ergebnisse des Modells stimmen qualitativ mit dem Anstieg der einzelnen Anteile der Leitfähigkeit mit der Temperatur überein.

Simulation von 2D und 3D Porennetzwerken in der Spektralen Induzierten Polarisation

Stebner H., Hördt A.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

Die spektrale induzierte Polarisation (SIP) ist ein geoelektrisches Verfahren, bei dem die komplexe, frequenzabhängige Impedanz des Untergrunds bestimmt wird. Hieraus wird versucht auf die hydraulischen Parameter des Untergrunds zu schließen. Ein wichtiger Ansatz ist ein auf dem Porenraum der Sedimente basierender Prozess, die Membranpolarisation. In früheren Arbeiten wurde ein bestehendes Modell um wesentliche Aspekte ergänzt. Die ursprüngliche eindimensionale Parametrisierung durch Ionenmobilitäten wurde durch reale Porenradien ergänzt und um mehrwertige und asymmetrische Elektrolyte erweitert. Weiterhin wurde der Einfluss der steigenden Ionenkonzentration an den Porenwänden auf die Ionenmobilität einbezogen. Das so modifizierte Modell ist im Wesentlichen durch messbare Größen parametrisiert, wodurch es experimentell überprüfbar wurde.

Um einen besseren Vergleich zu realen Untergründen zu ermöglichen wurden in der vorliegenden Arbeit unterschiedliche Porenkombinationen aus jeweils einer kleiner und einer großer Pore zu quadratischen und kubischen Netzwerken zusammengeschlossen. Jede Porenkombination lässt sich dadurch wie ein Impedanzbaustein eines Widerstandsnetzwerkes behandeln, dessen Gesamtimpedanz berechnet werden kann.

Ziel der Arbeit ist es, sowohl eine Mindestgröße als auch die notwendige Komplexität solcher Netzwerke abzuschätzen und das Verhalten der Gesamt-Phasenverschiebung zu untersuchen. Erste Simulationen zeigten eine Dominanz von großen Phasenverschiebungen bei gleichverteilten Porengrößen. Um eine realistische Porenverteilung zu untersuchen wurden empirische Porenradienverteilungen verschiedener Sandsteine als Grundlage für weitere Berechnungen verwendet, wobei die Kombination von zwei Porengrößen für jeweils einen Impedanzbaustein die empirische Porenradienverteilung als Gesamtbild erfüllen muss. Dabei zeigte sich für Netzwerke von bis zu einigen Tausend Knotenpunkten eine Dominanz von überdurchschnittlich großen Phasenverschiebungen bei 3D Netzwerken, und von unterdurchschnittlich großen Phasenverschiebungen bei 2D Netzwerken.

2D inversion of DCR and Time Domain IP data using a Finite Element approach on an unstructured mesh: an example from ore exploration

Adrian J., Tezkan B.

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

Ore deposits often appear as disseminated sulfidic materials. Exploring these deposits with the Direct Current Resistivity (DCR) method alone is often challenging because the resistivity signatures caused by disseminated material is hard to detect. On the other hand, the Time-domain Induced Polarization (TDIP) method is qualified to detect areas with disseminated sulfidic ores due to large electrode polarization effects which result in large chargeability anomalies. By employing both methods we gain information about both, the resistivity and the chargeability distribution of the subsurface.

Here, we present the newly developed 2D smoothness constraint inversion algorithm for DCR and TDIP data. The implemented forward algorithm uses a Finite Element approach with an unstructured mesh. The model parameters resistivity and chargeability are connected by a conductivity perturbation approach. It is shown, that the resolution of chargeability anomalies is not strongly effected by the corresponding resistivity anomaly.

As a case study, the 2D inversion results of DCR/TDIP and RMT data obtained during a survey on a sulfidic copper ore deposit in Turkey are presented.

Dynamics at fissure eruptions analyzed by video monitoring

Witt T., Walter T.R.

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

A common form of eruption at basaltic volcanoes are lava fountains. Lava fountains mainly occur at erupting fissures, underlain by a magma filled dike that transports the magma horizontally and vertically. Knowledge of the transport path of magmas is mainly based on geophysical data (seismicity, deformation), and does not allow detailed interpretation about velocities, interactions between vents and complexities in the magma paths.

We collected video data from erupting fissures and find that fountaining is often correlated at distinct vents. Based on videos we calculated the height and velocities of fountains as a function of time. The fountains themselves show a pulsating regime, with apparent and sporadic alternations from submeter to several meters heights. We further find that this pattern of activity of the fountains may change over time. Comparing the height- time series of different vents, we find a time lag between the pulses at adjacent vents. Knowing the time lag and the distances between the vents, we can calculate a velocity of temporal separation associated with the fountaining activity. Although the correlation system can change episodically and sporadically, both the frequency of the fountains and eruption and the rest time between single fountains remain remarkably similar for adjacent lava fountains imply a controlling process in the magma feeder system itself.

We present and compare our method for the Kamoamoao eruption 2011 (Hawaii) and the Holuhraun eruption 2014/2015 (Iceland). In both examples we observe a significant time shift between the single pulses of adjacent vents. We find a good correlation between the velocity determined by this time shift, and the assumed magma flow velocity in the dike as determined by independent models. Therefore we propose that the time shift of venting activity may allow to calculate a velocity in the lateral dike beneath. The velocity is somewhat variable in time and is sensitive to changes in the correlation system of the fountains.

As both examples show, video monitoring is a useful tool to analyze the behavior of fountains at fissure eruption and may allow suggestions on the dynamic system within the dike.

6-H Geophysical Methods - Magnetik und Gravimetrie

6-H Geophysical Methods - Magnetik und Gravimetrie

6-H.001

Inversion of airborne gravity data to infer bathymetry in the Mediterranean around Italy

Schaller T.¹, Scheinert M.¹, Barthelmes F.²

¹Technische Universität Dresden, Institut für Planetare Geodäsie, Dresden, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 1.2 Globales Geomonitoring und Schwerefeld, Potsdam, Deutschland

The tectonic situation of Italy and the surrounding Mediterranean is highly complex. The whole area is characterized by an intricate pattern of major continental blocks and dominated by the convergence of the African and Eurasian continental plates. Thus, it is highly vulnerable to geohazards such as earthquakes and tsunamis. Despite a wealth of geophysical, geological and geodetic data exists, most deformation processes in that area are not yet fully understood. Therefore, the coupling of geopotential fields and tectonic patterns is still subject to ongoing research. In the work presented here we use gravity data obtained from the GEOHALO mission carried out in June 2012 using the German research aircraft HALO. This mission was flown in the area of Italy and adjacent Aegean and Tyrrhenian seas. HALO is a research jet aircraft that is able to cover large and remote areas in a reasonable time span. During this mission a number of geodetic and geophysical experiments (gravimetry, magnetics, laser altimetry and precise 3D positioning by GNSS) were carried out on eight NW-SE profiles and four NE-SW cross-tracks. The measured gravity data were processed to obtain absolute gravity values. These data were then used to infer bathymetry in the study area. For this, we applied a Parker- Oldenburg inversion scheme, a well established method to obtain bathymetry information in areas where shipboard measurements are not available. To validate our resulting bathymetry we could make use of available bathymetry datasets inferred from in situ measurements. Thus, this comparison helps to improve the method and to establish a feasible inversion procedure. In our analysis we separated the complete dataset into different subsets corresponding to different tectonic units and tested different combinations of the critical parameters (density contrast, average depth and filter wavelength). In the Adriatic Sea the correlation between gravity and bathymetry is weak which hinders the inversion. In the Tyrrhenian Sea the results show that the procedure is able to derive bathymetric depths with sufficient accuracy, if feasible parameters can be found.

Zur Kombination von Übertage und Untertage-Gravimetrie mit Hilfe hybrider 3D Modellierungen

Götze H.-J., Schmidt S., Menzel P.

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

Für die hier dargestellten Studien im Norddeutschen Becken und im Bereich der Kontinentalen Tiefbohrung (KTB) wurden vollständig korrigierte Bouguer-Anomalien, ca. 4 400 digitalisierte Drehwaagemessungen aus dem beginnenden 20. Jahrhundert, Bohrloch-Schweredaten und Magnetfelder verwendet. Mit Hilfe der „alten“ Drehwaagemessungen konnten Schwerehorizontalgradienten W_{xz} und W_{yz} sowie die Krümmungsgrößen der Schwere ($W\Delta = W_{yy} - W_{xx}$ und $2W_{xy}$) in die 3D-Modellierung integriert werden. Diese Größen werden heute auch aus Aero- oder Satellitenmessungen (zum Beispiel GOCE) bestimmt. Neben den an der Oberfläche gemessenen Anomalien standen auch Untertagemessungen des Schwerfeldes in einem Salzbergwerk zur Verfügung.

Somit standen für 3-dimensionale Dichtemodellierung in der Oberkruste auch tatsächlich dreidimensional verteilte Schwerewerte zur Verfügung, was die 3D Modellierung methodisch erheblich einengt. Die Bearbeitung legt den Schluss nahe, dass eine Kombination von ober- und untertägigen Messungen des Schwerfeldes einen erheblichen Mehrwert bei der Bestimmung unterirdischer Strukturen darstellt. Das gleiche kann auch von der Kombination von Bohrlochschwere und Oberflächendaten gesagt werden. Modelliert wurde mit der hauseigenen Modellersoftware IGMAS+, die nicht nur die simultane 3D Modellierung von Potentialfeldern (GravMag) ermöglicht, sondern auch deren Gradienten. Ein Vergleich von häufig verwendeten 2D-Modellierungen natürlicher 3D-Strukturen im Untergrund mit 3D-Berechnungen zeigt deutlich, wie groß die Gefahr von Fehlinterpretation eines solchen methodischen Vorgehens ist. Es wird gezeigt, wie Bohrloch-Gravimetrie, ein „3D velocity cube“ und Oberflächendaten der Schwere und Magnetik gleichzeitig bearbeitet werden können. Die Modelldichten können variabel – in Abhängigkeit von den „wahren Geschwindigkeitsverhältnissen“ im Modelliergebiet angegeben werden. Als Beispiel zeigen wir das 3D Dichte-/Suszeptibilitätsmodell der Tiefbohrung KTB.

Die vorliegenden Modellierungen von Detailstrukturen belegen eindeutig, dass eine hybride 3D Modellierung von Potentialfeldern zusammen mit ihren Gradienten wertvolle Informationen über den Untergrund bis in Tiefen von 5 – 10 km liefert, die gemeinsam mit seismischen Informationen einen erheblichen Mehrwert für die Interpretation darstellen.

Die Anwendung von *Level-Of-Detail* und *Mesh-Simplification* Strategien zur Vereinfachung komplexer Untergrundmodelle

Menzel P.¹, Alvers M.², Barrio-Alvers L.², Götze H.-J.¹, Schmidt S.¹, Plonka C.²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, Deutschland, ²Transinsight GmbH, Dresden, Deutschland

Die Interpretation von moderner 2D und 3D Seismik ermöglicht die Abbildung von Untergrundstrukturen mit sehr hoher Auflösung und Genauigkeit. Der große Datenumfang der auf der Grundlage von Messungen kompilierten Strukturmodelle erschwert deren weitere Verwendung in anderen Modellierverfahren in den Geowissenschaften. Deshalb muss für diese Verfahren evaluiert werden, ob die gegebene geometrische Modellauflösung angemessen ist oder ob sie reduziert werden kann.

Komplexe Untergrundmodelle bestehen häufig aus mehreren komplexen triangulierten Flächen. Um Anzahl der Dreiecke möglichst informationserhaltend zu reduzieren, werden in diesem Beitrag verschiedene hierarchische Ansätze verwendet und die Ergebnisse bezüglich ihrer Anwendbarkeit für eine Potenzialfeldvorwärtsmodellierung validiert. Die verwendeten Verfahren vereinfachen Dreiecksgitter, indem sukzessive Geometrielemente aus einer gegebenen Vermaschung entfernt werden. Die Reihenfolge, in der die Elemente entfernt werden, wird dabei durch verschiedene Gewichtungstrategien bestimmt. Alle verwendeten Verfahren erstellen hierarchische Strukturen, welche es ermöglichen, eine Modellgeometrie kontinuierlich in verschiedenen Auflösungsstufen („*Level-Of-Detail*“) bereit zu stellen und diese ineinander zu überführen.

Die Anwendung der „*Mesh-Simplification*“ Ansätze wird sowohl an synthetischen als auch an realen Geometriemodellen demonstriert. Für jedes Modell wurden verschiedenen Varianten der Modellgeometrie in mehreren Auflösungsstufen erzeugt. Sowohl für die niedriger aufgelösten Geometrien als auch für die initialen Modelle werden anschließend der Schwereeffekt und die Schweregradienten mit unserer hauseigenen Modelliersoftware IGMAS+ berechnet und miteinander verglichen.

Es wird gezeigt, dass die initiale Auflösung der gegebenen Modellgeometrie für die Berechnung des Schwere- und Schweregradienteneffektes bezüglich der Genauigkeit der vorhandenen Messdaten häufig nicht notwendig ist. Auch für vergleichsweise niedrig aufgelöste Modellversionen lässt sich ein FTG („*full tensor gravity*“)-Effekt berechnen, welcher sich kaum vom Effekt des initialen Modells unterscheidet, aber aufgrund der geringeren Dreiecksanzahl sehr viel effizienter berechnet werden kann. Dies gilt insbesondere für die Ergebnisse der „*Mesh-Simplification*“ Strategien, welche zusätzlich die Positionen der vorhandenen Schweremessungen für die Evaluation der Reihenfolge der Dreiecksgittervereinfachung mit heranziehen.

Euler Deconvolution using Full Tensor Magnetic Gradiometry Data

Schiffler M.¹, Schneider M.^{1,2}, Queitsch M.³, Stolz R.¹, Meyer H.-G.⁴, Kukowski N.³

¹Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Forschergruppe Magnetometrie, Jena, Deutschland, ²Technische Universität Ilmenau, Institut für Biomedizinische Technik und Informatik, Ilmenau, Deutschland, ³Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Jena, Deutschland, ⁴Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Abt. Quantendetektion, Jena, Deutschland

Euler deconvolution is one of the most often used numerical methods for potential fields in order to obtain an estimate of depth and shape of causative sources both in gravity and geomagnetics. The most critical point about these algorithms is that the three spatial gradients of the corresponding quantity have to be calculated and sampled with sufficient quality and resolution. Usually, the spatial derivative is performed via Fast Fourier Transform based filter in wavenumber domain which is likely to introduce oscillations, artefacts and produce wrong gradient estimates.

In order to overcome this obstacle in the frame of geomagnetic prospection, Full Tensor Magnetic Gradiometers (FTMG) and novel processing algorithms are employed for simultaneous measurement of the magnetic field vector and magnetic gradient tensor with sufficient magnetic and equal spatial resolution. Therefore, we present in this work a novel study investigating in three different approaches to exploit the properties of these measurement capabilities. Firstly, the classic deconvolution approach using the total field anomaly and the analytic signal is enhanced using real gradient measurements. Secondly, the magnetic field vector is calculated by either Hilbert-like transform from calibrated magnetometer signals or by Hilbert transform from the corresponding vertical gradients. This quantity is integrated into an Euler deconvolution scheme together with the full magnetic gradient tensor measured by the gradiometers. Thirdly, the normalized source strength is calculated via diagonalization of the magnetic gradient tensor and its derivatives are derived from the actual magnetic gradient tensor components.

The evaluation of all three algorithms on a FTMG dataset acquired in a small survey area at the Eastern Limb of the Bushveld Igneous Complex, South Africa, provides the result that the second and third algorithm is most applicable. The mapped structures include dolerite dykes and the rocks of the Critical Zone of the Rustenburg Layered Suite, world's richest platinum group metal deposit. For the studied survey area, two structural indices, representing a horizontal cylinder and a thin sheet edge are used. The main result is that the lowest depth estimation errors are observed for the solution of thin sheet edge with a top depth directly at the surface which is in well accordance to the real location and geometry of the dykes.

Inversion des kompletten magnetischen Gradiententensors zur Ermittlung des totalen Magnetisierungsvektors

Queitsch M.¹, Schiffler M.², Stolz R.², Rolf C.³, Goepel A.¹, Meyer M.⁴, Meyer H.-G.², Kukowski N.¹

¹Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Jena, Deutschland, ²Leibniz-Institut für Photonische Technologien, Jena, Deutschland, ³Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ⁴Supracon AG, Jena, Deutschland

Die Messung des kompletten magnetischen Gradiententensors (Full Tensor Magnetic Gradiometry, FTMG) bietet eine höhere örtliche Auflösung und zusätzliche gerichtete Informationen im direkten Vergleich mit konventionell gemessenen Totalfelddaten. Zur Messung des kompletten Erdmagnetfeldgradienten kommen supraleitende Quanteninterferenzdetektoren (SQUIDs) als planare Gradiometer erster Ordnung zum Einsatz, welche sich durch ein sehr niedriges Eigenrauschen auszeichnen. Die Richtungsinformationen der FTMG-Daten zeigen sich bereits in den gemessenen 2D Tensorarten, welche einen ersten Hinweis auf die Lage und Magnetisierungsrichtung der Quellstruktur geben. Zudem sollten diese Messdaten besser geeignet sein, den totalen Magnetisierungsvektor durch eine geeignete Inversion zu rekonstruieren. Letzteres ist Ziel dieser Studie, die auf einem FTMG-Datensatz im Thüringer Wald im Bereich einer Dolerit Intrusion basiert. Dieser Intrusivkörper durchschneidet nahezu den kompletten Thüringer Wald in N-S-Richtung und zeigt Hinweise auf eine signifikante remanente Magnetisierung. Mit Hilfe von Hilbert-artigen Transformationen (Schiffler et al., 2015) wurde aus dem gemessenen Vertikalgradienten das Totalfeld bestimmt. Zur Inversion beider Datensätze kam ein Voxel-basierter Inversionscode (Zhdanov, 2002) zum Einsatz der mit zwei unterschiedlichen Stabilisierungsfunktionalen zur Regularisierung arbeitet.

Beide Modelle zeigen die erwartete Struktur des Intrusivkörpers, welcher mit etwa 40° nach Osten einfällt und eine Mächtigkeit von ca. 350 m besitzt. Das Modell basierend auf den FTMG-Daten bildet im Vergleich zu den invertierten TMI-Daten die Struktur deutlich schärfer ab. Zur Evaluierung der ermittelten Magnetisierungsvektoren wurden an zwei Standorten orientierte Proben entnommen, um die Suszeptibilität und remanente Magnetisierung der Proben zu bestimmen. Der direkte Vergleich der Magnetisierungsvektoren mit diesen Proben zeigt eine gute Übereinstimmung der Hauptrichtungen in beiden Modellen. Durch die Suszeptibilität und die Annahme, dass die darauf beruhende induzierte Magnetisierung immer parallel zum Erdmagnetfeld ausgerichtet ist, konnten beide Magnetisierungsanteile voneinander getrennt werden. Die remanente Magnetisierung im FTMG Modell ist dabei deutlich konsistenter mit den Ergebnissen der Paläomagnetik.

Noise Reduction of Fluxgate Data by joint Interpretation with Induction Coil Data

Brunke H.-P., Morschhauser A.

Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ , Sektion 2.3 Erdmagnetfeld, Potsdam, Deutschland

Traditional fluxgate magnetometers used at geomagnetic observatories are optimized towards long-term stability. But the presently used instruments typically show a rather high noise level especially towards the higher frequencies, which in this case is 1 Hz. However, recently the demand for low noise 1 Hz observatory data has increased.

Induction coils have low noise at high frequencies. We present a method to numerically combine the data from a three axis induction coil system with a typical, long-term stable three axis fluxgate magnetometer. The resulting data set has an improved signal to noise ration at 1 Hz but maintains the proven long term stability of the fluxgate magnetometer..

The idea is to calculate the time integral of induction coil data and fit that like a spline curve to the fluxgate measurements. In order to perform this fitting process the following parameters have to be varied:

- Scaling factor for the reading of the induced voltage in the coils
- Offset in the reading of induced voltage
- An integration-constant

These three parameters are determined by a least squares approach. The resulting field values show a clear improvement in the signal to noise ratio. In contrast to usual filtering, e.g., by a Gaussian filter as described in Jankowski and Sucksdorff (1996), our method causes no loss of information. A comparison with a very low noise, optically pumped potassium magnetometer shows a noise reduction from about 80pT for the fluxgate data to about 25pT for the processed data at one standard deviation.

If less noise should be required for observatory instruments, this method allows to keep the current reliable instruments and not to influence long homogenous data series.

6-I Geophysical Methods

6-I Geophysical Methods

6-I.001

Improved depth estimates for induced seismicity using multiple seismic arrays

Kriegerowski M.¹, Cesca S.², Dahm T.²

¹Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, Deutschland

We present a compact software tool, which facilitates a visual analysis of P and surface reflected P phases with the aim to get an improved estimate of shallow hypocenters which are often questioned for induced seismicity cases. Stacking of array data at teleseismic distances with respect to the backazimuth and the slowness of an event allows to produce good signal to noise ratios also for magnitudes which would barely be visible at a single station. Automatic data retrieval of such data via FDSN webservice reduces the preparatory work. Synthetic full waveforms are computed considering separated velocity models at the source and receiver sites. For optimization of computational cost, a narrow slowness taper covering the time span of the targeted phases is used. In order to generate full waveforms, a source mechanism is needed. This, in turn, also allows to draw conclusions about the quality of a preceding moment tensor inversion from the provided method. Finally, having synthetic traces at hand, the stacked beam is arranged with the synthetic traces to visually infer the depth of nucleation.

Presented case study examples of induced seismicity include an event which ruptured in the Castor Gas storage field (Spain), a magnitude 4.6 event in Colombia from 2014 as well as the recent nuclear bomb test in North Korea.

Lokale Verstärkungseffekte induzierter seismischer Ereignisse im Bereich der norddeutschen Gaslagerstätten. Fallstudie zur Mikrozonierung mittels H/V – und Array-Ambient-Noise-Messungen

Fehr M.¹, Kremers S.², Fritschen R.², Friederich W.¹

¹Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Bochum, Deutschland, ²DMT GmbH & Co. KG, Geschäftsfeld Geo Engineering & Exploration, Essen, Deutschland

In den vergangenen Jahren wurden im Bereich der norddeutschen Gaslagerstätten zahlreiche seismische Ereignisse mit Magnituden von $M_L > 2.5$ aufgezeichnet. Diese sehr wahrscheinlich induzierten seismischen Ereignisse waren vereinzelt deutlich an der Oberfläche spürbar. Zur Beurteilung der Auswirkungen der hierdurch erzeugten Erschütterungen auf Gebäude, wurde durch die DMT GmbH Co. KG im Auftrag des WEG (Wirtschaftsverband Erdöl- und Erdgasgewinnung e.V.) ein seismisches Messnetz installiert. Aufgrund der großen Ausdehnung des Untersuchungsgebietes liegen die Einzelstationen des Messnetzes bis zu 10 km voneinander entfernt, was eine detaillierte Interpretation der Erschütterungsimmissionen im Gesamtgebiet erschwert. Die Verteilung der Erschütterungen wird insbesondere durch den lokalen Untergrund und Direktivitätseffekte der Quelle beeinflusst. Im Zuge einer Dissertation werden Methoden zur Messung und Analyse von Ambient Noise angewendet, um daraus quantitative Informationen des oberflächennahen Untergrundes zur Ableitung lokaler Verstärkungseffekte zu bestimmen. Desweiteren werden Wellenformmodellierungen unterstützend angewandt, um diese Verstärkungseffekte besser verstehen zu können. Ziel ist eine detaillierte Bewertung der Auswirkungen potenziell schädigender seismischer Ereignisse auf die Erdoberfläche.

Der Einfluss signifikanter geologischer Strukturen wurde in einer Parameterstudie mit Hilfe von Wellenformmodellierungen Modelle mit variierender Geometrie (Länge, Breite, Mächtigkeit) und unterschiedlichen Impedanzkontrasten genauer untersucht und in Abhängigkeit von der Verstärkung dargestellt. Zur Bestimmung möglicher Verstärkungseffekte sind Informationen über Sedimentmächtigkeiten und Geschwindigkeiten des oberflächennahen Untergrundes notwendig. In drei Testgebieten wurden H/V- und Array-Ambient-Noise-Messungen durchgeführt, um V_s -Geschwindigkeiten und Schichtmächtigkeiten zu ermitteln. Erste Ergebnisse der Array-Messungen, in Form von Dispersionskurven und daraus bestimmten 1D-Geschwindigkeits-Tiefen-Verteilungen, zeigen gute Übereinstimmungen mit der vorherrschenden oberflächennahen Geologie im Untersuchungsgebiet. Die Auswertungen der H/V-Daten ergaben nach den SESAME Kriterien keine eindeutigen Ergebnisse, sodass keine Abschätzung der dominierenden Frequenz der oberflächennahen Schicht erfolgen konnte. Die H/V-Spektren weisen ein multimodales Verhalten auf, wobei die stärkste Energie in den Bereichen unter 1 Hz und um 30 Hz zu beobachten ist.

Relativrelokalisierung von akustischen Emissionen in einem Salzbergwerk mit Hilfe von automatisch bestimmten Einsatzzeiten

Becker D.¹, Kaiser D.²

¹Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland, ²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

Der Einsatz von Netzwerken von Piezoaufnehmern zur Überwachung von aktiven oder bereits stillgelegten Bergwerken resultiert in Katalogen von sogenannten akustischen Emissions-(AE)-Ereignissen, die bis zu mehrere Millionen lokalisierte Ereignisse umfassen können. Die AE-Ereignisse sind dabei der Ausdruck von Bruchprozessen auf der mm- bis cm-Skala, also Mikrorissen, die sich in der Dimension der Korngrößen abspielen. Die Methode wird häufig auch als mikroakustische Messung bezeichnet. Da eine Speicherung der Wellenformen der Ereignisse aufgrund der hohen Abtastraten im Bereich von 200-kHz nicht routinemäßig durchgeführt wird, stehen lediglich die zur Echtzeit-Lokalisierung verwendeten, automatisch bestimmten Einsatzzeiten von P- und S-Wellen zur Verfügung. Routinemäßig wird die Ortung mit einem modifizierten Gradientenverfahren als Lösungsmethode für das überbestimmte, linearisierte Gleichungssystem für die räumliche Lage und die Herdzeit durchgeführt. Mit Hilfe einer auf die benötigten kleinen zeitlichen und räumlichen Skalen angepassten Version der hypodd-Software (double-difference earthquake location) zur Relativlokalisierung ist es aber auch mit Hilfe dieser automatisch bestimmten Einsatzzeiten möglich, ein verbessertes Abbild der räumlichen Verteilung der AE Ereignisse zu erhalten.

Dieser Relokalisierungsansatz wird auf ausgewählte Ereignisse des AE-Datensatzes aus dem Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben angewandt. Dort wird seit 1995 eine Routineüberwachung des Salzbergwerkes mit derzeit 3 Netzen mit zusammen etwa 90 Aufnehmern durchgeführt, was zur Lokalisierung von bisher mehr als 100 Millionen AE-Ereignissen führte. Der Großteil dieser Ereignisse wurde durch thermisch verursachte Spannungsänderungen im Zuge der Verfüllung von Hohlräumen zur Stabilisierung des Grubengebäudes induziert. Wir präsentieren die Ergebnisse der Relativlokalisierungen und diskutieren den Einfluss der Netzwerk- und Hohlraumgeometrie auf die Ergebnisse. Die Relokalisierungen bestätigen grundsätzlich die Ergebnisse der Routinelokalisierung. Allerdings führt die verbesserte relative Lokalisierung der AE-Ereignisse, die sich in einer Reduzierung der Laufzeitresiduen ausdrückt, oft zu einer schärferen räumlichen Auflösung. So ist man z.B. in der Lage zwischen verschiedenen Makrorissprozessen zu unterscheiden, bei denen es entweder zu einer instantanen Aktivierung des gesamten Makrorisses oder zu einer langsamen Migrationsbewegung einer sehr schmalen Risspitze kommt.

Detektion von Erdbeben in Schleswig-Holstein anhand eines offline Kreuzkorrelationsdetektors

Mader S., Olbert K., Meier T.

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

Aufgrund der geringen Stationsdichte und des ungünstigen Signal-Rausch-Verhältnisses in Schleswig-Holstein ist die Registrierung und Lokalisierung von lokalen Beben geringer Magnitude erschwert. Um diese Beben zu detektieren, wird ein Offline-Verfahren basierend auf der Kreuzkorrelationsfunktion verwendet. Benötigt werden die Wellenform eines lokalen Bebens als Masterevent und kontinuierliche Daten einer Station in der Nähe des Bebens. Wird ein Beben ähnlicher Wellenform detektiert, kann über die Magnitude des Masterevents und die Korrelation die Magnitude geschätzt werden. Betrachtet wurde ein Beben der Magnitude ML 1.8 am 29.10.1997 nahe der Station Bad Segeberg (BSEG), um das Verfahren zu testen und die Parameter des Ähnlichkeitsdetektors zu optimieren. Es wurden am selben Tag bereits 11 Beben und am darauffolgenden Tag zwei weitere Beben detektiert. Die berechneten Magnituden liegen zwischen -0.9 und 1.6. Wegen der hohen Ähnlichkeit der Wellenform auf allen drei Komponenten, kann davon ausgegangen werden, dass die detektierten Beben aus demselben Herdgebiet stammen wie das Masterevent und einen ähnlichen Herdmechanismus aufweisen.

Automatic determination of onset times for mantle and crustal phases recorded at central Europe

Olbert K.¹, Cristiano L.¹, Hartmann G.², Meier T.¹

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

²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

The automatic processing of large waveform datasets is essential to extract valuable information for automated event location and tomography. A fast and robust automatic phase onset time determination algorithm is presented which can be applied to regional and teleseismic, first and later arriving phases, respectively.

An autoregressive prediction – Akaike-Information-Criterion approach, identifying the phase on one or multiple components is combined with an evaluation of characteristic functions by a cost function approach. The onset time estimation is supplemented by a quality measure. The final automatic quality evaluation is based on the signal-to-noise ratio of the traces, the characteristic function's sensitivity as well as the impulsiveness of the onset.

The application to regional and teleseismic datasets recorded at central European stations from 1990 to 2012 shows the applicability of the algorithm to large heterogeneous data sets. Recordings at up to 113 stations of about 1,500 teleseismic events and 20,000 regional events are processed to determine P-, S-, first arriving and later arriving Pg-, Sg-, Pn- and Sn-phases.

40,000 teleseismic P- and 18,000 teleseismic S-phase picks are determined. The residuals to the ISC manual pick catalog show a low mean value of 0.05s and a standard deviation of 1.2s for P and a mean value of 0.29s and a standard deviation of 5.83s for S.

A much higher number of picks is determined for regional events. About 35,000 first arriving Pg-, 100,000 later arriving Pg-, 30,000 Sg-, and 120,000 Pn-phases have been picked. The mean residuals to manual picks vary dependent on the phase between -0.11s and 0.23s with standard deviations between 0.4 and 0.83s.

Histograms of the residuals between automatic picks and theoretical travel times as well as of differences between automatic picks and manual picks are shown. Spatial variations of the residuals as well as the dependence of the residuals on the quality measure are discussed. Results for teleseismic phases are further compared for different frequency bands. For teleseismic S-phases, differences in results between unrotated, R- and T-components are shown.

Modelling of Seismic Wave Propagation in Porous Media Using a Nodal Discontinuous Galerkin Method

Boxberg M.S., Friederich W.

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

Modelling the propagation of seismic waves in porous media is a challenging but also interesting and important task in computational seismology. The fluid content of e.g. reservoir rocks and the interaction between the fluid and the rock or between different immiscible fluids has to be taken into account to accurately describe seismic wave propagation through such media.

We present a theory that describes wave propagation in porous media saturated by two immiscible fluids. The theory is based on Biot's theory of poroelasticity and accounts for macroscopic flow that occurs on the same scale as the wavelength of the seismic waves. Fluid flow is described by a Darcy type flow law and interactions between the fluids by means of capillary pressure curve models.

For the numerical modelling, we extend the existing nodal discontinuous Galerkin code "neXd". This code solves the system of partial differential equations on a mesh of tetrahedral (3D), triangular (2D) or linear (1D) elements.

We illustrate the capabilities of the code by some numerical examples.

Scattering and Equipartition of Globally Propagating Body Waves

Sens-Schönfelder C.¹, Snieder R.^{1,2}, Stähler S.C.^{3,4}

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 2.4 Seismologie, Potsdam,

Deutschland, ²Colorado School of Mines, Center for Wave Phenomena, Golden, Vereinigte Staaten von Amerika,

³Ludwig-Maximilians-Universität München, Geo- und Umweltwissenschaften - Geophysik, München, Deutschland,

⁴Leibniz-Institut für Ostseeforschung Warnemünde, Rostock, Deutschland

P and S-phases of local and regional earthquakes are followed by scattered waves that make up the seismic coda which excites the station for minutes after the event. Records from large earthquakes excite a field of globally propagating body waves that persists for hours similar to the signals from local events. For the regional events it has been shown that the coda wavefield is subject to equipartition meaning that there is no preferred propagation direction and that the ratio between the energy of different modes assumes a constant value that can theoretically be calculated from the properties of the medium. This field is well suited for seismic interferometry. In the present work we investigate the teleseismic coda wavefield that has been shown to facilitate the recovery of teleseismic body waves by interferometry. We analyze records of the USArray to study evolution of the wave propagation directions in the coda several hours after the Mw=8.3 Sea of Okhotsk earthquake from 24 May 2013. We focus on the frequency bands around 10 and 40 seconds.

In contrast to local events where wave propagation directions are rapidly randomized, teleseismic waves can maintain their azimuth and ray parameter for hours. At 40 seconds period records are initially dominated by S-waves propagating around the world in the mantle. These waves are scattered in the crust and attenuated letting P-waves with small ray-parameter dominate the coda for lapse times greater than 1.5 hours. Even after 8 hours, when the waves have passed through the Earth more than 20 times, the waves still tend to propagate in their initial azimuthal direction. Based on the evolution of the energy ratio between waves propagating in the direction of the source-array great circle plane and waves propagating perpendicular to this, we calculate the scattering mean free time of these deeply propagating body waves. This estimate shows that it takes about 10 hours to wipe out the initial azimuthal distribution of body waves at the 40 second period. It confirms that the teleseismic coda wavefield mostly consists of waves reverberating in a spherically symmetric 1D Earth and shows that the coda of globally propagating body waves is not equipartitioned. For seismic interferometry this means that the two stations used to retrieve body waves need to be on a common great circle with the source to obtain a good approximation of the interstation Greens function.

Simultaneous Inversion of Multiple Waveforms (SIMW) for SKS splitting measurements: Performance and limits derived from synthetic tests

Grund M., Ritter J.R.R.

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

The application of teleseismic shear wave splitting measurements to detect large-scale azimuthal anisotropy is a well established approach. In most cases core-refracted shear waves (SKS, SKKS) are used to determine the strength and orientation of S-wave anisotropy in the upper mantle beneath a seismic recording station. However, especially for temporary seismic networks, if any, only shear wave recordings with low signal-to-noise-ratios (SNR) of low-magnitude earthquakes are available for few source regions on Earth. Resulting SKS- or SKKS-phase observations usually provide only non-stable splitting parameters for the given backazimuths. Thus, due to missing well recorded SKS- or SKKS-phase observations, the results are often interpreted under the assumption of a single anisotropic layer instead of possibly existing multi-layer anisotropic structures. The latter one can only be recovered with recordings from different backazimuths.

In order to improve the backazimuthal coverage the SIMW method (Simultaneous Inversion of Multiple Waveforms) allows to simultaneously invert SKS waveforms of different seismic events from the same source region by concatenate the individual waveforms recorded at a single seismic station. In particular, it is possible to include low-amplitude and noisy records. This strategy can increase the observational data in search for multilayer cases. So far, the method was successfully tested with real data of the Norwegian Seismic Array (NORSAR), Gräfenberg array (GER) and several other stations in central Europe.

Here we systematically perform SIMW by using synthetic SKS wavelets with different SNRs and from different backazimuths. Inversion of the concatenated waveforms is handled by using the SplitLab package by Wüstefeld et al. (2008). Our synthetic tests demonstrate that especially for backazimuths close to Null directions we can improve the splitting results by using multiple event waveforms with low SNR compared to a single event of the same source region with much higher SNR. Also for other backazimuths improvements can be observed.

The modularized software package ASKI - full waveform inversion based on waveform sensitivity kernels utilizing external seismic wave propagation codes

Schumacher F., Friederich W.
Ruhr-Universität Bochum, Bochum, Deutschland

We present the modularized software package ASKI which is a flexible and extendable toolbox for seismic full waveform inversion (FWI) as well as any sensitivity or resolution analysis operating on the sensitivity matrix. It utilizes established wave propagation codes for solving the forward problem and opposes the monolithic, inflexible and hard-to-modify codes that have typically been written for solving inverse problems. It is freely available under the GNU General Public License at www.rub.de/aski.

The Gauss-Newton FWI method for 3D-heterogeneous elastic earth models is based on waveform sensitivity kernels and can be applied to inverse problems at various spatial scales in both Cartesian and spherical geometries. The kernels are derived in the frequency domain from Born scattering theory as the Fréchet derivatives of linearized full waveform data functionals, quantifying the influence of elastic earth model parameters on the particular waveform data values. As an important innovation, we keep two independent spatial descriptions of the earth model - one for solving the forward problem and one representing the inverted model updates. Thereby we account for the independent needs of spatial model resolution of forward and inverse problem. Due to pre-integration of the kernels over the (in general much coarser) inversion grid, storage requirements for the sensitivity kernels are dramatically reduced.

ASKI can be flexibly extended to other forward codes by providing it with specific interface routines that contain knowledge about any forward code-specific file formats and auxiliary information provided by the new forward code. In order to sustain flexibility, the ASKI tools must communicate via file output/input, thus large storage capacities need to be accessible in a convenient way. Storing the complete sensitivity matrix to file, however, permits the scientist full manual control over each step in a customized procedure of sensitivity/resolution analysis and full waveform inversion.

Bimaterial interfaces at the Karadere segment of the North Anatolian Fault, northwestern Turkey

Najdahmadi S.¹, Bohnhoff M.^{1,2}, Ben-Zion Y.³

¹Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Sektion 4.2 Geomechanik und Rheologie, Potsdam, Deutschland, ²Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften, Berlin, Deutschland,

³University of Southern California, Department of Earth Sciences, Los Angeles, Vereinigte Staaten von Amerika

We image velocity contrast (bimaterial) interfaces along the Karadere fault of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), towards the eastern part of the 1999 Izmit Mw7.4 rupture in NW Turkey, using waveforms recorded by a local seismic network. Applying an automatic procedure for identification and picking of fault zone head waves (FZHW) and direct P arrivals, and manually revising the picks through particle motion analysis, we identify two different groups of FZHW as well as fault zone reflected waves (FZRW). The first group of FZHW has a moveout with respect to the direct P arrivals with distance traveled along the fault, indicating a deep bimaterial interface down to the base of the seismogenic crust with an average velocity contrast of ~3.4%. The second group of FZHW has a constant time difference from the direct P arrivals, and is associated with a shallow local interface bounding a low velocity damage zone or basin structure that extends to a depth of 4-5 km. While the first group of FZHW exists on the slower crustal block, the second group of FZHW and the FZRW are present generally on both sides of the fault. These phases add to the richness and complexity of the early P waveforms observed at stations close to a large fault. The relatively low velocity contrast across the Karadere fault compared to values to the west may have helped stopping the Izmit rupture.

Detection capability of the IMS seismic network based on ambient seismic noise measurements

Gaebler P.J., Ceranna L.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Fachbereich 4.3 Seismologisches Zentralobservatorium, Kernwaffenteststopp, Hannover, Deutschland

All nuclear explosions - on the Earth's surface, underground, underwater or in the atmosphere - are banned by the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT). As part of this treaty, a verification regime was put into place to detect, locate and characterize nuclear explosion testings at any time, by anyone and everywhere on the Earth. The International Monitoring System (IMS) plays a key role in the verification regime of the CTBT. Out of the different monitoring techniques used in the IMS, the seismic waveform approach is the most effective technology for monitoring nuclear underground testing and to identify and characterize potential nuclear events.

This study introduces a method of seismic threshold monitoring to assess an upper magnitude limit of a potential seismic event in a certain given geographical region. The method is based on ambient seismic background noise measurements at the individual IMS seismic stations as well as on global distance correction terms for body wave magnitudes, which are calculated using the seismic reflectivity method.

From our investigations we conclude that a global detection threshold of around mb 4.0 can be achieved using only stations from the primary seismic network, a clear latitudinal dependence for the detection threshold can be observed between northern and southern hemisphere. Including the seismic stations being part of the auxiliary seismic IMS network results in a slight improvement of global detection capability. However, including wave arrivals from distances greater than 120 degrees, mainly PKP-wave arrivals, leads to a significant improvement in average global detection capability. In special this leads to an improvement of the detection threshold on the southern hemisphere. We further investigate the dependence of the detection capability on spatial (latitude and longitude) and temporal (time) parameters, as well as on parameters such as source type and percentage of operational IMS stations.

Earthquake source analysis using multiple data sets: the importance of 3-D Earth structure

Frietsch M.¹, Ferreira A.M.G.¹, Vales D.², Funning G.³, Carrilho F.J.R.²

¹University College London, Earth Sciences, London, Vereinigtes Königreich, ²Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Lissabon, Portugal, ³University of California, Riverside, Earth Sciences, Riverside, Vereinigte Staaten von Amerika

Accurate earthquake source models are vital for reliable seismic hazard assessments and active tectonics studies. Different data types from local seismic networks, stations at teleseismic distances distributed all over the globe and geodetic data such as space-born radar imagery (e.g., InSAR) and global positioning satellite systems provide complementary information about the earthquake's source process. The combination of all these different data types in source inversions can potentially reduce the non-uniqueness of the inverse problem and reduce parameter trade-offs. Moreover, earthquake and Earth structure models are intrinsically linked, since uncertainties in Earth structure can act as a distorting lens in the source imaging process.

In this study we carry out earthquake point source inversions for four earthquakes in the Azores islands region (Portugal) with magnitudes M_w 4.5-6.0 using local seismic and teleseismic data. Moreover, we investigate the 21st February 2008, M_w 6.0 Wells earthquake in Nevada, USA using teleseismic and InSAR data. Over ten different local and global Earth models (1-D and 3-D) are used in our inversions, which lead to a large variability in the retrieved source models for some of the events, notably for the lower magnitude earthquakes in the Azores. We discuss the implications of our results in terms of local tectonics and earthquake source processes.

6-J Geophysical Methods

6-J Geophysical Methods

6-J.001

Three-dimensional transient electromagnetic modelling using rational Krylov methods

Börner R.-U.¹, Ernst O.G.², Güttel S.³

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Mathematik, Chemnitz, Deutschland, ³The University of Manchester, School of Mathematics, Manchester, Vereinigtes Königreich

A computational method is given for solving the forward modelling problem for transient electromagnetic exploration. Its key features are discretization of the quasi-static Maxwell's equations in space using curl-conforming Nedelec elements combined with time integration using rational Krylov subspace methods. We propose a simple method for selecting the pole parameters of the rational Krylov subspace method which leads to convergence within an a priori determined number of iterations independent of mesh size and conductivity structure. These poles are repeated in a cyclic fashion, which, in combination with direct solvers for the discrete problem, results in significantly faster solution times than previously proposed schemes.

Direct meshfree magnetotelluric modeling

Wittke J., Tezkan B.

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

We present a novel direct three-dimensional meshless modeling algorithm for magnetotelluric modeling. This formulation uses the well known Coulomb gauged, coupled, magnetic vector A and electric scalar decomposition. Assuming a divergence free magnetic vector potential, we recast the commonly used curl-curl equation into a set of four weakly coupled scalar differential equations. These fields are smooth throughout the entire domain, even in the presence of material discontinuities. This makes the decomposition well suited for a meshless discretization approach. To derive a discretization on a given point cloud, we apply a novel direct meshless approach. The partial differential equations are written as a set of linear functionals and approximated utilizing the well-known moving least square procedure. Here, the amount of work is shifted to simple polynomials. Thus, no shape functions are needed to create a discretization. We use this kind of approximation to discretize the strong formulation of partial differential equations on multiple processors.

The resulting sparse linear system is solved with a parallel iterative Krylov subspace method. We present the mathematical formulation and show example calculations compared to other well known formulations. We also discuss the scalability and performance of this formulation.

Development of the multi-resolution grid modelling for CSEM

Cherevatova M.¹, Smirnov M.², Egbert G.³

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Luleå University of Technology, Luleå, Schweden, ³Oregon State University, Corvallis, Vereinigte Staaten von Amerika

We present a new multi-resolution (MR) approach to 3D electromagnetic (EM) modelling. Initially, the approach was developed for plain wave assumption. Current work is a further extension of the MR solver for controlled-source applications. Modelling with controlled-source requires the finer grid discretization in the near source location to accurately model the rapidly varying EM fields in the vicinity of the source. Also, finer grid is desirable in the near surface to adequately represent near surface inhomogeneities and topography. On the other hand, the EM field propagates in a diffusive manner and can be sufficiently well described on a grid that becomes gradually coarser with depth. We implement a MR finite-difference scheme that allows us to decrease the horizontal grid resolution with depth. MR approach, therefore, provides a means to significantly decrease the number of degrees of freedom and hence improve on computational efficiency without significantly compromising the accuracy of the solution. In MR implementation, the full grid is represented as a vertical stack of sub-grids, each of which is a standard staggered grid. Therefore, operators and functions already developed for a simpler standard structured grid can be applied for each sub-grid. The grid is refined only in the horizontal direction, uniformly across vertical layers, allowing only factor of two between vertically adjacent sub-grids (quad-tree scheme). The major difficulty lies in discretizing the operators around interfaces between varying cell sizes. We follow the secondary field approach which requires the solution of 1D quasi-analytical problem for background field for each edge of the modelling domain. As we reduce the number of edges with MR grid, we can benefit in computational time for background field calculations. The accuracy of the solution is verified by comparing our 3D MR modelling results to results of the 1D analytical solutions for canonical 1D reservoir model. To verify the MR solver for 3D case, we considered the COMMEMI model and compared our results to responses from R.Streich 3D code. A comparison shows a good agreement, with deviations within 5%. Multi-resolution solver allows computations to be speed up by several times, the scheme also has a smaller memory foot print.

Influence of steel infrastructure on transient electromagnetic fields

Bär M., Börner J.H., Börner R.-U., Spitzer K.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

A large-scale borehole transient electromagnetic (TEM) field campaign is planned at a pilot CO₂-sequestration site in Alberta, Canada. The target area, however, contains an extensive steel infrastructure consisting of several oil pipelines (partially intersecting) as well as cased injection wells. Setting up a transmitter loop without having steel infrastructure beneath it, is almost impossible due to the limitations of the test site. Therefore it is necessary to investigate the influence of various steel constructions (pipelines, steel casing) on TEM data. We present three-dimensional finite element (FE) simulations of transient electromagnetic fields considering steel infrastructure in the subsurface for two specific scenarios.

The first scenario covers the case of a pipeline beneath the source crossing a receiver profile. For the second scenario we consider the case of downhole measurements in a vertical borehole below the steel casing. To solve the three-dimensional forward modelling problem we employ a Rational Arnoldi approximation (Börner R.-U., Ernst and Güttel 2015). For the spatial discretization of the quasi-static curl-curl equation linear Nédélec elements are used.

Our computations qualitatively demonstrate that steel infrastructure can shield, shift and/or distort the TEM response. Mesh refinement close to large conductivity contrasts is crucial.

Individual and joint inversion of DC resistivity and EM methods

Weißflog J.¹, Eckhofer F.², Börner R.-U.¹, Eiermann M.², Ernst O.G.³, Spitzer K.¹

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Numerische Mathematik und Optimierung, Freiberg, Deutschland, ³Technische Universität Chemnitz, Chemnitz, Deutschland

The aim of our project is the combination of different electromagnetic and DC resistivity methods in a joint inversion to enhance the overall resolution power. Every method is associated with a particular sensitivity pattern and therefore appropriate to explore different regions of the subsurface. By combining complementary patterns, electromagnetic imaging becomes more complete and reliable. The enhanced coverage helps to reduce the problem of noisy data or measurement errors and improves the reconstruction of the given conductivity distribution.

To obtain full control over the individual inversion algorithms and to simplify the combination of at least two methods, we implemented new DC resistivity and electromagnetic inversion codes on a common software basis. All our forward operators use finite elements of second order on unstructured grids. We suggest a sequential inversion strategy that cycles through the different EM methods iteratively instead of setting up one larger system of equations. To link the methods together we make use of a regularization operator that penalizes the deviation of the model parameters from a given reference model where the output of the previous inversion scheme is used as the reference model for the following one. In this way, we do not have to determine the full set of regularization parameters at once which is a major difficulty due to their inherent uncertainty. We show that this approach can be successfully applied to synthetic models and that the combination of two methods yields significantly improved resolution compared to the individual DC or EM inversion. Future work will incorporate an appropriate suite of EM methods adopted to the requirements of a specific exploration task.

Laterally and Spatially Constrained Inversion of Transient Electromagnetic Data from Sedimentary Basins in the East-African Rift Valley

Seidel M., Tezkan B., Yogeshwar P.

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

In the framework of the Collaborative Research Centre (CRC) 806 „Our way to Europe“, three 2D transient electromagnetic surveys were conducted in the East-African Rift Valley (EARV). Combining geoscientific and archaeological methods, the CRC 806 is designed to reconstruct the passageway of Modern Man from eastern Africa to central Europe over the last 200,000 years. Our goal is to determine sediment thicknesses and stratigraphic layerings of three sedimentary basins located in central and southern Ethiopia. Our results assist in identifying suitable borehole locations for subsequent palaeoclimatological researches.

Lake Chew Bahir (southern Ethiopia) is a 30 x 70 km² saline mudflat that episodically fills to a shallow lake during rainy season. According to airborne gravity and seismic reflection data, the thickness of its sedimentary deposits is assumed to be of several kilometers. Therefore, the basin potentially provides sedimentary archives that extend far beyond the Quaternary. The source area of Bisare River is located within the Hobitcha Caldera near Wolaita Sodo in southern Ethiopia. Former sedimentological results indicate a continuous sedimentation process and Tephra layers. The double crater system of Lake Dendi is located at Mount Dendi (3,270 m a.s.l.) 80 km west of Addis Ababa. Here, first drillings revealed holocene deposits within the lake sediments.

Between November 2014 and March 2015, a total of 125 2D transient electromagnetic measurements were conducted in the central-loop configuration. TEM/3 induction coils from Zonge International served as receivers of the vertical and one horizontal component of the magnetic field. The measurements in Chew Bahir and Bisare River were segmented into several parallel and perpendicular transects. At Lake Dendi, the soundings were aligned along one single profile. We present laterally and spatially constrained inversion results of the vertical component of the magnetic field using the software AARHUSINV from the Hydrogeophysics Group, University of Aarhus, Denmark.

Radiomagnetotellurische Messungen zur Erkundung der oberflächennahen Leitfähigkeitsstruktur bei Schleiz/ Thüringen

Hauser J., Yogeshwar P., Tezkan B.

Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie - Geophysik, Köln, Deutschland

Im Rahmen des BMBF geförderten Verbundprojektes DESMEX (Deep Electromagnetic Soundings for Mineral Exploration) wurden RMT Messungen bei Schleiz/ Thüringen durchgeführt. Das übergeordnete Ziel von DESMEX ist es, eine effektive geophysikalische Tiefenerkundung von Antimonit- bzw. allgemein von sulfidischen Erzgängen bis zu 1000 m zu ermöglichen. Dabei werden von der Uni Köln bodengebundene elektromagnetische Messungen durchgeführt und ein Referenzmodell abgeleitet. Das Messgebiet liegt im ostthüringischen Schiefergebirge und ist durch historischen Bergbau geprägt, vor allem durch Antimonabbau. Weitere Vorkommen werden in der Tiefe vermutet. Deutschlandweit gibt es potentiell abbauwürdige Vorkommen von Erzen in der Tiefe, deren Abbau in naher Zukunft rentabel werden könnte.

Die RMT ist eine passive oberflächennahe Erkundungsmethode, bei der paarweise die elektromagnetischen Feldkomponenten E_x , H_y und E_y , H_x in einem Frequenzbereich von 10 kHz bis 1 MHz gemessen werden. Hierbei werden vor allem VLF-Sender (Militär), zivile Rundfunksender und Zeitsender genutzt. Je nach Leitfähigkeit des Untergrundes können Erkundungstiefen bis zu 100 m erreicht werden. Die BGR hat bereits Hubschrauberelektromagnetik in dem Messgebiet durchgeführt. Entlang einer dieser Fluglinien verläuft das RMT Profil, welches sich südlich von Schleiz über die Grube Halber Mond erstreckt. Bei der RMT Messung ist ein Punktabstand von 10 m gewählt worden. Insgesamt konnten an 243 Stationen zwei Polarisierungen gemessen werden. Auf dem gewählten RMT Profil sind ebenfalls Geoelektrik- (LIAG) und Transientenelektromagnetikmessungen (Uni Köln) durchgeführt worden, sodass dort eine besonders hohe Datendichte vorhanden ist. Ziel der RMT- Messung ist es, ein 2D Leitfähigkeitsmodell des oberflächennahen Untergrundes abzuleiten, sowie laterale Formationsgrenzen zu detektieren. Durch die Einbindung der RMT- Ergebnisse können vor allem im oberflächennahen Bereich verbesserte Modelle erzielt werden.

Mare2DEM on land: MT Data from the Cape Fold Belt (South Africa) revisited

Rulff P.¹, Weckmann U.²

¹Universität Potsdam & Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ , Magnetotellurik, Potsdam, Deutschland, ²Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ , Sektion 2.2 Geophysikalische Tiefensondierung, Potsdam, Deutschland

Mare2DEM is a parallel adaptive finite element code for 2D forward and inverse modelling for electromagnetic data (Key & Oval, 2011) which has been made available for the scientific community. Mare2DEM was originally designed to model and invert marine controlled-source electromagnetic (CSEM) and marine magnetotelluric (MT) data but it can also be applied to onshore data. Important features of Mare2DEM are automatic mesh generation and refinement and the possibility to choose between calculation with isotropy or triaxial anisotropy. It is also possible to implement topography in the model which is a big advantage of finite element discretization.

To test this inversion code with onshore MT data we use the data set measured in 2005 in the Cape Fold Belt, South Africa. The stations are aligned along a ~ 115 km long profile with significant topography and a close-by ocean. Several stations indicate the existence of electrical anisotropy in the subsurface through phases $> 90^\circ$. Commonly these phases out of quadrant are explained by an anisotropy strike oblique to the main conductivity structures.

While in earlier inversion studies only data without 3D/anisotropy effects were inverted using RLM2DI (Rodi & Mackie, 2001; included in WinGLink). We can now compare inversion results obtained by a finite difference and a finite element approach. Within the framework of an inversion study we could show that phase values over 90° could not be fit with triaxial anisotropy. Consequently data with phases over 90° had to be excluded from further inversion runs.

We compared inversion runs with different settings. The calculated conductivity profiles correlate with the regional surface geology. Small vertical structures in the shallow conductivity model correlate with synclines and anticlines. In addition the conductivity profile confirms a large conductivity anomaly from previous inversions which was interpreted as a reservoir of hot saline fluids. Some deep conductivity anomalies of the Cape Fold Belt are difficult to interpret since evidence in other geophysical data is missing. However, these results might motivate further research in the Western Cape Fold Belt.

1D Inversion for Electromagnetic Induction (EMI) Measurements from Multiple Elevations

Tan X.¹, Mester A.¹, Zimmermann E.¹, van der Kruk J.²

¹Forschungszentrum Jülich, Systeme der Elektronik (ZEA-2), Jülich, Deutschland, ²Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland

Electromagnetic Induction (EMI) enables a contactless measurement for near surface soil investigations. It has been developed and widely implemented in geophysical or agricultural applications such as terrain mapping, salinity evaluations, clay content and moisture investigations. EMI devices measure the apparent electrical conductivity (ECa) which indicates the overall distributed electrical conductivities within a certain depth range. By using different configurations of EMI devices, i.e. different coil separations, EMI is sensitive to different soil depth ranges. Moreover, the depth sensitivity can also be altered by changing the measuring height of the EMI device above the ground surface. However, ECa values only roughly indicate conductivity changes but do not directly describe the quantitative electrical layered structure of the soil. Therefore, an inversion process is required in order to estimate the quantitative electrical conductivity changes. This paper presents a 1D non-linear inversion algorithm using a series of ECa values acquired from multi-configuration EMI measurements at different elevations. The inversion is based on the Gauss-Newton method with a second order Laplacian regularization matrix and minimizes a misfit function between the measured and synthetic ECa values by adjusting the electrical conductivities (EC_1, EC_2, \dots, EC_n) of a synthetic soil model with a fixed number of horizontal layers. After solving several iterations, the optimum solution with smallest misfit is selected. The Jacobian matrix required for the inversion is recalculated at each iteration by using the full-solution Maxwell equations. The obtained model, consisting of 20 layers with increasing thickness up to 7.5 meter depth, returns smoothed changes of the electrical conductivity with depth. We successfully tested the inversion for a synthetic model including 10% noise. In addition, sensitivity curves were obtained that clearly indicate their dependence on the EMI setup and elevation. Measurements with a set of elevations were carried out on a field site at several measuring points with different soil properties, known from large scale EMI measurements. The preliminary inverted EMI results are consistent with the inverted vertical electrical sounding (VES) data and indicate the validity of the inversion.

Towards airborne magnetic field measurements with fluxgate and induction coil sensors in the DESMEX Project

Nittinger C.¹, Cherevatova M.¹, Becken M.¹, Steuer A.²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

The DESMEX project is dedicated to the development of a semi-airborne CSEM system for mineral exploration which aims to achieve a penetration depth of 1 km with areal coverage of hundreds of square-kilometers. We plan to inject time-varying electrical currents with several high-moment grounded transmitters in order to measure electric fields and induced magnetic fields with highly sensitive magnetic sensors in the air. To measure the magnetic field and its variations, induction coil and fluxgate sensors are mounted on an airborne bird carried by a helicopter. During the flight the sensors encounter pendulum like motion which induces voltages in the induction coil sensors. Motion-induced voltages are caused by magnetic flux changes through an induction coil when it is rotated or translated within the external field. The induced voltages distort the signals related to the magnetic field variations and subsequently need to be minimized. Therefore high accuracy motion tracking as well as a low vibrating system design are required. We present the physical basis and time series examples of motion induced voltages in the induction coils in order to differentiate between signal and motion noise in the data. Furthermore we will show first results from a flight test with the newly developed system and discuss possible noise-correction schemes.

Simulation of guided GPR waves for soil moisture sounding

Stadler S., Igel J.

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Highly resolved water-content distributions in the subsurface can be obtained by investigating GPR wave velocities. The specific application studied here is using guided GPR waves by gradually lowering a metal rod in an existing borehole. This provides reflections from the lower end and thus yields velocity data for vertical soil moisture sounding. Numerical simulations of such wave propagation are performed using FE and FD Software, and the simulated data are compared to real test studies. The aim of this research is to analyze the characteristics of the wave propagation in the underground and around the metallic waveguide, with special regard to a sensible volume and the vertical resolution. Predictions can then be made regarding the feasibility of guided-waves GPR soundings in different soils, and the validity of obtained data. Models of the antenna (400 MHz GSSI) and the metal rod at different depths are made and studied in the time- and frequency-domain. The simulations show that with the described wave-guide technique the soil can be investigated up to a distance of approx. 10 cm around the borehole, with a vertical resolution of a few centimeters.

FDTD simulations of GPR using a realistic multi-Debye description of lossy and dispersive media

Loewer M.^{1,2}, Igel J.¹

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ²Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Hannover, Deutschland

Ground-penetrating radar (GPR) works best in non-dispersive and low-loss environments. However, most materials are in fact lossy and dispersive to a certain degree. This is on the one hand controlled by the amount of water available in the ground and on the other hand, on the combination of density and grain size distribution, mineralogy, cation exchange capacity and absorbed water of the subsurface material. As a result of the frequency-dependent nature of the effective dielectric permittivity, the different frequency components of the GPR wave train will travel with different velocity and will attenuate to a different degree. Therefore, the pulse will distort and change its shape during wave propagation. GPR is close to the performance limit for many soils and in some cases, choosing the appropriate antenna center frequency could mean the success or failure of GPR at a certain site. In this study, we will show that a precise description of the frequency-dependent effective dielectric permittivity is necessary in order to make realistic GPR simulations. We measured the complex effective dielectric permittivity of lossy and dispersive soils between 1 MHz and 10 GHz using the coaxial transmission line technique. In order to fit the spectra in a sufficiently broad frequency range, we inverted the data using a dielectric response model consisting of four Debye equations and one dc-conductivity term. We used the FDTD simulation tool gprMax in order to account for the multi-Debye description of the complex constitutive parameters. We compare the results for different scenarios: a) modeling with static parameters and without considering the frequency-dependent nature of the electrical parameters, b) modeling with a single Debye-term representation as e.g. the case when only taking into consideration the relaxation of free water, and c) a realistic multi-term frequency-dependent media model based on our laboratory measurements that is taking all dielectric relaxations in the GPR frequency range into consideration.

Homomorphe Dekonvolution von Radargrammen

Donner E.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Die homomorphe Dekonvolution kann genutzt werden, um aus einer Radargrammspur sowohl das Wavelet als auch die zugehörige Impulsspur der Reflexionskoeffizienten zu schätzen. Sie basiert auf der Trennung der beiden Signalanteile im komplexen Kephstrahlbereich. Dazu wird auf die Fouriertransformierte des Signals der komplexe Logarithmus und anschließend eine inverse Fouriertransformation angewendet, sodass die Faltung des Wavelets mit der Impulsspur im Zeitbereich in eine additive Verknüpfung überführt wird. Das Quellsignal bildet sich im komplexen Kepstrum nahe der Ursprungszeit ab, Reflexionen zu späteren Zeiten. Um das Wavelet zu schätzen, wird das komplexe Kepstrum tiefpassgefiltert. Die Impulsspur kann mittels Hochpassfilter ermittelt werden. Die Wahl der Grenzen für Hoch- und Tiefpassfilter ist schwierig und muss auf die Daten abgestimmt werden. Die Rücktransformation der zwei Signalanteile in den Zeitbereich erfolgt über die Fouriertransformation, die komplexe Exponentialfunktion und anschließende inverse Fouriertransformation. Dieses Verfahren ist interessant, weil die Anwendung im Gegensatz zu anderen Dekonvolutionsverfahren nicht auf minimalphasige Wavelets begrenzt ist. Deshalb kann die Schätzung im Prinzip ohne Probleme für gemischtphasige Wavelets erfolgen.

Als Beispiel dient ein Georadarprofil, das mit einer pulseEKKO-Apparatur auf der Talsperre Dörnthal im Erzgebirge aufgenommen wurde. Da die Daten ein gutes Signal-Rauschverhältnis aufweisen, lassen sich daran verschiedene Vorgehensweisen bei der Anwendung der homomorphen Dekonvolution miteinander vergleichen. Dabei zeigt sich, dass die Signalphase bei der Berechnung des komplexen Logarithmus kontinuierlich vorliegen muss, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Das kann mithilfe von Phase-Unwrapping-Algorithmen erreicht werden. Rauschen in den Daten wird dabei allerdings nichtlinear verstärkt und führt zu Fehlern in der Phasenkurve, sodass einzelne Phasen des geschätzten Wavelets letztendlich falsche Polaritäten aufweisen. Bessere Ergebnisse können erzielt werden, indem die Kepstra mehrerer Spuren oder Spurabschnitte gemittelt werden. Auf diese Weise wird das Rauschen in der Phasenkurve verringert. Allerdings gehen dabei die Reflexionseinsätze verloren. Alternativ kann die Impulsspur aus der ursprünglichen Radargrammspur über eine Spektrendivision unter Verwendung des im Kephstrahlbereich geschätzten Wavelets berechnet werden.

Wie gut sind rechteckförmige Anregungssignale für Spektrale IP Messungen geeignet?

Radic T.

Radic-Research, Berlin, Deutschland

Die Zahl der potentiellen Einsatzbereiche der Methode der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) hat sich in jüngster Zeit bemerkenswert stark erhöht. Voraussetzung hierfür waren die im Labor gewonnen vertieften Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen den petrophysikalischen Eigenschaften von Gesteinen (Porenraumgeometrie, Porenraumfluid, Temperatur etc.) und ihren resultierenden frequenzabhängigen elektrischen Impedanzen. Um diese Erkenntnisse im Feldmaßstab umfänglich nutzen zu können gilt es u.a. den Messbereich zu höheren Frequenzen hin zu erweitern. Die bei konventionellen Multi-Elektroden Apparaturen üblicherweise auftretenden Kabelkopplungseffekte verfälschen jedoch bereits bei Frequenzen ab 10 Hz massiv jede IP Messung. Mit unsere SIP256C Multi-Receiver Apparatur konnten wird dieses Problem durch den Einsatz von Remote Units die Stromstärke und Spannung direkt an den Elektroden messen soweit mindern, dass der Frequenzbereich auf 1 kHz erweitert werden konnte. Um jedoch zu noch höheren Frequenzen (20 kHz) zu gelangen, muß das derzeitige Konzept eines zentralen Transmitters, mit seinen langen Stromzuführungskabeln, aufgegeben werden. Statt dessen gilt es jede Remote Unit mit einem eigenen Transmitter auszustatten. Hierdurch können Kopplungseffekte nochmals weiter verringert werden. Diese Transmitter müssen kostengünstig und kompakt sein und zudem einen hohen Wirkungsgrad aufweisen. Wir verwenden sinusförmigen Anregungssignale, da sie sich als zuverlässiger Weg zu einer hohe Datenqualität erwiesen haben. Vom theoretischen Standpunkt aus, sollten aber auch anderen Signalformen zu gleich guten Messergebnissen führen. Die endliche Linearität und Bandbreite realer Messgeräte führt letztlich doch zu unterschieden. In Anbetracht dieser Limitierungen erweisen sich sinusförmige Signale als vorteilhaft. Leider sind Transmitter die sinusförmige Wechselströme generieren technisch aufwendiger und damit auch teurer als solche die rechteckförmige Signale erzeugen. Zudem ist ihr Wirkungsgrad geringer was wiederum mit einer erhöhten Wärmeentwicklung und einem höheren Volumen und Gewicht einher geht. Transmitter für rechteckförmige Signale wären letztlich besser geeignet für den Einbau in jeder Remote Unit. Vergleichsmessungen mit einer modifizierten SIP256C Apparatur zeigten, dass auch mit rechteckförmigen Transmittersignalen zumindest bei klein- und mittelskaligen Auslageweiten die gleiche Datenqualität zu erzielen ist.

Technische Umsetzung einer robusten akustischen Navigation in Gletschereis

Weinstock L.S., Eliseev D., Heinen D., Linder P., Scholz F., Wickmann S., Wiebusch C., Zierke S.
RWTH Aachen University, Physikalisches Institut, Aachen, Deutschland

Im Rahmen der Enceladus-Explorer-Initiative (EnEx) des DLR Raumfahrtmanagements werden Technologien entwickelt, die die Navigation einer autonom agierenden Schmelzsonde (EnEx-Sonde) auf dem Saturnmond Enceladus ermöglichen soll. Die EnEx-Sonde soll mit Hilfe eines Ortungsnetzwerks, das von akustisch instrumentierten Schmelzsonden (Autonomous Pinger Unit, APU) aufgespannt wird, durch den Eispanzer des Mondes navigieren und eine Flüssigkeitsprobe entnehmen.

Teil des EnEx-RANGE Projekts ist die Entwicklung der APUs und die Demonstration ihrer Funktion in einem terrestrischen Szenario auf Alpengletschern. Hierfür werden sowohl Leistungselektronik zum Senden akustischer Signale durch Eis als auch empfindliche Filter und Verstärker entwickelt, mit denen die Signale empfangen und digitalisiert werden. Bei der Steuerung der Aktorik und Verarbeitung der Sensordaten in den APUs wird auf ein Ein-Chip-System (System-on-a-Chip, SoC) bestehend aus Prozessor und programmierbarer Logikschaltung (Field Programmable Logic Gate Array, FPGA) zurück gegriffen, das eine schnelle Auslese bei hoher Datenrate und die Realisierung komplexer Algorithmen möglich macht.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über EnEx-RANGE und die bereits entwickelten und erfolgreich getesteten Systeme sowie einen Ausblick auf weitere Hardware-Entwicklungen.

Schnelles Glasfaser basiertes 7-kanaliges digitales Signalübertragungssystem für Ultraschall Bohrlochsonden und andere Anwendungen.

Radic T.

Radic-Research, Berlin, Deutschland

Ultraschall Bohrlochsonden dienen der hochauflösenden Charakterisierung von Gesteinen bis in einigen Kilometern Tiefe. Neben der klassischen Rohstofferkundung helfen sie bei der Suche nach geeigneten Standorte für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen. Aber auch bei der Überwachung und Sanierung von Endlagern spielen solche Sonden eine zunehmend wichtigere Rolle. Das Ultraschall Verfahren ist ein aktives Verfahren. In der Sonden befindet sich daher, neben den Piezo-Empfängern, auch ein Piezo-Sender. Das Steuersignal für den Sender und die Empfänger Signale werden bei den meisten Sonden noch analog übertragen. Bei einer Kabellänge von bisweilen einigen 1000 Metern kann das Anregungssignal die Empfänger Signale erheblich stören und so die Messgenauigkeit mindern. Eine Digitalisierung der Empfänger Signale in der Sonde, kombiniert mit einer Glasfaser Datenübertragung, beseitigt alle Übersprechprobleme und Signalverzerrungen. In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) haben wir ein 7-kanaliges Datenübertragungssystem mit einer Bandbreite von 250 kHz je Kanal entwickelt. Das Besondere hierbei ist, dass für die bidirektionale Datenübertragung nur eine einzige Glasfaser benötigt wird. Während in die eine Richtung die Signale der Empfänger übertragen werden, werden in die Gegenrichtung Verstärkungseinstellungen übertragen. Das System wird seit Mitte 2015 zusammen mit einer 2 km langen Glasfaser eingesetzt. An der Oberfläche werden die digitalen Signale derzeit noch in Analoge zurückgewandelt. Auf diese Weise kann das erprobte Equipment (Datenlogger) zunächst weitergenutzt werden. Ein digitaler Ausgang ist jedoch bereits vorhanden. Grundsätzlich ist unser Datenübertragungssystem auch für andere Anwendungsbereiche nutzbar. Insbesondere dort, wo eine schnelle draht- oder funkbasierte Datenübertragung nicht möglich bzw. nicht erlaubt ist.

6-K Geophysical Methods

6-K Geophysical Methods

6-K.001

Joint inversion of NMR and desaturation data using an angular pore model

Hiller T., Klitzsch N.

RWTH Aachen University, Applied Geophysics and Geothermal Energy (GGE), Aachen, Deutschland

Nuclear magnetic resonance (NMR) relaxation measurements are a well established laboratory/borehole method to characterize the storage and transport properties of rocks due to its direct sensitivity to the corresponding pore fluid content (water/oil) and pore sizes. Thereby, the correct estimation of these properties depends strongly on the underlying pore model. Generally, the standard pore model used for interpreting NMR relaxation data is a parallel bundle of cylindrical capillaries. To deduce the size of these capillaries a calibration procedure regarding the mineral parameter surface relaxivity is necessary.

Mohnke (2014) used NMR relaxation data from several desaturation levels to derive surface relaxivity and pore size distribution simultaneously and thereby omitting the need for calibration. While this approach performed very well for synthetic data it had some shortcomings when applied to real data. Especially when using NMR relaxation data at low partial saturations the inverted pore size distribution became strongly multimodal in contrast to pore sizes obtained by mercury injection. This is due to the inability of the cylindrical pore model to treat residual saturation correctly. Replacing the standard cylindrical pore model with a pore model based on angular pores allows to account for residual water trapped in the corners of partially filled pores (Mohnke et al. 2015).

We combine these two approaches and present a novel joint inversion method that uses an angular pore model and NMR relaxation data at different partial saturations. We show the applicability of our approach on synthetic and real data sets and how it improves the quality of the obtained pore size distributions and water retention curves significantly.

References:

Mohnke (2014), *Water Resour. Res.*, **50**, 5309-5321

Mohnke et al. (2015), *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **19**, 2763-2773

Beschränkte Diffusion und Relaxationsmoden höherer Ordnung – Eine alternative Auswertung von NMR D-T2 Messungen

Müller-Petke M.

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Die Methode der Nuklear-Magnetischen-Resonanz (NMR) wird, neben der Bestimmung des Wassergehaltes, auch als Werkzeug zur Ableitung der Porenradienverteilung (PSD) und damit der hydraulischen Leitfähigkeit einer Probe genutzt. Dabei stehen zwei Messkonzepte zur Verfügung:

1. Relaxationszeitmessungen: Im Allgemeinen wird die PSD aus einer Relaxationszeitverteilung (T_2) mittels einer Kalibration abgeleitet. Kürzlich konnte gezeigt werden, dass mittlere Porengrößen ohne Kalibration bestimmt werden können, wenn Relaxationsmoden höherer Ordnung einbezogen werden. Allerdings ist der Ansatz auf großporige Systeme mit geringer Variation der Porengröße beschränkt.

2. Diffusionsmessungen: Neben der Charakterisierung von Fluiden hinsichtlich ihrer Diffusionseigenschaften, erlauben Diffusionsmessungen ebenfalls die kalibrationsfreie Ableitung einer mittleren Porengröße. Voraussetzung ist dabei, dass eine beschränkte Diffusion zu beobachten ist. Dies ist in der Regel für kleinporige Systeme gegeben.

Beide Messkonzepte werden bereits im Rahmen von Diffusions-Relaxationszeitmessungen (D-T2) miteinander verbunden und deren Auswertung führt zu den bekannten D-T2 Karten. Diese D-T2 Karten werden beispielsweise zur Unterscheidung von Fluiden in Porenräumen genutzt.

In diesem Beitrag wird ein erster Ansatz zur alternativen Auswertung von D-T2 Messungen vorgestellt. Es wird evaluiert, inwiefern es die gekoppelte Berücksichtigung von beschränkter Diffusion und Relaxationsmoden höherer Ordnung erlaubt die jeweiligen Limitationen der einzelnen Messungen aufzuheben, um die PSD eines multimodalen Porensystems kalibrationsfrei zu bestimmen.

Evaluierung verschiedener NMR Sequenzen zur Ableitung von Diffusions-Relaxationszeit-Verteilung (D-T2)

Obert A., Dlugosch R., Günther T., Müller-Petke M.
Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Die Methode der Kernspinresonanz (NMR) bietet aufgrund der Sensitivität auf Wasserstoffprotonen einen einzigartigen Zugang zur Charakterisierung eines Porenraumes und des enthaltenen Fluides. NMR bedient sich dabei der Messung von Relaxations- sowie Diffusionsprozessen des Fluides. Beide Messungen können sowohl unabhängig als auch voneinander abhängig (gekoppelt) durchgeführt werden. Mittels gekoppelter Messungen ist es möglich, Mehrdeutigkeiten in der Interpretation des Porenraumes und des Porenfluides zu verringern.

Eine wichtige Anwendung dieser Messmethodik ist die Quantifizierung von Kohlenwasserstoffkontaminationen im oberflächennahen Untergrund. Derartige Kontaminationen, hervorgerufen durch Leckage von Pipelines, (Untergrund-)Speicherung oder durch Unfälle, stellen ein signifikantes Risiko hinsichtlich der Verunreinigung des Grundwassers dar. Effektive Strategien zur Sanierung bedürfen jedoch robuster Kenntnis des Untergrundes (Quantifikation, Lokalisation und Mobilität einer Kontamination) und Möglichkeiten der Überwachung.

Je nach Messapparatur stehen verschiedene Pulsfolgen zur gekoppelten Bestimmung der Diffusions-Relaxationszeit-Verteilung zur Verfügung. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Evaluierung von drei, auf CPMG Pulsfolgen basierenden NMR Messsequenzen. Die Sensitivität auf Diffusionsprozesse wird durch gepulste (PG) oder konstante Magnetfeldgradienten (FG) erreicht, wobei hinsichtlich konstanter Magnetfeldgradienten wiederum zwei Sequenzen zur Verfügung stehen. Die Evaluierung der drei Sequenzen wird durch eine numerische Studie, Laborexperimente sowie Datenaufnahme im Feld mittels einer Bohrlochsonde erfolgen.

Quo vadis Oberflächen-NMR – adiabatisc

Dlugosch R., Müller-Petke M.

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Die Methode der Nuklear Magnetischen Resonanz (NMR) eignet sich, aufgrund seiner Sensitivität für das Wasserstoff Proton, hervorragend für die Bestimmung des Wassergehaltes einer Probe und lässt zudem Rückschlüsse auf die hydraulische Leitfähigkeit von gesättigten Medien zu. Die Einsatzmöglichkeiten von Oberflächen-NMR sind jedoch oft durch das meist ungünstige Signal-Rausch-Verhältnis limitiert. Bisherige Bemühungen zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses setzten dabei überwiegend auf die Reduzierung des gemessenen elektromagnetischen Rauschens. Wir evaluieren, ob sich durch den Einsatz von adiabatisc

Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Anregung der Protonen bei der Larmor Frequenz, erfolgt eine adiabatisc Anregung durch einen angepassten, in seinem Frequenz- und Amplitudengang modulierten elektromagnetischen Plus. Dies führt zu einer deutlich homogeneren Anregung in der Gegenwart von magnetischen Feldinhomogenitäten, insbesondere über eine größere Bandbreite von Magnetfeldstärken des Anregepulses. Der Einsatz von adiabatisc Pulsen in der Oberflächen-NMR führt daher zur einer homogeneren Anregungscharakteristik im Untergrund, was in der Regel eine Erhöhung der gemessenen Signalamplitude zur Folge hat. Das so verbesserte Signal-Rausch-Verhältnis vergrößert den Einsatzbereich von Oberflächen-NMR, z.B. in anthropogen beeinflussten Gebieten, oder kann, durch die Einsparung von Wiederholungsmessungen, zu einer deutlichen Erhöhung des Messfortschrittes genutzt werden. Die vorgestellten Ergebnisse umfassen eine Modellierung der Spin-Dynamik von adiabatisc Pulsen, eine Evaluierung der Pulsparameter und daraus abgeleitete Sensitivitätskernel für Oberflächen-NMR Sondierungen.

Sättigungsdehnung an Sandsteinen

Moeller M., Buntebarth G., Weller A.

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

Die Sättigungsdehnung tritt überall dort auf, wo ein Fluid einen trockenen Porenraum füllt, ein Fluidwechsel mit unterschiedlichen Eigenschaften der beteiligten Fluide stattfindet oder ein Gestein austrocknet. Beispiele für Änderungen des Sättigungszustands der Gesteine sind neben Verwitterungsprozessen der Wärmeentzug aus heißen trockenen Gesteinen mittels zirkulierenden Wassers, das Verpressen von CO₂ in gesättigte Gesteinsformationen oder verschiedene Techniken der Kohlenwasserstoff-Förderung.

Untersuchungen zur Verwitterung von Natursteinen haben gezeigt, dass sich poröse Gesteine bei Wasseraufnahme mehr oder weniger simultan ausdehnen. Diese Art der Dilatation wurde bislang qualitativ mit der mineralogischen Zusammensetzung (z.B. quellfähige Tone) oder der Textur der Gesteine erklärt. In unserem Ansatz wird die Dehnung auf die Benetzung der Grenzfläche zwischen Fluid und Gesteinsmatrix zurückgeführt, die umso größer ist, je größer die innere Oberfläche ist. Eine systematische Untersuchung der petrophysikalischen und elektrischen Gesteinsparameter und deren Einfluss auf die Sättigungsdehnung soll darüber Aufschluss geben, welche Kräfte an den Grenzflächen auftreten und welche Auswirkungen sie haben.

Als Versuchsapparatur wurde ein modifiziertes NETZSCH-Dilatometer verwendet, das die mechanische Längenänderung der aufgesättigten Probe elektrisch über eine Messbrücke ermittelt. Die Experimente wurden an unterschiedlichen Sandsteinen durchgeführt. Neben den petrophysikalischen Standardparametern (Porosität, Permeabilität, spezifische innere Oberfläche und Formationswiderstandsfaktor) wurde der Einfluss der Anisotropie untersucht, da Sandsteine oftmals eine Schichtung aufweisen. In weiteren Messreihen wurden die Auswirkung der Probengröße, des Sättigungsgrads und der Salinität auf die mechanische Dehnung analysiert.

Aufgrund der beteiligten Kräfte an den Grenzflächen zwischen Gestein und Fluid verläuft die Sättigungsdehnung nicht linear. Der zeitliche Verlauf kann für die meisten Proben in guter Näherung durch zwei Exponentialterme beschrieben werden. Die Parameter der gemessenen Dehnungskurven wie Relaxationszeiten und die maximale relative Längenänderung werden den petrophysikalischen Parametern gegenüber gestellt. Bisher lässt sich erkennen, dass die Abhängigkeit der Dilatation vom Sättigungsgrad von der Sedimentationsrichtung beeinflusst wird. Die Probengröße und die Salinität des Porenfluides haben keinen erkennbaren Einfluss auf die Dehnungsparameter.

Charakterisierung von Karbonatgesteinen mittels Spektraler Induzierter Polarisation

Hupfer S.¹, Halisch M.¹, Weller A.²

¹Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland, ²Technische Universität Clausthal, Institut für Geophysik, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland

Diese Studie untersucht die komplexen elektrischen Eigenschaften von Karbonaten mit der Methode der Spektralen Induzierter Polarisation (SIP). Die Analyse wird in Kombination mit detaillierten petrophysikalischen, mineralogischen und geochemischen Untersuchungen durchgeführt.

SIP ist ein nützliches Werkzeug zur Bestimmung von Gesteinseigenschaften und ermöglicht eine qualitativ bessere Charakterisierung der Porenraumgeometrie. Gesteinsparameter wie Permeabilität, Porengröße und spezifische innere Oberfläche können abgeschätzt werden. Bisher wurden SIP-Messungen im Labor vorwiegend an Sandsteinen oder sandigem Material durchgeführt. Es wurden verschiedene robuste empirische Beziehungen zwischen IP und petrophysikalischen Parametern (spezifische innere Oberfläche, Oberflächenleitfähigkeit und Kationen-Austausch-Kapazität) gefunden.

Laborexperimente werden an verschiedenen Karbonatproben durchgeführt, welche eine große Variation in Porosität und Permeabilität aufweisen. Erste Ergebnisse der SIP-Messungen zeigen deutliche Polarisierungseffekte an Karbonaten sowie eine starke Beziehung zwischen Real- und Imaginärteil der elektrischen Leitfähigkeit. Bei weiteren Experimenten stand der Edwards Brown Kalkstein (Edwards Plateau, Texas) im Fokus für detaillierte bildgebende Verfahren (Rasterelektronenmikroskop, Röntgencomputertomografie), Porengrößenverteilung über Quecksilberporosimetrie und Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA). Die Aufnahmen zeigten eine Mikroporosität, welche durch die Quecksilberporosimetrie nicht erfasst wurde. Die SIP Messungen wurden mit einem Porenfluid konstanter Leitfähigkeit (100 mS/m) durchgeführt. Die IP-Spektren weisen ein deutliches Phasenmaxima bei einer Frequenz von 0,1 bis 0,2 Hz auf. Diese Beobachtung sowie der einheitliche Chemismus aller Proben des Edwards Brown Kalksteins sind optimal für eine systematische Untersuchung der Polarisationsparameter hinsichtlich der Variabilität von Porosität, spezifischer innerer Oberfläche, pH-Wert und Fluidleitfähigkeit. Im Ergebnis dieser Studie sollen die Ursachen der Polarisierungseffekte der Karbonate besser verstanden werden.

Electrical phenomena during CO₂ sequestration

Börner J.H.¹, Herdegen V.², Repke J.-U.², Spitzer K.¹

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für thermische, Umwelt- und Naturstoffverfahrenstechnik, Freiberg, Deutschland

The electrical rock conductivity is a sensitive indicator for CO₂ migration processes. Due to its sensitivity to the pore fluids, electric and electromagnetic methods bear a great potential for monitoring CO₂ injections and leakages. However, CO₂ is a reactive gas which massively interacts with other pore fluids. Therefore, classic relationships do not necessarily apply to the three-phase system sand / pore water / carbon dioxide.

We investigate the system with the spectral induced polarization method (SIP) at geologically relevant pressure and temperature conditions to get additional information on physical and chemical processes at the grain-water interface. We present laboratory measurements of the spectral complex electrical conductivity of partially saturated sand samples. The special characteristic of our study is that the non-conductive fluid phase is pure carbon dioxide and that pressures up to 30 MPa and temperatures up to 80°C were applied. Both static and dynamic experiments were carried out.

CO₂ acts on the conductivity of a porous medium in two ways: By changing water saturation and by chemical interaction with the fluid phase and/or the mineral matrix. The impact on pore water conductivity appears in different manifestations depending on the salinity of the solution. Static dissolution experiments show that, besides the conductivity-increasing dissociation, a second opposing process may be observed which results in a significant reduction of conductivity despite the added CO₂. The transition salinity between the regimes of conductivity increase and conductivity decrease is in the range of shallow clean aquifer salinities. Therefore, the observed effect is very important for leakage detection methods.

The spectral complex conductivity maps both changes in saturation and chemical interaction. By means of SIP measurements the impact of CO₂ on the imaginary part of conductivity may be quantified. The knowledge about the impact of CO₂ may be used to correct for the chemical interactions during interpretation of electrical measurements in terms of saturation. Measuring complex conductivity additionally provides information about the properties of the grain-water-interface. During monitoring the evolution of this information may be used for keeping track of mineral dissolution and/or precipitation processes.

Numerical Simulation of Nonlinear Effects in Membrane Polarization

Rezaii N., Hördt A.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

The Spectral Induced Polarization (SIP) method is a geophysical survey technique, measuring the frequency-dependent complex electrical resistivity of the underground. The real and imaginary parts of the complex resistivity are influenced by several parameters such as the applied voltage ranges and the resulted current densities. In this work, we employed a numerical approach to study the linear and nonlinear effects in membrane polarization by modeling the ion concentrations in the pore space.

The modified model is based on an extension of a concept previously proposed to simulate membrane polarization analytically. An alternating sequence of wide and narrow pores, namely passive and active zones filled with water is assumed where the counter ion mobility is restricted in active zones. A mobility contrast in the active zones will cause a membrane effect, resulting in electrical polarization.

The simulation software COMSOL Multiphysics is used to numerically solve the governing equations of charge transport while an external electric field is applied. The desired geometry has been described as 1D, 2D and 3D models. We carried out simulations for different voltage ranges, simulating the time and frequency dependent charge distribution and impedance of the pore system. The results illustrate the ion concentration and the net charge distribution in the pore system for both cases of small and large current densities. The earlier analytical simulations are simplified by assuming small current densities, which helps to linearize the system of equations. According to our results, due to Coulomb forces, the concentration changes are extremely small and no net charge builds up. In this case, membrane polarization is controlled by the neutral concentration gradients. On the other hand, for the case of large current densities, occurring when a high voltage is applied as boundary condition, the governing equations become nonlinear and coupled. Here, the magnitude of the external electric field becomes comparable to the internal Coulomb field and significant net charge densities build up, which control the membrane polarization.

Spatial and temporal monitoring of subsurface water infiltration processes through Time-lapse ERT at the Super-Sauze landslide (Southern French Alps)

Santoyo Campos J.C., Rothmund S., Joswig M.
Universität Stuttgart, Institut für Geophysik, Stuttgart, Deutschland

The Electrical Resistivity Tomography (ERT) can be used to monitor the variation of the water content and water flow in landslides. Understanding components of the hydrologic cycle like the spatial and temporal changes of the water content is of great interest, because they constitute important triggering factors for dynamic processes in landslides. The research presented here is part of a larger field experiment conducted at the Super-Sauze landslide, which objective is the characterization of the existing relationship between small fracture processes and slope movement, fissure development and pore pressure build-up. Thereby, in order to identify temporal and spatial variations in water content, over a monitoring period of eight weeks, ERT measurements arranged in Wenner electrical configuration were carried out at the clay-rich Super-Sauze landslide (Southern French Alps). The investigated area exhibits the highest landslide dynamics at the site, with average displacements greater than 0.01 m/day. One of the studied profiles is 100m in length with electrode spacings of 1m, whereas the other two are both 12.5m in length with electrode separations of 0.25m. The collected datasets were inverted with the time-lapse algorithm of the software BERT 2-Boundless Electrical Resistivity Tomography. Rainfall events that took place during the monitored period are easily visualized in the ERT results and show that precipitation has a clear influence in the variation of the electrical resistivity contrast in the subsurface.

2D/3D IP Inversion im Zeitbereich: Synthetische Studien und Feldmessungen

Langenbach H., Tezkan B.

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

Im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Projekts „Entwicklung und Anwendung eines neuen Inversionsprogramms für die Induzierte Polarisierung im Zeitbereich in drei Dimensionen“ wird ein Algorithmus zur Inversion ganzer IP Zeitreihen in ein 2D/3D Cole – Cole Leitfähigkeitsmodell entwickelt.

Mit Hilfe einer Näherung lassen sich die Einschaltantworten schnell und genau im Zeitbereich berechnen. Die Transienten werden für jeden Zeitpunkt mithilfe einer 2D/3D Geoelektrikinversion in ein Widerstandsmodell invertiert, so dass ein zeitabhängiger Widerstand für jede Zelle ermittelt wird. Dieses nun zeitabhängige Geoelektrikmodell lässt sich anschließend für jede Zelle in ein Cole – Cole – Modell invertieren.

In Krauthausen, Düren und im Rurtalgraben, Masseik fanden 2012 und 2013 zwei Messkampagnen mit dem Terrameter LS (ABEM) statt. Es wurden Gradient- und Dipol-Auslagen verwendet. Die Qualität der aufgenommenen Zeitreihen genügt den hohen Ansprüchen des neuen Inversionsprogramms und konnten erfolgreich mit diesem invertiert werden. Das verwendete Programm wurde auf flexible Elektrodenpositionen erweitert und Studien mit synthetischen Daten für verschiedene Elektrodenpositionen und Modelle durchgeführt. Es wurden verschiedene Regularisierungsmethoden implementiert und getestet. Zudem wurde das Modell von Dias implementiert.

Empirische Untersuchung von Kopplungseffekten bei Feldmessungen mittels Spektraler Induzierter Polarisation

Lührs M., Hördt A., Bairlein K.

Technische Universität Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik (IGeP), Braunschweig, Deutschland

Bei hydrogeophysikalischen Messungen mittels Spektraler Induzierter Polarisation werden relativ kleine Phasenunterschiede zwischen Strom und Spannung gemessen. Diese können durch Kabelkopplungseffekte gestört werden. Generell kann man zwischen Kopplung induktiver und kapazitiver Art unterscheiden. Induktive Kopplungserscheinungen bei hohen Frequenzen können durch das im Erdreich induzierte Feld erklärt werden, das durch die Wechselstrom führenden Kabel entsteht und ein Feld in den Kabeln induziert. Die kapazitiven Kopplungseffekte können durch eine auftretende Kapazität zwischen Kabel und Boden erklärt werden, da die Isolierung im Wechselstromfall nicht das Abfließen von Ladung verhindert. Zur Bestimmung von Phasenverschiebungen werden bei Geräten zur IP-Messung die Messwerte verfälschenden Kopplungseffekte durch einen geschickten Aufbau der Messapparatur minimiert. Zur Verminderung von Effekten durch Kabelkopplung wird daher bei der Potentialmessung auf die Verwendung von langen Kabeln verzichtet.

Im Rahmen der Arbeit wurde untersucht, wie sich die Messwerte verändern, wenn aus logistischen Gründen auf die Verwendung kurzer Kabel verzichtet werden muss und somit lange Kabel unumgänglich sind. Die Kabel wurden dabei auf verschiedene Art und Weise geführt, um den unterschiedlichen Einfluss je nach Lage der Kabel auf die Messwerte zu bestimmen. Die Kabel wurden nicht nur nebeneinander geführt, sondern in einer weiteren Messung verdreht. Die Messungen zeigen, dass insbesondere bei hohen Frequenzen signifikante Unterschiede im Verlauf der Phase auftreten. Bei einer Frequenz von 1 Hz ist die Phase noch weitgehend unabhängig von der Kabelverlegung, bei 100 Hz treten in der Phase Unterschiede von bis zu 1 mrad auf. Maximale Abweichungen von etwa 5 mrad werden bei Frequenzen von 1 kHz erreicht. Dies kann auf die zu untersuchende Kabelkopplung zurückgeführt werden.

Magnetic and mineralogical properties of salt rocks

Heinrich F.¹, Schmidt V.¹, Schramm M.², Mertineit M.²

¹Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland, ²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, Deutschland

We studied the magnetic properties of Permian salt rocks from the Northern German Basin. Salt rocks mainly consist of the diamagnetic minerals halite, carnallite, sylvite and anhydrite with negative magnetic susceptibilities. Depending on the salt rock type the susceptibility values can increase to essentially higher and positive values. The magnetic and mineralogical origin of the increased susceptibility values are not yet established in salt rocks. Ferromagnetic and paramagnetic accessory minerals with high magnetic susceptibility (e.g. magnetite, hematite and clay-minerals) could produce the higher susceptibility values.

In order to interpret the measured susceptibilities correctly, it is important to interrelate the mineralogical composition and the magnetic properties of the accessory minerals in salt rock types. Thus we use beside susceptibility measurements different mineralogical and rock magnetic methods.

A total of 117 different salt rock samples, like rock salt, carnallite and sylvinit, from a salt mine in Sondershausen (Thuringia) and 18 samples from the Gorleben salt dome (Lower Saxony) were investigated. The values of the low-field magnetic susceptibility generally increase from white rock salt (max. -14×10^{-6} SI) over carnallite (max. 134×10^{-6} SI) to red sylvinit (max. 270×10^{-6} SI). The susceptibilities of pure synthetic KCl and NaCl single crystals show values of -14.5×10^{-6} SI and -13.5×10^{-6} SI, respectively. The whole rock analysis suggests that para- and ferromagnetic minerals are therefore completely contained within the insoluble residue. We filtered the insoluble residue with membrane filters with a pore size of $0.1 \mu\text{m}$. The fraction of insoluble residue of salt rock samples is very low; the amount for red rock salt is even $< 0.1 \text{ wt.-%}$. The composition of the insoluble residues has been investigated with the electron microscope and X-ray diffraction to determine the accessory minerals. Phyllosilicates occur in all salt rock types, hematite only in sylvite and reddish rock salt as a minor constituent.

Advanced magnetic methods such as FORC analysis, temperature dependent susceptibility and isothermal remanent magnetization were used to better characterize the ferromagnetic minerals. Magnetite and hematite are contained in varying proportions, and a correlation between susceptibility and maximum of magnetization of carnallite samples was found.

Improved aeromagnetic compilations and implications for Curie depth estimates over the Greenland inland ice area

Weise B.¹, Ebbing J.¹, Heincke B.²

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften - Geophysik, Kiel, Deutschland, ²Geological Survey of Denmark and Greenland, Department of Petrology and Economic Geology, Copenhagen, Dänemark

The locations of old aeromagnetic surveys may be of poor accuracy due to the absence of GPS measurements. The present study aims to improve the positions and thereby the quality of the Greenland Ice Cap Aeromagnetic Surveys (GICAS) that were performed between 1983 and 1989 in southern Greenland by the Geological Survey of Greenland (GEUS), the Geological Survey of Canada and the National Aeronautic Establishment of the National Research Council of Canada. Due to the absence of other geological or geophysical data in the Greenland inland ice region, the interpretation of aeromagnetic data is one of the main tools to trace geological features under the inland ice.

To this end, besides conventional corrections like removal of diurnal variations and of the Definitive Geomagnetic Reference Field (DGRF), the gradients of the vintage aeromagnetic surveys were compared to modern data from the AEROMAG and Ice Bridge surveys carried out by GEUS and NASA, respectively.

The flight lines of the GICAS surveys are shifted within an estimated error margin of the positions to provide the best fit with the new aeromagnetic data. The intersections between GICAS flight lines and those of the other surveys are individually shifted inside a 1.5 km radius to obtain the best fit of the gradients in a least-squares sense. A new flight line is then fitted through the shifted intersections using the L1 norm. The effect of this correction on further modelling is evaluated by an inversion for the Curie depth based on both corrected and uncorrected data. While there is an effect of the re-localization on the small wavelength part of the magnetic field, this improvement is almost insignificant when the thickness of the inland ice is considered.

Inversion of gravity gradient data after noise reduction

Jirigalatu J.¹, Ebbing J.¹, Sebera J.^{2,3}

¹Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Geowissenschaften, Kiel, Deutschland, ²Astronomical institute of the Czech Academy of Sciences, Ondřejov, Tschechische Republik, ³Research Institute of Geodesy, Cartography and Topography, Zdiby, Tschechische Republik

Airborne gravity gradient (AGG) measurements offer an increased resolution and accuracy compared to terrestrial measurements. But interpretation and processing of AGG data is often challenging as leveling errors and survey noise affect the data and these effects are not easily recognized in the gradient components. To minimize the effect of high-frequency noise, we adopted a classic method for potential field data processing, the upward-continuation. By iteratively projecting the survey data to a lower level and upward continuing these data back to the survey height, parts of the low-frequency signal is suppressed. The filter, which is defined by this approach, is dependent on the threshold for the convergence, a maximum number of iterations and the iterative step size. We demonstrate the method by applying it to both synthetic data and to real AGG data over Karasjok, Norway and show the advantage in inversion of gravity gradients.

6-L Geophysical Methods

6-L Geophysical Methods

6-L.001

ActiveSeismoPick3D - automatic first arrival determination for large active seismic arrays

Paffrath M.¹, Küperkoch L.², Wehling-Benatelli S.¹, Friederich W.¹

¹Ruhr-Universität Bochum, Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik, Bochum, Deutschland, ²BESTEC GmbH, Landau, Deutschland

We developed a tool for automatic determination of first arrivals in active seismic data based on an approach, that utilises higher order statistics (HOS) and the Akaike information criterion (AIC), commonly used in seismology, but not in active seismics. Automatic picking is highly desirable in active seismics as the number of data provided by large seismic arrays rapidly exceeds of what an analyst can evaluate in a reasonable amount of time.

To bring the functionality of automatic phase picking into the context of active data, the software package ActiveSeismoPick3D was developed in Python. It uses a modified algorithm for the determination of first arrivals which searches for the HOS maximum in unfiltered data. Additionally, it offers tools for manual quality control and postprocessing, e.g. various visualisation and repicking functionalities. For flexibility, the tool also includes methods for the preparation of geometry information of large seismic arrays and improved interfaces to the Fast Marching Tomography Package (FMTOMO), which can be used for the prediction of travel times and inversion for subsurface properties. Output files are generated in the VTK format, allowing the 3D visualization of e.g. the inversion results. As a test case, a data set consisting of 9216 traces from 64 shots was gathered, recorded at 144 receivers deployed in a regular 2D array of a size of 100 x 100 m. ActiveSeismoPick3D automatically checks the determined first arrivals by a dynamic signal to noise ratio threshold. From the data a 3D model of the subsurface was generated using the export functionality of the package and FMTOMO.

Quantifying the error in finite-difference simulation caused by staircase interface

Habelitz P., Bohlen T.

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

Today the finite-difference method is a widely spread numeric approach to simulate wave propagation in complex media. In this method the physical continuous medium is discretized into a grid, which leads to a staircase-approximation of smooth interfaces (staircase-effect).

The purpose of this study is to quantify the isolated staircase-effect on reflexions.

The applied FD-software *sofi2D* uses the common staggered-grid method (Virieux 1986) for solving the elastic wave equation in 2D. We quantify the error by comparing the FD-seismograms with an analytic solution, which uses the Cagniard-De Hoop technique to calculate the Green's functions of a compressional point source in an elastic medium.

In order to isolate the staircase-effect we correct the grid dispersion by means of manipulating the phase in the frequency domain. A two layer model whose interface is arranged in parallel to the receivers is applied while inclination angle and grid spacing are varied. The contrast of 20% in the elastic parameters is moderate. The error is obtained by the L2 error estimation between vertical components of velocity seismograms.

A main outcome is the insight that errors become significant due to the stepped transformation of original smooth interfaces. Plotting the L2 error over the source-receiver distance shows substantial fluctuations whose wavelengths match the respective layer inclination. A discretization of 14 grid points per dominant seismic wavelength leads to a dispersion error of 0.2% while the staircase error with 5% lies one order of magnitude higher. Applying 7 grid points per dominant seismic wavelength the errors range from 5% to 40% and vary heavily with the angle of incidence of the waves and the inclination of the interface. In order to reduce these errors a spatial averaging of the material parameters seems to be necessary.

Time-domain full waveform inversion adjoint state gradients for the stress-velocity formulation of the visco-elastic problem based on a decomposed impedance matrix

Köhn D., De Nil D., Rabbel W.

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

The classical derivation of elastic full waveform inversion (FWI) by Tarantola (1986) and Mora (1987) is based on the second order time-domain stress-displacement formulation of the elastic forward problem. However, the implementation of Perfectly-Matched Layer (PML) absorbing boundary conditions and visco-elasticity by relaxation mechanisms is much easier for the stress-velocity formulation. The underlying first order partial differential equations are not self-adjoint and therefore the gradients necessary for a FWI cannot be directly estimated by the adjoint state-method. One solution is to rewrite the displacement-fields in the time-domain gradients from the second order formulation to stress-fields via the stress-strain relationship (Shipp & Singh 2002, Köhn et al. 2012, Groos 2014). The disadvantage of this approach is that the data residuals of the velocity components have to be numerically integrated, which can be a challenging task in field data applications. Other approaches are based on different self-adjoint formulations of the forward problem, like the pseudo-conservative form (Brossier 2011, Etienne 2011). Similar to Castellanos (2014) we decompose the impedance matrix for the visco-elastic problem into a matrix consisting only of the material parameters and another containing only partial derivatives in order to obtain a self-adjoint problem. Beside a detailed derivation of the FWI gradients, we compare the inversion results of the modified elastic Marmousi-2 model for the different gradient formulations and show some preliminary visco-elastic inversion results.

Acknowledgements:

This study has been carried out within the framework of the ANGUS+ research project funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF).

NEXD: a software package for high order simulation of seismic waves using the Nodal Discontinuous Galerkin Method

Lambrecht L., Friederich W.

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

In geophysics numerical simulations are a key tool to understand the processes of earth. For example, global simulations of seismic waves excited by earthquakes are essential to infer the velocity structure within the earth. Furthermore, numerical investigations can be helpful on local scales in order to find and characterize oil and gas reservoirs. Moreover, simulations enable a better understanding of wave propagation in borehole and tunnel seismic applications. Even on microscopic scales, numerical simulations of elastic waves can help to increase knowledge about the behaviour of materials, e.g. to understand the mechanism of crack propagation in rocks.

To deal with highly complex heterogeneous models, here the Nodal Discontinuous Galerkin Method (NDG) is used to calculate synthetic seismograms. The advantage of this method is that complex mesh geometries can be computed by using triangular or tetrahedral elements for domain discretization together with a high order spatial approximation of the wave field. The simulation tool NEXD is presented which has the capability of simulating elastic and anelastic wave fields for seismic experiments for one-, two- and three- dimensional settings. External models provided by e.g. Trellis/Cubit can be used for parallelized computations on triangular or tetrahedral meshes. For absorbing boundary conditions either a fluxes based approach or a Nearly Perfectly Matched Layer (NPML) can be used. Examples are presented to validate the method and to show the capability of the software for complex models such as the simulation of a tunnel seismic experiment.

Subsampling and comparative analysis of interpolation techniques of the 2D Exact Boundary Condition Method

Athanasopoulos N.¹, Broggin F.², van Manen D.J.²

¹Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Geophysikalisches Institut (GPI), Karlsruhe, Deutschland, ²ETH Zürich, Institut für Geophysik, Zürich, Schweiz

In various geophysical applications, it is often required to restrict the wave propagation inside a spatially limited domain which is embedded in a larger background domain. The exact boundary condition (EBC) method allows one to obtain the exact solution of the wave equation within a spatially limited subdomain, while at the same time accounting for all the interactions with the background domain. The EBC method will enable the operation of a wave propagation laboratory (WaveLab), built by the Exploration and Environmental Geophysics (EEG) group at the Swiss Federal Institute of Technology (ETH) in Zürich. However, the EBCs implementation in an actual laboratory comes along with restrictions. This study focuses on the application of spatial subsampling and interpolation to the injection and recording surfaces required by the EBC algorithm. Due to hardware limitations, the implementation of subsampling to simulate a scenario corresponding to the WaveLab, is essential in order to analyze the behavior of the method. However, it comes along with a low accuracy reconstruction of the wave field quantities. The goal is to find the optimal interpolator that will allow the reconstruction of the wave field with highest accuracy possible, while accounting for the restrictions from the WaveLab. The study was based on a synthetic model corresponding to the wave propagation laboratory, using a finite-difference (FD) time-domain (TD) scheme. After a comparative analysis of the interpolation techniques, the compact Fourier interpolation (COMFI) proved to be the optimal interpolator for the case of the WaveLab. None of the interpolation techniques considered in this study, are anti-aliasing interpolators and, for this reason, the spatial Nyquist theorem should not be violated.

Das neue Vibroseis-Fahrzeug der TU Bergakademie Freiberg

Buske S.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Seit Anfang 2016 steht dem Institut für Geophysik und Geoinformatik der TU Bergakademie Freiberg ein Vibroseis-Fahrzeug zur Durchführung von seismischen Messkampagnen zur Verfügung. Das Fahrzeug besitzt eine Gesamtmasse von circa 32 Tonnen, eine peak force von 250 kN und einen nominellen Frequenzbereich von 4-250 Hz. Der Einsatzbereich des Fahrzeuges sind damit wissenschaftliche Fragestellungen der Erkundung der oberen Erdkruste. Das Fahrzeug steht explizit auch der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Durchführung von gemeinsamen Forschungsprojekten zur Verfügung. Darüber hinaus wird das Fahrzeug auch in die entsprechenden Lehrveranstaltungen zur Seismik an der TU Freiberg eingebunden, wobei Letztere auch interessierten Studierenden anderer Universitäten zur Teilnahme offen stehen. Das Poster informiert im Detail über die technischen Spezifikationen des Fahrzeuges sowie die geplanten Einsatzbereiche und Kooperationsmöglichkeiten.

Seismische Untersuchungen im Raum Geyer zur mineralischen Rohstoffexploration

Seupel C., Buske S.

Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland

Im Zuge des Projektes „Rohstofferkundung im Erzgebirge mittels Geophysik“ in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, der TU Bergakademie Freiberg, dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie und dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie wurden im Raum Geyer (Erzgebirge) unterschiedliche geophysikalische Messungen durchgeführt, um das Rohstoffpotential des Gebietes bis in eine Tiefe von ca. 500 m zu erkunden. Neben der Rohstofferkundung wurde dabei auch das Ziel der Weiterentwicklung moderner geophysikalischer Messmethoden verfolgt. Dabei wurden neben flächendeckenden aerogeophysikalischen Verfahren ergänzend auch lokale, bodengestützte Verfahren wie Transienten-Elektromagnetik und Seismik durchgeführt.

Ziel der seismischen Messung war in erster Linie die Abbildung der Grenze zwischen dem Greifensteiner Granitkomplex und den darüber liegenden metamorphen Gesteinen. Dazu wurde im Mai 2015 ein seismisches Profil von ca. 1000 m Länge radial zum Zentrum des Granitkomplexes akquiriert. Die Anregung erfolgte mit einem beschleunigten Fallgewicht, der Empfängerpunktstand betrug 2 m und der Quellpunktstand 8 m. Zusätzlich wurden zwei zum Hauptprofil orthogonale Querprofile mit einem Schusspunktstand von 2 m aufgenommen. Mittels Ersteinsatztomographie wurde zunächst ein oberflächennahes Geschwindigkeitsmodell erstellt und basierend auf diesem im Anschluss eine Tiefenmigration durchgeführt. Das Migrationsergebnis sowie die Resultate der anderen geophysikalischen Messungen bilden zusammen die Grundlage zur Erstellung eines hochauflösenden 3D-Modells des Untergrundes im Untersuchungsgebiet und eine gute Grundlage für die geologische Interpretation sowie die Bewertung des mineralischen Rohstoffpotentials.

Aktuelle Ergebnisse der reflexionsseismischen Erkundung des Tannwald Beckens mit P-Wellen und SH-Wellen

Burschil T., **Buness H.**, Gabriel G.

Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG), Hannover, Deutschland

Im Rahmen des beantragten ICDP-Projekts DOVE (Drilling Overdeepened Alpine Valleys) sollen die quartären Glazialzyklen im alpinen Bereich anhand der Sedimentfüllung von übertieften Tälern und Becken multidisziplinär untersucht werden. Weitere Fragestellungen betreffen unter anderem die Grundwasserversorgung und Georisiken in alpinen Tälern. Vorbereitend studiert ein DFG-gefördertes Projekt die Möglichkeiten moderner Multikomponentenseismik für die Untersuchung von Struktur und Fazies der Sedimentfüllungen.

Im Tannwaldbecken, ca. 30 km NE von Ravensburg, wurden 2014 und 2015 mehrere reflexionsseismische Kampagnen in Vorbereitung für geplante Forschungsbohrungen durchgeführt. Insgesamt wurden fünf hochauflösende Profile mit P-Wellen, zwei Profile mit Scherwellen (horizontal polarisiert) sowie ein Profil mit Mehrkomponenten akquiriert.

Die P-Wellenprofile zeigen generell starke Heterogenität und Variationen im Reflexionsmuster. Kräftige Reflexionen in Tiefen zwischen 100 m und 200 m identifizieren wir mit einer älteren Forschungsbohrung auf allen Profilen als Beckenbasis im Sinne Oberkante Molasse. Besonders prominent ist eine rampenartige Struktur der Beckenbasis, die ein Einfallen von ca. 10° aufweist. Interne Strukturen der Beckenfüllung bilden unterbrochene Reflexionen und sind nur auf Teilen der Profile sichtbar. Die Scherwellenprofile zeigen ebenso die Beckenbasis als markante Reflexion. Zusätzlich werden die internen Strukturen der Beckenfüllung hochaufgelöst. Da die beiden Scherwellenprofile auf P-Wellenprofilen liegen, ergibt sich ein detaillierter Vergleich der Strukturen. Zudem lassen sich V_p/V_s und Poisson Verhältnis aus P-Wellen und Scherwellen Geschwindigkeiten berechnen, die sich durch refraktionsseismische Tomographie und aus den Stapelgeschwindigkeiten ergeben.

Weitere Schritte sind die Auswertung der Mehrkomponentenseismik, bei denen Anregung in SV- und SH-Richtung erfolgte. Hierbei bietet sich die Möglichkeit seismische Anisotropie in der Beckenfüllung zu untersuchen. Die Auswertung von Querlinien der P-Wellen und Mehrkomponentenseismik soll Aufschluss über die räumliche Lage der Reflektoren geben. Für das Jahr 2016 sind zudem seismische Messungen im Lienzer Becken geplant.

A qualitative comparison of seismic imaging methods applied to data from the New Jersey Shelf

Riedel M.¹, Reiche S.², Buske S.¹

¹Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik und Geoinformatik, Freiberg, Deutschland,

²RWTH Aachen University, Applied Geophysics and Geothermal Energy (GGE), Aachen, Deutschland

We carried out a seismic imaging experiment with data from the New Jersey shelf area in preparation of a ground water modelling study. The data consist of a two-dimensional and high-resolution marine survey line that was acquired prior to the IODP Expedition 313, which aimed at studying the relation between depositional shelf sequences and sea level changes.

We reprocessed the seismic data with the goal of obtaining more accurate reflector depths, particularly in the upper 1000 meters of the shelf. The availability of reliable depth information is an important prerequisite for the ground water simulations that will be performed during a later stage of this project. In order to improve the seismic image, we put particular emphasis on building an accurate velocity model by utilizing different iterative updating techniques ranging from one-dimensional RMS velocity inversion to layer-stripping tomography approaches. In addition, we applied and compared various imaging techniques, including post- and pre-stack migrations in time and depth. We concluded our workflow with the application of focusing pre-stack depth migration techniques, which represent the most powerful tools among the imaging methods used in this study.

In this way, we were able to assess the accuracy of different techniques and to particularly examine the benefits of advanced imaging technology in order to obtain reliable reflector depths in a marine environment.

7-A History, Outreach and Education

7-A History, Outreach and Education

7-A.001

Wie Wegener mit Gegnern der Kontinentalverschiebung umging

Jacoby W.

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Geowissenschaften, Mainz, Deutschland

Wegeners Ideen wurden von vielen Seiten auf viele Weisen angegriffen. Ich möchte beispielhaft aufzeigen, wie wissenschaftliche Überzeugung, auf dem richtigen Weg zu sein, sich in der „science community“ auswirkt. Argumente verdienen detaillierte Diskussion und Argumentation, nicht Polemik. In seinen Publikationen, besonders im Buch „Die Entstehung der Kontinente und Ozeane“ konfrontiert Wegener die postulierten Landbrücken mit dem Model der Isostasie, und Wladimir Köppen gegenüber zeigt er klar, dass die Hypothese der Verschiebungen überzeugender und eleganter ist, nicht aber die letzte Wahrheit. Er bleibt sachlich und zeigt keinen Dünkel als Physiker. Das wird mit vielen Zitaten belegt.

Offensichtlich bestand trotz klarer rheologischer Vorstellungen für Wegener Unklarheit über dem Mantel (Sima), und er hatte keine ozeanische Lithosphäre. Sonst wäre er vielleicht schon damals zur Plattentektonik gekommen, denn zu Beginn hat er den ozeanischen Rücken fast schon eine dynamische Rolle zugeschrieben, allerdings ohne ozeanische Lithosphäre und daher für Kontinentalverschiebung so gut wie unwirksam. Wegener bekennt öffentlich, dass er dieses Defizit gesehen hatte.

Historical seismogram reproductions for the source parameters determination of the 1902, Kashgar earthquake.

Kulikova G., Krüger F.

Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland

Instrumental seismology started developing significantly at the end of 19th beginning of 20th century. Although about a 100 stations operated worldwide in early 1900s, not all the seismograms survived till present. However at the early stage of seismological recording a number of books, bulletins and catalogs were published including the seismogram reproductions of some particularly interesting earthquakes. These reproductions can be successfully used for the cases when no original records survived. The seismogram reproductions contain time and amplitude scale and therefore can be analyzed as well as the original records. Here we present the source parameters of a historical 1902 earthquake determined using seismogram reproductions.

The Kashgar earthquake occurred on August 22, 1902 on the southern margins of the Tien-Shan, near Artix (Atushi) and Kashgar cities in China. The information about this earthquake is very limited, however it remains the strongest earthquake, which was instrumentally recorded on the Tarim and Tien-Shan convergence zone. No original seismograms were found for this earthquake, but 6 seismograms from 3 seismic stations were printed as example records in different books. These data in combination with macroseismic observations and different bulletins information published for this earthquake were used to determine the source parameters of the earthquake. The earthquake epicenter was relocated at 39.859°N and 75.617°E , with hypocenter depth about 18 km. The magnitudes $m_B=7.7\pm 0.3$, $M_s=8.0\pm 0.4$, $M_w=7.7\pm 0.3$ were calculated using the instrumental data. The focal mechanism of the earthquake with strike/dip/rake - $80^{\circ}\pm 20/60^{\circ}\pm 10/90^{\circ}\pm 10$ was determined.

Here presented study confirms that the earthquake likely had a smaller magnitude than the previously reported (M8.3) and the fault plane solution obtained here is consistent with presumed fault kinematic. The focal mechanism indicated the thrust faulting, which is in a good agreement with presumably responsible Tuotegongbaizi-Aerpaleike northward dipping thrust fault, described in the previous studies.

Instrumental magnitude constraints for the 1889 Chilik and the 1887 Verny earthquake, Central Asia

Krüger F., Kulikova G., Landgraf A.

Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Potsdam, Deutschland

A series of four large earthquakes hit the continental collision region north of Lake Issyk Kul in the years 1885, 1887, 1889 and 1911 with magnitudes above 6.9.

The largest event was the Chilik earthquake on July 11, 1889 with M 8.3 based on macroseismic intensities, recently confirmed by Bindi et al. (2013). Despite the existence of several juvenile fault scarps in the epicentral region no on scale through-going surface rupture has been located. Rupture length of ~200 km and slip of ~10 m are expected for M 8.3 (Blaser et al., 2010). The lack of high concentrated epicentral intensities require a hypocenter depth of 40 km located in the lower crust.

Late coda envelope amplitude comparison of modern events in Central Asia recorded at stations in Northern Germany with the reproduction of a Rebeur-Paschwitz pendulum seismogram recorded at Wilhelmshaven results in a magnitude estimate of Mw 8.0-8.5. Amplitude comparison of longperiod surface waves measured on magnetograms at two british geomagnetic observatories favors a magnitude of Mw 8.0. Both can be made consistent if a station site factor of 2-4 for the Wilhelmshaven station is applied (for which indications exist).

A truly deep centroid depth ($h > 40$ km) is unlikely (from coda amplitude scaling), a shallow rupture of appropriate length is till now not discovered. Both arguments point to a possible lower crust contribution to the seismic moment.

Magnetogram amplitudes for the Jun 8, 1887, Verny earthquake point to a magnitude of M ~7.5-7.6 (preliminary).

Christiaan Huygens' Sekundenpendel von 1658: wieviel Fuß misst eine Sekunde?

Fertig J.

Technische Universität Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, Deutschland

Huygens (1629-1695) erhält 1657 von den Holländischen Generalstaaten ein Patent auf die Erfindung einer Pendeluhr. Das eingesetzte *einfache Pendel* war aber für Aufgaben der Astronomie und der Navigation auf See nach Huygens *als sicheres und gleichmäßiges Zeitmaß nicht anzusehen; mit Hilfe der Geometrie habe ich aber ein eine bisher unbekanntes Aufhängungsweise des Pendels gefunden* [um die] *erwünschte Gleichmäßigkeit herbeizuführen*. So entstand bereits 1658 das *Zykloidenpendel*: die Pendellinse bewegt sich dabei auf einer Zykloide tautochron und das ganze Pendel schwingt isochron. *Dazu musste ich* [Huygens] *eine neue Untersuchung über die Abwicklung von krummen Linien durchführen*. Eine dieser krummen Linien war die Zykloide, die "schöne Helena" der mathematischen Kurven. Mit einem isochronen *Sekundenpendel* (ein Schlag = $\frac{1}{2}$ Periode = 1 Sekunde) lässt sich dann die *Galileische Zahl* bestimmen, die angibt, um wieviel Längeneinheiten (Fuß/Meter) ein schwerer Körper in der ersten Sekunde fällt. Der heutige absolute Schwerewert g entspricht dem zweifachen Wert der *Galileischen Zahl* am Ort der Beobachtung. Da stets *zusammengesetzte Pendel* Verwendung finden, bestimmte Huygens den *Schwingungsmittelpunkt*, dessen Lage die spätere reduzierten Pendellänge bestimmt. Das so definierte Sekundenpendel hat in Paris eine Länge von 3 Fuß, 0 Inch und 8 Linien. Den dritten Teil davon - den *Stundenfuß* - schlägt Huygens als Basis für ein neues allgemeines Längenmaß vor, *weil auch die zugehörige Sekunde ein überall gleiches und von der Natur selbst bestimmtes Zeitmaß ist*. Die zugehörige mathematisch-physikalische Schrift, das "Horologium Oscillatorium..." wird schon 1665 vollendet, erscheint aber erst 1673.

Unter Verwendung der Gesetze des freien Falls, der schiefen Ebene und der Zykloidengeometrie wird im Vortrag Huygens' Ableitung der isochronen Pendelbeziehung zwischen Schwingungs- und Fallzeit (mit je 1s) wie 355 zu 113 nachvollzogen. Damit ist dann auch endgültig der Nachweis für die Richtigkeit der Fallgesetze erbracht; mit dem *Sekundenpendel* wird die *Galileische Zahl* bestimmt und ist für Paris 15,096 Fuß (entsprechend: $g \approx 9,8072 \text{ m/s}^2$; heutiger Wert: $9,809435 \text{ m/s}^2$) und bleibt für ca. 150 Jahre unverändert.

Newton (1642-1726) nutzt 1687 diesen Wert in seiner "Principia Mathematica" als Nachweis dafür, dass die "Schwere" auf der Erde die gleiche Kraft ist, die den Mond auf seiner Bahn hält und damit am Himmel die gleichen Gesetze wie auf der Erde gelten.

7-B History, Outreach and Education

7-B History, Outreach and Education

7-B.001

„GEO an alle“: Die geowissenschaftliche Öffentlichkeitsarbeit der GeoUnion

Ellger C.

GeoUnion Alfred-Wegener-Stiftung, c/o Institut für Erd- und Umweltwissenschaften der Univ. Potsdam, Potsdam, Deutschland

Die GeoUnion Alfred-Wegener-Stiftung ist die Dachorganisation für alle geowissenschaftlichen Einrichtungen und Vereinigungen in Deutschland; sie schließt auch Meteorologie, Bodenkunde, Geographie, Hydrologie und andere Nachbardisziplinen mit ein; zu ihren Trägergesellschaften zählt die DGG. Seit ihrer Gründung als Alfred-Wegener-Stiftung im Jahre 1980 hat die Organisation vor allem – und immer stärker – die Aufgabe wahrgenommen, Themen und Leistungen der Geowissenschaften in die breite Öffentlichkeit zu tragen. Dies geschieht durch populärwissenschaftliche Veröffentlichungen, eine Reihe öffentlicher Fachtagungen zu geowissenschaftlichen Themen (häufig angelehnt an die „Wissenschaftsjahre“) und den Betrieb der Internetseite der GeoUnion. Darüber hinaus wurde der GeoUnion 2002 vom Bund-Länder-Ausschuss Bodenforschung (BLA-GEO) die Betreuung des Programms „Nationale GeoParks in Deutschland“ übertragen. Geoparks sind ein ganz hervorragend geeignetes Instrument, geowissenschaftliche Inhalte auf ansprechende Weise in die Gesellschaft zu vermitteln. Welche dieser Inhalte spezifisch geophysikalische Inhalte sind, ist dabei in der Regel nicht leicht zu erkennen. Ein weiteres wichtiges Aufgabenfeld der GeoUnion ist die Förderung geowissenschaftlicher Themen als Bestandteile des Schulunterrichts; zur Vermittlung von Lehr- und Lernmodulen sowie zur Organisation von Fortbildungsveranstaltungen für Lehrerinnen und Lehrer hat die GeoUnion zusammen mit anderen Institutionen die Initiative GeoEd (GeoEducation) auf den Weg gebracht.

Kann die Umwelt 50 TW zusätzlich Energie verkraften?

Jacoby W.

Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Geowissenschaften, Mainz, Deutschland

Heute brauchen 7 Mrd. Menschen 1020 J/a bzw. 16 TW Primärenergie (Kohle, Öl, Gas, Kernkraft + Erneuerbare, Jacoby & Schwarz, 2015). Der Vorschlag, wir könnten aus dem Meer 50 TW und andere kritische Rohstoffe gewinnen (Cathless, 2013), wird diskutiert. Damit könnten 10 Mrd. Menschen mit 5 kW pro Person auf dem heutigen europäischen Standard versorgt werden. Wir untersuchen die zusätzliche Erwärmung der Umwelt infolge der entsprechenden Abwärme. Wir fragen auch, wie viel Fusionsenergie wir als Abwärme verkraften könnten, falls diese jemals erfolgreich genutzt werden sollte. Wir kommen zu dem Schluss, dass diesen Energiequellen enge Grenzen gesetzt sind. Zwar würden 50 TW allein nicht zu einer starken globalen Temperaturerhöhung führen, jedoch kämen sie zum Treibhauseffekt hinzu, verstärkten ihn und erzeugten kaum abschätzbar regionale Ungleichheiten. Fusionsenergie für sich könnte bei jährlichem Wachstum von 2 % nach wenigen Generationen auf 1000 TW anwachsen und entspräche dann dem heutigen Treibhauseffekt von 1°C, zusammen also einer Verdoppelung.

Nicht maximal Energie „mobilisieren“ und die Erde maximal ausbeuten und ausräubern! Geboten ist Moderation in jeder Hinsicht, wirtschaftlich, im Umgang mit der Natur und persönlichem materiellen Konsum und Energieverbrauch! Etwa 2 KW für jeden, global auf dem heutigen Stand von 10 bis 20 TW, ist primär die menschliche und gesellschaftliche Herausforderung!

Cathless, M: Future Rx: optimism, preparation, acceptance of risk. Geol Soc., London, Spec. Publ, Oct. 24, 2013; doi 10.1144/SP393.6

Jacoby & Schwarz: Die Grenzen der Erde. Über die Endlichkeit natürlicher Ressourcen. Athene Media, 2015.

7-C History, Outreach and Education

7-C History, Outreach and Education

7-C.001

M.Sc. Programme in Applied Geosciences and Applied Geophysics at RWTH Aachen University

Sieber S.¹, Wellmann J.F.^{1,2}, Heinzmann K.^{2,3}, Hruska M.^{2,4}, Clauser C.^{2,4}, Van der Kruk J.^{2,5}

¹RWTH Aachen University, Institute for Advanced Study in Computational Engineering Science (AICES), Aachen, Deutschland, ²RWTH Aachen University, Geoverbund ABC/J, Aachen, Deutschland, ³RWTH Aachen University, Geologisches Institut, Aachen, Deutschland, ⁴RWTH Aachen University, Applied Geophysics and Geothermal Energy (GGE), Aachen, Deutschland, ⁵Forschungszentrum Jülich, Agrosphäre (IBG-3), Jülich, Deutschland

At RWTH Aachen University, we have a strong expertise in the fields of geothermal energy exploration and management, hydrogeophysics, computational methods, petrophysics and environmental and engineering investigations. We teach geophysics with a focus on applied topics and we offer two geosciences M.Sc. programmes: (i) the Master of Applied Geosciences, and (ii) the Joint Master in Applied Geophysics. The first programme is completely located in Aachen and it offers three streams of specialization: GeoMaterials, Geophysics-Hydrogeology-Engineering geology (GHI) and Energy & Mineral Resources (EMR). The Joint Master in Applied Geophysics programme is a two-year joint-degree M.Sc. programme offered by three of Europe's leading science and technology institutions. It builds on the strengths and the complementary expertise in Earth Sciences at Delft University of Technology, ETH Zürich and RWTH Aachen University. In 2015, we celebrated the 10th anniversary of this programme which has gained international recognition by both industry and research institutions. Articles about the programme were published in the journal "Leading Edge", as well as the DGG communications. For more information on our programmes, please see <http://www.fgeo.rwth-aachen.de/> and <http://idealeague.org/geophysics/>.

Masterstudiengang Geotechnologie mit Kernfach Angewandte Geophysik an der TU Berlin

Yaramanci U., **Börner F.**

Technische Universität Berlin, Angewandte Geophysik, Berlin, Deutschland

Das Fachgebiet Angewandte Geophysik bildet zusammen mit den Fachgebieten Hydro-, Ingenieur- und Explorationsgeologie sowie Mineralogie (demnächst Angewandte Geochemie) das Institut für Angewandte Geowissenschaften an der TU Berlin. Nicht zuletzt im Ergebnis der aus der deutschen Wiedervereinigung 1990 hervorgegangenen Berliner Hochschullandschaft und dem Bedarf an interdisziplinär ausgebildeten Geowissenschaftlern wurde 1994 ein neuer integrierter Studiengang für Geoingenieur- und Angewandte Geowissenschaften etabliert. Dieser in der Bundesrepublik als erster dieser Art etablierte Studiengang stellt das Bindeglied zwischen Ingenieurwesen und Naturwissenschaften her.

2004 bis 2008 wurde im Zuge der Strukturmaßnahmen an den Universitäten in Berlin sowie den Vorgaben des Bologna-Prozesses der integrierte konsekutive geowissenschaftliche Studiengang Geotechnologie BSc. und MSc. mit bedeutenden Anteil in Angewandter Geophysik etabliert und erfolgreich akkreditiert.

Im MSc.-Studiengang Geotechnologie mit der Vertiefungsrichtung Angewandte Geophysik wird die Fachkompetenz für die Anwendung geophysikalischer Methoden in den interdisziplinären Aufgabenbereichen Grundwasser, Umwelt, Baugrund, Rohstoffe, Georisiken und Geoenergie mit engem Bezug zur Ingenieurpraxis mit ihren ökologischen, rechtlichen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten vermittelt. Schwerpunkt neben theoretischer und praktischer Geophysik sind projektorientierte Lehrveranstaltungen mit mehreren Feldmesspraktika.

Während des MSc.-Studiums besteht die Möglichkeit, individuelle Schwerpunkte in Gestalt von 2 Wahlpflichtmoduli entsprechend den 5 zum Institut gehörigen Fachgebieten zu setzen. Die weitere Spezialisierung zur Geophysik wird dann über die Auswahl des Kernfachs Angewandte Geophysik definiert.

In die Ausbildung werden auch Aspekte der aktuellen Forschung am Fachgebiet integriert, die sich neben petrophysikalischen Untersuchungen z.B. an Reservoir-, Karst- und Erzgesteinen auch auf die Weiterentwicklung oberflächen- und bohrlochgeophysikalischer Verfahren konzentriert. Masterarbeiten sind zumeist in diese, durch Projekte unteretzte Forschungsthemen integriert. Den Studierenden bieten sich darüber hinaus im Rahmen von Kooperationen mit anderen universitären und außeruniversitären Einrichtungen mit geowissenschaftlichen Disziplinen (z.B. BGR, GFZ, BAM oder das Netzwerk Geo.X) im Raum Berlin-Brandenburg oder der Geo-Industrie zahlreiche Möglichkeiten für Praktika und Qualifizierungsarbeiten.

Masterstudiengang „Physik der Erde und Atmosphäre“ Universität Bonn

Zoporowski A., **Kemna A.**

Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Steinmann-Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie,
Fachbereich Geophysik, Bonn, Deutschland

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

Der Studiengang „Physik der Erde und Atmosphäre“ als Kooperationsstudiengang zwischen den Universitäten Bonn und Köln vereint diese Disziplinen und ermöglicht es Masterstudierenden, ihr konsekutives Studium individuell zu gestalten: Als reines Schwerpunktstudium durch die Wahl von ausschließlich geophysikalischen oder meteorologischen Modulen oder als Kombinationsstudium mit der Ergänzung der Schwerpunktmodule durch die jeweils andere Disziplin, um das Verständnis und Wissen zur Interaktion zwischen fester Erde und Atmosphäre zu stärken.

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

Der Masterstudiengang Physik mit geophysikalischem Schwerpunkt an der TU Braunschweig

Hördt A.

Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

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

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

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

Der Hamburger Masterstudiengang Geophysik

Vanelle C., Dehghani A., Becker D.

Universität Hamburg, Institut für Geophysik, Hamburg, Deutschland

Der an der Universität Hamburg angebotene Masterstudiengang Geophysik baut auf physikalische Bachelorstudiengänge auf. Er ist forschungsorientiert und bietet die ideale Vorbereitung auf eine Berufstätigkeit in der Wissenschaft sowie der Privatwirtschaft und Industrie. Die Lehrinhalte konzentrieren sich zum einen auf Naturgefahren wie Erdbeben und Vulkanismus. Ein weiterer Fokus spiegelt sich in denjenigen Modulen wider, in denen angewandte geophysikalische Verfahren wie Abbildung und Monitoring des Untergrundes vermittelt werden, die in der interdisziplinären Erdsystemforschung und bei der Rohstoffsuche eingesetzt werden. Dabei haben die Studierenden die Möglichkeit der Teilnahme an marinen und terrestrischen Messkampagnen. Im ersten Studienjahr vertiefen die Studierenden gezielt ihr Fachwissen durch den Besuch von Vorlesungen, Übungen und Seminaren, sowie durch Teilnahme an Praktika und Feldarbeit. Das zweite Studienjahr dient der Forschung: in eine wissenschaftliche Arbeitsgruppe eingebettet wird den Studierenden im dritten Fachsemester das forschende Lernen als Vorbereitung auf ihre Forschungsphase vermittelt. Zum Abschluss wird im vierten Semester mit der sechsmonatigen Masterarbeit eine komplexe Fragestellung aus der Geophysik untersucht.

Das MSc-Studium der Geophysik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena

Kukowski N., Jahr T., Goepel A., Paschke M., **Methe P.**

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Jena, Deutschland

An der Friedrich-Schiller-Universität Jena ist die Geophysik sowohl im Pflicht- als auch Wahlpflichtbereich des BSc-Studiengangs „Geowissenschaften“ prominent vertreten. So besteht schon während des BSc-Studiums die Möglichkeit, schwerpunktmäßig geophysikalische Lehrveranstaltungen zu absolvieren und die BSc-Arbeit über ein geophysikalisches Thema zu schreiben.

Der MSc-Studiengang „Geowissenschaften“ hat drei Fachrichtungen: Geologie, Geophysik und Mineralogie. So ist es möglich, ein Studium der Geophysik in der ganzen Breite des Fachs zu absolvieren und durch Lehrveranstaltungen in den anderen geowissenschaftlichen Disziplinen sowie Physik, Mathematik und Informatik zu ergänzen.

Der viersemestrige Masterstudiengang zeichnet sich insbesondere durch den großen Anteil und das breite Spektrum an praxisnaher Ausbildung aus. Geländeübungen sind durch den Einsatz einer großen Anzahl an verschiedenen Messgeräten gekennzeichnet. Somit sind Untersuchungen mit Hilfe geomagnetischer, geoelektrischer, seismischer, petrophysikalischer und rheologischer Messmethoden möglich. Insbesondere besteht für die Studierenden in Jena die Möglichkeit einer Mitwirkung im gesteinsphysikalischen Labor oder des Experimentierens mit hier entwickelten Apparaturen zur Analogmodellierung.

Neben der sehr umfangreichen Geräte-Ausstattung bietet die FSU Jena Studierenden die Teilnahme an aktueller und internationaler Forschung im Rahmen von Drittmittelprojekten, das Forschen am Geodynamischen Observatorium Moxa sowie das Auswerten von Daten des Thüringer Seismologischen Netzes (TSN). Zudem bestehen enge Kontakte zu Kooperationspartnern aus Industrie und Behörden. Dazu bietet Jena als sehr durch die Studierenden und vielfältige Forschungseinrichtungen geprägte junge Stadt auch viele Entwicklungs- und Freizeitmöglichkeiten neben dem Studium.

Masterstudiengang Geophysik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Gottschämmer E., Bohlen T.

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

Der thematische Schwerpunkt des physikalisch-mathematisch ausgerichteten Masterstudiengangs Geophysik am KIT ist eng mit den aktuellen Forschungsthemen des Geophysikalischen Instituts (GPI) verknüpft: In der Grundlagenphase (1. und 2. Semester) werden Lehrveranstaltungen angeboten, die sich eng an die Themen der Forschungsbereiche (FB) anlehnen. Diese beschäftigen sich mit der Entwicklung seismischer Simulations- und Abbildungsverfahren sowie deren Anwendung auf die Erkundung der Erdinneren, mit der Messung, Analyse und Modellierung von Erdbebenwellen und mit der Quantifizierung der Auswirkungen von Naturgefahren, deren Prognose und Frühwarnung. Im 3. und 4. Semester schließt sich in der Spezialisierungs- und Masterarbeitsphase die erste eigene Forschungstätigkeit in einem der FB an. Wahlfächer aus dem Lehrangebot des GPI und verwandter Fachbereiche vervollständigen das Profil und erlauben den Studierenden eine individuelle Schwerpunktbildung. Die Spezialvorlesungen werden regelmäßig als In-Situ-Lehrveranstaltungen angeboten, in denen auf im Hörsaal vermittelte Grundlagen eine oft mehrtägige Lehrphase im Gelände folgt. Dabei werden Vorlesungs-, Übungs-, und Seminaranteile abwechslungsreich miteinander kombiniert. Durch die Mitarbeit in internationalen wissenschaftlichen Projekten und die enge Kooperation mit Firmen und Forschungsinstituten binden wir unsere Studierenden früh in die aktuelle Forschung ein und bereiten die Absolventen so optimal auf die eigene Forschungstätigkeit und den Einstieg in das Berufsleben vor.

Neben den fachlichen Inhalten möchten wir aber nicht zuletzt auch den Spaß an der Geophysik vermitteln. In der Lehre setzen wir deshalb moderne didaktische Konzepte um und schaffen in kleinen Gruppen ein persönliches Lehr-Lern-Klima. Die Lehrveranstaltungen des GPI werden regelmäßig mit Preisen für die besten Lehrveranstaltungen der Fakultät ausgezeichnet. Darüber hinaus wurde bereits mehrfach der Fakultätslehrpreis der Fakultät für Physik an Lehrende des GPI verliehen.

Eine Bewerbung zum Masterstudiengang Geophysik mit einem Bachelorabschluss in Geophysik oder verwandten Abschlüssen (z.B. Geowissenschaften, Physik, Mathematik) ist sowohl zum Sommer- als auch zum Wintersemester möglich. Sind die Zugangsvoraussetzungen (30 LP Geophysik, 30 LP Physik, 20 LP Mathematik, 10 LP Geowissenschaften) nicht erfüllt, ist ein Einstieg ins Masterstudium unter Auflagen, einzelne Veranstaltungen aus dem Bachelorstudiengang nachzuholen, möglich.

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

Gurk M., Wennmacher A.

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

The Master program "Physics of the Earth and Atmosphere" was launched in 2009 in cooperation with the University of Bonn. This cooperation is an asset to students as they can choose their elective modules from an extended scope. Since winter term 2013/14 the courses are taught in English in order to open the program for international students and to improve the education of the German-speaking students in this research-oriented course. The Master program underwent very minor modifications and has been re-accredited by AQAS in 2015.

The precondition for admission to the Master program is a completed B. Sc. degree in geophysics and/or meteorology, oceanography or climatology. Graduate students from related B. Sc. courses may apply as well, but there is the requirement that these B. Sc. courses contain at least 20 credit points (CP) in physics and 20 CP in mathematics. The student may choose its core subject area to be "Geophysics" or "Meteorology". The duration of study is 4 semesters, of which the first two semesters consist of lectures, exercises, and field courses and the last 2 semesters consist of research-oriented modules. After successful completion of the program, a M. Sc. degree is awarded.

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

Der Masterstudiengang "Geowissenschaften: Umweltdynamik und Georisiken" an der Universität Leipzig

Schmidt A., Korn M., Ehrmann W.

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

Auf der Grundlage von Tradition und Kompetenz wurde mit "Geowissenschaften: Umweltdynamik und Georisiken" an der Universität Leipzig ein M.Sc.-Studiengang eingerichtet, der auf zwei Themenbereiche der Geowissenschaften einen speziellen Fokus setzt. Auf der einen Seite steht die Umweltdynamik, deren Verlauf über geologische Zeiträume wesentlich zu einer fundierten Vorhersage zukünftiger Klima- und Umweltentwicklungen sowie ihrer Auswirkungen auf die Menschheit beiträgt. Auf der anderen Seite liegt der Schwerpunkt auf der Einschätzung, Bestimmung und Rekonstruktion von Georisiken, welche beispielsweise durch Erdbeben und Vulkanausbrüche hervorgerufen werden können.

Der Studiengang baut auf eine solide geowissenschaftliche und naturwissenschaftliche Ausbildung im Rahmen einer Bachelorausbildung auf. Alle angebotenen Lehrveranstaltungen sind in Form von Modulen konzipiert und beinhalten theoretische wie auch praktische Ausbildungsformen im Rahmen von Vorlesungen, Seminaren, Übungen und Praktika. Die praktische Ausbildung findet sowohl im Gelände als auch im Labor statt. Die Einbindung der Forschungslabore in die Ausbildung verdeutlicht den forschungsorientierten Charakter des Studienganges. Während des Studiums können durch den Studenten/die Studentin je nach fachlicher Neigung eher geologische oder eher geophysikalische Schwerpunkte gesetzt werden. Eine weitere Spezialisierungsmöglichkeit ergibt sich aus zwei ergänzenden Wahlmodulen mit einem breiten Spektrum an fachlichen Ausrichtungen, von der Geographie über die Physik, Chemie, Biologie und Meteorologie bis hin zur Ur- und Frühgeschichte, zur sinnvollen Ergänzung des Studiums.

Der Studiengang ist deutlich forschungsorientiert, wobei der Prozess der Kompetenzerwerb in diesem Sektor durch den studienbegleitenden Einbezug aktueller Forschungsprojekte unterstützt wird. Die abschließende Master-Arbeit kann in Kooperation mit in- oder ausländischen Firmen, Hochschulen oder Forschungseinrichtungen durchgeführt werden.

Die Studierenden sollen schließlich die Befähigung erlangen, aktuelle Fragestellungen der Umweltdynamik und Georisiken lösungsorientiert, eigenständig und kritisch zu analysieren und zu bearbeiten, um Ihnen eine breite berufliche Perspektive in der Grundlagenforschung, über Ämter und Museen bis hin zur Bauwirtschaft zu ermöglichen.

Der Masterstudiengang Geophysik in Münster

Hansen U., Thomas C., Becken M., Stellmach S., Schmidt V., Schmalzl J.
Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Geophysik, Münster, Deutschland

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

Universität Potsdam: Masterstudiengang Geowissenschaften (Vertiefungsrichtung Geophysik)

Tronicke J., Krüger F.
Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland

Rückblickend auf eine 150-jährige Geschichte im Bereich der Erdbeobachtung hat sich der Standort Potsdam in den vergangenen zwei Jahrzehnten zu einem international sichtbaren Ausbildungs- und Forschungszentrum im Bereich der Erdwissenschaften entwickelt. In unmittelbarer Nachbarschaft zu zahlreichen außeruniversitären Forschungseinrichtungen nimmt dabei die Universität Potsdam eine zentrale Rolle ein. Auch im Bereich der Geophysik bildet die enge Kooperation der Universität mit den außeruniversitären Partnern eine wichtige Säule, die auch in der Diversität der Forschungs- und Ausbildungsthemen weitreichend sichtbar ist. Seit der Studienreform im Jahr 2007 ist die geophysikalische Ausbildung an der Universität Potsdam ein integraler Bestandteil der Bachelor- und Masterstudiengänge Geowissenschaften.

Zugangsvoraussetzung für ein Masterstudium der Geowissenschaften sind der Abschluss eines Bachelorstudiums sowie der Nachweis von mindestens 24 Leistungspunkten (LP) aus dem Bereich Erdwissenschaften und mindestens 36 LP aus den Bereichen Mathematik, Chemie und Physik (mindestens jedoch 6 LP pro Fachrichtung). Während der Bachelorstudiengang ohne Spezialisierung abgeschlossen wird, können die Studierenden im Masterstudiengang zwischen den drei Vertiefungsrichtungen Geologie, Mineralogie/Petrologie und Geophysik auswählen, wobei jede Vertiefungsrichtung durch entsprechende Pflichtmodule (Umfang 30 LP) und vertiefende Wahlpflichtmodule (60 LP) definiert ist. Für die Vertiefungsrichtung Geophysik garantieren die in der Studienordnung definierten Pflichtmodule (zum Beispiel Theorie elastischer Wellen, geophysikalische Inversion) eine theoretisch fundierte Ausbildung. Darauf aufbauend erlaubt der Katalog der Wahlpflichtmodule eine den Studieninteressen angepasste Gestaltung der Ausbildung. Hier finden sich neben einer Reihe von allgemeinen, seismologischen und angewandten geophysikalischen Modulen auch geophysikalische Labor- und Geländeübungen, die das Studienangebot auch unter praktischen Gesichtspunkten abrunden. Abgeschlossen wird das Studium durch die Masterarbeit (30 LP), in der die/die Kandidat/in ein geophysikalisches Forschungsthema selbstständig bearbeitet. Neben den inneruniversitären Forschungsthemen der Arbeitsgruppen Allgemeine Geophysik/Seismologie und Angewandte Geophysik bietet hier auch die enge Kooperation der Universität Potsdam mit den außeruniversitären Partnern der Region weitreichende Möglichkeiten der Themenwahl und des vertieften Studiums.

Abdelfettah Y., 274
 Abe S., **162**
 Abednego M., 256
 Abreu R., 118, **122**, **167**
 Adrian J., **446**
 Afanasiev M., 100, 145
 Al Saadi O., **229**, 231
 Alattar A.L., 262
 Alexandrakis C., 302, **303**
 Allroggen N., 193, **194**
 Almqvist B., 321
 Al-Qaryouti M., 131
 Alvers M., 450
 Amann F., 242
 Andert T., 371
 Andres-Martinez M., 295
 Anthony R., 140
 Anuel M., 265
 Araujo M., 295
 Aster R., 140
 Athanasopoulos N., **500**
 Attanayake J., **126**
 Auras M., 227
 Auster H.U., **366**
 Awad M., 235
 Baba K., 309
 Babeyko A., 342
 Badhani S., **264**
 Baez J.-C., 342
 Bairlein K., **444**, 492
 Ballhause T., **208**
 Ballmer M., **111**
 Banerjee S., 394
 Bannister S., 307
 Baptie B., 139
 Bär M., **469**
 Barra S., **379**
 Barrientos S., 326
 Barrio-Alvers L., 450
 Bartezko A., 290
 Barth A., **267**
 Barthelmes F., 448
 Basal A.M., 262
 Bauder A., 192
 Bauer A., 415, **418**
 Bauer K., **263**, **323**
 Baumann T.S., **160**, **165**
 Bauville A., 160
 Baykiev E., 315
 Bätzner K., 196
 Becken M., 166, 176, 181, 229, 266, 284, 285, 318,
 475, 520
 Becker D., 144, 169, **456**, 515
 Behrens H., 269, 270
 Bender S., 178, **180**
 Bentham H., 105
 Ben-Zion Y., 135, 306, 463
 Berdermann J., 174, 393
 Berger U., 178
 Bergmann P., **240**
 Bernauer M., 427
 Berndt C., 264
 Bertani R., 245, 247
 Bertschat A.-S., **210**
 Bhandare A., **396**
 Bialas J., 264
 Bird M.K., 368, 371, 372
 Blascheck P., **432**, 433
 Bleibinhaus F., 409
 Bloch W., **293**
 Blöcker A., **377**, 398
 Bohlen T., 254, 255, 419, 423, 497, 517
 Böhm C., 156
 Böhm L., 209
 Bohnhoff M., 426, 463
 Bokelmann G., 259, 335
 Bomans D., 391
 Bönemann C., 243, 430
 Börner F., 197, 206, 208, 210, 217, 236, 283, 357, **512**
 Börner J.H., 469, **488**
 Börner R.-U., 437, **466**, 469, 470
 Boxberg M.S., **459**
 Braeuer B., 323
 Braun M., 210
 Breslau A., 396
 Breuer D., 109, 365
 Broggini F., 500
 Bromirski P.D., 140
 Bruckmann J., **161**
 Brückner L., 243
 Brune G., **367**
 Brüning L., **260**
 Brunke H.-P., 179, **182**, **453**
 Brüstle A., 143, **289**
 Bumberger J., 275
 Buness H., 354, 422, **503**
 Buntebarth G., 272, 486
 Burrows J., 180
 Burschil T., 353, 503
 Buske S., 198, 200, 245, 247, 271, 302, 303, 307, 308,
 319, 320, 321, 420, 424, 501, 502, 504
 Bütikofer R., 172, 402
 Byock J., 232
 Cai J., **436**
 Calo M., 303
 Calò M., 302
 Campanyà J., 310
 Campillo M., **99**, 135, 136, 155, 306
 Carrilho F.J.R., 465
 Cembrowski M., **310**
 Ceranna L., 430
 Ceranna L., 132, **133**, 243, 257, 464
 Cesca S., 297, 429, 454
 Charalampidou E.-M., 426
 Chen C., 140
 Chen J., **309**
 Chen K., 342
 Cherevatova M., **468**, 475
 Chirila M.A., **275**
 Christensen U., **115**
 Christiano L., 322
 Ciuffi S., 245, 247
 Clauser C., 511
 Cobden L., 118, 121

Contreras-Reyes E., 296, 326
 Cormier V.F., 126
 Cornwell D., 304
 Corsmeier U., 131
 Costabel S., **190**, 282
 Cristiano L., 147, 458
 Curdt W., **388**
 Curtis A., 139
 Dabekaussen W., 211
 Daffner T., 186, 208, 209
 Dahm T., **297**, 342, 425, 429, 454
 Damm V., 333
 Daniel G., 290
 Danielides M., **395**
 Daniell J., 350
 Dannberg J., 107
 De Nil D., 411, 412, 498
 De Siena L., 352
 Debayle E., 104
 Dehghani A., **331**, 515
 Delsman J., 211
 Deng Z., 342
 Denlinger R., 344
 Dewi D.S., **269**
 Dietrich C., **351**
 Dietrich P., 204
 Diez A., **140**
 Dini I., 245, 247
 Dinsel F., **217**
 Dinske C., 249, 435
 Dlugosch R., 190, 484, **485**
 Doetsch J., **242**
 Dohmen J., **107**
 Donner E., **478**
 Donner S., **427**
 Draganov D., 138
 Dresing N., 183, 384, 400
 Dressel I., **158**
 Du Toit Strauss R., 386
 Dude S., **112**, 119
 Dünnbier K., **197**, 210
 Durand S., 104
 Ebbing J., 311, 312, 315, 316, 317, 328, 494, 495
 Eccles J., 320
 Eckel F., 227
 Eckelmann F., 342
 Eckhofer F., 470
 Edme P., 225
 Egbert G., 468
 Ehrenmann K., 218
 Ehrhardt A., **333**
 Ehrmann W., 519
 Eiermann M., 470
 Eliseev D., 376, 480
 Ellger C., **509**
 El-Sharkawy A., **322**
 Epping D., 185
 Erkul E., 202
 Erman G., 265
 Ermert L., **145**, 156
 Ernst O.G., 466, 470
 Esefelder R., 218
 Esser O., 187
 Esterhazy S., 259
 Eulenfeld T., 141, **157**, 325
 Eutsch D., **265**, **286**
 Evans K., 242
 Fehr M., **455**
 Feldens P., 203
 Feng L., 403
 Feng M., 300
 Feng X.S., 382
 Fernandez M.R., **225**
 Ferreira A.M.G., 120, 167, 465
 Ferreira S., 391
 Fertig J., **508**
 Feuillet N., 341, **347**
 Fichtner A., **100**, 145, 156
 Fichtner H., **385**, 391
 Fielitz D., **290**
 Fischer C., **398**
 Fischer K.D., **287**
 Fischer P., 222
 Fischer T., 337
 Flechsig C., 214, 240
 Fleck B., 388
 Flores Estrella H., 154, 215
 Flóvenz O.G., 246
 Fluch M., 422
 Folkers I., **223**
 Forbriger T., 168
 Frei M., 195, 338
 Friederich W., 287, 410, 455, 459, 462, 496, **499**
 Fries E., 195
 Frietsch M., **465**
 Fritschen R., 455
 Fröchtenicht T., **311**
 Frost D., 105
 Fuchs F., **335**
 Funk M., 192
 Funke O., 375
 Funning G., 465
 Fytterer T., **178**
 Gabriel G., 355, 503
 Gaebler P.J., **325**, **464**
 Gajewski D., 414, 415, 416, 417, 418
 Galetti E., **139**
 Galsdorf D., **172**, 184, 402
 Galvan B., 268, 273
 Garcia R., 128
 García-Jerez A., 137
 Gassenmeier M., **141**
 Gassner L., **255**
 Geissler W., 150, 309
 Genedi M., **235**
 Gerick F., **404**
 Gerstoft P., 140
 Gester mann N., 243, 257, 430, **431**
 Ghazala H., 235
 Ghergut J., 269, **270**
 Ghods A., 291
 Giardini D., 242
 Giese R., 246, **251**, 252, 261, 308, 321
 Gieseler J., 184
 Gischig V., 242
 Glaßmeier K.-H., 366

Glaßmeier, K.-H., **97**
 Godolt M., 365
 Goepel A., 218, 441, 452, 516
 Gokhberg A., 145
 Goldman M., 281
 Gomez M., 138
 Gómez-Herrero R., 400
 Gorman A., 307, 320
 Görz I., 424
 Gottschämmer E., 349, **350**, **517**
 Götze H.-J., 314, 316, 317, **449**, 450
 Gradmann S., 284, 285, **294**
 Grandin R., 341
 Grayver A., **159**, 176
 Grenfell J.L., **359**, 360, 365
 Grevemeyer I., 326
 Griessmeier J.-M., **358**, 359
 Grigoriev M., 153
 Grinat M., **185**, 219
 Grohmann M., **198**, 213
 Grund M., **461**
 Grziwa S., 361, **362**
 Guðmundsson A., 246
 Gundelach V., 216
 Gunnarsson K., 246
 Gunnink J., 211
 Guntern C., **414**
 Günther T., 189, 190, 219, 277, 282, 356, 484
 Gurbisz Z., **433**
 Gurk M., **518**
 Gutjahr S., 248
 Gutknecht B., 314
 Güttel S., 466
 Guzavina M., **181**
 Haas P., 312, **328**
 Habelitz P., **497**
 Haberland C., **153**
 Hable S., 155
 Hadziioannou C., 136, 142, 146, 148, 149, **155**
 Haeger C., **352**
 Häfner R., **134**, 334
 Halisch M., 250, 487
 Halldórsdóttir S., 246
 Hamacher S., **228**
 Hamidi S., **268**, **273**
 Handy M., 298
 Hannemann K., 296
 Hansen U., 110, 112, **113**, 119, 123, 124, 127, **520**
 Harpering D., **285**
 Hartkorn O., **378**
 Hartmann G., **430**, 458
 Hase F., 443
 Hassanin A., **380**
 Hauck T., 228
 Hauser J., **472**
 Häusler B., 368, 370, 371, 372
 Heber B., 171, 172, **183**, **184**, 384, 386, **400**, 402
 Heck A., **349**
 Heck B., 349
 Hedin P., 308, 321
 Heimann S., 169, 297, 425
 Heincke B., 494
 Heinen D., 376, 480
 Heinisch P., 366
 Heinrich F., **493**
 Heinze T., 268, 273
 Heinzmann K., 511
 Helffer K., 285
 Helffrich G., 313
 Hellenkamp P., **119**
 Hellwig O., 420, **424**
 Hempel S., **128**
 Henke M., **215**
 Henniges J., 263
 Hensch M., 297
 Herbst K., 172, 183, 184
 Herdegen V., 488
 Hering P., 219, **438**
 Herrmann M., 369, **370**
 Hersir G.P., 246
 Heyn B., **125**
 Hidalgo M.A., 400
 Hiller T., **482**
 Hillers G., **135**, **306**
 Hinson D.P., 368
 Hinzen K.-G., 345
 Hlousek F., 200, **421**
 Holme R., **116**
 Hölz S., **253**
 Homuth B., 288, **324**
 Hong J.K., 150
 Höning D., **364**, 365
 Hoque M.M., 393
 Horálek J., 429
 Hördt A., 205, 252, 442, 444, 445, 489, 492, **514**
 Horstmann T., **143**
 Hort M., 343
 Houben G., 243
 Houseman G., 304
 Hovekamp A., 340
 Hruska M., 511
 Huber M., 208
 Huisman J.A., 187
 Hupfer S., **487**
 Ibs-von Seht M., 276
 Igel H., 167, 427
 Igel J., 356, 476, 477
 Inhester B., 382, 403
 Ishii M., **98**
 Iwakiri S., 218
 Jackisch C., 194
 Jacobi T., 153
 Jacoby W., **505**, **510**
 Jacques E., 341
 Jahr T., 147, 218, 516
 Jakowski N., 174, 393
 Jaksch K., **261**
 Jalali M., 242
 James M., 344
 Jegen M., 253, 309
 Jenkins D., 139
 Jirigalatu J., **495**
 Jochum B., 336
 Johann L., **435**
 John T., 293
 Jonas O., **206**

Joswig M., 305, 334, 336, 432, 433, 434, 490
 Jozi Najafabadi A., **291**
 Juhlin C., 251, 252, 308, 321
 Juhojuntti N., 252
 Juliusson E., 246
 Junge A., 219, 230, 310, 438
 Jüngling S., **163**
 Jurczyk A., 251, 252
 Juretzek C., **148**, 149
 Jusri T., **245**
 Just A., 240
 Kahlert L., **231**
 Kahraman M., 304
 Kaiser D., 456
 Kalia A., 338
 Kalmring S., 232
 Kalousová K., 107
 Kamm J., 167, **318**
 Kämpf H., 214
 Karaoulis M., 211
 Karplus M., 300
 Kästner F., **246**
 Kaus B., 160, 164, 165
 Kaviani A., 327
 Keiding M., 294
 Kemna A., 187, 220, 221, 268, **513**
 Kervalishvili G., 173
 Khalil M.M., **224**
 Kieslich A., **302**
 Kilicer N., **249**
 Kind R., **298**
 Kirsch R., **196**
 Kissmann R., 385
 Klassen A., 183, 384, 400
 Klaucke I., 264
 Kleimann J., 385, 391
 Kleinwechter B., 201
 Kliem B., 380, **381**
 Klinge L., **316**
 Klinger Y., 341, 347
 Klitzsch N., 207, 482
 Kneier F., 153
 Kobe M., **355**
 Koch S., 181
 Koch T., **373**
 Köhn D., **411**, **412**, **498**
 Kolhey P., 285
 Konca O., 155
 Kopp A., 386
 Kopp H., **296**, **326**
 Korn M., 141, 154, 519
Korth J., **361**, 362
 Kostiuk T., 369
 Kracht M., **288**, 324
 Kraft T., **130**, 241
 Krause M., 409
 Krause P., **369**
 Krauß F., 308, **321**
 Krawczyk C.M., 339, 346, **353**, 354, 355
 Kreck M., 204
 Kremers S., 455
 Kriegerowski M., **429**, **454**
 Krüger F., 137, 299, 425, 429, 506, **507**, 521
 Krüger H., 184
 Krüger K., 251, 252
 Kruschwitz S., **443**
 Kruse J.P., **108**
 Kubanek J., 349
 Kühl P., 171, 183, 386
 Kühn D., **337**
 Kuhn E., **205**
 Kuhn K., 250
 Kühn K., 283
 Kukowski N., 218, 441, 451, 452, 516
 Kulenkampff J., 263
 Kulikova G., 299, **506**, 507
 Kummerow J., 248, 293
 Kunert M., **254**
 Küperkoch L., 496
 Kurzmann A., 254, 423
 Kuvshinov A., 159, **175**, 176, 181
 Kwiatek G., 426
 Labitzke T., 240
 Labrenz J., **171**
 Lambotte S., 104
 Lambrecht L., **499**
 Landgraf A., 507
 Lange D., 296, 326
 Langenbach H., **491**
 Langhammer L., 192
 Langowski M., 180
 Larnier H., 274
 Laske G., **330**
 Lathion P., 192
 Lauritsen N., 438
 Lawton D., 320
 Lay M., **186**, 208, 209
 Lay V., 307, **320**
 Le Pichon A., 133
 Lebedev S., 322
 Leder J., 350
 Ledo J., 310
 Lee W.S., 150
 Lege T., **338**
 Lehmann K., **340**
 Lehr J., **329**
 Lehwald L., 285
 Lenhardt W., 335
 Li G., **257**
 Li H., 300
 Li Y., 436
 Liberty L., 271
 Limberg A., 206
 Lindau T., **266**
 Lindenfeld M., **258**
 Linder P., 376, 480
 Lindner F., **152**
 Link F., **327**
 Link T., **407**
 Linke M., 424
 Lippert K., **281**
 Lischper M., **399**
 Livengood T., 369
 Löberich E., 303
 Loewer M., **477**
 Lontsi A.M., **137**

Lorenz E., 343
 Lorenz H., 321
 Lott F., **131**
 Lotze M., 418
 Lovell M., **234**
 Löwer A., **219**
 Lu L., **403**
 Lühr B.-G., 163, 301
 Lühr H., 173
 Lührs M., **492**
 Lukács A., 307
 Lund B., 318
 Lüschen E., 422
 Lüschow V., **127**
 Maas C., **110**
 Mader S., **457**
 Madonna C., 242
 Mai F., **357**
 Malandraki O., 171
 Mann G., **383**, 390
 Mann R., 285
 Martin T., **250**, 278, **282**
 Marzen R., 330
 Matsuoka K., 428
 Matthä D., **406**, 408
 Matzka J., **179**, 182
 Maurer H., 188, 192, 242
 Maurer M., 283
 Maurice M., 107, 109
 Mayer J., **230**
 Maystrenko Y., 294
 Mechie J., **300**
 Mecking R., **202**
 Mede M., 186
 Mehler N., 203
 Meier M.M., 406, **408**
 Meier T., 147, 226, 227, 298, 322, 457, 458
 Meinhardt G., **394**
 Melikadze G., 272
 Menzel P., 449, 450
 Mertineit M., 493
 Mester A., 474
 Methe P., **218**, **441**, **516**
 Metzger S., 299
 Meyer H.-G., 451, 452
 Meyer M., 452
 Meyer R., 185
 Meyer U., **195**, 276, 278
 Michaelis I., 173
 Michalski A., **244**
 Miensopest M., **356**
 Mierschke V., 210
 Miller S.A., 268, 273
 Moeller M., **486**
 Moholdt G., 428
 Mokolke G., **305**, 433
 Molina-Cuberos G., 372
 Molina-Villegas J.C., 137
 Möller T., **410**
 Mooney W.D., 311
 Moran S., 344
 Mörbe W., **280**
 Moreno M., 342
 Morgenstern R., **420**
 Morschhauser A., 179, 182, 453
 Mosar J., 256
 Müller C., 346
 Müller-Huber E., **236**, **283**
 Müller-Petke M., 190, **483**, 484, 485
 Musmann P., **216**
 Muttaqien I., **440**
 Nagel S., 443
 Nair M., 159
 Najdahmadi S., **463**
 Naumann F., **271**
 Nawa V., **397**
 Neddermann N.-C., **176**
 Neff P., 167
 Negus Cleary M., 233
 Neuhaus M., 251, 252, 261
 Nickschick T., **214**
 Nicolson H., 139
 Nieder H., **177**, 178
 Niederleithinger E., 198, **199**, 213
 Niklas J., 251
 Nikolaou A., 365
 Nittinger C., **166**, **475**
 Noack L., 107, **363**
 Nolet G., 106
 Nowacki A., 105
 Nussbaum C., 432
 Nyblade A., 140
 Obermann A., **136**, 155, **241**
 Obert A., **484**
 Ochs J., **207**
 Oelke A., **248**
 Ohrnberger M., 137, 153
 Olbert K., 457, **458**
 Olesen O., 294
 Olsen N., 159
 Oschlisniok J., 370, **371**
 Osef J., 265
 Ossen D., **279**
 Ottowitz D., 336
 Oude Essink G., 211
 Overduin P., 153
 P. Morgan J., 295
 Paffrath M., **496**
 Palo M., 342
 Pappa F., **312**
 Paschke M., 218, **409**, 516
 Patzer C., 237, **238**
 Pätzold M., 361, 362, 368, 370, 371, 372
 Pauw P., 211
 Peikert J., **147**
 Perez-Gussinye M., **295**
 Perleth M., 148, **149**
 Perugia I., 259
 Peter D., 275
 Peter K., **372**
 Petersen F., 296
 Petzold H., 217
 Pfalzner S., 392, 396
 Pfeiler S., 336
 Pielawa J., 276
 Pirli M., 428

Pirson F., 202
 Planès T., 136
 Planke S., 246
 Plenefisch T., **243**
 Plesa A., 107, 109, 365
 Plonka C., 450
 Pohle M., 204
 Poletto F., 261
 Polom U., 339, **346**, 354
 Popov A.A., 160
 Posner A., 171
 Potgieter M., 386
 Poths M., 340
 Preiswerk L.E., **151**
 Preston J., 203
 Przyklenk A., 366, **442**
 Pulkkinen A., **101**
 Pütke C., 181
 Qian H., 300
 Queitsch M., 451, **452**
 Rabbel W., 202, 222, 223, 232, 247, 329, 411, 412, 498
 Rabenstein L., **192**
 Radic T., **479**, **481**
 Rahner R., **360**
 Ramalho R.S., 313
 Ratschbacher L., 299
 Rauberg J., 173
 Rauer H., 359, 360
 Reddmann T., 177
 Reiche S., 504
 Reichel H., **144**, 169
 Reimann P., 208, **209**
 Reiß A.-S., **117**, 167
 Reiss M.C., **413**
 Remus S., 370
 Repke J.-U., 488
 Reshetnikov A., 248
 Rezaii N., **489**
 Ricard Y., 104
 Richter I., 366
 Riedel M., 285, **504**
 Rippe D., 240
 Ritsema J., 122
 Ritter J.R.R., 131, 301, 461
 Ritter O., 237, 238, **239**
 Rivera L., 120
 Rivoldini A., 363
 Rochlitz R., **277**
 Rolf C., 452
 Rolf T., 114
 Rondenay S., 313
 Ros E., 295
 Rosca A., 290
 Roß O., 430
 Rost S., **105**, **304**
 Roth L., 377
 Roth M., 337
 Rothmund S., **334**, 490
 Roux P., 135, 306
 Rücker C., **189**, 208, 217
 Ruedas T., **129**, 365
 Ruigrok E., 138
 Ruiz-Aguilar D., **439**
 Rulff P., **473**
 Rummel L., **164**
 Rumpker G., 102, 258, 288, 324, 327, 351, 413
 Ryberg T., 153
 Sabaka T., 159
 Sager K., 145, **156**
 Saillhac P., 274
 Saint Fleur N., **341**, 347
 Saki M., **118**
 Salamon M., 340
 Salazar P., 293
 Salvermoser J., **142**
 Salzer J., **344**
 Sánchez-Sesma F.J., 137
 Sangin S., **272**
 Santoyo Campos J.C., 305, 336, **490**
 Sarlanis C., 171
 Saul J., 342
 Saur J., 367, 373, 377, 378, 394, 398, 401, 404, 407
 Sauter M., 269, 270
 Schaer P., 192
 Schaller T., 314, **448**
 Scheck-Wenderoth M., 158
 Schefer S., 432
 Scheinert M., 448
 Schennen S., **193**
 Scherer K., **391**
 Schicht T., 197
 Schierhold K., 229
 Schiffler M., **451**, 452
 Schill E., **274**
 Schleifer A., 261
 Schliffke N., **123**
 Schlittenhardt J., 143
 Schmalzl J., 285, 520
 Schmeling H., 107, 108, 292
 Schmidt A., **519**
 Schmidt B., 143, 289
 Schmidt L.M., 284
 Schmidt S., 283, 449, 450
 Schmidt V., 229, 231, 493, 520
 Schmidt-Aursch M., **150**
 Schmidt-Hattenberger C., 188, 240
 Schmitt D.R., 271, 307, 320
 Schnabel M., 333
 Schneider F., 144, **169**, **259**
 Schneider M., 451
 Schneider S., 285
 Schnepf N., 159
 Scholz F., 376, 480
 Schön J., 236
 Schramm M., 493
 Schreiner A., **401**
 Schreiter L., **247**
 Schroeder M., 163
 Schroth E., **168**
 Schuberth B.S.A., **106**, 112
 Schumacher F., **462**
 Schumacher L., **103**
 Schurr B., **299**, 342
 Schütze C., **204**
 Schwamborn G., 193
 Schwarz B., 414, **415**, 416, 417, 418

Schwarze C., 218
 Schweitzer J., **428**
 Schwellenbach I., **345**
 Schwenn R., **389**
 Sebera J., 495
 Seidel M., **471**
 Seisa H.H., 224, **262**
 Seitzer B., 285
 Senoz M., **332**
 Sens-Schönfelder C., 141, 301, **460**
 Seupel C., **502**
 Shapiro S.A., 248, 260, 293, 435
 Shervais J.W., 271
 Shimoda N., 260
 Sick B., 433, **434**
 Sieber S., **213, 511**
 Siegesmund S., 227
 Siemon B., **211**, 212, **276**, 278
 Simon H., **308**, 319, 321
 Singh S., 225
 Sinnhuber M., 177, 178, 180
 Smirnov M., 468
 Snieder R., 460
 Sobh M.¹, **317**
 Sobiesiak M., **314**
 Sobott R., 227
 Sonnabend G., 369
 Sonnabend L., **200**
 Sonnemann T., **233**
 Soomro R., 322
 Sornig M., 369
 Spangenberg E., 263
 Spiegelman M., 107
 Spieker K., **313**
 Spies T., 143
 Spitzer K., 437, 469, 470, 488
 Spohn T., 364, 365
 Stadler S., **476**
 Stähler S.C., 142, 460
 Stamm M., **221**
 Stammler K., **132**
 Stangier T., 369
 Stebner H., **445**
 Steigies C., 172, **402**
 Stein C., 113, 123, **124**
 Steinberg A., 425
 Steinkraus T., **227**
 Stellmach S., **405**, 520
 Stephen R.A., 140
 Steuer A., 211, 212, 276, **278**, 475
 Stierle E., **426**
 Stolle C., **173**, 179, 182
 Stolz R., 451, 452
 Stracke B., 365
 Strangfeld C., 443
 Strobel D.F., 378
 Su Y., 381
 Sudhaus H., **425**
 Supper R., 336
 Swoboda U., **201**
 Sylla A., **387**
 Szwillus W., 315
 Tabataba-Vakili F., 359
 Tan X., **474**
 Taranczewski T., 257
 Taylor G., 304
 Tellmann S., **368**, 370, 371, 372
 Temmer M., **170**, 400
 Tezkan B., 228, 279, 280, 281, 436, 439, 440, 446,
 467, 471, 472, 491
 Theesen S., **384**
 Thelen W.A., 344
 Thiel N., **423**
 Thiemann K., 197
 Thieulot C., 107
 Thomas C., 103, 117, 118, **121**, 122, 125, 126, 167,
 313, 352, 520
 Thomas R., 422
 Thompson D., 304
 Thomsen C., 196
 Thorne M., 105
 Thorwart M., 247, 329
 Tietze K., **237**, 238
 Tilmann F., 141, **342**
 Tischner T., 243
 Tosi N., 107, **109**, **365**
 Townend J., 320
 Treichel A., **187**
 Tronicke J., **191**, 193, 194, **521**
 Trümper T., 127
 Tyler G.L., 368
 Ueding S., 285
 Ullmann A., **212**
 Umlauf J., **154**
 Utada H., 309
 Vales D., 465
 Valley B., 242
 van Baaren E., 211
 van der Kruk J., 474, 511
 Van Hoolst T., 363
 van Manen D.J., 500
 van Treeck S., **220**
 Vanelle C., 416, **515**
 Vasterling M., 289
 Vavryčuk V., 302, 303, 426
 Veeken P., 237
 Vera E., 326
 Vereecken H., 187
 Verhoeven J., 405
 Veronig A., 400
 Versick S., 177
 Vienken T., 204, 275
 Vincke K., **392**
 Virgil C., 251, **252**, 261
 Vogt A., **386**
 von Papen M., 404
 Vött A., 222
 Vouillamoz N., **256**, **336**
 Wächter J., 163
 Wadas S., **339**, **354**
 Wagner F.M., **188**, 189, 240
 Walda J., **417**
 Wallner H., 107, **292**
 Walter F., 151, 152
 Walter M., 184, 432, 433
 Walter T.R., 344, **348**, 447

Wang R., 342
 Wapenaar K., 138
 Warmuth A., **390**
 Wawrzinek B., **422**
 Weckmann U., 473
 Weemstra C., **138**
 Wegler U., 243, 289, 290, 325
 Wehling-Benatelli S., 496
 Weidle C., 322
 Weigand M., 220, 221
 Weil-Accardo J., 341
 Weinstock L.S., 376, **480**
 Weis K., 391
 Weise B., **494**
 Weißflog J., **470**
 Wellbrink M., 243
 Weller A., 272, 486, 487
 Wellmann J.F., 511
 Wennmacher A., 518
 Wenzel D., **174, 393**
 Wenzel F., 349, 350
 Werban U., 204
 Werner S., 114
 Werner T., 418
 Westerhaus M., 168, 349
 White R., 164
 Wickmann S., 480
 Widmer-Schnidrig R., **120**, 134
 Wiebusch C., 376, 480
 Wiederhold H., 196, 212
 Wiegand M., 369
 Wiegelmann T., 382
 Wiemer S., 241, 242
 Wiengarten T., 385
 Wiens D.A., 140
 Wiese B., 188
 Wiesehöfer T., 405
 Wiesenberg L., **226**
 Wiggerhauser H., 199
 Wigger P., 293
 Wilhelms W., **437**
 Wilken D., 203, 232
 Willershäuser T., 222
 Winter H., 258, 438
 Wischnewski C., 369
 Wissing J.M., 178
 Wissmath S., **416**
 Witasse O., 372
 Witt T., **447**
 Wittkamp F., **419**
 Wittke J., **467**
 Wlecklik D., 287
 Woith H., 163
 Wölbern I., **102**, 351
 Wolf A., 196
 Wöstmann J., 443
 Wunderlich T., **203, 222**, 223, **232**
 Wünnemann K., **114, 374**
 Wust-Bloch G.H., 256
 Xiong C., 173
 Yan X., 381
 Yaramanci U., 512
 Yogeshwar P., 228, 279, 280, 471, 472
 Yuan X., 298, 299
 Yun S., 150
 Zaksek K., **343**
 Zander T., 264
 Zaroli C., 104, 106
 Zehner B., 424
 Zhang Y., 299, 342
 Zhao W., 300
 Zhao X.H., **382**
 Zhu M.-H., 114, 374
 Ziane D., **146**
 Zieger T., **301**
 Zierke S., **376**, 480
 Ziesch J., 422
 Zimmermann E., 474
 Zoporowski A., 513
 Zori D., 232
 Zschoke H.K., **319**
 Zschornack L., 204
 Zürn W., 120

16th March 2016 12:00 -13:00
Seminarraum 315, Corrensstraße 24,
Münster

Who should attend:

Students as well as geoscientists and engineers involved or interested in the oil and gas industry, of age below 36 (Young Professionals). Attendees from similar industries and disciplines are likewise welcome!



German Section

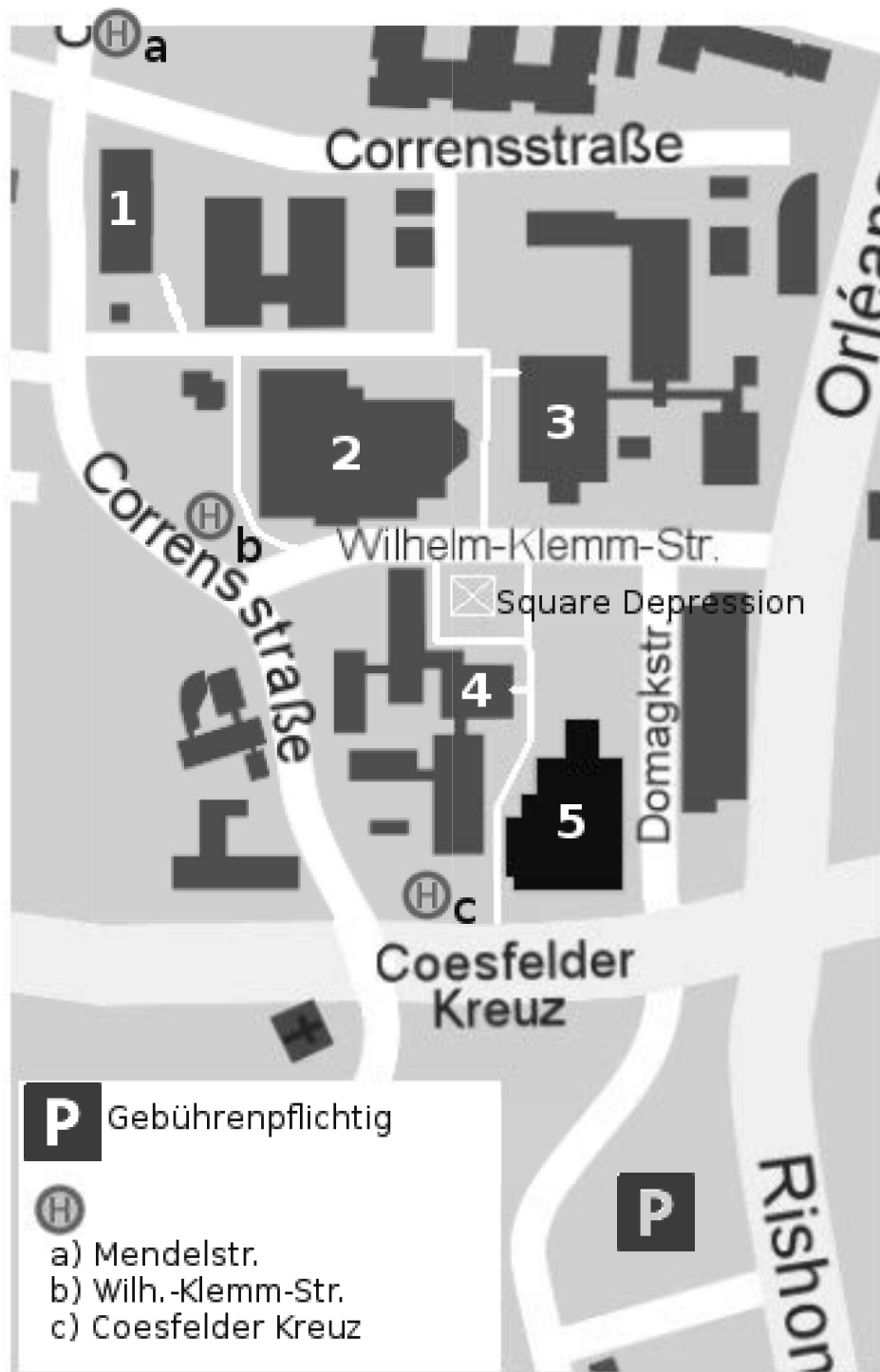
Young Professionals' Lunch'n'Learn

Are you interested in having lunch with other colleagues of your age and experience while discussing industry and career topics with experienced professionals in a relaxed setting? Then, this Young Professionals' luncheon held in the lunch time during the annual DGG conference in Münster on the 16th of March 2016 provides an excellent opportunity for you!

Young Professionals will provide insights into their career development and will answer all your questions in a private atmosphere with free-of-hierarchy communication and exchange with the attendees.

Fees: free of charge for YPs

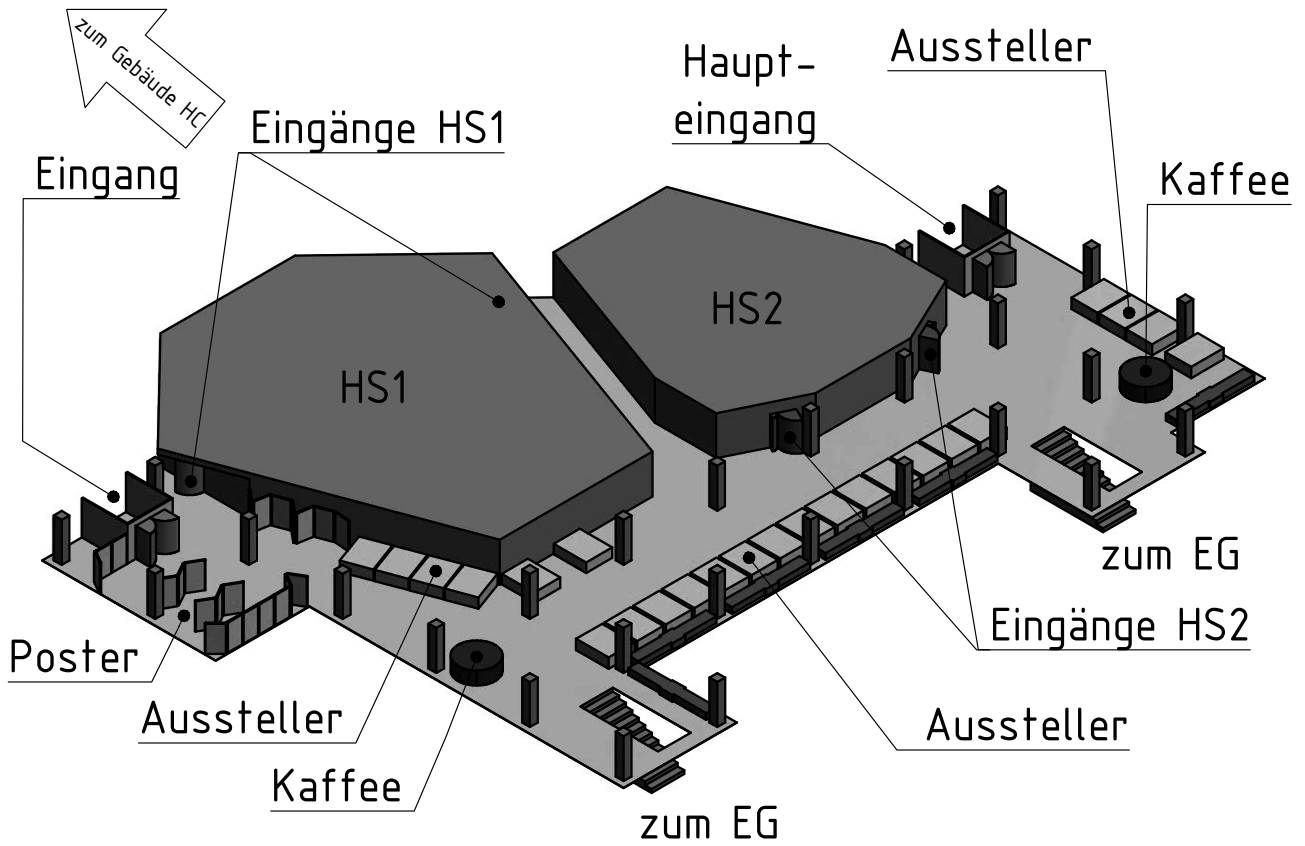
Lageplan Naturwissenschaftliches Zentrum



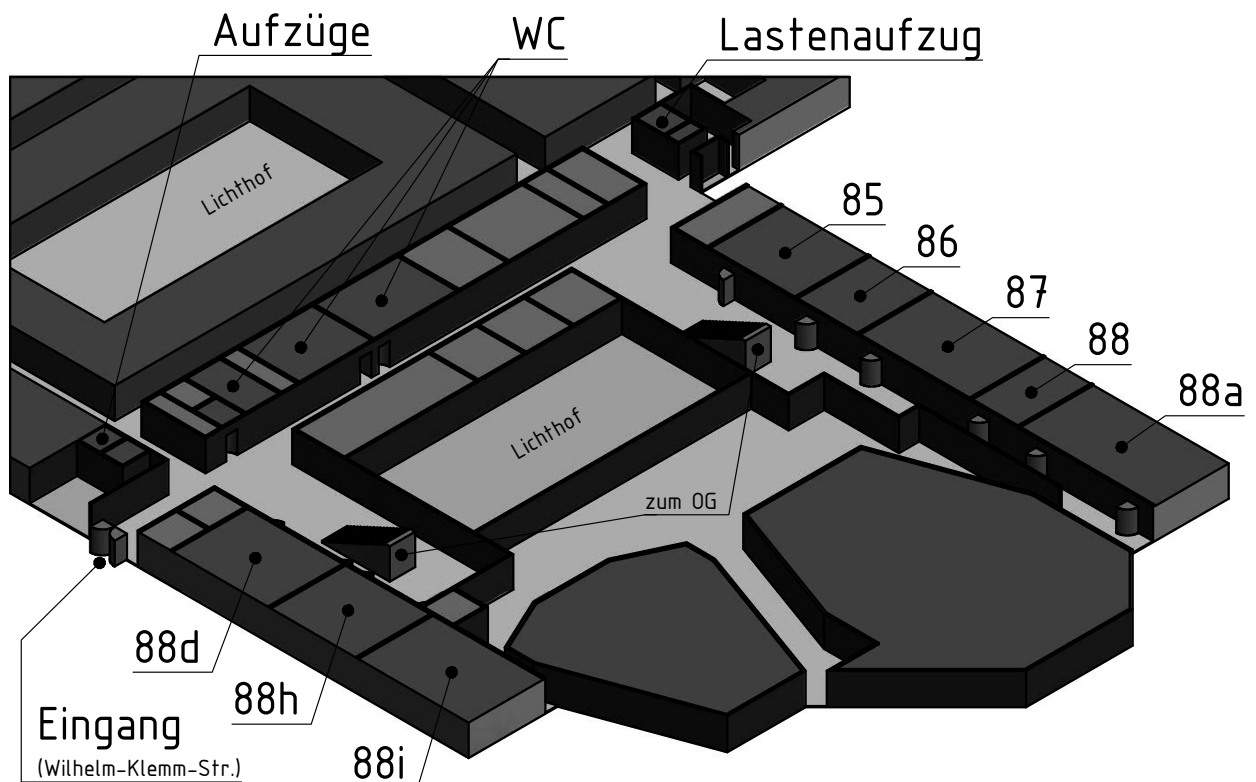
- 1 – Institut für Geophysik (SR 315)
- 2 – IG 1 (HS 1, HS 2, 85, 86, 87, 88, 88a, 88d, 88h, 88i)
- 3 – Hörsaalgebäude der chemischen Institute (HC)
(A1, A2/3, C1, C2, O1, O2, Tagungsbüro, Garderobe)
- 4 – Hörsaal Angewandte Physik (HSAP)
- 5 – Mensa / VIVa Café

Hörsäle und Sitzungsräume IG1

Obergeschoss

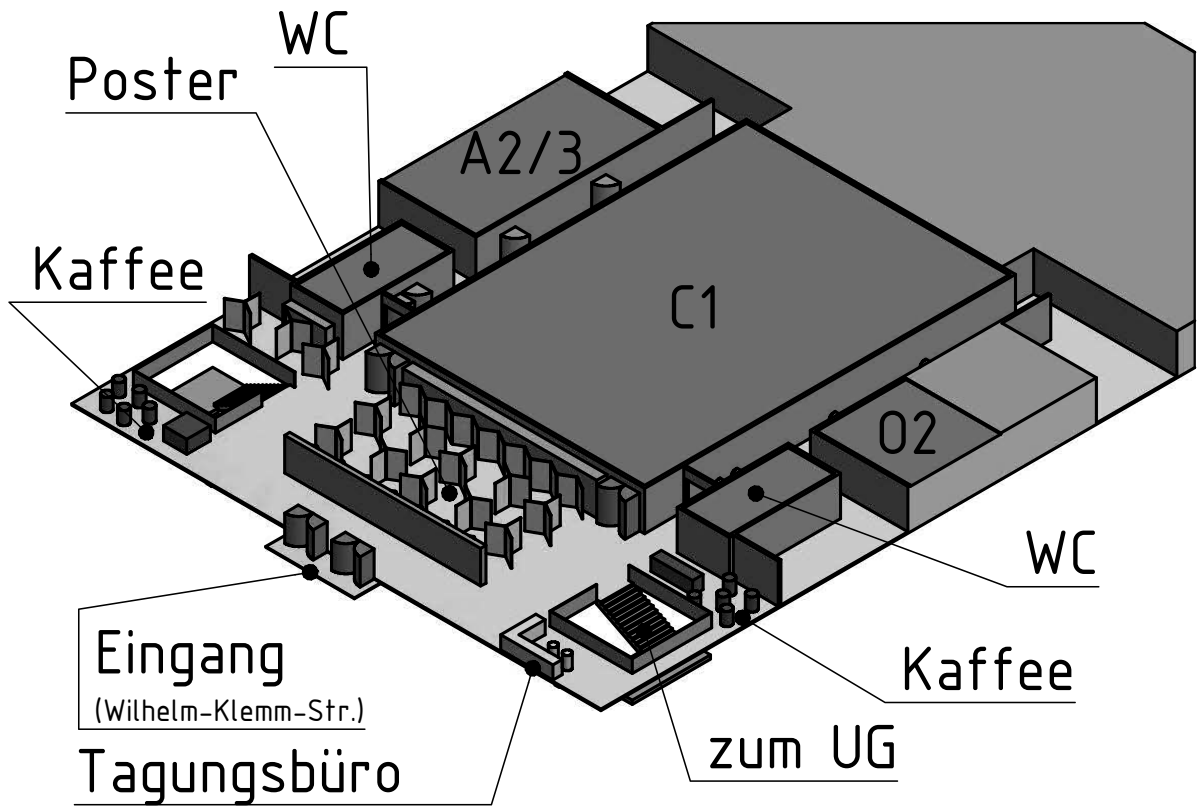


Untergeschoss

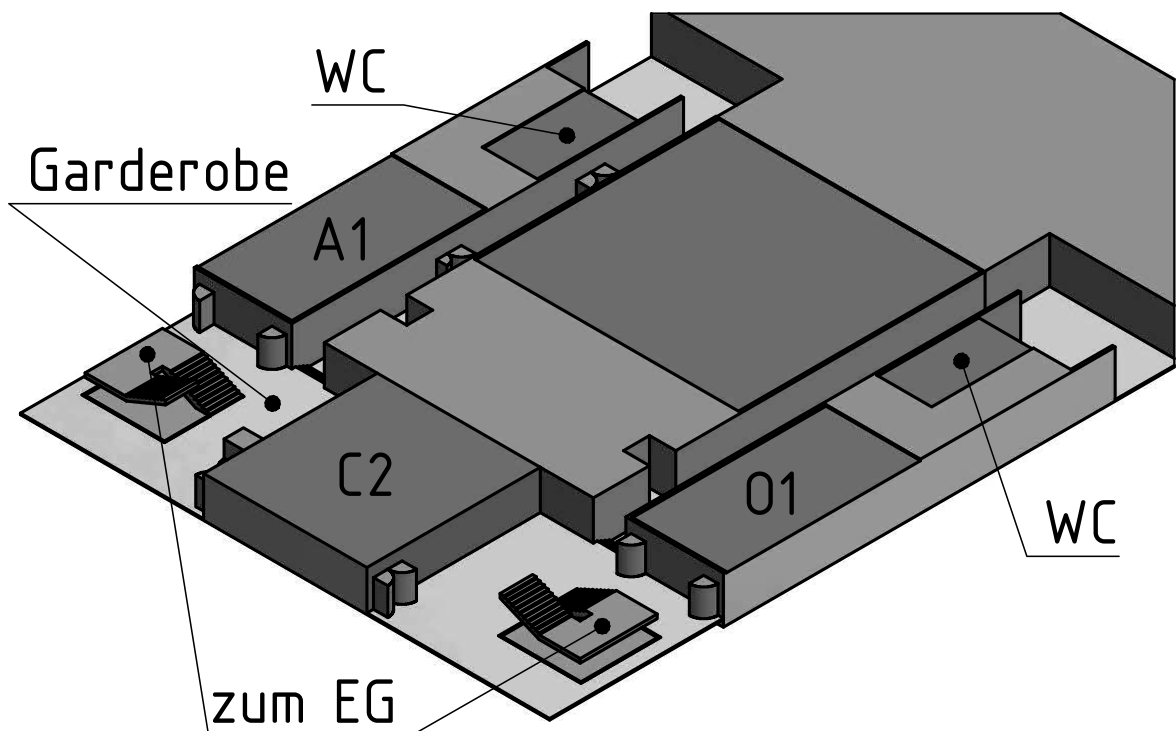


Hörsaalgebäude der chemischen Institute (HC)

Erdgeschoss



Untergeschoss



**Wir bedanken uns bei allen
Sponsoren und Ausstellern für ihre
Unterstützung der Tagung**

Allied Associates Geophysical Ltd.
Beta Analytic Ltd.
Cambridge University Press
CDM Smith Consult GmbH
CGG
DEA Deutsche Erdoel AG
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
DMT GmbH & Co. KG
EAGE
Ebinger Prüf- und Ortungstechnik GmbH
Geosym GmbH
Geotomographie GmbH
GGL Geophysik und Geotechnik Leipzig GmbH
GRAVITY CONSULT GmbH
Guralp Systems Ltd.
IGM GmbH
Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG
K. A. Tauber Spezialbau GmbH & Co. KG
Lennartz Electronic GmbH
Nanometrics Inc.
NTK "Diogen"
Sensors & Software Europe
Seismic Solutions GbR
SENSYS Sensorik & Systemtechnologie GmbH
Sonicon GbR
Society of Exploration Geophysicists
Sparkasse Münsterland-Ost
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Transient Technologies