



66. Jahrestagung
der
Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft



Bremen
6. - 9. März 2006

Recommended citation

Deutsche Geophysikalische Gesellschaft (Ed.) (2006): 66. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft: 6.–9. März 2006 in Bremen, Bremen: Universität, 610 p.
DOI: <http://doi.org/10.2312/dgg66>
ISSN: 0344-7251

66. Jahrestagung der
Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft
Bremen
6. - 9. März 2006

Veranstalter

Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V.
Geschäftsstelle:
Dr. Marco Bohnhoff
c/o GeoForschungsZentrum Potsdam
Telegrafenberg
14473 Potsdam
Telefon: (0331) 288 1327
Fax: (0331) 288 1328
E-mail: bohnhoff@gfz-potsdam.de
Internet: www.dgg-online.de

Ausrichter

Universität Bremen
Fachbereich Geowissenschaften
Klagenfurter Straße
28359 Bremen
Telefon: (0421) 218 4509
Fax: (0421) 218 7163
Internet: www.geo.uni-bremen.de

Internetadresse der Tagung

www.dgg2006.uni-bremen.de

Organisationsteam und Ansprechpartner

Tagungsleiter	H. Villinger	(0421) 218 4509	vill@uni-bremen.de
Stv. Tagungsleiter	T. v. Dobeneck	(0421) 218 3937	dobeneck@uni-bremen.de
	V. Spieß	(0421) 218 3387	vspiess@uni-bremen.de
	K. Huhn	(0421) 218 65860	khuhn@uni-bremen.de
Programm	T. v. Dobeneck	(0421) 218 3937	dobeneck@uni-bremen.de
Firmenausstellung	N. Kaul	(0421) 218 7162	nkaul@uni-bremen.de
Webseite	F. Schmieder	(0421) 218 2280	schmiede@uni-bremen.de
	H. Piero	(0421) 218 3929	hpiero@uni-bremen.de
Abstractband	F. Schmieder	(0421) 218 2280	schmiede@uni-bremen.de
	H. Piero	(0421) 218 3929	hpiero@uni-bremen.de

Dank an L. Brück, M. Fabian, T. Frederichs, S. Krastel, M. Milling-Goldbach und A. Rinkel

Tagungsort

Universität Bremen
Enrique-Schmidt-Straße
Seminar- und Forschungsverfügungsgebäude (SFG)
www.uni-bremen.de/lageplan/

Tagungsbüro

wiTago, Tel.: (0421) 64 91 07 - 70, Fax: (0421) 64 91 07 - 80, registration@witago.de, www.witago.de. Tagungsbüro im Tagungsgebäude SFG ab 6.3.06, 8:00-16:00 Uhr.

Inhaltsverzeichnis

Einladung zur Mitgliederversammlung	6
Allgemeine Hinweise für Tagungsteilnehmer	7
Sponsoren der Tagung	10
Ausstellende Firmen	12
Werbung	14
Tagungsprogramm	26
Beitragsverzeichnis	40
Abstracts	53
Plenarvorträge	53
Session A	63
Session B	135
Session C	217
Session D	267
Session E	329
Postersession A	363
Postersession B	413
Postersession C	473
Postersession D	505
Postersession E	567
Autorenverzeichnis	595
Lage- und Gebäudepläne	602
Der Campus der Universität Bremen	602
Gastronomie in der Nähe des Tagungsortes	604
Lagepläne des Tagungsgebäudes	605
Fahrplan der Straßenbahnlinie 6	608

Einladung zur Mitgliederversammlung

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

Im Namen des Vorstandes der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (DGG) lade ich alle Mitglieder der DGG zur Mitgliederversammlung ein, die im Rahmen unserer Jahrestagung 2006 am

Mittwoch, 8. März 2006 ab 18:00 Uhr

in Bremen im großen Hörsaal der Universität gegenüber dem Tagungsort stattfinden wird. Um zahlreiches Erscheinen wird gebeten.

Tagungsordnung:

TOP 1: Begrüßung, Feststellung der fristgerechten Einberufung und der Beschlussfähigkeit

TOP 2: Genehmigung der Tagesordnung

TOP 3: Genehmigung des Protokolls der Mitgliederversammlung am 24. Februar 2005 in Graz

TOP 4: Bericht des Präsidenten

TOP 5: Bericht des Geschäftsführers

TOP 6: Bericht des Schatzmeisters

TOP 7: Bericht der Kassenprüfer und Entlastung des Schatzmeisters

TOP 8: Bericht des deutschen Herausgebers des Geophysical Journal International

TOP 9: Bericht der Redaktion der DGG-Mitteilungen

TOP 10: Kurzberichte der Vorsitzenden/Sprecher der DGG-Komitees und Arbeitskreise

Komitees: Publikationen, Öffentlichkeitsarbeit, Internet, Ehrungen, Mitglieder, Studierende, Studienfragen, Firmen, Kooperationen

Arbeitskreise: Angewandte Geophysik, Elektromagnetische Tiefenforschung, Dynamik des Erdinnern, Digitale Seismologie, Hydro- und Ingenieurgeophysik, Geothermie, Geschichte der Geophysik

TOP 11: Aussprache

TOP 12: Anträge und Beschlüsse

TOP 13: Entlastung des Vorstandes

TOP 14: Wahlen

TOP 15: Bestätigung des Vorstandes

TOP 16: Wahl der Kassenprüfer

TOP 17: Verschiedenes

Anmeldung zur Tagung

Die Tagungsleitung bittet um frühzeitige Anmeldung zur Tagung mit dem Online-Formular auf der Internetseite der Tagung www.dgg2006.uni-bremen.de. Bei Online-Anmeldung kann der Tagungsbeitrag per Lastschrift oder Kreditkarte bezahlt werden. Überweisungen sind nur in Ausnahmefällen möglich. Anmeldungen in Papierform sind nur in Ausnahmefällen möglich. Lokale Anmeldung, Ausgabe der Tagungsunterlagen usw. erfolgen ab Montag, den 6.3.2006, 8:00 Uhr im Tagungsbüro am Tagungsort.

Tagungsgebühren:

DGG - Mitglieder	95,00 €
Nichtmitglieder*	125,00 €
Studierende Mitglieder	10,00 €
Studierende Nichtmitglieder*	20,00 €
Begleitpersonen**	25,00 €
Tageskarte	40,00 €
Tageskarte für Studierende	8,00 €

Für Stornierungen nach dem 1.2.2006 wird eine Stornogebühr von 30,00 € erhoben.

* Der Differenzbetrag zwischen Mitgliedern und Nichtmitgliedern wird bei einem Beitritt zur DGG auf einen Jahresbeitrag angerechnet.

** Berechtigt zu der Teilnahme an der Eröffnungsveranstaltung und der Abendveranstaltung.

Unterkünfte

Informationen zu Übernachtungsmöglichkeiten in Bremen finden sie entweder bei www.bremen.de oder über den Menüpunkt »Hotelbuchung« auf der Webseite der Tagung. Eine frühzeitige Reservierung wird unbedingt empfohlen.

Zuschüsse für Studenten

Studenten können bei der DGG Zuschüsse zu ihren Reisekosten erhalten, falls sie an der Tagung mit einem Vortrag oder Poster teilnehmen. Ein formloser Antrag ist unter Angabe des Tagungsbeitrages sowie des gewünschten Umfangs des Zuschusses bis 15.1.2006 an den Vorstand der DGG zu richten.

Firmenausstellung

Firmen, Institute und sonstige Organisationen stellen von Dienstag, 7.3., bis Donnerstag, 9.3., im Tagungsgebäude (SFG) ihre tagungsbezogenen Dienstleistungen und Informationen aus. In den Gebäudeplänen sind die Firmenstände eingetragen.

Begrüßungsabend

Der Begrüßungsabend zur Tagung findet am Sonntag, den 5.3.2006, ab 18:00 Uhr in der »Ständigen Vertretung« (Böttcherstraße, ganz in der Nähe des Bremer Marktplatzes, www.staev.de/staev-bremen/index1.html), statt.

Eröffnungsveranstaltung

Die feierliche Eröffnungsveranstaltung wird am 6.3.2006 um 15:00 gegenüber dem Tagungsort im Großen Hörsaal der Universität stattfinden. Das Programm beinhaltet Grußworte der Tagungsorganisatoren, der Repräsentanten der Universität Bremen, der Freien Hansestadt Bremen sowie des Präsidenten der DGG. Des Weiteren werden Ehrungen und Verleihungen der Preise der DGG stattfinden.

Eröffnungsvortrag

Den Eröffnungsvortrag wird Herr Prof. Dr. Mark Zoback von der Stanford University halten. Das Thema seines Vortrags lautet: »Scientific Drilling into the San Andreas Fault«. Der Eröffnungsvortrag wird am 6.3.2006 im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung im Großen Hörsaal der Universität stattfinden.

Geselliger Abend

Der traditionelle Gesellschaftsabend der DGG findet am Montag, den 6.3.2006, ab 19:00 Uhr auf Einladung des Bremer Senators für Bildung und Wissenschaft, Herrn Willi Lemke, als Senatsempfang in der »Oberen Rathaushalle« des Bremer Rathauses statt. Es werden Getränke und ein Imbiss gereicht.

Öffentlicher Abendvortrag

Der traditionelle Abendvortrag der DGG findet am Dienstag, den 7.3.2006 um 20:00 Uhr in der Bremer Kunsthalle statt (www.kunsthalle-bremen.de). Der Abendvortrag richtet sich auch an die Öffentlichkeit. Den Abendvortrag wird Herr Prof. Dr. J. Zschau (GFZ) zum Thema »Tsunami: Warum eine Gefahr zur Katastrophe wird« halten.

Plenarvorträge

In den DGG Tagungen werden regelmäßig Plenarvorträge gehalten, die eine Übersicht und den aktuellen Stand zu einzelnen Forschungsgebieten darstellen. Die sechs Plenarvorträge sind geplant am 6.3. um 14:00 Uhr, am 7. und 8.3.2006 um 8:30 und 14:00, sowie am 9.3. um 8:30, Details finden Sie in den Abschnitten »Tagungsprogramm« und »Abstracts«.

DGG-Kolloquium

Das alljährliche DGG-Kolloquium findet am Mittwoch, den 8.3.2006, im Großen Hörsaal der Universität statt. Das Rahmenthema lautet »Georadar: Grundlagen, Einsatzmöglichkeiten, Ergebnisse und Forschungsbedarf«, Details finden Sie im Abschnitt »Tagungsprogramm«. Zum Kolloquium wird ein spezieller Sonderband der Mitteilungen der DGG erscheinen, in dem die Vorträge in gekürzter Form abgedruckt werden. Dieser Sonderband wird zum Preis von 5,00 € am Tagungsbüro erhältlich sein.

Postersession

Die Postersessions finden am 7. und 8.3.2006 zwischen 16:00 und 18:00 Uhr in den Räumen 0140, 0150, 1020, 1030 und 1040 im Tagungsgebäude SFG statt. Alle Poster hängen während der gesamten Tagung aus.

Hinweise für Vortragende und Sitzungsleiter

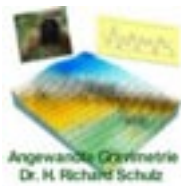
Ein Vortrag dauert 15 Minuten. Anschließend sind 5 Minuten für die Diskussion vorgesehen. Die Vortragenden werden entsprechende Hinweise zum Zeitverbrauch vom Sitzungsleiter/in erhalten. Überziehung der Vortragszeit geht auf Kosten der Diskussionszeit. Die Zeiten sollten unbedingt eingehalten werden, um die Synchronisation der Parallelsitzungen zu gewährleisten und nachfolgende Vortragende nicht zu benachteiligen.

Rahmenprogramm

Zusätzlich zu den angebotenen Programmen bei der Tagung besteht die Möglichkeit, während der Tagung verschiedene Angebote wahrzunehmen:

- Besuch des Fallturms mit Führung (bereits ausgebucht)
(www.zarm.uni-bremen.de)
- Besuch des Universum Science Center
(www.universum-bremen.de)
- Sightseeing Tour mit Führung durch die Bremer Altstadt

Sponsoren der DGG 2006



Angewandte Gravimetrie
Dr. H. Richard Schulz
Steg 8
74538 Rosengarten
www.angewandte-gravimetrie.de



ANTARES Datensysteme GmbH
Umwelt- und Geotechnik
Rudolf-Diesel-Str. 6-8
28816 Stuhr, Germany
www.antares-geo.de



ATLAS Hydrographic GmbH
Kurfürstenallee 130
28211 Bremen
www.atlashydro.com



Briese Schiffahrts GmbH & Co. KG
Hafenstraße 12
26789 Leer
www.briese.de



COMSOL Multiphysics
(FEMLAB GmbH)
Berliner Str. 4
37073 Göttingen
www.comsol.de



CPU
Dr. Christian Prüber Unterwassertechnik
Alwinenstr. 5
28203 Bremen
www.cpu-bremen.de



Deutsche Montan Technologie GmbH
Am Technologiepark 1
45307 Essen
www.dmt.de



FIELAX
Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung
mbH
Schifferstrasse 10 - 14
27568 Bremerhaven
www.fielax.de



GeoPro GmbH
St. Annenufer 2
20457 Hamburg
www.geopro.com



Innomar Technologie GmbH
Sabine Müller
Schutower Ringstraße 4
18069 Rostock
www.innomar.com



J. Bornhöft Industriegeräte GmbH
Alte Eichen 1
D- 24113 Kiel
www.bornhoeft.de



Nautilus Marine Service GmbH
Blumenthalstrasse 15
28209 Bremen
www.nautilus-gmbh.de



Sea & Sun Technology GmbH
Meeres-, Solar- und Umwelttechnik
Erfurter Str. 2
24610 Trappenkamp
www.sea-sun-tech.com

Ausstellende Firmen der DGG 2006 *(alle Firmen im SFG)*

Allied Associates Geophysical Ltd.

Büro Deutschland
Postfach 1141
46301 Dorsten
www.allied-germany.de

Foyer Ebene 0

Angewandte Gravimetrie

Dr. H. Richard Schulz
Steg 8
74538 Rosengarten
www.angewandte-gravimetrie.de

Raum 1040

ANTARES Datensysteme GmbH

Umwelt- und Geotechnik
Rudolf-Diesel-Str. 6-8
28816 Stuhr, Germany
www.antares-geo.de

Raum 1040

ATLAS Hydrographic GmbH

Kurfürstenallee 130
28211 Bremen
www.atlashydro.com

Cafeteria

Briese Schifffahrts GmbH & Co. KG

Hafenstraße 12
26789 Leer
www.briese.de

Cafeteria

COMSOL Multiphysics

(FEMLAB GmbH)
Berliner Str. 4
37073 Göttingen
www.comsol.de

Raum 1040

CPU**Dr. Christian Prüber Unterwassertechnik**

Alwinenstr. 5
28203 Bremen
www.cpu-bremen.de

Foyer Ebene 1

Deutsche Montan Technologie GmbH

Am Technologiepark 1
45307 Essen
www.dmt.de

Raum 0140

**European Association of Geoscientists
& Engineers (EAGE)**

Standerdmolen 10, 3995 AA Houten, PO Box 59
3990 DB Houten, The Netherlands
www.eage.org

Raum 0140

**FIELAX - Gesellschaft für wissenschaftliche
Datenverarbeitung mbH**

Schifferstrasse 10 - 14
27568 Bremerhaven
www.fielax.de

Foyer Ebene 1

Inst. Dr. Foerster GmbH & Co. KG

In Laison 70
72766 Reutlingen
www.foerstergroup.de

Raum 0130

GeoPro GmbH

St. Annenufer 2
20457 Hamburg
www.geopro.com

Cafeteria

Koordinierungsbüro Geotechnologien

Telegrafenberg A6
14473 Potsdam
www.geotechnologien.de

Cafeteria

Geotomographie

Dr. Thomas Fechner
Am Tonnenberg 18
56567 Neuwied
www.geotomographie.de

Raum 1030

Geo-Services GmbH

Neue Bergstraße 9-13
64665 Alsbach-Hähnlein
www.geo-services.de

Raum 0140

Harbourdom

Riehler Platz 1
50668 Köln
www.harbourdom.de

Raum 0140

Hydro-Bios

Uwe Fischer
P.O. Box 8008
24154 Kiel
www.hydrobios.de

Raum 1040

IGM GmbH

Untere St.-Leonhard-Str. 16
88662 Überlingen
www.igm-geophysik.de

Raum 0140

Innomar Technologie GmbH

Schutower Ringstraße 4
18069 Rostock
www.innomar.com

Raum 0150

J. Bornhöft Industriegeräte GmbH

Alte Eichen 1
24113 Kiel
www.bornhoeft.de

Cafeteria

K.U.M. GmbH

Wischhofstrasse 1 – 3, Geb. D5
24148 Kiel
www.kum-kiel.de

Raum 0150

MBT GmbH

Wischhofstrasse 1-3, Geb. 1
24148 Kiel
www.m-b-t.com

Raum 0150

Nautilus Marine Service GmbH

Blumenthalstrasse 15
28209 Bremen
www.nautilus-gmbh.de

Raum 1030

Omniquest

Arndtstraße 5
04275 Leipzig
www.omniquest.nl

Raum 0140

Optimare Sensorsysteme AG

Am Luneort 15a
27572 Bremerhaven
www.optimare.de

Foyer Ebene 0

OSAE - Offshore Survey and Engineering

Gesellschaft für Seevermessung mbH
Fahrenheitstr. 7
28359 Bremen
www.osae.de

Cafeteria

RF Forschungsschiffahrt GmbH

Blumenthalstr. 15
28209 Bremen
www.rf-bremen.de

Raum 0150

Sea & Sun Technology GmbH

Meeres-, Solar- und Umwelttechnik
Erfurter Str. 2
24610 Trappenkamp
www.sea-sun-tech.com

Raum 1040



**Briese Schiffahrts GmbH & Co. KG
Abteilung Forschungsschifffahrt**

Hafenstraße 12 • 26789 Leer/Germany
Tel.: +49 (0) 491 - 92 520-160
Fax.: +49 (0) 491 - 92 520-169
E-Mail: research@briese.de
www.briese.de

- Management of german state owned research vessels
- selection and recruitment of duly qualified and experienced crew
- interface for partners from shipping and science
- design, creation and realization of logistic models



Gravity Consult GmbH

Ingenieurbüro für Geodynamik, Berlin - Jena

Gravimeter – Seismometer - Service



ZLS Corporation



Komplette Mess-Systeme und Beratungsleistungen:
Standortuntersuchungen und Begutachtungen
Anfragen: info@gravity-consult.de

Gravity Consult GmbH Imchenallee 23d 14089 Berlin

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



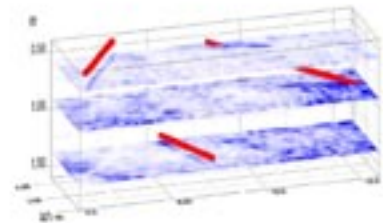
**Magnetik - Geometrics
G-858 (Cäsium)**



**Georadar - GSSI
UtilityScan**



**Software - GSSI
RADAN6**



**Magnetik - Förster
Ferex (Fluxgate)**



**Gravimetrie - Scintrex
CG-5 Autograv**



**Geoelektrik - Campus
Ohmega**



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



**Seismik - Geometrics
GEODE**

ALLIED ASSOCIATES GEOPHYSICAL LTD.

Büro Deutschland
Halterner Straße 125
46284 Dorsten

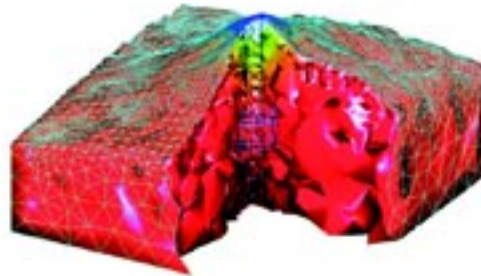
Tel.: +49-(0)2362-790652

Fax: +49-(0)2362-790653

Mobil: +49-(0)170-9317439

susanne@allied-germany.de

www.allied-associates.co.uk



Gekoppeltes 3D-Modell

Große Performance für die Lösung komplexer Modelle.

Anspruchsvolle Aufgaben erfordern
innovative Software:

Mit COMSOL Multiphysics™, dem Nachfolge-
produkt von FEMLAB, können Sie beliebige
Kopplungen physikalischer Phänomene
durchführen.

Analysieren Sie Elektromagnetik, Strömun-
gen und Wärmetransport in einem einzigen
Simulationsmodell.

Genauigkeit, Schnelligkeit und Nutzer-
freundlichkeit stehen dabei an erster Stelle.

Bestellen Sie den
kostenlosen
Produktkatalog:

www.femlab.de/pj

www.femlab.de



— Don't gamble!

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



DMT BOREHOLE SHUTTLE

Geophysical tools for deviated and horizontal boreholes.

www.shuttle-system.de



DMT SUMMIT II^{PLUS}

Extremely flexible 24 bit seismic acquisition system.

www.summit-system.de



DMT CoreScan[®] II

Portable core scanner with online core imaging, global accessibility and digital drill core library.

www.corescan.de



DMT RESECS

DC-resistivity electrode control system.

www.resecs.de

DMT - right on target!



DMT

Deutsche
Montan Technologie GmbH

Exploration & Geosurvey

Am Technologiepark 1
45307 Essen, Germany
Phone +49 2 01 172-10 70
Fax +49 2 01 172-19 71
E-mail exploration@dmf.de
Internet www.dmf.de



Photograph: J. K. 1998



Gravity and Magnetics

Land Seismic

Seismic Processing

Early Warning Systems

Marine Seismic

Microseismicity

St. Annenufer 2
 20457 Hambur Germany
 Tel: +49 40 30399576
 Email: info@geopro.com
 Web: www.geopro.com

Dedicated to 2D-3D marine and land exploration
 world wide since 1994



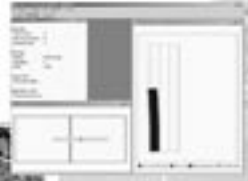
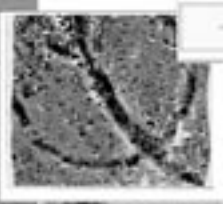
**FOERSTER -
 Ihr Partner für geomagnetische Untersuchungen**



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

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

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



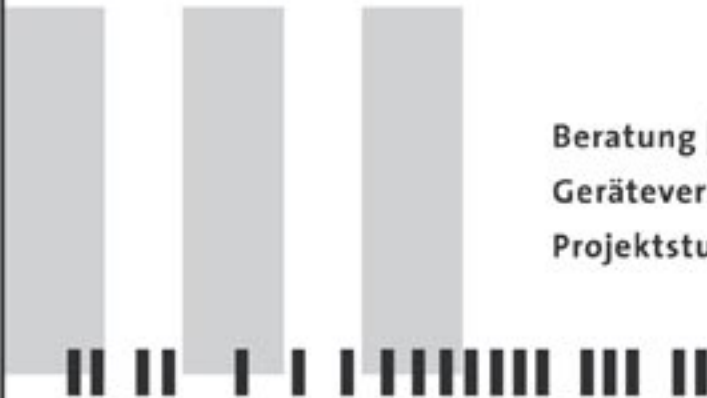
Ingenieurgesellschaft für
Geophysikalische Messtechnik mbH



**Auch 2006
wieder in,
auf und über
der Erde!**



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

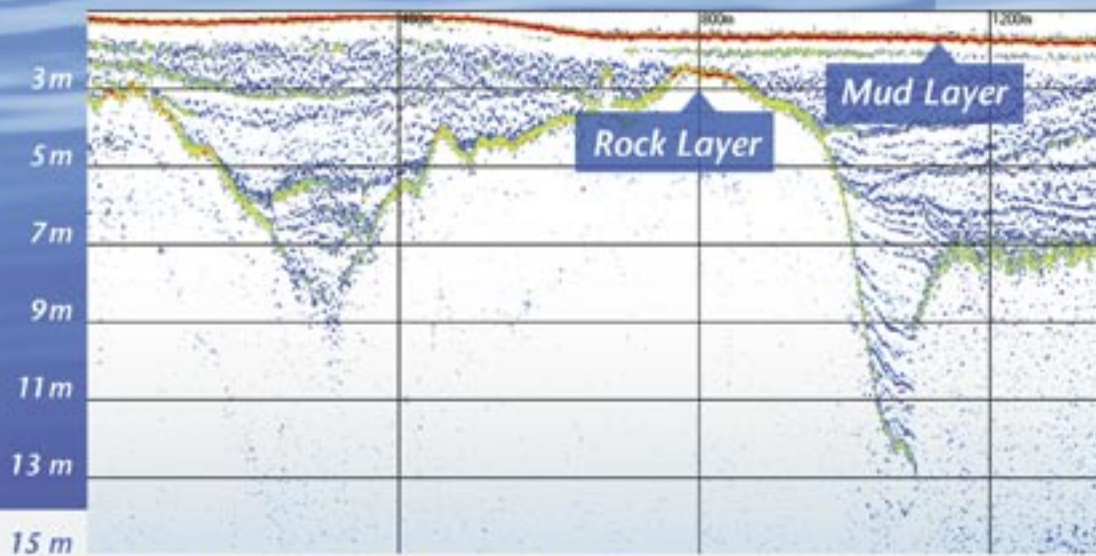


Untere St. Leonhard-Str. 16
88662 Überlingen | Germany

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



www.innomar.com



Echo plot example from a shallow river bank in Gambia

SES-2000 compact *the mobile SBP for shallow waters*

Three in one – digital survey echosounder, sub-bottom profiler and side scan sonar system

- ▶ Detection of sediment layers and embedded objects with excellent resolution at frequencies between 5 and 15 kHz.
- ▶ Water depth determination at high accuracy using 100 kHz.
- ▶ Sediment penetration up to 50m depending on material, depth and frequency.
- ▶ Optional Side Scan extension with dual side transducer for 100 kHz.



Main Unit
30 x 35 x 40 cm / 24 kg



Side Scan Transducer

Innomar Technologie GmbH
Schutower Ringstraße 4
D-18069 Rostock - Germany
Phone +49 (0)381-44079-0



MBT GmbH
MacArtney Gruppe
Wischhofstraße 1-3 Gebäude 11 24148 Kiel
Telefon 0431-7207-200 Fax 0431-7207-207
info@m-b-t.com www.m-b-t.com

Gegründet 1997, gehört die Firma MBT GmbH seit dem Jahr 2000 der dänischen MacArtney Gruppe an, einem führenden Ausrüster und Systemhaus der Meeres- und Gewässermesstechnik. MBT beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit dem Vertrieb ozeanographischer, hydrographischer und hydrologischer Ausrüstung.

Unser Angebot umfasst das Spektrum von Einzelsensoren über Sensorsysteme, bis hin zu komplexen Systemlösungen, inklusive Datenerfassung und -übertragung.

Die Mitarbeiter von MBT stehen für ihre Kunden in allen Fragen von der Produktauswahl und der Projektierung über die Integration bis hin zur Inbetriebnahme und Schulung zur Verfügung.

Ein Ausschnitt aus unserem Lieferprogramm:

- Messsonden zur Bestimmung von Parametern der Ozeanographie und Hydrologie
- Systeme der hydrographischen Vermessung
- Unterwasservideosysteme
- Sonarsysteme zur Kartierung und Objektsuche
- Messstationen für die Umweltüberwachung
- Unterwasserkabelsysteme und Steckverbindungen – auch Glasfasertechnologie
- Messgerätewinden
- Geschleppte und frei fahrende unbemannte Über- und Unterwasserfahrzeuge



Wasser ist unser Element!

RF Forschungsschifffahrt GmbH 

RESEARCH AND SURVEY VESSELS
High-tech on the high seas and in the ocean depths

MARINE PROJECTS

OFFSHORE TECHNOLOGY









RF Forschungsschifffahrt GmbH
Blumenthalstraße 15 · D-28209 Bremen
Postfach 10 23 50 · D-28023 Bremen
Tel. +49 (0) 4 21 / 2 07 66 - 0
Fax + 49 (0) 4 21 / 2 07 66 - 70
www.rf-bremen.de · info@rf-bremen.de




Glass Floats and Instrument Housing

VITROVEX 

...the difference is clear

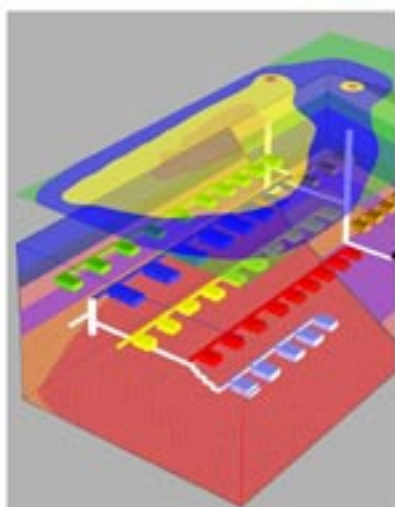






DGPS-/Iridium, Antenna (6000m) Ocean Bottom Seismometer System 17" Glass Float (9000m) in H432 Protective Shell EDDYGRIP Mooring System

info@nautilus-gmbh.com · Nautilus Marine Service GmbH · www.nautilus-gmbh.de
Blumenthalstr. 15 · D-28209 Bremen · Tel. +49 421/20 75 40 · Fax +49 421/20 75 420



Das Büro Dr. Schulz bietet ausschließlich Leistungen im Bereich der angewandten Gravimetrie an. Die Erfahrungen mit der Gravimetrie (Messungen und Auswertungen) reichen bis in das Jahr 1984 zurück.

Die Auswertesoftware wurde seitdem kontinuierlich von uns verbessert, so dass bei entsprechender Vorgehensweise eine Auswertung noch während der Geländearbeiten erfolgen kann. Hierzu zählen auch die Berücksichtigung verschiedener Korrekturen (z. B. urbane Korrektur).

Einen hohen Stellenwert in unserem Leistungsspektrum nimmt die Mikrogravimetrie ein. Die Arbeitsschwerpunkte liegen auf den Gebieten:

- Verkarstung
- Altbergbau
- Prospektion und Exploration
- Hohlräume und Verfüllungen
- Tektonik

Ausführliche 3D Modellierungen vor Beginn der Messungen auf der Grundlage bekannter Daten, gewährleisten den Erfolg bei der Anwendung der Methode.

Unsere Leistungen umfassen sowohl die Planung und Durchführung kompletter Surveys als auch reine Auftragsmessungen. Daneben stehen wir auch beratend zur Verfügung.

Dr. H. Richard Schulz
Angewandte Gravimetrie
Steg 8
D 74538 Rosengarten

phone: **49 / (0)791 / 5 10 20
fax: **49 / (0)791 / 9 56 78 90
web: www.angewandte-gravimetrie.de
e-mail: office@angewandte-gravimetrie.de



Titan Druckrohre und Kameragehäuse



Die Kieler Firma K.U.M. ist seit 1997 erfolgreich mit ihren Geräten (Einsatztiefe: 6000m+) in der Meerestechnik tätig.

Die Produktpalette reicht von der kleinsten Titan-Schraube über Druckrohre verschiedener Abmaße bis zum 2m großen Lander.



OBS-System komplett

Von besonderer Bedeutung ist die kontinuierliche Weiterentwicklung der Ozeanboden-Seismometer-Systeme zur Detektion von Bewegungen des Meeresbodens.

80 dieser Systeme der jüngsten Version befinden sich in der Fertigung für den deutschen OBS-Pool.



Titan Releaser KUMQuat

OBS/OBH-Systeme
Sinkstoff-Fallen
(Titan) Lander
Sedimentcorer...

Entwicklung & Konstruktion
Persönliche Beratung . . .

Hauseigene Werkstatt
Drucktank (600bar)...

K.U.M. Umwelt- und Meerestechnik Kiel GmbH / Wischhofstr. 1-3, Geb. D5; DE-24148 Kiel
Tel.: +49(0)431-7209220, Fax: +49(0)431-7209244 / kum@kum-kiel.de www.kum-kiel.de



GEOPHYSIKALISCHE MESSTECHNIK

- ★ Bohrlochmeßsonden
- ★ Bohrlochseismik
- ★ Meßapparaturen
- ★ Datenerfassungssysteme
- ★ Kabelwinden
- ★ HydroBase Software
- ★ Datenlogger

ANTARES Datensysteme GmbH
Rudolf-Diesel-Str. 6 - 8
28816 Stuhr
Telefon: 0421 - 871940
Telefax: 0421 – 8719425
e-mail: info@antares-geo.de
www.antares-geo.de

Hinweise zum Tagungsprogramm

Die Vorträge finden im großen Hörsaal der Universität (HS) und in den Vortragsräumen 2010, 2020, 2030 und 2040 im 2. Stock des Tagungsgebäudes SFG (Seminar- und Forschungsverfügungsgebäude) statt. Die Eröffnungsveranstaltung, die Plenarvorträge und das DGG-Kolloquium finden im Großen Hörsaal statt. Die Tabelle auf der gegenüberliegenden Seite gibt eine Übersicht über den Tagungsablauf, danach folgen die detaillierten Programme für die einzelnen Tage. Bei der Programmplanung wurde versucht, die Vorträge in eine zeitliche Aufteilung und Reihung zu überführen, die durchgehende »rote Fäden« schaffen und Überschneidungen verwandter Themen vermeiden. Die Nummerierung der Vorträge folgt diesen roten Fäden mit A01 - A48 (tatsächlich rot) bis E01 - E25 (lila). Die von den Autoren bei der Anmeldung der Beiträge ausgewählten Kategorien werden in den Tagesübersichten neben der durchgehenden Nummerierung aufgeführt. Beitragsnummern bis 50 stehen für Vorträge, Nummern größer als 50 für Poster.

Thematische Einordnung der Beiträge

AG	Archäogeophysik	BP	Bohrlochgeophysik / Petrophysik
EM	Elektromagnetik	EP	Extraterrestrische Geophysik
GD	Geodynamik	GE	Geoelektrik
GS	Geschichte der Geophysik	GÖ	Geophysik in der Öffentlichkeit
GV	Gravimetrie	GZ	Glaziologie
MA	Magnetik	MG	Marine Geophysik
PG	Paläo- und Geomagnetik	SM	Seismik
SO	Seismologie	UI	Umwelt- und Ingenieurgeophysik
VU	Vulkanologie		

Die Sessions A bis E setzen sich aus Beiträgen folgender Themenbereiche zusammen:

A (rot)	SO + einige thematisch passende Beiträge aus GD, GS, GÖ und VU
B (blau)	MG, SM + einige thematisch passende Beiträge aus EM, GD und VU
C (gelb)	BP, EM + einige thematisch passende Beiträge aus GZ
D (grün)	UI, GE + einige thematisch passende Beiträge aus GR, GV, MA, SM und SO
E (lila)	AG, EP, PG + einige thematisch passende Beiträge aus GD, GS, GÖ, MA

Schwerpunktthemen

Die als möglicher Beitrag zu einem Schwerpunktthema angemeldeten Beiträge wurden thematisch passend in die Sessions A bis E integriert, wenn möglich blockweise.

	Vorträge:	Poster:
S1 Erdmagnetische Variationen	C10, E08 - E10, E12 - E23	E59 - E61, E64, E65,
S2 Ozeanränder	A17, B01, B02, B06 - B09, B15 - B21, B25, B35, E24, E25	B59, B61, B64, B66, B68, B71, B74, B75, B77, B79 - B81, B83, B84, E62, E63
S3 Geophysik in der Öffentlichkeit	A36	E56, E57
S4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik	C28, D06, D07, D10, D15, D17 - D21, D27, D29	D52, D64, D67, D68, D74, D79, D82, D83,
S5 Georisiken	A38 - A48	A71, A73, A74, A84, D85

Programmübersicht

Uhrzeit	Montag, 6.3.	Dienstag, 7.3.	Mittwoch, 8.3.	Donnerstag, 9.3.	
08:00	Registrierung 8:00 - 16:00 Uhr Tagungsbüro im SFG, Raum 1060	Registrierung 8:00 - 16:00 Uhr			
08:30		<i>Plenarvortrag(HS)</i> J. Wicht: Warum polt sich das Erdmagnetfeld um?	<i>Plenarvortrag(HS)</i> U. Achauer: Baby Plumes in Zentral Europa: Ihr Ursprung und ihr seism. Erscheinungsbild	<i>Plenarvortrag(HS)</i> A. Gerdes: „Erde stürzt in Magnet- Chaos!“ Freud und Leid, Theorie und Praxis d. Public Underst. of Geosciences	
08:50					
09:10					
09:30	HS 2010 2020 2040				HS 2010 2020 2040
09:50	A B C D	A B C D	Koll. B E A	A B E C D	
10:10					
10:30	Kaffeepause				
11:00	HS 2010 2020 2040	HS 2010 2020 2040	HS 2010 2020 2040	HS 2010 2020 2030 2040	
11:20					
11:40					
12:00					
12:20	A B C D	A B C D	Koll. B E A	A B E C D	
12:40					
13:00	Mittagspause				
14:00	<i>Plenarvortrag(HS)</i> H. Miller: Die polaren Eisschilde als Klimaarchiv	<i>Plenarvortrag(HS)</i> E. Davis: Long-term monitoring in ODP/IODP boreholes: A review of "CORK" technology and ...	<i>Plenarvortrag(HS)</i> J. Borrows: Remote sensing of the atmopshere from space: GOME and SCIAMACHY	HS 2010 2020 2040	
14:20					
14:40					
15:00	Eröffnungsveranstaltung im Großen Hörsaal der Universität	HS 2010 2020 2040	HS 2010 2020 2040	HS 2010 2020 2040	
15:20		A B C D	Koll. B E A	A B E D	
15:40					
16:00		Ende der Tagung			
16:20	<i>Eröffnungsvortrag (HS)</i> M. Zoback: Scientific Drilling intothe San Andreas Fault	Postersession (SFG 0140, 0150, 1020, 1030, 1040) mit Kaffee und Erfrischungsgetränken	Postersession (SFG 0140, 0150, 1020, 1030, 1040) mit Kaffee und Erfrischungsgetränken		
16:40					
17:00					
17:20					
17:40					
18:00	Arbeitsgruppentreffen (Räume 2060 bis 2080)	Arbeitsgruppentreffen (Räume 2060 bis 2080)			
18:20					
18:40	Senatsempfang in der Oberen Rathaushalle	Arbeitsgruppentreffen (Räume 2060 bis 2080)		Mitgliederversammlung	
19:00					
19:20					
19:40					
20:00					
20:20	<i>Öffentlicher Abendvortrag</i> (Bremer Kunsthalle) J. Zschau: Tsunami: Warum eine Gefahr zur Katastrophe wird				
20:40					
21:00					

Vorträge Montag, 6.3.06

Zeit	Montag 6.3.2006					
08:00	Registrierung 8:00 - 16:00 Uhr					
Raum	HS Großer Hörsaal			SFG Raum 2010		
09:30	A01	SO	X. Yuan et al.: What can we learn from the S receiver functions?	B01	GD	O. Ritter et al.: The deep roots of transform faults
09:50	A02	SO	M. Landes & J.R.R. Ritter: P and S receiver functions in Ireland	B02	GD	M. König et al.: AISTEK-II: Die tektonische Entwicklung des Mosambik-Rückens und Mosambik-Beckens
10:10	A03	SO	B. Bayer et al.: Analyse seismischer Anisotropie und Berechnung von Receiver Functions im Dronning Maud Land, ..	B03	MG	U. Barckhausen et al.: Eine Rekonstruktion des Zerbrechens der Farallon-Platte
10:30	Kaffeepause					
11:00	A04	SO	C. Legendre et al.: Thickness of the Transition Zone Beneath the South Pacific Superswell From Receiver Functions	B04	GD	K. D. Fischer: Einfluss der Eigenschaften des Plattenkontaktes auf die Deformations- und Spannungsänderung verursacht ..
11:20	A05	SO	W.H. Geissler & R. Kind: Bestimmung der Untergrenze der Europäischen Kontinentalplatte mit Hilfe von S Receiver ..	B05	GD	A. Kellner et al.: Different Styles of Deformation of the Forearc Wedge along the Chilean Convergent Margin
11:40	A06	SO	D. Kühn et al.: Momententensorinversion regionaler Ereignisse in Fennoskandien und benachbarten Gebieten	B06	GD	M. Heesemann et al.: Wärmeflussmessungen ergeben Rückschlüsse auf den Bruchmechanismus des Nicaragua Tsunami-Erdbebens ..
12:00	A07	SO	J. Schweitzer & F. Ringdal: Infrasonic Observations in Northern Fennoscandia	B07	SO	Ch. Haberland et al.: Seismicity and velocity structure in Southern Chile between 37 and 39 S: First results from ..
12:20	A08	GD	H. Steffen & G. Kaufmann: Dreidimensionale Finite-Element-Modellierungen zur glazialen Isostasie von Fennoskandien	B08	SO	C.D. Lange et al.: The TIPTEQ seismic network covering the Chilean forearc between 41.5° and 43.5° S - Seismicity ..
12:40	A09	SO	A. Barth et al.: Krustale Auswirkungen und Mantelstruktur des Zentralmassiv Plumes	B09	SO	M. Bohm et al.: MERAMEX - Seismologische Messungen zur Untersuchungen von Zentraljava, Indonesien
13:00	Mittagspause					
14:00	Plenarvortrag (HS) - H. Miller (AWI Bremerhaven): Die polaren Eisschilde als Klimaarchiv					
15:00	Eröffnungsveranstaltung (HS)					
16:00	mit Verleihung der DGG Preise					
17:10	Eröffnungsvortrag (HS) - M. Zoback (Stanford University, USA): Scientific Drilling into the San Andreas Fault					
18:00	Arbeitsgruppentreffen					
19:00	Senatsempfang in der Oberen Rathaushalle					
21:00						

Zeit	Montag 6.3.2006					
08:00	Registrierung 8:00 - 16:00 Uhr					
Raum	SFG Raum 2020			SFG Raum 2040		
09:30	C01	EM	M. Braun et al.: Einfluss der elektrischen Leitfähigkeit auf Oberflächen NMR Daten in 2D Modellierung und 1D Inversion	D01	GE	N. Meqbel et al.: A new Software for the 2D Inversion of DC-Resistivity data
09:50	C02	UI	T. Radic: Zeitreihenbewertung von NMR-Messungen im Erdmagnetfeld	D02	GE	T. Günther & C. Rücker: Ein neuer Joint-Inversion-Ansatz und seine Anwendung auf die kombinierte Auswertung von ..
10:10	C03	EM	M. Hertrich et al.: Untersuchung des Potenzials der Magnetischen Resonanz Sondierung für große Eindringtiefen	D03	GE	A. Druiventak et al.: Bestimmung des Kf-Wertes aus Felddaten durch spektrale induzierte Polarisation und der Vergleich ..
10:30	Kaffeepause					
11:00	C04	EM	M.A. Gonzalez-Huici et al.: Numerical simulation of electromagnetic-wave propaga-tion for land mine detection ..	D04	GE	J. Igel et al.: Bestimmung der kleinräumigen Variabilität der elektrischen Leitfähigkeit von Böden und ihr Einfluss ..
11:20	C05	MA	H. Sandhäger & G. von Gronefeld: Kampfmitteldetektion in Nordrhein-Westfalen - Kombiniertes Einsatz von Luftbildauswertung ..	D05	GE	H.-M. Münch et al.: Beziehung zwischen SIP Relaxationszeit und Salinität, Korngröße, Sättigung bzw. hydraulischer ..
11:40	C06	EM	T. Hanstein et al.: Auswirkung unterschiedlicher Metallobjekte und Böden auf reale Metalldetektoren	D06	GE	E. Lück et al.: Evaluierung elektrischer Leitfähigkeitskartierungen für die Landwirtschaft
12:00	C07	EM	J. Lange et al.: Inversion von Pulse Induction und Continuous Wave Metalldetektordaten	D07	UI	M. Müller et al.: Monitoring von Feuchteänderungen im Boden mit Gleichstromgeoelektrik - INTERURBAN
12:20	C08	UI	P. Buckup & K. Buckup: Einsatz des Impuls-Neutron-Neutron-Verfahrens zur Minensuche	D08	GE	M. Grinat et al.: Geoelektrisches Monitoring eines Tracer-Experiments in der Südstadt von Hannover
12:40	C09	EM	N. Wagner et al.: Spatial TDR-Sensor Characteristic in High Lossy, Strong Dispersive Subsoil	D09	GE	A. Just et al.: Geoelektrische Messungen in Salzbergwerken
13:00	Mittagspause					
14:00	Plenarvortrag (HS) - H. Miller (AWI Bremerhaven): Die polaren Eisschilde als Klimaarchiv					
15:00	Eröffnungsveranstaltung (HS)					
16:00	mit Verleihung der DGG Preise					
17:10	Eröffnungsvortrag (HS) - M. Zoback (Stanford University, USA): Scientific Drilling into the San Andreas Fault					
18:00	Arbeitsgruppentreffen					
19:00	Senatsempfang in der Oberen Rathaushalle					
21:00						

Vorträge Dienstag, 7.3.06

Zeit	Dienstag 7.3.2006					
08:30	Plenarvortrag (HS) - J. Wicht (MPI für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau): Warum polt sich das Magnetfeld um?					
Raum	HS Großer Hörsaal			SFG Raum 2010		
09:30	A10	SO	B. Heuer et al.: Indications for asthenospheric updoming beneath the western Bohemian Massif	B10	MG	V. Schlindwein et al.: Aktiver submariner Vulkanismus am Gakkel Rücken, Arktischer Ozean
09:50	A11	SO	D. Rößler et al.: Tensile Components retrieved for Swarm Events in Vogtland, W-Bohemia by considering seismic anisotropy	B11	MG	M. Voß & W. Jokat: Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Erste Interpretation tiefenseismischer und Potentialfelddaten ..
10:10	A12	SO	M. Walther & T. Plenefisch: Analyse von SKS-Scherwellen-Splitting zur Untersuchung von Mantel-Anisotropie im Bereich ..	B12	MG	D. Berger & W. Jokat: Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Ergebnisse reflexions-seismischer Untersuchungen in der ..
10:30	Kaffeepause					
11:00	A13	SO	F. Krzikalla & T. M. Müller: Scattering Attenuation of Seismic Waves in Anisotropic Random Media	B13	MG	A. Wittwer et al.: Investigation of the Sundaarc subduction zone off Central Java
11:20	A14	SO	B. Endrun et al.: Bestimmung der S-Wellengeschwindigkeit, radialer und azimuthaler Anisotropie mittels Oberflächenwellen ..	B14	SM	U. Micksch et al.: High-resolution, three-component reflection seismic survey in the Southern Central Chilean ..
11:40	A15	SO	D. Becker et al.: Seismizitätsbeobachtungen im forearc der Hellenischen Subduktionszone mit Hilfe eines OBS-Netzwerkes	B15	EM	G. Kapinos & H. Brasse: Erste Ergebnisse des see-landseitigen magnetotellurischen Experiments TIPTEQ in Südkile
12:00	A16	SO	A. Spicak et al.: Global seismological data analysis: recent onset of a new subduction cycle at the Java trench?	B16	MG	N. Kukowski & O. Oncken: Quantification of subduction erosion processes along the Andean subduction zone
12:20	A17	SO	A. Schulze & M. Weber: Deutscher Pool für amphibische Seismologie -DEPAS- Landteil	B17	SM	A. Talukder et al.: Widespread occurrence of mud mounds and associated BSRs on the Pacific margin off Nicaragua ..
12:40	A18	SO	M.C. Schmidt-Aursch et al.: Deutscher Geräte-Pool für amphibische Seismologie -DEPAS- Mariner Teil	B18	MG	N. Fekete et al.: Dewatering Through Mud Mounds on the Continental Fore-arc of Costa Rica
13:00	Mittagspause					
14:00	Plenarvortrag (HS) - E. Davis (PGC, Canada): Long-term monitoring in ODP/IODP boreholes: A review of "CORK" technology and results from ridge-crest, ridge-flank, and subduction-zone environments					
15:00	A19	SO	A. Oth et al.: Herdparameter des Vrancea (Rumänien) Bebens vom 27. Oktober 2004 (M=5.9) durch Modellierung mit ..	B19	MG	S. Krastel et al.: Sedimentationsprozesse am senegalesischen Kontinentalhang: Erste Ergebnisse der Meteor-Fahrt M65-2
15:20	A20	SO	J. Miksat et al.: Modellierung der Bodenbewegung der Vrancea Starkbeben	B20	SM	C. Huebscher et al.: The Israeli Slump Complex
15:40	A21	SO	M. Bohnhoff et al.: Strain Partitioning and Stress Rotation at the North Anatolian Fault Zone from aftershock ..	B21	MG	I. Kock & K. Huhn: Numerische Modellierung des mechanischen Verhaltens von Tonen mittels der Diskreten Elemente Methode
16:00	Postersession I					
17:00	(mit Kaffee und Erfrischungsgetränken)					
18:00	Arbeitsgruppentreffen					
20:00	Abendvortrag (Kunsthalle) - J. Zschau (GFZ Potsdam): Tsunami: Warum eine Gefahr zur Katastrophe wird					

Zeit	Dienstag 7.3.2006					
08:30	Plenarvortrag (HS) - J. Wicht (MPI für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau): Warum polt sich das Magnetfeld um?					
Raum	SFG Raum 2020			SFG Raum 2040		
09:30	C10	EM	A. Kreuzmann et al.: Das EMTE SZ - Projekt: MT - Messungen ueber die Trans European Suture Zone in Polen	D10	UI	G. Kneib: Ableitung seismischer Untergrundparameter vor der Tunnelbrust
09:50	C11	EM	B. Tezkan & B. Nix: Erste Felddaten eines neuen Radiomagnetotellurikgerätes im Frequenzbereich von 10 kHz-1 MHz	D11	SM	S. Lüth et al.: Erkundung einer geologischen Schwächezone mit tunnelseismischen Messungen - die Piora-Mulde am ..
10:10	C12	EM	M. Thiemer & A. Hördt: Aspekte radiomagnetotellurischer Messungen im Hochgebirge	D12	SM	Th. Bohlen et al.: Seismic prediction ahead of tunnel construction using Rayleigh to body wave conversion at the ..
10:30	Kaffeepause					
11:00	C13	EM	U. Schmucker: Elektromagnetische Sondierungen in Übergangsbereich von Sq und DP zu Dst	D13	SM	K. Essen et al.: Modellierung von Rayleigh Flözwellen in gestörten Kohleflözen und in der Nähe einer untertägigen ..
11:20	C14	EM	C. Schwarzbach & K. Spitzer: FEM-Lösung der Maxwell-Gleichungen im Frequenzbereich	D14	UI	K. Jaksch et al.: Hochauflösende seismische Messungen an Lehmdeichen
11:40	C15	EM	R. Martin et al.: 3D-Inversion transientelektromagnetischer Daten	D15	UI	G. Kaufmann: Numerische Untersuchungen zur Stabilität von Staudämmen im Karst
12:00	C16	EM	J. Neumann et al.: Messung der Transientelektromagnetik-Antwort von Bohrkernproben	D16	UI	U. Swoboda et al.: 3-D Seismische Erkundung einer Pipelinetrasse zur Anbindung der RWE-DEA-Förderplattform MITTELPLATE
12:20	C17	EM	K. Schwalenberg et al.: Marine Gas Hydrate Assessment Using a Towed Controlled Source Electromagnetic System: ..	D17	SO	M. Walter: Seismische Untersuchung von Massenbewegungen am Heumöser Hang, Vorarlberg mittels Nanoseismic Monitoring
12:40	C18	EM	A. Steuer et al.: HELicopter Project ACEH - HELP ACEH	D18	UI	M. Janik et al.: Geophysikalische Erkundung eines Erdfalls
13:00	Mittagspause					
14:00	Plenarvortrag (HS) - E. Davis (PGC, Canada): Long-term monitoring in ODP/IODP boreholes: A review of "CORK" technology and results from ridge-crest, ridge-flank, and subduction-zone environments					
15:00	C19	EM	S. Hendricks et al.: Vergleich von Laser- und Radaraltimetermessungen der Meereisoberfläche in der Ostsee mit ..	D19	UI	A. Tillmann et al.: Charakterisierung der Sedimentheterogenität und der Korngrößenverteilung mit Hilfe der Cone ..
15:20	C20	GZ	C. Hilbich et al.: Geophysical Observation and 4-Phase-Modelling of Ice Content Evolution - GO 4 ICE	D20	UI	B. Weihnacht & F. Börner: Geophysikalische Messungen von Wasser-Retentionsfunktionen an sandgefüllten Blockmodellen ..
15:40	C21	GZ	S. Göbell et al.: Helikoptergestützte Laseraltimetermessungen über Meereis und Vergleich mit Eisdickendaten	D21	UI	H. Paasche et al.: Integration verschiedener geophysikalischer Modelle und Abschätzung petrophysikalischer Parameterverteilungen ..
16:00	Postersession I					
17:00	(mit Kaffee und Erfrischungsgetränken)					
18:00	Arbeitsgruppentreffen					
20:00	Abendvortrag (Kunsthalle) - J. Zschau (GFZ Potsdam): Tsunami: Warum eine Gefahr zur Katastrophe wird					

Vorträge Mittwoch, 8.3.06

Zeit	Mittwoch 8.3.2006				
08:30	Plenarvortrag (HS) - U. Achauer (Universität Strasbourg): Baby Plumes in Zentral Europa: Ihr Ursprung und ihr seismisches Erscheinungsbild				
Raum	HS Großer Hörsaal		SFG Raum 2010		
09:30	DGG Kolloquium	Georadar: Grundlagen, Einsatzmöglichkeiten, Ergebnisse und Forschungsbedarf	B22	MG	A. Schlesinger et al.: CORTEC - Tektonische Störungssysteme in der südlichen Nordsee
09:50			B23	MG	F. Hese et al.: CORTEC - Ein 3D Dichtemodell der südlichen Nordsee
10:10			B24	MG	M. Engels et al.: Marine Vektormagnetometer: Neue Analysemethoden im Zeit- und Frequenzbereich
10:30	Kaffeepause				
11:00	DGG Kolloquium	Georadar: Grundlagen, Einsatzmöglichkeiten, Ergebnisse und Forschungsbedarf	B25	MG	T. Temmler et al.: Marine seismische Untersuchung und refraktionsseismische Modellierung im Pelotas Becken - Offshore ..
11:20			B26	SM	M. Wagner-Friedrichs et al.: Seismische Untersuchungen im Batumi Seep Gebiet vor Georgien, Schwarzes Meer - Ergebnisse ..
11:40			B27	SM	C. Hübscher et al.: The Messinian evaporites of the Levantine Basin - A world class site for scientific drilling
12:00			B28	SM	E. Weigelt & G. Uenzelmann-Neben: Orbital forced cyclicity in the depositional environment in the Cape Basin - ..
12:20			B29	SM	T. Bartels et al.: Abbildungen von paläoklimatischen Ereignissen und Untersuchungen von Tiefenwasserströmungen ..
12:40			B30	MG	V. Spiess: A very high resolution multichannel seismic system for operation in shallow marine environments, lakes ..
13:00	Mittagspause				
14:00	Plenarvortrag (HS) - J. Borrows (IUP Universität Bremen): Remote sensing of the atmosphere from space: GOME and SCIAMACHY				
15:00	DGG Kolloquium	Georadar: Grundlagen, Einsatzmöglichkeiten, Ergebnisse und Forschungsbedarf	B31	MG	T. Schwenk et al.: Der Permafrost in Zentralnordsibirien und seine submarine Verbreitung in der Laptev See dargestellt ..
15:20			B32	SM	F. Demirel-Schlüter et al.: Reflexionseismische Untersuchungen am Van See, Türkei, als Beitrag zur Bestimmung ..
15:40			B33	MG	A.C. Gebhardt et al.: Seismische Untersuchungen am Elgygytgyn-Kratersee in Nordostsibirien
16:00			Postersession II		
17:00	(mit Kaffee und Erfrischungsgetränken)				
18:00	Mitgliederversammlung				
21:00					

Zeit	Mittwoch 8.3.2006					
08:30	Plenarvortrag (HS) - U. Achauer (Universität Strasbourg): Baby Plumes in Zentral Europa: Ihr Ursprung und ihr seismisches Erscheinungsbild					
Raum	SFG Raum 2020			SFG Raum 2040		
09:30	E01	AG	C. Müller et al.: 3-D Seismic Investigation of a Late Ertebølle Settlement in Wismar Bay, SEAMAP-3D case study	A22	SO	D. Kurrle & R. Widmer-Schmidrig: Untersuchungen des seismischen Rauschens bei langen Perioden
09:50	E02	AG	B. Lorenz & G. Plaumann: Geophysikalische Untersuchungen zur Archäologie der frühen Geschichte Perus	A23	SO	S. Cesca et al.: Frequency domain inversion of synthetic long period volcanic events
10:10	E03	GS	H.C. Soffel: Die zweite geomagnetische Landesaufnahme in Bayern vor hundert Jahren durch J. B. Messerschmitt	A24	SO	L. Ceranna et al.: Der unhoerbare Laerm von Windkraftanlagen
10:30	Kaffeepause					
11:00	E04	EP	J. Saur et al.: Entdeckung einer Atmosphäre am Südpol des Saturnmondes Enceladus	A25	SO	M. Hensch et al.: Hypocenter migration of fluid-induced earthquake swarms in the Tjörnes Fracture Zone, North Iceland
11:20	E05	EP	M. Buske & U. Christensen: Thermische Evolutionsmodelle für die Konvektion im Marsmantel	A26	GD	T. Jahr et al.: Beobachtung und Modellierung von fluidinduzierter Deformation der obersten Erdkruste: Untersuchungen ..
11:40	E06	EP	K. Wünnemann et al.: Der Ries Krater: Impaktdynamik und geophysikalische Erkundung	A27	SM	T. Beilecke et al.: Aktive seismische Wiederholungsmessungen injektionsinduzierter Druckänderungen in der SE2 ..
12:00	E07	EP	A. Albert et al.: Energetic particle flux modeling in simulated paleomagnetospheres	A28	SM	E. Rothert & S.A. Shapiro: Statistics of rock criticality and fluid injection induced seismicity
12:20	E08	EP	B. Zieger & J. Vogt: Solar wind control of magnetopause shape derived from MHD simulations	A29	SO	M. Häge & M. Joswig: Obertägige Messung von Hydrofrac-Ereignissen durch Nanoseismic Monitoring
12:40	E09	PG	H. Winkler et al.: Modelling of impacts of Solar Proton Events on the Earth atmosphere in a changing geomagnetic field	A30	SO	M. Bischoff & T. Meier: Inversion von Nahfeld-Seismogrammen für bergbauinduzierte Ereignisse
13:00	Mittagspause					
14:00	Plenarvortrag (HS) - J. Borrows (IUP Universität Bremen): Remote sensing of the atmosphere from space: GOME and SCIAMACHY					
15:00	E10	PG	G. Balasis & G. D. Egbert: A study of global electromagnetic induction using satellite and observatory magnetic data	A31	SO	M. Joswig: Das Konzept seismischer Nachbebenmessungen für On-Site Inspections der CTBTO
15:20	E11	GD	K. Stemmer et al.: Der Einfluss von stark temperatur- und druckabhängiger Viskosität auf die Mantelkonvektion ..	A32	SO	N. Köhler et al.: Seismizitätsmuster und Variation der Frequenz-Magnitude-Verteilung von Mikrorissen im Salz
15:40	E12	GD	M. Breuer et al.: A Numerical Study on Possible Driving Mechanisms of Core Convection	A33	SO	K. Koch: Bulletin comparisons during the first System-wide Performance Test SPT1
16:00	Postersession II					
17:00	(mit Kaffee und Erfrischungsgetränken)					
18:00	Mitgliederversammlung					
21:00						

Vorträge Donnerstag, 9.3.06

Zeit	Donnerstag 9.3.2006					
08:30	Plenarvortrag (HS) - A. Gerdas (MARUM Bremen): "Erde stürzt in Magnetchaos!" - Freud und Leid, Theorie und Praxis des Public Understanding of Geosciences -					
Raum	HS Großer Hörsaal			SFG Raum 2010		
09:30	A34	GS	H. Steffen et al.: Rettung und Erweiterung der Wiechert'schen Erdbebenwarte Göttingen - Probleme und Arbeit eines ..	B34	MG	M. Schaefers et al.: CORTEC - Entwicklung einer offenen Plattform zur datenbank-gestützten Verwaltung volumenbasierter ..
09:50	A35	SO	S. Funke et al.: Das seismologische Online-Sachsennetz - Ausbaustand, Kooperationen, Ergebnisse	B35	SM	M. Breitzke et al.: Akustische Vermessung der marin-seismischen Quellen des FS Polarstern im Herdle-Fjord, Norwegen
10:10	A36	GÖ	W. Brüstle & St. Stange: Automatische Erdbebenmeldung für Baden-Württemberg in Rundfunk und Fernsehen	B36	SM	S. Bussat et al.: Lovewellen am Meeresboden - angeregt durch eine Quelle in der Wassersäule
10:30	Kaffeepause					
11:00	A37	SO	G. Jahnke et al.: Betrieb des Erdbeben Alarm- und Informationssystems ALISE	B37	SM	A. Gerner et al.: Attenuation of P-waves in gas hydrate-bearing sediments due to interlayer flow
11:20	A38	SO	J. Saul et al.: GEOFON und das Tsunami-Warnsystem für den Indischen Ozean	B38	SM	S.R. Zanoth et al.: Leaky mode: A seismic wave attenuation mechanism in a gas-hydrate-bearing sediment
11:40	A39	SO	F. Krüger & M. Ohrnberger: Direct teleseismic rupture imaging using array techniques	B39	SM	H. Zöllner et al.: Interpretation of the spatial high resolution seismic dataset RERIK - Pre-Alpine evolution ..
12:00	A40	SO	P. Bormann et al.: Kumulative Raumwellen-magnitude aus Breitbandregistrierungen zur schnellen Bestimmung der Stärke ..	B40	SM	R. Thomas: VSP- und MS-VSP-Messungen in einer geothermischen Bohrung im Süddeutschen Molassebecken zur Erkundung ..
12:20	A41	GD	S. Stegmann et al.: Geophysical characterization and in situ-measurements of earthquake-induced landslide deposits ..	B41	SM	E. H. Saenger et al.: Poroelastic Modeling
12:40	A42	SO	K. Klinge et al.: Indiziert oder natürlich? - Untersuchung der seismischen Aktivität südöstlich von Bremen	B42	SM	F. Karpfinger et al.: Impulse responses of seismic waves in poroelastic media
13:00	Mittagspause					
14:00	A43	SO	St. Stange et al.: Geophysik zur seismischen Mikrozonierung, Beispiel Lössach/Weil am Rhein	B43	SM	M. Brajanovski et al.: Fracture related cross-over frequencies of seismic attenuation in porous rocks
14:20	A44	SO	H. Sudhaus & J.R.R. Ritter: Variationen seismischer Amplituden in Bukarest	B44	SM	S. Dümmong et al.: Common Reflection Surface Stack - eine alternative Implementation?
14:40	A45	SO	T. Diehl & J.R.R. Ritter: Die Scherwellen-Geschwindigkeitsstruktur unter Bukarest aus Receiver Funktionen	B45	SM	L. Rabenstein et al.: Seismische Abbildung in stark heterogenen Medien - Numerische Modellrechnungen und ..
15:00	A46	SO	F. Wenzel et al.: Urban Shakemap Methodology for Bucharest	B46	SM	C. Vanelle: True-amplitude migration in anisotropic media
15:20	A47	VU	U. Serfling: Untersuchung von Eigenpotential- und multiparametrischen Daten vom Vulkan Merapi, Indonesien	B47	SM	S. Buske et al.: Prinzip und Anwendung der Fresnel-Volumen-Migration
15:40	A48	VU	M. Hort et al.: Der Aktivitätszustand von Vulkanen - was leisten Dopplerradarmessungen	B48	SM	D. Köhn & T. Bohlen: Modellierung von elastischen Wellen auf einem räumlich variablen FD-Gitter: Anwendungsbeispiele
16:00	Ende der Tagung					

Zeit	Donnerstag 9.3.2006									
08:30	Plenarvortrag (HS) - A. Gerdes (MARUM Bremen): "Erde stürzt in Magnetchaos!" - Freud und Leid, Theorie und Praxis des Public Understanding of Geosciences -									
Raum	SFG Raum 2020			SFG Raum 2030			SFG Raum 2040			
09:30	E13	PG	H. Harder & U. Hansen: Numerische Simulationen des Geodynamos: ...	C22	BP	C. Dinske et al.: Induced microseismicity guided by a fault system...	D22	UI	W. Rühaak et al.: Integra- tion geophysikalischer Daten in ein dreidimens...	
09:50	E14	PG	J. Wicht & C. Constable: Variation der Umkehrhäufig- keit in Dynamosimulation..	C23	BP	J. Erzinger et al.: Massive Hydraulic Tests in 4 km Deep KTB Pilot Hole ...	D23	UI	M. Furche et al.: Geophysika- lische Feldmessungen auf Haldenkörpern ...	
10:10	E15	PG	I. Wardinski & M. Korte: Die Fluidbewegung an der Kern- Mantel-Grenze ...	C24	BP	M. Heesemann et al.: Bestimmung von in-situ Temperaturen in IODP ...	D24	UI	U. Hehmann & M. Degutsch: Numerische Simulation von Strömung...	
10:30	Kaffeepause									
11:00	E16	PG	M. Korte & C. Constable: Geomagnetische Säkular- variation der letzten Jahrht...	C25	BP	R. Gelfort et al.: Classification of logging data from the PROMESS-1	D25	UI	J. Schmalholz et al.: Abbil- dung zeitlich veränderlicher Wassergehalte in einem ...	
11:20	E17	PG	H. Böhnell et al.: Säkularvariation in Mexiko	C26	BP	A. Bartetzko: Hydrothermal alteration in young oceanic crust at Juan de Fuca Ridge	D26	UI	U. Werban & S. Dreibrödt: Georadar zur Rekonstruk- tion historischer Landsch...	
11:40	E18	PG	D.M. Michalk et al.: Full vector Geomagnetic Secular Variation in Central Mexico	C27	BP	T. M. Müller: Effective con- ductivity of randomly hete- rogenous porous solids	D27	UI	V. Gundelach et al.: Peil- messungen mit Georadar zur räumlichen Ortung im ..	
12:00	E19	PG	N.R. Nowaczyk et al.: Geomagnetische Exkursio- nen als stratigraphische ...	C28	BP	M. Müller & U. Yaramanci: Kombinierte Anwendung von komplexer elektrischer Leitf.	D28	UI	F. Jacobs et al.: Univer- selles integriertes geophys. Mess- und Auswertestr...	
12:20	E20	PG	D. Hofmann & K. Fabian: Which parameters control relative paleointensity?	C29	BP	W. Schönfelder et al.: NMR- und SIP-Untersuchungen zur Charakterisierung von ...	D29	UI	N. Klitzsch: Widerstands- erniedrigung durch Kohlen- wasserstoffkontamination?!	
12:40	E21	PG	D. Heslop: Modelling magnetic particle orientation during sedimentation ...	C30	BP	S. Strehl et al.: Unter- suchungen zu Tortuosität und innerer Oberfläche ...	D30	GR	S. Wessling & W. Kessels: Der Einfluss thermischer und hydraulischer Param...	
13:00	Mittagspause									
14:00	E22	PG	H. Müller & T. von Dobeneck: Magnetit im Kräfte regime uniaxial ..				D31	GR	C. Stadler et al.: GEOTHERM-Projekt in Uganda: Widerstandsver...	
14:20	E23	PG	C. Franke et al.: Mineral magnetic and microscopic characterisation ..				D32	UI	C. Kroner et al.: Gravi- metrische und magnetische Erkundung des Diatremes ...	
14:40	E24	PG	C.M. Köhler et al.: Late Miocene climate reconstruction based ..				D33	UI	M. Naujoks et al.: Vom Störeinfluss zum Nutz-signal: Hydrolog. Effekte...	
15:00	E25	PG	Y. Fu et al.: Paleo- and Rock Magnetic Investigation of Brazos ..				D34	GV	R. Hackney: Geological and Geophysical Applications of New Generation Satellite....	
15:20							D35	GV	I. Heyde & P. Kewitsch: Neue Flugergebnisse mit dem BGR Aerogravimetrie..	
15:40							D36	MA	J. Grosser et al.: LAPUTA - Aeromagnetik an Bord ein. unbemannten Luftschiffes	
16:00	Ende der Tagung									

Postersession A und B, 7. und 8.3.06

Zeit	Montag 6.3.2006 bis Donnerstag 9.3.2006					
16:00	Postersession I (Dienstag 7.3.2006) Postersession II (Mittwoch 8.3.2006) Autor anwesend / Author in attendance					
18:00						
Raum	SFG Raum 0140			SFG Raum 0150		
1	A50	GD	A. Gebauer et al.: Deformationsmessung an der KTB: Vom Messwert über die Zeitreihe zur Analyse	B50	SM	M. Yoon et al.: New insight into the crustal structure of northern Germany by reprocessing of reflection lines ..
2	A51	GD	M. Fabian & H.-J. Kumpel: Long-term monitoring of tilt, well level height and environmental parameters at a tectonic ..	B51	SM	B. Heincke et al.: Joint inversion of 2-D seismic travel time tomography, MT and gravity data to resolve structures ..
3	A52	GD	H. Bunness & G. Gabriel: Forschungs-bohrungen Heidelberger Becken - Stand des Projektes und seismische Untersuchungen	B52	SM	W. Suhr & T. Bohlen: Validity of acoustic waveform inversion for elastic media
4	A53	GD	B. Cailleau et al.: Combining short and long-term deformations in the Central Andes using Finite Element modelling	B53	SM	D. Günther et al.: Analyse von multiplen Reflexionen in seismischen CDP-Daten und Möglichkeiten ihrer Unterdrückung
5	A54	SO	I. Wölbern et al.: Crustal and Upper Mantle structures beneath the Central Andes at 21°S and 25.5°S derived from ..	B54	SM	T. Jokisch et al.: Das Amplitudenverhalten von flachmarinen Seebodenmultiplen bei konstantem Quell-Empfänger Abstand
6	A55	SO	X. Li et al.: Lithospheric Structure Beneath Western US	B55	SM	S. Wichert et al.: Oberflächennahe Reflektionsseismik mit einem Vibrationsstamper
7	A56	SO	C. Eckhardt et al.: Analyse von Receiver Funktionen zur quantitativen Untersuchung seismischer Anisotropie im ..	B56	SM	S. Bussat et al.: Starke Polarisations-anomalien und jahreszeitliche Variationen bei Messungen mit Ozean-Boden-..
8	A57	SO	M. Staackmann & K.D. Fischer: Auflastbedingte Spannungskonzentrationen unter Inseln	B57	SM	S. Bussat et al.: Anregung von Scholtewellen durch Schiffe - Auswertung zeitlich kontinuierlicher Signale
9	A58	SO	T. Plenefisch & K. Klinge: Das Spannungsfeld des Sunda-Bogens abgeleitet aus Erdbeben-Herdmechanismen	B58	SM	D. De Nil & T. Bohlen: On the existence of fast Rayleigh waves
10	A59	SO	M. Rische et al.: Mitteltiefe Seismizität in der Hellenischen Subduktionszone	B59	MG	G. Klein et al.: Swath-Seismic method applied to 3D seismic
11	A60	SO	D. Dörner et al.: Seismische Anisotropie im Bereich der Dead-Sea Transform aus SKS Daten des DESERT Arrays	B60	SM	M.L. Buddensiek et al.: Seismic Imaging of Scaled Sandbox Models
12	A61	SO	Thomas W. Muench et al.: Simultaneous inversion for 3D crustal and lithospheric structure and regional hypocenters ..	B61	MG	K. Huhn et al.: Comparative numerical and analogue shear box experiments and their implications for the mechanics ..
13	A62	SO	J. Schweitzer et al.: Surface wave tomography of the European Arctic	B62	GD	J. Lohrmann et al.: Kinematics and mass transfer of subduction channels in fore-arc wedges - A comparison of scaled ..
14	A63	SO	S. Schulz et al.: Stapelung breitbandiger Seismogramme europäischer Stationen für den Entfernungsbereich 0° bis 50°	B63	SM	F. Ding et al.: Reconstruction of growth fault movement patterns at Middle Valley, Juan de Fuca Ridge
15	A64	SO	J. Schäfer et al.: Regionale Stapelung von Seismogrammen zur Analyse von Manteldiskontinuitäten	B64	SM	A.A. Antobreh & S. Krastel: Failure mechanisms and controls on slide mobility of the Mauritania Slide Complex ..
16	A65	SO	L. Küperkoch et al.: Detection of Signals using Higher Order Statistics	B65	MG	D. Berger & W. Jokat: Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Glaziale Sedimentstrukturen in der norwegisch grönländischen ..
17	A66	SO	S. Heimann & T. Dahm: Modelling Seafloor Compliance using a Pseudo-Spectral Method	B66	SM	T. Vogt et al.: Einfluss starker Bodenströmungen auf die Entwicklung des argentinischen Kontinentalhanges im ..
18	A67	SO	T. Dahm et al.: Labor-Kalibrierung von Ozeanbodenstationen	B67	SM	G. Wagner et al.: Seismic Imaging of Thermohaline Fine Structure in the Eastern Atlantic

Zeit	Montag 6.3.2006 bis Donnerstag 9.3.2006 (Fortsetzung)					
16:00	Postersession I (Dienstag 7.3.2006) Postersession II (Mittwoch 8.3.2006) Autor anwesend / Author in attendance					
18:00						
Raum	SFG Raum 0140			SFG Raum 0150		
19	A68	SO	T. Forbriger: Entmagnetisierung der Tragfeder eines STS-1V	B68	SM	H. Keil et al.: High resolution acoustic measurements in the southern German Bight
20	A69	SO	R. Widmer-Schmidrig & D. Kurrle: Evaluation of Installation Methods for STS-2 Seismometers	B69	SM	T. Schwenk et al.: The submarine permafrost in the Laptev Sea imaged with high-resolution multi-channel seismic data
21	A70	SO	V. Oye: Real-time Monitoring of SAFOD Microearthquakes	B70	SM	D. Wagner et al.: The MERAMEX Project-Modelling Results of the Seismic Refraction Profiles Close to the South ..
22	A71	SO	N. Kühn et al.: Cycling properties and temporal correlations in linked stress release models	B71	SM	T.J. Reston et al.: Seismic investigations of the structure of the Porcupine Basin, west of Ireland
23	A72	SO	C. Friedrich et al.: Seismisches Monitoring im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben	B72	MG	T.J. Reston et al.: Geophysical Studies near the Ascension Transform: Evolution of Ridge Segmentation and Crustal ..
24	A73	SO	C. Pohl et al.: Earthquake Microzonation Map Lörrach and Weil am Rhein, Southern Upper Rhine Graben	B73	GD	L. Planert et al.: 2D Tomographic Imaging of the Crustal Structure of the Mid-Atlantic Ridge at 5° South
25	A74	SO	B. Jaskolla et al.: S-Wellengeschwindigkeit im Stadtgebiet von Bukarest	B74	VU	R. Almeev et al.: Phase equilibria simulations of basalts at the MAR near Ascension Island at 7-11° S - estimation ..
26	A75	SO	O. Sèbe et al.: The shear waves velocity underneath Bucharest City from surface waves analysis at the URS broad-band ..	B75	MG	U. Stöber et al.: Hydrothermal Vent Power Estimates for the Nibelungen Field, Southern MAR
27	A76	SO	A. Barth & F. Wenzel: Fault geometry of the 05-12-05 Lake Tanganyika earthquake and its aftershocks	B76	MG	H.-H. Gennerich et al.: Langzeitregistrierung physikalischer Parameter im Logatchev-Hydrothermal-Feld
28	A77	SO	N. Benn et al.: Das Beben von Waldkirch am 5.12.2004	B77	MG	M. Walter et al.: Auswirkung turbulenter Strömungen auf die Ausbreitung hydrothermalen Fluide
29	A78	SO	M. Häge et al.: Anwendung nichtlinearer Korrelationsverfahren im Zeitbereich für die Ortung der Nachbeben des ..	B78	MG	T. Temmler et al.: Development of a combined geochemical-geophysical approach for quantification of regional submarine ..
30	A79	SO	G. Hartmann & A. Schick: Einschätzung des Schadenpotenzials weltweiter Erdbeben	B79	SM	N. Fekete et al.: Gas Hydrates and Fluid Flow in the Costa Rican Continental Fore-Arc Offshore Central Nicoya Peninsula
31	A80	SO	I.G. Arroyo et al.: Characterization of the Central Costa Rican Pacific Seismogenic Zone from an "Amphibious" ..	B80	EM	M. Jegen-Kulcsar: Using Marine EM to Image Fluids in Subduction Zones
32	A81	SO	A. Brüstle et al.: Das EGELADOS Projekt - Ein temporäres, regionales, amphibisches Breitband-Stationsnetz in der ..	B81	EM	U. Weckmann et al.: Geophysical images of South African mobile belts
33	A82	VU	J. Altmann et al.: 3D Finite Elemente Modellierung saisonaler Neigungsänderungen am Vulkan Merapi auf Zentraljava, ..	B82	SM	C.M. Krawczyk et al.: Geophysical signatures and active tectonics at the South-Central Chilean margin
34	A83	VU	G. Richter: Analysis of the meteorological impact on monitoring parameters from Merapi volcano	B83	SM	C.M.A. Sick et al.: Advanced Seismic Imaging of Subduction Related Structures at the North Chile Convergent Margin
35	A84	VU	A. Gerst et al.: Die erste Sekunde strombolianischer Eruptionen: Beobachtungen am Mt. Erebus, Antarktis	B84	SM	M. Scherwath et al.: Age-dependent lithospheric structures in the Young Subduction Zone of Southern Chile - Results ..
36				B85	SM	K. Groß et al.: Structural Image of the Chilean Subduction Zone at 38° S: The Reflection Seismic Survey Within ..

Postersession C,D und E, 7. und 8.3.06

Zeit	Montag 6.3.2006 bis Donnerstag 9.3.2006									
16:00	Postersession I (Dienstag 7.3.2006)									
18:00	Postersession II (Mittwoch 8.3.2006)									
	Autor anwesend / Author in attendance									
Raum	SFG Raum 1020			SFG Raum 1030			SFG Raum 1040			
1	D50	GE	H. Rodemann: 1D-Fälle mit unzureichender Information	E50	AG	S. Wölz et al.: SEAMAP-3D: Ein neues Werkzeug zur ultra-hochauflösenden..	C50	EM	W. Wilhelms et al.: Processing and analysis of MT array data from the San ..	
2	D51	GE	F. Schmähling et al.: Lösung der inversen Aufgabe der Geoelektrik ...	E51	AG	P. Fuchs et al.: Geophysikalische Untersuchungen zur Archäol. der frühen Gesch..	C51	EM	D. Eydam & H. Brasse: Abbildungen von Fluiden und Schmelzen in Kruste ..	
3	D52	GE	C. Rücker & T. Günther: Anwendungen der Drei-Gitter-Technik zur Inversion	E52	AG	S. Nordsiek & A. Weller: Geophysikal. Messungen auf d. Gelände einer Burg..	C52	EM	J. Hübert & O. Ritter: Kanonische Kohärenzen als Indikatoren für kohärentes ..	
4	D53	GE	N. Wagner et al.: Deichstrukturanalyse durch 3D-Inversion geoelektrischer ..	E53	AG	C. Salat & A. Junge: Gemeinsame Interpretation von archäometrischen ..	C53	EM	V. C. Baranwal et al.: 2D MT inversion using an adaptive unstructured grid..	
5	D54	GE	A. Just et al.: Geoelektrische Messungen in einem ehemaligen Kalibergwerk	E54	MA	G. Gronfeld von & H. Sandhäger: Einsatz der Geomag. bei den Kampfmittelbeseit..	C54	EM	H. Wiebe et al.: Joint-Inversion von Radiomagnetotellurik- und Geoelektrik..	
6	D55	GE	D. Laaß et al.: Tiefengeoelektrik: Detektierbarkeit von Fluidbewegungen nach..	E55	GS	H. C. Soffel: Messerschmitt und seine zweite geomagn. Landesaufnahme in Bayern	C55	EM	B. Siemon et al.: Post-tsunami helicopter-borne electromagnetics along the.	
7	D56	GE	M. Bock et al.: Untersuchung von Konvektionsströmungen im Laborversuch..	E56	GÖ	Schüler der Anna Schmidt Schule Fft/M.: Angewandte Geophysik im Schulunterr.	C56	EM	G. Schaumann et al.: Airborne and Ground Geophysical Investigations over	
8	D57	GE	A. Güsgen et al.: Erkund. der Dep. Finkenbergl. mittels Gleichstrom-Geoelektrik	E57	GÖ	T. von Dobeneck et al.: Black Box Magnetismus - Magnetische Informationen..	C57	EM	M. Müller et al.: Untersuchungen zur Eindringtiefe und Auflösungsvermögen..	
9	D58	GE	H. Triebe & N. Klitzsch: Einfluss der Porenraumgeometrie von Sedimenten..	E58	EP	M. Panzner et al.: Numerische Simulation einer Permittivitätssonde ..	C58	EM	R.-U. Börner: 3D-TEM-Modellierung: Alternativen zum Zeitschrittverfahren	
10	D59	GE	K. Breede & A. Weller: SIP-Messungen an Sandsteinen mit Lösungen unter. Salze	E59	PG	J. Stadelmann & P. Weidelt: Geomagnetic Mantle Diffusion Times	C59	EM	J. Lange et al.: 3D-Simulation von Metalldetektorsignalen mit finiten Elementen	
11	D60	UI	S. Kruschwitz: SIP Messungen an Baumaterial mit unterschiedlich salinen ...	E60	PG	A. Giesecke: Turbulent heat flux in anisotropic magnetoconvection	C60	EM	A. Franke et al.: Dreidimensionale Finite-Elemente-Modellierung elektromagn..	
12	D61	UI	T. Martin: SIP an stehenden Bäumen	E61	PG	R. Schachtschneider et al.: Data selection for geomagnetic field modeling using ..	C61	EM	A. Fettig & J. Fertig: Anwendung zweiseitig rekursiver Filter .. auf Georadar-Daten	
13	D62	UI	A. Ullmann et al.: Dreidimensionale geoelektrische Rekonstruktion des Wurzelb...	E62	PG	M. Dillon: Magnetic character of marine sediments from the upwelling region off NW	C62	EM	C. Grützner et al.: GPR investigations for neotectonic and paleoseismic ..	
14	D63	UI	M. Vasterling et al.: Elektrische und elektromagnet. Methoden zur Vorerkundung	E63	PG	A. C. Itambi et al.: Records of millennial-scale NW African climate change from ..	C63	EM	I. Löhken et al.: Monitoring der Bodenfeuchte mit Georadar und FDR	
15	D64	UI	F.P. Bosch et al.: Remote radio transmitter electromagnetic survey in the ..	E64	PG	M. Höcker et al.: Neogene Monsoon variability over North Africa: Saharan Dust..	C64	GZ	V. Helm: The Cryosat land ice validation experiment 2004 Part I: Combination..	
16	D65	GE	S. Lindhorst et al.: Einsatz des Georadars im küstennahen Raum ...	E65	PG	C. Franke et al.: The Advantage of Heavy Liquid Separates in Low-Temper..	C65	GZ	T. Dunse: The Cryosat land ice validation experiment 2004 Part II: Ground-based	
17	D66	GE	J. Schünemann: Geoelektrische Großauslagen über einer eiszeitlichen Rinne				C66	GZ	C. Hauck & C. Kneisel: Quantifying the ice content in low-altitude scree slopes	
18	D67	UI	H. Wiederhold et al.: Eiszeitliche Rinnen in Norddeutschland ...				C67	GZ	H. Anshütz et al.: Geophysikalische und glaziolog. Unters. zur Erfassung ..	

Zeit	Montag 6.3.2006 bis Donnerstag 9.3.2006 (Fortsetzung)									
16:00	Postersession I (Dienstag 7.3.2006)									
18:00	Postersession II (Mittwoch 8.3.2006)									
	Autor anwesend / Author in attendance									
Raum	SFG Raum 1020			SFG Raum 1030			SFG Raum 1040			
19	D68	UI	H.-M. Rumpel et al.: Untersuchung Quartärer Rinnenfüllungen ...				C68	GZ	O. Eisen et al.: Improving the dating accuracy and accumulation record of ice..	
20	D69	UI	M. Strahser et al.: Seismo- elektrische Kartierung einer glazialen Dünenstruktur ..				C69	BP	N. Zisser et al.: Einfluss von Druck und Anisotropie auf die Permeabilität und den..	
21	D70	UI	K. Jaksch et al.: High- resolution seismic measure- ments at loamy dikes				C70	BP	H. Rifai et al.: NMR-Unter- suchungen an mit Elektr. ausgestatteten Linern..	
22	D71	UI	C. Salat & A. Junge: 3D- Darstellung vulkanischer Strukturen in der Eifel ...							
23	D72	UI	D. Kühn et al.: Vermessung des Othmarschen-Langen- felde-Diapirs mit Hilfe der ..							
24	D73	UI	J. Meßinger & A. Kurz-mann: Vergleichende Transmissionsmessungen ..							
25	D74	UI	A. Gerst et al.: Quantitative Beobachtung von Stein- bruchsprengungen mittels ..							
26	D75	UI	P. Dedecek et al.: Ground surface temperature moni- toring under different types..							
27	D76	UI	G. Kurz et al.: Untersuchun- gen zum Wasserspeicher- vermögen durch geophysik.							
28	D77	UI	J. Rings et al.: Geophysical Monitoring Of Dike Water Content							
29	D78	UI	M. Furche et al.: Geoelek- trische Beobachtung von Infiltrationsvorgängen ..							
30	D79	UI	P. Backup & M. Backup: Schadstoffbestimmung mit INN							
31	D80	UI	M. Perk et al.: Infield-Kali- brierung geophysikalischer Daten auf kontaminierten..							
32	D81	UI	C. Kroner & T. Jahr: Wasserspiele in Moxa - Experimente zu hydrolog..							
33	D82	GD	G. Jentzsch & H. Ishii: The new 4-component borehole strainmeter at the Geodyn..							
34	D83	GV	G. Jentzsch & A. Kopaev: The Burris Automated Gravity Meter - a new instr.							
35	D84	GV	F. Bilgili et al.: Intrusion vs. Inversion at Southern Rim of Northwest German Basin ..							
36	D85	GV	U. Meyer: Advantages of helicopter-borne gravimetry and its application in the ..							

AG - Archäogeophysik

E01 (Vortrag) *C. Müller, H. Lübke, S. Wölz, T. Jokisch, G. Wendt, W. Rabbel*: 3-D Seismic Investigation of a Late Ertebølle Settlement in Wismar Bay, SEAMAP-3D case study

E02 (Vortrag) *B. Lorenz, G. Plaumann*: Geophysikalische Untersuchungen zur Archäologie der frühen Geschichte Perus

E50 (Poster) *S. Wölz, C. Müller, T. Jokisch, G. Wendt, W. Rabbel*: SEAMAP-3D: Ein neues Werkzeug zur ultra-hochauflösenden 3D-Seismik im Flachwasser

E51 (Poster) *P. Fuchs, B. Lorenz, G. Plaumann*: Geophysikalische Untersuchungen zur Archäologie der frühen Geschichte Perus

E52 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster) *S. Nordsiek, A. Weller*: Geophysikalische Messungen auf dem Gelände einer Burganlage aus der Eisenzeit

E53 (Poster) *C. Salat, A. Junge*: Gemeinsame Interpretation von archäometrischen Magnetik- und Radardaten

BP - Bohrlochgeophysik

C22 (Vortrag) *C. Dinske, J. Kummerow, S.A. Shapiro, G. Asch*: Induced microseismicity guided by a fault system - The 2004-2005 injection experiment at the KTB site

C23 (Vortrag) *J. Erzinger, H.-J. Kämpel, S. Shapiro, KTB-VB Science Team*: Massive Hydraulic Tests in 4 km Deep KTB Pilot Hole Completed

C24 (Vortrag) *M. Heesemann, H. Villinger, A. T. Fisher, A. Trehu, S. Witte*: Bestimmung von in-situ Temperaturen in IODP Bohrlöchern mit dem neuen APC3: Erste Tests und Messungen

C25 (Vortrag) *R. Gelfort, T. Wonik, B. Dennielou, J. Frigola, T. Schoolmeester, PROMESS-1 shipboard party*: Classification of logging data from the PROMESS-1 project

C26 (Vortrag) *A. Bartzko*: Hydrothermal alteration in young oceanic crust at Juan de Fuca Ridge - Evidence from downhole logging data

C27 (Vortrag) *T. M. Müller*: Effective conductivity of randomly heterogeneous porous solids

C28 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag) *M. Müller, U. Yaramanci*: Kombinierte Anwendung von komplexer elektrischer Leitfähigkeit und NMR

C29 (Vortrag) *W. Schönfelder, F. Stallmach, H. R. Gläser, H. Kaden, K. Kopinga*: NMR- und SIP-Untersuchungen zur Charakterisierung von Aquifer-gesteinen

C30 (Vortrag) *S. Strehl, M. Müller, U. Yaramanci*: Untersuchungen zu Tortuosität und innerer Oberfläche durch Messung des zeitabhängigen effektiven Diffusionskoeffizienten mit PFG-NMR

C69 (Poster) *N. Zisser, S. Heikamp, G. Nover*: Einfluss von Druck und Anisotropie auf die Permeabilität und den komplexen elektrischen Widerstand von Sandsteinen

C70 (Poster) *H. Rifai, R. Kappes, S. Kischkies, M. Furche, J. Schmerle, D. Rammelmair*: NMR-Untersuchungen an mit Elektroden ausgestatteten Linern zur Bestimmung von Transportvorgängen

EM - Elektromagnetik

B15 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *G. Kapinos, H. Brasse*: Erste Ergebnisse des see-landseitigen magnetotellurischen Experiments TIPTEQ in Südchile

B80 (Poster) *M. Jegen-Kulcsar*: Using Marine EM to Image Fluids in Subduction Zones

B81 (Poster) *U. Weckmann, O. Ritter, A. Jung, T. Branch, M. de Wit*: Geophysical images of South African mobile belts

C01 (Vortrag) *M. Braun, I. Rommel, U. Yaramanci*: Einfluss der elektrischen Leitfähigkeit auf Oberflächen NMR Daten in 2D Modellierung und 1D Inversion

C03 (Vortrag) *M. Hertrich, M. Müller, U. Yaramanci*: Untersuchung des Potenzials der Magnetischen Resonanz Sondierung für große Eindringtiefen

C04 (Vortrag) *M. A. Gonzalez-Huici, U. Uschkerat, A. Hördt*: Numerical simulation of electromagnetic wave propagation for land mine detection by means of Ground Penetrating Radar

C06 (Vortrag) *T. Hanstein, J. Lange, S. Helwig*: Auswirkung unterschiedlicher Metallobjekte und Böden auf reale Metalldetektoren

C07 (Vortrag) *J. Lange, T. Hanstein, L. Mollidor, S. L. Helwig*: Inversion von Pulse Induction und Continuous Wave Metalldetektordaten

C09 (Vortrag) *N. Wagner, E. Trinks, K. Kupfer*: Spatial TDR-Sensor Characteristic in High Lossy, Strong Dispersive Subsoil

C10 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *A. Kreuzmann, A. Neska, EMTESZ WG*: Das EMTESZ - Projekt: MT - Messungen ueber die Trans European Suture Zone in Polen

C11 (Vortrag) *B. Tezkan, B. Nix*: Erste Felddaten eines neuen Radiomagnetotellurikgerätes im Frequenzbereich von 10 kHz-1 MHz

C12 (Vortrag) *M. Thiemer, A. Hördt*: Aspekte radiomagnetotellurischer Messungen im Hochgebirge

C13 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *U. Schmucker*: Elektromagnetische Sondierungen im Übergangsbereich von Sq und DP zu Dst

- C14 (Vortrag)** *C. Schwarzbach, K. Spitzer*: FEM-Lösung der Maxwell-Gleichungen im Frequenzbereich
- C15 (Vortrag)** *R. Martin, C. Scholl, O. Koch, B. Tezkan, S. L. Helwig*: 3D-Inversion transientelektromagnetischer Daten
- C16 (Vortrag)** *J. Neumann, R. Bergers, S. L. Helwig, T. Hanstein, N. Kozhevnikov, B. Tezkan*: Messung der Transientelektromagnetik-Antwort von Bohrkernproben
- C17 (Vortrag)** *K. Schwalenberg, C. Scholl, E.C. Willoughby, R. Mir, J. Yuan, R.N. Edwards*: Marine Gas Hydrate Assessment Using a Towed Controlled Source Electromagnetic System: Latest Results from Cascadia
- C18 (Vortrag)** *A. Steuer, B. Siemon, H.-J. Rehli*: HELicopter Project ACEH - HELP ACEH
- C19 (Vortrag)** *S. Hendricks, C. Haas, J. Haapala*: Vergleich von Laser- und Radaraltimeternmessungen der Meereisoberfläche in der Ostsee mit elektromagnetischer Eisdickensondierung
- C50 (Poster)** *W. Wilhelms, O. Ritter, M. Becken*: Processing and analysis of MT array data from the San Andreas Fault around Parkfield, California
- C51 (Poster)** *D. Eydam, H. Brasse*: Abbildungen von Fluiden und Schmelzen in Kruste und oberem Mantel der zentralen Anden: ein neuer magnetotellurischer Datensatz aus Chile und Bolivien
- C52 (S 5 Geo-Risiken, Poster)** *J. Hübner, O. Ritter*: Kanonische Kohärenzen als Indikatoren für kohärentes Rauschen in der Magnetotellurik
- C53 (Poster)** *V. C. Baranwal, A. Franke, R.-U. Börner, K. Spitzer, S. P. Sharma*: 2D MT inversion using an adaptive unstructured grid finite element approach
- C54 (Poster)** *H. Wiebe, B., Prof. Dr. Tezkan*: Joint-Inversion von Radiomagnetotellurik- und Geoelektrikdaten
- C55 (Poster)** *B. Siemon, A. Steuer, U. Meyer, H.-J. Rehli*: Post-tsunami helicopter-borne electromagnetics along the coasts of Aceh, Indonesia
- C56 (Poster)** *G. Schaumann, G. Reitmayr, H. Schmidt, B. Röttger, H.-J. Rehli*: Airborne and Ground Geophysical Investigations over the Coal Fire Area of Wuda, Inner Mongolia, China
- C57 (Poster)** *M. Müller, M. Hertrich, U. Yaranmanci*: Untersuchungen zur Eindringtiefe und Auflösungsvermögen der magnetischen Resonanz Sondierung MRS mittels SVD
- C58 (Poster)** *R.-U. Börner*: 3D-TEM-Modellierung: Alternativen zum Zeitschrittverfahren
- C59 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster)** *J. Lange, T. Hanstein, S.L. Helwig*: 3D-Simulation von Metalldetektorsignalen mit finiten Elementen
- C60 (Poster)** *A. Franke, R.-U. Börner, K. Spitzer*: Dreidimensionale Finite-Elemente-Modellierung elektromagnetischer Felder auf unstrukturierten Gittern
- C61 (S 3 Geophysik in der Öffentlichkeit, Poster)** *A. Fettig, J. Fertig*: Anwendung zweiseitig rekursiver Filter - TSR-Filter - auf Georadar-Daten
- C62 (Poster)** *C. Grützner, K. Reicherter, P. Schikowsky*: GPR investigations for neotectonic and paleoseismic studies in southern Spain
- C63 (Poster)** *I. Löhken, R. Bergers, B. Tezkan*: Monitoring der Bodenfeuchte mit Georadar und FDR
- EP - Extraterrestrische Geophysik**
- E04 (Vortrag)** *J. Saur, M. Dougherty, F.M. Neubauer, K. Khurana, C. Russell*: Entdeckung einer Atmosphäre am Südpol des Saturnmondes Enceladus
- E05 (Vortrag)** *M. Buske, U. Christensen*: Thermische Evolutionsmodelle für die Konvektion im Marsmantel
- E06 (Vortrag)** *K. Wünnemann, J. V. Morgan, H. Jödicke*: Der Ries Krater: Impaktdynamik und geophysikalische Erkundung
- E07 (Vortrag)** *A. Albert, J. Vogt, B. Zieger*: Energetic particle flux modeling in simulated paleomagnospheres
- E08 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag)** *B. Zieger, J. Vogt*: Solar wind control of magnetopause shape derived from MHD simulations
- E58 (Poster)** *M. Panzner, F. Sohl, K. Spitzer*: Numerische Simulation einer Permittivitätssonde zur Messung der elektromagnetischen Eigenschaften planetarer Regolithe
- GD - Geodynamik**
- A08 (Vortrag)** *H. Steffen, G. Kaufmann*: Dreidimensionale Finite-Element-Modellierungen zur glazialen Isostasie von Fennoskandien
- A26 (Vortrag)** *T. Jahr, G. Jentzsch, H. Letz, A. Gebauer*: Beobachtung und Modellierung von fluidinduzierter Deformation der obersten Erdkruste: Untersuchungen zum großskaligen Injektionsexperiment an der KTB
- A41 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *S. Stegmann, F. Anselmetti, M. Strasser, A. Kopf*: Geophysical characterization and in situ-measurements of earthquake-induced landslide deposits in Lake Lucerne, Switzerland
- A50 (Poster)** *A. Gebauer, T. Jahr, G. Jentzsch, H. Letz*: Deformationsmessung an der KTB: Vom Messwert über die Zeitreihe zur Analyse
- A51 (Poster)** *M. Fabian, H.-J. Kumpel*: Long-term monitoring of tilt, well level height and environmental parameters at a tectonic fault, close to a waterworks in the Lower Rhine Embayment, Germany

A52 (Poster) *H. Bunness, G. Gabriel*: Forschungsbohrungen Heidelberger Becken Stand des Projektes und seismische Untersuchungen

A53 (Poster) *B. Cailleau, N. Kukowski, J. Klotz, S. Wdowinski*: Combining short and long-term deformations in the Central Andes using Finite Element modelling

B01 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *O. Ritter, M. Becken, U. Weckmann, P. A. Bedrosian*: The deep roots of transform faults

B02 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *M. König, W. Jokat, M. Watkeys*: AISTEK-II: Die tektonische Entwicklung des Mosambik-Rückens und Mosambik-Beckens

B04 (Vortrag) *K. D. Fischer*: Einfluss der Eigenschaften des Plattenkontaktes auf die Deformations- und Spannungsänderung verursacht durch ein Subduktions-erdbeben

B05 (Vortrag) *A. Kellner, N. Kukowski, S. Medvedev, G. Dresen*: Different Styles of Deformation of the Forearc Wedge along the Chilean Convergent Margin

B06 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *M. Heesemann, I. Grevemeyer, H. Villinger, N. Kaul*: Wärmeflussmessungen ergeben Rückschlüsse auf den Bruchmechanismus des Nicaragua Tsunami-Erdbebens von 1992

B62 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster) *J. Lohrmann, N. Kukowski, C.M. Krawczyk, O. Oncken*: Kinematics and mass transfer of subduction channels in forearc wedges - A comparison of scaled sandbox experiments with geophysical data

B73 (Poster) *L. Planert, E.R. Flüh, T.J. Reston, F. Tilmann, W. Weinrebe*: 2D Tomographic Imaging of the Crustal Structure of the Mid-Atlantic Ridge at 5° South

D82 (Poster) *G. Jentzsch, H. Ishii*: The new 4-component borehole strainmeter at the Geodynamic Observatory Moxa

E11 (Vortrag) *K. Stemmer, H. Harder, U. Hansen*: Der Einfluss von stark temperatur- und druckabhängiger Viskosität auf die Mantelkonvektion in einer 3D Kugelschale

E12 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *M. Breuer, H. Harder, U. Hansen*: A Numerical Study on Possible Driving Mechanisms of Core Convection

GE - Geoelektrik

D01 (Vortrag) *N. Meqbel, S. Helwig, B. Tezkan*: A new Software for the 2D Inversion of DC-Resistivity data

D02 (Vortrag) *T. Günther, C. Rücker*: Ein neuer Joint-Inversion-Ansatz und seine Anwendung auf die kombinierte Auswertung von geoelektrischen und refraktionsseismischen Daten

D03 (Vortrag) *A. Druiventak, A. Hördt, Z. Norbert*: Bestimmung des Kf-Wertes aus Felddaten durch spektrale induzierte Polarisierung und der Vergleich mit hydrogeologischen Methoden

D04 (Vortrag) *J. Igel, T. Günther, H. Preetz, O. Mohnke*: Bestimmung der kleinräumigen Variabilität der elektrischen Leitfähigkeit von Böden und ihr Einfluss auf geoelektrische Messungen

D05 (Vortrag) *H.-M. Münch, A. Kemna, E. Zimmermann, H. Vereecken*: Beziehung zwischen SIP Relaxationszeit und Salinität, Korngröße, Sättigung bzw. hydraulischer Leitfähigkeit

D06 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag) *E. Lück, R. Gebbers, U. Spangenberg*: Evaluierung elektrischer Leitfähigkeitskartierungen für die Landwirtschaft

D08 (Vortrag) *M. Grinat, W. Südekum, T. Günther*: Geoelektrisches Monitoring eines Tracer-Experiments in der Südstadt von Hannover

D09 (Vortrag) *A. Just, C. Rücker, F. Jacobs, Y. Krause*: Geoelektrische Messungen in Salzbergwerken

D50 (Poster) *H. Rodemann*: 1D-Fälle mit unzureichender Information

D51 (Poster) *F. Schmähling, U. Griesbach, C. Schwarzbach, K. Spitzer*: Lösung der inversen Aufgabe der Geoelektrik mit Evolutionsstrategien und neuronalen Netzen

D52 (Poster) *C. Rücker, T. Günther*: Anwendungen der Drei-Gitter-Technik zur Inversion geoelektrischer Messungen auf verschiedenen Geometrien

D53 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster) *N. Wagner, C. Rücker, H. Birnstiel, P. Geiling, Th. Hohlfeld*: Deichstrukturanalyse durch 3D-Inversion geoelektrischer Gleichstrommessungen

D54 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster) *A. Just, A.-K. Nüsch, W. Schönfelder, C. Rücker, F. Jacobs, Y. Krause*: Geoelektrische Messungen in einem ehemaligen Kalibergwerk

D55 (S 2 Ozeanränder, Poster) *D. Laaß, E. Danckwardt, G. Petzold*: Tiefengeoelektrik: Detektierbarkeit von Fluidbewegungen nach dem Injektionstest 2004-2005 an der KTB-VB

D56 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster) *M. Bock, K. Regenauer-Lieb, M. Lotze, T. Wilke, F.-T. Lenters, N. Siedow*: Untersuchung von Konvektionsströmungen im Laborversuch mit Hilfe der geoelektrischen 3D-Tomographie

D57 (Poster) *A. Güsgen, R. Berens, A. Hördt*: Erkundung der Deponie Finkenberg mittels Gleichstrom-Geoelektrik, Spektral Induzierter Polarisierung und Radiomagnetotellurik

D58 (Poster) *H. Triebe, N. Klitzsch*: Einfluss der Porenraumgeometrie von Sedimenten auf das SIP Verhalten

D59 (Poster) *K. Breede, A. Weller*: SIP-Messungen an Sandsteinen mit Lösungen unterschiedlicher Salze

D65 (S 2 Ozeanränder, Poster) *S. Lindhorst, C. Betzler, C. Hass, S. Feindt, J. Fürstenau*: Einsatz des Georadars im küstennahen Raum - Die holozäne Sedimentationsdynamik der Insel Sylt als Spiegel des letzten postglazialen Meeresspiegelanstiegs

D66 (Poster) *J. Schünemann*: Geoelektrische Großauslagen über einer eiszeitlichen Rinne

GÖ - Geophysik in der Öffentlichkeit

A36 (S 3 Geophysik in der Öffentlichkeit, Vortrag) *W. Brüstle, St. Stange*: Automatische Erdbebenmeldung für Baden-Württemberg in Rundfunk und Fernsehen

E56 (Poster) *Schüler der Anna Schmidt Schule Frankfurt, H.H. Lewinsky, S. Schneider, M. Häuserer, A. Junge*: Angewandte Geophysik im Schulunterricht

E57 (Poster) *T. von Dobeneck, F. Schmieder, T. Frederichs, Ch. Hilgenfeldt, weitere Mitarbeiter des FG Marine Geophysik*: Black Box Magnetismus - Magnetische Informationen im Alltag und in der Erdgeschichte - ein Beitrag zur Stadt der Wissenschaft 2005

GR - Geothermie und Radiometrie

D30 (Vortrag) *S. Wessling, W. Kessels*: Der Einfluss thermischer und hydraulischer Parameter auf die Ausbreitung von Untertage-Kohlefeuern

D31 (Vortrag) *C. Stadler, M. Kraml, N. Ochmann*: GEOTHERM-Projekt in Uganda: Widerstandsverfahren, Gravimetrie, Geochemie und Seismologie zur Exploration des Geothermiestandortes Buranga

GS - Geschichte der Geophysik

A34 (Vortrag) *H. Steffen, W. Brunk, I. Siebert, M. Siebert, U. Wedeken, M. Leven*: Rettung und Erweiterung der Wiechert'schen Erdbebenwarte Göttingen - Probleme und Arbeit eines Vereins

E03 (Vortrag) *H. C. Soffel*: Die zweite geomagnetische Landesaufnahme in Bayern vor hundert Jahren durch J. B. Messerschmitt

E55 (Poster) *H. C. Soffel*: Messerschmitt und seine zweite geomagnetische Landesaufnahme in Bayern vor hundert Jahren

GV - Gravimetrie

D34 (Vortrag) *R. Hackney*: Geological and Geophysical Applications of New Generation Satellite-Derived Earth Gravity Models

D35 (Vortrag) *I. Heyde, P. Kewitsch*: Neue Flugergebnisse mit dem BGR Aerogravimetriesystem

D83 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster) *G. Jentsch, A. Kopaev*: The Burris Automated Gravity Meter - a new instrument for surveying and continuous operation

D84 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster) *F. Bilgili, H.-J. Götze, S. Schmidt, A. Lippmann*: Intrusion vs. Inversion at Southern Rim of Northwest German Basin: 3D- Gravity Modelling by the Aid of the Digital Geotectonic Atlas

D85 (S 2 Ozeanränder, Poster) *U. Meyer*: Advantages of helicopter-borne gravimetry and its application in the GEO-DESIRE project covering the Dead Sea Rift

GZ - Glaziologie

C20 (Vortrag) *C. Hilbich, C. Hauck, M. Scherler, L. Schudel, I. Völksch, M. Hoelzle*: Geophysical Observation and 4-Phase-Modelling of Ice Content Evolution - GO 4 ICE

C21 (Vortrag) *S. Göbell, S. Hendricks, Ch. Haas*: Helikoptergestützte Laseraltimettermessungen über Meereis und Vergleich mit Eisdickendaten

C64 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster) *V. Helm*: The Cryosat land ice validation experiment 2004 Part I: Combination of ASIRAS - Airborne SAR Interferometric Radar Altimeter System - and laser altimetry

C65 (Poster) *T. Dunse*: The Cryosat land ice validation experiment 2004 Part II: Ground-based measurements of the firn structure using GPR

C66 (Poster) *C. Hauck, C. Kneisel*: Quantifying the ice content in low-altitude scree slopes using geophysical methods

C67 (Poster) *H. Anschütz, D. Steinhage, H. Oerter, W. Jokat, R. Dietrich*: Geophysikalische und glaziologische Untersuchungen zur Erfassung der Akkumulation im Dronning Maud Land, Antarktis

C68 (Poster) *O. Eisen, S. Steinhage, F. Wilhelms*: Improving the dating accuracy and accumulation record of ice cores by geophysical constraints

MA - Magnetik

C05 (Vortrag) *H. Sandhäger, G. von Gronefeld*: Kampfmitteldetektion in Nordrhein-Westfalen - Kombiniertes Einsatz von Luftbilddauswertung und Geomagnetik

D36 (Vortrag) *J. Grosser, K.-H. Glaßmeier, H.-U. Auster*: LAPUTA - Aeromagnetik an Bord eines unbemannten Kleinluftschiffes

E54 (Poster) *G. Gronefeld von, H. Sandhäger*: Einsatz der Geomagnetik bei den Kampfmittelbeseitigungsdiensten in Nordrhein-Westfalen

MG - Marine Geophysik

B03 (Vortrag) *U. Barckhausen, S.C. Cande, M. Engels, C. Ranero, W. Weinrebe*: Eine Rekonstruktion des Zerbrechens der Farallon-Platte

B10 (Vortrag) *V. Schlindwein, C. Müller, W. Jokat*: Aktiver submariner Vulkanismus am Gakkel Rücken, Arktischer Ozean

B11 (Vortrag) *M. Voß, W. Jokat*: Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Erste Interpretation tiefenseismischer und Potentialfelddaten im Bereich zwischen der Jan Mayen und Grönlandbruchzone

B12 (Vortrag) *D. Berger, W. Jokat*: Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Ergebnisse reflexions-seismischer Untersuchungen in der norwegisch grönländischen See zwischen 75°N und 78°N

B13 (Vortrag) *A. Wittwer, E. Flueh, H. Kopp, W. Rabbel, D. Wagner, U. Barckhausen*: Investigation of the Sundaarc subduction zone off Central Java

B16 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *N. Kukowski, O. Oncken*: Quantification of subduction erosion processes along the Andean subduction zone

B18 (Vortrag) *N. Fekete, V. Spiess, I. Grevemeyer, T. Reston*: Dewatering Through Mud Mounds on the Continental Fore-arc of Costa Rica

B19 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *S. Krastel, L. Zühlsdorff, M. Brüning, T. Vogt, R.B. Wynn, T.J.J. Hanebuth, R. Henrich, H.D. Schulz, M. Koelling*: Sedimentationsprozesse am senegalesischen Kontinentalhang: Erste Ergebnisse der Meteor-Fahrt M65-2

B21 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *I. Kock, K. Huhn*: Numerische Modellierung des mechanischen Verhaltens von Tonen mittels der Diskreten Elemente Methode

B22 (Vortrag) *A. Schlesinger, Fr. Theilen, S. Arndt, W. Rabbel, CORTEC Gruppe*: CORTEC - Tektonische Störungssysteme in der südlichen Nordsee

B23 (Vortrag) *F. Hese, H.-J. Götze, S. Schmidt, CORTEC Gruppe*: CORTEC - Ein 3D Dichtemodell der südlichen Nordsee

B24 (Vortrag) *M. Engels, U. Barckhausen, J.S. Gee*: Marine Vektormagnetometer: Neue Analysemethoden im Zeit- und Frequenzbereich

B25 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *T. Temmler, D. Franke, I. Heyde, S. Neben*: Marine seismische Untersuchung und refraktionsseismische Modellierung im Pelotas Becken - Offshore Uruguay

B30 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *V. Spieß, H. Keil, T. Schwenk, S. Krastel*: A very high resolution multichannel seismic System for Operation in shallow marine Environments, Lakes and Rivers

B31 (Vortrag) *T. Schwenk, V. Spieß, H. Kassens, P. Rekant, E. Gusev*: Der Permafrost in Zentralnord-sibirien und seine submarine Verbreitung in der Laptev See dargestellt in hochauflösenden akustischen und seismischen Daten

B33 (Vortrag) *A. C. Gebhardt, F. Niessen, C. Kopsch*: Seismische Untersuchungen am Elgygytyn-Kratersee in Nordostsibirien

B34 (Vortrag) *M. Schaefers, T. Bode, A.B. Cremers, CORTEC Gruppe*: CORTEC - Entwicklung einer offenen Plattform zur datenbank-gestützten Verwaltung volumenbasierter geowissenschaftlicher Modelle

B59 (Poster) *G. Klein, D. Kläschen, T.J. Reston, G. Westbrook, R. Mjelde, L.M. Pinheiro*: Swath-Seismic method applied to 3D seismic

B61 (Poster) *K. Huhn, I. Kock, A.J. Kopf*: Comparative numerical and analogue shear box experiments and their implications for the mechanics along the failure plane of landslides

B65 (Poster) *D. Berger, W. Jokat*: Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Glaziale Sedimentstrukturen in der norwegisch grönländischen See zwischen 72°N und 75°N

B72 (Poster) *T.J. Reston, J. Bialas, K. Meissner, L. Planert*: Geophysical Studies near the Ascension Transform: Evolution of Ridge Segmentation and Crustal Structure - ASTERICS

B75 (S 5 Geo-Risiken, Poster) *U. Stöber, M. Walter, C. Mertens, M. Rhein*: Hydrothermal Vent Power Estimates for the Nibelungen Field, Southern MAR

B76 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster) *H.-H. Gennerich, M. Fabian, H. Villinger*: Langzeitregistrierung physikalischer Parameter im Logatchev-Hydrothermal-Feld

B77 (Poster) *M. Walter, U. Stöber, C. Mertens, M. Rhein*: Auswirkung turbulenter Strömungen auf die Ausbreitung hydrothermaler Fluide

B78 (S 5 Geo-Risiken, Poster) *T. Temmler, M. Marquardt, C. Hensen, C. Müller, K. Wallmann*: Development of a combined geochemical-geophysical approach for quantification of regional submarine gas hydrate inventories

PG - Paläo- und Geomagnetismus

E09 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *H. Winkler, K.-H. Glassmeier, M.-B. Kallenrode, J. Notholt, K. Schulze, M. Sinnhuber, F. Steinhilber, J. Vogt*: Modelling of impacts of Solar Proton Events on the Earth atmosphere in a changing geomagnetic field

E10 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *G. Balasis, G. D. Egbert*: A study of global electro-

magnetic induction using satellite and observatory magnetic data

E13 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *H. Harder, U. Hansen*: Numerische Simulationen des Geodynamos: Resultate und Perspektiven

E14 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *J. Wicht, C. Constable*: Variation der Umkehrhäufigkeit in einer Dynamosimulation

E15 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *I. Wardinski, M. Korte*: Die Fluidbewegung an der Kern-Mantel-Grenze der letzten siebentausend Jahre

E16 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *M. Korte, C. Constable*: Geomagnetische Säkularvariation der letzten Jahrtausende

E17 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *H. Böhnell, J.F.W. Negendank, N. Nowaczyk, P. Schaaf*: Säkularvariation in Mexiko

E18 (Vortrag) *D.M. Michalk, N. Nowaczyk, H. Böhnell, J.F. Negendank*: Full vector Geomagnetic Secular Variation in Central Mexico as derived from volcanic rocks dating from Bruhnes-Chron: First preliminary palaeo- and rock-magnetic results

E19 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *N.R. Nowaczyk, F. Demory, G. Yancheva, U. Frank*: Geomagnetische Exkursionen als stratigraphische Zeitmarken?

E20 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *D. Hofmann, K. Fabian*: Which parameters control relative paleointensity? Results from a South Atlantic stratigraphic network

E21 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *D. Heslop*: Modelling magnetic particle orientation during sedimentation through a still water column.

E22 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *H. Müller, T. von Dobeneck*: Magnetit im Kräfte regime uniaxial komprimierter Tiefseesedimente

E23 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Vortrag) *C. Franke, M.J. Dekkers, M.R. Drury, H. Meeldijk, T. von Dobeneck*: Mineral magnetic and microscopic characterisation of magnetic particles in pelagic sediments: Examples from the Equatorial Atlantic

E24 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *C. M. Köhler, M. Höcker, D. Heslop, T. von Dobeneck, W. Krijgsman*: Late Miocene climate reconstruction based on the Mediterranean Metochia section using hematite and goethite proxies

E25 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *Y. Fu, D. Heslop, C. Franke, T. Frederichs, P.B. Flemings, C. John, J. Behrmann, T. von Dobeneck, The Expedition 308 Shipboard Scientific Party*: Paleo- and Rock Magnetic Investigation of Brazos Trinity Basin 4, Gulf of Mexico - IODP, Leg308, Site U1319A and U1320A

E59 (Poster) *J. Stadelmann, P. Weidelt*: Geomagnetic Mantle Diffusion Times

E60 (Poster) *A. Giesecke*: Turbulent heat flux in anisotropic magnetoconvection

E61 (Poster) *R. Schachtschneider, G. Balasis, M. Rother, M. Manda*: Data selection for geomagnetic field modeling using wavelet methods

E62 (Poster) *M. Dillon*: Magnetic characteristics of marine sediments from the upwelling region off NW Africa

E63 (Poster) *A. C. Itambi, T. von Dobeneck, S. Mutilza*: Records of millennial-scale NW African climate change from off-shore Senegal.

E64 (Poster) *M. Höcker, C. Köhler, D. Heslop, T. v. Dobeneck, C. Langereis*: Neogene Monsoon variability over North Africa: Saharan Dust Supply to the Mediterranean Sea reconstructed by rock magnetic, color spectrometric and voltammetric proxy records based on Hematite and Goethite content

E65 (Poster) *C. Franke, T. Frederichs, M.J. Dekkers*: The Advantage of Heavy Liquid Separates in Low-Temperature Magnetometry: Case Study of Pelagic Sediments from the Equatorial Atlantic

SM - Seismik

A27 (Vortrag) *T. Beilecke, K. Bram, S. Buske*: Aktive seismische Wiederholungsmessungen injektions-induzierter Druckänderungen in der SE2 Störzone des Kristallin der Kontinentalen Tiefbohrung

A28 (Vortrag) *E. Rothert, S.A. Shapiro*: Statistics of rock criticality and fluid injection induced seismicity

B14 (Vortrag) *U. Micksch, C. M. Krawczyk, M. Stiller, K. Groß, S. Buske, P. Wigger, M. Araneda, K. Bataille, J. Bribach, S. Lüth, J. Mechie, A. Schulze, S. A. Shapiro, T. Ziegenhagen, TIPTAQ Research Group*: High-resolution, three-component reflection seismic survey in the Southern Central Chilean Andes, Project TIPTAQ

B17 (S 2 Ozeanränder, Vortrag) *A. Talukder, W. Brückmann, J. Bialas, D. Kläschen, T. Reston, M. Breitzke*: Widespread occurrence of mud mounds and associated BSRs on the Pacific margin off Nicaragua - results from a deep tow seismic survey

B20 (S 2 Ozeanränder/ S 5 Geo-Risiken, Vortrag) *C. Huebscher, G. Netzeband, D. Gajewski*: The Israeli Slump Complex

B26 (Vortrag) *M. Wagner-Friedrichs, H. Keil, G. Bohrmann, M. Ivanov*: Seismische Untersuchungen im Batumi Seep Gebiet vor Georgien, Schwarzes Meer - Ergebnisse der TTR15-Fahrt

B27 (Vortrag) *C. Hübscher, G. L. Netzeband, D. Gajewski*: The Messinian evaporites of the Levantine Basin - A world class site for scientific drilling

- B28 (Vortrag)** *E. Weigelt, G. Uenzelmann-Neben:* Orbital forced cyclicity in the depositional environment in the Cape Basin - an integrated study of borehole and seismic data
- B29 (Vortrag)** *T. Bartels, S. Krastel, V. Spiess:* Abbildungen von paläoklimatischen Ereignissen und Untersuchungen von Tiefenwasserströmungen im Bereich des Walfischrückens
- B32 (Vortrag)** *F. Demirel-Schlüter, S. Krastel, F. Niessen, E. Demirbag, C. Imren, M. Toker:* Reflexionsseismische Untersuchungen am Van See, Türkei, als Beitrag zur Bestimmung einer potentiellen ICDP-Lokation und Rekonstruktion von Seespiegelschwankungen
- B35 (S 2 Ozeanränder, Vortrag)** *M. Breitzke, O. Boebel, S. El Naggar, W. Jokat, G. Kuhn, F. Niessen, H. W. Schenke, B. Werner, J. Diebold:* Akustische Vermessung der marin-seismischen Quellen des FS Polarstern im Herdle-Fjord, Norwegen
- B36 (Vortrag)** *S. Bussat, T. Bohlen, S. Kugler:* Lovewellen am Meeresboden - angeregt durch eine Quelle in der Wassersäule
- B37 (Vortrag)** *A. Gerner, E.H. Saenger, S.A. Shapiro:* Attenuation of P-waves in gas hydrate-bearing sediments due to interlayer flow
- B38 (Vortrag)** *S.R. Zanoth, E.H. Saenger, O.S. Krüger, S.A. Shapiro:* Leaky mode: A seismic wave attenuation mechanism in a gashydrate-bearing sediment
- B39 (Vortrag)** *H. Zöllner, P. Schikowsky, K. Reichter:* Interpretation of the spatial high resolution seismic dataset RERIK - Pre-Alpine evolution of the coastal Mecklenburg Bay
- B40 (Vortrag)** *R. Thomas:* VSP- und MS-VSP-Messungen in einer geothermischen Bohrung im Süddeutschen Molassebecken zur Erkundung des Malmkarstes
- B41 (Vortrag)** *E. H. Saenger, R. Ciz, B. Gurevich, S. A. Shapiro:* Poroelastic Modeling
- B42 (Vortrag)** *F. Karpfinger, T.M. Müller, B. Gurevich:* Impulse responses of seismic waves in poroelastic media
- B43 (Vortrag)** *M. Brajanovski, T. M. Müller, B. Gurevich:* Fracture related cross-over frequencies of seismic attenuation in porous rocks
- B44 (Vortrag)** *S. Dümmong, C. Vanelle, D. Gajewski:* Common Reflection Surface Stack - eine alternative Implementation?
- B45 (Vortrag)** *L. Rabenstein, S. Buske, S. Shapiro:* Seismische Abbildung in stark heterogenen Medien - Numerische Modellrechnungen und Reflection-Image-Spectroscopy
- B46 (Vortrag)** *C. Vanelle:* True-amplitude migration in anisotropic media
- B47 (Vortrag)** *S. Buske, M. Heigel, S. Lüth:* Prinzip und Anwendung der Fresnel-Volumen-Migration
- B48 (Vortrag)** *D. Köhn, T. Bohlen:* Modellierung von elastischen Wellen auf einem räumlich variablen FD-Gitter: Anwendungsbeispiele
- B50 (Poster)** *M. Yoon, M. Baykulov, S. Dümmong, H.-J. Brink, D. Gajewski:* New insight into the crustal structure of northern Germany by reprocessing of reflection lines with the CRS stack method
- B51 (S 5 Geo-Risiken, Poster)** *B. Heincke, M. Jegen-Kulcsar, R. W. Hobbs:* Joint inversion of 2-D seismic travel time tomography, MT and gravity data to resolve structures below a basalt cover
- B52 (S 2 Ozeanränder, Poster)** *W. Suhr, T. Bohlen:* Validity of acoustic waveform inversion for elastic media
- B53 (S 2 Ozeanränder, Poster)** *D. Günther, H. Zöllner, P. Schikowsky:* Analyse von multiplen Reflexionen in seeseismischen CDP-Daten und Möglichkeiten ihrer Unterdrückung
- B54 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster)** *T. Jokisch, C. Müller, W. Rabbel, S. Wölz:* Das Amplitudenverhalten von flachmarinen Seebodenmultiplen bei konstantem Quell-Empfänger Abstand
- B55 (Poster)** *S. Wichert, S.L. Helwig, B. Tezkan, H. Rüter:* Oberflächennahe Reflektionsseismik mit einem Vibrationsstampfer
- B56 (Poster)** *S. Bussat, S. Kugler, D. De Nil, T. Bohlen:* Starke Polarisationsanomalien und jahreszeitliche Variationen bei Messungen mit Ozean-Boden-Seismometern
- B57 (Poster)** *S. Bussat, S. Kugler, T. Bohlen:* Anregung von Scholtewellen durch Schiffe - Auswertung zeitlich kontinuierlicher Signale
- B58 (Poster)** *D. De Nil, T. Bohlen:* On the existence of fast Rayleigh waves
- B60 (S 5 Geo-Risiken, Poster)** *M.L. Buddensiek, C.M. Krawczyk, N. Kukowski, O. Oncken:* Seismic Imaging of Scaled Sandbox Models
- B63 (Poster)** *F. Ding, V. Spieß, L. Zühlsdorff:* Reconstruction of growth fault movement patterns at Middle Valley, Juan de Fuca Ridge
- B64 (Poster)** *A. A. Antobreh, S. Krastel:* Failure mechanisms and controls on slide mobility of the Mauritania Slide Complex inferred from Parasound and high-resolution MCS data.
- B66 (Poster)** *T. Vogt, V. Spieß, S. Krastel:* Einfluss starker Bodenströmungen auf die Entwicklung des argentinischen Kontinentalhanges im Einzugsbereich ausgeprägter Canyons um 44°S

- B67 (Poster)** *G. Wagner, T. Reston, D. Klaeschen, G. Krahmann, G. Papenberg, P. Brandt, M. Visbeck:* Seismic Imaging of Thermohaline Fine Structure in the Eastern Atlantic
- B68 (Poster)** *H. Keil, A. Bartholomä, F. Ding, S. Kreiter:* High resolution acoustic measurements in the southern German Bight
- B69 (Poster)** *T. Schwenk, V. Spieß, H. Kassens, P. Rekant, E. Gusev:* The submarine permafrost in the Laptev Sea imaged with high-resolution multi-channel seismic data
- B70 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster)** *D. Wagner, W. Rabbel, A. Wittwer, H. Kopp, E. Flueh, and the Meramex Scientists:* The MERAMEX Project- Modelling Results of the Seismic Refraction Profiles Close to the South Coast of Central Java, Indonesia
- B71 (S 2 Ozeanränder, Poster)** *T.J. Reston, E.R. Flueh, V. Gaw, G. Wagner:* Seismic investigations of the structure of the Porcupine Basin, west of Ireland
- B79 (Poster)** *N. Fekete, V. Spiess, I. Grevemeyer, T. Reston:* Gas Hydrates and Fluid Flow in the Costa Rican Continental Fore-Arc Offshore Central Nicoya Peninsula
- B82 (S 2 Ozeanränder, Poster)** *C. M. Krawczyk, J. Mechie, Z. Tasárová, S. Lüth, M. Stiller, H. Brasse, H. Echter, K. Bataille, P. Wigger, M. Araneda:* Geophysical signatures and active tectonics at the South-Central Chilean margin
- B83 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster)** *C.M.A. Sick, S. Buske, S.A. Shapiro:* Advanced Seismic Imaging of Subduction Related Structures at the North Chile Convergent Margin
- B84 (Poster)** *M. Scherwath, E. Contreras-Reyes, I. Grevemeyer, E. Flueh, N. Kaul, TIPTEQ Working Group:* Age-dependent lithospheric structures in the Young Subduction Zone of Southern Chile - Results from TIPTEQ
- B85 (Poster)** *K. Groß, S. Buske, P. Wigger, U. Micksch, C. M. Krawczyk, M. Stiller, M. Araneda, K. Bataille, J. Bribach, S. Lüth, J. Mechie, A. Schulze, S. A. Shapiro, T. Ziegenhagen, TIPTEQ Working Group:* Structural Image of the Chilean Subduction Zone at 38° S: The Reflection Seismic Survey Within Project TIPTEQ
- D11 (Vortrag)** *S. Lüth, R. Giese, T. Dickmann, T. Bohlen, K. Krüger, S. Mielitz, P. Otto:* Erkundung einer geologischen Schwächezone mit tunnelseismischen Messungen - die Piora-Mulde am Gotthard-Basistunnel
- D12 (Vortrag)** *Th. Bohlen, U. Lorang, W. Rabbel, R. Giese, S. Lüth, C. Müller:* Seismic prediction ahead of tunnel construction using Rayleigh to body wave conversion at the head face
- D13 (Vortrag)** *K. Essen, T. Bohlen, W. Friederich:* Modellierung von Rayleigh Flözwellen in gestörten Kohleflözen und in der Nähe einer untertägigen Strecke
- ## SO - Seismologie
- A01 (Vortrag)** *X. Yuan, R. Kind, X. Li, R. Wang:* What can we learn from the S receiver functions?
- A02 (Vortrag)** *M. Landes, J.R.R. Ritter:* P and S receiver functions in Ireland
- A03 (Vortrag)** *B. Bayer, M. Mueller, Ch. Jokat, W. Hoffmann:* Analyse seismischer Anisotropie und Berechnung von Receiver Functions im Dronning Maud Land, Antarktika - erste Ergebnisse.
- A04 (Vortrag)** *C. Legendre, G. Barruol, F. Masson, J. Vergne:* Thickness of the Transition Zone Beneath the South Pacific Superswell From Receiver Functions
- A05 (Vortrag)** *W.H. Geissler, R. Kind:* Bestimmung der Untergrenze der Europäischen Kontinentalplatte mit Hilfe von S Receiver Functions
- A06 (Vortrag)** *D. Kühn, J. Schweitzer, T. Dahm, F. Krüger:* Momententensorinversion regionaler Ereignisse in Fennoskandien und benachbarten Gebieten
- A07 (Vortrag)** *J. Schweitzer, F. Ringdal:* Infrasonic Observations in Northern Fennoscandia
- A09 (Vortrag)** *A. Barth, M. Jordan, J.R.R. Ritter:* Krustale Auswirkungen und Mantelstruktur des Zentralmassiv Plumes
- A10 (Vortrag)** *B. Heuer, W. H. Geissler, R. Kind, H. Kämpf, BOHEMA Working Group:* Indications for asthenospheric updoming beneath the western Bohemian Massif
- A11 (Vortrag)** *D. Rößler, F. Krüger, G. Rümpker:* Tensile Components retrieved for Swarm Events in Vogtland, W-Bohemia by considering seismic anisotropy
- A12 (Vortrag)** *M. Walther, T. Plenefisch:* Analyse von SKS-Scherwellen-Splitting zur Untersuchung von Mantel-Anisotropie im Bereich des GRSN
- A13 (Vortrag)** *F. Krzikalla, T. M. Müller:* Scattering Attenuation of Seismic Waves in Anisotropic Random Media
- A14 (Vortrag)** *B. Endrun, T. Meier, S. Lebedev:* Bestimmung der S-Wellengeschwindigkeit, radialer und azimuthaler Anisotropie mittels Oberflächenwellen in der Ägäis
- A15 (Vortrag)** *D. Becker, M. Bohnhoff, T. Meier, H.-P. Harjes:* Seismizitätsbeobachtungen im forearc der Hellenischen Subduktionszone mit Hilfe eines OBS-Netzwerkes
- A16 (Vortrag)** *A. Spicak, V. Hanus, J. Vanek:* Global seismological data analysis: recent onset of a new subduction cycle at the Java trench?

- A17 (S 2 Ozeanränder, Vortrag)** *A. Schulze, M. Weber*: Deutscher Pool für amphibische Seismologie -DEPAS- Landteil
- A18 (Vortrag)** *M.C. Schmidt-Aursch, W. Jokat, H. Miller*: Deutscher Geräte-Pool für amphibische Seismologie -DEPAS- Mariner Teil
- A19 (Vortrag)** *A. Oth, F. Wenzel, M. Radulian*: Herdparameter des Vrancea (Rumänien) Bebens vom 27. Oktober 2004 (M=5.9) durch Modellierung mit empirischen Green'schen Funktionen
- A20 (Vortrag)** *J. Miksat, F. Wenzel, V. Sokolov*: Modellierung der Bodenbewegung der Vrancea Starkbeben
- A21 (Vortrag)** *M. Bohnhoff, H. Grosser, G. Dresen*: Strain Partitioning and Stress Rotation at the North Anatolian Fault Zone from aftershock focal mechanisms of the 1999 Izmit Earthquake
- A22 (Vortrag)** *D. Kurrle, R. Widmer-Schmidrig*: Untersuchungen des seismischen Rauschens bei langen Perioden
- A23 (Vortrag)** *S. Cesca, T. Dahm, J. Battaglia, T. Braun*: Frequency domain inversion of synthetic long period volcanic events
- A24 (Vortrag)** *L. Ceranna, G. Hartmann, M. Henger*: Der unhoerbare Laerm von Windkraftanlagen
- A25 (Vortrag)** *M. Hensch, J. Reinhardt, C. Riedel, The. NICE-people*: Hypocenter migration of fluid-induced earthquake swarms in the Tjörnes Fracture Zone, North Iceland
- A29 (Vortrag)** *M. Häge, M. Joswig*: Obertägige Messung von Hydrofrac-Ereignissen durch Nanoseismic Monitoring
- A30 (Vortrag)** *M. Bischoff, T. Meier*: Inversion von Nahfeld-Seismogrammen für bergbauinduzierte Ereignisse
- A31 (Vortrag)** *M. Joswig*: Das Konzept seismischer Nachbebenmessungen für On-Site Inspections der CTBTO
- A32 (Vortrag)** *N. Köhler, T. Dahm, T. Spies*: Seismizitätsmuster und Variation der Frequenz-Magnitude-Verteilung von Mikrorissen im Salz
- A33 (Vortrag)** *K. Koch*: Bulletin comparisons during the first System-wide Performance Test SPT1
- A35 (Vortrag)** *S. Funke, S. Wendt, M. Korn*: Das seismologische Online-Sachsennetz - Ausbaustand, Kooperationen, Ergebnisse
- A37 (Vortrag)** *G. Jahnke, N. Gestermann, A. Schick, L. Ceranna, M. Henger*: Betrieb des Erdbeben Alarm- und Informationssystems ALISE
- A38 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *J. Saul, W. Hanka, GITEWS-Gruppe*: GEOFON und das Tsunami-Warnsystem für den Indischen Ozean
- A39 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *F. Krüger, M. Ohrnberger*: Direct teleseismic rupture imaging using array techniques
- A40 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *P. Bormann, K. Wylegalla, J. Saul, S. Wendt*: Kumulative Raumwellenmagnitudo aus Breitbandregistrierungen zur schnellen Bestimmung der Stärke sehr großer Erdbeben
- A42 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *K. Klinge, K. Stammler, T. Plenefisch, E. Wetzig, T. Dahm*: Indiziert oder natürlich? - Untersuchung der seismischen Aktivität südöstlich von Bremen
- A43 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *St. Stange, C. Pohl, W. Brüstle*: Geophysik zur seismischen Mikrozonierung, Beispiel Lörrach/Weil am Rhein
- A44 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *H. Sudhaus, J.R.R. Ritter*: Variationen seismischer Amplituden in Bukarest
- A45 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *T. Diehl, J.R.R. Ritter*: Die Scherwellen-Geschwindigkeitsstruktur unter Bukarest aus Receiver Funktionen
- A46 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag)** *F. Wenzel, J. Bartlakowski, M. Radulian, J. Ritter, W. Wirth*: Urban Shakemap Methodology for Bucharest
- A54 (Poster)** *I. Wölbern, B. Heit, X. Yuan, G. Asch, R. Kind*: Crustal and Upper Mantle structures beneath the Central Andes at 21°S and 25.5°S derived from Receiver Functions
- A55 (Poster)** *X. Li, X. Yuan, R. Kind*: Lithospheric Structure Beneath Western US
- A56 (Poster)** *C. Eckhardt, W. Rabbel, T. Bohlen*: Analyse von Receiver Funktionen zur quantitativen Untersuchung seismischer Anisotropie im Bereich des GRSN
- A57 (Poster)** *M. Staackmann, K. D. Fischer*: Auflastbedingte Spannungskonzentrationen unter Inseln
- A58 (Poster)** *T. Plenefisch, K. Klinge*: Das Spannungsfeld des Sunda-Bogens abgeleitet aus Erdbeben-Herdmechanismen
- A59 (Poster)** *M. Rische, A. Brüstle, B. Endrun, M. Bohnhoff, T. Meier*: Mitteltiefe Seismizität in der Hellenischen Subduktionszone
- A60 (Poster)** *D. Dörner, A. Hofstetter, A. Mohsen, G. Bock, G. Rümpker, DESERT Group*: Seismische Anisotropie im Bereich der Dead-Sea Transform aus SKS Daten des DESERT Arrays
- A61 (Poster)** *Thomas W. Muench, M. Koch, J. Schlittenhardt*: Simultaneous inversion for 3D crustal and lithospheric structure and regional hypocenters beneath Germany considering an anisotropic upper mantle
- A62 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster)** *J. Schweitzer, A. Levshin, CH. Weidle, N. Maercklin, N.*

- Shapiro, M. Ritzwoller*: Surface wave tomography of the European Arctic
- A63 (Poster)** *S. Schulz, L. Küperkoch, T. Meier, W. Fiederich*: Stapelung breitbandiger Seismogramme europäischer Stationen für den Entfernungsbereich 0° bis 50°
- A64 (Poster)** *J. Schäfer, I. Wölbern, G. Rumpker*: Regionale Stapelung von Seismogrammen zur Analyse von Manteldiskontinuitäten
- A65 (Poster)** *L. Küperkoch, T. Meier, W. Fiederich*: Detection of Signals using Higher Order Statistics
- A66 (Poster)** *S. Heimann, T. Dahm*: Modelling Seafloor Compliance using a Pseudo-Spectral Method
- A67 (Poster)** *T. Dahm, M. Miensopust, S. Winter, R. Knut, M. Thoelen, R. Herber*: Labor-Kalibrierung von Ozeanbodenstationen
- A68 (Poster)** *T. Forbriger*: Entmagnetisierung der Tragfeder eines STS-1V
- A69 (S 5 Geo-Risiken, Poster)** *R. Widmer-Schmidrig, D. Kurrle*: Evaluation of Installation Methods for STS-2 Seismometers
- A70 (Poster)** *V. Oye*: Real-time Monitoring of SA-FOD Microearthquakes
- A71 (Poster)** *N. Kühn, S. Hainzl, F. Scherbaum*: Cycling properties and temporal correlations in linked stress release models
- A72 (Poster)** *C. Friedrich, G. Eilers, O. Klippel*: Seismisches Monitoring im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben
- A73 (Poster)** *C. Pohl, St. Stange, W. Brüstle, J.H. Behrmann, B. Stribrny*: Earthquake Microzonation Map Lörrach and Weil am Rhein, Southern Upper Rhine Graben
- A74 (Poster)** *B. Jaskolla, M. von Steht, J.R.R. Ritter*: S-Wellengeschwindigkeit im Stadtgebiet von Bukarest
- A75 (Poster)** *O. Sèbe, T. Forbriger, J. Ritter*: The shear waves velocity underneath Bucharest City from surface waves analysis at the URS broad-band network
- A76 (Poster)** *A. Barth, F. Wenzel*: Fault geometry of the 05-12-05 Lake Tanganyika earthquake and its aftershocks
- A77 (Poster)** *N. Benn, S. Stange, W. Brüstle, A. Henk, B. Stribrny*: Das Beben von Waldkirch am 5.12.2004
- A78 (Poster)** *M. Häge, M. Hoppe, M. Joswig*: Anwendung nichtlinearer Korrelationsverfahren im Zeitbereich für die Ortung der Nachbeben des Waldkirch Bebens vom 05.12.2004
- A79 (Poster)** *G. Hartmann, A. Schick*: Einschätzung des Schadenpotenzials weltweiter Erdbeben
- A80 (Poster)** *I.G. Arroyo, E. Flüh, S. Husen, J. Gößler, G.E. Alvarado, M. Mora*: Characterization of the Central Costa Rican Pacific Seismogenic Zone from an „Amphibious“ Local Seismological Network
- A81 (Poster)** *A. Brüstle, M. Rische, T. Meier, W. Fiederich, EGELADOS working group*: Das EGELADOS Projekt - Ein temporäres, regionales, amphibisches Breitband-Stationsnetz in der Südägäis
- B07 (S 2 Ozeanränder, Vortrag)** *Ch. Haberland, A. Rietbrock, D. Lange, K. Bataille, S. Hofmann, T. Dahm, F. Scherbaum, G. Hermosilla, TIPTEQ Seismology Group*: Seismicity and velocity structure in Southern Chile between 37 and 39 S: First results from the TIPTEQ network
- B08 (S 2 Ozeanränder, Vortrag)** *C.D. Lange, C. Haberland, A. Rietbrock, S.D. Hofmann, K. Bataille*: The TIPTEQ seismic network covering the Chilean forearc between 41.5° and 43.5° S - Seismicity and velocity model
- B09 (Vortrag)** *M. Bohm, G. Asch, I. Koulakov, A. Manzanares, B. - G. Lühr, E. Shevkunova, E. Hartantyo, H. Gunawan*: MERAMEX - Seismologische Messungen zur Untersuchungen von Zentraljava, Indonesien
- D17 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *M. Walter*: Seismische Untersuchung von Massenbewegungen am Heumöser Hang, Vorarlberg mittels Nanoseismic Monitoring
- UI - Umwelt- und Ingenieurgeophysik**
- C02 (Vortrag)** *T. Radic*: Zeitreihenauswertung von NMR-Messungen im Erdmagnetfeld
- C08 (Vortrag)** *P. Buckup, K. Buckup*: Einsatz des Impuls-Neutron-Neutron-Verfahrens zur Minensuche
- D07 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *M. Müller, O. Mohnke, J. Schmalholz, U. Yaramanci*: Monitoring von Feuchteänderungen im Boden mit Gleichstromgeoelektrik - INTERURBAN
- D10 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *G. Kneib*: Ableitung seismischer Untergrundparameter vor der Tunnelbrust
- D14 (Vortrag)** *K. Jaksch, R. Giese, S. Lüth*: Hochauflösende seismische Messungen an Lehmdeichen
- D15 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *G. Kaufmann*: Numerische Untersuchungen zur Stabilität von Staudämmen im Karst
- D16 (Vortrag)** *U. Swoboda, C. Witte, B. Loske, S. Weihrauch, M. Döhler*: 3-D Seismische Erkundung einer Pipelinetrasse zur Anbindung der RWE-DEA-Förderplattform MITTELPLATE
- D18 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *M. Janik, R. Kirsch, S. Reiss*: Geophysikalische Erkundung eines Erdfalls

- D19 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *A. Tillmann, Z. Nyari, I. Fejes, J. Vanderborcht, H. Vereecken*: Charakterisierung der Sedimentheterogenität und der Korngrößenverteilung mit Hilfe der Cone Penetration Technologie
- D20 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *B. Weinhacht, F. Börner*: Geophysikalische Messungen von Wasser-Retentionsfunktionen an sandgefüllten Blockmodellen im Technikumsmaßstab
- D21 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *H. Paasche, J. Tronicke, K. Holliger, A.G. Green*: Integration verschiedener geophysikalischer Modelle und Abschätzung petrophysikalischer Parameterverteilungen mittels fuzzy c-means Clusteranalyse
- D22 (Vortrag)** *W. Rühaak, L. Gorling, R. Schulz*: Integration geophysikalischer Daten in ein dreidimensionales geometrisches Untergrundmodell
- D23 (Vortrag)** *M. Furche, U. Noell, Ch. Grissemann, T. Günther*: Geophysikalische Feldmessungen auf Haldenkörpern und Labormessungen im Technikumsmaßstab
- D24 (Vortrag)** *U. Hehmann, M. Degutsch*: Numerische Simulation von Strömung in porösen Medien - ein spezielles Gittergasmodell
- D25 (Vortrag)** *J. Schmalholz, H. Stoffregen, A. Kemna, U. Yaramanci*: Abbildung zeitlich veränderlicher Wassergehalte in einem Lysimeter mit dem Georadar
- D26 (Vortrag)** *U. Werban, S. Dreibrodt*: Georadar zur Rekonstruktion historischer Landschaftsoberflächen
- D27 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *V. Gundelach, D. Eisenburger, W. Kahnt, D. Otto*: Peilmessungen mit Georadar zur räumlichen Ortung im Salz mit verschiedenen Antennen und Polaritäten in einer Streckenauffahrung
- D28 (Vortrag)** *F. Jacobs, A. Just, U. Serfling, C. Rücker, T. Wonik, S. Uchtmann, H. Kühncke, E. Schulze, U. Lindner, T. Schicht, A. Schwandt*: Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteelement zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar
- D29 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Vortrag)** *N. Klitzsch*: Widerstanderniedrigung durch Kohlenwasserstoffkontamination?!
- D32 (Vortrag)** *C. Kroner, T. Jahr, H. Kämpf*: Gravimetrische und magnetische Erkundung des Diatremms bei Ebersbrunn/Westsachsen
- D33 (Vortrag)** *M. Naujoks, C. Kroner, T. Jahr, A. Weise*: Vom Störeinfluss zum Nutzsignal: Hydrologische Effekte in gravimetrischen Beobachtungen
- D60 (S 2 Ozeanränder, Poster)** *S. Kruschwitz*: SIP Messungen an Baumaterial mit unterschiedlich salinen Porenfluiden und Feuchtegehalten
- D61 (Poster)** *T. Martin*: SIP an stehenden Bäumen
- D62 (Poster)** *A. Ullmann, D. Bieker, S. Rust, R.-U. Börner, K. Spitzer*: Dreidimensionale geoelektrische Rekonstruktion des Wurzelbereichs von Bäumen
- D63 (S 5 Geo-Risiken, Poster)** *M. Vasterling, S. Jetschny, A. Franke, R.-U. Börner, K. Spitzer*: Elektrische und elektromagnetische Methoden zur Vorerkundung von HDR-Geothermiestandorten und zur Abbildung künstlich erzeugter Kluftsysteme
- D64 (Poster)** *F.P. Bosch, K. Chalikakis, M. Gurk*: Remote radio transmitter electromagnetic survey in the vicinity of a sinkhole in the karstic, alluvial depression of Lousoi, Peloponnesus, Greece
- D67 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster)** *H. Wiederhold, F. Binot, G. Gabriel, M. Grinat, R. Kirsch, J. Kröger, H.-M. Rumpel, W. Scheer, J. Schünemann, A. Steuer, T. Wonik*: Eiszeitliche Rinnen in Norddeutschland: Neue Untersuchungen im Projekt BurVal
- D68 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster)** *H.-M. Rumpel, H. Wiederhold, BurVal-Arbeitsgruppe*: Untersuchung Quartärer Rinnenfüllungen im Rahmen des BurVal Projektes
- D69 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster)** *M. Strahser, K. Iwanowski, C. Klein, U. Werban, W. Rabbel, F. Schildknecht, C. Stadler*: Seismoelektrische Kartierung einer glazialen Dünenstruktur in Vorpommern
- D70 (Poster)** *K. Jaksch, R. Giese, S. Lüth*: High-resolution seismic measurements at loamy dikes
- D71 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster)** *C. Salat, A. Junge*: 3D-Darstellung vulkanischer Strukturen in der Eifel mit Hilfe von Radarmessungen
- D72 (Poster)** *D. Kühn, M. Ohrnberger, T. Dahm, A. Dehghani, F. Scherbaum*: Vermessung des Othmarschen-Langenfelde-Diapirs mit Hilfe der natürlichen seismischen Bodenunruhe
- D73 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster)** *J. Meßinger, A. Kurzmann*: Vergleichende Transmissionsmessungen mittels Georadar und Ultraschall an hydraulisch gesteuerten Blockmodellen
- D74 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster)** *A. Gerst, M. Vöge, M. Hort, L. Scharff, S. Heimann, B. Müller*: Quantitative Beobachtung von Steinbruchsprengungen mittels Dopplerradar
- D75 (Poster)** *P. Dedecek, J. Safanda, M. Kresl, V. Cermak*: Ground surface temperature monitoring under different types of surfaces
- D76 (Poster)** *G. Kurz, M. Müller, U. Yaramanci*: Untersuchungen zum Wasserspeichervermögen durch geophysikalische Messungen
- D77 (Poster)** *J. Rings, C. Hauck, A. Scheuermann, K. Preko*: Geophysical Monitoring Of Dike Water Content

D78 (Poster) *M. Furche, Ch. Grisseemann, U. Noell, S. Altfelder*: Geoelektrische Beobachtung von Infiltrationsvorgängen im Labormaßstab

D79 (S 4 Ingenieurgeophysik und Geotechnik, Poster) *P. Backup, M. Backup*: Schadstoffbestimmung mit INN

D80 (S 1 Erdmagnetische Variationen, Poster) *M. Perk, B. Tezkan, H.-G. Sobisch*: Infield-Kalibrierung geophysikalischer Daten auf kontaminierten Flächen mit Hilfe der Visualisierungssoftware GSI3D

D81 (Poster) *C. Kroner, T. Jahr*: Wasserspiele in Moxa - Experimente zu hydrologischen Einflüssen auf kontinuierliche Schwerebeobachtungen

VU - Vulkanologie

A47 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag) *U. Serfling*: Untersuchung von Eigenpotential- und multiparametrischen Daten vom Vulkan Merapi, Indonesien

A48 (S 5 Geo-Risiken, Vortrag) *M. Hort, M. Vöge, A. Gerst, R. Seyfried*: Der Aktivitätszustand von Vulkanen - was leisten Dopplerradarmessungen

A82 (Poster) *J. Altmann, O. Heidbach, M. Westerhaus*: 3D Finite Elemente Modellierung saisonaler Neigungsänderungen am Vulkan Merapi auf Zentraljava, Indonesien

A83 (Poster) *G. Richter*: Analysis of the meteorological impact on monitoring parameters from Merapi volcano

A84 (Poster) *A. Gerst, M. Hort, M. Vöge, P. Kyle*: Die erste Sekunde strombolianischer Eruptionen: Beobachtungen am Mt. Erebus, Antarktis

B74 (S 5 Geo-Risiken, Poster) *R. Almeev, F. Holtz, J. Koepke, K. Haase*: Phase equilibria simulations of basalts at the MAR near Ascension Island at 7-11° S - estimation of partial crystallization pressure and H₂O contents

Plenarvorträge

6.3. - 9.3. im Großen Hörsaal der Universität

Miller, H. (Bremerhaven, AWI)

Die polaren Eisschilde als Klimaarchiv

Die kalten Eisschilde Grönlands und der Antarktis stellen ein herausragendes Klimaarchiv dar. Es ist das einzige, das direkt neben den Atmosphärentemperaturen der Vergangenheit auch die Zusammensetzung der Atmosphäre und ihren Chemismus gespeichert hat.

Dieses Archiv lässt sich mit Hilfe von Tiefbohrungen erschließen und liefert uns wertvolle Daten zur Beurteilung und zum Verständnis der natürlichen Veränderlichkeit des Klimasystems.

Gegenwärtig reichen unsere Erkenntnisse bis etwa 900.000 Jahre vor heute. Mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung ist es anhand der Ergebnisse auch möglich, die zeitliche Abfolge klimatischer Veränderungen zwischen Nord- und Südhemisphäre zu bestimmen. Dies wiederum gibt wesentliche Eckwerte für die modellmäßige Abbildung des Klimasystems.

In einem Überblick über die Tiefbohrprojekte der letzten Jahre in Grönland und der Antarktis werden neben den notwendigen geophysikalischen Vorarbeiten zur Erkundung optimaler Bohrpunkte und der speziellen Bohrtechnik die wichtigsten Ergebnisse vorgestellt.

Wicht, J. (Universität Göttingen)

Warum polt sich das Erdmagnetfeld um?

Davis, E. (Sidney Kanada, Pacific Geoscience Centre), Becker, K. (Miami USA, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science)

Long-term monitoring in ODP IODP boreholes: A review of CORK technology and results from ridge-crest, ridge-flank, and subduction-zone environments

Instruments for long-term hydrogeological monitoring in Ocean Drilling Program and Integrated Ocean Drilling Program boreholes have been installed in a variety of tectonic settings, including a sedimented rift valley of the Juan de Fuca Ridge, the sedimented flanks of the Costa Rica, Juan de Fuca, and Mid-Atlantic ridges, and the Cascadia, Barbados, Mariana, Costa Rica, and Nankai subduction zones. Primary data from these „CORK“ (Circulation Obviation Retrofit Kit) installations include seafloor and formation pressures and temperatures, and formation-fluid compositions. Many sites, including the first established in 1991, are currently operational, and some have provided ten or more years of continuous data. Temperature and pressure records reveal a wide range of average formation states established by the combination of local buoyancy or consolidation forces and the hydrologic architecture. Average pressures range from weakly to strongly super-hydrostatic (λ^* up to ~ 0.5) in subduction-zone settings, to locally hydrostatic in well-drained permeable ocean crustal environments. Following the dissipation of drilling-related perturbations, a broad range of time-dependent signals can be seen. These are dominated by ocean-tidal loading, with relative amplitudes constraining sediment- or rock-framework compressibility, and with phases constraining formation-scale permeability. Fluid flow forced by temporal pressure variations can be inferred from correlated temperature variations. Removal of seafloor loading signals allow both secular and episodic tectonic strain signals to be seen with

a resolution of the order of roughly 10-8. Recent improvements in CORK hardware now allow a broad suite of observations to be made in single holes and pressures to be monitored at multiple formation depths. Recent improvements in instrumentation permit autonomous monitoring of absolute pressure at frequencies up to 1 Hz with a resolution of a few Pa, allowing formation response to ocean and seismic waves to be studied. With these advances, applications of the technology now extend far beyond those originally targeted.

Achauer, U. (Straßburg)

Baby Plumes in Zentral Europa: Ihr Ursprung und ihr seismisches Erscheinungsbild

Das wichtigste Ergebnis der seismischen Untersuchungen im französischen Zentralmassiv zu Beginn der 90'-Jahre (deutsch-französisches Projekt Limagne 91/92) war der Nachweis eines aufsteigenden Materialstroms aus größerer Tiefe ($> 250\text{km}$), der aufgrund seiner geochemisch-petrologischen Charakteristika und seines Aussehens als Plume klassifiziert wurde und damit eine schon 20 Jahre früher geäußerte Hypothese bestätigte. Das wirklich Neue an den Ergebnissen waren die erstmalig bestimmten genauen Größenverhältnisse dieses Plumes im Bereich des oberen Erdmantels, sowie die Tatsache, daß kein Plumekopf („Pilz“) gefunden werden konnte. Dies führte dazu für diese Art Aufstrom den Ausdruck „Baby Plume“ zu verwenden, auch um den Unterschied zur klassischen Plume-Idee zu verdeutlichen. Die Ergebnisse aus dem Zentralmassiv waren der Anlass für ähnliche seismische Experimente in anderen Regionen Zentraleuropas mit variszischem Grundgebirge und jungen Vulkanismus (Eifel Plume Projekt, Track) und führten zum Nachweis einer weiteren solchen Struktur unter der Eifel. Neuerliche Untersuchungen lassen vermuten, daß der Ursprung dieser Baby Plumes in der Mantel-Übergangszone liegt. In diesem Vortrag soll ein Überblick gegeben werden über den derzeitigen Stand der seismischen Forschungen zum Thema Baby Plumes, sowie mögliche Ursachen für ihr Vorhandensein diskutiert werden.

PL05

Mi. 8.3.

14:00 - 15:00

HS Großer Hörsaal

Borrows, J. (Universität Bremen)

Remote sensing of the atmosphere from space: GOME and SCIAMACHY

Gerdes, A. (Bremen, Marum)

„Erde stürzt in Magnet-Chaos!“ - Freud und Leid, Theorie und Praxis des Public Understanding of Geosciences

Im Plenarvortrag werden wichtige Meilensteine der deutschen und europäischen Wissenschaftskommunikation der letzten Jahre an praktischen Beispielen veranschaulicht. In Hinblick auf unterschiedliche Zielgruppen wird diskutiert, welche Wirkungen populärwissenschaftliche Projekte und Aktivitäten inner- und außeruniversitär haben können und mit welchen Strategien ein Public Understanding of (Geo-)Science zukünftig zur Gestaltung der Wissensgesellschaft beitragen kann.

Vor nicht einmal zehn Jahren, am 27. Mai 1999, verabschiedeten Vertreter des Stifterverbands für die Deutsche Wissenschaft sowie Repräsentanten großer Wissenschaftsorganisationen das Memorandum „Dialog Wissenschaft und Gesellschaft“. Zugleich riefen sie ein 500.000 DM umfassendes Aktionsprogramm „Public Understanding of Science“ (PUS) ins Leben. Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen wurden aufgefordert, Projektvorschläge mit dem Ziel einzureichen, ihre Arbeit öffentlich auch in einer für Nicht-Spezialisten verständlichen Form darzustellen.

Das Memorandum erwies der Startschuss für eine Reihe großer Projekte zur Wissenschaftsvermittlung in Deutschland. So wurden ab 2000 Wissenschaftsjahre durchgeführt; 2002 zum Beispiel das „Jahr der Geowissenschaften“. Im selben Jahr wurde die Initiative „Wissenschaft im Dialog“ gegründet, die seitdem u.a. die Wissenschaftssommer organisiert und ein Ausstellungsschiff über die Flüsse und Kanäle der Republik kreuzen lässt. Ein hochdotierter Communicator-Preis wurde ausgelobt sowie der Wettbewerb „Stadt der Wissenschaft“ ins Leben gerufen, den Bremen-

Bremerhaven als erste Kommunen für das Jahr 2005 gewannen.

Auch auf europäischer Ebene wurde das Feld der Wissenschaftsvermittlung intensiv beackert. So fand im Sommer 2004 das erste European Open Science Forum in Stockholm statt, ein Markt der Begegnungen und Möglichkeiten für Wissenschaftler, PR-Experten und Medienvertreter.

Im Vortrag werden die wesentlichen Aktivitäten der letzten Jahre an Hand konkreter Beispiele und mit besonderem Bezug zu den Geowissenschaften vorgestellt. Zudem wird eine kritische Zwischenbilanz gezogen, denn es bleibt zu fragen, welchen Effekt die genannten Aktivitäten hatten. Konnte der angestrebte Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft tatsächlich intensiviert werden? Hat sich der Kenntnisstand der Bevölkerung in Bezug auf geowissenschaftliche Fragestellungen und Themen verbessert? Sind die Studentenzahlen in geowissenschaftlichen Fächern angestiegen?

Insbesondere die Rolle der Medien - Print, Fernsehen und Hörfunk - in Sachen verständliche Wissenschaft wird im Vortrag unter die Lupe genommen. Einerseits wurde in den letzten Jahren verstärkt über wissenschaftsorientierte Themen berichtet. Aber welche Rolle füllen die Medien aus? Sie sie lediglich Transmissionsriemen für Nachrichten aus der weiten Welt der Geowissenschaft? Setzen sie eher eigenständig Themen und Trends?

Auch die Frage, über welche wissenschaftlichen Instrumente wir verfügen und in welcher Weise sie geeignet sind, um die Effekte der PUS-Aktivitäten zu messen, wird an aus-

gewählten Beispielen erörtert.

Ob sich Wissen und Einstellungen in Sachen Wissenschaft in der Bevölkerung merklich zum positiven verändert haben, bleibt fraglich. Zumindest der Blick auf das Eurobarometer der Europäischen Kommission lässt Skepsis aufkommen. So zeigte das zuletzt, im Juni 2005 publizierte Eurobarometer zum Thema „Wissenschaft und Technologie in Europa“, dass sich EU-Bürger nach wie vor schlecht über Wissenschaft und Technik informiert fühlen und dass dies Desinteresse an Fragen der Forschung nach sich zieht.

Stellt sich also die Frage, mit welchen Strategien das Public Understanding of (Geo-)Sciences zukünftig betrieben werden soll? Am Beispiel der Aktivitäten in Bremen soll darauf eine Antwort versucht werden.

Session A

SO

+ thematisch passende Beiträge aus GD, GS, GÖ, VU und S2

6.3./7.3. im Großen Hörsaal der Universität
8.3. in Raum 2040 im SFG
9.3. im Großen Hörsaal der Universität

Yuan, X., Kind, R., Li, X., Wang, R. (GeoForschungsZentrum Potsdam)

What can we learn from the S receiver functions?

E-Mail: yuan@gfz-potsdam.de

Mode conversions of teleseismic body waves provide an important means to investigate the nature of seismic discontinuities in the crust and mantle. Observations of P-to-S and S-to-P conversions have been made for more than three decades. The conventional receiver function method uses a procedure composed mainly of coordinate rotation and deconvolution to isolate the P-to-S converted waves from the incident P wave, and has become a routine data analysis tool. Recently, the S receiver function method has been successfully developed to identify upper mantle interfaces. S receiver functions have the advantage of being free of S wave multiple reflections and can be more suitable than P receiver functions for studying mantle lithosphere. However, due to specific ray geometry and interference of diverse phases, the S receiver function method has some technical difficulties and limitations. We use synthetic seismograms to demonstrate the feasibility and limitations of S receiver functions for studying mantle structures. Full wave-field seismograms were calculated using the reflectivity method and processed to generate synthetic S receiver functions for S, SKS and ScS waves. Results show that S receiver functions can be obtained from waveforms of S, SKS and ScS waves. The synthetic S receiver functions for these incident waves show S-to-P converted phases at all discontinuities in the crust and upper mantle. Useful ranges of epicentral distances for calculation of S receiver functions are: 55-85° for S, > 85° for SKS and 50-75° for ScS waves. We apply

both the S and P receiver function methods to data recorded at broadband station YKW3 in Northwest Canada. The study shows that there is significant agreement among different receiver function methods, and demonstrates the usefulness of S receiver functions for imaging the mantle lithosphere.

Landes, M., Ritter, J.R.R. (Geophysical Institute, University of Karlsruhe)

P and S receiver functions in Ireland

E-Mail: Joachim.Ritter@gpi.uni-karlsruhe.de

The recent Irish Seismological Lithospheric Experiment (ISLE 2002/3) is the first teleseismic experiment conducted in Ireland. It has been designed to investigate the deep lithospheric and asthenospheric structure across the late-Caledonian Iapetus suture zone in southern Ireland.

From early November 2002 until July 2003 teleseismic data have been continuously recorded by a temporary network, which consisted of 15 broadband and 8 short-period instruments, and 2 permanent stations which belong to the Irish Seismic Network and the GE-OFON network. Stations of the temporary network were distributed on a nearly regular grid with an average spacing of about 30-50 km. Its axes were aligned parallel and perpendicular to the proposed Iapetus suture zone. One of the tasks of ISLE 2002/3 is the computation of receiver functions which allows to characterize major seismic discontinuities at depth.

Receiver functions for P to S conversions were calculated for the entire network in southern Ireland. Laterally continuous conversions from the Moho at delay times of about 3.8-4.1 s, which correspond to Moho depths of about 29.5-32 km, are clearly observed. Furthermore, P to S conversions from the 660 km discontinuity are well determined at the stations. In comparison, the conversion from the 410 km discontinuity is considerably weaker. An attempt was made at identifying the lithosphere-asthenosphere boundary using S to P receiver functions. De-

lay times for the conversion from this discontinuity are determined at about 7.0-9.5 s corresponding to approximate depths of 70-95 km. These topographic variations of the lithosphere-asthenosphere boundary are associated with the deep Caledonian Iapetus suture beneath Ireland and possibly lithospheric erosion through the Iceland plume in the Early Tertiary time.

Bayer, B., Hoffmann, M., Mueller, Ch., Jokat, W. (AWI Bremerhaven)

Analyse seismischer Anisotropie und Berechnung von Receiver Functions im Dronning Maud Land, Antarktika - erste Ergebnisse.

E-Mail: bbayer@awi-bremerhaven.de

Mit der Analyse des Shear Wave Splittings und der Berechnung von Receiver Functions wurden zwei Verfahren der Seismologie angewandt, um gezielte Informationen über den Aufbau und die Struktur des Erdinnern im Bereich des Dronning Maud Lands (DML) in der Antarktis zu erhalten.

Der antarktische Kontinent wurde im Laufe der Erdgeschichte durch mehrere geologische und tektonische Ereignisse geprägt. Die Gebirgszüge innerhalb des Untersuchungsgebietes DML wurden durch folgende Orogenesen gebildet: (1) Die Grenville-Orogenese vor 1,1 Ga. Sie liess den Superkontinent Rodinia entstehen. (2) Die Ross-/Panafrikanische Orogenese, die durch die Kollision von West- und Ostantarktis vor 500 Ma den Superkontinent Gondwana formte. (3) Der Aufbruch von Gondwana vor ca. 160 Millionen Jahren. Eine zentrale Schlüsselrolle in Hinblick auf die Rekonstruktion des Gondwanazerfalles vor 160 Millionen Jahren erhält der DML vorgelegte ozeanische Bereich, die Weddell-See. Es kann heute davon ausgegangen werden, dass der Zerfall des Grosskontinentes dort initiiert wurde und die Folge des Zerfalls starke vulkanische Aktivitäten in Form von massiven Magma- und Flutbasalteruptionen waren. Die heutige Eisbedeckung des Kontinentes erschwert jedoch eine detaillierte Kartierung dieser geologischer Strukturen.

Welche Bereiche des DMLs von diesen vulkanischen Eruptionen betroffen waren, kann unter anderem durch unsere Untersuchun-

gen im regionalen Sinn eingegrenzt werden. Splitting Parameter aus Seismogrammen der Neumayer-Station weisen zum Beispiel auf einen Untergrund hin, der durch zwei anisotrope Schichten aufgebaut ist. Während dies für den Untergrund der Station SNAA nicht anzunehmen ist und die Gesteinsschichten weit kompliziertere Strukturen aufweisen. Abgeleitet werden kann diese Beobachtung durch die Untersuchung der azimuthalen Variationen der Splitting Parameter und Receiver Functions. Sie zeigen selbst für enge Backazimut-Segmente starke Variationen. Es ist daher anzunehmen, dass kleinräumige Inhomogenitäten innerhalb des (vertikalen) Laufweges für die Streuungen verantwortlich sind.

Weiterhin werden die Ergebnisse von temporär aufgestellten Seismometern im DML vorgestellt. Die Messgeräte wurden während verschiedener polarer Expeditionen in den Jahren 2000 bis 2004 an unterschiedlichen Lokalitäten ausgebracht. Diese Standorte umfassen vorwiegend eisfreie Zonen innerhalb mächtiger Gebirgszüge wie Wohlthatmassiv im Zentralen DML, Heimefrontfjella mit Kottasgebirge im Westen des DMLs und der Bereich des Jutul Penck Grabens.

Legendre, C. (Bochum), Barruol, G. (Laboratoire Tectonophysique, Université Montpellier 2, currently at Tahiti, JETO.), Masson, F. (Laboratoire Dynamique de la Lithosphère, Université Montpellier 2), Vergne, J. (IPGP Strasbourg)

Thickness of the Transition Zone Beneath the South Pacific Superswell From Receiver Functions

E-Mail: legendre@geophysik.ruhr-uni-bochum.de

Knowledge of the topography and thickness of the Transition Zone provides essential information for discussing both the upper or lower mantle origins of the plumes, and the thermal state of the upper mantle. We used the receiver function method to investigate the Transition Zone thickness in French Polynesia. This region is well-known for a large-scale, low-velocity anomaly in the lower mantle, interpreted by the presence of hot mantle rising toward the Earth surface, confirmed by the large scale bathymetric anomaly (South Pacific Superswell). The presence of several volcanic alignments (Marquesas, Pitcairn, Society and Austral's alignment) lead to the conclusion of present or recent hotspot activity.

For this study, we have used seismic data, recorded during the last decades by the Geoscope, IRIS and CEA/LDG permanent stations. But we have also used data from a temporary network of ten broad band seismic stations, running since the end of 2001 for the Polynesian Lithosphere and Upper Mantle Experiment (PLUME).

The results provided by the permanent station are more constrained by a large number of individual receiver functions (between 50 and 200), compared to the temporary stations (generally between 10 and 20), but both types provided coherent and homogeneous

signature throughout the studied region.

The main result is that the P410S phase arrives later than expected (predicted 44s later than the P-wave arrival in the IASPEI91 model), generally 3-6s later than predicted, whereas the P660S phase arrives on time (68s after the P arrival) or slightly later (1-3s).

The sum P410S + P660S travel times are anomalously high (2 to 10s greater than predicted) indicating a slow upper mantle, in the range of 2-5%, compatible with recent tomographic models.

The P660S - P410S differential times are very low (1 to 5s lower than predicted), suggesting a strong thinning of the Transition Zone, that could result from a positive thermal anomaly (100 to 250K) at the base of the Transition Zone.

Geissler, W.H. (Bremerhaven, Alfred-Wegener-Institut f. Polar- u. Meeresforschung), Kind, R. (Potsdam, GeoForschungsZentrum)

Bestimmung der Untergrenze der Europäischen Kontinentalplatte mit Hilfe von S Receiver Functions

Die Mächtigkeit der mobilen Lithosphärenplatten ist nach wie vor eine viel diskutierte und kaum durch hochauflösende Beobachtungen belegte Frage. Es gibt zahlreiche Hinweise auf eine Mächtigkeit der kontinentalen Lithosphäre von bis zu 200 km. Einige Autoren vermuten, dass die Wurzeln einiger alter Kratone bis 400 km tief reichen. In der letzten Zeit hat sich die S Receiver Function Methode als sehr brauchbar zur Kartierung der „seismischen Lithosphäre“ herausgestellt. Im Rahmen des DFG-Projektes „Kontinentwurzeln“ (Bündel „Breitbandseismologie“) werden P und S Receiver Functions für Breitbandstationen in Deutschland und umliegenden Ländern analysiert.

Deutlich sind Sp-Konversionen an der Moho zu erkennen, die klar mit den beobachteten Ps-Konversionen korrelieren. Multiple Sp-Phasen (von Moho und Sedimenten), die eigentlich später an der Station eintreffen, sind durch die Vertauschung der Zeitachse bei negativen Verzögerungszeiten abgebildet. Negative Phasen mit größeren „Verzögerungszeiten“ direkt unterhalb der Moho sind möglicherweise Konversionen an der Grenze Lithosphäre-Asthenosphäre (LAB). Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass die LAB im südwestlichen Böhmischen Massiv (WET, GEC2, KHC) nur undeutlich bei etwa 15 s (ca. 130-140 km) ausgeprägt ist, während sie im Gebiet des Oberrheingrabens (ECH, BFO, STU) bei etwa 8 s (ca. 70-80 km) beobachtet wird. Im Norddeutschen Raum wird die mögliche LAB-Phase bei etwa 11 s (ca. 100 km; GSH, IBBN, BSEG, HLG) bzw. 14 s

(ca. 125 km; RGN) beobachtet. An der Station SUW (NE-Polen) konnten bisher keine deutliche negative Phase in den Bearbeitungen der S-Wellen beobachtet werden, möglicherweise ist eine schwache negative Phase in den SKS-Bearbeitungen bei etwa 23 s (>200 km) als Konversion an der LAB zu interpretieren.

In den Bearbeitungen der S-Wellen sind außerdem Konversionen von der 410 km Diskontinuität zu erkennen, während an einigen Stationen Konversionen von der 660 km Diskontinuität in den Bearbeitungen der SKS-Wellen zu erkennen sind. Bemerkenswert ist außerdem, dass in den S Receiver Functions im allgemeinen nur die Moho, die LAB, sowie die 410 und 660 km Diskontinuitäten zu finden sind. In den P Receiver Functions sind öfter noch andere Phasen sichtbar, die aber wahrscheinlich meist multiple Phasen sind.

Kühn, D. (Hamburg), Schweitzer, J. (NORSAR), Dahm, T. (Hamburg), Krüger, F. (Potsdam)

Momententensorinversion regionaler Ereignisse in Fennoskandien und benachbarten Gebieten

E-Mail: daniela.kuehn@dkrz.de

Motivation

Momententensoren sind elementare Eingangsdaten für die schnelle Gefährdungseinschätzung von Nachbeben, die quantitative Simulation von Tsunamis im Fall von Seebeben oder die seismotektonische Beurteilung und Ableitung von seismischen Gefährdungskarten. Während die Momententensorinversion für global beobachtete Starkbeben bereits routinemäßig von unterschiedlichen Organisationen durchgeführt wird, findet sie im Fall von schwächeren Regionalbeben ab einer Magnitude von 4,0 bis heute nur in Einzelfällen Anwendung. Ein Grund ist, daß für regionale Beben höhere Frequenzen ausschlaggebend sind und deshalb verlässliche regionale Modelle der seismischen Geschwindigkeiten in Kruste und oberem Mantel benötigt werden.

Hier wurden Programme genutzt, die eine robuste Inversion von Momententensoren für Regionalbeben ab einer Magnitude von 4-4,5 erlauben.

Gemeinhin herrscht in Norwegen eine moderate bis niedrige Erdbebenaktivität. 2003 fanden 5 spürbare Erdbeben statt und mehr als 1000 lokale und regionale Erschütterungen wurden durch das Netzwerk registriert. Eine regulär durchgeführte Momententensorinversion wäre sowohl zur Einschätzung seismischer Gefährdung hilfreich wie auch zur Identifizierung von Schwächezonen im Intraplattenbereich Fennoskandiens und im speziellen Norwegens.

Durchführung

Der Arbeitsablauf besteht aus folgenden Schritten: 1) Datenvorprozessing, 2) Berechnung der Green'schen Funktionen, 3) Inversion im Frequenzbereich und 4) Inversion im Zeitbereich.

Es wurde mit zwei Datenkanälen gearbeitet, die zum einen Raum- und zum anderen Oberflächenwellen beinhalten. Für jede Stationsdistanz und angenommene Quelltiefe wurden Green'sche Funktionen aus einem Geschwindigkeitsmodell des Untergrunds mittels der Reflektivitätsmethode berechnet. Die Inversion im Frequenzbereich wurde zuerst durchgeführt. Der Misfit zwischen synthetischen und beobachteten Signalen diente als Entscheidungsgrundlage für die Festlegung der Tiefe des Bebens.

Für die Inversion im Zeitbereich ist die korrekte zeitliche Anordnung von Seismogramm und Green'schen Funktionen ausgesprochen wichtig. Die Inversion im Zeitbereich wurde nur in der Zieltiefe berechnet.

Ergebnisse

Die Methode wurde u.a. auf das Jan-Mayen-Ereignis am 14.04.2004, das Spitzbergen-Ereignis am 04.07.2003 und das Ekofisk-Ereignis am 07.05.2001 angewendet. Als kritische Arbeitsschritte stellten sich die Auswahl eines geeigneten Filters, das Ablesen der Phasen und die Ausrichtung von Green'schen

Funktionen und Datenspuren heraus.

Für regionale Beben distanzen liegt der Hauptpeak der Meeresmikroseismik oft im gleichen Frequenzbereich wie die Hauptfrequenz der Raumwellen. Außerdem erwies sich die Ermittlung der Eckfrequenz des Bebens als sehr schwierig. Dem Beginn des Oberflächenwelleneinsatzes ging häufig eine langperiodische Schwingung voraus, die sich in den synthetischen Spuren nicht oder nur sehr schwer nachbilden ließ.

Für regionale Beben wirkt sich der Einfluß von Unterschieden in der Untergrundstruktur von Quell- und Empfängerregion stärker aus. Bisher können diese Unterschiede in der Untergrundstruktur bei der Berechnung Green'scher Funktionen nicht berücksichtigt werden. Der höhere Frequenzgehalt der Aufzeichnungen als bei teleseismischen Ereignissen, bedingt sowohl durch die höhere Eckfrequenz der Quelle als auch durch die geringere Dämpfung aufgrund des kürzeren Laufwegs, verlangt eine höhere Auflösung des Geschwindigkeitsmodells.

Das zu Beginn verwendete 1D-Geschwindigkeitsmodell des NORSAR für Fennoskandien erwies sich als zu einfach, um regionale Ereignisse zu modellieren. Weitere für Skandinavien erstellte Geschwindigkeitsmodelle wurden getestet. Da auch sie sich nur teilweise als ausreichend erwiesen, wurde in einem aufwendigen trial-and-error-Verfahren ein verfeinertes Modell entwickelt, um vor allem die Dispersion der Oberflächenwellen anpassen zu können.

Regionale Beben werden aufgrund ihrer geringeren Stärke an wesentlich weniger Stationen aufgezeichnet als globale Beben. Daher steht für die Momententensorinversion meist nur eine geringe Azimutüberdeckung zur Verfügung.

Trotz dieser Schwierigkeiten konnten für diese regionale Momentensoranalyse gute Ergebnisse erzielt werden.

Schweitzer, J., Ringdal, F. (NORSAR)

Infrasound Observations in Northern Fennoscandia

E-Mail: johannes.schweitzer@norsar.no

Since some years the small aperture seismic array in Apatity has been additionally equipped with three infrasound sensors. The Infrasound signals observed with these sensors are regularly transmitted together with the seismic data and can now be jointly analyzed. The Apatity array is about 370 km apart from the small aperture seismic array ARCES.

Because of special construction conditions of the individual sites of ARCES, most of its seismic sensors are also sensitive to stronger infrasound signals. In 2006, NORSAR will build a CTBT infrasound array near ARCES.

In preparation for the new infrasound array, infrasound signals from Apatity and from ARCES were investigated.

Comparing the infrasound signals with know seismic sources, it is obvious that many infrasound signals are coming from explosions in known open pit mines or from military camps where larger amounts of munition are explosively destroyed.

Infrasound signals from any given event show a high correlation across the observing arrays. However, when comparing recordings of different events from the same source region and recorded at the same station, there is a large variability in infrasonic signal waveforms, whereas the seismic signals are very similar.

Steffen, H., Kaufmann, G. (FU Berlin)

Dreidimensionale Finite-Element-Modellierungen zur glazialen Isostasie von Fennoskandien

E-Mail: hsteffen@zedat.fu-berlin.de

Während der letzten Eiszeit bedeckten große Eisschilde Nordamerika und Nordeuropa. Die Eisschilde deformierten durch ihr Gewicht den Erdmantel. Die zeitverzögerte viskoelastische Deformation ist heute noch messbar, obwohl die letzten Eisschilde vor ca. 6000 Jahren verschwanden. Dieser Prozess, der als glaziale Isostasie bezeichnet wird, kann mit verschiedenen Beobachtungsmethoden, u.a. alte Küstenlinien (Anzeige der Veränderungen des Meeresspiegels) und globaler Geodäsie (GPS, Aufzeichnung heutiger Krustengeschwindigkeiten), dokumentiert werden. In Fennoskandien findet sich eine Vielzahl von Daten der genannten Beobachtungsmethoden und diese machen es zu einer Schlüsselregion für Untersuchungen zur glazialen Isostasie.

Die isostatische Ausgleichsbewegung wird anhand verschiedener dreidimensionaler (3D) Viskositätsverteilungen im Erdmantel untersucht, die aus thermodynamischen Modellen und Ergebnissen einer Scherwellen-Tomographie abgeleitet werden. Zusätzlich wird ein eindimensionales (1D) Erdmodell, das sich auf frühere bekannte Ergebnisse stützt, verwendet. Die Untersuchung geschieht mit Hilfe der Finite-Element-(FE)-Methode. Dabei wird ein flaches 3D FE-Modell einer kompressiblen, viskoelastischen Erde mit einer 70 km dicken Lithosphäre erstellt. Hauptaugenmerk der Untersuchung ist der Vergleich verschiedener Viskositätsmodelle, darunter auch des 1D Modells mit den 3D Mo-

dellen, und einer gezielten Analyse ihrer Einflüsse auf die Küstenlinien und die Krustengeschwindigkeiten.

Es zeigt sich, dass vor allem die Krustengeschwindigkeiten signifikant beeinflusst werden. Bei einem Vergleich der 3D Modelle mit dem 1D Modell sind in der radialen Komponente (Hebung) Unterschiede von mehr als 2 mm/a vorhanden. Die Horizontalgeschwindigkeiten werden sehr stark beeinflusst. Die typische divergierende Bewegung heraus aus dem ehemaligen Eiszentrum beim 1D Modell wird durch die heterogene 3D Viskositätsstruktur verändert und zeigt eine deutliche Krustenbewegung nach Norden und Osten weg vom ehemaligen Zentrum. Eine Sensitivitätsanalyse zeigt, dass dieser Effekt weder aus den ersten 380 km des oberen Mantels, noch aus dem unteren Mantel stammt, sondern aus der Übergangszone zwischen 450 und 670 km Tiefe im oberen Erdmantel. Gezielte Untersuchungen bestätigen, dass der untere Mantel unabhängig von der Viskositätsstruktur keinen bedeutenden Beitrag zur glazialen Isostasie von Fennoskandien leistet. Das ehemalige Eisschild war zu klein, um eine signifikante Reaktion des unteren Mantels hervorzurufen.

Barth, A. (Universität Karlsruhe, Geophysikalisches Institut), Jordan, M. (University of Utah, Salt Lake City, US, Department of Geology and Geophysics), Ritter, J.R.R. (Universität Karlsruhe, Geophysikalisches Institut)

Krustale Auswirkungen und Mantelstruktur des Zentralmassiv Plumes

E-Mail: Andreas.Barth@gpi.uni-karlsruhe.de

Teleseismische Tomographie weist in der Erdkruste ein nur eingeschränktes Auflösungsvermögen auf. Dies ist bedingt durch den nahezu vertikalen Einfallswinkel der seismischen Wellen in diesem Modellbereich, so dass es kaum zu Strahlkreuzungen kommt und eine genaue vertikale Lokalisierung von Geschwindigkeitsperturbationen erschwert wird. In dieser Studie erweitern wir eine iterative P-Wellen-Laufzeit Inversion mit einer kombinierten Laufzeit-Schwere Inversion in der Kruste um hier die Auflösung zu verbessern.

Geowissenschaftliche Studien der quartären und tertiären Vulkanfelder im französischen Zentralmassiv haben gezeigt, dass ein Mantelplume Quelle der vulkanischen Aktivität gewesen ist. In den Jahren 1991/1992 wurde ein Feldexperiment mit mobilen Seismometern durchgeführt und eine P-Wellen-Tomographie erstellt (Granet et al., 1995). Die Auswertung der teleseismischen Daten zeigte deutlich die Existenz einer Niedriggeschwindigkeitszone unter dem Zentralmassiv, welche als Mantelplume interpretiert wurde.

Wir verwenden seismische Registrierungen dieser Messung zur Bestimmung von Ersteinträgen der P-Wellen und diese zur Bildung von Laufzeitresiduen. Zusätzlich bereinigen wir die Residuen a priori von Einflüssen der Sedimentmächtigkeit und Mohotopographie. Eine gleichwertige Behandlung der Bouguerdaten erfordert auch hier die Reduktion um die Mohotopographie und eine

räumliche Hochpass-Wellenlängen-Filterung zur Eliminierung nicht auflösbarer kleinskaliger Krustenheterogenitäten. Desweiteren wenden wir einen Tiefpass-Wellenlängen-Filter an um Auswirkungen großer Mantelheterogenitäten auszuschließen. Der verwendete Programmcode JI-3D (Jordan, 2003) erlaubt eine variable Parameterisierung des Modells, was eine Anpassung der Modellparameter an die gegebene Strahlverteilung zulässt. Nach jedem Iterationsschritt wird ein 3D Raytracing durch das aktuelle Modell durchgeführt, bis die Varianzverbesserung konvergiert.

Das Ergebnis der vorgestellten gemeinsamen Inversion von Schwere- und Laufzeitdaten (Abb. 1) zeigt eine Niedriggeschwindigkeitszone, die durch den oberen Mantel bis in mindestens 330 km Tiefe reicht. Die Struktur hat einen Durchmesser von 100 bis 120 km mit einem P-Wellen-Geschwindigkeitskontrast von -0.6% bis -1.0%. Wir interpretieren diese Anomalie als thermische Signatur des Mantelplumes und errechnen eine um 100 bis 150°C erhöhte Temperatur im Gegensatz zur Umgebung. In der Kruste zeigt das Inversionsergebnis zwei Niedriggeschwindigkeitsanomalien großer Amplitude unter den Vulkanfeldern des Mont Dore und Devès. Dazwischen befindet sich eine Hochgeschwindigkeitszone in Verbindung mit einer positiven Dichteanomalie südlich des Limagnegrabens, die wir als erkaltete magmatische Intrusion interpre-

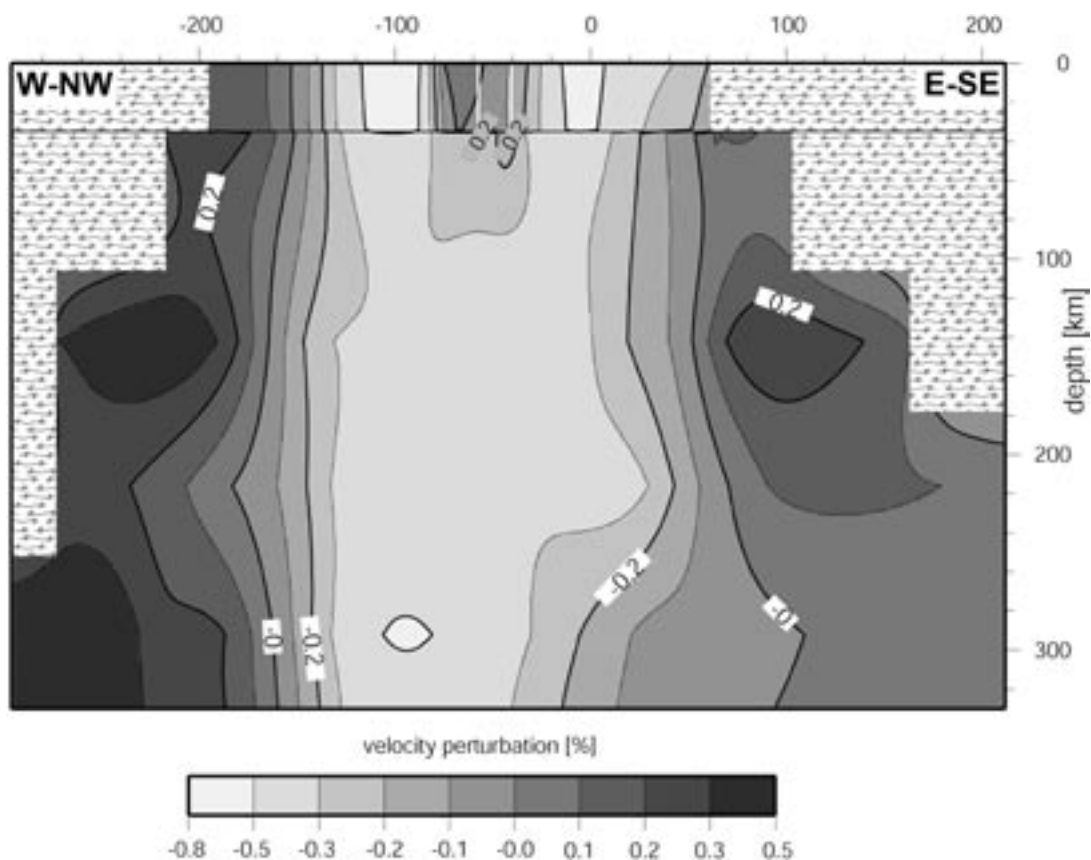


Abbildung 1: Vertikalschnitt durch das P-Wellen-Geschwindigkeitsmodell der gemeinsamen Inversion von teleseismischen Laufzeitresiduen und Bouguer-Schweredaten. Geschwindigkeitsperturbationen sind relativ zu IASPEI91 dargestellt. Perturbationen der Dichte in der Krustenschicht sind durch zwei Isolinien (+0.2% gegenüber Startmodell) gekennzeichnet. Horizontale Entfernung ist in km von dem Devès Vulkanfeld (4°E/44.7°N) angegeben.

tieren.

Zur Verifizierung des Inversionsergebnisses haben wir Resolutionstests mit zylinderförmigen, synthetischen Plumestrukturen durchgeführt. Die gemeinsame Inversion vorwärtsgerechneter Schwere- und Laufzeitdaten durch das synthetische Modell löst die eingegebene Struktur gut auf, wobei vertikale Verschmierungen der Geschwindigkeitsanomalie nicht vermieden werden können (Barth et al., 2006).

Literatur

Barth, A., Jordan, M. and Ritter, J.R.R., 2006, Crustal and Upper Mantle Structure of

the French Massif Central Plume. In: Ritter, J.R.R. and Christensen U.R. (eds) *Mantle plumes - A multidisciplinary approach*, Springer-Verlag, in press.

Granet, M., Wilson, M. and Achauer, U., 1995, Imaging a mantle plume beneath the French Massif Central, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **136**, 281-296.

Jordan, M., 2003, *JI-3D A new approach to high resolution regional seismic tomography: Theory and applications*, PhD thesis, University of Göttingen.

Heuer, B., Geissler, W. H., Kind, R., Kämpf, H. (GFZ Potsdam), BOHEMA Working Group, X. (x)

Indications for asthenospheric updoming beneath the western Bohemian Massif

E-Mail: heuer@gfz-potsdam.de

BOHEMA (BOhemian Massif Anisotropy and HEterogeneity) is a passive seismic experiment in the western part of the Bohemian Massif which was carried out in an international effort by various institutions in the Czech Republic, France and Germany. Its scientific aim is to use all available techniques such as high-resolution tomography, receiver function analysis and 3D anisotropy studies to image the crust and upper mantle to depths of about 250 km. The investigation of crustal and upper mantle xenoliths will add petrological information. Between the end of 2001 until the end of 2003, 84 temporary seismic stations were deployed by French, Czech and German institutions in addition to about 60 stations of already existing permanent Czech and German seismic networks in the area. The temporary stations were operating for at least half a year up to one and a half years. The network was heterogeneous with broad band stations, medium and short-period stations. It covered a territory approximately 270 km long and 150 km wide, centered at the intersection area of Eger Rift and Mariánské Lázně fault.

Here we want to present results from the Ps-receiver function analysis of BOHEMA data, which was carried out at GFZ Potsdam, Germany. With this method it is possible to map discontinuities in the Earth's crust and upper mantle by measuring delay times of P-to-S converted phases. By analysis of more than 8500 P-receiver functions we obtained detailed images of the Earth's crust and up-

permost mantle beneath the swarm earthquake and CO_2 degassing area in the western Bohemian Massif. The resulting Moho depth map shows crustal thicknesses of 27-31 km in the Saxothuringian, 30-33 km in the Teplá-Barrandian and 35-40 km in the Moldanubian block. At the intersection of the N-S trending Regensburg-Leipzig-Rostock zone and ENE-WSW trending Eger Rift, crustal thickness decreases to 26 km from approx. 31 km in the surroundings. In this area of Moho updoming, CO_2 mantle degassing and earthquake swarm activity, we observe an additional positive phase at about 6 s delay time and a strong negative phase at 7 to 8 s. With the P-receiver function technique alone it is not clear whether these phases are direct conversions from a structure in the uppermost mantle or multiple phases from a structure in the middle crust. The phases can be modeled by a velocity increase at 50 km and a velocity decrease at 65 km depth. The velocity decrease, observed over an area of 5300 km², possibly gives evidence for local thinning of the lithosphere or a confined body of partial melt beneath the investigation area, which might be the reason for high CO_2 mantle fluid flow and earthquake swarm activity in this nonvolcanic, intracontinental rift area.

Rößler, D., Krüger, F. (Universität Potsdam), Rumpker, G. (Universität Frankfurt am Main)

Tensile Components retrieved for Swarm Events in Vogtland, W-Bohemia by considering seismic anisotropy

E-Mail: diroess@rz.uni-potsdam.de

Anisotropic material properties influences non-double-couple components and the strength of moment tensors. Moment tensors of shear sources in anisotropic media may comprise double-couple and apparent non-double-couple components. On the other hand real non-double-couple source components of earthquakes may not be visible in moment tensors. As a result moment tensors of sources in anisotropic rocks may be difficult to interpret in terms of volumetric changes, i.e. opening or closing of a crack, that may occur during faulting. Although commonly observed in many regions of the earth, seismic anisotropy is usually neglected during the inversion process of source parameters of earthquakes.

We propose an inversion algorithm for the determination of properties of seismic point sources in inhomogeneous isotropic or anisotropic media based on ray-theory computations. Hereby, we directly invert for the geometry of the seismic source, i.e. we retrieve the dyadic product of the slip vector and the fault normal, as well as for the strength of the earthquake. From the source geometry we derive the angle between the slip direction and the fault normal to describe tensile source components.

The algorithm is applied to the largest swarm earthquakes ($M_L \geq 1.7$) from Vogtland/W-Bohemia (Central Europe) that occurred during the last intense swarm episode from August until December, 2000.

During this time a dense network of permanent and temporary seismic stations was installed allowing detailed source studies. For inversion, we use different inhomogeneous anisotropic and isotropic velocity models. The obtained fault orientations dominantly show oblique normal faulting on a North-South trending fault. Depth-dependent dip variation occurs. For many events we observe opening of the fault plane indicating volume increase connected to the faulting process. The tensile source components vary with time, focal depth, and magnitude. The largest tensile components are observed for the earliest swarm phases, small events and greater depth. Our results are consistent with and may constrain observations of other authors suggesting event triggering due to pore pressure variations by over-pressurised fluids.

Web page: <http://www.geo.uni-potsdam.de>

Walther, M., Plenefisch, T. (Erlangen)

Analyse von SKS-Scherwellen-Splitting zur Untersuchung von Mantel-Anisotropie im Bereich des GRSN

E-Mail: walther@szgrf.bgr.de

Eine charakteristische Eigenschaft von SKS und SKKS Phasen ist das Scherwellen-Splitting, welche weltweit beobachtet werden kann. Durch die Auswertung teleseismischer Ereignisse im Bereich zwischen 90 und 130 Grad kann somit das Anisotropieverhalten des Erdmantels untersucht werden. In unserer Arbeit werden hauptsächlich Daten des GRSN (German Regional Seismic Network) und von Stationsnetzen der Schweiz, Österreich und Frankreich verwendet.

Bisherige Untersuchungen (z.B. Brechner et al. [1998], Vinnik et al. [1994]) basieren auf Daten aus den Anfangsjahren des GRSN (bis 1994), auf Daten einzelner Stationen oder temporären Experimenten. Dabei wurden bereits für die meisten Stationen des GRSN Splitting-Werte (Winkel der schnellen Achse und Verzögerungszeit) ermittelt. Einige Stationen zeigen dabei eine Übereinstimmung der schnellen Achse des anisotropen Materials mit großräumigen tektonischen Einheiten bzw. Übergängen. Andere Stationen weisen jedoch Variationen der Splitting-Parameter in Abhängigkeit vom Azimut auf, so dass komplexere Anisotropie-Bedingungen (z.B. Mehrschichtfall) oder Heterogenitäten vermutet werden können. Bisher konnten die verschiedenen Splitting-Ergebnisse auf Grund der relativ kleinen Datenbasis noch nicht hinreichend invertiert werden.

Heute stehen die kontinuierlichen Regi-

strierungen von mehr als 13 Jahren Betrieb der GRSN-Stationen und somit Daten von mehr als 5.000 Erdbeben im notwendigen Entfernungsbereich und einer Magnitude zwischen 5.0 und 8.4 zur Verfügung. Durch den Einsatz von FK-Analyse und der Einbindung der Havard-Momententensor-Datenbank wurden Ereignisse ausgewählt, welche für eine Bestimmung der Splitting-Parameter ausreichend Energie in der SKS-Phase aufweisen.

In unserem Beitrag stellen wir die Methode für die Auswahl der Ereignisse und einige Resultate näher vor. Diese Splitting-Ergebnisse werden mit früheren Untersuchungen verglichen und auf eine Übereinstimmung mit der jeweiligen Tektonik und einer Anpassung an Zwei-Schicht-Modelle diskutiert.

Krzikalla, F., Müller, T. M. (Karlsruhe, Geophysikalisches Institut)

Scattering Attenuation of Seismic Waves in Anisotropic Random Media

E-Mail: Fabian.Krzikalla@gpi.uni-karlsruhe.de

Scattering attenuation of seismic primaries results from the redistribution of wave field energy from the vicinity of the first arrival into later arriving signals that is from the ballistic part of the pulse signal into the coda. Whereas in 1-D inhomogeneous media only *multiple backscattering* causes scattering attenuation, in 3-D inhomogeneous media *random diffraction* and *refraction* cause additional attenuation. The latter mechanisms become manifest in a random focusing of wave field energy and can be interpreted as the occurrence of intersecting rays in the geometrical optics framework. In general, for inhomogeneous spatially anisotropic media all three mechanisms occur.

Müller and Shapiro (2003) evaluated attenuation in anisotropic random media theoretically and numerically. Based on Rytov approximation, they developed a theoretical model for scattering attenuation due to random diffraction and refraction. Using Finite Difference simulations in heterogeneous elastic media they numerically demonstrated scattering attenuation cannot be fully described by diffraction theory. However, by superimposing the scattering attenuation estimates for layered media and the 3-D Rytov theory, they found a *Q* model that is applicable in 3-D anisotropic random media, where all of the aforementioned attenuation mechanisms apply (Müller and Shapiro, 2004). This approach is limited to wave propagation along the principal axes of the heterogeneities.

For arbitrary angles of incidence the interplay between these attenuation mechanisms is not yet fully understood. In particular the hypothesis of superposition of the attenuation mechanisms will be tested. For this purpose, we perform numerical experiments in 2D anisotropic random media. We simulate plane wave propagation with varying angle of incidence with respect to the principle axes of the heterogeneities. We statistically characterize the amplitude fluctuations of the primary wavefield and relate them to scattering attenuation estimates.

References

Müller, T. M., Shapiro, S. A., 2004, Scattering attenuation in randomly layered structures with finite lateral extent: A hybrid *Q* model, *Geophysics* 69, 1530–1534

Müller, T. M., Shapiro, S. A., 2003, Amplitude fluctuations due to diffraction and refraction in anisotropic random media: implications for seismic scattering attenuation estimates, *Geophys. J. Int.* 155, 139–148

Web page: <http://www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de/pub/workgroup8/de/index.html>

Endrun, B., Meier, T. (Ruhr-Universität Bochum), Lebedev, S. (Utrecht University)

Bestimmung der S-Wellengeschwindigkeit, radialer und azimuthaler Anisotropie mittels Oberflächenwellen in der Ägäis

E-Mail: brigitte.endrun@geophysik.rub.de

Die Ägäis ist ein Gebiet komplexer Tektonik im Grenzbereich zwischen der Afrikanischen und der Eurasischen Platte. Die konvergente Bewegung von ca. 40 mm/yr zwischen den beiden Platten resultiert in der Subduktion der ozeanischen afrikanischen Lithosphäre unter die Ägäische Platte entlang der Hellenischen Subduktionszone, die die höchste Erdbebenaktivität in Europa aufweist.

Die rezente Tektonik der Region wird zudem durch die Rotation der Anatolischen und Ägäischen Platte gegen den Uhrzeigersinn entlang der Nordanatolischen Verwerfung bestimmt. Diese Störungszone breitet sich bis in die Nordägäis hinein aus und sorgt dort für nord-südgerichtete Dehnung. Eine frühere Episode krustaler Nordsüd-Dehnung in der gesamten Ägäis fand bereits im Oligozän im Zusammenhang mit dem Rückschreiten der Subduktionsfront nach Süden (slab roll-back) statt. Der Vulkanbogen der Subduktionszone hat sich ebenfalls seit dem Oligozän in südlicher Richtung verschoben und ist im Quartär durch die vulkanischen Zentren von Ägina, Milos, Santorini und Nisyros bestimmt.

Aufgrund dieser komplexen und differenzierten tektonischen Entwicklung sind im Bereich der Ägäis auf kleinräumigem Gebiet starke strukturelle Unterschiede in Kruste und oberem Mantels zu erwarten. In den letzten Jahren installierte Netze digitaler Breitbandstationen mit kontinuierlicher Datenarchivierung bieten die Möglichkeit, Variationen z.B. in der Krustenmächtigkeit im Detail zu unter-

suchen. Wir stellen eine neue Untersuchung der Dispersion von Oberflächenwellen im Gebiet der Ägäis vor. Aus den Daten, die mit dem Netz des griechischen Nationalobservatoriums Athen (NOA), GEOFON-Stationen auf Kreta und den Kykladen sowie dem CYCNET, einem temporären Netz im zentralen Vulkanbogen, über einen Zeitraum von bis zu 6 Jahren aufgezeichnet wurden, wurden Dispersionskurven der Rayleigh-Grundmode für 107 Laufwege bestimmt. Für 12 Laufwege wurden zusätzlich Dispersionsmessungen an Love-Wellen vorgenommen. Die resultierende Datenmenge bietet eine gute Überdeckung insbesondere im Bereich Kontinentalgriechenlands sowie von Kreta bis zu den nördlichen Kykladen.

Die Dispersionskurven wurden mit Hilfe einer Zweistationenmethode aus den Seismogrammen teleseismischer Beben ermittelt und über eine Reihe von Messungen für die gleiche Stationskombination gemittelt. Für den zentralen Vulkanbogen wurden zusätzlich die kurzperiodischen CYCNET-Daten herangezogen, um die Kurven im Bereich höhere Frequenzen bis zu 300 mHz zu ergänzen und die Bestimmung der S-Geschwindigkeit in den oberen 10 km der Kruste zu ermöglichen. Eine Interpretation der Daten erfolgte zunächst durch die laufwegabhängige Inversion nach 1D-Modellen der S-Wellengeschwindigkeit, die die Struktur, abhängig vom verwendeten Seismometertyp in diesem relativ heterogenen Netz, bis in mindestens 60 km Tiefe und

in wenigen Fällen bis maximal zur Mantel-übergangszone abbilden. Hierfür wurde der Neighbourhood-Algorithmus, ein nichtlineares Inversionsverfahren, eingesetzt, das den Vorteil hat, eine direkte Abschätzung der Lö-

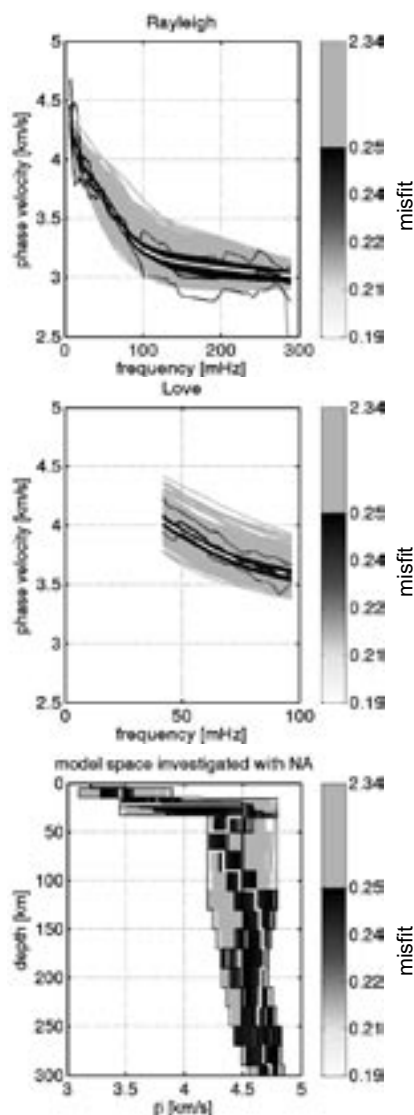


Abbildung 1: Resultat der gemeinsamen Inversion von Love- und Rayleighdispersion entlang eines NS-gerichteten Laufwegs im zentralen Vulkanbogen. Die flache Moho, langsame Asthenosphärgeschwindigkeiten und der Slab sind deutlich zu erkennen.

sungsmenge im Modellraum zu liefern. Es lässt sich daher erkennen, ob es eine Diskrepanz zwischen den Love- und Rayleighdaten gibt. Auch Trade-offs zwischen den verschiedenen Inversionsparametern können untersucht werden. Anschliessend wurden tomographischen Phasengeschwindigkeitskarten unter Berücksichtigung von azimuthaler Anisotropie berechnet.

Die Resultate zeigen deutliche Gegensätze in der Krustenmächtigkeit zwischen dem Forearc-Bereich und Kontinentalgriechenland (bis zu 50 km) auf der einen und dem Kreta-Meer bzw. der Ägäis (20-25 km) auf der anderen Seite. Die subduzierte afrikanische Lithosphäre wird als bogenförmige Hochgeschwindigkeitsanomalie abgebildet. Sie lässt sich klar von 40 km Tiefe im Forearc bis hin zu 130 km Tiefe unterhalb des Vulkanbogens verfolgen. Von besonderem Interesse ist eine Zone erniedrigter Geschwindigkeit im Mantel oberhalb des Slab, die sich von etwa 50 km Tiefe im Kreta-Meer bis in ca. 100 km Tiefe in der Nordägäis erstreckt und als die Asthenosphäre der Ägäischen Platte begriffen wird. Somit ist die Lithosphäre dort mit einer Mächtigkeit von ca. 40-50 km stark ausgedünnt. Die Daten zeigen zusätzlich deutliche strukturelle Unterschiede zwischen dem westlichen und dem östlichen Forearc-Bereich. Eine ägäische Moho und Mantelgeschwindigkeiten oberhalb des Slab können nur im östlichen Bereich nachgewiesen werden.

In krustalen Tiefen wird Anisotropie mit einer schnellen Achse parallel zur Subduktionsrichtung beobachtet. In größeren Tiefen erscheint die Anisotropie arc-parall, lässt sich jedoch auf finite-frequency-Effekte durch die Slab-Anomalie zurückführen.

Webseite: <http://www.geophysik.rub.de>

Becker, D. (Ruhr Universität Bochum), Bohnhoff, M. (GeoForschungsZentrum Potsdam), Meier, T., Harjes, H.-P. (Ruhr Universität Bochum)

Seismizitätsbeobachtungen im forearc der Hellenischen Subduktionszone mit Hilfe eines OBS-Netzwerkes

Die Hellenische Subduktionszone zeichnet sich durch starke seismische Aktivität aus, die dem Verlauf des Hellenischen Bogens folgt. Die amphitheatrische Geometrie der abtauchenden ozeanischen Platte ist durch regionale Tomographiestudien ebenso wie durch globale Seismizität belegt, die im Osten Tiefen von fast 180 km erreicht. Das Einfallen des Slabs wird dabei von Westen nach Osten steiler. Der augenblicklich aktive Kontinentalrand südlich von Kreta wurde vor ungefähr 15 Ma initiiert und wich seit diesem Zeitpunkt um schätzungsweise 400-500 km in süd-westliche Richtung zurück. Die augenblickliche Geschwindigkeit der ägäischen Platte relativ zum als stabil angenommenen Eurasien beläuft sich laut GPS-Messungen auf ca. 3-3.5 cm/a in süd-westlicher Richtung, während sich Africa von Süden mit einer Geschwindigkeit von 0.5-1 cm/a nähert. Während in der Hellenischen Subduktionszone westlich von Kreta die Geschwindigkeitsvektoren der Ägäischen Platte senkrecht zum aktiven Kontinentalrand orientiert sind, herrscht südlich von Ostkreta eine schräge Subduktion vor. Aufgrund des in diesem Bereich vorherrschenden sinistralen Transtensionsregimes bildeten sich in den letzten 3 Ma die Tiefsee-Depressionen der Ptolemy-, Pliny- und Strabo-Gräben aus, die als Transtensionsstrukturen gedeutet werden. Sie teilen die kontinentale Kruste südlich von Zentral- und Ostkreta in einzelne Forearc-Splitter.

In globalen wie regionalen Seismizitätskatalogen bildet sich diese Region als ein Gebiet mit hoher seismischer Aktivität ab. Hi-

storische Kataloge berichten von Ereignissen mit einer Magnitude über 7 in diesem Gebiet. Ebenso fanden Mikroseismizitätsstudien mit temporären, lokalen Netzwerken auf Kreta eine hohe mikroseismische Aktivität südlich Kretas. Allerdings ist das Bild der Seismizitätsverteilung durch das Fehlen von seismischen Beobachtungsstationen, die das System der Transtensionsstrukturen überdecken, relativ diffus. Somit sind Fragen wie die nach der südlichen Grenze der seismogenen Zone und der Aktivität innerhalb der kontinentalen Kruste südlich Kretas ebenso wie solche zum genauen Verlauf und Einfallen des Interplattenkontakts noch nicht abschließend geklärt.

Von Juli 2003 bis Juni 2004 wurden insgesamt fünf Beoberkungskampagnen mit maximal 8 Ozeanbodenseismometern (OBS) im Bereich der Ptolemy-, Pliny- und Strabo-Gräben südlich von Zentral- und Ostkreta durchgeführt. Dieses OBS-Netzwerk wurde auf Land im südlichen Küstenbereich Zentralkretas durch ein lokales kurzperiodisches Netzwerk bestehend aus 5 Mark 1-Hz Seismometern mit PDAS-Datenloggern ergänzt. Darüber hinaus wurden die permanenten Breitband-Stationen, die auf Kreta, Gavdos und Karpathos vom GEOFON-Projekt sowie dem National Observatory of Athens und MEDNET betrieben werden, mit in die Datenauswertung einbezogen. Insgesamt konnten über 2500 lokale und regionale seismische Ereignisse mit einer Lokalmagnitude bis zu 4.5 ausgewertet werden. Neben einer iterativen Gradientenmethode in einem geschichteten Medium wurde auch ein probabilisti-

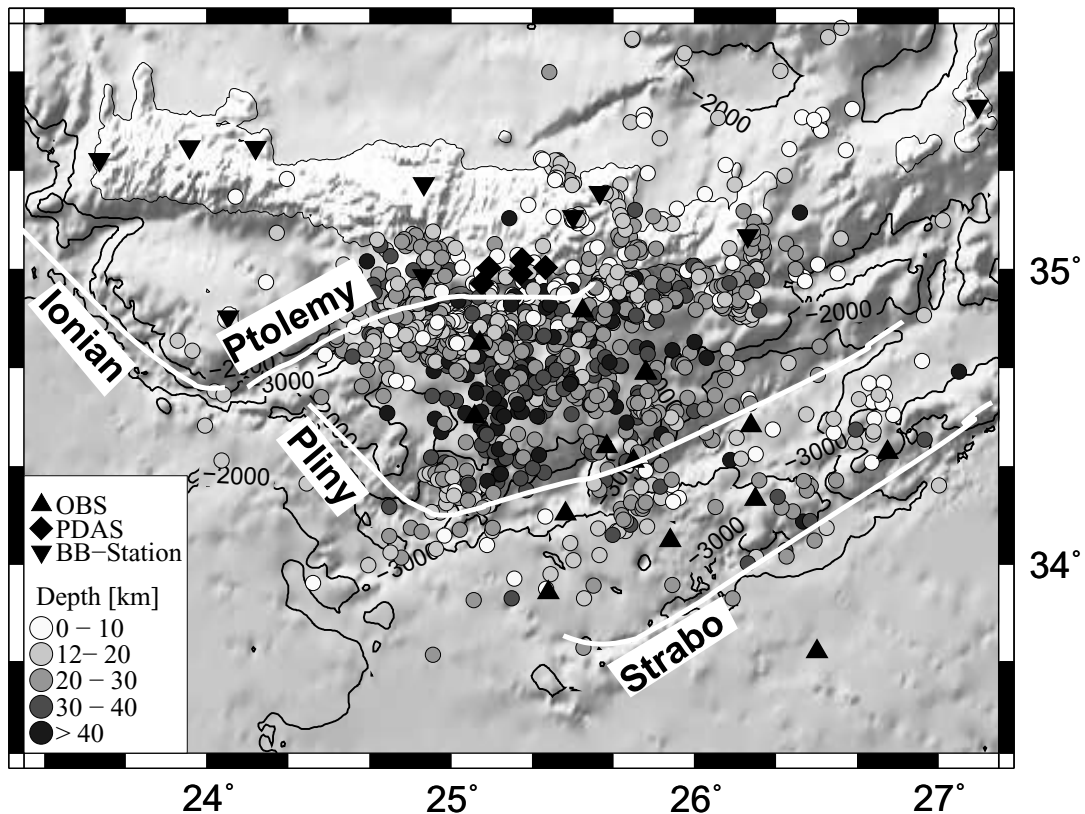


Abbildung 1: Mit Hilfe des OBS-Netzwerkes im Bereich des forearcs der Hellenischen Subduktionszone im Zeitraum von Juli 2003 bis Juni 2004 lokalisierte Seismizität.

scher Lokalisierungsalgorithmus in einem 3-D-Geschwindigkeitsmodell auf die Daten angewandt.

Die stärkste seismische Aktivität im Untersuchungszeitraum spielte sich auf einer steil stehenden Struktur im Bereich des Ptolemy-Grabens ab, die bereits aus früheren Untersuchungen bekannt war. Auch im Pliny-Graben wurde seismische Aktivität im Tiefenbereich der kontinentalen Kruste registriert, während die süd-östliche Grenze der seismogenen Zone mit dem Strabo-Graben zusammenzufallen scheint. Das fast vollständige Ausbleiben von Interplattenseismizität nördlich der Südküste Kretas kontrastiert mit seismischer Aktivität in der kontinentalen Kru-

ste Ostkretas, die NNE-SSW streichenden Verwerfungen folgt und seismischer Aktivität im Messara-Graben in Zentralkreta. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich die seismisch relevanten Relativbewegungen südlich Zentral- und Ostkretas hauptsächlich am Ptolemy- und Strabo-Graben abspielen, während die Forearc-Splitter kaum interne seismische Aktivität zeigen, was auf eine Bewegung als starre Blöcke hindeutet.

Spicak, A., Hanus, V., Vanek, J. (Geophysical Institute, Prague)

Global seismological data analysis: recent onset of a new subduction cycle at the Java trench?

E-Mail: als@ig.cas.cz

The detailed analysis of the spatial distribution of earthquake foci (EHB data) along the Java and Nusa Tenggara region of the Sunda convergent margin reveals a distinct segmented strip of along-trench seismicity. This seismicity is clearly spatially separated from earthquakes belonging to the shallow part of the Wadati-Benioff zone of the subducting slab by an aseismic zone of 50-150 km width that we call an aseismic link. The existence and function of the aseismic link is well documented by an unusual character of aftershock sequences of two strong earthquakes (1977, 1984); both the sequences are composed of two clusters of earthquakes, one in front of and the other behind the aseismic link. Discontinuous distribution of earthquake foci along the plate margin corresponds to the discontinuities in velocity of movements of the Earth surface derived from available results of GPS measurements. Though no fine segmentation of convergent margin by means of GPS data is possible in the region of Java and Nusa Tenggara due to the lack of measuring points, in the neighbouring Sumatra region, with similar tectonic structure and seafloor morphology, the much richer GPS data set points to several convergent interfaces. These data are in agreement with earthquake foci distribution and both seismic and geodetic data correspond to the seafloor morphology. The along-trench seismicity corresponds with the difference in geodetically derived velocities of movement and with the position of the trench; the shal-

low part of the Wadati-Benioff zone also corresponds with the difference in geodetically derived velocities of movement and with the position of another distinct depression of the seafloor, the Java/Mentawai trough. The position of the aseismic link corresponds to the Java ridge/Mentawai islands. We emphasize such a conformity of seismic and geodetic observations with sea floor morphology and offer an alternative interpretation of the recent dynamics of the Sunda convergent margin. We propose a discontinuity in the process of the Sunda subduction with the recent slab gradually easing its movement, probably due to the process of the Timor collision east of the region of interest, and an incipient slab starting to subduct at the Java trench.

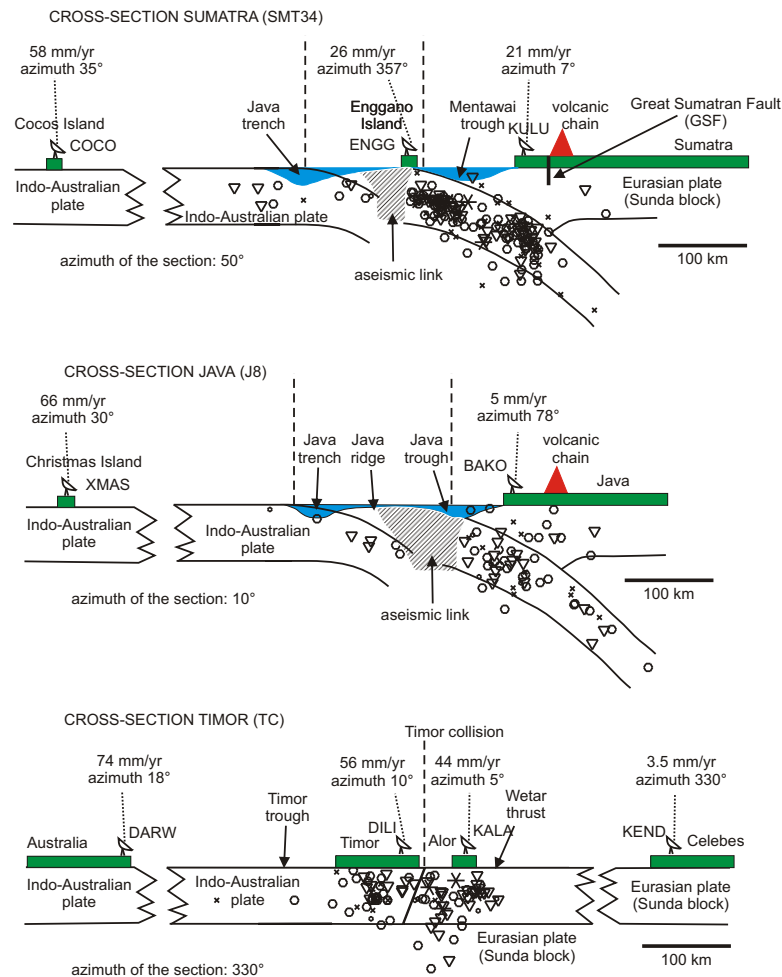


Figure 1: Schematic expression of the conclusions of our contribution, implying the discontinuous character of recent Sunda subduction. Seismic data are real, as well as the position of the main morphological units. Boundaries between the main structural units forming the convergent margin are denoted by dashed lines, aseismic link by a hatched area. Depths of trench and trough are exaggerated. Symbols of earthquakes with ISC magnitude m_b : small circle: up to 4.0, cross: 4.0 - 4.5, large circle: 4.5 - 5.0, triangle: 5.0 - 6.0, star: m_b over 6.0. GPS site velocities are relative to Sunda shelf block (Genrich et al., 1996, Bock et al. (2003)).

Schulze, A., Weber, M. (GFZ Potsdam)

Deutscher Pool für amphibische Seismologie -DEPAS- Landteil

E-Mail: robert@gfz-potsdam.de

Zusammenfassung

Im Rahmen des Geotechnologien-Programmes wurde im Projekt Kontinentränder ein amphibischer Pool für seismologische Untersuchungen geschaffen. Dieser wird im Verbund der Helmholtz- EinrichtungenAWI (marine Komponente) und GFZ (terrestrische Komponente) betrieben. Derzeit existieren 80 marine Messkomplexe sowie 65 Landstationen. Die Vergabe der Instrumente für onshore-offshore Experimente wird durch einen gemeinsamen Lenkungsausschuss gesteuert. Im folgenden wird auf die Landkomponente eingegangen, die seit Sommer 2005 einsatzbereit ist. Die terrestrischen Stationen sind organisatorisch in den am GFZ befindlichen Gerätepool für Geophysik (GIPP) integriert. Als Seismometer wurden Breitbandsensoren von GURALP mit einer Eigenperiode von 60 s beschafft. Diese Instrumente erweisen sich derzeit als der optimale Kompromiss bezüglich ihres Rauschverhaltens und der notwendigen Robustheit für temporäre Feldeinsätze. Die von diesen Seismometern registrierten Signale werden in Datenloggern der Firma Earthdata (UK) gespeichert. Diese Rekorder haben sich in den letzten Jahren bei unterschiedlichsten Experimenten bewährt. Im Vortrag werden die technischen Spezifika der Geräte sowie mögliche Einsatzvarianten für Experimente vorgestellt.

Webseite: <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb22>

Schmidt-Aursch, M.C., Jokat, W., Miller, H. (AWI Bremerhaven)

Deutscher Geräte-Pool für amphibische Seismologie, DEPAS, - Mariner Teil

E-Mail: mschmidt@awi-bremerhaven.de

Im Rahmen des Sonderprogrammes „Geotechnologien“ wurde der „Deutsche Geräte-Pool für amphibische Seismologie (DEPAS)“ als Großgerät für die deutsche Forschung eingerichtet. Er umfasst 65 neue breitbandige Landseismometer, welche vom GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) betrieben werden. Der marine Teil besteht aus insgesamt 80 breitbandigen Ozeanboden-Seismometern (OBS), die zum Teil durch das BMBF (30 Einheiten) und den HGF Infrastrukturfonds (50 Einheiten) gefördert wurden. Die technische und organisatorische Betreuung der OBS erfolgt durch das Alfred-Wegener-Institut Bremerhaven (AWI). Der Einsatz aller Geräte erfolgt nach den Empfehlungen eines extern besetzten Lenkungsausschusses.

In diesem Beitrag wird der marine Teil der Gerätepools vorgestellt. Die Ozeanboden-Seismometer bestehen aus einem rostfreien Titanrahmen, Auftriebskörpern aus syntaktischem Schaum und mehreren Titan-Druckrohren. In den Druckrohren sind der Datenlogger zum Aufzeichnen der seismischen Signale, sowie die zur Versorgung des Rekorders notwendigen Batterien untergebracht. Ein Druckrohr enthält einen akustischen Transponder zur Kommunikation mit dem Gerät und zum Abwerfen des Ankergewichtes. Ein Blitzlicht und ein Peilsender helfen bei der Ortung und Bergung der Geräte nach dem Auftauchen. Die OBS sind mit einem breitbandigen Seismometer (60 s–50 Hz) und einem Hydrophon (100 s–8 kHz) ausgerüstet. Damit sind sowohl aktive refraktionsseis-

mische Experimente als auch passive seismologische Messungen möglich. Für kurzzeitige Anwendungen werden die OBS mit preisgünstigen Alkali-Batterien bestückt. Bei Verwendung von Lithium-Zellen kann eine Einsatzdauer von bis zu 16 Monaten erreicht werden. Die maximale Einsatztiefe der Geräte beträgt 6000 m, speziell für die Erforschung von Subduktionszonen werden einige OBS für Tiefen bis zu 7300 m ausgelegt.

Oth, A., Wenzel, F. (Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe), Radulian, M. (National Institute for Earth Physics, Bucharest)

Herdparameter des Vrancea (Rumänien) Bebens vom 27. Oktober 2004 ($M=5.9$) durch Modellierung mit empirischen Green'schen Funktionen

E-Mail: adrien.oth@gpi.uni-karlsruhe.de

Die Vrancea Region, welche sich im südöstlichen Teil des Karpatenbogens in Rumänien befindet, ist eine der seismisch aktivsten Regionen Europas. Die dort stattfindenden mitteltiefen Beben stellen eine ausserordentliche Bedrohung für Rumänien und seine direkten Nachbarn, insbesondere aber auch für die Hauptstadt Bukarest dar. Allein in den vergangenen 65 Jahren ereigneten sich in der räumlich eng begrenzten (circa $30 \times 70 \times 120 \text{ km}^3$) seismogenen Zone vier Starkbeben mit Magnituden größer 7.0.

Das Erdbeben vom 27. Oktober 2004 mit einer Momentenmagnitude von $M_W = 5.9$ war das stärkste Ereignis, welches bislang mit dem im Rahmen des SFB 461 Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen) seit 1997 in Rumänien betriebenen K2-Netzwerk aufgezeichnet wurde. Dieses Beben ist das erste etwas stärkere Ereignis für welches eine große Datenmenge hochwertiger digitaler Beschleunigungsaufzeichnungen vorliegt. Aus diesem Grund ist eine Studie über die Herdparameter dieses Bebens sehr vielversprechend.

Hierbei sind Abschätzungen des statischen und dynamischen Spannungsabfalls von besonderem Interesse, da diese in die Prognose von Bodenbewegungsparametern einfließen. Nach dem Brune'schen Modell (ω^2 -Modell, 1970) bestimmt bzw. der dynamische Spannungsabfall die Abstrahlung für Frequenzen oberhalb der Eckfrequenz.

Um die Herdparameter dieses Ereignisses abzuschätzen, wurde mit der Methode der empirischen Green'schen Funktionen von Irikura (1999), welche Beben kleiner Magnitude ($M_W = 4.0 - 4.5$) als empirische Greens Funktionen verwendet, das Beben vom 27. Oktober 2004 an 19 K2-Stationen simuliert und mit den beobachteten Zeitreihen verglichen. Bei der Simulation müssen die Herdflächendimensionen und die Anstiegszeit der kleinen Beben angegeben werden. Durch das Anpassen der modellierten Zeitreihen an die beobachteten lassen sich diese Parameter abschätzen und die Herdparameter des zu simulierenden Ereignisses durch Hochskalieren ermitteln. Das Simulationsverfahren von Irikura beruht auf der Annahme, dass kleine und große Beben den gleichen Spannungsabfall aufweisen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass dieses Beben einen eher moderaten statischen (circa $350 \pm 200 \text{ bar}$), aber einen sehr hohen dynamischen Spannungsabfall von schätzungsweise $1500 \pm 700 \text{ bar}$ aufweist. Dieser hohe dynamische Spannungsabfall führt zu einer Partikelgeschwindigkeit auf der Bruchfläche im Bereich von 4.5 m/s und einer sehr effektiven Abstrahlung hoher Frequenzen und ist von fundamentaler Bedeutung für die Abschätzung der bei zukünftigen Beben zu erwartenden Bodenbewegung in der Region.

Die Spannungsabfälle von Vrancea-Beben werden in der Literatur kontrovers diskutiert und die verschiedenen Autoren erzielen teil-

weise recht unterschiedliche Ergebnisse. Es ist daher wichtig zu erwähnen, dass die Abschätzung von Spannungsabfällen sowohl durch die verwendeten Methoden und Annahmen sowie insbesondere durch das betrachtete Modell des Bruchvorgangs leicht um eine Größenordnung variieren können.

Webseite: <http://www-sfb461.physik.uni-karlsruhe.de>

Miksat, J., Wenzel, F., Sokolov, V. (Karlsruhe)

Modellierung der Bodenbewegung der Vrancea Starkbeben

E-Mail: joachim.miksat@gpi.uni-karlsruhe.de

Die Vrancea Region in Rumänien ist eine der seismisch aktivsten Gebiete in Europa. Dort sind 3 Starkbeben mit Magnituden größer als 7.2 pro Jahrhundert zu erwarten. Bukarest, die Hauptstadt des Landes, liegt in einer Entfernung von ungefähr 125 km zum Epizentralgebiet und wird dennoch von den Erdbeben stark in Mitleidenschaft gezogen. Im Rahmen des Sonderforschungsbereich 461 „Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen“ an der Universität Karlsruhe wird unter anderem die Modellierung der Wellenausbreitung der Vrancea Starkbeben mit Finiten Differenzen (FD) durchgeführt und mit einer Methode zur Berücksichtigung des Einflusses der oberflächennahen Schichten kombiniert. Hiermit sollen die in der Vergangenheit aufgetretenen Bodenbewegungen nachvollzogen und erklärt werden und eine Datenbasis synthetischer Seismogramme für zu erwartende zukünftige Starkbeben erstellt werden, welche in die Bestimmung von Abminderungsfunktionen für Rumänien einfließen wird.

Mit einem 2.5D FD Verfahren wird die Ausbreitung der Wellen vom Hypozentrum zur Erdoberfläche modelliert. Dabei wird die Modellierung für mehrere 2D Schnitte durch die Region durchgeführt, dies ermöglicht es mit einer 2D Methode die Bodenbewegung für die gesamte Oberfläche der Region zu berechnen. Das elastische Modell des Untergrundes basiert auf Ergebnissen der Refraktionsseismik, Receiver Funktionen, Refraktionstomographie und der teleseismischen Tomographie.

Wichtige geologische Strukturen sind die tiefen Sedimentbecken (bis 16 km Tiefe) im Karpatenvorland, die Karpaten und ein subduziertes Lithosphärenstück unterhalb des südöstlichen Karpatenbogens. Um die sehr komplexen beobachteten Seismogramme der Erdbeben mit der Modellierung wiederzugeben werden in das bestehende Geschwindigkeitsmodell stochastische Geschwindigkeitsfluktuationen eingeführt. Beobachtung und Modellierung werden an Hand der Beben von 1986 ($M_w = 7.1$) und 2004 ($M_w = 6.0$) verglichen. Die so modellierten PHA Karten sind mit der beobachteten Verteilung gut vergleichbar. Weiter werden aus den modellierten Seismogrammen makroseismische Intensitäten berechnet. Diese modellierten Intensitätskarten zeigen eine gute Übereinstimmung mit der nach den Erdbeben aufgenommenen Intensitätsverteilung.

Durch den Vergleich der Beobachtung und Modellierung für die Erdbeben von 1986 und 2004 konnte gezeigt werden, dass mit Hilfe der Modellierung Bodenbewegungen (Seismogramme, PHA und Intensitäten) zuverlässig wiedergegeben werden können. Somit ist eine Modellierung der Bodenbewegung für zu erwartende zukünftige Vrancea Starkbeben gerechtfertigt.

Webseite: <http://www-sfb461.physik.uni-karlsruhe.de/>

Bohnhoff, M., Grosser, H., Dresen, G. (GFZ Potsdam)

Strain Partitioning and Stress Rotation at the North Anatolian Fault Zone from aftershock focal mechanisms of the 1999 Izmit Earthquake

E-Mail: bohnhoff@gfz-potsdam.de

We investigate aftershock focal mechanisms of the Mw=7.4 Izmit earthquake of Aug 17th, 1999, on the western North Anatolian Fault Zone (NAFZ). Spatial clustering and orientation of 446 fault plane solutions are analyzed. The Izmit mainshock resulted from right-lateral slip on an EW-trending near vertical fault plane. Aftershock clusters define 4 individual fault segments. Focal mechanisms surrounding epicenters of the Izmit and subsequent Düzce mainshock (Mw=7.1, Nov 12th, 1999) indicate dominantly strike-slip but also normal faulting. Aftershocks in the area between Izmit and Düzce segments are mainly related to EW-oriented normal faulting indicating a small pull-apart structure. Below the easternmost Sea of Marmara, alignments of aftershocks suggest branching of the NAFZ into three or more active segments that differ significantly in orientation of focal mechanisms. The distribution of aftershock focal mechanisms corresponds to fault segmentation of the NAFZ in the Izmit-Düzce region produced by coseismic slip. Areas with high coseismic slip show aftershocks that are dominantly strike-slip, but low-slip barriers show mostly normal faulting aftershocks. Stress tensor inversions of the aftershock focal mechanisms show systematic rotations of the local stresses following the Izmit mainshock. In the Izmit-Sapanca area, maximum compressive stress is horizontally rotated counterclockwise by 8° with respect to the coseismic and long-term regional stress field. Towards the east-

ern end of the rupture (Karadere-Düzce area), stresses are rotated clockwise. We conclude that the Izmit earthquake caused significant stress partitioning along the rupture. The direction of stress rotation is related to the orientation of the individual fault segments along the NAFZ.

Web page : <http://www.gfz-potsdam.de/pb3/pb32/people/bohnhoff.html>

Kurrle, D. (Institut für Geophysik, Universität Stuttgart), Widmer-Schnidrig, R. (Geowissenschaftliches Gemeinschaftsobservatorium der Universitäten Karlsruhe und Stuttgart, BFO)

Untersuchungen des seismischen Rauschens bei langen Perioden

E-Mail: Dieter.Kurrle@geophys.uni-stuttgart.de

Im Rahmen des DFG-Bündelantrages „Breitbandseismologie“ wird das seismische Hintergrundrauschen bei Frequenzen unterhalb der Meeresmikroseismik untersucht. Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Quellen der permanent angeregten Rayleighwellen zu orten und, falls möglich, die dabei wirkenden Anregungsmechanismen zu identifizieren.

Im Jahr 1998 berichteten Nawa et al.(1) erstmals über die permanente Anregung der freien Eigenschwingungen des Erdkörpers. Sie konnten zeigen, daß die sphäroidalen Fundamentalmoden ${}_0S_l$ der Erde für Perioden > 200 s nicht nur, wie bisher angenommen, nach starken Erdbeben, sondern kontinuierlich angeregt sind. Darüber hinaus gelang Nishida et al.(2) 2002 der Nachweis, daß die Bodenunruhe im Frequenzbereich zwischen 2 und 20 mHz aus sich global ausbreitenden Rayleighwellen besteht.

Mittlerweile konnten die permanent angeregten Eigenschwingungen der Erde in den Vertikalkomponenten von weltweit mehr als 100 STS-1- und STS-2-Seismometern sowie mit einigen La Coste-Romberg-Gravimetern nachgewiesen werden. In der Literatur werden folgende mögliche Ursachen diskutiert:

- Kumulative Effekte kleiner Erdbeben (3)
- Slow/silent earthquakes (4)
- Anregung durch atmosphärische Turbulenz (5,6,7)
- Ozeanische Anregung (8,9)

Im Zentrum unserer Analysen stehen die Breitbandstationen des Deutschen Regionalnetzes (GRSN), von denen 8 die für die Untersuchung der Hintergrundeigenschwingungen der Erde erforderliche Datenqualität aufweisen. Zusätzlich werden einige ausländische Stationen in grenznahen Gebieten mit einbezogen.

Die Ortung der Quellen der Hintergrundeigenschwingungen der Erde wird versucht durch die Anwendung von Array-Methoden wie der f-k-Analyse auf die Daten des GRSN. Da das Signal-Rausch-Verhältnis für die hier untersuchten Signale etwa bei 1:1 liegt, ist es notwendig, zusätzlich noch eine Mittelung über mehrere Tage bzw. Wochen vorzunehmen. Die Datenverarbeitung erfolgt in mehreren Schritten:

- Unterteilen der Daten in Segmente der Länge 3 Stunden
- Auswahl der Zeiträume ohne starke Erdbeben anhand der vom Netzwerk registrierten Gesamtenergie und dem Verhältnis aus STA und LTA
- f-k-Analyse zwischen 5 und 8 mHz:

$$E(\vec{k}_o) = \left| \int_{\omega_1}^{\omega_2} \sum_{k=1}^N S(\omega) e^{i\omega u(\omega) \vec{r}_k \cdot \vec{k}_o} d\omega \right|^2$$

- Mittelung der Energie über mehrere Tage bzw. Wochen

Die Darstellung der Energieverteilung des langperiodischen Rayleighwellenuntergrundes, in Abhängigkeit von Zeitraum und Einfallsrichtung, zeigt deutlich einen Zusammenhang zwischen Einfallsrichtung und Jahreszeit. Während der Wintermonate sind Energiemaxima um 0° zu beobachten, im Sommer Maxima bei 120° sowie Minima zwischen 300° und 360° . Bei 150° ist ganzjährig nur ein geringer Energieanteil zu verzeichnen. Das Vorhandensein jahreszeitlicher Schwankungen deutet darauf hin, daß die Ursachen der permanent angeregten Hintergrundeigenschaften der Erde in der Atmosphäre und/oder den Ozeanen zu suchen sind. Auf der Grundlage kleiner oder besonders langsamer Erdbeben läßt sich diese Periodizität nicht erklären.

Im Übereinstimmung mit (8) zeigt eine Triangulation unter Hinzunahme einiger Stationen des Berkeley Digital Seismic Network (BDSN), daß die Hintergrundeigen-

schwingungen der Erde im Winter zu großen Teilen auf der nördlichen, im Sommer auf der südlichen Hemisphäre angeregt werden.

Literatur

1. K. Nawa, N. Suda, Y. Fukao, T. Sato, Y. Aoyama, K. Shibuya, *Earth Planets Space* 50, 3 (1998)
2. K. Nishida, N. Kobayashi, Y. Fukao, *Geophys. Res. Lett.* 29, Nr. 10, 52 (2002)
3. G.C. Beroza, T.H. Jordan, *J. Geophys. Res.* 95, 2485 (1990)
4. T. Tanimoto, *Geophys. J. Int.* 136, 395 (1999)
5. T. Tanimoto, J. Um, *J. Geophys. Res.* 104, 28.723 (1999)
6. K. Nishida, Y. Fukao, S. Watada, N. Kobayashi, M. Tahira, N. Suda, K. Nawa, T. Oi, T. Kitajima, *Geophys. J. Int.* 162, 824 (2005)
7. T. Tanimoto, *Geophys. J. Int.* 160, 276 (2005)
8. J. Rhie, B. Romanowicz, *Nature* 431, 552 (2004)

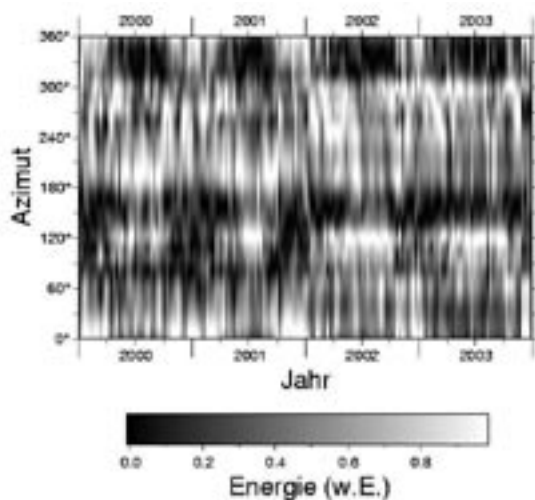


Abbildung 1: Energieverteilung des seismischen Hintergrundrauschens im GRSN für die Jahre 2000 bis 2004 in azimuthaler Abhängigkeit

Dank

Diese Arbeit wird gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

Cesca, S., Dahm, T. (IfG Hamburg), Battaglia, J. (CNRS Clermont-Ferrand, France), Braun, T. (INGV Arezzo, Italy)

Frequency domain inversion of synthetic long period volcanic events

E-Mail: cesca@dkrz.de

Motivation

Source inversion for long period (LP) events in volcanic areas is an ongoing research topic. The high interest of volcanologists to understand the physical phenomena which govern these characteristic events is related to the fact that they may be directly generated by fluid transfers and some of them could be candidates for volcanic activity parameters, or precursors of volcanic eruptions. The signal class of LP-type events generally includes different volcanic transients with dominant frequencies in the range between 0.5 and 5 Hz. Although some source models have been proposed to explain their generation (vibration of fluid-filled cavities, etc.), the large variety of LP signal forms and the existence of alternative models to explain some of the observations, make it interesting to develop new inversion schemes. Our main goal is to propose an inversion methodology to determine LP source mechanisms and study these events through an exhaustive source inversion by using synthetic data.

Method

The LP source inversion method is based on the general assumption that volcanic event sources can be expressed as the sum of a full moment tensor (MT, generalized source dipoles) and a single force (SF) of arbitrary orientation. This model can represent different physical phenomena, such as a slip on a rupture plane, an opening crack, an explosion

or a mass movement. Our model also assumes time dependent source parameters. The proposed algorithm, named *VOLPIS* (**VO**lcanic **L**ong **P**eriod **I**nversion for the **S**ource), uses a set of 27 theoretical Green's functions and is thus sufficient to include volcano topography or anisotropy at a later time. The inversion method solves the discretized equations in frequency domain, fitting both amplitude and phase spectrum. This approach has the main advantage to split the expensive numerical inversion of a large complex matrix into a set of inversions dealing with smaller-sized matrices, one for each sampled frequency, reducing the computational requirements.

Objective

The algorithm has been applied to different sets of synthetic data, currently generated by using the reflectivity method. Synthetic data are calculated for different layered crustal models, which have been proposed for volcanic areas, considering realistic station distribution. A range of different source depths and source mechanisms are used to generate the data set. Inversion tests are established to check the stability of the method and the possibility of retrieving all source components and separate force dipoles from single forces. Stability tests are realized to verify method response for mismodelling of crustal structure, selection of erroneous source depth and assumption of different constraints for the source mechanism. Inversion is also tested for

the cases of a reduced azimuthal coverage of the epicenter or for the inclusion of artificial seismic noise. Finally, a test is realised to check the possibility of retrieving deviatoric components of the seismic source, such as is the case of minor single forces added to large explosions or crack openings. Application to data from Kilauea and Stromboli volcanoes are planned.

Ceranna, L., Hartmann, G., Henger, M. (BGR, Hannover)

Der unhoerbare Laerm von Windkraftanlagen

Ein temporäres Feldexperiment, das im Sommer 2004 nördlich von Hannover durchgeführt wurde, hatte die Messung der Infraschallsignatur eines einzelnen Windrades bis zu einer Entfernung von etwa 2 km zum Ziel. Hierfür wurden vier mobile Stationen mit einem MB2000 Mikrobarometer verwendet. Dies ermöglicht eine genaue Registrierung des Infraschalls unterhalb von einigen Hz und kann somit als Fortsetzung der bereits existierenden Messungen aus den 70er und 80er Jahren angesehen werden, bei denen mit Mikrofonen gemessen wurde. Bei der Wahl des Standortes wurde darauf geachtet, dass im Umkreis von etwa 10 km kein weiterer Windgenerator stand, um eine möglichst unbeeinflusste Messung vornehmen zu können.

Die spektralen Leistungsdichtekurven zeigen einen deutlichen Anstieg über das Hintergrundrauschniveau bei den so genannten Flügelharmonischen, die von der Umdrehungsgeschwindigkeit des Windrades abhängen. Ein Vergleich dieser gemessenen Werte mit einem theoretischen Modell zur Abschätzung der RMS-Schalldruckamplitude für den untersuchten Windgeneratortypus zeigt eine gute Übereinstimmung bei den ersten Harmonischen. Im Rahmen des Vortrages werden anhand dieser Ergebnisse Abschätzungen des Einflusses von einzelnen Windrädern sowie Windparks auf das Hintergrundrauschen im Infraschall mit Hilfe der analytischen Beschreibung für unterschiedliche Bauarten und Größen von Windgeneratoren angestellt. Dies ist unter Berücksichtigung einer stetig wachsenden Anzahl an Windkraftanlagen in Deutschland für die Bestimmung eines Mindestabstandes zwischen Windpark und In-

fraschallarray von zentraler Bedeutung.

Hensch, M., Reinhardt, J. (Institut für Geophysik, Hamburg), Riedel, C. (Centro de Vulcanologia, Universidade dos Açores), NICE-people, The. (Hamburg, Ponta Delgada, Uppsala, Reykjavik and Akureyri)

Hypocenter migration of fluid-induced earthquake swarms in the Tjörnes Fracture Zone, North Iceland

E-Mail: hensch@dkrz.de

The Tjörnes-Fracture-Zone separates Iceland's Nordic Volcanic Zone from Kolbeinsey-Ridge (Greenland-Sea). Seismicity mainly occurs in swarms, often 100 and more per day, with similar waveforms and frequently offshore.

Earthquake swarms are often related to volcanic activity, whereas the migration of hypocenters within these swarms enables to investigate fluid propagation in the subsurface, e.g. a magma dike. Therefore, the propagation of seismic clusters, as observed at Krafla volcano, could indicate magmatic or hydrothermal fluid circulations in the north of Iceland and motivates the present study.

We analysed three earthquake swarms between June and September 2004, recorded by 35 stations, i.e. the permanent Icelandic SIL network and a temporary setup of land and ocean-bottom seismometers, and 5 swarms of the years 1994-1997, only recorded by SIL. Events occurring in the same swarm often show similar waveforms at the same station. We cross-correlated these time series by using a new approach of three component cross-correlation in order to relocate the hypocenters relative within the swarms and to precisely determine the direction and velocity of migration. The newly tested method delivered good relocations with acceptable small spatial and temporal errors (< 300 m, < 50 ms). This allows the interpretation and

characterisation of the observed earthquake swarms. We try to classify observed migration velocities by comparing them to already known typical fluid- and crack-propagation velocities. Therefore, we make also use of additional findings, such as focal-mechanisms and orientation of the best fitting plane through the hypocenter distribution.

We separated the investigated events into two types of earthquake swarms, supposedly dike-induced and hydrothermally- or gas-induced swarms, by pointing out typical characteristics of both types and by comparing them to similar events of other volcanic regions. Based on different migration velocities, we will discuss possible mechanisms and their triggers of all single clusters within a swarm. Hypothetic models will be established, trying to explain the processes during the swarm episodes.

The talk will be held in German.

The NICE-people are Torsten Dahm, Martin Hensch (IfG Hamburg), Carsten Riedel (Centro de Vulcanologia, Universidade dos Açores), Ari Tryggvason, Reynir Bödvarsson, Tuna Eken (University of Uppsala), Gunnar B. Gudmundsson, Kristin Vogfjörð, Steinnun Jakobsdóttir (Vedurstofa Islands, headquarter Reykjavik) and Ragnar Stefansson (Vedurstofa Islands, Research Center Akureyri).

Jahr, T., Jentzsch, G., Letz, H., Gebauer, A. (Jena)

Beobachtung und Modellierung von fluidinduzierter Deformation der obersten Erdkruste: Untersuchungen zum großskaligen Injektionsexperiment an der KTB

Das Injektionsexperiment an der Kontinentalen Tiefbohrung der Bundesrepublik Deutschland (KTB) fand vom Juni 2004 bis zum Mai 2005 statt. Dabei wurde das Fluid in die KTB-Vorbohrung (4000 m) mit einer mittleren Injektionsrate von 180 l/min verpresst. Ein Neigungsmesser-Array, bestehend aus fünf ASKANIA Bohrloch Neigungsmessern (ABNM) wurde 2003 in der Umgebung der KTB eingerichtet. Die Stationsentfernungen zur KTB liegen zwischen 1.6 und 3.2 km, wobei die Instrumente in 25 bis 45 m tiefen Bohrungen installiert sind. Die ABNM gehören mit einer Auflösung von besser als 0.2 msec (ca. 1nrad) zu den empfindlichsten Neigungsmessern weltweit (Jahr et al. 2005a und 2005b).

Das Ziel des Forschungsprojektes ist es die durch die Injektion induzierte Deformation der obersten Erdkruste im Kilometer-Maßstab

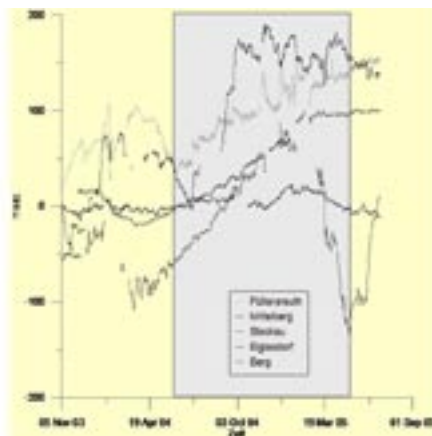


Abbildung 1: Beobachtete Driften der ABNM während der Injektion (graues Rechteck). Die Zeitreihen zeigen die Neigungen in der Richtung von der KTB zu den Stationen.

zu beobachten und mittels numerischer Modellierungen zu interpretieren. Dabei wird sowohl eine elastische als auch eine nichtelastische Antwort der Erde auf die Injektion erwartet: Durch den geänderten Porendruck werden die rheologischen Übertragungseigenschaften verändert. Dies sollte sich sowohl in einer Änderung der Gezeitenparameter als auch in den lang- und aperiodischen Driftanteilen der Registrierung widerspiegeln. Allerdings sind diese kleinen Signale von den Einflüssen der lokalen Grundwasser-Variationen überlagert. Daher wird an jedem Messort zusätzlich der Porendruck in einem separaten Bohrloch beobachtet. Die Korrelation von Neigungs- und Pegelraten belegen die extrem hohe Sensitivität der ABNM auf Porendruck-Variationen.

Erste Ergebnisse zeigen, dass die Driften, die in Richtung der jeweiligen Station zur KTB beobachtet wurden, nach Injektionsbeginn ein kohärentes Verhalten zeigen (Abb. 1). Allerdings sind die durch die Injektion induzierten Driftanteile von regional und lokal wirkenden Variationen des Grundwassers überlagert und müssen noch weiter separiert werden.

Die beobachteten injektionsbedingten Neigungssignale werden über numerische Modellierungen interpretiert. Dabei kommt sowohl der von Wang entwickelte Algorithmus (Programm POEL, Wang und Kümpel, 2003) als auch die Finite-Elemente-Methode (FEM, Programmsystem ABAQUS) zum Einsatz. Erste Ergebnisse zeigen, dass die induzierte Deformation unter Berücksichtigung einer möglichst realitätsnaher Parametrisierung des Untergrundes und des Injektionsprozesses mittels der ABNM nachweisbar sind. Die FEM-

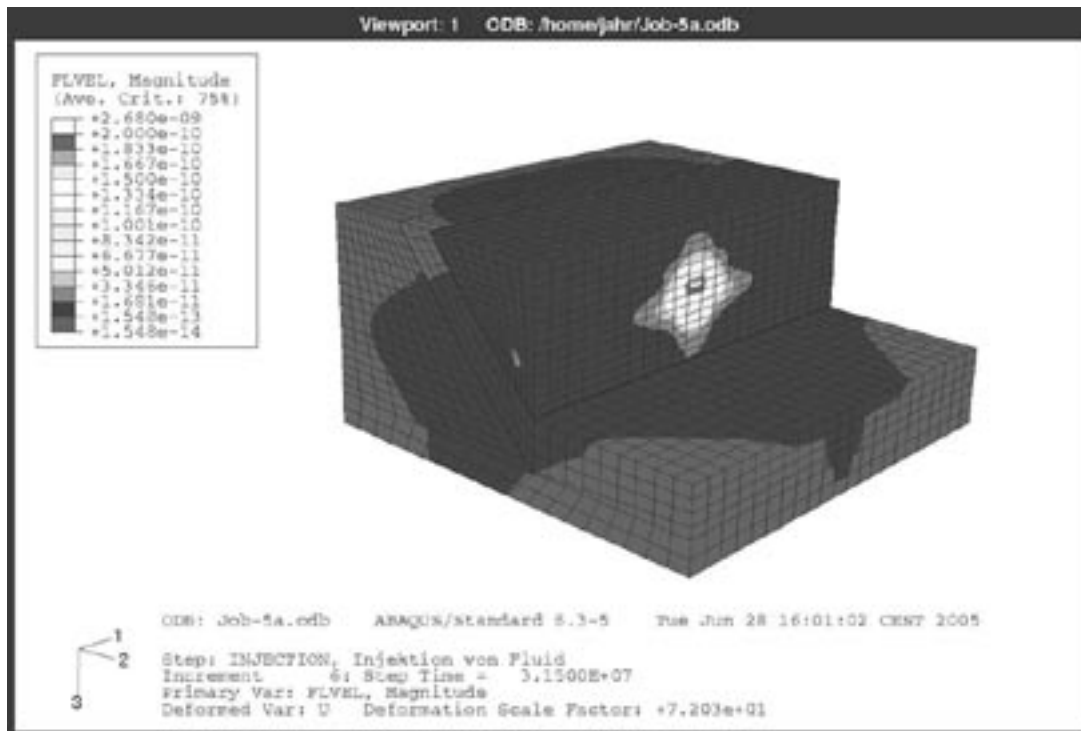


Abbildung 2: Modellierung der Fluid-Geschwindigkeit nach einem Injektionszeitraum von einem Jahr [in m/s].

Modellierung zeigt zudem, dass nach einem Injektionsintervall von einem Jahr das gesamte Modell (20 x 20 km mit einer Mächtigkeit von 10 km) von einer Fluidbewegung betroffen ist (Abb. 2). Der Schwerpunkt der zukünftigen Arbeiten wird auf der Fortsetzung dieser Modellierungen liegen, wobei insbesondere das induktionsverursachte Spannungs- und Deformationsfeld in der Umgebung der KTB untersucht wird.

Literatur:

Jahr, T., Jentzsch, G., Letz, H., Sauter, M., 2005a: Fluid injection and surface deformation at the KTB location: Modelling of expected tilt effects. *Geofluids*, 5, 20-27.

Jahr, T., Letz, H., Jentzsch, G. 2005b: The Askania borehole tiltmeter-array at the KTB location, Germany. In: Jentzsch, G. (Ed.), Pro-

ceedings 15th Int. Symp. Earthquakes, Ottawa, 2004, *J. of Geodynamics*, in press.

Wang, R., Kumpel, H.-J., 2003: Poroelasticity: efficient modelling of strongly coupled, slow deformation processes in a multilayered halfspace. *Geophysics*, 68, 705.

Beilecke, T., Bram, K. (Hannover, GGA-Institut), Buske, S. (Berlin, FU Berlin)

Aktive seismische Wiederholungsmessungen injektionsinduzierter Druckänderungen in der SE2 Störzone des Kristallin der Kontinentalen Tiefbohrung

E-Mail: t.beilecke@gga-hannover.de

Ziel des Projektes ist die Bestimmung von Änderungen der Reflexionsantwort der SE2-Störzone als Folge von lokalen hydraulischen Druckänderungen durch massive Wasserinjektionen in die Störzone im Verlauf eines Jahres. Theoretische Berechnungen im Vorfeld der Messungen sagen die mögliche Detektion einer Reflektivitätsänderung unter bestimmten Bedingungen voraus. Dabei liegt das so genannte ‚worst-case scenario‘ für eine einfache Modellannahme bei ca. 15% Amplitudenänderung (Kaselow, 2004). Die Feldarbeiten starteten im Mai 2004 und sind im November 2005 abgeschlossen worden.

Kern der Messgeometrie ist ein fest installiertes, in ca. 70 cm Tiefe vergrabenes, 5-armiges Geophon-Array bestehend aus 24 3K-Geophonen. Sein Durchmesser beträgt 90 m. Die Signalquelle des aktiven Experiments ist der Vertikal-Minivibrator des GGA-Instituts (Sweepdauer 30 s linear über den Frequenzbereich 30 bis 120 Hz, 27 kN Peak Force). Die zwei Quellpunkte befinden sich in ca. 300 - 500 m Entfernung nördlich und nordöstlich des Arrays. Das Signal wird während eines Messzyklusses 32-mal wiederholt, einzeln mit jedem Geophon gemessen und unkorreliert aufgezeichnet, um ein Maximum an nachträglicher Datenbearbeitung zu ermöglichen. Die sternförmige Anordnung der Geophone gewährleistet eine nachträgliche räumliche Filterung der Signale.

Kritische Parameter sind sowohl die Wiederholbarkeit des Quellsignals als auch die

Stabilität auf der Sensorseite. Für die Qualitätskontrolle auf der Quellseite sind einzelne 3K-Geophone ca. 15 m von der Vibratorbodenplatte im Boden vergraben und vier Beschleunigungsmesser auf der Vibratoreinheit verschraubt. Es zeigt sich, dass die Standardabweichung an dem 3K-Geophon innerhalb eines Messzyklusses bei unter 10% liegt. Die alleinige Bestimmung der Standardabweichung aus den Signalen der Beschleunigungsmesser birgt Unsicherheit und weicht uneinheitlich von den Werten des 3K-Geophons ab. Die Bestimmung der Standardabweichung über den gesamten Messzeitraum von einem Jahr aus den Signalen des Referenzgeophons ist andererseits nicht gut bestimmbar, da der Vibrator nicht fest installiert war. Ergebnis: Selbst wenn die Standardabweichung im gesamten Zeitraum bei nur etwas über 10% liegt, ist es eine ähnliche Größenordnung wie die zu erwartenden Amplitudenänderungen der SE2 Reflexionen im oben genannten ‚worst-case scenario‘.

Das 3K-Referenzgeophon in der KTB Hauptbohrung (KTB-HB) in Höhe des Zielhorizonts wäre für eine Qualitätskontrolle besser zu gebrauchen gewesen, kann diese Aufgabe aber nur teilweise erfüllen, da es zum einen durch Störsignale aber auch durch Versatz innerhalb der Bohrung im Verlauf des Messzeitraums und Ausfälle beeinträchtigt war.

Auf der Empfängerseite liegt die Standardabweichung der Rohdaten eines Messzyklusses für die schwachen Reflexionen aus dem

Bereich des SE2 in der Größenordnung von 70%. Hier wirkt sich der Umgebungsnoise im Verhältnis stärker als an der Quelle aus. Durch selektives Stapeln bzw. durch den Einsatz des so genannten ‚Diversity Stack‘ kann dieser Wert verbessert werden. Insbesondere können hierdurch Störsignale von Fahrzeugen unterdrückt werden. Es ist allerdings schwierig die Verbesserung durch den Diversity Stack zu quantifizieren. Hier könnten Reflexionen des so genannten Erbdorfkörpers als Referenz dienen.

Interessant ist, dass sich beim Vergleich zweier Messzyklen an einem Tag kaum Unterschiede im P-Wellenersteinsatz zeigen aber Differenzen in der Coda der Oberflächenwellen. Inwieweit dieses auf Bodenveränderungen hindeutet, die auch Auswirkungen auf die Abstrahlcharakteristik der Signalquelle haben, muss noch untersucht werden. Ebenfalls interessant ist, dass die Polarisierung der Ersteinsätze am Bohrlochgeophon und mit dem Geophonarray aufgezeichnete Einsätze darauf hindeuten, dass die Wellenausbreitung in der Kruste nicht exakt der erwarteten entspricht und somit die vom Versuch erfassten Störzonenbereiche möglicherweise weniger Druckeinfluss aufweisen, als erhofft. Die kurzen Reflektorelemente der kristallinen Strukturen in den seismischen Sektionen an der KTB erschweren die Korrelation mit älteren, nur wenige zehner Meter entfernter Referenzdaten des INSTRUCT'93 Experiments.

Es muss im letzten Zeitraum der Auswertung im Jahr 2006 allerdings vor allem an der Verbesserung der Signalfilterung vor der Korrelation gearbeitet werden. Ohne solche Massnahmen werden die Fehlerbalken der Messungen vermutlich über den zu erwartenden druckinduzierten Amplitudenänderungen liegen. Zudem sollen die

praktischen Konsequenzen neuerer, detaillierter Fluidruckmodellierungen (Gräsle et al., akzeptiert) auf die Reflexionsamplituden betrachtet werden.

Danksagung

Das Projekt wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) unter den Kennzeichen BR 606/7-1 und BR 606/7-2 gefördert.

Referenzen

Kaselow, A. *The Stress Sensitivity Approach: Theory and Application*. Dissertation, Freie Universität Berlin.

Gräsle, W., Kessels, W., Kümpel, H.-J., & Li, X. akzeptiert. Hydraulic observations from a one year fluid production test in the 4000 m deep KTB pilot borehole. *Geofluids*.

Rothert, E., Shapiro, S.A. (Freie Universität Berlin)

Statistics of rock criticality and fluid injection induced seismicity

We estimate the strength of fractured rocks in-situ by analysing fluid-induced microseismicity. Such an analysis is able to provide us with a completely new feature of natural fractured rocks, namely the statistics of their strength. The strength corresponds to the value of critical pressure in the pore space that must be exceeded in order to activate pre-existing fractures, i.e., to trigger earthquakes. We assume that during hydraulic injection experiments in boreholes, microseismicity is mainly triggered by a diffusive process of pore pressure perturbation. An analytical solution can be applied to find time-dependent pore pressure perturbations in rocks caused by fluid injections. Characteristics of the spatio-temporal evolution of microseismic clouds can be then used to estimate minimum and maximum pressures necessary to trigger earthquakes. Moreover, we present a method for the reconstruction of the full spectrum of rock strength, i.e. we show how to estimate the probability density function of the critical pressure. We verify the approach using numerical data and apply it to real data of injection-induced microseismicity from Hot-Dry-Rock tests in crystalline rocks and a hydro-fracturing experiment in sediments. We find that quite low critical pressures, in the range of 1-1000 kPa, are characterising the strength of pre-existing cracks for all data sets analysed. The critical pressures is found to be quasi uniformly distributed within three to four orders of magnitude. This indicates multi scale character of instabilities in fractured rocks. However, lower and upper limits of strength probability density functions are quite sharp. This still requires a better

physical understanding from the point of view of fault mechanics. The lower limit of criticality is possibly defined by the magnitude of tidal-induced stresses. The strength of the rock at sedimentary environment is found to be at least one order of magnitude smaller than for crystalline rocks.

References

- Rothert, E. and Shapiro, S.A. Microseismic monitoring of borehole fluid injections: Data modeling and inversion for hydraulic properties of rocks, *Geophysics*, 68, No.2, 685-689, 2003
- Shapiro, S.A., Rentsch, S. and Rothert, E., Characterization of hydraulic properties of rocks using probability of fluid-induced microearthquakes, *Geophysics*, 70, F27-F34, 2005
- Rothert, E. and Shapiro, S.A., Statistics of Fracture Strength and Fluid-Induced Microseismicity, *JGR*, 2005, in review
- Shapiro, S.A. Rothert, E., Rath, V. and Rindschwentner, J., Characterization of fluid transport properties of reservoirs using induced microseismicity, *Geophysics*, 67, 212-220, 2002
- Shapiro, S.A., Patzig, R., Rothert, E. and Rindschwentner, J., Triggering of microseismicity due to pore-pressure perturbation: permeability related signatures of the phenomenon, *Pageoph*, 160, 1051-1066, 2003

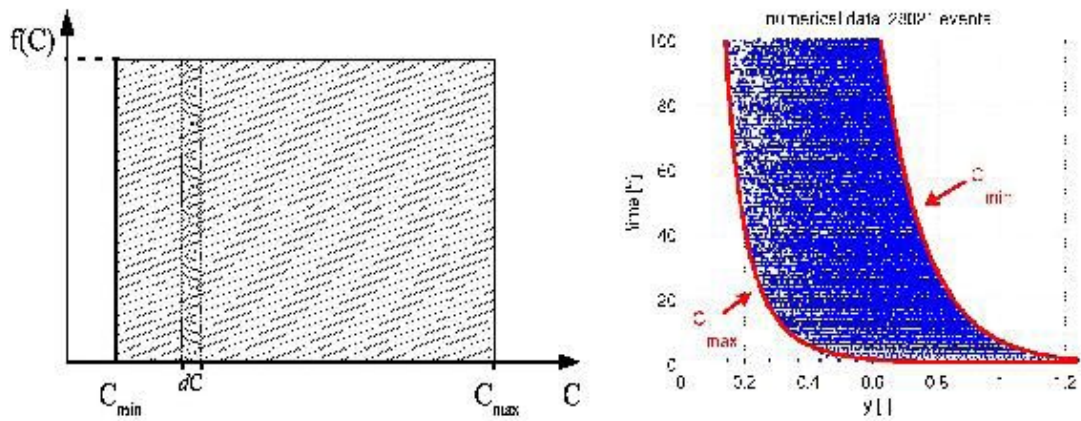


Figure 1: Left: Schematic probability density function of the criticality field C characterized by a uniform distribution between C_{min} and C_{max} . Right: y - t domain for numerical data.

Häge, M., Joswig, M. (Stuttgart, Institut für Geophysik)

Obertägige Messung von Hydrofrac-Ereignissen durch Nanoseismic Monitoring

Bei der Stimulation eines Bohrloches zur Erhöhung der Förderrate ist die Bestimmung des erreichten Bruchvolumens ein wichtiger Parameter. Die aussagekräftigsten Ergebnisse werden mit Hilfe von Bohrlochseismometern erreicht. Diese Methode ist jedoch sehr kostspielig und setzt die Existenz benachbarter Bohrlöcher voraus. Alternative Experimente mit obertägigen Seismometernetzen scheiterten oft an der zu hohen Bodenunruhe. Hier verspricht die Methode des Nanoseismic Monitoring Abhilfe, lassen sich doch damit schwache Ereignisse bis an die Grenze der Bodenunruhe erfassen und lokalisieren.

Als Fallstudie wurde eine Bohrung der RWE-DEA in der norddeutschen Tiefebene gewählt. Während einer hydraulischen Stimulation in 5000m Tiefe wurde die Mikroseismik mittels zweier Seismic Navigating Systems (SNS) gemessen. Jedes SNS bestand aus einem Kleinarray mit jeweils vier Seismometern und 200m Auslage. Vorgestellt werden die Ergebnisse dieser Untersuchung sowie die ermittelten Grenzen der Detektionsschwelle in Abhängigkeit von der Bodenunruhe.

Bischoff, M., Meier, T. (Bochum, Ruhr-Uni Bochum)

Inversion von Nahfeld-Seismogrammen für bergbauinduzierte Ereignisse

E-Mail: Monika.Bischoff@ruhr-uni-bochum.de

Seismizität im Bereich des Ibbenbürener Kohlenhorstes tritt im Zusammenhang mit dem aktiven Steinkohlebergbau auf. Für das seismische Ereignis vom 06.01.2003 wurden dort erstmals Nahfeldeffekte beobachtet. Das Ereignis hatte eine Magnitude von $M_L = 4.1$. Die Breitbandstation IBBN des GRSN ist nur etwa 2 km vom Hypozentrum entfernt. Dadurch war es möglich, Nahfeldeffekte zu registrieren. Typisches Merkmal bei der Beobachtung des Nahfelds im Seismogramm ist ein bleibender statischer Versatz nach dem Durchlauf des transienten Signals. Wichtig für die Beobachtung der Nahfeldeffekte ist der langperiodische Anteil des Seismogramms und ein hoher Dynamikumfang bei der Registrierung, weshalb sich das STS-2 sehr gut für die Beobachtung eignet.

Aki und Richards (1981) beschreiben den Zusammenhang zwischen dem Bruchvorgang auf der Herdfläche und der beobachteten Bodenverschiebung an der Station. Synthetische Seismogramme für den homogenen Vollraum und eine double couple Punktquelle zeigen die Veränderung der Beobachtung bei zunehmender Herdentfernung und mit zunehmender rise time. Mit zunehmender Entfernung nimmt der statische Versatz ab. Bei größerer rise time treten vor allem tiefere Frequenzen auf. Im Nahfeld wird dann ein eher stetig zunehmender Versatz beobachtet.

Durch Inversion der Seismogramme, die hier mittels eines Gradientenverfahrens erfolgt, ist es umgekehrt möglich, aus dem Seismogramm die Herdparameter Herdzeit, Herd-

koordinaten, das seismische Moment, rise time, strike, dip und rake abzuleiten. Die Beobachtungen können durch das einfache physikalische Modell des homogenen Vollraums und einer double couple Punktquelle beschrieben werden. Für die Inversion des Seismogramms vom 06.01.2003 werden die Ergebnisse einer Auflösungsanalyse gezeigt. Der resultierende Herdmechanismus kann durch die tektonische Situation auch im Vergleich mit früheren Beobachtungen erklärt werden.

Neben dem Ereignis vom 06.01.2003 traten in Ibbenbüren noch weitere relativ starke Ereignisse mit Magnituden größer als $M_L = 2$ auf, die im Zusammenhang mit dem Kohleabbau stehen. Seit dem Beginn der Abbautätigkeiten in Teufen bis 1.5 km in den 70er Jahren wurden 25 Ereignisse mit Magnituden größer als $M_L = 2.0$ beobachtet. Weil einige Ereignisse nur wenige Kilometer von der Station IBBN entfernt sind, bietet sich das Gebiet für eine weitere Untersuchung von Nahfeldeffekten an.

Die Geschwindigkeitsseismogramme der Station IBBN wurden langperiodisch gefiltert (Eckfrequenz 3 Hz) und integriert, um die Verschiebungsseismogramme zu erhalten. Anhand der Wellenformen können die Ereignisse in verschiedene Klassen eingeteilt werden. Im November 1996 ereigneten sich innerhalb von vier Tagen zwei Ereignisse, deren Wellenformen nahezu identisch sind. Bei allen Ereignissen wird mindestens auf einer Komponente ein statischer Versatz beobachtet, fast immer sogar auf allen drei Spuren. Ein ausgepräg-

ter statischer Versatz wurde bei einer Magnitude von $M_L = 1.9$ auch noch in einer Entfernung von 2.8km beobachtet (Ereignis vom 26.11.2001).

Es konnte gezeigt werden, dass Nahfeldefekte auch bei kleineren Ereignissen mit Magnituden von $M_L = 2.0$ noch beobachtet werden können. Der Inversionsalgorithmus wurde auf drei Ereignisse mit Magnituden zwischen $M_L = 2.0$ und $M_L = 2.4$ und Entfernungen bis maximal 2km angewendet. Ähnliche Wellenformen führen dabei zu ähnlichen Herdmechanismen. Anhand der Seismogramme kann zwischen Abschiebungen oberhalb des Abbaus und Überschiebungen, die unterhalb des Abbaus auftreten, unterschieden werden. Diese Aussagen werden durch die Inversion bestätigt.

Joswig, M. (Stuttgart, Institut für Geophysik)

Das Konzept seismischer Nachbebenmessungen für On-Site Inspections der CTBTO

Das Konzept seismischer Nachbebenmessungen für On-Site Inspections der CTBTO

Manfred Joswig

Die Einhaltung des Atomwaffenteststoppabkommens (CTBT) wird in Zweifelsfällen durch On-Site-Inspections überprüft. Dazu werden innerhalb der Search Area von 1.000 km² vielfältige Untersuchungen ausgeführt, u.a. Radiometrische Messungen und Visual Inspection durch Überflug und Begehung. Eine Schlüsselrolle spielt in der ersten Phase die Seismologie, erhofft man sich doch durch das Erfassen von Nachbeben klare Hinweise auf den möglichen nuklearen Explosionsort. Das neue Konzept zur Erfassung dieser Nachbeben mit Zielmagnitude $M_l -2.0$ geht von einer vollständigen Instrumentierung mit Kleinarrays aus. Diese werden im Abstand von etwa 5 km ausgebracht, um die erforderliche Detektionsschelle sicherzustellen. Eine Realisierung der Arrays als Seismic Navigating Station(SNS) mit 3+1 Seismometern und die Auswertung der Daten mit dem Konzept des Nanoseismic Monitoring erlaubt die Ortung der erwarteten Kleinstbeben bis zur Rauschschwelle.

Köhler, N., Dahm, T. (IFG Hamburg), Spies, T. (BGR Hannover)

Seismizitätsmuster und Variation der Frequenz-Magnitude-Verteilung von Mikrorissen im Salz

E-Mail: koehler@dkrz.de

Das Untersuchungsgebiet liegt im Bergwerk Morsleben (Sachsen-Anhalt) in der Allertalzone im Salzgebirge des Zechsteins. Die durch den Salzabbau entstandenen Hohlräume beanspruchen das Gebirge und führen zu Gesteinsdeformationen, die bereichsweise mit Mikrorissprozessen im mm- bis cm-Bereich verbunden sind. Die dabei erzeugten akustischen Emissionen werden mit einem mikroakustischen Netzwerk aufgezeichnet. Die Ereignisse werden im Frequenzbereich von 1-100 kHz registriert. Um das Gebirge bereichsweise zu stützen, wurde im Jahr 2003 mit der Verfüllung ausgewählter Hohlräume mit einer Salzbetonmischung begonnen.

Während der Verfüllung des ersten Hohlräumens, die ein halbes Jahr andauerte, kam es beim Abbinden des Salzbetons zur Freisetzung von Hydratationswärme, die die Temperaturen im umliegenden Gebirge innerhalb eines kurzen Zeitraumes um bis zu 30 Grad Celsius steigen ließ.

Um den Einfluss der durch die Verfüllung induzierten Beanspruchung auf die Mikrorissprozesse zu untersuchen, wurden für die Zeiträume vor, während und nach der Verfüllung die Berechnung einer dreidimensionalen b -Wert-Verteilung für den Gebirgsbereich über dem Hohlraum durchgeführt. Dort kommen Anhydrit und Steinsalz vor. Die untersuchten akustischen Emissionen stammen aus einem Zeitraum von drei Jahren (2002-2004). Insgesamt beläuft sich ihre Anzahl auf fast 2 Millionen Ereignisse.

Der b -Wert ist ein statistischer Kennwert aus der Häufigkeitsverteilung der Magnituden und quantifiziert das Verhältnis der Häufigkeiten von starken zu schwachen Ereignissen, was in diesem Fall ebenso dem Verhältnis von größeren Mikrorissen zu kleineren entspricht. Die Daten aus dem Bergwerk Morsleben weisen sowohl eine hohe Qualität als auch Quantität auf, wodurch b besonders aussagekräftig wird. Die Ergebnisse zeigen starke Variationen in den Seismizitätsmustern und den b -Werten während der einzelnen Zeitabschnitte. Vor der Verfüllung herrscht in dem Gebirge über dem Hohlraum ein relativ einheitlicher Wert von $b \approx 1,1$. Nach Beginn der Verfüllung entwickelt sich ein räumlich kleinerer Bereich über dem Hohlraum, in dem die b -Werte bis auf 4,45 ansteigen. Eine scharfe Grenze trennt die hohen Werte von einem Bereich, in dem b durchgängig bei etwa 1 - 1,5 liegt.

Neben der Präsentation der Ergebnisse werden Interpretationsmodelle diskutiert, die mit Hilfe der gegebenen Geologie und berechneten Spannungsverteilungen die sowohl räumlichen als auch zeitlichen b -Wert-Variationen zu erklären versuchen.

Koch, K. (Wien, CTBTO)

Bulletin comparisons during the first System-wide Performance Test SPT1

E-Mail: karl.koch@ctbto.org

The first System-wide Performance Test (SPT1) of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty verification system was conducted in three phases: a preparatory phase in May 2004, a performance testing phase in April-May 2005 and an evaluation phase in the second half of 2005. The aim of SPT1 was to assess the performance of the overall verification system by establishing a performance baseline of the system in support of its further development. The Provisional Technical Secretariat (PTS) of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organisation (CTBTO) encouraged States Parties and their National Data Centres (NDC) to actively participate in this evaluation effort and to provide contributions in support of the assessment effort. One activity concentrated on the evaluation of the products quality and in this context on the quality of the Reviewed Event Bulletin (REB).

The PTS obtained or collected contributions from nine national seismological centres and from the National Earthquake Information Centre (NEIC) of the U.S. Geological Survey for the months of April - May 2005. In this time frame the IDC produced 6178 seismic events in the REB. Contributions from Germany, Iran, Italy, Japan, Kazakhstan, Norway, Romania, Spain and Switzerland included mostly events on a local or regional level including between several tens to a few thousands of events. Based on the different detection thresholds between the IMS network and the national networks, the comparison of the REB bulletin with the national bulletins

yielded numbers of matched events between 3 events, for the case of Romania, to 217 events, for the case of Japan. From the 5608 events found in the NEIC bulletin in the corresponding time period, both including events located or re-located by NEIC and events contributed by national or regional agencies, 3655 events were found to be of common origin. These matched events showed location differences of less than $1^\circ(0.5^\circ)$ in 98.3% (93.6%) of the cases, so that only a very small percentage of events show larger differences in location. From these events a magnitude relationship between IDC and NEIC magnitudes was established, with IDC magnitudes being 0.5 magnitude units lower on average. From the ratio of matched and unmatched events the 50% and 90% detection thresholds of the IMS system was estimated, being about 3.4 and 3.95, respectively, on a global scale.

Comparisons with NDC bulletins aimed at assessing location accuracy of REB events, since dense local networks provide for tighter constraints on event locations within the network than the sparse teleseismic IMS network. Matched events from the REB and national bulletins were analyzed in terms of location differences, error ellipse sizes and consistency between locations, as indicated by inclusion of locations within the error ellipses. In addition the NDC bulletins provided the basis for estimating the detection threshold in specific regions on the globe which are compared to detection capability predictions from the IDC Threshold Monitoring (TM) application.

Steffen, H. (IfGW, FU Berlin), Brunk, W., Siebert, I., Siebert, M., Wedeken, U. (Verein Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen e.V.), Leven, M. (Institut für Geophysik, Uni Göttingen)

Rettung und Erweiterung der Wiechert'schen Erdbebenwarte Göttingen - Probleme und Arbeit eines Vereins

E-Mail: besichtigung@erdbebenwarte.de

Die Wiechert'sche Erdbebenwarte ist eine für die Geschichte der Seismologie wichtige wissenschaftliche Einrichtung mit über 100jähriger Tradition. Ihre Apparaturen sind Meisterleistungen des mechanischen Handwerks. Aus wissenschaftshistorischer Sicht liegt die gar nicht zu überschätzende Bedeutung der Erdbebenwarte besonders in der detaillierten Erforschung der physikalischen Beschaffenheit des Erdinneren mit Hilfe von Erdbebenwellen auf der Grundlage neuer Verfahren beim Gerätebau (z.B. Wiechert'sche Luftdämpfung) und in der Mathematik (z.B. Wiechert-Herglotz-Verfahren), die hier ihren Ausgang genommen hat. Die Gründung der Wiechert'schen Erdbebenwarte im Jahr 1902 steht damit für den Beginn der modernen Seismologie.

Mit dem Umzug des Göttinger Instituts für Geophysik in den Physikneubau im Sommer 2005 stand die Stilllegung der historischen Erdbebenwarte bevor, da das gesamte Institutsgelände zum Verkauf angeboten wurde. Die Universität ließ mitteilen, dass sie den Betrieb der drei historischen Seismographen nach dem Umzug aufgrund der angespannten Finanzlage nicht fortsetzen wird. Angeblich wäre ein Weiterbetrieb personell zu aufwendig und die von den Seismographen aufgezeichneten Daten wären für die Forschung nicht mehr relevant. Auch die Stadt Göttingen sah sich nicht in der Lage, den kontinuierlichen Weiterbetrieb zu gewährleisten. Damit konnte je-

der Erwerber des Geländes die Erdbebenwarte einfach abreißen und das Gelände einer neuen Verwertung zuführen.

Der Verein Measurement Valley e.V., ein Zusammenschluss von rund 40 regionalen Unternehmen und Institutionen aus dem Bereich Messtechnik, nahm sich daraufhin der Erdbebenwarte an. Ein Antrag auf Denkmalschutz wurde nach kurzer Zeit bewilligt, und freiwillige Hilfskräfte konnten für den vorläufigen Weiterbetrieb gewonnen werden. Des Weiteren wurde der Erwerb des Geländes in Erwägung gezogen. Da Measurement Valley aufgrund seines Vereinszweckes nicht als Käufer auftreten konnte, entschied man sich für die Gründung eines neuen Vereins, der dann die weitere Zukunft der Erdbebenwarte in die Hand nehmen sollte. Am 11. April 2005 wurde dieser Verein unter dem Namen „Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen“ gegründet. Mit Zustimmung des Landes Niedersachsen als Verkäufer wurde folgende Lösung für das alte Gelände erarbeitet: Das Gelände wird geteilt, so dass das komplette Waldgelände mit der Erdbebenwarte, dem Gaußhaus, der Samoahütte, den übrigen Gebäuden und dem Mintrop'schen Fallturm vom Verein übernommen werden kann. Das hat den Vorteil, daß alle historisch bedeutenden Objekte in einer Hand bleiben und die bautechnisch und wirtschaftlich bedenkliche Umsetzung des Gaußhauses entfallen kann (Das Gaußhaus wurde 1833 von Carl Friedrich Gauß als erdmagne-

tisches Observatorium auf dem Gelände der Universitätssternwarte völlig eisenfrei errichtet. 1902 wurde es auf das Gelände der Geophysik umgesetzt und dort wird es bis heute genutzt). Nach Rücksprache mit der Universität wurde dem Wunsch des Vereins entsprochen und das Gaußhaus blieb an seinem Platz.

Probleme ergaben sich nun für den Verein durch das Engagement der Stadt Göttingen, die grundsätzlich die Aktivitäten des Vereins begrüßte und Unterstützung zusagte. Sie wollte selbst das Grundstück kaufen und dem Verein anschließend (günstig) verpachten. Dabei wurden mehrere strittige Punkte wie Kosten für Baumsicherung, Parkplatzbau und Vermessung diskutiert, die die Stadt gerne als Unterstützung dem Verein „überlassen“ wollte. Nach einigem teilweise kurioseem Hin und Her verzichtete letztendlich die Stadt auf einen Kauf, so dass der Verein seit dem 12. August 2005 Eigentümer des Geländes, aller Gebäude und beweglichen Güter ist.

Der Zweck des Vereins ist der wissenschaftliche Betrieb der Göttinger Erdbebenwarte und die Darstellung der historischen Forschungseinrichtungen in der Öffentlichkeit. Daher wurden zwei Erweiterungen vorgenommen:

1. Ende 2005 wurde begonnen, parallel zur alten Registrierung auf berußtem Papier eine optisch-digitale Erfassung der seismischen Signale zu installieren. Dazu wird auf den Drehachsen der Seismographen-Hebelwerke ein winziger Spiegel montiert, der einen Laserstrahl auf die Mattscheibe einer entsprechend ausgerichteten CMOS-Kamera reflektiert. Bei einer Bewegung des Spiegels aufgrund der vom Seismographen verstärkten Signale eines Erdbebens wan-

dert der Lichtpunkt auf der Mattscheibe, und die Bewegung des Schwerpunktes des Lichtpunktes wird 30 mal pro Sekunde von der in die Kamera eingebaute FPGA-Logik verrechnet. Die Dateninformationen der insgesamt fünf Komponenten der drei Seismographen werden auf einen Rechner gegeben und dort weiterverarbeitet.

2. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover (BGR) stellt neben den historischen Seismographen einen modernen Streckeisen-Breitbandseismographen auf (STS-2). Damit wird die alte Göttinger Erdbebenwarte eine offizielle Station (Kürzel GTTN) im Deutschen Seismologischen Regionalnetz. Die Daten von den Wiechert'schen Seismographen und dem STS-2 werden gemeinsam via einem neu verlegten DSL-Anschluß ins Internet gegeben. Parallel dazu werden die Daten im alten Erdbebenhaus auf Monitoren sichtbar gemacht, wobei Besucher auch noch die gleichzeitigen Registrierungen auf berußtem Papier betrachten können - High-Tech meets History.

Der gemeinnützige Verein „Wiechert'sche Erdbebenwarte Göttingen e.V.“ hat sich weiterhin erfolgreich an der Ausschreibung zum „Ort im Land der Ideen“ (www.land-derideen.de) beteiligt. Mit dieser Aktion soll beispielhaft der Ideenreichtum Deutschlands zum Ausdruck kommen. Die Erdbebenwarte gehört zu den bundesweit 365 Orten, die aus 1200 Bewerbungen ausgewählt worden sind. Als Tag der Präsentation ist der 21. August 2006 vorgesehen.

Webseite: <http://www.erdbebenwarte.de>

Funke, S., Wendt, S., Korn, M. (Universität Leipzig)

Das seismologische Online-Sachsenetz - Ausbaustand, Kooperationen, Ergebnisse

E-Mail: sfunke@rz.uni-leipzig.de

Die Universität Leipzig betreibt im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie ein permanentes seismologisches Beobachtungsnetz in Sachsen, das aus 6 Stationen im Vogtland und einer im südlichen Landkreis Leipzig besteht. Hinzu kommt eine Station in Sachsen-Anhalt, die im Auftrag des Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt betrieben wird (Abb. 1). Alle Stationen verfügen über einen Telefonanschluss zur Online-Datenübertragung.

Als Sensoren sind überwiegend Seismometer mit einer Eigenperiode von 5 s (Typ Le3D-5s), zwei Breitbandseismometer (Typ STS2) sowie in Wernitzgrün (WERN) zusätzlich ein Geophon mit einer Eigenfrequenz von 4,5 Hz im Einsatz. Die Daten werden kontinuierlich mit einer Abtastrate von 100 Hz erfasst, vor Ort auf Festplatte und CD gespeichert, vollständig per Telefon nach Leipzig übertragen und dort archiviert. Der zusätzliche Geophon-Datenstrom in WERN wird mit einer Abtastrate von 200 Hz aufgezeichnet. Die Registrierungen ausgewählter Stationen stehen auch im Seismologischen Zentralobservatorium Erlangen (SZGRF) online zur Verfügung. Zur Datenerfassung und -übertragung werden die Softwarepakete SeisComp und SeedLink vom Geoforschungszentrum Potsdam genutzt.

Mit diesem Netz kann die Detektionsschwelle für Epizentren im Vogtland und im benachbarten Nordwestböhmen auf Magnituden von etwa -0.5 gesenkt werden. In der seismologisch ruhigen Jahresspanne von Juli 2004 bis Juni 2005 konnten so 154 lokale Ereignisse

mit Lokalmagnituden zwischen -0.6 und +1.5 detektiert werden (Abb. 1).

Für 20 Beben der Jahre 2002 bis 2004 mit Lokalmagnituden zwischen 1.5 und 2.3 konnten gemeinsam mit Seismogrammen der Nachbarnetze Herdflächenlösungen unter Nutzung des Programms FOCMEC ermittelt werden. Diese Ergebnisse fügen sich in das bisherige Bild über die Spannungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet ein. Es dominieren die Richtungen der Süd-Nord verlaufenden Regensburg-Leipzig-Pritzwalk-Zone sowie der Nordwest-Südost verlaufenden Gera-Jachymov-Zone. Die dominierenden Herdvorgänge sind Blattverschiebungen und Abschiebungen.

Brüstle, W., Stange, St. (Landeserdbebendienst Baden-Württemberg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau am Regierungspräsidium Freiburg)

Automatische Erdbebenmeldung für Baden-Württemberg in Rundfunk und Fernsehen

E-Mail: Wolfgang.Bruestle@rpf.bwl.de

In Zusammenarbeit mit dem Stuttgarter Innenministerium hat der Landeserdbebendienst Baden-Württemberg ein System zur Alarmierung der Einsatzzentralen von Polizei, Feuerwehr und Katastrophenschutz und zur schnellen Information der Öffentlichkeit entwickelt.

Etwa fünf Minuten nach relevanten Erdbeben wird eine vollautomatisch generierte Nachricht aus der Freiburger Erdbebenzentrale über mehrere priorisierte Kommunikationswege an das Lagezentrum der Polizei in Stuttgart gesendet. Relevante Beben sind dabei solche, bei denen von Epizentrum und Stärke her zu erwarten ist, dass die Bodenbewegungen in Baden-Württemberg spürbar sind. Diese Erstinformation enthält die wichtigsten Grunddaten über das Erdbeben und eine Abschätzung der Auswirkungen nach gängigen Amplitudenabnahmebeziehungen. Nach kurzer Plausibilitätsprüfung wird die Meldung vom Lagezentrum an die Rundfunk- und Fernsehanstalten weitergeleitet.

Das System hat sich in den vergangenen zwei Jahren in der Praxis bewährt. Das Erdbeben bei Waldkirch im Schwarzwald am 5.12.2004 (Magnitude $ML=5.4$) wurde von einigen Millionen Menschen wahrgenommen. Vom Beben bis zur Radiomeldung vergingen lediglich etwa 12 Minuten.

Leider rufen viele Bürgerinnen und Bürger in Schreck und Unkenntnis die Notrufnummern der Polizei und Feuerwehr an, um die Ursache der Erschütterungen zu erfahren. Eine schnelle Information der breiten Öffentlich-

keit über Rundfunk, Fernsehen und Internet erübrigt dagegen unnötige Telefonate.

Webseite: <http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/Fachbereiche/erdbebendienst>

Jahnke, G., Gestermann, N., Schick, A., Ceranna, L., Henger, M. (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover)

Betrieb des Erdbeben Alarm- und Informationssystems ALISE

E-Mail: seisinfo@sdac.hannover.bgr.de

Seit dem verheerenden Sumatra Erdbeben vom 26. Dezember 2004 gibt es ein gesteigertes öffentliches Interesse an der Errichtung von Erdbeben Alarm- und Informationssystemen. Obwohl Deutschland nicht zu den seismischen Risikoregionen zählt, sind auch hier in der Vergangenheit schon ernstzunehmende Schadenbeben aufgetreten. Auch für kleinere Erdbeben besteht in Deutschland ein Bedarf an schnellen, zuverlässigen und umfassenden Informationen. Diese können Einrichtungen wie Polizei, Feuerwehr oder Lagezentren der Innenministerien helfen, eine objektive Einschätzung der Situation nach einem Erdbeben vorzunehmen und notwendige Maßnahmen zu veranlassen.

ALISE ist ein automatisch, zuverlässig und kostengünstig arbeitendes Erdbeben Alarm- und Informationssystem, das über Herdparameter und anzunehmende Auswirkungen von größeren Erdbeben in Deutschland und Umgebung informiert. Das System nutzt kontinuierliche Wellenformdaten von den digitalen seismischen Breitbandstationen des Deutschen Regionalnetzes (GRSN) und einigen zusätzlich errichteten Stationen. Die Stationsanzahl ist eher klein verglichen mit Netzen, die in anderen Ländern für solche Aufgaben betrieben werden. Dies wird unter anderem durch ein neu entwickeltes Lokalisierungsverfahren kompensiert, welches sehr robust arbeitet und keine a priori Annahmen über die Natur der detektierten Einsätze macht.

Für die Darstellung der Ergebnisse in Verbindung mit topographischen und geologischen Karten und Satellitenbildern reicht ein normaler Webbrowser und eine Internetverbindung aus. Zusätzliche Daten wie historische Erdbeben, Bergbauaktivität, Steinbrüche, Atomkraftwerke, Gas- und Ölfelder sowie Störungszonen können vom Benutzer eingeblendet werden. Die dafür benötigten Daten werden von einem Map-Server aufbereitet, der auf eine umfassende Datenbank zugreift. Die Wahl eines normalen Webbrowsers als Benutzerschnittstelle sowie die Art der Aufbereitung der Informationen erlaubt es auch Nicht-Seismologen, die Ergebnisse zu interpretieren und zu verwerten. Innerhalb von 5-10 Minuten nach einem Ereignis sind Herdparameter und zu erwartende Auswirkungen vollständig bestimmt und für den Nutzer online abrufbar.

Vorgestellt werden die Funktionsweise sowie erste Erfahrungen beim Betrieb von ALISE. Anhand eines Testdatensatzes wurde die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Systems quantitativ untersucht.

Webseite: <http://sdac.hannover.bgr.de/>

Saul, J., Hanka, W., GITEWS-Gruppe, X. (GFZ Potsdam)

GEOFON und das Tsunami-Warnsystem für den Indischen Ozean

E-Mail: saul@gfz-potsdam.de

Das bestehende GEOFON-Erdbeben-Informationssystem, das mit Hilfe von echtzeitnah über Internet erfassten kontinuierlichen Datenströmen von über 200 Stationen des GEOFON-Netzes und kompatibler Partnerstationen vollautomatisch weltweite Erdbeben lokalisiert und quantifiziert und die Ergebnisse über das Internet publiziert, stellt die Grundlage für die seismologische Komponente des deutschen Beitrags zum Tsunami-Frühwarnsystem im Indischen Ozean (GITEWS) dar. Mit Hilfe von bis zu 40 neuen GEOFON-Stationen in Indonesien und anderen Ländern am Indischen Ozean und unter Einbeziehung möglichst vieler Stationen anderer neuer seismischer Netze in der Region soll in den nächsten 3 Jahren ein effektives, satellitengestütztes Erdbebenmonitoringsystem installiert werden, das innerhalb von wenigen Minuten nach einem starken Erdbeben im Sunda-Graben die für die Ableitung eines möglichst realistischen Tsunami-Szenarios notwendigen Herdparameter bereitstellt. Neben einer schnellen und möglichst genauen Lokalisierung des Bruchbeginns und der Ableitung von verschiedenen geeigneten Magnitudenwerten und erster Punktquellen-Momenten-Tensoren soll dazu in der Folge insbesondere der fortschreitende Bruch mit automatischen seismischen Methoden verfolgt und Bruchgeschwindigkeit und Bruchlänge möglichst zeitnah abgeleitet werden. Die dazu benötigten Methoden müssen zum großen Teil erst entwickelt bzw. für die automatische Quasi-Echtzeit-Anwendung

angepasst werden. Das im Rahmen des Projektes zu entwickelnde seismologische Kontrollzentrum soll im künftigen Tsunami-Warnzentrum in Jakarta den wachhabenden Seismologen während ihres Dienstes rund um die Uhr sowohl jederzeit einen vollständigen Überblick über die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems geben als auch die automatisch ablaufenden Ableitungen der verschiedenen seismischen Parameter visualisieren und für eine eventuell notwendige schnelle interaktive Korrektur aufbereiten.

Erste konkrete Schritte zur Realisierung des Projektes wurden bereits 2005 durchgeführt. Vier neue seismologische Stationen wurden in Nias, Sumatra, Java und Kalimantan installiert und senden ihre Daten per Satellit zum Meteorologischen and Geophysikalischen Dienst Indonesiens (BMG) in Jakarta. Dort wurde ein vorläufiges seismologisches

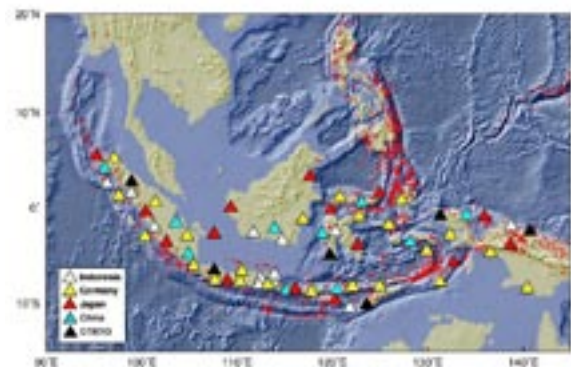


Abbildung 1: Geplantes internationales satellitengestütztes Seismometernetz für Indonesien

Prozessing-System installiert, das unter Einbeziehung einer Reihe von Fremdstationen bereits automatische Erdbebenmeldungen produziert. Die Reaktionszeit dieses Systems liegt für indonesische Beben bereits zwischen 5 und 10 Minuten und stellt ein wichtiges Element des vorläufigen provisorischen indonesischen Erdbeben- und Tsunami-Warnsystems dar.

Webseite: <http://geofon.gfz-potsdam.de>

Krüger, F., Ohrnberger, M. (Uni Potsdam)

Direct teleseismic rupture imaging using array techniques

E-Mail: kruegerf@geo.uni-potsdam.de

The spatial extent of large earthquake ruptures is usually indirectly inferred from aftershock distributions or by waveform inversion techniques. The direct estimation of the spatio-temporal characteristics of large earthquake rupture processes, however, can also be achieved by using large-aperture teleseismic array imaging techniques.

Using the high-quality records from the global seismic broadband network a simple, yet efficient, migration technique is proposed. In particular,

we combine coherency and beam-power measures which are obtained from curved wavefront stacking of the direct P wave at multiple large aperture arrays surrounding the source region at tele-seismic distances.

Tests have been performed to obtain the accuracy of spatio-temporal locations estimated from synthetic extended source models and corresponding seismogram records. Observed uncertainties are less than 50 km horizontally. Including a number of additional seismic phases (e.g. pP, sP) into the migration scheme, it seems even feasible to constrain the depth extent of the rupture characteristics and to further sharpen the spatio-temporal image.

As a prime example we apply this method to the $M_w = 9.3$ Sumatra earthquake from 26/12/2004. and the subsequent Nias earthquake from 28/03/2005 ($M_w = 8.7$). We show that it is possible to track the focus of the most coherent/largest energy release in space and time.

For the Sumatra event, we confirm the over-

all extent of the rupture length being in the order of 1150 km. The rupture front propagated during a time span of at least 480-500 s following the trench geometry from the northern tip of Sumatra to the Andaman Islands region.

A visualization of the coherent energy accumulation over time suggests the existence of slow after-slip in the northern part of the rupture after the main rupture front has passed. However, due to the interference of large later phases it is not possible to determine whether this afterslipping event persists much longer than the overall duration of the rupture. The final areal estimate of cumulative energy release is in full agreement with the aftershock distribution observed in the months following this earthquake.

For the Nias earthquake we observe propagation of the rupture starting south-east to the epicentral region of the Sumatra event. The rupture extent and duration of this event is about 25% of its predecessor.

The estimation of the rupture duration for these events and their corresponding spatial extent allows deriving approximate source energy estimates during the rupture process and finally provides an appropriate estimate of the total earthquake size within minutes after the rupture onset.

Considering the urgent need for early-warning systems for the detection of tsunami-genic earthquakes, we feel that this technique has the potential to become an integral part of such a system.

Bormann, P. (Kleinmachnow), Wylegalla, K., Saul, J. (Potsdam, GeoForschungsZentrum Potsdam), Wendt, S. (Collm, Observatorium der Universität Leipzig)

Kumulative Raumwellenmagnitude aus Breitbandregistrierungen zur schnellen Bestimmung der Stärke sehr großer Erdbeben

E-Mail: pb65@gmx.net

Mit derzeit üblichen Methoden zur schnellen Bestimmung der Magnitude wurde die Stärke des Erdbebens vom 26. Dezember 2004 stark unterschätzt. Realistische Magnitudenangaben lagen erst nach über zwei Stunden vor. Deshalb wurde das Tsunamipotential dieses Erdbebens stark unterschätzt und entsprechende Warnungen kamen zu spät. Die aus kurzperiodischen P-Wellen mit gängigen Prozeduren nach etwa 7 Minuten ermittelten Magnituden m_b lagen zwischen 6.3 und 7.0. Bestimmt man dagegen die Magnitude aus der maximalen Amplitude der Bodenschwinggeschwindigkeit der P-Welle in Breitbandregistrierungen, dann wäre es möglich gewesen, bereits 11,5 Minuten nach dem Beben anhand Geofon-Registrierungen der Station Port Moresby in Papua Neuguinea oder nach 14 Minuten aus Aufzeichnungen der Station Rüdersdorf bei Berlin eine Magnitude von 8.4, bzw. 8.3 anzugeben. Diese Stärke entspricht etwa der größten Teilruptur in dem über 1000 km langen und über acht Minuten währenden Bruchvorgang, dem Wochen später Stein und Okal insgesamt eine Momentmagnitude von 9.3 zugeschrieben. Ein so großer Bruch ist aber kein Einzelereignis, sondern besteht aus einer Folge sich ausbreitender Teilbrüche. Summiert man die maximalen Amplituden der in den Breitbandseismogrammen erkennbaren Folge von Unterereignissen und berechnet aus der kumulativen P-Wellenamplitude die entsprechende kumulative Magnitude m_B als

Funktion der Zeit, dann erreicht diese bereits 90 Sekunden nach dem ersten P-Welleneinsatz einen Wert von 8.9, und 5 Minuten nach dem ersten P-Welleneinsatz den Wert 9.3. Diese Werte hätten bereits etwa 14 bzw. 18 Minuten nach Beginn des Bebens zur Verfügung stehen können, wenn es möglich gewesen wäre, entsprechende Auswertungen in Realzeit durchzuführen.

Inzwischen wurden etwa 40 Beben im Magnitudenbereich $6 < M < 9.5$ und Entfernungsbereich von 17° bis 101° sowohl die Einzelamplituden-Magnitude m_B und die kumulative m_B Magnitude an verschiedenen Stationen ausgewertet. Die Ergebnisse wurden mit den am seismologischen Datenzentren der USA (NEIC) ermittelten Magnituden aus Oberflächenwellen (M_s), der Energie-Magnitude M_e , der Momente-Magnitude M_{wp} aus P-Wellen und der gängigen repräsentativen Momente-Magnitude M_w (HRV) von Harvard Seismology verglichen. Dabei zeigt sich, dass bereits unsere aus maximalen Einzelamplituden im gesamten P-Wellenzug ermittelten m_B -Magnituden bis zu Werten von etwa 8 im Mittel sehr gut mit M_s , M_{wp} bzw. M_w nach Harvard übereinstimmen (Standardabweichung von etwa 0.25). Für noch größere Beben unterschätzen aber sowohl m_B als auch M_{wp} im gleichen Maße dessen Magnitude. Unsere Werte für das kumulative m_B stimmen dagegen bis zu Magnituden über 9 noch sehr gut mit

M_w(HRV) überein. Am Observatorium Collm wurde bereits ein interaktives Unterprogramm von Seismic Handler entwickelt. Es ermöglicht, im fortlaufenden Registriervorgang die Maximalamplituden der Unterereignisse anzuklicken und aufzusummieren und daraus bei Kenntnis der Herdentfernung automatisch die Magnitude als Funktion der Zeit stufenweise zu berechnen und auszudrucken. Eine andere, vollautomatische Prozedur wurde am GFZ Potsdam entwickelt und getestet. Sie liefert mit einem einfachen Algorithmus zur Erkennung signifikanter Amplitudenanstiege im Seismogramm und deren Aufsummierung bis zum absoluten Amplitudenmaximum im P-Wellenzug bereits wenige Sekunden nach der letzten Amplitudenmessung Ergebnisse. Diese stimmen ausreichend gut mit den aus interaktiven Prozeduren ermittelten Werten für die kumulative mB-Magnitude überein, um als hinreichend zuverlässige Alarmmagnituden in einem Frühwarnsystem genutzt zu werden.

Stegmann, S. (Research Center Ocean Margin, University Bremen, Leobener Str., 28359 Bremen, Germany), Anselmetti, F., Strasser, M. (Department of Geosciences, ETH Zürich, Sonneggstrasse 5, CH-8092 Zurich, Switzerland), Kopf, A. (Research Center Ocean Margin, University Bremen, Leobener Str., 28359 Bremen, Germany)

Geophysical characterization and in situ-measurements of earthquake-induced landslide deposits in Lake Lucerne, Switzerland

E-Mail: stegmann@uni-bremen.de

Subaqueous mass movements are common features in both marine and lacustrine environments. They form important sediment accumulations and represent a considerable hazard to offshore and coastal infrastructure. This study focuses on mass movements in perialpine Lake Lucerne, Switzerland, which likely result from one of the strongest historical earthquakes in central Europe, the Mw 6.2 1601 AD event. We have geophysically surveyed several of the mass wasting deposits along the slopes of Lake Lucerne before characterizing the sediment with in situ and laboratory geotechnical methods. The biggest of the slump and landslide bodies has an estimated volume of 17 km³ and a thickness between 0.5 and 5 meters, however, many smaller slumps and landslide bodies have been identified in various portions of the lake. In situ vane shear tests as well as cone penetration tests (CPT) attest the potential failure plane of the landslide to consist of indurated, well aligned clays. Bulk density and in situ vane shear strength are low in the remobilized Holocene drape (1.4 g cm⁻³ and ca. 2 kPa, respectively), and increase significantly at the boundary to the underlying glacial clays (larger 1.8 g cm⁻³ and up to 7 kPa below ca. 3 m depth) Laboratory ring shear tests show friction coefficients around 0.3. The clays at and beneath the failure plane are further characterized by low per-

meabilities and high gas contents. CPT pore pressure measurements (u_2) are generally between 10 and 30 kPa in the remobilized section, but rise to values up to 170kPa in the underlying late glacial clays. Given the similar mineralogical composition and frictional behaviour of the mobilized sediments and its footwall, the trigger mechanism for slope failure is most likely an earthquake-induced increase in pore pressure in the overconsolidated late glacial clays.

Klinge, K., Stammeler, K., Plenefisch, T., Wetzig, E. (BGR - SZGRF Erlangen), Dahm, T. (Universität Hamburg)

INDUZIERT ODER NATÜRLICH? - UNTERSUCHUNG DER SEISMISCHEN AKTIVITÄT SÜDÖSTLICH VON BREMEN

Am 20. Oktober 2004 ereignete sich bei Rotenburg/Wümme in einer bisher als aseismisch bekannten Gegend ein ungewöhnlich starkes seismisches Ereignis mit der Magnitude $ML = 4.5$ (Latitude 53.04 ± 0.02 , Longitude 9.57 ± 0.03). Im Umfeld des Epizentrums befinden sich zahlreiche Gasfelder. Erste Auswertungen dieses Bebens wurden bereits auf der DGG-Tagung 2005 präsentiert. Auf Grund einer unzureichenden Anzahl von lokalen Stationen konnten einige Herdparameter, insbesondere die Herdtiefe nur unzureichend genau bestimmt werden. Die ungefähre Tiefe des Bebens wurde mit 6-10 km angegeben. Damit würde das Beben im Grenzbereich zwischen kristallinen Grundgebirge und Präzessionsstein bzw. oberhalb des Grundgebirges im Präzessionsstein stattgefunden haben. Für die Auswertung des Bebens wurden die Stationen des GRSN und zwei dänische Breitbandstationen verwendet. Die herdnächste Station NRDL befand sich in einer Entfernung von 70 km. Da sich im weiteren Verlauf des Jahres 2005 noch weitere, wenn auch schwächere Beben, im weiteren Umkreis ereigneten, wurde von uns ein mobiles seismisches Stationsnetz im August 2005 in der betroffenen Region aufgestellt. Mit den gewonnenen Daten sollen erstens die Herdparameter besser als bisher bestimmt werden und zweitens soll die Anzahl der detektierbaren Ereignisse zu kleineren Magnitudenwerten hin ($ML < 2$) vergrößert werden.

Stange, St., Pohl, C., Brüstle, W. (LED Freiburg)

Geophysik zur seismischen Mikrozonierung, Beispiel Lörrach/Weil am Rhein

E-Mail: stefan.stange@rpf.bwl.de

Das Gebiet um Lörrach und Weil am Rhein am südwestlichsten Rand Baden-Württembergs gehört zu den am stärksten erdbebengefährdeten Regionen in Deutschland. Auf der Karte der Erdbebenzonen zur DIN4149:2005 wird hier - vor allem wegen des Baselbebens von 1356 - die höchste Zone (3) ausgewiesen. Aus geologischer Sicht zeigt ein 10km langer West-Ost-Schnitt vom Rhein durch Weil und Lörrach neben den mächtigen Sedimenten des Rheingrabens den Tüllinger Berg, nach Osten gefolgt vom Wiesetal und der Flexurzone der östlichen Grabenrandstörung (Eastern Master Fault). Den Abschluss nach Osten bildet der Dinkelberg, der sich tektonisch vom restlichen Südschwarzwald abhebt und vom Muschelkalk mit einigen Keuperauflagen bestimmt wird.

In einem trinationalen Interreg III Programm wurden die Gebiete von Basel, Mulhouse und Lörrach/Weil bearbeitet und Mikrozonierungskarten der seismischen Bodenbewegung im Erdbebenfall erstellt. Auf deutscher Seite wurden hierzu zunächst die bestehenden Starkbebenstationen Lörrach (LOER) und Weil (WEIL) durch temporäre Installationen ergänzt, so dass das knapp 10x7 qkm große Zielgebiet von einem Ost-West-Profil von 9 Seismographenstandorten (nicht alle gleichzeitig besetzt) durchzogen wurde. Die Station Wyhlen (WYH), einige Kilometer südlich in einem offengelassenen Muschelkalksteinbruch, diente als Referenzstation. Glücklicherweise konnten in gut einem Jahr 11 relevante Erdbeben mit Lokalmagnituden von 2.7

bis 5.4 registriert werden. Die größte Überraschung bot dabei die Flexurzone, in der deutlich erhöhte Amplituden (z.B. in der Maximalbeschleunigung) gegenüber dem direkt vorgelegerten Wiesetal aufgezeichnet wurden.

Zur Untersuchung des Untergrundaufbaus, insbesondere der Scherwellengeschwindigkeit mit der Tiefe, konnten anfänglich nur die Logs aus der Bohrung Otterbach, eine ältere Industrieseismik über den Tüllinger Berg und eine kürzlich gemessene Flusseismik auf dem Rhein herangezogen werden. Durch die Beteiligung des GGA-Institutes im Projekt konnte auf etlichen Profilen die neu entwickelte Scherwellen-Refraktions- und Reflexionsseismik eingesetzt werden. Alle diese Methoden und ihre Ergebnisse beziehen sich jedoch nur auf eng begrenzte Ausschnitte des Gesamtgebietes, so dass zur Flächenerschließung rund 1100 H/V-Messungen (ambient noise spectral ratio) durchgeführt wurden. 960 Messpunkte lieferten auswertbare Daten, so dass das Gebiet ausreichend dicht und umfassend abgedeckt wurde.

H/V-Messungen wurden bereits vielfach zur Mikrozonierung herangezogen. Meist geschieht dies über eine strukturelle Interpretation der Spektren, wobei sich auch im vorliegenden Fall starke Impedanzkontraste gut identifizieren lassen: z.B. die Basis der Melettaschichten im Gebiet Weil oder die Basis einer sehr langsamen Auflage in nur 20m Tiefe in der Flexurzone (sog. Priesterrain-Peak, durch Reflexionsseismik bestätigt). Eine weitergehende Interpretation ist jedoch mit sehr

großen Spielräumen behaftet, und der Zusammenhang mit dem Verhalten im Erdbebenfall kann allenfalls als „lose“ bezeichnet werden. Es wurde deshalb beschlossen, gewisse charakteristische Eigenschaften der H/V-Spektren (z.B. die typische Resonanzfrequenz) lediglich zur Kartierung homogener Teilgebiete zu nutzen und so zusammen mit Überlegungen vor allem aus der Geologie die Zonierungsgrenzen festzulegen. Die Zuweisung eines Niveaus innerhalb einer Zone erfolgte dann durch Vergleich mit den tatsächlichen Erdbebenregistrierungen an den oben beschriebenen Stationen.

Die Mikrozonierungskarte selbst kann auf dem Poster "The microzonation map of Lörach & Weil a.R./Southern Upper Rhine Graben" von Pohl et al. eingesehen werden.

Sudhaus, H. (Zuerich, ETH), Ritter, J.R.R. (Karlsruhe, Geophysikalisches Institut)

Variationen seismischer Amplituden in Bukarest

E-Mail: Joachim.Ritter@gpi.uni-karlsruhe.de

Das von Oktober 2003 bis August 2004 in der rumänischen Hauptstadt Bukarest installierte Breitbandnetzwerk URS (URban Seismology) lieferte u.a. die Daten für Untersuchungen der Amplituden seismischer Signale. Das URS-Projekt fand im Rahmen des DFG-Sonderforschungsbereichs 461 "Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen" statt und wurde zusammen mit dem rumänischen Nationalen Institut for Physik der Erde durchgeführt.

Mit dem URS-Datensatz können Amplitudenvariationen seismischer Signale über das Stadtgebiet hinweg beobachtet werden. Der sedimentäre Untergrund führt hier zu lokalen Verstärkungs- und Interferenzeffekten. Wir analysierten P- und S-Wellen lokaler und teleseismischer Ereignisse hinsichtlich ihrer Amplituden aus und konnten ausgeprägte Amplitudenvariationen über dem Stadtgebiet feststellen. In Frequenzbereich können wir diese Variationen über einen Bereich von 0.15 Hz bis 0.86 Hz für teleseismische P-Wellen und 0.5 Hz bis ca. 8 Hz für lokale S-Wellen (sowie 1.4 bis 10 Hz für lokale P-Wellen) bestimmen. Die Messung der Amplitudenvariationen soll neben der generellen Aufnahme der Stationseffekte auch Aufschluss über den Einfluss von strukturellen Effekten auf die Amplituden seismischer Signale geben. Für den Frequenzbereich von 0.15 Hz bis 0.71 Hz (teleseismischen Daten) konnte die Ausbildung von stehenden Wellen an einer geneigten Schichtgrenze mit deutlichem positiven Geschwindigkeitskontrast in etwa 2 km Tiefe nachgewie-

sen werden. Durch die Neigung des Reflektors von etwa 4 orts- und frequenzabhängig. Aufgrund der komplexen Struktur der oberflächennahen Schichten unter Bukarest ist die Beobachtung ähnlicher Effekte bei der Auswertung lokaler P- und S-Wellen ungleich schwieriger. Die frequenzabhängige Messung der Amplituden liefert jedoch wertvolle Daten zur Bewertung der lokalen Gefährdung.

Webseite: <http://www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de/pub/kabba/>

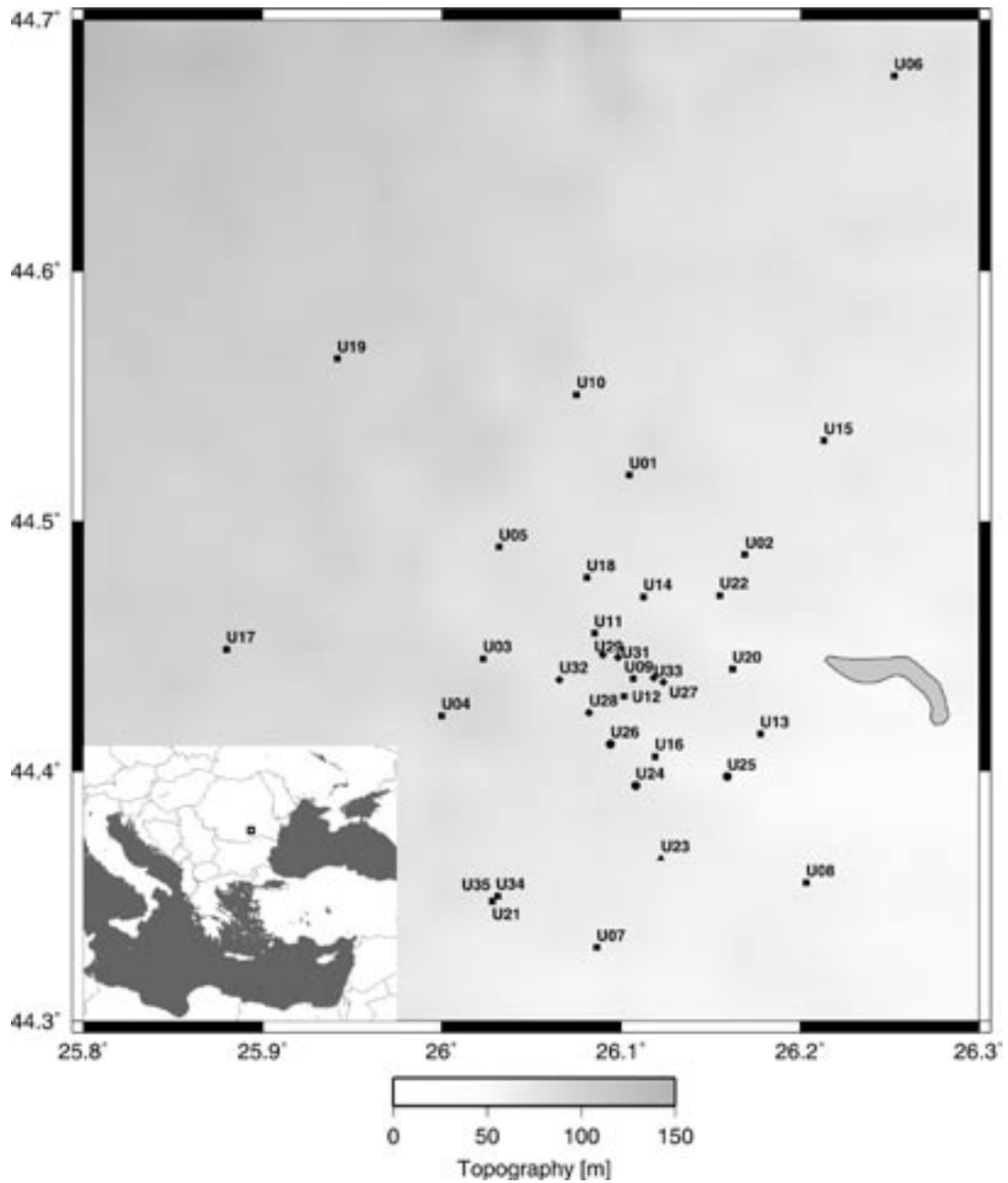


Abbildung 1: Lage der 32 Breitband-Stationen im Stadt-Gebiet Bukarests während des URS-Projekts von 2003 bis 2004. Die Symbole stehen für die verwendeten Seismometer-Typen: Quadrate für STS2-Seismometer, Kreise für Güralp-Seismometer und Rauten für K2000-Seismometer.

Diehl, T. (ETH Zürich), Ritter, J.R.R. (Uni Karlsruhe)

Die Scherwellen-Geschwindigkeitsstruktur unter Bukarest aus Receiver Funktionen

E-Mail: joachim.ritter@gpi.uni-karlsruhe.de

Die rumänische Hauptstadt Bukarest ist durch die Erdbeben in der Vrancea Zone seismisch sehr stark gefährdet. Zudem befindet sich die Stadt auf dem Vorlandbecken der Karpaten, dessen Sedimente in diesem Bereich etwa 9 km Mächtigkeit umfassen und das somit zusätzlich einen ungünstigen Standortfaktor darstellt. Im Rahmen des SFB 461 "Starkbebe" wurde von Oktober 2003 bis August 2004 ein Netzwerk mit 31 Breitbandstationen in Bukarest und Umgebung von der Universität Karlsruhe und dem Nationalen Institut für Physik der Erde, Bukarest, betrieben. Dieses URS-Experiment (URban Seismology) sollte grundlegende Daten zur urbanen Seismologie registrieren.

Ein Auswerteziel von URS ist die Scherwellen-Geschwindigkeitsstruktur unter Bukarest mit verschiedenen Methoden. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Receiver Funktionen Analyse vorgestellt. Die teleseismischen P-Receiver Funktionen (0.083-2 Hz) zeigen die Diskontinuitäten der Krusten-Mantel-Grenze und der Kristallin-Sediment-Grenze deutlich. Registrierungen von Vrancea Beben (M 3.5-4.5) konnten in einem höheren Frequenzband (0.5-5 Hz) prozessiert werden. Diese P-Receiver Funktionen zeigen daher auch mehr Strukturdetails. Teleseismische S-Receiver Funktionen ergeben wegen des schlechten Signal/Stör-Verhältnisses keine brauchbaren Wellenformen. Die teleseismischen und Vrancea P-Receiver Funktionen werden in Scherwellen-Geschwindigkeits-

Tiefenfunktionen invertiert und diskutiert.

Webseite: <http://www-sfb461.physik.uni-karlsruhe.de>

Wenzel, F., Bartlakowski, J. (Karlsruhe University), Radulian, M. (NIEP Bucharest), Ritter, J., Wirth, W. (Karlsruhe University)

Urban Shakemap Methodology for Bucharest

E-Mail: friedemann.wenzel@gpi.uka.de

We develop a methodology for a shakemap for the Romanian capital Bucharest that can be rapidly computed and delivered to the public once real-time data access is available to a sufficient extent. The methodology adopted for generating shakemaps in California cannot be simply transferred to Bucharest case. However, a systematic incorporation of previous seismological observations of weak and strong ground motion and a recent urban broadband experiment deployed in 2004 in Bucharest area allow us to interpolate ground motion parameters (peak ground acceleration and computed intensities) from 11 sites where accelerometers measure the actual motion of a specific earthquake to 35 additional locations in the city, so that a reasonably reliable distribution of ground motion in the city can be determined. The proposed methodology is applied for the $M_w = 6.0$ intermediate-depth earthquake of October 27, 2004.

Previous studies (Lungu et al., 2001; Wirth et al., 2003) and field observations demonstrated the level of variability of ground motion in Bucharest for Vrancea earthquakes: PGA can vary up to a factor of 4 and intensities can differ by one unit. Because of this we develop a methodology to generate shakemaps from accelerometer records which utilizes in addition to the actually recorded information (observational sites) seismological data at sites of previous instrumentation (phantom sites). The phantom sites are located where K2 stations have been installed

for a number of years (Bonjer et al., 2000) and where the sites of a recent urban seismological broadband experiment were selected (URS; Ritter et al., 2005). By this we add to 11 urban records of the October 27, 2004 $M_w = 6$ Vrancea earthquake another 25 phantom stations. At these sites PGA values are estimated from PGA relations of previous events with reference to station INCERC. A similar procedure for FAS allows us to compute intensities at observational and phantom sites. With phantom stations the shakemaps for PGA and intensity show much higher resolution and are thus considerably improved as compared to a simple interpolation of values observed at the 11 recorded sites.

Looking at the standard variations of estimated PGA values at phantom sites, we note that in some areas of the city (SW) the reliability is smaller than in others (center, N, S, E). This part of the city should thus be the target of future additional instrumentation. We also note that ground motion prediction at phantom sites has been determined from weak motion, and we implicitly assume linear site effects. However, the October 27, 2004 event shows PGA values only below 0.1 g; the largest earthquake ever recorded in Bucharest 1977 showed 0.2 g as PGA. The risk to the city is not caused by very high values of ground motion but rather by the vulnerability of the building stock and the high recurrence rate of strong Vrancea earthquake. We are thus confident that the assumption of linear site effects

is not too strong. It is certainly desirable to incorporate geological information and classification into a shakemap. However, no relationship between site classes and amplification effects has been established so far, mostly because the required data base is lacking.

Currently the real-time communication facilities for actually generating the shakemap in near-real time are not available. On the other hand an increasing number of stations is incorporated into the real-time communication system so that a technical realization of the methodology proposed here can be expected within the next 2 to 3 years.

This research is funded by Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) the Collaborative Research Centre 461: Strong Earth-

quakes - A Challenge for Geosciences and Civil Engineering (CRC 461).

Lungu, D., C. Arion, A. Aldea, and T. Cornea, 2001. City of Bucharest seismic profile: from hazard estimation to risk mitigation. In Lungu, D. and T. Saito, Earthquake hazard estimation and countermeasures for existing fragile buildings, Independent Film, Bucharest, Romania, 43-66.

Ritter, J.R.R., S.F. Balan, K.-P. Bonjer, T. Diehl, T. Forbriger, G. Marmureanu, F. Wenzel, and W. Wirth, 2005. Broadband Urban Seismology in the Bucharest Metropolitan Area. *Seismological Research Letters*, 76, 5, 574-580.

Wirth, W., F. Wenzel, V. Y. Sokolov, and K.-P. Bonjer, 2003. A uniform approach to seismic site effect analysis in Bucharest, Romania. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 23, 737-758.

Web page: <http://www-sfb461.physik.uni-karlsruhe.de>

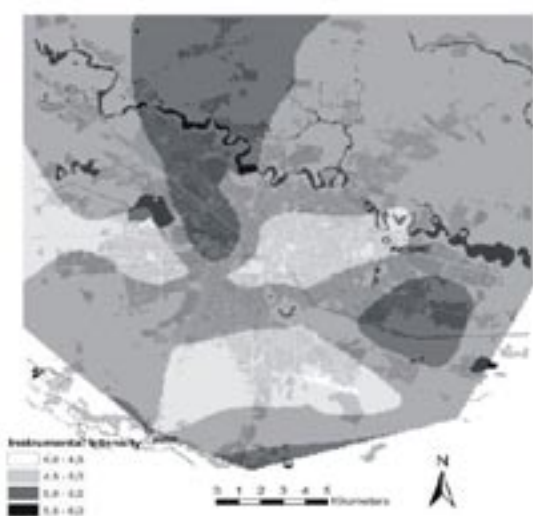


Figure 1: Shakemap of the computed intensities derived from the Fourier Amplitude Spectra of the October 27, 2004 records and estimated Fourier Amplitude Spectra at phantom sites. Residential and industrial facilities are shaded grey, lakes and rivers black. Instrumental Intensities are in the range of 4.0 to 6.0.

Serfling, U. (Leipzig)

Untersuchung von Eigenpotential- und multiparametrischen Daten vom Vulkan Merapi, Indonesien

E-Mail: serfling@uni-leipzig.de

Der 2960 m hohe Vulkan Merapi befindet sich in Indonesien im zentralen Teil der Insel Java. Dieser zeichnet sich durch häufige vulkanische Krisen mit eruptiven Ereignissen und partiellen Lavadomkollapsen aus. Zusammen mit seiner Nähe zu der Millionenstadt Yogyakarta stellt dies eine permanente Bedrohung für die Bevölkerung dar. Im Januar 2001 kam es während einer vulkanischen Krise zu einem Teilkollaps des Doms.

Vulkanische Aktivität und Stabilität werden nicht nur durch interne Ursachen wie das magmatische System und das System strömender Fluide, sondern auch durch externe Ursachen wie meteorologische Ereignisse beeinflusst. Eigenpotentiale können als das Ergebnis elektrokinetischer Effekte, die durch das hydraulische Strömungssystem hervorgerufen werden, angesehen werden. Zusammenhänge zwischen vulkanischer Aktivität und Eigenpotentialen wurden schon vielfach beobachtet und beschrieben.

Das Monitoring von Eigenpotentialen und Bodentemperaturen am Vulkan Merapi an der Solfatare Woro stellt einen wertvollen Beitrag zum Verständnis dieser Zusammenhänge dar.

Von August 2000 bis Oktober 2005 wurde vom Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig im Gipfelbereich des Merapi an einer aktiven Solfatare eine im autonomen Dauerbetrieb arbeitende Meßstation für Eigenpotentiale und Bodentemperaturen betrieben. Die Ankopplung der drei Eigenpotentialdipole an den Boden wurde mit langzeitsta-

bilien Ag/AgCl-Elektroden erreicht, die in circa 50 cm Tiefe installiert waren. Die Dipollänge variierte zwischen 20 m und 120 m. Die Daten wurden mit 20 Hz aufgezeichnet. Zugleich wurden an jeder Elektrode die Bodentemperatur und (an der Station) die Lufttemperatur erfaßt (Samplerate 4 Hz). Die Daten wurden sowohl lokal gespeichert als auch zeitgleich per Telemetrie in die Stadt Yogyakarta übertragen und archiviert. Die Station wurde wegen der feindlichen Umweltbedingungen an der Solfatare Woro und der exponierten Lage in der Gipfelregion des Merapi mehrfach gekapselt. Alle Meßleitungen waren mit Überspannungsschaltungen versehen. Trotz einiger Unterbrechungen, unter anderem ausgelöst durch die vulkanische Krise im Frühjahr 2001, wurde ein sehr großer Datensatz gewonnen.

Aufgrund der zeitlichen Variation des Frequenzinhalts der Daten werden Waveletanalyse und Short-Time-Fouriertransformation zur Datenauswertung und -interpretation genutzt. Bis jetzt konnten unter anderem eine Langzeit-Korrelation zwischen Eigenpotentialen und Temperaturdifferenzen an den Elektroden, durch Regenfall ausgelöste Änderungen des Eigenpotentials und periodische Änderungen im Eigenpotential mit einer vorherrschenden 12h-Komponente festgestellt werden.

Mit der Datenbearbeitung wird versucht, die Zeitreihen soweit von Effekten, die durch äußere Einflüsse hervorgerufen werden, zu befreien, so daß am Ende der Nachweis und gegebenenfalls eine Klassifikation rein vulkano-

elektrischer Ereignisse (ähnlich der Unterscheidung seismologischer Events) ermöglicht wird.

Webseite: <http://www.geo.uni-leipzig.de>

Hort, M., Vöge, M., Gerst, A. (Institut für Geophysik, Bundesstr. 55, 20146 Hamburg), Seyfried, R. (IAV GmbH, Nordhoffstr. 5, 38518 Gifhorn)

Der Aktivitätszustand von Vulkanen - was leisten Dopplerradarmessungen

E-Mail: hort@dkrz.de

Vulkanische Risiken sind im Gegensatz zu seismischen Risiken besser einzugrenzen, da es sich bei Vulkanen erstens um bekannte Punktquellen handelt und zweitens die Eruptionsgeschichte eines Vulkans durch detaillierte Geländearbeit im Hinblick auf Dauer und Schwere der Ausbrüche nahezu lückenlos rekonstruiert werden kann. Um den Aktivitätszustand eines Vulkans zu charakterisieren werden verschiedenste Messmethoden eingesetzt, wobei seismischen Messungen nach wie vor eine besondere Rolle zukommt. Die Interpretation seismischer Daten im Hinblick auf den Aktivitätszustand eines Vulkans gestaltet sich aber oftmals recht schwierig und man versucht daher zeitgleich viele weitere Messungen durchzuführen, um die Interpretation und so auch die Frühwarnung vor einer neuen Eruption zu verbessern. Eine neuere Beobachtungsmethode sind Dopplerradarmessungen, die eine Erfassung dynamischer Prozesse bei einer Eruption erlauben. Ihre Stärke liegt insbesondere in der Kurzzeithorhersage zur Beurteilung eines beginnenden Ausbruchs, aber auch in der Beobachtung vulkanischer Domsysteme, die instabil sind. Zudem lassen sich bei Langzeitbeobachtungen Änderungen in der Eruptionsdynamik erfassen, die möglicherweise mit einer Änderung der Transportprozesse im Schlotssystem im Zusammenhang stehen.

Im Rahmen des Vortrags wird die Messmethode vorgestellt und die Interpretation verschiedener Datensätze strombolianischer

Eruptionsdynamik sowie Ergebnisse der Langzeitbeobachtung am Vulkan Merapi, Indonesien, diskutiert. Insgesamt wurde das entwickelte System seit 2000 bei 4 Kurzzeitmessungen (einige Wochen) auf Vulkanen und 4 mal zur Überwachung von Steinbruchsprengungen eingesetzt. Zudem wurden zwei Permanentstation aufgebaut (Laufzeit bis heute knapp 4 bzw. 1 Jahr).

Im Rahmen der Kurzzeitexperimente konnte unter anderem mittels Dopplerradarmessungen der Einfluss von Niederschlag auf die Eruptionsdynamik strombolianischer Eruptionen nachgewiesen werden. Auch lassen sich z.B. Pulsationen in strombolianischen Eruptionen erfassen, die mit dem Platzen unmittelbar aufeinanderfolgender Gasblasen verknüpft sein können. Dies ist insofern interessant, als strombolianische Eruption allgemein nur mit dem Platzen einer sog. Groß- oder auch Slugblase assoziiert werden. Theoretische Modelle, die direkt vor dem Platzen der Blase eine Oszillation, also ein Expansion und dann eine Kontraktion postulieren, lassen sich mittels der Radardaten überprüfen, und es deutet sich an, dass solche Oszillation eher nicht auftreten.

Durch Langzeitbeobachtungen des aktiven Doms des Vulkans Merapi, Indonesien, konnten verschiedene Instabilitätsmechanismen (gravitative und explosive) identifiziert werden. Hierbei sind die rein gravitativen Instabilitäten häufiger als die explosiven Ereignisse, die wiederum aber im Mittel höhere Ge-

schwindigkeiten als die reingravitativen Ereignisse aufweisen. Auch konnte gezeigt werden, dass die Radarmessungen in Zeiten hoher Aktivität eine deutlich höhere Anzahl an Instabilitätsereignissen erfassen als das indonesische seismische Netzwerk, da sich die einzelnen Ereignisse in den seismischen Aufzeichnungen überlagern und dann nur schwer wieder voneinander zu trennen sind. Zudem wurde für das System am Merapi eine Online Klassifizierung der Daten entwickelt, welche es ermöglicht über die Erstellung täglicher Ereignisstatistiken den Aktivitätszustand des Merapi zu charakterisieren.

Session B

MG, SM

+ thematisch passende Beiträge aus GD, SO und S2

6.3. - 9.3. in Raum 2010 im SFG

Ritter, O., Becken, M. (Potsdam), Weckmann, U. (Dublin), Bedrosian, P. A. (Denver)

The deep roots of transform faults

E-Mail: oritter@gfz-potsdam.de

Continental transform faults separate plates of lithosphere, leaving in their wake a region of lithospheric-scale weakness. Complex zones of localized brittle deformation characterize shearing in the upper (seismogenic) crust, but it is unclear if these faults cut rigid blocks as narrow shear zones or if the lower crust decouples and deforms continuously over a wide area.

Electrical images from the San Andreas Fault (SAF) in California and the Dead Sea Transform (DST) in Jordan show both similarities and differences in their subsurface structure. Fluids distributed within the fracture network of the damage zone generally explain the observed high conductivity for the brittle regime. At least for the SAF, the MT images reveal a correlation between lateral conductance and seismicity. In contrast, the narrow, meter-scale damage zone at the DST is the result of a faulting mechanism where strain is extremely localized, apparently over long periods of time. The MT image of the DST suggests a fault acting as a barrier to cross-fault fluid transport due to an impermeable fault seal or a lithological contrast across the fault.

On a regional scale, the MT data of the DST reveal a narrow, approximately 3-5 km wide, sub-vertical zone of high electrical conductivity penetrating the lithosphere to a depth of at least 30 km. This image strongly suggests that the DST may be spatially confined even in the ductile lower crust. New crustal scale images from the SAF show a previously unknown, westward plunging conductor ($5 \Omega m$)

at the transition zone between the electrically homogeneous granitic crust ($>1000 \Omega m$) in the west and the Franciscan subduction complex in the east. Here, resistivities less than $5 \Omega m$ appear to be confined to the brittle crust while the lower crust below the surface trace of the fault is characterized by a broad zone of moderate conductivity ($20 \Omega m$).

Web page: <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb22/>

König, M., Jokat, W. (Alfred Wegener Institut, Bremerhaven), Watkeys, M. (University of Natal, Durban)

AISTEK-II

Die tektonische Entwicklung des Mosambik-Rückens und Mosambik-Beckens

E-Mail: mkoenig@awi-bremerhaven.de

Die Öffnung zwischen Afrika und der Antarktis an der Nahtstelle Südwest-Afrika und Dronning Maud Land, Antarktis, war von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung einer Meeresströmung zwischen dem Südatlantik und dem indischen Ozean. Zur Rekonstruktion der paläoklimatischen Verhältnisse im mittleren und späten Jura ist das Wissen um die Verteilung von Meeresströmungen einer der wichtigsten Parameter. Geodynamische Modellierungen bilden die Grundlage zur Berechnung der Paläobathymetrie und liefern damit wichtige Randbedingungen zur globalen Modellierung von Ozeanströmungen.

Plattentektonische Rekonstruktionen der Kontinente Afrika und Antarktis sind geprägt von der Unsicherheit in der Bestimmung der Position des Mosambik-Rückens vor und während der Öffnung der angrenzenden Ozeanbecken, dem Lazarev Meer, dem Riiser-Larsen Meer (beides Antarktis) und dem Mosambik-Becken (Afrika). Im Lazarev Meer konnten bislang keine Meeresbodenspreizungsanomalien identifiziert werden die eine zweifelsfreie Interpretation von Position und Zeitpunkt der Öffnung zwischen dem Mosambik-Rücken und der Antarktis zulassen. Für die konjugierende Seite, südlich des Mosambik-Rückens, gibt es bislang keinen hoch auflösenden Datensatz der eine eindeutige Datierung des Ozeanbodens in dieser Region ermöglicht.

Die Expedition SO-183 mit FS Sonne im

Frühjahr 2005 hatte zum Ziel magnetische Messungen südlich des Mosambik-Rückens und im Mosambik-Becken entlang ausgewählter Profillinien durchzuführen. Dadurch soll die Berechnung eines verbesserten geodynamischen Modells zur frühen Öffnung zwischen Afrika und der Antarktis ermöglicht werden. Zusätzlich wurde an sechs verschiedenen Positionen das Basement unter Einsatz einer Dredge beprobt um Anhaltspunkte zur Struktur und Zusammensetzung des Mosambik-Rückens zu bekommen. Ergänzt wurden die Messungen durch den Einsatz eines Fächersonars und Schweremessungen die an Bord des Schiffes durchgeführt wurden.

Für die magnetischen Vermessungen wurde ein geschlepptes Magnetometersystem verwendet. Bei einer Geschwindigkeit von 10–11 Knoten wurde der Sensor 200 m hinter dem Schiff geschleppt. Als Backup-System wurde für die Dauer der Fahrt ein Dreikomponenten-Fluxgate-Magnetometer an Bord installiert. Für die seegravimetrischen Vermessungen wurde ein LaCoste & Romberg S56 Gravimeter verwendet.

Erste Auswertungen der Magnetometerdaten des geschleppten Systems lassen eine Interpretation von Meeresbodenspreizungsanomalien südlich des Mosambik-Rückens zu. Aus vorläufigen Modellierungen der magnetischen Anomaliesequenzen ergibt sich ein Alter zwischen M4 (125 Ma) und M10 (130 Ma) für den Bereich südlich des Mosambik-

Rückens. Auf dem Rücken selbst werden Anomalien mit Amplituden von bis zu 800 nT beobachtet. Es gibt Hinweise für eine Entstehung dieser Anomalien an einem aktiven Spreizungssystem vor M10 (130 Ma). Als Konsequenz daraus kann der Mosambik-Rücken als ozeanischen Ursprung interpretiert werden. In geodynamischen Modellen zur Rekonstruktion der Öffnung zwischen Afrika und der Antarktis kann somit das Problem des Überlapps des Mosambik-Rückens auf Droning Maud Land gelöst und eine sequentielle Entstehung des Mosambik-Rückens eingeführt werden.

Die Daten des Mosambik-Beckens bestätigen in weiten Teilen die Interpretationen früherer Expeditionen. Im westlichen Teil des Beckens können die magnetischen Anomalien über mehrere Linien korreliert werden. Für den nordwestlichen Teil wird ein maximales Alter von ca. 152 Ma (M22) angenommen. Der östliche Teil des Mosambik-Beckens ist durch geringe Amplituden der magnetischen Anomalien gekennzeichnet. Die Korrelation der Signale über mehrere Linien ist durch den störenden Einfluß von Bruchzonen (Davie Fracture Zone) nur bedingt möglich. Eine erste Interpretation der Daten kann bestehende Modelle zur geodynamischen Entwicklung des Beckens bestätigen, zeigt jedoch eine deutlich verbesserte zeitliche Auflösung. Somit ist eine detailliertere Rekonstruktion der Beckenöffnung im Riiser-Larsen Meer und dem Mosambik-Becken möglich und kann als Grundlage für paläobathymetrische Modelle verwendet werden.



Abbildung 1: Fahrtroute während der Expedition SO-183 mit FS Sonne. Dredge-Positionen sind durch graue Kreise und ODP/DSDP Bohrlokationen sind durch schwarze Sterne gekennzeichnet. Eine Interpretation magnetischer Anomalien zum Stand vor der Expedition ist durch die schwarzen Striche und deren Beschriftung gegeben.

Barckhausen, U. (Hannover, BGR), Cande, S.C. (San Diego, SIO), Engels, M. (Hannover, BGR), Ranero, C. (Barcelona), Weinrebe, W. (Kiel, IFM GEOMAR)

Eine Rekonstruktion des Zerbrechens der Farallon-Platte

E-Mail: Udo.Barckhausen@bgr.de

Im Projekt CENTRAL mit der Forschungsfahrt SO-180 wurde die große plattentektonische Reorganisation im Ostpazifik an der Wende Oligozän-Miozän mit ihren Auswirkungen auf die mittelamerikanische Subduktionszone untersucht. Das entscheidende Ereignis in diesem Zusammenhang war das Zerschneiden der Farallon-Platte mit der daraus resultierenden Bildung des Cocos-Nazca Spreizungszentrums. Der Prozeß dieser Öffnung eines neuen Spreizungszentrums quer zum bestehenden pazifischen Spreizungszentrum ist bisher kaum untersucht worden, obwohl er vermutlich sehr weitreichende Auswirkungen auf die benachbarten aktiven Kontinentränder von Mittelamerika und Südamerika hatte.

Die Bruchlinie, entlang derer die Farallon zerbrach und das Cocos-Nazca-Spreizungszentrum entstand, ist bis heute zum größten Teil bereits unter Mittelamerika und Südamerika subduziert worden und mit ihr die ozeanische Kruste, die in der frühen Öffnungsphase entstanden ist. In der zu Costa Rica konjugierten Region auf der pazifischen Platte jedoch ist die ozeanische Kruste, die während der plattentektonischen Reorganisation an der Wende Oligozän-Miozän am pazifischen Spreizungszentrum gebildet wurde, noch vorhanden und mit ihr die in den tektonischen Strukturen und magnetischen Anomalien enthaltene Information über die in dieser Zeit abgelaufenen Prozesse. Während der Forschungsfahrt SO-180 im November und Dezember 2004 wurden mit

insgesamt vier Seemagnetometern, darunter zwei neuentwickelte Vektormagnetometer, Gravimetrie und dem Fächerecholotsystem des FS SONNE die magnetischen Lineationen und morphologischen Strukturen in der Region um 120° W knapp südlich des Äquators kartiert.

Auf der Basis der neuen Daten und neu prozessierter älterer Daten aus der Region konnten die magnetischen Seafloor Spreading-Anomalien in einem großen Gebiet um den initialen Tripelpunkt zwischen Pazifischer-, Cocos- und Nazca-Platte herum identifiziert werden. In der Kombination mit den bereits bekannten konjugierten Anomalien wurden daraus Rotationspole und Winkel für das Pazifik-Cocos- und das Pazifik-Nazca-System berechnet. Dieses war möglich für zwei Zeitpunkte kurz vor und kurz nach dem Zerschneiden der Farallon-Platte. Anschließend konnte das gesamte System mit der gut bekannten absoluten Bewegung der Pazifischen Platte im Hotspot-Referenzsystem an seinen Ursprungsort zurückbewegt werden. Es zeigte sich, daß der initiale Tripelpunkt nahe der heutigen Position des Ostpazifischen Rückens bei ca. 6° S gelegen hat. Das neugebildete Cocos-Nazca Spreizungszentrum verlief von dieser Position aus über den Galapagos-Hotspot oder nahe daran vorbei in Richtung des heutigen Mittelamerika.

Die Beteiligung des Galapagos-Hotspots ist möglicherweise der Grund dafür, daß die Farallon-Platte nicht entlang einer der beste-

henden großen Bruchzonen zerfiel. Die Entstehung des neuen Spreizungszentrums führte am benachbarten aktiven Kontinentrand von Mittelamerika zu einem schnellen Wechsel von der Subduktion alter Lithosphäre zur Subduktion junger und heißer ozeanischer Lithosphäre und könnte damit das Ende der Akkretion und den Beginn der heute beobachteten Subduktionserosion markieren.

Fischer, K. D. (Bochum)

Einfluss der Eigenschaften des Plattenkontaktes auf die Deformations- und Spannungsänderung verursacht durch ein Subduktionserdbeben

E-Mail: kasper.fischer@ruhr-uni-bochum.de

Subduktionszone zeichnen sich durch ihre hohe Seismizität aus und sind immer wieder der Ort starker Erdbeben. Dabei hängt die freigesetzte seismische Energie entscheidend davon ab, mit welcher relativ Geschwindigkeit sich die beteiligten Platten bewegen und wie stark sie miteinander gekoppelt sind. Aufgrund der oft komplexen Geometrie einer Subduktionszone und eines schrägen Abtauchens der subduzierten Platte spielen hierbei auch dreidimensionale Variationen entlang der tektonischen Grenzen eine wichtige Rolle.

Am Beispiel der Hellenischen Subduktionszone (östliches Mittelmeer) und insbesondere des Erdbebens von 365 n. Chr. soll der Einfluss dieser Kopplung untersucht werden. Das Erdbeben von 365 n. Chr. hatte eine geschätzte Magnitude von $M=8.3$, zerstörte eine römische Großstadt auf Kreta, führte zu einer Hebung Westkretas um mehr als 8 m (Abb. 1; aus Stiros, 2001) und löste einen Tsunami aus, der weite Küstenabschnitte des östlichen Mittelmeers heimsuchte.

Durch numerische dreidimensionale Modellierungen mit Hilfe der Finite-Elemente Methode wird untersucht, wie die Eigenschaften, die die Kopplung zwischen den Platten beschreiben (z. B. Reibung), sich auf die Deformations- bzw. Spannungsänderung verursacht durch Erdbeben auswirken. Hierzu wird ein Segment des Plattenkontaktes entlang der Subduktionszone untersucht. Dieses Segment befindet sich in einem vollständig gekoppelten Zustand und wird schlagartig

komplett gelöst. Numerisch geschieht dies durch ein instantanes Herabsetzen des Reibungskoeffizienten von unendlich auf Null. Es zeigt sich, dass die hierdurch verursachten Deformations- und Spannungsänderungen nicht nur von den rheologischen Eigenschaften der Kruste und des Mantels abhängen, sondern auch von den Reibungseigenschaften und der Kopplung benachbarter Segmente des Plattenkontaktes. Hierdurch kommt es zu asymmetrischen Mustern in der seismischen Deformations- und Spannungsänderung. Laterale Variationen des Streichens der Plattengrenze und damit verbundenen unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten führen zu einer weiteren Störung der Asymmetrie. Der Vergleich zwischen den berechneten und gemessenen Deformationen an der Oberfläche helfen, die Kopplung zwischen den Platten zu quantifizieren und somit besser zu verstehen.

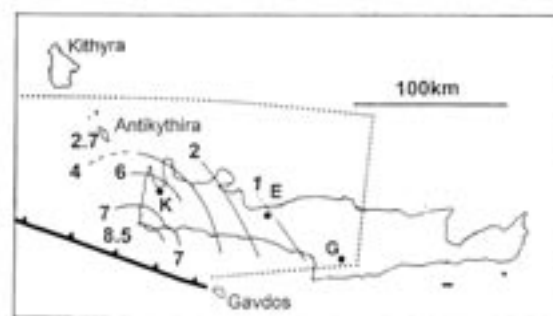


Abbildung 1: Hebung Kretas und benachbarter Inseln nach dem Erdbeben von 365 n. Chr. (Stiros, 2001)

Literatur

Stathis C. Stiros (2001): *The AD 365 Crete earthquake and possible seismic clustering during the fourth to sixth centuries AD in the Eastern Mediterranean: a review of historical and archaeological data*, *Journal of Structural Geology* **23**, 545–562.

Webseite: <http://www.geophysik.ruhr-uni-bochum.de>

Kellner, A., Kukowski, N. (GFZ Potsdam), Medvedev, S. (Freie Universität Berlin), Dresen, G. (GFZ Potsdam)

Different Styles of Deformation of the Forearc Wedge along the Chilean Convergent Margin

E-Mail: akellner@gfz-potsdam.de

Despite almost equal plate kinematic boundary conditions along the Chilean convergent margin, the styles of deformation of the forearc wedge differ significantly from north to south. We analyse possible causes of this diversity using 3D numerical deformation modelling. The Forearc wedge along the Chilean margin is characterized by the oblique subduction of the Nazca plate, major margin-parallel strike-slip faults and the Andes mountain chain acting as a backstop. We tested the influence of various parameters, e. g. dip of slap, rate of convergence, obliquity, strength of coupling between Nazca plate and South American plate, and Young's modulus, to understand how geometries, rheologies and mechanical parameters influence strain partitioning and styles of deformation in the Chilean forearc. The numerical models are applied to a northern and a southern study area along the Chilean margin at 20°-24°S and 37°-42°S. The rates of deformation obtained from the model simulations and comparison with field data suggest that the subducting Nazca plate and the South American continent should be separated by a relatively weak subducting interface, which was implemented numerically by a contact surface with a lower friction coefficient. The analysis of strain partitioning in the forearc wedge showed that simple rheological concepts for the wedge (purely elastic or viscous) cannot represent field observables with acceptable accuracy.

The elasto-plastic model wedge accommodates oblique subduction motion of the Nazca plate more realistically, which allows to compare results with observables of GPS measurements and estimate parameters of the model with considerable confidence. The coupling between the subducting Nazca plate and South America, the rate of convergence as well as the strength of the wedge material was found to have a high influence on the style of deformation. Weaker coupling is predicted for the southern study area than for the northern region. That conclusion is in agreement with observed accretive style of mass transfer in the south and erosive mass transfer in the north, respectively.

Heesemann, M. (Universität Bremen), Grevemeyer, I. (IFM-GEOMAR, Kiel), Villinger, H., Kaul, N. (Universität Bremen)

Wärmeflussmessungen ergeben Rückschlüsse auf den Bruchmechanismus des Nicaragua Tsunami-Erdbebens von 1992

E-Mail: heesema@uni-bremen.de

Subduktionsbeben, die im Verhältnis zu ihrer Magnitude (M_s) Tsunamis von überproportionaler Größe und Zerstörungskraft verursachen, werden als Tsunami-Erdbeben bezeichnet. Weiterhin zeichnen sie sich durch relativ langsame Bruchgeschwindigkeiten an flach einfallenden Bruchflächen und durch nah an der Deformationsfront gelegene flache Hypozentren aus. Diese besonderen Eigenschaften der Tsunami Erdbeben werden darauf zurückgeführt, dass sie von Bruchereignissen im oberen Décollement, wo normalerweise aseismisches Gleiten vorherrscht, hervorgerufen werden. Die Mechanismen, die zu diese unerwarteten Bruchereignisse führen, sind jedoch weitestgehend unerforscht. Zahlreiche jüngere Untersuchungen haben gezeigt, dass vor allem die thermischen Struktur einer Subduktionzone die Lage der seismogenen Zone (bei Temperaturen von ca. 150°C - 450°C) bestimmt. In der vorgestellten Arbeit werden zum ersten mal Wärmeflussmessungen zusammen mit Strukturinformationen aus seismischen Daten dazu benutzt, um die Temperaturverhältnisse und die davon abgeleiteten Reibungsbedingungen in der Bruchzone eines Tsunami Erdbebens zu untersuchen.

Wärmeflussmessungen am Kontinentalhang vor Nicaragua, wo 1992 das stärkste Tsunami-Erdbeben ($M_s = 7.2$), das mit modernen Geräten aufgezeichnet wurde, stattgefunden hat, bilden die Grundlage für unsere Studie. Diese Daten wurden während

der FS Meteor Fahrt M54-2 im Sommer 2002 gemessen. Die Wärmeflussdaten liefern, zusammen mit seismischen Reflexionsdaten, die Randbedingungen für numerische Temperaturmodelle.

Erste Ergebnisse deuten an, dass der Bruchvorgang des Nicaragua Tsunami-Erdbebens in einer Tiefe begann, in der für eine seismogene Zonen typische Temperaturen von über 150°C vorherrschen. Anschließend breitete sich die Bruchzone nach oben in Richtung der Grabenachse aus. Die zugehörige Centroid Moment Tensor (CMT) Lösung zeigt, dass sich der Schwerpunkt der Massenbewegung in einer Zone befand, die durch Temperaturen von unter 60°C charakterisiert ist.

Die Bruchzone breitete sich also in einer Region aus, in der die Plattenbewegung normalerweise durch aseismisches Kriechen ausgeglichen wird. Unsere Beobachtungen unterstützen ein Modell, in dem Tsunami-Erdbeben im oberen Bereich der seismogenen Zone, nahe der sogenannten oberen Grenze (engl. Updip-Limit), entstehen. In diesem Szenario mögen die gekoppelten Bereichen zwar zu klein sein, um große Erdbeben zu erzeugen, jedoch sind auf der subduzierten Cocosplatte zahlreiche Tiefseevulkane vorhanden. Daher ist die Normalspannung neben der temperaturabhängigen metamorphischen Verfestigung der Sedimente durch die Subduktion der Vulkankegel erhöht. Dieser Effekt könnte dazu führen, dass die akkumulierten Spannungen

gen ausreichend sind, um genug Energie in der Nähe der oberen Grenze der Kopplungszone frei zu setzen, um ein dynamische Gleiten in einer normalerweise aseismischen Zone, die bis zum Meeresboden heraufreicht, zu ermöglichen.

Haberland, Ch. (Uni Potsdam, Germany), Rietbrock, A. (Uni Liverpool, UK), Lange, D. (Uni Potsdam, Germany), Bataille, K. (Uni Concepcion, Chile), Hofmann, S., Dahm, T. (Uni Hamburg, Germany), Scherbaum, F. (Uni Potsdam, Germany), Hermosilla, G. (Uni Concepcion, Chile), TIPTEQ Seismology Group, X. (Potsdam)

Seismicity and velocity structure in Southern Chile between 37 and 39 S: First results from the TIPTEQ network

Subduction zones generate the world's largest and most destructive earthquakes. Understanding the factors leading to these earthquakes in the coupling zone of convergent margins and their interrelation with surface deformation are the main aims of the international and interdisciplinary research initiative TIPTEQ (From The Incoming Plate To megaThrust EarthQuake Processes) which is financed by the German Ministry for Education and Research (BMBF). These aims shall be achieved by obtaining high resolution images of the seismogenic zone and the forearc structure, which will form the base for identifying the processes involved. Our studies focus spatially on the nucleation zone of the Mw=9.5 1960 Chile earthquake, the worldwide largest instrumentally ever recorded earthquake.

Within this project a large temporary seismological network was installed in southern Chile between Nov. 2004 and October 2005, covering the forearc between 37° and 39° S. It consisted of 120 digitally recording and continuously running seismic stations equipped with short period sensors. The onshore network was complemented by 10 ocean bottom seismometers/hydrophones (OBS/OBH). The stations in the central part of the network had very small station spacings which will assure an increased quantity of P and S phase onset times and which will achieve the observation of the whole wavefield (coherent waveforms).

We collected about 1.2 TByte of data. First

steps of the data processing are the event detection, the onset time picking, and the localisation of the (local) earthquakes (catalog). Later steps include the determination of the velocity and attenuation structure (tomography), the analysis of the stress field by moment tensor inversion, the analysis of later phases such as guided waves and scattered/converted/reflected arrivals, the analysis of teleseismic recordings (receiver functions, anisotropy), and many more. The results will be jointly interpreted with the findings of controlled source seismic studies, magnetotelluric measurements, and surface geological studies. Each day 2 to 3 local earthquakes and several teleseismic events were recorded. We present first results including data examples, seismicity distribution, and first velocity models of this ongoing research project. Most of the crustal seismicity in the network is concentrated in two clusters close to the coast line; Benioff seismicity can be found down to 100 km depth.

Lange, C.D., Haberland, C. (University of Potsdam), Rietbrock, A. (University of Liverpool), Hofmann, S.D. (University of Hamburg), Bataille, K. (University of Concepcion)

The TIPTEQ seismic network covering the Chilean forearc between 41.5° and 43.5° S – Seismicity and velocity model

E-Mail: dlange@geo.uni-potsdam.de

The convergent margin from Southern Chile is the focus of studies within large-scale, multi-discipline experiment TIPTEQ (From The Incoming Plate to megaThrust EarthQuake Processes).

An amphibious seismic network consisting of 18 landstations and 20 offshore stations was deployed on the island of Chiloé, the corresponding continental region around Chaitén and the offshore forearc between 41.5° and 43.5° S. Average station spacing was 35 km. The network was installed and maintained by the University of Potsdam (Germany), the University of Hamburg (Germany), the Universidad de Concepción (Chile) and the University of Liverpool (UK). From November 2004 until October 2005 the onshore network observed 350 seismic events, an average of about 1 event perday.

For this region there is no local velocity model available and the seismicity is not known in detail. We used joint hypocenter inversion for 1-D velocity structure, station delays and hypocenters. The hypocenters define a 22-26° inclined Benioff zone, the maximal-focal depth is 60 km. Main activity is situated parallel to the coast of Chiloé. The distribution of crustal seismicity can mainly be linked to volcanoes and the Liquiñe-Ofqui fault zone. Additionally we present the 1D velocity model for the region.

We are planning to derive 3D structural models of the forearc by tomographic meth-

ods and receiver functions. The analysis of the stress field (moment tensor inversion) will contribute to the structure and dynamics of the forearc, of the oceanic plate (fracture zones, wedge) and of the coupling zone.

Bohm, M., Asch, G., Koulakov, I., Manzanares, A., Lühr, B. - G. (GFZ - Potsdam), Shevkunova, E. (GS Novosibirsk), Hartantyo, E. (UGM, Yogyakarta), Gunawan, H. (DVGHM, Bandung)

MERAMEX - Seismologische Messungen zur Untersuchungen von Zentraljava, Indonesien

E-Mail: ase@gfz-potsdam.de

MERAMEX (MERapi AMphibious EXperiment) ist ein Teilprojekt im Verbundvorhaben SUNDAARC (BMBF-Programm GEOTECHNOLOGIEN-Kontinentränder), dessen Ziel es ist, den Hochrisikovulkanismus und seine Einbindung in den Subduktionsprozess am aktiven Kontinentrand des Sundabogens zu untersuchen. In Subduktionszonen findet ein komplexes Zusammenspiel von tektonischen Prozessen in Raum und Zeit statt, die die gesamte Lithosphäre beeinflussen und verändern. Dabei spielen Fluide und Schmelzen eine entscheidende Rolle. Eine genauere Kenntnis der Subduktionsprozesse und des damit verbundenen Vulkanismus im Sundabogen wird zu einer besseren Gefährdungs- und damit Risikoeinschätzung von Naturgefahren führen.

Ziel von MERAMEX ist die Erstellung von 3D Geschwindigkeits- und Dämpfungs-(Q)-Modellen, zur Kartierung der Aufstiegspfade von Fluiden und Schmelzen im Bereich des Hochrisikovulkans Merapi und benachbarter Vulkane in Zentraljava. Der wichtige Bereich von Kruste und oberem Mantel unterhalb des Merapi bis hin zur subduzierten Platte, war bisher unerkundet. Der Vulkan Merapi befindet sich im Bereich einer „seismischen Lücke“ bei 110 Grad Ost. Hier erscheint die subduktionsbezogene Seismizität für Magnituden größer 4,5 auf einem 100 km breiten Streifen stark reduziert, während nach beiden Seiten hin Kumulation der Epizentren auftritt.

In 2004 wurde die regionale seismische Aktivität im Raum von Zentraljava und den Karimun Jawa Inseln, Java-See, landseitig mit einem seismischen Netz aus 120 seismischen Stationen aus dem Gerätepool des GFZ Potsdam bzw. von der Universität Kiel über einen Zeitraum von 5 Monaten erfasst. Seeseitig wurde mit 14 OBS / OBH Geräten vom IFM-GEOMAR registriert. Das temporäre seismologische Netz deckte ein Gebiet ab von 150 km x 200 km, bei einem mittlere Stationsabstand der von 20 km (landseitig) und 40 km bis 90 km (seeseitig). Ergänzt werden die Erdbeben-Messung durch offshore-seitige Airgun Schüsse, die ebenfalls see- und landseitig registriert wurden. Das Experiment konnte erfolgreich durchgeführt werden und die registrierte Seismizität ist ausreichend für eine tomographische Auswertung. Für eine tomographische Modellierung können mindestens 3 bis 4 Beben pro Tag genutzt werden. Erste vorläufige Ergebnisse sind sehr vielversprechend.

Schlindwein, V. (AWI Bremerhaven), Müller, C. (Fielax Bremerhaven), Jokat, W. (AWI Bremerhaven)

Aktiver submariner Vulkanismus am Gakkel Rücken, Arktischer Ozean

E-Mail: vschlindwein@awi-bremerhaven.de

Modelle für die Magmaproduktion an mittelozeanischen Rücken sagen eine Abnahme der Magmenmenge und somit Krustendicke für abnehmende Öffnungsraten voraus. Geringe Öffnungsraten und eine kühle Lithosphäre an den Riftachsen sorgen für konduktive Kühlung des oberen Mantels, die das Entstehen nennenswerter Magmamengen verhindern sollte.

Der Gakkel Rücken im Arktischen Ozean ist mit Öffnungsraten von 13-6 mm/y das langsamste Spreizungszentrum weltweit. Submariner Vulkanismus sollte hier entlang des Rückens von West nach Ost mit abnehmender Öffnungsrate zum Erliegen kommen.

Im Jahr 1999 findet jedoch im östlichen Teil des Gakkel Rücken bei 85°E ein Schwarm von 250 teleseismisch registrierten Erdbeben statt, einer der größten und stärksten mittelozeanischen Erdbebenschwärme weltweit. Die seismische Aktivität wird begleitet von einem submarinen Vulkanausbruch. Im Jahr 2001 untersucht die internationale Arctic Mid-Ocean Ridge Expedition (AMORE2001) den Gakkel Rücken und das Vulkanzentrum bei 85°E. Funde frischer Lava sowie eine massive Hydrothermalquelle belegen den rezenten Vulkanismus.

Im Rahmen der AMORE2001 Expedition haben wir einen ersten Versuch unternommen, die Mikroseismizität des Gakkel Rücken mit seismologischen Arrays auf driftenden Eischollen zu registrieren. Wir zeigen die Ergebnisse dieses Pilotprojekts und werfen Fragen

über die Funktionsweise vulkanischer Zentren an ultralangsamem Rücken auf. Wir interpretieren einen spektakulären Schwarm explosiver seismoakustischer Signale als Geräusche eines submarinen Vulkanausbruchs während unserer Messungen. Interessanterweise ist dieser Vulkanausbruch im Gegensatz zu 1999 aseismisch, denn unser Array zeichnet keine Mikroerdbebenaktivität aus dem Quellbereich der akustischen Signale auf. Somit stellt sich die Frage nach der Bedeutung des starken Erdbebenschwarms von 1999. Konnte eine Magmakammer gebildet werden, die in 2001 noch Eruptionen speist? Bisherige Analysen des Erdbebenschwarms von 1999 vermögen aufgrund von ungenauen Epizentrumsbestimmungen keine Antwort auf diese Frage zu geben.

Die seismischen Phasengeschwindigkeiten der Mikroerdbeben deuten auf eine magmatische Krustendicke von 5-6 km hin im Gegensatz zu den kaum magmatischen Regionen des Gakkel Rücken, wo die Krustendicke entsprechend globaler Modelle unter 2-3 km liegt. Somit konzentriert sich die Magmaproduktion ultralangsamem Rücken in einzelnen, stark ausgeprägten vulkanischen Zentren mit anhaltender Aktivität. Wir schlagen eine systematische Mikroerdbebenstudie ultralangsamem Rücken vor, um die Gründe für die ausgeprägte Fokussierung von Schmelzen zu untersuchen.

Voß, M., Jokat, W. (AWI, Bremerhaven)

Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Erste Interpretation tiefenseismischer und Potentialfelddaten im Bereich zwischen der Jan Mayen und Grönlandbruchzone

Im frühen Tertiär begann der Aufbruch des nördlichen Nordatlantiks. Der Rift- und Aufbruchsprozeß wurde durch massiven Magmatismus begleitet und führte zu Ab- und Einlagerung vulkanischen Materials in die Kruste an den konjugierenden Kontinentalrändern.

Als charakteristische Merkmale für vulkanisch geriftete Kontinentalränder zeichnen sich Flutbasalte aus, die unter anderem als seewärts geneigte Reflektoren auftreten und/oder Hochgeschwindigkeitskörper (7.0+ km/s), die man als magmatische Unterplattung in der Unterkruste bezeichnet. Globale Untersuchungen an konjugierenden Kontinentalrändern sind essentiell für ein besseres Verständnis der fundamentalen Prozesse, die für den Aufbruch und die Separierung von lithosphärischen Platten verantwortlich sind.

Bisherige tiefenseismische Messungen vor Ostgrönland konzentrierten sich auf die Fjordregionen zur Untersuchung der kaledonischen kontinentalen Kruste und ließen die Frage offen, wie sich der Übergang zur ozeanischen Kruste darstellt. Obwohl sich eine Segmentierung nördlich und südlich des Kong Oscar Fjordes andeutete, blieb die genaue Ausdehnung einer Unterplattung unbekannt.

Aufgrund neuester refraktionsseismischer Daten vom ostgrönländischen Kontinentalrand, zwischen der Jan Mayen und Grönland Bruchzone, wurden entlang von drei Profillinien P-Wellen Geschwindigkeitsmodelle erstellt, welche die Krustenstruktur des Kontinent - Ocean Übergangs zeigen. Während die kontinentale Kruste mit einem anstehenden Basementhoch eine Mächtigkeit von 30-33 km aufweist, ließ sich die Dicke der ozea-

nischen Kruste von kristallinem Basement bis zur Moho auf 4.5-6.5 km bestimmen.

Auf den beiden südlicheren 320 bzw. 460 km langen Profilen zeigt sich eine massive Unterplattung mit Mächtigkeiten bis zu 19 km und einer lateralen Ausdehnung von über 180 km. Die kontinentale Grenze der Unterplattung korreliert mit einer auffälligen negativen magnetischen Anomalie (-400 bis -600 nT, etwa 50 km breit), die sich zwischen dem Kong Oscar Fjord im Süden bis nach Shannon Island im nördlichen Teil des ostgrönländischen Kontinentalrandes erstreckt. Auf der ozeanischen Seite dünnt die Unterplattung bis auf 1-2 km aus und endet auf beiden Profilen bei der magnetischen Spreizungsanomalie C21. Auf dem dritten refraktionsseismischen Profil, welches sich über eine Länge von 360 km südlich von Shannon Island über den Schelf bis in das Grönlandbecken erstreckt, scheint die Unterplattung sich in ihrer Ausdehnung zu reduzieren.

Aeromagnetikdaten, die parallel zu den beiden südlichen Profilen aufgenommen wurden, zeigen hochfrequente Variationen im Bereich der negativen Anomalie, die auf oberflächennahe Intrusionen hinweisen.

Im Gesamtbild zeigt der ostgrönländische Kontinentalrand in diesem Bereich einen starken Einfluß rift-induziertem Magmatismus, der in Nord-Süd-Richtung variabel scheint.

Eine erste Interpretation und ein Vergleich mit dem konjugierenden Kontinentalrand Norwegens soll gezeigt werden.

Berger, D., Jokat, W. (Alfred-Wegener-Institut)

Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Ergebnisse reflexionsseismischer Untersuchungen in der norwegisch grönländischen See zwischen 75°N und 78°N

Die norwegisch-grönländische See gilt derzeit noch als ein kaum wissenschaftlich erforschtes Gebiet. Um erstmalig Strukturen im äußeren Schelfbereich, dem Kontinentalrand und der angrenzenden Tiefsee zu erhalten, wurde im Jahr 2003 eine Expedition in das Gebiet zwischen der *Jan Mayen Fracture Zone* und der *Greenland Fracture Zone (GFZ)* vorgenommen.

Die reflexionsseismischen Daten wurden zwischen 75°N und 78°N mit einem 600 m und einem 3000 m langen Streamer aufgezeichnet. Insgesamt wurden ca. 4400 km Reflexionsseismik erfasst. Des Weiteren wurden aeromagnetische, gravimetrische und refraktionsseismische Daten erhoben.

Die Daten des 600 m langen Streamers wurden standardmäßig sortiert, gefiltert, analysiert, korrigiert, gestapelt und liegen in Form von zeitlich migrierten Sektionen vor. Eine erste Sedimentmächtigkeitskarte für den nördlichen Bereich der norwegisch-grönländischen See ermöglicht eine Bestimmung der Sedimentverteilung in diesem Gebiet. Generell nimmt die Sedimentmächtigkeit von Süd nach Nord zu. Auf dem Profil AWI-20030165, über die *GFZ* ist sichtbar, dass sich im nördlich angrenzenden Boreas Becken größere Sedimentablagerungen befinden als im Grönland Becken. Die *GFZ* hat an dieser Position eine Breite in Nord-Süd-Richtung von 13 km. Auf allen West-Ost-Profilen nördlich 75°N des Datensatzes des 600 m langen Streamers ist ein *Basement* - Hoch erkennbar (Abbildung 1), das als *Greenland Escarpment* bekannt ist.

Der Verlauf in nördlicher und südlicher Richtung ist bisher spekulativ, da jegliche Datengrundlage fehlte. Dieses *Escarpment* befindet sich im Bereich des Kontinentalhanges in unterschiedlichen Meerestiefen, variierend zwischen 1500 m und 2500 m, und stellt sich nicht als Lineament in der Wassertiefe dar. Vielmehr variiert die Position des *Escarpments* um 13-16 km in Ost-West-Richtung. Die Lage relativ zu den bekannten Meeresbodenspreizungsanomalien (C24) deutet an, dass sich diese Struktur im Kontinent-Ozean-Bereich befindet. Es handelt sich bei dem *Greenland Escarpment* mit hoher Wahrscheinlichkeit um eine vulkanische Struktur, die in Verbindung mit der Öffnung der norwegisch-grönländischen See entstanden ist. Weiterhin werden in diesem Beitrag Sedimentmächtigkeiten nördlich 75°N dargestellt und welchen Einfluss haben Strukturen im *Basement* auf die Ablagerung der Sedimente.

Wittwer, A., Flueh, E., Kopp, H. (IFM-GEOMAR), Rabbel, W., Wagner, D. (CAU-Kiel), Barkhausen, U. (BGR)

Investigation of the Sundaarc subduction zone off Central Java

E-Mail: awittwer@ifm-geomar.de

Investigation of the Sundaarc subduction zone off Central Java

A. Wittwer, E. Flueh, H. Kopp, W. Rabbel, D. Wagner, U. Barkhausen

The eastern Sunda margin off Indonesia remains a little investigated subduction zone, contrary to its well-studied northwestern segment. Along the Central Java segment of the Sundaarc the oceanic crust converges at a rate of 6,7 cm/yr in a direction N11°E and is approximately orthogonal to the trench. At present, 135 Ma year old oceanic crust subducts off eastern Java and crustal ages decrease to 96 Ma years off western Java and southern Sumatra. A continuous accretionary wedge, outer forearc high and forearc basin, as recognized along the Sunda margin off Sumatra and western Java, are not developed further east in the study area off Central Java. A large scale uplift of the forearc due to subduction of oceanic basement relief leads to isolated bathymetric highs reaching water depths of 1000m compared to 2000m in the western part of Java.

The decreasing sediment supply and corresponding reduction in volume of the outer forearc high together with an increased seafloor roughness of the oceanic plate imply a general modification in subduction processes and mechanics. This is also supported by the progressive increase in frontal slope angle from west to east at the deformation front. The assumed frontal erosion instead of accretion coincides with a steepening of the lower

slope angle compared to the neighbouring segments.

In September/October 2004 two wide-angle-seismic profiles were shot perpendicular to the trench and one profile parallel to the trench near the coast during RV SONNE cruise SO179. In the following only the first two profiles will be referred. Shots were recorded on coastal stations of a temporal dense seismometer network around Merapi volcano. This enables the offshore model to be continued to Central Java. The wide-angle-seismic profiles are complemented by additional magnetic and gravimetric observations (BGR, Germany) as well as high resolution swath mapping surveys.

The wide-angle-seismic traveltimes were modelled with a forward raytracing method to receive a detailed geodynamic view of the subduction zone. The dip angle of the downgoing oceanic plate amounts 10 degrees on both profiles. The thickness of the oceanic plate decreases from 9 km on the eastern profile to 8 km on the western profile, which is thicker than the global average. This could be associated with the subduction of the Roo Rise, an oceanic plateau which is underthrust between 110°E and 115°E. The sediments in the forearc basin on the eastern profile are 5 km thick and disturbed. The forearc basin strata onlap the outer forearc high and are tilted landward. Recent deformation is indicated by the landward-tilted basement north of the forearc basin. Forearc basin sediments beneath

the western profile are 3 km thick and undisturbed. In the nearcoast part, crossing the third profile an uplift was detected and the p-velocities are higher than in the adjacent area.

Together with gravimetric data-results a detailed model of the Central Java subduction zone and a landward connection with the seismometer stations of the profiles will be presented.

Web page: <http://www.ifm-geomar.de/index.php?id=meramex>

Micksch, U., Krawczyk, C. M., Stiller, M. (GFZ Potsdam), Groß, K., Buske, S., Wigger, P. (FU Berlin), Araneda, M. (SEGMI, Chile), Bataille, K. (UDEEC, Chile), Bribach, J., Lüth, S., Mechie, J., Schulze, A. (GFZ Potsdam), Shapiro, S. A. (FU Berlin), Ziegenhagen, T. (GFZ Potsdam), TIPTEQ Research Group, X. (TIPTEQ Research Group, X.)

HIGH-RESOLUTION, THREE-COMPONENT REFLECTION SEISMIC SURVEY IN THE SOUTHERN CENTRAL CHILEAN ANDES, PROJECT TIPTEQ

E-Mail: micksch@gfz-potsdam.de

Some 90% of global seismicity and nearly all interplate megathrust earthquakes with magnitudes >8 occur in the seismogenic coupling zone between converging plates. At the southern Chilean convergent margin the largest instrumentally recorded earthquake occurred in 1960 ($M_w = 9.5$). It ruptured the margin starting at 38° S at a hypocentral depth of some 30 km below the continental forearc towards the south for approximately 1000 km with a coseismic slip of up to 40 m, up to 2 m vertical displacement and a tsunami up to 15 m high that affected the entire Pacific.

The TIPTEQ project (from The Incoming Plate to mega-Thrust Earthquake processes) studies the processes which generate these large earthquakes. Amongst 13 sub-projects within TIPTEQ, the reflection seismic sub-project aims at imaging and identification of processes in the seismogenic coupling zone of the ruptured plate interface at the southern Central Chilean margin. Together with the marine SPOC data, the acquired high-resolution 3-component reflection seismic land data will yield a reflection seismic section that will cover the entire seismogenic coupling zone from its up-dip to its down-dip end.

In January 2005, an approximately 95 km long reflection seismic profile was shot at about 38° S. The E-W trending line runs

across part of the Central Valley and continued over the costal cordillera towards the Pacific, thereby passing the relocated hypocenter of the 1960 Valdivia earthquake. 180 three-component geophones were deployed along an 18 km long spread, moving 4.5 km in a daily-roll along for three weeks. Explosive shots, with a spacing of 1.5 km, allowed an up to 8-fold CDP coverage for the near-vertical reflection part (NVR) of the experiment. In addition, an expanding-spread profiling experiment component (ESP) focuses on the down-dip limit of the seismogenic coupling zone (30-50 km depth). SH-wave source signals were generated with a three-hole shooting configuration and were recorded with 3-component geophones to yield an improved picture of the petrophysical contrasts within the subduction zone system.

Here, we present the results from poststack- and prestack-migration of the near-vertical reflection experiment, as well as a first interpretation of the obtained structural inventory. These results provide a high-resolution image of the subduction zone setting at 38° S and will be discussed with special focus on the seismogenic coupling zone and a possible subduction channel.

Web page: <http://www.gfz-potsdam.de>

Kapinos, G., Brasse, H. (Freie Universität Berlin)

Erste Ergebnisse des see-landseitigen magnetotellurischen Experiments TIPTEQ in Südchile

Die Untersuchung der Subduktionsprozesse am südchilenischen Kontinentalrand ist das Ziel der multidisziplinären Studie TIPTEQ (from The Incoming Plate to mega-Thrust Earthquake processes). Bestandteil dieser Studie war auch ein zum Jahreswechsel 2004/2005 durchgeführtes kombiniertes magnetotellurisches on-/offshore-Experiment, um Fluide an der Grenze zwischen der abtauchenden ozeanischen Nazca Platte und der darüberliegenden südamerikanischen Platte, als signifikanter Faktor bei der Steuerung der Subduktionsprozesse nachzuweisen und abzubilden.

Entlang eines Profils, welches senkrecht zur Trenchlinie und dem vulkanischen Bogen zwischen 37.5°S und 39°S verlief, wurden 23 Land- und 7 Offshorestationen im Abstand von ca. 10km bzw. ca. 30km stationiert. Die Messzeit betrug bei den Landstationen ca. 14 Tage, bei den Offshorestationen hingegen ca. 70 Tage. Um Hinweise auf die Leitfähigkeitsstruktur unter dem vulkanischen Boden zu liefern, wurden rund um die aktiven Vulkane Villarrica und Llaima zwei kleinere Netze aus jeweils 4 Stationen eingerichtet. Die von der Woods Hole Oceanographic Institution neu entwickelten ocean-bottom Instrumente wurden während der Forschungsfahrt SO-181 der „Sonne“ vor der Westküste Chiles abgesetzt.

Zusätzlich wurden von GFZ Potsdam in einem Monitoring Experiment 3 Stationen entlang des Profils und auf der Isla Mocha installiert, um die temporären Änderungen der Leitfähigkeitsstrukturen in der Kruste und dem oberen Mantel innerhalb eines Zeitfensters von 3 Jahren zu untersuchen.

In diesem Beitrag werden sowohl Pro-

bleme erörtert, die bei einem On-Offshore-Experiment auftauchen, als auch Zwischenergebnisse präsentiert und diese mit den Resultaten einer früheren MT-Studie in den Süanden verglichen. Die folgenden Fragen sollen thematisiert werden: Zeigen auch die neuen Daten eine Zone erhöhter Leitfähigkeit in der unteren Kruste unter dem vulkanischen Bogen und eine leitfähige Anomalie im Forearc, die mit den tektonisch-geologischen Strukturen korrelieren? Ist auch hier das unerwartete Verhalten der geomagnetischen Induktionspfeile zu beobachten, die von dem Küsteneffekt unbeeinflusst scheinen und kontinuierlich im ganzen Messgebiet nach Nordosten ausgerichtet sind?

Kukowski, N., Oncken, O. (GeoForschungsZentrum Potsdam)

Quantification of subduction erosion processes along the Andean subduction zone

E-Mail: nina@gfz-potsdam.de

Subduction erosion is shaping at least half of the world's convergent margins, however, its rates, variability, and modes are only poorly understood. Based upon a compilation of published and newly derived estimates of subduction erosion along the Andean margin we discuss possible loci and modi of subduction erosion and also address the potential of subducting topographic highs to accelerate subduction erosion. We evaluate different approaches to estimate subduction erosion.

Rates of subduction erosion computed from the offshore subsidence record and geometry of the margin turned out to be robust and thus also reveals information on regional variability of the efficiency of subduction erosion. Due to the episodicity of the migration of the volcanic arc front, however, estimating subduction erosion from migration rates may be erroneous on the shorter (neotectonic) time scale. Information about the processes underlying subduction erosion is coming from both, natural observations and scaled physical experiments. Hydrofracturing at the base of the overlying forearc crust is identified to be a process explaining basal subduction erosion. Subduction erosion off northern Chile is faster than that off Peru, and further, subduction erosion along the Central Andean margin also is faster than magmatic addition, thus making this subduction zone a site of net destruction of continental crust.

From the geological record, we demonstrate that the south Chilean subduction zone, which is in the accretive mode since the Pliocene,

has experienced subduction erosion since at least the middle Miocene at rates similar to the north. The change in mode is related to doubling of the sediment flux into the trench after onset of Southern Hemisphere glaciation at c. 6 Ma. Hence, we identify sediment flux as the key variable controlling long-term material transfer mode while ridge collision drives excess rates over the background value.

Talukder, A. (Kiel, SFB 574), Brückmann, W., Bialas, J., Kläschen, D., Reston, T. (Kiel, IFM-GEOMAR), Breitzke, M. (Bremerhaven, AWI)

Widespread occurrence of mud mounds and associated BSRs on the Pacific margin off Nicaragua - results from a deep tow seismic survey

E-Mail: wbrueckmann@ifm-geomar.de

During RV Sonne cruise SO173-1 in the framework of SFB574 (volatiles and fluids in Subduction zones) in July/August 2003, a new area offshore Nicaragua has been surveyed with the IFM-GEOMAR deep-towed multichannel seismic system (DTMCS). In total 13 NW-SE striking profiles running parallel to the continental slope were recorded at water depths between 1000 and 2500m covering an area of approximately 700 square km. This study presents some new results from the ongoing investigations with these seismic profiles.

The continental margin off Nicaragua is dominated by deeply incised canyons and numerous mound structures, as well as two large slides at the lower slope. Most of these mud mounds built positive topographic expressions (up to ca. 130 m) on the seafloor. They are characterized by transparent or semitransparent seismic facies in the cylinder like feeder channel tapering upward to cone shape geometry. The mud mounds are of different size and at different stages of development. The distribution of the mounds shows two distinct orientations (NW-SE and NE-SW) and is controlled by faults. The widespread occurrence of gas hydrate is imaged by a BSR visible in most parts of the survey area. Although the BSR has been identified over the entire area, it is variable along the seismic line in the frequency windows used (50-300 Hz). The BSR presents high to moderate amplitudes near the mud

mounds or/and diapir structures and seems to disappear away from them. For the first time, our data show that the BSRs are continued but uplifted beneath some mud mounds.

Web page: <http://www.sfb574.geomar.de>

Fekete, N. (SFB 574, C. A. University, Kiel), Spiess, V. (Dept. of Earth Science, University Bremen), Grevenmeyer, I., Reston, T. (IFM-GEOMAR, Kiel)

Dewatering Through Mud Mounds on the Continental Fore-arc of Costa Rica

E-Mail: nfekete@uni-bremen.de

Mud mounds occur abundantly on the continental fore-arc of Middle America Trench. Their role in subduction dewatering and contribution to fore-arc material output has been studied extensively throughout the past decade. Based on seismic and thermal investigations, we compare the tectonic, structural and thermal setting of a set of such features of possible diapiric origin at two locations. One is a single mound offshore Northern Costa Rica, located above incoming lithosphere from the East Pacific Rise (EPR), the other is a mound cluster further southeast, where the Fracture Zone Trace separating EPR crust from material produced at the Cocos-Nazca Spreading Center (CNS) subducts.

Both target areas exhibit small-scale deformation resulting from subduction erosion and fore-arc subsidence, with variations caused by the topographical contrast of the subducting oceanic plate. This influences dewatering patterns, as does locally elevated sediment deposition near growth faults, or carbonate precipitates on the seafloor.

The presence of gas hydrates in the subsurface is marked by the regional appearance of a negative-polarity bottom simulating reflector (BSR) in the seismic data. Using its depth below seafloor as an indicator of thermal changes, they are quantified through heat flow modelling to yield implications of the local thermal state in the vicinity of the mounds. These observations in turn enable us to track dewatering at depth as well as along-trench

Krastel, S., Zühlsdorff, L., Brüning, M., Vogt, T. (Universität Bremen), Wynn, R.B. (NOC Southampton), Hanebuth, T.J.J., Henrich, R., Schulz, H.D., Koelling, M. (Universität Bremen)

Sedimentationsprozesse am senegalesischen Kontinentalhang: Erste Ergebnisse der Meteor-Fahrt M65-2

E-Mail: skrastel@uni-bremen

Der Kontinentalhang vor Nordwest Afrika ist durch komplexe Systeme küstenparalleler und hangabwärts gerichteter Sedimentationsprozesse geprägt. Insbesondere südlich von 26°N kommt es durch küstennahen Auftrieb zur erhöhten Akkumulation von Sedimenten und daraus resultierenden, intensiven Sedimentbewegungen. Im Juli 2005 wurden während der Meteor-Ausfahrt M62-2 des DFG-Forschungszentrums Ozeanränder (Universität Bremen) seismische und hydroakustische Messungen sowie geologische Beprobungen am senegalesischen Kontinentalhang durchgeführt, um die Sedimenttransportprozesse in diesem Gebiet zu untersuchen. Ein Übersichtsprofil entlang der 2500m Tiefenlinie zeigt einen stabilen mittleren Kontinentalhang, der durch mächtige ungestörte Sedimentablagerungen charakterisiert ist. Die Lage von zahlreichen Rinnen scheint vor allem strukturell kontrolliert zu sein. Der größte Canyon im Untersuchungsgebiet ist der Dakar-Canyon, der sich von der Schelfkante bis in ca. 4000m Wassertiefe erstreckt. Seismische Profile am oberen Kontinentalhang zeigen einen bis zu 500m tief eingeschnittenen Canyon, der einen komplexen strukturellen Aufbau aufweist. Das Fehlen von Uferwällen am oberen und mittleren Kontinentalhang zeigt, dass Turbiditströme im Canyon kanalisiert werden und es zu keinem Overspill von Turbiditströmen kommt. Dies ändert sich mit abnehmender Tiefe des Dakar-Canyons

am unteren Kontinentalhang. Dort zeigen die akustischen Daten einen ca. 200m tief eingeschnittenen Canyon, der insbesondere an seiner rechten Flanke gut ausgebildete Uferwälle aufweist. In ca. 4000m Wassertiefe kommt es auf einer Distanz von wenigen km zu einer rapiden Abnahme des Canyon-Reliefs (Abb. 1). Seismische Daten zeigen, dass der distale Teil des Canyons durch eine große Rutschung zerstört worden ist. Die Breite der Rutschung beträgt ca. 100km; die Abrisskante der Rutschung liegt in ca. 3500m Wassertiefe und hat eine Höhe von 20m. Hanggradienten oberhalb der Abrisskante betragen nur 0.5°. Die große Wassertiefe und der geringe Hanggradient sind ungewöhnlich für eine Rutschung dieser Dimension. Wir vermuten, dass es sich nicht um eine einzelne große Rutschung sondern um ein mehrphasiges Ereignis handelt, wobei Sediment nur über kleine Distanzen bewegt worden ist. Unsere Untersuchungen zeigen, dass der Kontinentalfuß vor dem Senegal Ausgangspunkt weiterer (wenn auch deutlich kleinerer) Rutschungen ist. Auch vor Mauretania haben wir Rutschungen in großer Wassertiefe gefunden. Diese Beobachtungen zeigen, dass die Zahl und Bedeutung von tiefen Rutschungen am Nordwest-Afrikanischen Kontinentalhang bisher stark unterschätzt worden ist.

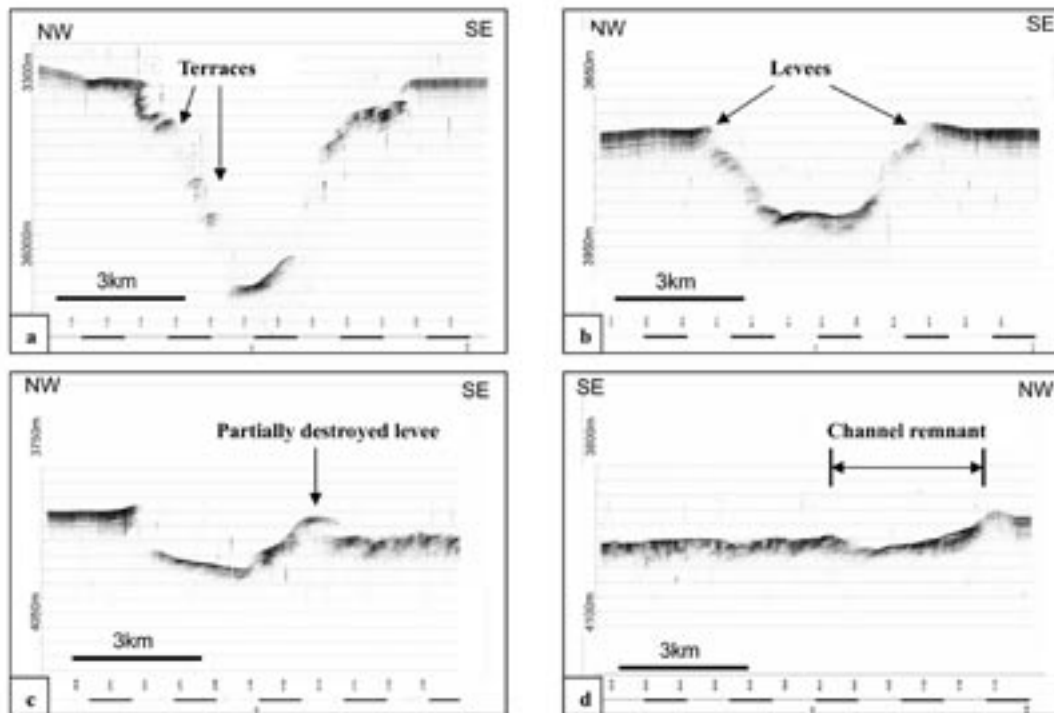


Abbildung 1: Abb. 1: Parasound Profile über den Dakar Canyon. Mit zunehmender Wassertiefe kommt es zu einer plötzlichen Abnahme der Canyon-Tiefe.

Huebscher, C., Netzeband, G., Gajewski, D. (Hamburg)

The Israeli Slump Complex

A series of slump deposits are present within Pliocene and Holocene deposits off Israel. Repeated slope failure occurred during the Post-Messinian, when a clay dominated progradational succession was forming. This Israeli Slump Complex (ISC) covers an area of 4800 km² and has a volume of more than 1000 km³. Several processes combine to control the Plio-Quaternary evolution of this area, most of them may be considered as the slump triggers. This processes are: Salt tectonic, active strike-slip faulting, slope oversteepening and shelf erosion by internal waves. In order to determine possible trigger mechanisms the University of Hamburg conducted two cruises to the Israeli Mediterranean slope (RV Meteor, 2002; RV Pelagia, 2004).

Sediment load driven salt tectonic is an active process that shapes the Israeli slope. The Plio-Quaternary overburden spreads above the Messinian Evaporites and listric and antithetic listric growth faults emerge. For details see Hübscher et al. (this volume).

The ISC-deposits rest on the basinward pinchout of the evaporites. The slumping coincides with contractional faulting of upper evaporites and overburden up to 140 km away from the slumps in the Levantine Basin. The vertically constant displacement along the abundantly observed faults reaches values of more than 50 m. We conclude that the remobilization and redeposition of the slump masses on the edge of the evaporites caused this faulting and represented a major tectonic event that shaped the morphology of the entire Levantine Basin.

Analysis of the seismic data reveal a swarm of active strike-slip faults run sub-parallel to

the Israeli coast. This shear zones have been suggested in the later 70s, but they were not considered in later publications. The faults are related to the Syrian Arc system, a fold belt associated to the closure of the Neo-Tethys. Where the fold belt swings from a SW-NE striking direction further to the west, a transpressional setting leads to uplifted horsts and anticline folds. Near vertical faults cutting through evaporites and overburden pierce the sea-floor and give compelling evidence for active tectonics. Maps of depth to basement and residual gravity reveal additional NW-SE trending transcurrent faults in the Levantine Basin, which extend into the Israeli and Jordanien hinterland.

The slope angle does not exceed 8 deg, which is less than the typical total angle of internal friction for a claystone (15 deg). However, the seismic data show maximum sedimentation rates on the upper slope, which may locally increase the slope angle. A submarine erosional zone has been observed along the upper Israeli slope in water depth between 140-190 m. The erosional zone is typical of submarine surf zones, which are caused by breaking internal waves. Both oversteepening and erosion by internal waves may result in mass wasting.

Future risk assessment of potentially tsunamigenous slumping on the Israeli Mediterranean margin requires better imaging of involved dynamic processes, parameterization of slope stability and evaporite rheology, process modelling and monitoring techniques.

Kock, I., Huhn, K. (Bremen, DFG-Forschungszentrum Ozeanränder)

Numerische Modellierung des mechanischen Verhaltens von Tonen mittels der Diskreten Elemente Methode

E-Mail: ikock@uni-bremen.de

Eine Vielzahl von Untersuchungen haben gezeigt, dass Bereiche des mechanischen Versagens in Sedimenten und Sedimentgesteinen oftmals durch das Vorhandensein von Tonmineralen gekennzeichnet sind. Als ursächlich hierfür kann die im Vergleich zu anderen Materialien geringere Scherfestigkeit von Tonen angesehen werden. Das bisherige Verständnis zum mechanischen Verhalten von Sedimenten unter Auflast und tektonischer Beanspruchung basieren zu einem großen Teil auf geotechnischen Labormessungen, wie beispielsweise Kompaktions- und Schertest. Diese Studien ermöglichen u. a. Aussagen zu den physikalischen Materialeigenschaften, wie Festigkeit und Reibungseigenschaften, von Sedimenten bei verschiedener Auflast und unterschiedlichen Verscherraten. Es ist dabei aber nicht möglich Gefügeentwicklung bzw. das Verhalten einzelner Sedimentpartikel während des Schervorgangs auf mikroskopischer Ebene zu dokumentieren. Da aber speziell das Sedimentgefüge bzw. die Wechselwirkungen zwischen einzelnen Sedimentpartikeln und damit die Partikelform von großer Bedeutung für die Festigkeit eines Materials sind, liegt hier auch ein Hauptinteresse um die bei der Bildung von Scherzonen ablaufenden Prozesse zu verstehen.

Der Schwerpunkt unserer Arbeit gilt der Untersuchung des Einflusses der Materialzusammensetzung auf das mechanische Verhalten sowie die physikalischen Eigenschaften eines numerischen „Sediments“. Besonderes

Augenmerk liegt dabei auf der Bestimmung der Scherfestigkeit des Materials als Funktion der Kornform.

Zu diesem Zweck haben wir eine 2-dimensionale numerische Scherzelle in Analogie zu direkten Scherversuchen im Labor aufgebaut. Hierfür benutzen wir die Diskrete Elemente Methode (DEM), welche auf einem granularen Modellansatz basiert. Dieser ermöglicht detaillierte Informationen über die Prozesse an den einzelnen Kornkontakten, die Verteilung der Kräfte und Spannungen an einzelnen Körnern sowie deren Rotation- und Translationsbewegung zu jedem Zeitpunkt des Experiments.

Die numerische Scherzelle wird durch eine fixe untere und bewegliche obere Wand begrenzt. Die beiden Seitenwände sind semipermeabel, d.h. verlässt ein Partikel die Scherzelle infolge der Scherbewegung, so wird es in einer identischen Position an der Gegenseite wieder eingebracht. Dies ermöglicht die Simulation großer Scherbeträge. Innerhalb dieser Box wird das „Sediment“ erzeugt, bestehend aus ca. 5000 Partikeln. Die Verscherung erfolgt durch die gleichmäßige Bewegung der oberen Wand in positive x-Richtung bei einem konstanten Auflastdruck von 5MPa.

Zur Untersuchung des Einflusses der Korngröße und der Kornform, welche als Ursache für die geringe Scherfestigkeit der Tone angenommen werden, werden Sphärität und Rauigkeit der Partikel innerhalb der Scherzelle variiert. Ausgehend von einem absolut runden

Partikel, das zur Simulation einer Feinsiltfraktion dient, wird die Spherizität kontinuierlich bis zu einem Wert von 0.16 verringert. Diese elliptischen „Tone“ sind dabei aus mehreren fest miteinander verbundenen kugelförmigen Partikeln aufgebaut. Partikelbruch ist in dieser Simulation nicht vorgesehen.

Die numerischen Experimente zeigen, dass das Deformationsverhalten eines „Tons“ stark von der Kornform abhängt. Relevant für Kornrotation, Scherzonenentwicklung und Scherfestigkeit sind zwei Hauptfaktoren, die Spherizität und Rauigkeit der Körner. Geringere Spherizität führt zu einer komplexen anfänglichen Mikrostruktur, die aufgrund von Kornrotation mit zunehmender Verformung zusammenbricht. Geringe Reibung, abnehmendes Volumen des Materials und die Entwicklung von Bereichen mit gleicher Kornorientierung werden durch die Rotation der Körner in Vorzugsrichtungen begünstigt. Eine Erhöhung der Rauigkeit führt zu Kornverzahnungen, die Versatz und Rotation der Körner verhindert woraus erhöhte Reibung sowie Volumenzunahme folgt. Die Entstehung einer Scherzone hängt von der Rauigkeit der Körner ab. Bei hoher Rauigkeit entstehen weder Scherzonen noch Bereiche mit gleicher Kornorientierung. Die Lokalisation der Scherzone wird von der Spherizität der Körner stark beeinflusst. Eine hohe Spherizität führt zu verstärkter Lokalisation und größerer vertikaler Ausdehnung der Scherzone.

Webseite: <http://www.rcom-bremen.de>

Schlesinger, A., Theilen, Fr., Arndt, S., Rabbel, W., CORTEC Gruppe, X. (CAU Kiel)

CORTEC - Tektonische Störungssysteme in der südlichen Nordsee

E-Mail: angela@geophysik.uni-kiel.de

Das CORTEC Projekt „TOWARDS A CORRELATION OF BASEMENT STRUCTURES AND SEDIMENTARY BASIN TECTONICS“ befasst sich mit der geologischen Entwicklung des Nordwestdeutschen Beckens und dem Einfluss tiefer Beckenstrukturen auf die Oberflächenmorphologie im Bereich des deutschen Nordseesektors. Das Vorhaben ist Teil des von der DFG geförderten Schwerpunktprogrammes 1135 „Dynamik sedimentärer Systeme unter wechselnden Spannungsregimen am Beispiel des zentraleuropäischen Beckensystems“. Die südliche Nordsee umfasst im Perm ein Beckensystem, das aus zwei Hauptsenkungsgebieten, dem nördlichen und dem südlichen Permbecken besteht. Beide Senken werden durch das Ringkøbing-Fynen Hoch voneinander getrennt. Im späten Perm lagerten sich hier mächtige Evaporitserien ab, welche im Verlauf des mittleren Mesozoikums mobilisiert worden sind. Der Salzaufstieg führte zur Ausbildung eines ausgedehnten Salzdiapirismus und von tektonischen Störungssystemen, die hinsichtlich ihrer Formen und Tiefenlage recht unterschiedlich sind. Diese klar ausgeprägten Verwerfungssysteme spielen eine besondere Rolle für die Struktur des Beckens. Einige reichen vom Meeresboden bis unter die Zechsteinbasis, die meisten enden jedoch am Top Zechstein. Sie bilden außerdem unterschiedliche Strukturen aus, weit ausgedehnte Grabeneinbrüche oder Verwerfungen mit starken Versätzen der geologischen Unconformities und zum anderen vertikale kanalartige Strukturen. Ihre Entste-

hung steht offensichtlich im Zusammenhang mit halokinetischen Prozessen. Sie stellen in einigen Fällen bevorzugte Wege für Fluid- und Gasmigration dar. Dies zeigt sich besonders an einigen ausgeprägten Störungssystemen über großen Salzhorsten, die von einer Serie von Bright Spots begleitet werden. Sie sind stoffförmig in einem Laufzeitbereich von 0.5 bis 1.0 sec TWT von den Rändern zur Mitte der Diapire angeordnet, wobei die mittleren am höchsten angesiedelt sind. Darüber hinaus haben wir Bright Spots im Neogen, die offenbar auf biogenen Ursprung zurückzuführen sind. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Kohlendioxid und Methan. (Brekke, T. et al, 1997) Bright Spots sind generell durch eine erhebliche Amplitudenüberhöhung der Reflektoren und eine Phasenumkehr der Wavelets charakterisiert, die auf Gaseinlagerungen zurückzuführen sind. Die Amplituden sind im gleichen Reflektor im Bereich der Bright Spots um den Faktor 2,5 – 3 höher als bei unbeeinflussten Reflexionen. Ähnliche Werte wurden im Südkanarischen Becken beobachtet, wo Bright Spots Flächen von über 50km^2 einnehmen. (Müller, Ch. et al, 2001)

Als Grundlage für die Untersuchungen dient ein reflexionsseismisches Profilnetz mit einer Gesamtlänge von 3.500 km. Der Datensatz wurde von der norwegischen Firma TGS NOPEC zur Verfügung gestellt. Die lange Aufzeichnungsdauer von 5 sec TWT erlaubt die Erfassung der gesamten Sedimentabfolgen bis unter das Prä-Zechstein. Die seismostratigraphische Interpretation dieses

Datensatzes führt zur Ableitung eines strukturellen Modells des südlichen Nordseebeckens, das als Grundlage für weitere Untersuchungen hinsichtlich der Subsidenzgeschichte und der Entwicklung eines integrativen 3-D Geomodells unter Einbeziehung gravimetrischer und magnetischer Daten, wie es im CORTEC-Projekt vorgesehen ist.

CORTEC Gruppe: S.Arndt, T.Bode, A.B.Cremers, H.-J. Götze, F.Hese, W.Rabbel, M.Schaefer, A.Schlesinger, S.Schmidt, Fr.Theilen

Literatur:

Brekke, T., Lønne, Ø., Ohm, S.E.: Light hydrocarbon gases in shallow sediments in the northern North Sea. *Marine Geology* 1997 pp 81 - 108)

Müller, Ch., Theilen, Fr., Milkereit, B.: Large Gas- Prospective Areas Indicated by Bright Spots. *World Oil* January 2001 pp 60 - 67)

Hese, F., Götze, H.-J., Schmidt, S., CORTEC Gruppe, X. (CAU Kiel)

CORTEC - Ein 3D Dichtemodell der südlichen Nordsee

E-Mail: fabian@geophysik.uni-kiel.de

Das CORTEC Projekt „TOWARDS A CORRELATION OF BASEMENT STRUCTURES AND SEDIMENTARY BASIN TECTONICS“ ist Teil des von der DFG geförderten Schwerpunktprogrammes 1135 „Dynamik sedimentärer Systeme unter wechselnden Spannungsregimen am Beispiel des zentraleuropäischen Beckensystems“. Im Fokus der Untersuchungen steht das zum Nordwestdeutschen Becken gehörige südliche Permbecken und dessen Untergrund im deutschen Nordsee Sektor.

Hauptziel des Projektes ist die Untersuchung von geologischen Prozessen und Strukturen des Beckens und des tieferen Untergrundes, sowie die Rekonstruktion der Beckenentwicklung und des Einflusses von tiefliegenden Störungssystemen auf die beckeninterne Tektonik. Die Schwerpunkte des Projektes liegen einerseits in der Analyse von reflexionsseismischen Sektionen und andererseits in der Analyse von Potentialfeldern und 3D Modellierungen. Mit Hilfe der Gravimetrie wollen wir folgenden Fragestellungen nachgehen. Wie ist der Untergrund des Beckens strukturiert? Durch Feldfortsetzung des Schwerefeldes auf die Zechsteinbasis werden die Schwereeffekte der Beckensedimente eliminiert, das resultierende Residualfeld gibt Aufschluß über die Massenverteilungen der Präzechstein Formationen. In welchem isostatische Zustand befindet sich die Kruste? Eine Karte der isostatischen Anomalie wird Informationen über den isostatischen Ausgleich des Beckens liefern, unter Berücksichtigung von verschiedenen li-

thosphärischen Rigiditäten. Zur Optimierung der interdisziplinären Interpretation von geowissenschaftlichen Daten wird ein 3D Geoinformations System aufgebaut und eine 3D Dichtemodellierung durchgeführt.

Die Modellierung von Dichte, Suszeptibilität und geologischen Strukturen wird zum Verständniss der Beckenentwicklung und der Strukturen in der mittleren und unteren Kruste beitragen. Für den Bereich Gravimetrie und Magnetik stehen Schweredaten der Firma Geotech (Leeds UK, Bouguer-, Freiluft- und Isostatische Anomalie, 8 km Punktabstand) und des dänischen Katasteramtes (Kort Matrykelsstyrelsen Kopenhagen, KMS Freiluft Anomalie, 2 minuten Punktabstand) zur Verfügung, sowie ca. 15000 Schwere – und Magnetik Stationen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (1 km Punktabstand entlang der Schiffsroute). Ein Netz aus hochauflösenden reflexionsseismischen Sektionen der Firma TGS-NOPEC (ca. 3500 Profilkilometer) liefert geometrische Randbedingungen für die 3D Modellierung und dient der Analyse von geologischen Prozessen und Strukturen des südlichen Permbecken. Erweitert wird die Datenbasis mit den Informationen des Geotektonischen Atlas (Baldschuhn et al. 2001).

Es werden verschiedene Analysemethoden auf die Schwereanomalie der südlichen Nordsee angewendet. Die Berechnung der Krümmung des Vertikalgradienten des Schwerefeldes (Curvature) liefert erste Erkenntnisse über die oberflächennahe Massenverteilung. Zur Analyse der positiven Anomalien im Nor-

den des Gebietes und der negativen Anomalien im Süden werden mit Hilfe der Euler Dekonvolution und der Spektralanalyse Tiefenabschätzungen vorgenommen, die die Lage von möglichen Quellkörpern zeigen. Die langwelligen Anteile der Anomalien werden demnach von Massen in 7-12 km und 20 km Tiefe verursacht. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden als Randbedingung in die 3D Dichtemodellierung integriert.

Aus sieben tiefenmigrierten geologischen Horizonten (Basis Zechstein bis Basis Neogen) wurde mit Hilfe des geologischen 3D Modellierprogrammes *GOCAD* durch Interpolation der Tiefenpunkte ein erstes dreidimensionales Strukturmodell des Arbeitsgebietes konstruiert. Durch Transfer der Modellgeometrie von *GOCAD* zu dem geophysikalischen 3D Modellierprogramm *IGMAS* entstand ein Startmodell für die 3D Dichtemodellierung. Unter Einbeziehung des regionalgeologischen Kontext und durch Zusammenarbeit von Seismik und Gravimetrie, werden Informationen über Strukturen der Präperm Formationen und des kristallinen Basements näher untersucht und in das Dichtemodell integriert.

Es wird ein System aufgebaut, das durch die Interaktion zwischen *GOCAD* und *IGMAS* die Möglichkeiten der Visualisierung und der Modellbildung erheblich erweitert. Beide Programme werden mit einem Datenbanksystem verbunden, das im Fachbereich Informatik der Universität Bonn entwickelt wird (s. Schaefers et al.). Neben dem Austausch von Modellgeometrien wird eine sichere und flexible Handhabung großer Datenmengen gewährleistet.

M. Schaefers, S. Schmidt, A. Schlesinger, Fr. Theilen

Literatur: Baldschuhn, R. Binot, F. Fleig, S., F. Kockel (2001): Geotektonischer Atlas von Nordwest-Deutschland und dem deutschen Nordsee-Sektor, (GTA) Geologisches Jahrbuch, Reihe A, Heft 153

CORTEC-Gruppe: S. Arndt, T. Bode, A. B. Cremers, H.-J. Götze, F. Hese, W. Rabbel,

Engels, M., Barckhausen, U. (Hannover, BGR), Gee, J.S. (San Diego, SIO)

Marine Vektormagnetometer: Neue Analysemethoden im Zeit- und Frequenzbereich

E-Mail: M.Engels@bgr.de

Auf der Forschungsfahrt SONNE-180 im zentralen Pazifik wurden zwei Vektormagnetometer und ein Gradiometersystem bestehend aus zwei Totalfeldsensoren parallel eingesetzt. Das neue Fluxgate der BGR wurde zwischen den beiden Overhauser Sensoren 800 m hinter dem Schiff geschleppt, das zweite Fluxgate gehört zu einem von der Scripps Institution of Oceanography (SIO) weiterentwickelten Navigationssystem. Nach einem Prozessingverfahren mit Bandpassfilterung erreichen beide Vektormagnetometer eine vergleichbare Auflösung und Stabilität wie die Totalfeldsensoren.

sowie Probleme der Datenqualität z.B. durch zeitliche erdmagnetische Störungen sichtbar.

Die Messung des Magnetfeldes in seinen Komponenten bietet wesentliche Vorteile gegenüber dem skalaren Totalfeld: Die Modellierung von Anomalien verbessert sich deutlich durch die gleichzeitige Anpassung von Totalintensität und Vertikalkomponente. Die N-S streichenden Anomalien im äquatornahen Messgebiet führen zu kleinen Amplituden des Totalfelds, jedoch verdoppelten Amplituden der Vertikalkomponente.

Vektormagnetometerdaten eröffnen neue Analysemethoden im Zeit- und Frequenzbereich: Die lokale Bestimmung der magnetischen Streichrichtung bzw. die Dreidimensionalität wird im Zeitbereich durch Ellipsen dargestellt. Im Frequenzbereich lässt sich ebenfalls bereits für Einzelprofile eine gemittelte Streichrichtung aus den Kohärenzen zwischen Horizontal- und Vertikalkomponente bestimmen. Ferner werden aus Power- und Kreuzspektra der Wellenzahlbereich der Anomalien

Temmler, T. (Freiberg, TU Bergakademie Freiberg), Franke, D., Heyde, I., Neben, S. (Hannover, BGR)

Marine seismische Untersuchung und refraktionsseismische Modellierung im Pelotas Becken - Offshore Uruguay

E-Mail: T.Temmler@bgr.de

Das Aufreißen der Superkontinente entlang von Riftzonen und die nachfolgende Bildung neuer ozeanischer Kruste entlang dieser Schwächezonen sind Prozesse, die das äußere Bild der Erde prägen.

Die Prärißbecken und Sedimentablagerungen an passiven Kontinenträndern sind durch ihre erheblichen Kohlenwasserstofflagerstätten von rohstoffwirtschaftlicher Bedeutung. Ferner können Küstenanrainerstaaten bei entsprechenden Sedimentmächtigkeiten ihre ausschließlichen Wirtschaftszone (EEZ, exclusive economy zone) gemäß dem UN-Seerechtsabkommen (UNCLOS) erweitern.

Zahlreiche reflexions- und refraktionsseismische, sowie gravimetrische und magnetische Profile wurden an der bisher unzureichend untersuchten Küste von Uruguay im Zuge der Messfahrt BGR04-ARGURU von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und der Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología da la Armada (SOHMA; Uruguay) akquiriert.

Eine Fragestellung ist die der Mächtigkeit der Sedimentkörper und ihre strukturelle Ausbildung im Bezug auf das Potential der Kohlenwasserstoffgenese und der EEZ-Erweiterung. Als zweite Fragestellung wurde für das tektonische Verständnis im Südatlantik die Ausprägung der von Hinz *et al.* (1989) vor Argentinien erkannten seewärts gerichteten Reflektorsequenzen (SDRS; seaward dipping

reflector sequences) und des von Bauer *et al.* (2000) vor Namibia entdeckten Hochgeschwindigkeitskörpers (underplated body) vor Uruguay untersucht. Die beiden tiefkrustalen Strukturen der SDRS und des Hochgeschwindigkeitskörpers charakterisieren dabei einen Kontinentrand als passiven vulkanischen Kontinentrand.

Um ein Geschwindigkeits-Tiefen-Modell zu erstellen, wurden zunächst die Daten von 7 Ozeanbodenhydrophonen (OBH) vom Profil BGR04-01 bearbeitet und die erkannten Phasen den entsprechenden Schichten zugeordnet. Dabei wurde in den Daten zweier OBH die Phase des Hochgeschwindigkeitskörpers (UPB) identifiziert.

Die Modellierung der Sedimentkörper wurde als Vorwärtsmodellierung durchgeführt, unter Einbeziehung von Laufzeiten markanter Reflektoren aus der Reflexionsseismik. Insgesamt konnten 5 Sedimentkörper mit einer Gesamtmächtigkeit von 1100 m auf dem Schelf, hin zu 6100 m im Übergangsbereich und über 4000 m im ozeanischen Bereich mit seismischen Geschwindigkeiten der P-Wellen von 1,8 km/s bis 3,8 km/s unterschieden werden.

Die Modellierung der tiefen Krustenstrukturen, die ausschließlich auf den OBH-Daten basiert, fand anhand einer Inversion statt, bei der die Strukturen des Hochgeschwindigkeitskörpers und der SDRS nachgewiesen wurden.

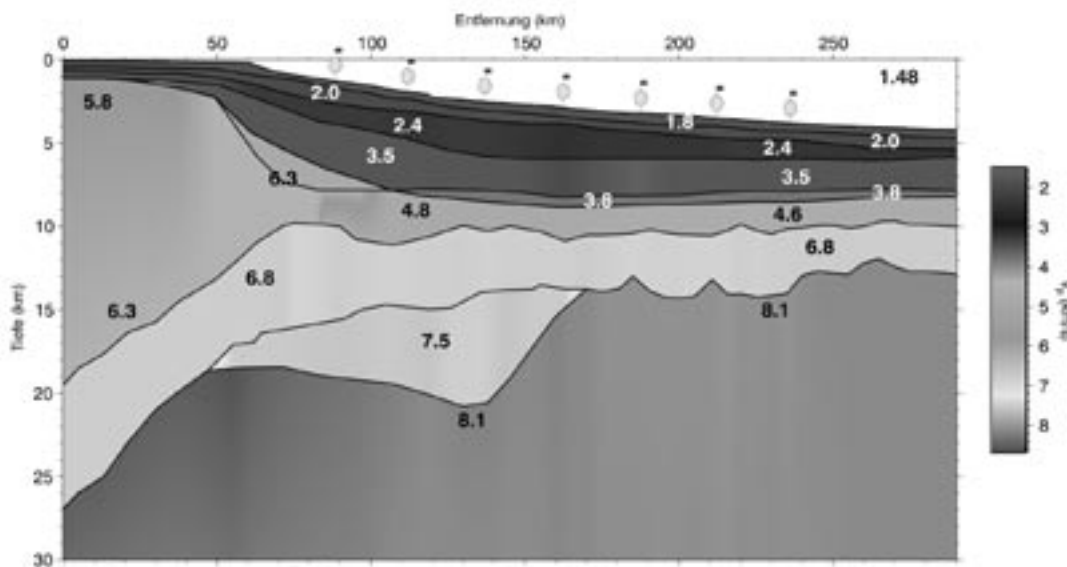


Abbildung 1: Krustenmodell des Kontinentrandes Uruguay entlang des Profils BGR04-01 mit eingezeichneten OBH-Positionen.

Als Startmodell für die Modellierung der gravimetrischen Daten wurde das auf den seismischen Daten beruhende Krustenmodell (Abbildung 1) genutzt. Das seismische und das angepasste gravimetrische Krustenmodell zeigen eine sehr gute Übereinstimmung bezüglich der Sedimentmächtigkeit und der Ausprägung des Hochgeschwindigkeitskörpers. Geringfügige Abweichungen sind nur im Bereich der SDRS zu erkennen.

Es lässt sich daher zum einen sagen, dass die Mächtigkeit der Sedimente ein hohes Potenzial für sowohl die Kohlenwasserstoffgenese, als auch die Erweiterung der EEZ bietet. Zum anderen zeigen die tiefen Krustenstrukturen, dass es sich beim Kontinentrand Uruguays ebenfalls um einen passiven vulkanischen Kontinentrand handelt.

Literatur

Bauer, K., Neben, S., Schreckenberger, B., Emmermann, R., Hinz, K., Fechner, N., Gohl, K., Schulze, A., Trumbull, R. B. & Weber, K., 2000. Deep structure of the Namibia continental margin as derived from integrated geophysical studies. *Journal of Geophysical Research*, **105**, B11, 25829–25853.

Hinz, K., Neben, S., Schreckenberger, B., Roeser, H. A., Block, M., Goncalves de Souza, K. & Meyer, H., 1989. The Argentine continental margin north of 48°S: sedimentary successions, volcanic activity during breakup. *Marine and Petroleum Geology*, **16**, 1–25.

Wagner-Friedrichs, M., Keil, H., Bohrmann, G. (Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften), Ivanov, M. (UNESCO Center for Marine Geosciences, Moscow State University, Russia)

Seismische Untersuchungen im Batumi Seep Gebiet vor Georgien, Schwarzes Meer - Ergebnisse der TTR15-Fahrt

E-Mail: miwagner@uni-bremen.de

Das Schwarze Meer ist das weltweit größte anoxische Becken, dessen gasreiche Sedimente ab Wassertiefen von ca. 750 m im Bereich des Gashydratstabilitätsfeldes liegen. Zahlreiche Methan- und Methanhydratvorkommen sowie Methanaustrittsstellen wurden an den Kontinentabhängungen des Schwarzen Meeres beobachtet. Zur Untersuchung der Verteilung, Struktur und Dynamik von oberflächennahen Gasen und Methanhydraten und ihrer Interaktionen mit den Sedimenten und dem Meerwasser finden von 2004-2007 im Rahmen des BMBF geförderten METRO-Projektes drei Expeditionen ins Schwarze Meer statt. Das Hauptuntersuchungsgebiet liegt im noch wenig untersuchten östlichen Schwarzen Meer

im Bereich Batumi/Poti vor Georgien; aus diesem Gebiet sind bisher nur unveröffentlichte Daten über Gasvorkommen und Gasaustrittsstellen bekannt. Die FS Poseidon war das erste deutsche Schiff, das im Rahmen der ersten METRO-Expedition P317/4 im Oktober/November 2004 vor Georgien arbeiten durfte. Auf dieser Fahrt wurden Sidescan und Fächerlot Kartierungen, sowie Video Beobachtungen durchgeführt, um zur Vorerkundung potentieller Arbeitsgebiete Informationen über Gasaustrittsstellen und Gashydratvorkommen zu erhalten. Während der 2. METRO-Expedition mit RV Logachev, die im Rahmen der TTR15 Fahrt im Juni 2005 stattfand, wurde vor Georgien (Batumi/Poti)

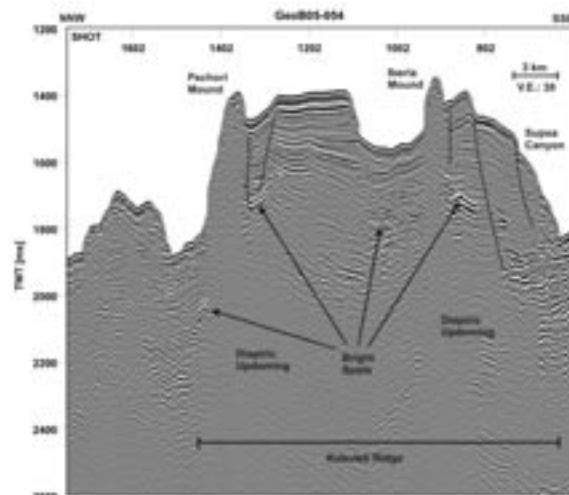
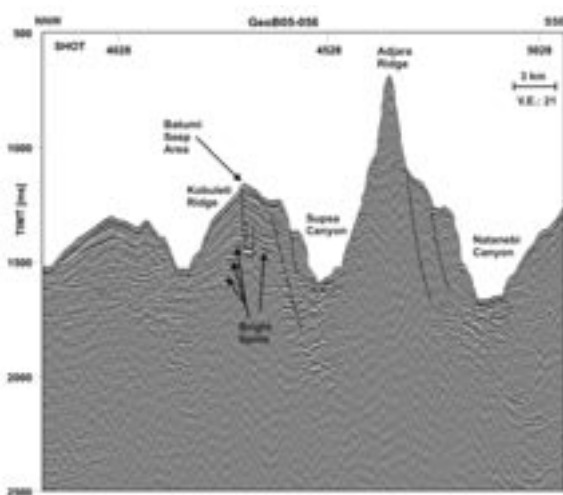


Abbildung 1: Gestapeltes Seismisches Profil GeoB05-056.

Abbildung 2: Gestapelte seismische Linie GeoB05-054.

ein mehrkanalseismischer Datensatz zur Untersuchung der Verbreitung von Gas- und Gashydratvorkommen, Gasaustrittsstellen und Mound Strukturen aufgezeichnet. Der georgische Kontinentalhang ist morphologisch geprägt von einem komplexen W-E streichenden Kanal- und Rückensystem, das sich im Arbeitsgebiet vor Batumi/Poti in drei Haupt-Canyons und drei Rücken gliedert. In Abb. 1 ist ein Ausschnitt des seismischen NNW-SSE streichenden Profils GeoB05-056 aus dem zentralen Arbeitsgebiet dargestellt, das alle Canyons und Rücken quert. Die Rücken, insbesondere der Adjara Rücken im Süden, sind von steilen Flanken geprägt, an denen Rutschungszonen zu beobachten sind. Die Sedimente der Rücken zeigen gut stratifizierte Horizonte, sind aber tektonisch beeinflusst. Auf den Rücken sind während der Poseidon Fahrt Gas Flares aufgezeichnet worden, die nahe der Grenze der Gashydratstabilitätszone in ca. 800 m Wassertiefe auftreten. Die meisten Gas Flares wurden im so genannten Batumi Seep Gebiet beobachtet, das auf dem mittleren Rücken, dem Kobuleti Rücken, auf einer Erhebung von ca. 10 m in ca. 855 m Wassertiefe liegt. Unter dem Batumi Seep Gebiet deuten Bright Spots in einer Tiefe von ca. 225 ms TWT unterhalb des Meeresbodens auf oberflächennahe Gasansammlungen. Die oberflächennahen Sedimente im Bereich des Batumi Seep Gebiet sind von zahlreichen Störungen, die z.T. bis zum Meeresboden reichen, durchzogen, an die vermutlich der Gasaufstieg und -austritt gebunden ist. In Folge des fokussierten Gasaufstiegs kommt es in diesem Bereich zur Bildung von oberflächennahem Gashydrat. Proben von Gashydrat im Batumi Seep Gebiet bestätigen dies und lassen uns vermuten, dass die Bright Spots mit der Basis der Gashydrat Stabilitätszone zusammen-

fallen. Das Batumi Seep Gebiet hat eine Ausdehnung von ca. 1200 m in E-W und ca. 800 m in N-S Richtung. Abb. 2 zeigt das seismische Profil GeoB05-054, das parallel zu Profil GeoB05-056 durch das westliche Arbeitsgebiet verläuft. Unterhalb des Kobuleti Rücken sind diapirartige Aufwölbungen zu beobachten oberhalb derer sich am Meeresboden durch Aufstieg von fluid- und gashaltigem Material kegelförmige Mound Strukturen gebildet haben. Bright Spots sind hier am Top und an den Flanken der Diapire zu beobachten.

Hübscher, C., Netzeband, G. L., Gajewski, D. (Hamburg)

The Messinian evaporites of the Levantine Basin - A world class site for scientific drilling

E-Mail: huebscher@dkrz.de

Salt tectonics and associated fluid dynamics are important mechanisms in basin formation. Owing to the special ductility, salt is capable of decoupling deep rooted tectonics from the supra-salt response. Salt tectonics controls the formation of complex traps for hydrocarbon or metals. Lateral salt flow may cause subaerial or submarine land slides. Salt diapirs are potential waste repositories. The interaction of fluids and salt may cause subsidence and subsequent surface collapses with a potential impact on civil infrastructures. Owing to their impermeability evaporites control fluid dynamics and hydrocarbon distribution. The thorough understanding and prediction of salt tectonics and fluid dynamics is therefore fundamental in frontier research and it is crucial to develop ways in which man can optimise exploitation and risk assessment.

The Levantine Basin in the South-eastern Mediterranean Sea is a world class site for studying the initial stages of salt tectonics driven by differential sediment load, because the Messinian evaporites are comparatively young, the sediment load varies along the basin margin, they are little tectonically overprinted, and the geometry of the basin and the overburden is well-defined. In this study we analyse the Messinian evaporites in regarding their depositional cycles and subsequent structural evolution by means of high-resolution multi-channel seismic data, which have been collected during 2 cruises with RV Meteor and RV Pelagia in 2002 and 2004, respectively.

The Messinian evaporitic succession of the

Levantine Basin reveals five evaporitic sequences, separated by four internal reflections traceable throughout the entire Levantine Basin. The interpretation of the sequences as deposited during five depositional cycles is consistent with onshore drillings. Each sequence has been independently folded and faulted in a northern direction. Internal thrusts do not. We conclude that syn-depositional deformation occurred, e.g., lateral basinward creep caused by gravity forcing.

The load of the Nile Fan sediments squeeze the entire evaporites in an NNE direction parallel to the bathymetric gradient of the basin. In front of the lower fan, the evaporites are thickened due to forebulging. However, even here the rollback folding is mainly an apparent one, the decline of the top of the evaporites beneath the Nile Fan is caused by differential subsidence.

A seismically transparent cone on the top of the evaporites and beneath the St. Pauli mud volcano is interpreted as salt that precipitated from fluids escaping from the evaporites. Fluid migration across the evaporitic sequence has been observed off Israel as well. Since the thickness of the evaporites is about 1500 m and no steep faults are indicated, a fluid pressure higher than the lithostatic pressure has to be assumed in order to create dilatancy within the salt and consequently migration paths.

Off Israel and from south to north the sediment load on the edge of the basinal evaporites increases, since the marginal pinchout is shifted from beneath the lower slope to be-

neath the shelf. The apparent rollback anticlines, however, are a consequence mainly of differential subsidence and not of lateral displacement of the evaporites and thin-skinned extension, respectively. The northward increasing differential sediment load allows the study of initial salt tectonics in increasing evolutionary stages. Off southern Israel, only the Plio-Quaternary sediment cover shows extensional faults and the upper evaporites are little deformed. Generally, very little basinward displacement occurred to the west. Off northern Israel and right south of Haifa the presence of salt welds and salt rollers give evidence for the displacement of the entire basinal evaporites.

W-E striking seismic lines show basinward dipping internal reflections. However, the top of the evaporites, the M-reflections, runs horizontally and the uppermost sequence thickens to the west. This depositional pattern can be explained by horizontally deposited evaporitic sequences and a basinward tilt of the Levantine Basin during the Late Messinian, before the last and upper sequence precipitated. This tectonic event might be correlated with the overall changes of the geodynamic setting in the Middle East during that time.

Only scientific drilling combined with modern geophysical, geochemical, geological and numerical modelling techniques will allow to understand this complex sedimentary system which can be regarded as a world class key site to understand salt deposition and deformation as well as coupled fluid generation and transport at a continental margin.

Weigelt, E., Uenzelmann-Neben, G. (Alfred Wegener Institut, Bremerhaven)

Orbital forced cyclicity in the depositional environment in the Cape Basin - an integrated study of borehole and seismic data

The southern hemisphere's response to significant changes in global climate is still poorly understood. A clue can be offered by the study of sedimentary sequences along the continental margin off southwest Africa. The depositional structures were shaped by an interaction of climate, oceanic currents and sea level fluctuations. The region lies under the influence of the Benguela Current Upwelling System (BCUS), which is one of the major upwelling systems worldwide. Due to its high sedimentation rate this area is favourable to study climate influences on sedimentation in a fine scale. We present a seismic stratigraphic model for the Neogene and Quaternary sedimentary layers in the Cape Basin based on a combination of reflection seismic lines with drill site records of the ODP Leg 175 sites. The drill site data were converted from depth domain to two-way traveltime domain by sonic logs calculated from P-wave velocities of the site data. This procedure enables dating and areal tracing of reflectors mirroring changes in deposition system concerning the composition of the sediments as well as changes in currents and deposition style. For the middle and northern Cape Basin our study reveals an apparently regular sequence of continuous high amplitude reflectors characterizing the upper seismic units. They are well pronounced for about the last 3.5 Ma. The computed spectra of depth and age over the strong amplitude reflectors indeed indicate a certain periodicity. Periods of 95 to 120 cycles/ky dominate especially the undisturbed sequences close to Sites 1082, 1083 and 1084. As a reason for the regularity of reflectors

we suggest glacial to interglacial cycles as they present climate thresholds at which sediment composition drastically changes. These changes also influence density and P-wave velocity of the deposits and, consequently, find their expression in impedance contrast and thus in the seismic reflection pattern. Considering a certain inaccuracy of depth and hence of age determination for the seismic reflectors, we suggest these cycles to coincide with obliquity cycles of the earth's orbit. In the southern Cape Basin however, we cannot observe such a distinct cyclicity of reflectors throughout the last 15 Ma. Here, the frequency and sequence of reflectors is much lower and shows only a weak maximum around the period of 400 ky. In this region a much lower sedimentation rate probably prevents the resolution of a fine scale reflector sequence. Additionally, the deposition sequence seemed to be disturbed by mass movements as indicated in numerous slump scarps recorded on the seismic lines.

Bartels, T., Krastel, S., Spiess, V. (Universität Bremen)

Abbildungen von paläoklimatischen Ereignissen und Untersuchungen von Tiefenwasserströmungen im Bereich des Walfischrückens

E-Mail: bartelst@uni-bremen.de

Der Walfisch Rücken im Südatlantik ist ein aseismischer Rücken, der sich besonders gut zur Durchführung paläozeanographischer Studien eignet, da seine größtenteils ungestörten Sedimente nicht durch terrigenen Eintrag dominiert werden. Durch geringe Sedimentationsraten von wenigen cm pro 1000 Jahre ist es zudem möglich paläogene Sedimente in Bohrteufen von 100 - 400 m zu erbohren. Daher fand die ODP Bohrfahrt 208 auf dem äußeren Walfischrücken statt, um extreme klimatischen Ereignissen im Paläogen zu untersuchen, wie z.B. das Paleocene Eocene Thermal Maximum (PETM, 55 Ma) oder des ELMO Ereignis (53 Ma). Basierend auf seismischen Daten wurden 6 Bohrungen in Wassertiefen zwischen 2500 m und 4770 m niedergeteuft. Das PETM Intervall sowie der ELMO Horizont wurden bei fünf der sechs Bohrlokationen vollständig erbohrt. Beide Sediment Sequenzen zeichnen sich durch gering mächtige Tonschichten ohne Carbonatgehalt auf einer Meter bis Sub-meter Skala (20 cm - 100 cm) aus, die innerhalb einer homogenen Sektion aus Foraminiferen Schlämmen liegen. Für die Aufzeichnung der hochauflösenden seismischen Daten diente ein Mehrfrequenzansatz mit zwei GI-Guns und einer Watergun. Die drei Quellen decken einen Frequenzbereich von 50 bis zu 1500 Hz ab. Die Aufzeichnung der Daten wurde mit einem 600 m langen Streamer mit 96 Kanälen durchgeführt. Die Korrelation der Bohrlochdaten mit den GI-Gun Daten (Kernfrequenz 150 Hz) wurde mit Hilfe

synthetischer Seismogramme aus den Kerndaten durchgeführt. Zur Berechnung der synthetischen Seismogramme wurde der State Space Approach (Mendel et al., 1979) verwendet, der neben primären Reflexionen auch interne Multiplen berücksichtigt. Für die Dichtewerte dienten die auf dem Leg 208 gemessenen Kernloggingdaten. Die Geschwindigkeitsmessungen korrelieren mit den Dichtewerten der Kerne, jedoch aufgrund einer geringeren Messdichte der Geschwindigkeiten wurde die Berechnung der synthetischen Seismogramme aus einer Regression der Geschwindigkeitsmessungen abgeleitet. Die synthetischen Seismogramme ermöglichen die Modellierung der Reflexionsmuster, was zu einer präzisen Datierung signifikanter seismischer Reflektoren in den Sedimenten führt. Aufgrund einer sehr guten Kontinuität der Reflektoren ist es möglich sie über sehr weite Distanzen zu verfolgen und somit räumlich zu kartieren. Für die Korrelation der höherauflösenden Watergundaten (Kernfrequenz 400 Hz) mit den Bohrlochdaten wurden die magnetischen Suszeptibilitätswerte der Kernmessungen, welche ein eindeutiger Indikator für die extremen klimatischen Ereignisse sind, mit Hilfe der Geschwindigkeitsmodelle der synthetischen Seismogramme auf eine Tiefenskala konvertiert. Die Korrelation zeigt, dass es mittels der Watergun Daten möglich ist, ein stratigraphisches Problem auf einer Meter bis Sub-Meter Skala zu untersuchen, da die geringmächtigen Tonschichten, die klimatische Ereignisse wie das

PETM oder das ELMO Ereignis dokumentieren, als separate kontinuierliche Reflektoren abgebildet werden. Die Ergebnisse der seismischen Profile zeigen, dass sich das Messgebiet im Wesentlichen durch ungestörte Sedimentation auszeichnet, die in begrenztem Umfang durch Slumps oder Slides gestört ist. Strömungs- oder Erosionsrinnen beschränken sich vor allem auf die Nähe des Rückenkamms. Die Sedimentmächtigkeiten variieren von 200 m im Becken mit Wassertiefen bis zu 4500 m bis zu 530 m am Rücken in Wassertiefen von 2500 m. Zusätzlich variieren die mittleren Sedimentationsraten zwischen höheren Werten im oberen Eozän und unterem Oligozän sowie niedrigen Raten im mittleren bis oberen Oligozän und dem unteren bis oberen Miozän. Da für das Messgebiet keine größeren tektonischen Ereignisse in den letzten 60 Millionen bekannt sind, ermöglicht die Kartierung der seismischen Reflektoren die Modellierung des Paläomeeresbodens. Hierfür wurden die Tiefen der Reflektoren mit Hilfe der Geschwindigkeitsmodelle der synthetischen Seismogramme von einer Zeitskala auf eine Tiefenskala konvertiert, sowie die einfache Subsidenz des Messgebietes berücksichtigt. Die Ergebnisse der Modulierung weisen auf eine Zunahme der Tiefenwasserströmungen im Bereich der nordöstlichen Rückenflanke hin. Besonders im südöstlichen Bereich des Messgebietes bildet sich Rinne über den Rücken aus, die zu einem möglichen Austausch von Tiefenwassern zwischen den angrenzenden Tiefeseebecken (Angola Becken und Cape Becken) führt. Weitere Hinweise auf Bodenwasseraktivitäten sind erosive Strukturen entlang der modulierten Rinne, die mit einem Alter von 9 ma (Miozän) zu einer Zeit gebildet wurden, in der, durch Schließung der Panama Straße, große Veränderungen in der

Ozeanographie des Atlantiks auftraten.

Literatur: Mendel, J.M., Nahi, N.E., and Chan, M., Synthetic seismograms using the state space approach, *Geophysics*, 44, 880-895, 1979.

Spieß, V., Keil, H., Schwenk, T., Krastel, S. (Bremen)

A very high resolution multichannel seismic System for Operation in shallow marine Environments, Lakes and Rivers

E-Mail: vspiess@uni-bremen.de

The acquisition of high quality multichannel seismics in very shallow water as in lakes, rivers or shallow shelf seas is still a challenge. Changes of acquisition geometry due to waves and tides as well as movements of source and streamer require precise static and positioning corrections. Furthermore, streamers of finite group length reveal a systematic variation in frequency response with suppression of high frequencies at larger offsets.

A prototype of a new streamer design, a 50 m long section, using 50 spherical hydrophones (manufacturer arsTech, Bremerhaven, Germany) was developed to overcome the imaging deficits in particular for high source frequencies as watergun, sparker or boomer sources when such data is acquired with a streamer system.

First measurements have been carried out in the North Sea, Baltic Sea, Laptev Sea and in lakes, and preliminary results are shown. Imaging quality turns out to be very dependant on the nature of interfaces - sandy environments are more problematic than depositional systems with fine mud and sharp contacts. Processing is particularly focused on internal static corrections, deconvolution, and angle-dependent changes in signal characteristics.

Schwenk, T., Spieß, V. (Universität Bremen), Kassens, H. (IfM-GOMAR Kiel), Rekant, P., Gusev, E. (VNIIO St. Petersburg)

Der Permafrost in Zentralnordsibirien und seine submarine Verbreitung in der Laptev See dargestellt in hochauflösenden akustischen und seismischen Daten

E-Mail: tschwenk@uni-bremen.de

Weite Teile von Zentralnordsibirien sind geprägt durch Permafrost, dessen Mächtigkeit bis zu 1000 m erreichen kann. Die Erwärmung während des Holozäns sowie die saisonalen Temperaturschwankungen formen eine eigene Landschaftsform, den Thermokarst. Dieser ist charakterisiert durch polygonal verteilte Eiskeile sowie durch Senken, die teilweise mit Wasser gefüllt sind und Thermokarst-Seen darstellen. Eine Besonderheit der sibirischen Küstenlandschaften sind die so genannten Ice-Complexes, syncriogentische Ablagerungen mit einem Eisgehalt von bis zu 80%. Dieses Eis tritt sowohl als mächtige Eiskeile wie auch als dünnere Eislagen im Sediment zwischen den Eiskeilen auf. Da die Schelfgebiete in Nordsibirien während der letzten Eiszeiten nicht vergletschert waren, konnten sich auch hier mächtige Permafrost Lagen entwickeln. Das nach der Transgression den Schelf bedeckende Wasser ist nicht warm genug um den Permafrost aufzutauen, so daß heute z.B. unter der Laptev See submariner Permafrost mit einer Mächtigkeit von bis zu 600 m vermutet wird. Im Gegensatz zum terrestrischen Permafrost, dessen Verbreitung und Stabilitätsgrenzen gut erforscht sind, ist das Wissen über den submarinen Permafrost beschränkt und beruht auf wenigen Bohrungen und seismoakustischen Expeditionen sowie auf Modellrechnungen. Da aber in und unter dem submarinen Permafrost große Gas(hydrat) Vorkommen vermutet werden, ist die Dynamik und

Geschichte des Permafrostes wegen der möglichen Methanfreisetzung und deren Klimafolgen von weltweiter Bedeutung. Um die Verteilung und Form des submarinen Permafrost in der Laptev Sea abzubilden, wurde im September 2004 die Expedition Transdrift X durchgeführt in Kooperation zwischen dem IfM-Geomar (Kiel), dem VNIIO (St. Petersburg) und der Universität Bremen. Zum Einsatz kamen als seismische Quelle eine Mini GI Gun, deren Signale mit einem speziell für Flachwasser konstruierten Streamer mit 50 m Länge und 48 Einzelhydrophon-Kanälen aufgezeichnet wurden. Als weitere akustische Quellen wurde das geschleppte russische System Sonic M141 benutzt, das aus einem einem Sedimentecholot (CHIRP, 3,5 kHz) und einem Sidescan Echolot besteht. Die Daten zeigen verschiedene seismische Facies und Strukturen in der Laptev See. In weiten Bereichen des Arbeitsgebietes ist das Sediment geprägt durch das Vorkommen von Gas. Das Hauptziel der Untersuchungen war aber ein prominenter, scharfer Reflektor, der mit einem dichten Profilvernetz vermessen wurde. Dieser Reflektor zeichnet sich erstens durch eine hohe Reflexionsamplitude aus und zweitens durch ein Relief mit Senken und Bänken, das dem Relief eines Thermokarst an den sibirischen Küstenlandschaften stark ähnelt. Die Kartierung zeigt, dass die Senken des Reflektors auch in ihren horizontalen Ausdehnungen die jetzigen Thermokarst Seen an Land widerspie-

geln könnten, und die unterschiedlichen Reflexionsmuster in den Senken stellen wahrscheinlich unterschiedliche Füllungen mit lacustrinen and marinen Sedimenten dar. Da die hohe Reflexionsamplitude auf das Vorhandensein von gefrorenem Boden hindeutet, wird dieser Reflektor als Oberkante des submarinen Permafrost interpretiert. Laterale Variationen dieses Reflektors zeigen aber auch, dass der submarine Permafrost an mehreren Stellen innerhalb des Arbeitsgebietes instabil sein könnte.

Demirel-Schlüter, F., Krastel, S. (Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen), Niessen, F. (Bremerhaven, Alfred-Wegener-Institut), Demirbag, E., Imren, C. (Istanbul, Türkei, Abteilung fuer Geophysik, ITU), Toker, M. (Van, Türkei, Institut fuer Geologie, YYU)

Reflexionseismische Untersuchungen am Van See, Türkei, als Beitrag zur Bestimmung einer potentiellen ICDP-Lokation und Rekonstruktion von Seespiegelschwangungen

Der Van See (Ost-Anatolien, Türkei) ist mit einer Ausdehnung von 3.522km², einem Wasservolumen von 576km³ und einer maximalen Wassertiefe von 451m der viertgrößte Endsee der Welt (WONG und DEGENS, 1978). Der See befindet sich in einer tektonisch aktiven Region. Am nördlichen und westlichen Ufer des Sees befinden sich eine Reihe pliozäner und quartärer Vulkane. Durch eine Eruption des Nemrut Vulkans entstand ein Lava-Damm, der bis heute den Wasserabfluss aus dem See blockiert (DEGENS et al., 1984). Es wird vermutet, dass der Lava-Damm vor ca. 100.000 Jahren entstanden ist. Bislang durchgeführte wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass die Seesedimente jährlich geschichtet sind und somit ein hochauflösendes Klimaarchiv zur Untersuchung des Klimawandels im Nahen Osten darstellen. Um lange Kerne vom Van See zu bekommen, wurde daher mit der Vorbereitung eines Bohrproposals im Rahmen von ICDP begonnen. In diesem Zusammenhang wurden vom 1.-15. Juni 2004 auf dem Van See seismische Messungen zur Bestimmung potentieller ICDP-Lokationen durchgeführt. Insgesamt wurden 50 Profile mit einer Gesamtlänge von ca. 850km mit einem hochauflösenden seismischen Mehrkanal-System und einem GeoChirp-System aufgezeichnet. Der Van See kann morphologisch in den lakustrinen Schelf, die Hänge und die Sebecken unterteilt werden. Der tiefste Teil des Sees ist das Tatvan Becken mit einer durchschnittlichen Wassertiefe von ca. 450m. Das Tatvan Becken zeigt

eine Wechsellagerung von gut geschichteten und chaotischen Reflektoren. Die Sedimentmächtigkeit im Becken ist >550ms Zweiweglaufzeit (>400m). Die Korrelation zwischen den Chirp-Daten und den datierten Bohrkernen von 1990 zeigen, dass durchschnittliche Sedimentationsraten 75cm/1000a betragen. Im nördlichen Teil des Tatvan Beckens können ein Sedimentrücken und ein Nebenbecken identifiziert werden. Das Nebenbecken wird von dem Tatvan Becken durch den Sedimentrücken abgegrenzt, auf dem die durchschnittlichen Sedimentationsraten um ca. 30 Prozent reduziert sind. Das Nebenbecken weist im Gegensatz zum Tatvan Becken ungestörte Sedimente auf und stellt damit eine vielversprechende Lokation für einen ICDP-Vorschlag dar. Als eine weitere wichtige ICDP-Lokation wird aufgrund der kondensierten Sedimentlagen der Sedimentrücken betrachtet. Das Profil GeoB 04-023 (siehe Abbildung) läuft entlang des Sedimentrückens in O-W Richtung. Dort wurde im Sommer 2004 der 942cm lange Sedimentkern VAN04-2 entnommen. Aufgrund der Erhebung des Rückens im Vergleich zum umliegenden Seeboden wurden im Kern keine Turbidite und Aufschüttungs-Sedimente gefunden. Die seismischen Daten auf dem Profil GeoB 04-023 zeigen, dass unter der ungestörten Sedimentlagen eine progradierende Sequenz liegt. Wir vermuten, dass diese Sequenz unmittelbar nach Aufbau des Lava-Damms abgelagert worden ist, der den Wasserabfluss aus dem See bis heute blockiert und somit die initiale Phase des Van-Sees als Terminal-

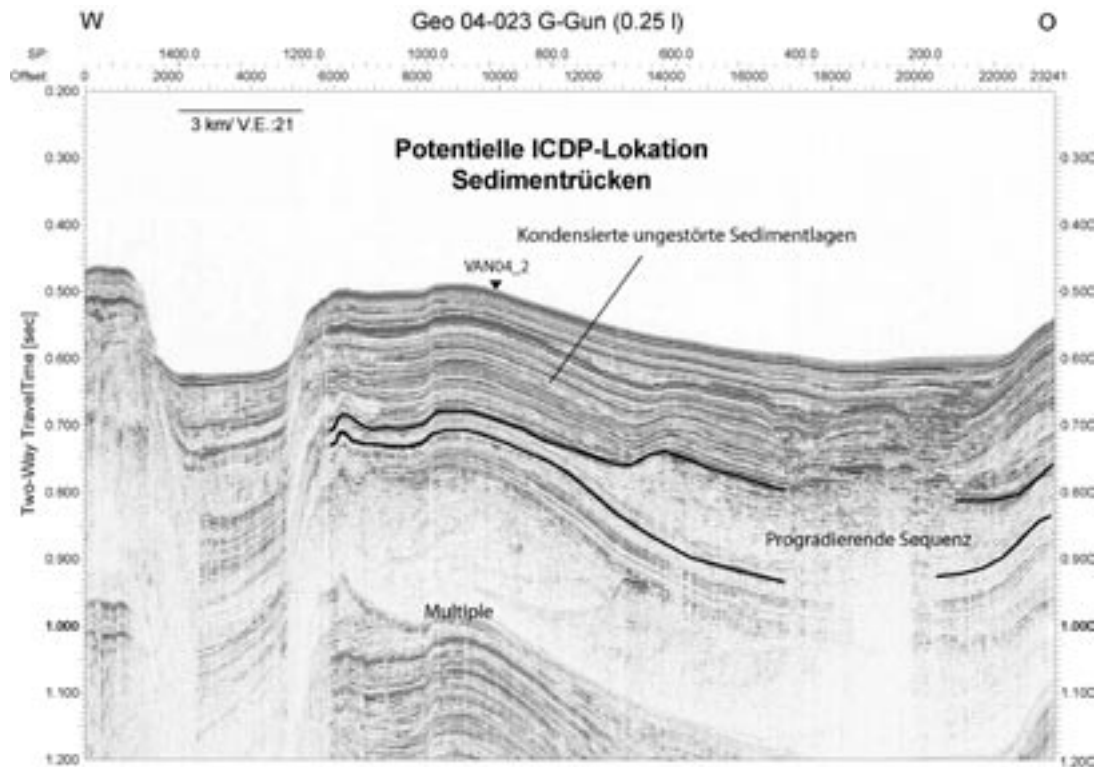


Abbildung 1: CMP-Stapelung des Profils GeoB04-023, das ein Sedimentrücken des Tatvan Beckens in O-W Richtung kreuzt. Aufgrund der gut geschichteten Sedimentlagen oberhalb der progradierenden Sequenz stellt der Sedimentrücken ein hervorragendes Ziel für eine ICDP-Bohrung dar.

see repräsentiert. Oberhalb dieser Sequenz finden wir keine seismischen Hinweise auf ein Trockenfallen des Sees. Die gut geschichteten Sedimentlagen oberhalb der progradierenden Sequenz interpretieren wir daher als kontinuierliche lakustrine Ablagerungen, die ein hervorragendes Ziel für eine ICDP-Bohrung darstellen. Die Mächtigkeit der lakustrinen Ablagerungen von 120m bei den Sedimentationsraten von 50-75cm pro 1000 Jahre weist darauf hin, dass der See deutlich älter als die bisher postulierten 100.000 Jahre ist. Charakteristische Strukturen der Hänge und des Schelfs sind Delta-Vorschüttungen, große Gebiete, die durch eine Abfolge U- und V-förmigen Depressionen charakterisiert sind, sowie eine

große Anzahl von Ablagerungs- und Erosions-Diskordanzen, welche die abwechslungsreiche Entwicklungs-Geschichte des Van Sees widerspiegeln. Im Ostteil des Sees liegen drei übereinander abgelagerte Deltaformationen, die vor den Mündungsgebieten der Flüsse erosiv zerschnitten sind und somit niedrigere Seestände anzeigen. Bestätigt wird diese Vermutung durch das Auftreten von zahlreichen Erosions-Diskordanzen. Das Hauptziel der weiterführenden Arbeiten ist eine detaillierte Charakterisierung der Ablagerungs- und Erosions-Prozesse, um endgültige Positionen für potentielle Bohrlokationen festzulegen sowie die Entstehung und Entwicklung des Van Sees zu rekonstruieren.

Gebhardt, A. C., Niessen, F. (AWI Bremerhaven, Columbusstrasse, 27568 Bremerhaven), Kopsch, C. (AWI Potsdam, Telegrafenberg A43, 14473 Potsdam)

Seismische Untersuchungen am Elgygytyn-Kratersee in Nordostsibirien

E-Mail: cgebhardt@awi-bremerhaven.de

Der Elgygytyn-See liegt in der sibirischen Tundra im Nordosten Russlands. Er entstand vor ca. 3,6 Millionen Jahren durch einen Meteoriteneinschlag. Der Einschlagskrater hat einen Durchmesser von 23 Kilometern und der darin entstandene See eine Wassertiefe von ca. 170 Metern sowie einen Durchmesser von 12 Kilometern. Da das Gebiet in der Eiszeit nicht vergletschert war, enthält der See durch ununterbrochene Sedimentation die Klimageschichte der letzten 3,6 Millionen Jahre. Dies ist einzigartig für den gesamten arktischen Raum. Außerdem handelt es sich beim Elgygytyn-Krater um den einzigen terrestrischen Krater mit silikatisch-vulkanischem Impaktgestein. Aus diesen Gründen wurde der See in den letzten Jahren zu einem multidisziplinären, internationalen Forschungsobjekt. Er ist vielversprechendes Ziel für eine kontinentale Tiefbohrung, die für das Frühjahr 2007 geplant ist.

Während zweier Expeditionen in den Jahren

2000 und 2003 wurden auf dem See neben geologischen, hydrographischen und klimatologischen Untersuchungen auch seismische Messkampagnen durchgeführt. Zum einen wurden 3,5 kHz-Daten aufgezeichnet, um die internen sedimentären Strukturen hochauflösend kartieren zu können, zum anderen wurden reflexions- und refraktionsseismische Messungen durchgeführt, die Information über die tiefen Strukturen des Seesedimentes und des darunterliegenden Festgesteins sowie die Geometrie des Kraters enthalten.

Durch *Raytracing* der Sonoboje-Refraktionsdaten wurde im zentralen Bereich des Kraters in einer Tiefe von ca. 500 Metern eine Aufwölbung entdeckt, die als zentraler Ring interpretiert wird (Abb. 2) und typisch für terrestrische Krater dieser Größe ist. Allerdings konnte gleichzeitig auch gezeigt werden, dass der zentrale Ring des Elgygytyn-Kraters im Verhältnis zum Kraterdurchmesser und zur Kraterhöhe wesentlich ausgeprägter ist als bei anderen terrestrischen Kratern. Die Ursache kann im silikatisch-vulkanischen Grundgestein liegen. Das Grundgestein hat charakteristische seismische p-Wellen-Geschwindigkeiten um 3600 m/s. An Gesteinsproben des Grundgesteins wurden im Labor jedoch wesentlich höhere Geschwindigkeiten um ca. 5000 m/s gemessen. Dies deutet darauf hin, dass das Grundgestein zumindest im oberen Bereich stark zertrümmert sein muss (wie zum Beispiel im Bosumtwi-Krater in Ghana). Das



Abbildung 1: Geographische Lage des Elgygytyn-Kraters

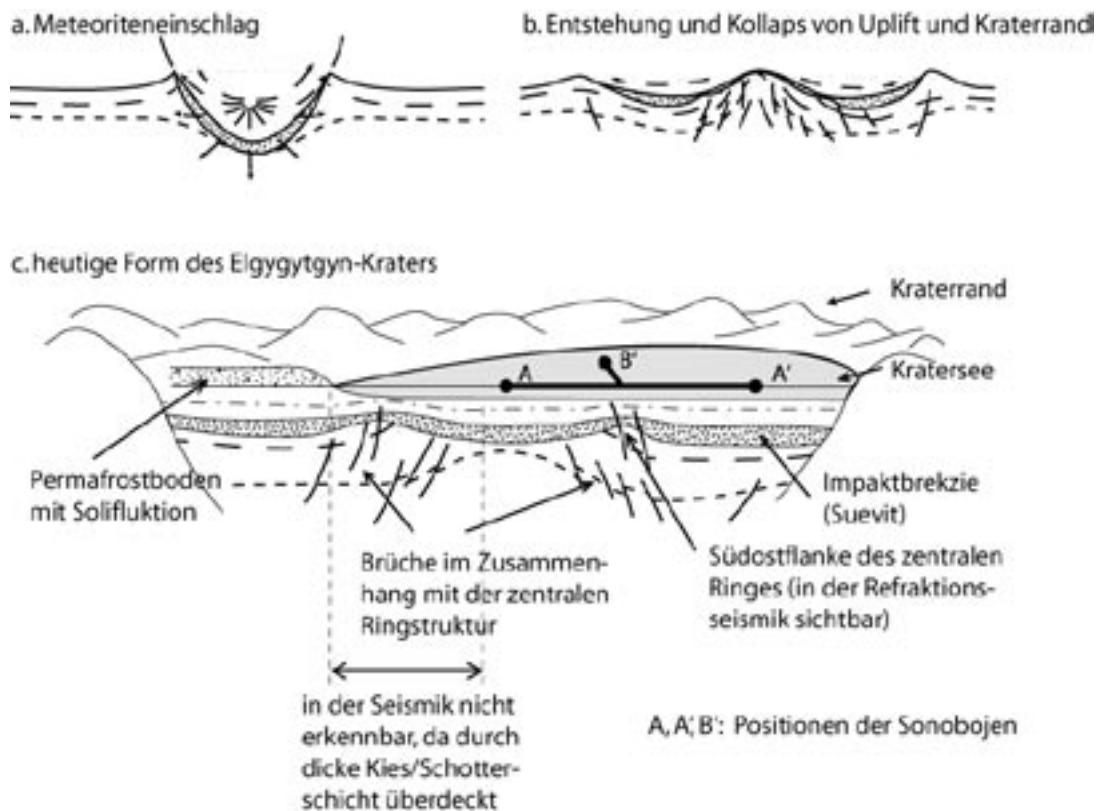


Abbildung 2: Entstehung und heutige Form des Elgygytgyn-Kraters. (a. und b. modifiziert nach Heiken et al., 1991)

Grundgestein wird durch eine Impaktbrekzie (Suevit) mit charakteristischen Geschwindigkeiten um 3000 m/s und einer Dicke von 50 bis 300 Metern überlagert und fast vollständig nivelliert. Darüber liegt lakustrisches Sediment, welches sich in zwei stratigraphische Einheiten unterteilen lässt (Unit Ia: ca. 1500 m/s und ca. 170 m; Unit Ib: ca. 1650 m/s, Dicke ca. 80 bis 200 m). Brüche mit Versätzen im Meter- bis 10er-Meter-Bereich stehen mit der zentralen Ringstruktur in Zusammenhang und zeichnen sich auch in den lakustrischen Sedimenten ab. Sie sind heute allerdings nicht mehr aktiv. Reflexionsseismische Daten zeigen, dass die obere lakustrische Schicht (Unit Ia) deutlich geschichtet ist, während die untere (Unit Ib) einen eher massiven

Charakter aufweist. Die obere Schicht ist im randnahen Bereich mit *debris flows* durchzogen, die vermutlich mit Rutschungen zusammenhängen, die durch Auftauen von Permafrostboden ausgelöst wurden.

Die geplanten Bohrpositionen befinden sich a) im zentralen Bereich des Sees, wo kaum *debris flows* vorkommen und deshalb ein ungestörter Paläoklima-Datensatz zu erwarten ist; b) im Randbereich, wo der Zusammenhang zwischen Vorkommen von *debris flows* und Einfluss des Paläoklima auf den Permafrostboden erforscht werden kann, sowie c) außerhalb des Sees im Permafrost.

Schaefers, M., Bode, T., Cremers, A.B. (Universität Bonn), CORTEC Gruppe, X. (CAU Kiel)

CORTEC - Entwicklung einer offenen Plattform zur datenbankgestützten Verwaltung volumenbasierter geowissenschaftlicher Modelle

E-Mail: schaeefe3@informatik.uni-bonn.de

Im Bereich der Geowissenschaften ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit einzelner Fachgruppen bei der Erstellung und Pflege geowissenschaftlicher 3D-Modelle unerlässlich. Im Zuge der Modellierung kommen dabei unterschiedliche, fachgruppenspezifische Software-Werkzeuge zum Einsatz, um neue Daten und Erkenntnisse in die Modellierung einfließen zu lassen (siehe Vortrag Hese et al.). Typischerweise findet der nötige Datenaustausch auf Basis von Dateien statt, was einige gravierende Nachteile mit sich bringt. So sind die Möglichkeiten zur Auswahl der

zu ladenden Daten eingeschränkt: Es können lediglich ganze Dateien geladen werden, eine räumliche Selektion des gewünschten Teilmodells wird nicht unterstützt. Auch müssen Dateien im Zuge der Bearbeitung durch mehrere Anwendungen meist in andere Formate konvertiert werden, wobei Daten verloren gehen können. Überdies wird kein echter (schreibender) Mehrbenutzerzugriff unterstützt.

Ziel unserer Arbeiten im Rahmen des CORTEC-Projekts ist die Entwicklung eines zentralen, datenbankgestützten Systems, mit dem geologische und geophysikalische 3D-Daten

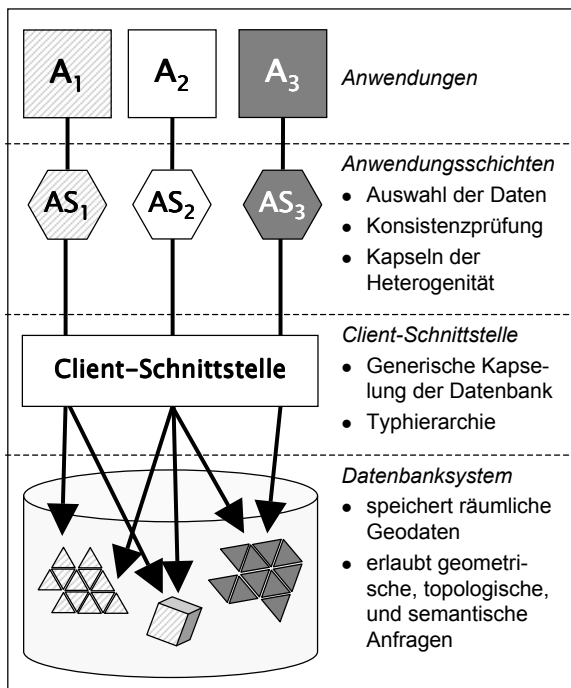


Abbildung 1: Ein zentrales System zur Datenhaltung für heterogene Anwendungen

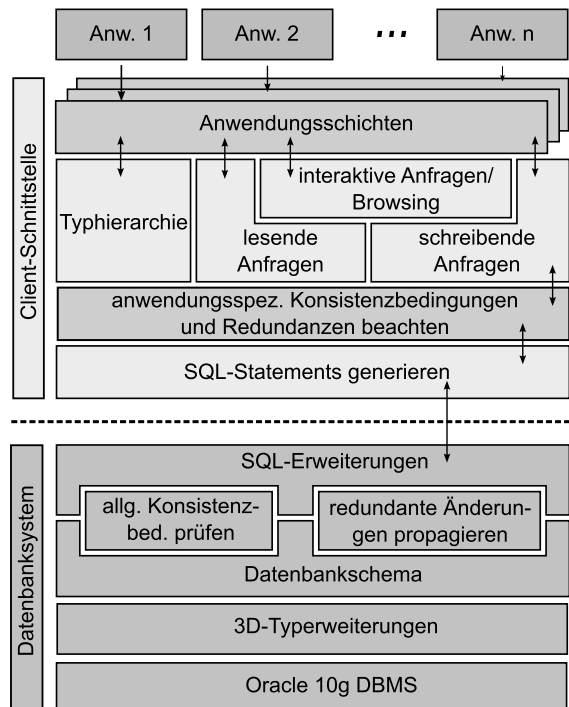


Abbildung 2: Systemarchitektur: Client-Server-Modell

effizient verwaltet werden können. Es gestattet einen gezielten Zugriff auf räumliche Daten, sowohl bei fachspezifischen, als auch bei räumlichen und topologischen Auswahlkriterien. Die gewünschten Daten werden den Anwendungen dann in einem passenden Format geliefert (Abb. 1).

Da die Geometrie der Modelle sehr komplex sein kann, beispielsweise durch sehr umfangreiche triangulierte Flächen, war zu klären, wie man diese Daten so speichert, dass sowohl auf deren Geometrie, als auch auf deren Topologie effizient zugegriffen werden kann. Im Rahmen der Erweiterbarkeit wurden Konzepte benötigt, bei denen einerseits neue Arten von Geodaten ins System integriert und andererseits neue Anwendungen trotz ihrer Heterogenität mit möglichst geringem Aufwand an das System gekoppelt werden können.

Unser System basiert auf dem objektrelationalen Datenbankmanagementsystem *Oracle 10g*, das um Mechanismen zur Verwaltung räumlicher Daten erweitert wurde (als Erweiterung von Standards des *Open Geospatial Consortiums*). Es ist in der Lage, sowohl die Geometrie als auch die Topologie von Geodaten, wie etwa Stratigraphien, Profilen oder Bohrungen, zu repräsentieren. Hierzu haben wir ein hybrides Datenmodell entwickelt, das Vorteile des "Spaghetti-Modells" mit denen eines topologischen Modells verbindet. Ziel hierbei ist, sowohl geometrische Operationen, wie etwa räumliche Anfragen, als auch topologische Operationen effizient durchführen zu können (Abb. 2 unten).

Die Anbindung von lokalen Tools übernimmt eine Client-Schnittstelle auf Basis von *Java*, die diesen in Form einer Bibliothek bereitgestellt wird und den Zugriff auf das Datenbanksystem kapselt. Sie unterstützt sämtliche vom Datenbanksystem bereitgestellten Datentypen

und Geofeatures und realisiert Operationen auf diesen. Damit oft benötigte grafische Benutzerschnittstellen, wie sie für das Sichten des Datenbestandes, die Ausführung einer räumlichen Anfrage oder das Anlegen neuer Modelle gebraucht werden, nicht von jeder Anwendung eigens implementiert werden müssen, stellt die Client - Schnittstelle entsprechende Bibliotheksfunktionen bereit, die von den Anwendungen genutzt werden können (Abb. 2 oben).

Die Kopplung heterogener Software-Tools an die Client-Schnittstelle geschieht jeweils über eine spezielle Anwendungsschicht, die für jedes Tool separat zu implementieren ist. Sie beinhaltet anwendungsspezifische Funktionalitäten, wie etwa das Prüfen von spezifischen Konsistenzbedingungen, und erlaubt gleichzeitig eine eigene Sicht auf den Datenbestand, indem sie Operationen oder Daten ausblendet oder dem Anwendungskontext entsprechend implementiert (Abb. 1 und 2 oben).

Wir streben im Rahmen des Projekts eine Unterstützung der geophysikalischen Software *IGMAS* und *gOcad* an.

Im Vortrag werden wir auf das Systemkonzept genauer eingehen und ausgewählte Probleme genauer beleuchten.

—
CORTEC Gruppe: S. Arndt, T. Bode, A. B. Cremers, H.-J. Götze, F. Hese, W. Rabbel, M. Schaefers, S. Schmidt, A. Schlesinger, Fr. Theilen

Breitzke, M., Boebel, O., El Naggar, S., Jokat, W., Kuhn, G., Niessen, F., Schenke, H. W. (Bremerhaven, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung), Werner, B. (Eckernförde, Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, WTD 71), Diebold, J. (Palisades, NY, USA, Lamont Doherty Earth Observatory)

Akustische Vermessung der marin-seismischen Quellen des FS Polarstern im Herdle Fjord, Norwegen

E-Mail: mbreitzke@awi-bremerhaven.de

Diskussionen über einen möglichen Einfluß anthropogener Schallquellen auf das Verhalten mariner Säuger und Auflagen des Umweltbundesamtes zur Durchführung marin-seismischer Messungen im Antarktischen Ozean südlich von 60°S erfordern die Bestimmung und Überwachung von Mitigationsschwellen um und unter dem FS Polarstern, innerhalb derer marine Säuger aufgrund des vorherrschenden Schalldruckpegels eventuell atypische Verhaltensmuster aufweisen oder durch temporäre Hörschwellenverschiebungen (TTS) geschädigt werden. Die Grenzwerte des Schalldruckpegels, oberhalb derer solche Verhaltensänderungen oder temporären Hörschwellenverschiebungen potentiell bei marinen Säugern einsetzen, wurden in den letzten Jahren mehrfach geändert und herabgesetzt. Die momentan am häufigsten angewandten Grenzwerte wurden vom National Marine Fisheries Service (NMFS), USA definiert und liegen bei 160 dB_{RMS} re 1 µPa für Verhaltensänderungen und 180 dB_{RMS} für temporäre Hörschwellenverschiebungen für Wale und 10 dB_{RMS} höher für Robben. Darüber hinaus wurde von einer Expertengruppe („Noise Exposure Criteria Group“) des NMFS ein neues 2-Punkte Kriterium entwickelt, das den unterschiedlichen Signalcharakteristiken impulsartiger, breitbandiger seismischer Signale und zeitlich länger andauernder, quasi-monofrequenter Signale wissenschaftlicher und militärischer Sonare Rechnung trägt und möglicherweise in Kürze die 160 bzw. 180 dB_{RMS} Grenzwerte ersetzt. Dieses 2-Punkte Kriterium berücksichtigt sowohl die maximale Schalldruckamplitude („zero-peak“) als auch die Signaldauer und -energie und definiert, dass akustische Signale, die entweder einen Schalldruckpegel von 224 dB re 1 µPa überschreiten oder eine Signalenergie („sound exposure level“) größer als 183 dB re 1 µPa²s für impulsartige, breitbandige Signale und 195 dB re 1 µPa²s für länger andauernde, quasi-monofrequente Töne überschreiten, gegebenenfalls eine temporäre Hörschwellenverschiebung bei Walen hervorrufen. Für Robben liegen die entsprechenden Grenzwerte 20 dB_{RMS} niedriger.

Um diese Grenzwerte und die zugehörigen Sicherheitsradien für die von dem FS Polarstern eingesetzten marin-seismischen Quellen bestimmen und bei zukünftigen Schiffs-Expeditionen einhalten zu können, wurden die räumlichen Verteilungen ihrer Schallfelder in Zusammenarbeit mit der Wehrtechnischen Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen (WTD 71), Eckernförde im Herdle Fjord, Norwegen entlang von 2 bis 3 km langen Profilen mit zwei fest verankerten, kalibrierten Hydrophonketten in Wassertiefen von 35, 100, 198 und 263 m vermessen. Dabei kamen ei-

ne 2.4 l GI-Gun, eine 8.5 l G-Gun und eine 32.8 l Bolt-Gun als Einzelquellen und ein 3-GI-Gun (7.4 l), ein 3-G-Gun (25.5 l) und ein 8-VLF-Gun Array (24 l) zum Einsatz. Ergänzt wurden diese Vermessungen durch Modellrechnungen für die zur Zeit ebenfalls auf marin-seismischen Expeditionen verwendeten 8-G-Gun (68.2 l) und 8-G + 1-Bolt-Gun Arrays (100.1 l). Mess- und Modelldaten wurden entsprechend des von der Society of Exploration Geophysicists (SEG) festgelegten Standards zur Spezifizierung mariner seismischer Energiequellen bezüglich ihrer Maximalamplituden, ihrer Signaldauer sowie ihrer Frequenz- und Energiegehalte als Funktion der Quelle-Empfänger Distanz analysiert, so dass sowohl das derzeit gültige RMS-Amplituden Kriterium als auch das möglicherweise zukünftig geltende druck- und energie-basierte 2-Punkte Kriterium berücksichtigt werden kann.

Die entfernungsabhängigen Kurven der Maximalamplitude und Signalenergie spiegeln für jede Quellkonfiguration im wesentlichen die durch die destruktive Interferenz von primärem Signal und Ghost-Reflexion bedingte Signalauslöschung nahe der Meeresoberfläche und die damit verbundene dipolartige Richtcharakteristik mariner seismischer (Einzel-)Quellen wider („Lloyd Mirror Effekt“). Ein Vergleich der Amplituden und Energien beim An- und Ablaufen auf die Hydrophonstationen zeigt, dass insbesondere bei flach und schiffsnah geschleppten Quellen der Rumpf des FS Polarstern die Wellenausbreitung abschattet, so dass beim Anlaufen niedrigere Amplituden und Energien aufgezeichnet wurden als in gleicher Entfernung beim Ablaufen. Aus den größten Quell-Hydrophondistanzen, in denen der 180 dB_{RMS} Schalldruckpegel unterschritten wurde, lassen sich Mitigationradien von 200 bis maximal

600 m für die Einzelquellen und von 300 bis maximal 1500 m für die vermessenen bzw. modellierten Airgun Arrays ableiten. Eine Extrapolation der Kurven der Maximalamplitude auf 1 m Entfernung ergibt, dass die berechneten, nominellen Quellschallpegel der Einzelquellen zwischen 229 und 242 dB re $1 \mu\text{Pa} @ 1 \text{ m}$ und die der Airgun Arrays zwischen 236 und maximal 256 dB re $1 \mu\text{Pa} @ 1 \text{ m}$ liegen. Darüber hinaus veranschaulicht ein Vergleich aller vermessenen Quellkonfigurationen die Bedeutung des druck- und energie-basierten 2-Punkte Kriteriums sowie des SEG-Standards zur Spezifizierung mariner seismischer Energiequellen: Beispielsweise weisen das 3 GI-Gun Array („True GI Mode“) und die Bolt-Gun nahezu gleiche berechnete, nominelle Quellschallpegel von 241 bzw. 242 dB re $1 \mu\text{Pa} @ 1 \text{ m}$ auf, aber bei nahezu gleicher Bandbreite signifikant unterschiedliche berechnete, nominelle Gesamtenergien von 209 bzw. 214 dB re $1 \mu\text{Pa}^2\text{s} @ 1 \text{ m}$.

Webseite: <http://www.awi-bremerhaven.de>

Bussat, S., Bohlen, T., Kugler, S. (Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)

Lovewellen am Meeresboden - angeregt durch eine Quelle in der Wassersäule

E-Mail: sbussat@geophysik.uni-kiel.de

Für die Bestimmung von Scherwellengeschwindigkeiten flachmariner Sedimente wurden im Mai 2002 in der Tromper Wiek (Rügen, Ostsee) Scholtewellenmessungen mit Ozean-Boden-Seismometern (OBS) durchgeführt. Bei einer Wassertiefe von 21 m konnten Scholtewellen mit einer 5 m unter der Wasseroberfläche geschleppten Airgun (Kammervolumen 0,6 l) angeregt werden. Scholtewellen sind in der Radial(R)-Vertikal(Z)-Ebene elliptisch polarisierte Grenzflächenwellen (wie auch Rayleighwellen), die sich entlang des Meeresbodens ausbreiten.

Für die Auswertung einer solchen Scholtewellenmessung wird in der Regel lediglich die Vertikalkomponente verwendet. Bei der 3-Komponenten-Analyse zeigte sich nach der Rotation der Horizontalkomponenten des aufgezeichneten Common-Receiver-Gathers (CRG) in das Strahlkoordinatensystem, neben der auf der R- und Z-Komponente deutlich zu sehenden Scholtewelle, ebenfalls auf der Transversal(T)-Komponente eine dispersive Welle mit vergleichbarer Amplitudenstärke (siehe Abbildung). Wie die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen ergaben, handelt es sich hierbei um eine Lovewelle, die mit einer Quelle in der Wassersäule angeregt wurde.

In den Phasenlangsamerkeits-Frequenzspektren der R- und Z-Komponente sind die Fundamentalmode und die höheren Moden der Scholtewelle deutlich zu erkennen. Auf der T-Komponente zeigt sich eine weitere

Dispersionskurve, die einer Lovewelle zugeordnet werden kann. Im Gegensatz zur Dispersionskurve der Fundamentalmode der Scholtewelle weist sie bei Frequenzen unterhalb von 8 Hz eine größere und über 8 Hz eine niedrigere Langsamkeit auf (siehe Abbildung).

Eine kombinierte 1D-Inversion von Dispersionskurven der Scholtewelle und der Lovewelle wurde durchgeführt (Dispersionskurven des Ergebnismodells siehe Abbildung). Auf diese Weise konnte ein 1D-Tiefenmodell der Scherwellengeschwindigkeit und der Dichte gefunden werden, das beide Dispersionskurven erklärt. Durch die kombinierte Inversion konnte die Dichte genauer bestimmt werden, als durch eine Inversion der Fundamentalmode der Scholtewelle alleine.

Der Untergrund des Messgebietes, aus einer Scholtewellen-Tomographie gut bekannt, weist nur geringe laterale Variationen auf. Entlang weiterer CRG (auch von anderen OBS-Stationen) zeigte sich, dass die Lovewelle im gesamten Messgebiet von einem Quadratmeter Größe angeregt werden konnte. Dies schließt einen lokal begrenzten Effekt (z.B. durch einen Streukörper) aus. Eine Variation der Anregung mit der geographischen Richtung wurde nicht beobachtet.

Eine zweite Messung im März 2003 an der gleichen Lokation in der Tromper Wiek zeigte keine Lovewelle. Des Weiteren wies dabei die Scholtewelle eine fünfmal kleinere Amplitude als die Raumwellen auf, wohingegen die Seis-

mogramme der ersten Messung eine fünfmal höhere Amplitude der Scholte- welle im Gegen- satz zu den Raumwellen besitzen.

Erst bei einer dritten Messreihe im Mai 2004 konnte die Lovewelle wiederholt ange- regt werden. Dabei wies sie jedoch einen ge- ringeren Frequenzgehalt auf als im Mai 2002.

Die Variation von Airgun-Kammer- volumen, Airgun-Druck und Airgun-Tiefe zeigte genauso wie die Wahl unterschiedlicher Empfänger bislang keinen Einfluss auf die Anregung von Lovewellen.

Die Mechanismen, die zur Anregung von Lovewellen führen sind bislang noch un- bekannt. Die jahreszeitliche Variation der Lovewellen-Anregung deutet darauf hin, das eventuell durch Strömungen hervorgerufene Rippeln am Meeresboden als Anregungsme- chanismus in Frage kommen. Sie könnten auch eine Erklärung für den unterschiedlichen Frequenzgehalt der Scholte- und Lovewellen bei unterschiedlichen Jahreszeiten sein. Eine Korrelation zwischen oberflächennahen Mee- resströmungen und der angeregten Lovewelle konnte nicht gefunden werden.

Aktuelle Untersuchungen konzentrieren sich auf die Auswertung von Raumwellen, die in den 3-Komponenten Registrierungen eben- falls auf eine Entkopplung der Raumwellen vom P-SV-Typ und SH-Typ hindeuten.

Wir danken der WTD 71 Kiel für die finan- zelle Unterstützung und die sehr gute Zusam- menarbeit bei den Seemessungen.

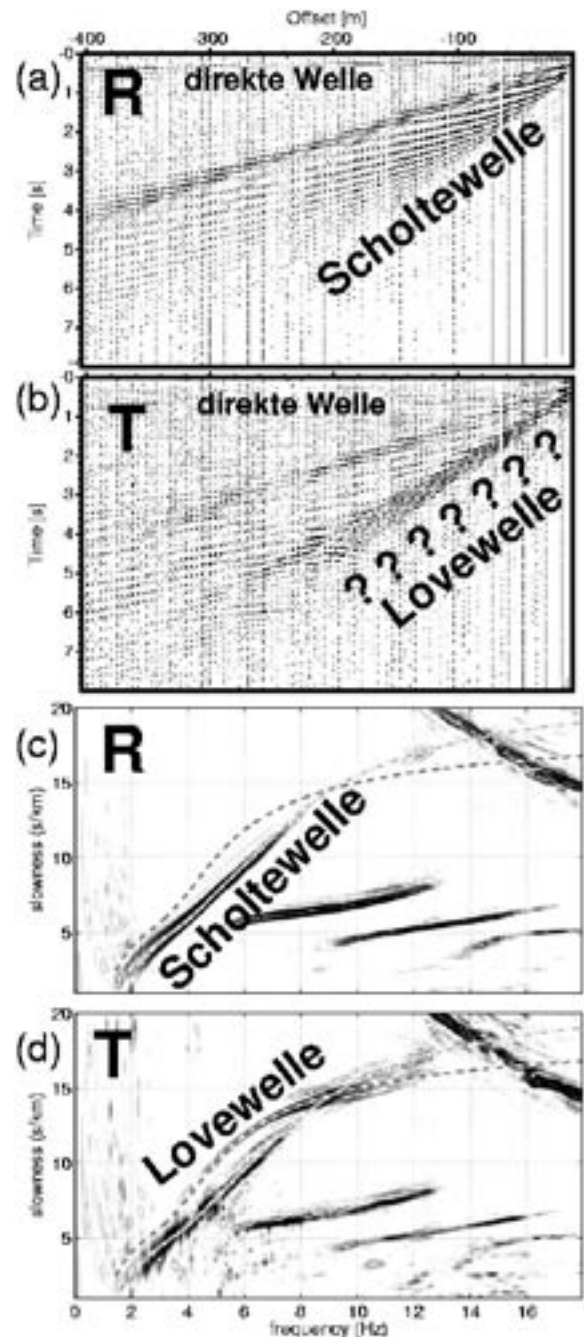


Abbildung 1: CRG der (a) R- und (b) T-Komponente. Die zugehörigen Phasenlangsamkeits-Frequenz-Spektren sind in (c) und (d) dargestellt. In der T-Komponente (d) ist deutlich eine Lovewelle zu erkennen, deren Ursprung jedoch unklar ist.

Gerner, A., Saenger, E.H., Shapiro, S.A. (Freie Universitaet Berlin)

Attenuation of P-waves in gas hydrate-bearing sediments due to interlayer flow

E-Mail: agerner@geophysik.fu-berlin.de

An increasing interest in gas hydrates as a potential energy source gave reason for numerous field studies, laboratory and numerical experiments, that have revealed some interesting aspects of sedimentary layers containing gas hydrates. Considering seismic wave propagation the presence of clathrates of water and natural gas in a sedimentary environment is observed to increase seismic wave velocities and attenuation (Bauer et al., 2005).

While significantly elevated values for seismic velocities are usually attributed to a stiffening of the host rock's frame due to accumulation of hydrates in the pore space (cementation model), the reasons for observed strong attenuation and, connected to that, the mechanisms of formation of gas hydrates are still not fully understood. Mainly two rock physical models are used for modeling gas hydrate-bearing sediments: one attributes the content of gas hydrate to the properties of the rock's matrix, the other relates presence of hydrates to the properties of the pore fluid.

Recent laboratory experiments indicate that gas hydrates start to form in the pore fluid and are chemically subject to a dynamic balance of formation and decay, implying that the pore fluid permanently contains crystals of hydrate smaller than the pore size.

In our approach we concentrate on investigation of attenuation assuming, that the presence of gas hydrates would affect the properties of the fluid (fl) and the matrix of the host sediment. We expect, that fluctuations in all of the three phases considerably increases atten-

uation due to scattering and especially interlayer flow.

Seismic wave propagation in such fluid-saturated media can be described using the theory of poroelasticity (Biot). Based on this theory we made a statistical dynamic-equivalent medium approach using the poroelastic generalization of the O'Doherty-Anstey (ODA) theory to identify and estimate the parameters involved in attenuation. The basic idea of this theory is, that the fluctuational part $\varepsilon = (X - \langle X \rangle)/X$ of the properties is the dominant influence controlling the amplitude of attenuation. This makes our approach less dependent on the absolute values of the elastic properties, which sometimes are difficult to estimate from borehole data. ODA-theory enables us to simply calculate seismic attenuation ($Q^{-1} = 2\gamma/\kappa_1$) in a statistically stationary, exponentially correlated medium for vertically incident P-waves. The frequency-dependent attenuation coefficient γ is (Shapiro & Hubral, 1997):

$$\gamma = \kappa_1^I + \frac{2Ba}{1 + 2a\kappa_2 + 2(a\kappa_2)^2} + \frac{Ca}{1 + 4(a\kappa_1)^2}, \quad (1)$$

where B and C are combinations of variances and covariances of the following poroelastic parameters: $\alpha = 1 - K_{fr}/K_{gr}$ (Biot-Willis coefficient), $P = K_{fr} + 4\mu_{fr}/3$ (P-wave modulus of dry material), $M = (\phi/K_{fl} + (\alpha - \phi)/K_{gr})^{-1}$, $H = P + \alpha^2 M$ (Gassmann equations) and the poroelastic modulus $N = PM/H$. a is the correlation length, $\kappa_1 = \omega \sqrt{\rho_{sat}/H}$ and $\kappa_2 = \sqrt{\omega \eta / 2kN}$ are complex

wavenumbers ($\kappa = \kappa^R + \kappa^I$) of the fast and slow P-wave, respectively.

In our study we neglect other mechanism of attenuation like squirt (local) flow or Biot global flow (κ_1^I), since their influence on attenuation is assumed to be small in the seismic frequency range (Shapiro & Müller, 1999). Comparison to Biot critical frequency $\omega_c = \phi\eta/k\rho_{fl}$, at which attenuation due to global flow has it's maximum (in weak sediments several ten kHz), shows that this assumption is justified. Generalized ODA theory further gives expressions for relaxation frequencies of interlayer flow (second term eq.1): $f_{flow} = Nk/\pi\eta a^2$ and elastic scattering (third term eq.1): $f_{scat} = \sqrt{H/\rho_{sat}}/4\pi a$.

Analysis indicates, that attenuation due to interlayer flow takes place at lower frequencies than attenuation caused by elastic scattering. Moreover, it can be assumed, that besides the physical parameters connected to the frame (fr), properties of the fluid and the grain (gr) could well influence seismic attenuation, which is mainly due to the influence of the poroelastic parameters M and α .

In order to work with realistic models of multilayered, poroelastic media and to account for the observed strong fluctuations in gas hydrate-bearing sedimentary layers we created exponentially correlated random media using a spectral based method (Kamei et al., 2005) with intermediate and huge fluctuations in each of the rock physical phases.

The software OASES enabled us to numerically calculate transmission coefficients ($|T|$) and phase (ϕ), from which the inverse quality factor can be computed using:

$$Q^{-1} = -\frac{\ln|T|}{L} \cdot \frac{v}{\pi f}, \quad (2)$$

where L is the thickness of the stack of layers

and $v = \omega L/\phi$ is the phase velocity.

Numerical results confirm, what was expected from the analysis of ODA theory: for models with small and intermediate fluctuations in all of the rock physical phases we yield rather small attenuation values around $Q \approx 80$. Huge fluctuations ($\approx 50\%$) in the properties of the frame only can cause attenuation values that are significantly higher ($Q \approx 40$) and mainly dominated by mechanisms of elastic scattering. Models with huge correlated fluctuations in properties of the frame, grain and fluid result in maximum attenuation values of $Q \approx 15 - 20$, that are predominantly caused by interlayer flow and occur especially in the seismic frequency range (1 - 5 Hz).

Hence we conclude, that in highly permeable sediments with strong fluctuations in the properties of fluid, frame and grain interlayer flow might be a significant mechanism of attenuation for vertically propagating plane compressional waves.

References

- Bauer, K., Haberland, C., Pratt, R., Hou, F., Medioli, B., and Weber, M. (2005). Ray-based cross-well tomography for P-wave velocity, anisotropy, and attenuation structure around the JAPEx/JNOC/GSC et al. Mallik 5L-38 gas hydrate production research well. Geological Survey of Canada, Bulletin 585.
- Kamei, R., Hato, M., and Matsuoka, T. (2005). Random heterogeneous model with bimodal velocity distribution for methane hydrate exploration. *Exploration Geophysics*, 36, 41-49.
- Shapiro, S. and Hubral, P. (1999). *Elastic Waves in Random Media: Fundamentals of Seismic Stratigraphic Filtering*. Springer, Berlin Heidelberg.
- Shapiro, S. and Müller, T. (1999). Seismic signatures of permeability in heterogenous porous media. *Geophysics*, 64, 99-103.

Zanoth, S.R., Saenger, E.H., Krüger, O.S., Shapiro, S.A. (Berlin)

Leaky mode: A seismic wave attenuation mechanism in a gas-hydrate-bearing sediment

E-Mail: zanoth@geophysik.fu-berlin.de

This paper is concerned with the leaky mode, a possible attenuation phenomenon of seismic waves in a gas-hydrate-bearing sediment layer. This attenuation mechanism in horizontal direction occurs when a high-velocity layer is embedded in a low velocity zone. To quantify this mechanism a numerical model orientated on the crosswell-data of the Mallik 2002 Gas Hydrate Research Project is created. In our purely elastic simulations we can exclude the usual attenuation mechanism like scattering loss and intrinsic absorption. We will demonstrate that the leaky mode is a significant attenuation mechanism which cannot be neglected.

Wave velocities and attenuation are two important properties of seismic investigations which can give information about lithology, saturation, and the in situ conditions of rocks (Gei and Carcione, 2003). In gas-hydrate-bearing sediments high velocity and high attenuation are observed. The increase of velocity and attenuation in gas-hydrate-bearing sediments can be caused by different parameters: microstructure, gas hydrate concentration, porosity, pore and confining pressures, dominant frequency of signal, and gas and water saturation. During the crosswell ray-based tomography from the Mallik 2002 Project, Northwest Territories of Canada, the phenomenon of high velocities and attenuation were observed. This is a very typical observation for gas hydrate occurrences in general. The tomograms are dominated by the effects of the gas hydrate deposits, which cause

higher seismic velocities. The location of laminated silts is correlated with increased velocity anisotropy. A combination of high velocities and strong attenuation ($Q_p < 15$) is observed in sediments with the highest gas hydrate saturation (up to 80 %), which provides constraints on models for the microscopic structure of the deposits (Bauer et al., 2005). Many theoretical estimations are proposed in which strong attenuation of seismic waves can be caused by three mechanisms: intrinsic absorption, scattering loss and interlayer-fluid flow between layers induce by the passing wave. Dai et al. (2004) investigated that the microstructure of gas hydrates also has an influence of the attenuation. We want to show that the observation of high attenuation and high P-wave velocity can be explained partly by the so called leaky mode. With our numerical considerations we quantify this attenuation mechanism in horizontal direction. To determine the attenuation by the quality factor Q we perform a correction for geometrical spreading. After this correction the seismic wave amplitude decay exponentially and the decay rates are proportional to Q^{-1} which characterizes the attenuation (Knopoff, 1964):

$$A(x) = A_0 e^{(-x\pi)/(\lambda Q)}, \quad (1)$$

where $A(x)$ is the displacement amplitude, A_0 is the amplitude at the receiver points, x is the distance from the explosion source, λ is the wavelength. The measured attenuation in the numerical calculations depends in model A on the layer thickness of the experiment, but

in B on a contrast of the P-wave velocities of the high- to the low-velocity layers. As a result Q increases in model A with a decrease of the gas hydrate layer thickness (low Q) and in model B Q decreases with a loss of the P-wave velocity (high Q). The observed losses can only be explained by the so called leaky mode, because other attenuation mechanisms are not included in our elastic FD-modeling calculations. By determining the attenuation of P-waves in gas-hydrate-bearing sediment layer (i.e., a high-velocity layer), we show that this absorption process can not be neglected. We can (partly) explain with our study the observed high attenuation which correlates with a high P-wave velocity in the crosswell-tomography of Mallik 2002 (Bauer et al., 2005).

References

Bauer, K., Haberland, C., Pratt, R., Hou, F., Mediolli, B., and Weber, M. (2005a). Ray-based crosswell tomography for p-wave velocity, anisotropy, and attenuation structure around the JAPEx/JNOC/GSC et al. Mallik 51-38 gas hydrate research well. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 585.

Dai, J., Xu, H., Snyder, F., and Dutta, N. (2004). Detection and estimation of gas hydrates using rock physics and seismic inversion: Examples from the northern deep water Gulf of Mexico. *The Leading Edge*, pages 60–66.

Gei, D. and Carcione, J. (2003). Acoustic properties of sediments saturated with gas hydrate, free gas and water. *Geophysical Prospecting*, 51:141–157.

Knopoff, I. (1964). Q. *Geophysics*, 2:625–660.

Zöllner, H., Schikowsky, P., Reicherter, K. (Universität Leipzig)

Interpretation of the spatial high resolution seismic dataset RERIK - Pre-Alpine evolution of the coastal Mecklenburg Bay

E-Mail: h.zoellner@rz.uni-leipzig.de

The Rerik study area is situated between Rostock and Lübeck and owes a central position in the North German Basin (NGB). A unique commercial data set of a narrow-spaced grid of approx. 1800 km seismic lines in the Mecklenburg Bay covering the sedimentary sequences from the Permian to the Tertiary serves as a base for our investigations. In the presentation, we show compilations and interpretations of a set of high-resolution horizon and thickness maps in 2,5 D to evaluate the pre-Alpine structural evolution of the coastal area of the Mecklenburg Bay (northern Germany) with geophysical and geological data.

Because of the absence of offshore well data within the Mecklenburg Bay we had to use onshore wells connected with the seismic grid by interpreted sea-land sections. Mainly the stratigraphic report of the onshore Wustrow 6 well were used for the dating of the

interpreted horizons on the seismic profiles. This well is situated in the northeastern corner of the survey area. Using this well data, it was possible to date several major horizons traced across the entire survey. Picking of these horizons led to the compilation of high resolution horizon maps and thickness maps of the key layers, using correlated two way travel times (TWT) and to a digital correlation of faults beginning at base Zechstein up to base Late Cretaceous. Furthermore, the

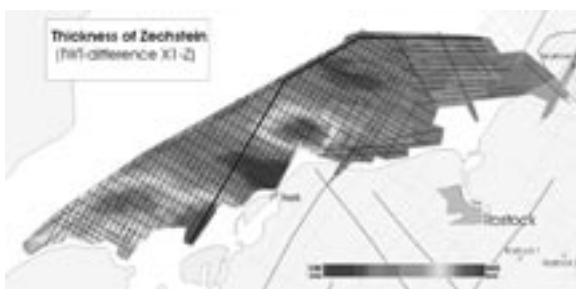


Figure 1: Basemap of the RERIK-area with TWT-difference plot of X1-Z3 reflectors, used to calculate the Zechstein thickness, two salt pillows are striking NW-SE or E-W .

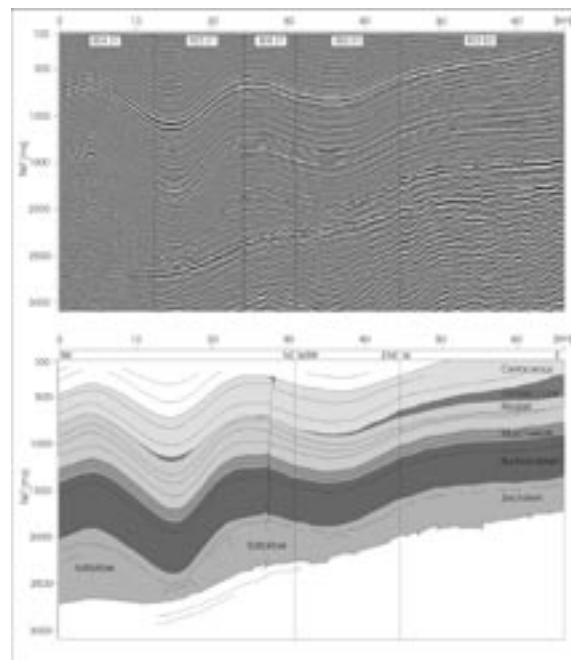


Figure 2: Composed seismic section (bold lines in Fig.1); saltpillows in the central part of the RERIK area and the unconformity between upper Keuper (T7) and the Base Upper Cretaceous (B2).

timing and the extension of salt mobilization and influence on the depositional system in the North German Basin were studied.

Results

The interpreted seismic sections and the thickness map, respectively Top Zechstein map, show accumulation of Zechstein salt in form of two salt pillows, striking NW-SE as a result of salt diapirism and salt tectonics. The maximum thickness reaches approximately 1000 m. These two salt pillows have not been shown in the Gas-Atlas of the TNO, neither by the Geotektonischer Atlas by Baldschuhn et al. (1996). Because of high line density and the long 5 s recording, we can observe a system of NW-SE and E-W striking faults with minor vertical displacement at the base Zechstein. The number of faults increases towards the East, where the Grimmen Wall and the Trans-European-Fault Zone (TEFZ) are situated.

Significant unconformities are found between the Middle Keuper horizons and below the base Upper Cretaceous (B2). During the deposition of the Bunter and Muschelkalk of the Early and Middle Triassic age no major tectonic activity is observed. However, the Grimmen Wall area acted as a local basin with significant higher sedimentation rates and enhanced subsidence in the lower Triassic (Bunter/Buntsandstein). Periods of erosion in Middle Keuper and late Lower Cretaceous with strong tectonic influence followed. The unconformity at the border Middle/Upper Keuper is caused most probably by tectonic stress impulses of the Cimmerian phase (Beutler 1982). During this time interval also first vertical salt movements are delineatable for the salt pillow situated in the NE-part of the study area. The very prominent erosional

unconformity below the base Cenoman (Albian) is interpreted to be a result of the basin inversion starting around that time. This may be correlated with the development of the Central North Sea Dome due to plutonic activity (Ziegler 1990, Underhill 1998). In this period Lower Liassic and portion of the Upper Keuper were possibly eroded. Only in the region of the Grimmen Wall and in the depressions between the saltpillows rests of Liassic sediments were preserved. Then, with beginning of the Upper Cretaceous sequence an interval of subsidence began, characterized by weak tectonic activity. Later in the Late Cretaceous the onset of basin inversion is observed.

Acknowledgements

We would like to thank the EEG Erdöl Erdgas GmbH for providing the Rerik dataset. Financial support from the Deutsche Forschungsgemeinschaft is gratefully acknowledged (project Schi 611/1). Peter Mayer is thanked for the initiation of this project, Martin Bak-Hansen and Christian Hübscher (Univ. of Hamburg) for the fruitful discussions.

Thomas, R. (GGA-Institut, Hannover)

VSP- und MS-VSP-Messungen in einer geothermischen Bohrung im Süddeutschen Molassebecken zur Erkundung des Malmkarstes

E-Mail: r.thomas@gga-hannover.de

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, die Förderung der geothermischen Energie als einheimische alternative Energiequelle für Wärme- und Stromversorgung (vor allem im Grundlastbereich) weiter zu intensivieren.

Der Malm des süddeutsch-österreichischen Molassebeckens ist aufgrund seiner Permeabilität und seiner Tiefenlage eine stratigraphische Einheit mit einem sehr großen geothermischen Potenzial. Im südlichen Teil des Beckens ist auch die Erzeugung von elektrischem Strom möglich. Voraussetzung für eine Verstromung sind Temperaturen von mindestens 100 °C und Ergiebigkeiten in der Größenordnung von 50-100 l/s. Die Erfolgswahrscheinlichkeit einer geothermischen Bohrung ist von zentraler Bedeutung für die Realisierbarkeit eines Projektes. Die Erhöhung der Erfolgswahrscheinlichkeit ist deshalb gleichermaßen wichtig für Förderinstitutionen und Investorengruppen wie für öffentliche Bürgschaften und private Versicherungen.

Im Rahmen des abgeschlossenen Forschungsvorhabens: Reinterpretation seismischer Messungen zur Bestimmung struktureller und fazieller Eigenschaften des Malm im Raum Unterhaching als Grundlage für eine Temperaturprognose (Schulz et al. 2004, Thomas 2005), wurden fünf industrieseismische Profile reprozessiert und neu interpretiert.

Der Ansatz einer faziellen Interpretation des Malm anhand lateral deutlich wechselnder seismischer Signaturen in den Profilen

führt zu dem Ergebnis, dass von kleinräumigen Fazieswechseln, gerade auch im Oberen Malm, ausgegangen werden muss. Die aus den Stapelgeschwindigkeiten berechneten Intervallgeschwindigkeiten zeigen deutliche, räumlich eng begrenzte Geschwindigkeitsinversionen. Die Niedriggeschwindigkeitsbereiche liegen vor allem in Bereichen von Diffraktoren, die mit Störungszonen zusammenhängen oder die mit einer vermuteten Rifffazies in Verbindung stehen. Ähnliche Ergebnisse liefern auch die Untersuchungen auf dem Landshut-Neuöttinger Hoch (Thomas und Bunn 2005).

Entscheidende seismische Kriterien für das Vorliegen einer Verkarstung könnten demnach sein:

- Nähe von Störungszonen,
- Bereiche von Diffraktoren (seismische Signatur),
- Niedriggeschwindigkeitszonen.

Diese Hypothese soll in einem weiteren und zurzeit noch laufenden Projekt überprüft werden. Hierzu wurden in der Bohrung Unterhaching Gt1 ein vertikal seismisches Profil (VSP) und Messungen mit einer bewegten Oberflächen-Quelle moving source-VSP (MS-VSP) durchgeführt.

Da die Bearbeitung der Industrieprofile deutliche Hinweise auf eine kleinräumige strukturelle Variation innerhalb des Malm ergeben hat, wurde eine flächenhafte Anordnung der Vibrationspunkte beim MS-VSP gewählt. Es wurde auf vier in einem Abstand von

400 m parallel liegenden ca. 3 km langen Profilinien und einer senkrecht schneidenden, 5 km langen Linie mit einem schweren Vibrator (6- bis 8-fach vertikal gestapelt) angeregt. Ein 3-Komponenten Geophon befand sich stationär in einer Teufe von 2580 m.

Die Daten befinden sich zurzeit in der Bearbeitung.

Neben den Möglichkeiten einer strukturellen und faziellen Interpretation sind folgende Fragen zu klären:

Können die in großer Zahl im Molassebecken vorhandenen industrieseismischen Profile bei einer geothermischen Fragestellung verwendet werden oder müssen neue spezielle hochauflösende seismische Profile gemessen werden?

Sind die vorhandenen seismischen Profile nur für die Teufenbestimmung und die Identifizierung von Störungen verwendbar oder können aus den seismischen Signaturen nach einem auf den Malm ausgerichteten Processing Faziesbereiche belastbar interpretiert werden?

Sind VSP-Messungen für Geothermiebohrungen im Malm grundsätzlich zu empfehlen, weil Verkarstungsgrenzen in großen Teufen mit der Oberflächenseismik nicht scharf genug erkennbar bzw. bestimmbar sind?

Danksagung: Die wissenschaftlichen Untersuchungen werden vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) unter dem Förderkennzeichen 0329959 gefördert.

Literaturverzeichnis: Schulz, R., Thomas, R., Jung, R. und Schellschmidt, R. 2004: Geoscientific prospect evaluation for the Unterhaching geothermal power plant. - Z. Angew. Geol., 2-2004: 28-36; Hannover.

Thomas, R. und Bunes, H. 2005: Fazies und Verkarstung des Malms im süddeutsch-österreichischen Molassebecken -

Interpretationsansätze für reflexionsseismische Daten unterschiedlicher Teufenbereiche. - DGMK Tagungsbericht 2005-1: 211-220, DGMK/ÖGEW-Frühjahrstagung, 28.-29.04.2005; Celle.

Thomas, R. 2005: Success probability of geothermal drillings into the Malm karst - improvements by new seismic interpretation strategies. - 67th EAGE Conference und Exhibition, Extended Abstract, ISBN 9073781981, 13.-16. June 2005; Madrid.

Saenger, E. H. (FU Berlin), Ciz, R., Gurevich, B. (CSIRO Petroleum, Australia), Shapiro, S. A. (FU Berlin)

Poroelastic Modeling

E-Mail: saenger@geophysik.fu-berlin.de

Although the theory of seismic wave propagation in porous fluid-saturated media has been established 50 years ago (Biot, 1956) there are still many unanswered questions about the origin of attenuation and dispersion in such media. In particular, while it is generally accepted that these dissipative effects can be explained by the presence of wave-induced flow phenomena, there is still no consensus on the mathematical model of these phenomena. Some of the questions about the physics of wave propagation in porous materials can be addressed by numerical simulations performed on the micro-scale, that is, on the scale of individual pores and grains. Having this in mind, Saenger et al. (2004) already have performed such wave propagation simulations based on the rotated staggered grid (RSG) finite-difference (FD) technique (Saenger et al., 2000). However, they have restricted themselves to determine effective elastic properties of porous media saturated with a non-viscous fluid.

In this paper we extend this approach to a Newtonian (i.e. viscous) fluid. The theoretical model of viscoelasticity is based on an approach described by Emmerich and Korn (1987). Incorporation of viscosity based on the generalized Maxwell body (GMB) means that Hooke's law is modified:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl}\epsilon_{kl} - \sum_{m=1}^n \xi_m^{ij}. \quad (1)$$

In this equation, σ_{ij} , c_{ijkl} , ϵ_{kl} denote the stresses, the elastic tensor and the strains, re-

spectively. The number of relaxation mechanisms is equal to m . The anelastic functions ξ_m^{ij} are determined by:

$$\dot{\xi}_m^{ij} + \omega_m \xi_m^{ij} = \omega_m \tilde{Y}_m^{ijkl} \epsilon_{kl}, \quad (2)$$

with \tilde{Y}_m^{ijkl} as the tensors of anelastic coefficients and ω_m as angular relaxation frequencies. The GMB frequency-dependent viscoelastic modulus $C_{ijkl}(\omega)$ can be derived by inserting the Fourier transform of equation (2) into equation (1):

$$C_{ijkl}(\omega) = c_{ijkl} - \sum_{m=1}^n \tilde{Y}_m^{ijkl} \frac{\omega_m}{i\omega + \omega_m} \quad (3)$$

A second order discretization of equation (2) is implemented in the rotated staggered grid algorithm. As a result the anelastic functions ξ_m^{ij} and coefficients \tilde{Y}_m^{ijkl} are located in the center of an elementary FD-cell at the same position as the stress tensor.

A compressible viscous fluid is characterized by the following frequency-dependent elastic moduli:

$$C_{44}(\omega) = \mu(\omega) = i\omega\eta_\mu, \quad (4)$$

$$C_{12}(\omega) = \lambda(\omega) = \lambda(0) + i\omega\eta_\lambda, \quad (5)$$

with $\lambda(\omega)$ and $\mu(\omega)$ as angular-frequency dependent Lamé parameters. For all examples in this paper we assume that $\eta_\mu = \eta_\lambda = \eta$. The key problem is how to approximate the viscous behaviour given by equation (4) and (5) using a GMB. The following strategy is based on a Taylor-expansion of equation (3) around $\omega = 0$:

- We use one relaxation mechanism ($n=1$).
- $\tilde{Y}_1^{44} = c_{44}$. ($C_{44}(0) = 0$).
- In the low frequency range of the GMB, using one relaxation mechanism, the wanted fluid-viscosity can be determined by the following relations:

$$\eta_\mu = \frac{1}{i} \left. \frac{\partial C_{44}(\omega, \tilde{Y}_1^{44} = c_{44})}{\partial \omega} \right|_{\omega=0} = \frac{c_{44}}{\omega_1}, \quad (6)$$

$$\eta_\lambda = \frac{1}{i} \left. \frac{\partial C_{12}(\omega)}{\partial \omega} \right|_{\omega=0} = \frac{\tilde{Y}_1^{12}}{\omega_1}. \quad (7)$$

- From $\eta_\mu = \eta_\lambda$ it follows $\tilde{Y}_1^{12} = c_{44}$. Further, with equation (3), (5) and the known relation $c_{11} = c_{12} + 2c_{44}$ we obtain:

$$c_{11} = \lambda(0) + 3c_{44}. \quad (8)$$

- For FD approaches it is necessary to take into account the stability criterion. For the RSG with FD operators of 2nd order in time and space the following relation is valid:

$$\sqrt{\frac{c_{11}}{\rho_{fluid}}} = v_p \leq \gamma, \quad \gamma = \frac{\Delta h}{\Delta t}. \quad (9)$$

- We choose c_{44} from the following range [given by the 'stability criterion'-relation (9) and equation (8)]:

$$c_{44} \leq \frac{\gamma^2 \rho_{fluid} - \lambda(0)}{3}. \quad (10)$$

Together with the choice of the angular relaxation frequency ω_1 one can determine the wanted dynamic viscosity η .

- We choose a source signal in the low frequency range of the applied GMB ($2\pi f_{source} \ll \omega_1$).

In a second part of this paper, we use the proposed method to test the applicability of the Biot velocity relations to porous materials. We explicitly simulate elastic waves in porous solid structures saturated with a viscous fluid. This means that our modeling involves all solid-fluid interactions which are covered by the elastodynamic wave equation. The goal here is to identify explicitly the seismic effect of the viscous Biot-coupling in the numerical experiments.

Additionally, we model a Biot slow wave on microscale. Since the theory of dynamic poroelasticity was developed by Biot (1956), the existence of the type II or Biot's slow compressional wave (SCW) remains the most controversial of its predictions. To our knowledge this is the first time that the slow wave is simulated on first principles.

References

Biot, M.A. (1956). Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low-frequency range, II. Higher frequency range, *J. Acoust. Soc. Am.*, 28, 168-191

Emmerich, H. and Korn, M. (1987). Incorporation of attenuation into time-domain computations of seismic wavefields, *Geophysics*, 52, 1252-1264.

Saenger, E.H., Gold, N., and Shapiro, S.A. (2000). Modeling the propagation of elastic waves using a modified finite-difference grid, *Wave Motion*, 31, 77-92.

Saenger, E.H., Krüger, O.S., and Shapiro, S.A. (2004). Numerical considerations of fluid effects on wave propagation: Influence of the tortuosity, *Geophys. Res. Lett.*, L21613.

Karpfinger, F. (FU-Berlin), Müller, T.M. (Geophysikalisches Institut Karlsruhe), Gurevich, B. (Curtin University of Technology, Perth, Australia)

Impulse responses of seismic waves in poroelastic media

Seismic forward modeling in porous media is important for assessing effects of fluids in hydrocarbon reservoirs. One approach is to solve numerically Biot's equations of poroelasticity (Dai et al., 1995) & Carcione et al., 1995). Another approach is based on analytical solutions of Biot equations of elasticity. For the case of point source excitation in poroelastic continuum such solutions are available in the form of Green's functions. However, the usual presentation of poroelastic Green's functions does not allow a straightforward numerical implementation. Moreover, in the most general case explicit solutions for Green's functions are only available in the frequency domain complicating their use in the time domain.

Various applications for analytical fundamental solutions in poroelastic media are conceivable. One is of course the verification of numerical codes. Another is the extension of the hybrid method of Kurkjian et al. (1994). There the borehole is replaced by an effective poroelastic medium and the tube wave is simulated by a superposition of pressure monopoles and dipoles.

Another possible approach is the use of tube waves for monitoring which could be possible during production. When a tube wave hits the layer boundary or obstructions in a producing borehole it acts as a secondary source. Such source in poroelastic formation (reservoir layers) radiates different wavefield compared to non-reservoir layers which can be diagnostic for reservoir monitoring. For a better understanding of tube-wave conversion on the boundary of a poroelastic layer it is important

to know analytical solutions of Green's functions in poroelastic media.

Various other problems can benefit from such understanding: downhole monitoring with permanent sources in a wellbore and radiation of seismic sources buried in porous near-surface formations

Green's functions for poroelastic media have already been derived by various authors using different methods. Norris (1985) used the Fourier transform to get the 3D response for sources in the form of two force vectors: one force acting on the solid frame and the other force applied to the fluid phase. Explicit analytical solutions are only given for the far-field. A time-domain solution is constructed for the case without the Darcy dissipation term at low frequencies. Boutin et al. (1987) obtain solutions for 2-D and 3-D Green's functions using the correspondence between poroelasticity and thermoelasticity (Norris, 1982). They consider four source terms: one force vector in solid phase and one pressure monopole in the fluid phase. Pride and Haartsen (1996) derive a 3-D solution using the Fourier transform for the case with electroseismic coupling. Their approach is basically identical to that of Norris (1985). However, Pride and Haartsen (1996) provide explicit expressions for Green's tensors in frequency domain, separated in near- and far-field polarizations.

In this presentation we give explicit analytical expressions for the Green's tensors in 2-D space following the approach of Pride and Haartsen (1996). Based on this solution we construct radiation patterns of the displace-

ment fields for various source types including pressure monopole and dipole in the fluid phase. The results may provide a useful basis for verification of numerical solutions of poroelastic wave propagation.

[7] Kurkjian A. L., Coates, R. T., White, J. E. and Schmidt, H. (1994). Finite-difference and frequency-wavenumber modeling of seismic monopole sources and receivers in fluid-filled boreholes. *Geophysics*, 59(7):1053-1064.

References

- [1] Boutin, C. (1987). Green functions and associated sources in infinite and stratified poroelastic media. *Geophys.J.R.astr.Soc.*, 90:521-550.
- [2] Carcione, J. M. and Quiroga-Goode, G. (1995). Some aspects of the physics and numerical modelling of biot compressional waves. *Journal of Computational Acoustics*, 3(4):261-280.
- [3] Dai, N., Vafidis, A. and Kanasewich, E. R. (1995). Wave propagation in heterogeneous, porous media: A velocity-stress, finite-difference method. *Geophysics*, 60(2):327-340.
- [4] Norris, A. N. (1982). On the correspondence between poroelasticity and thermoelasticity. *Journal of applied physics*, (71):1138-1141.
- [5] Norris, A. N. (1985). Radiation from a point source and scattering theory in a fluid-saturated porous solid. *J. Acoust. Soc. Am.*, 77(6):2012-2023.
- [6] Pride, S. R. and Haartsen, M. W. (1996). Electrostatic wave properties. *J. Acoustic. Soc. Am.*, 100(3):1301-1315.

Brajanovski, M., Müller, T. M. (Geophysikalisches Institut, Uni Karlsruhe), Gurevich, B. (Curtin University, Perth)

Fracture related cross-over frequencies of seismic attenuation in porous rocks

E-Mail: tobias.mueller@gpi.uni-karlsruhe.de

Abstract

We analyze compressional wave attenuation in fluid-saturated porous material with porous inclusions having different compressibility and very different spatial scale in comparison with the background. Such a medium exhibits attenuation due to wave-induced fluid flow across the interface between inclusion and background. We show that overall wave attenuation is governed by the superposition of two coupled fluid-diffusion processes. Associated with two characteristic spatial scales, we compute two cross-over frequencies that separate three different frequency regimes. We give a physical explanation for an intermediate range of frequencies, where attenuation scales with $\omega^{1/2}$. The potential application of this model is in estimation of the background permeability as well as inclusion scale (thickness) by identifying these frequencies from the attenuation measurement.

Introduction

One of the main intrinsic seismic wave dissipation mechanisms is associated with the wave-induced flow of the pore fluid. This effect occurs in a heterogeneous porous medium when a passing wave induces a local pressure gradient on the interface between inclusion and the background. In order to equilibrate pressure, viscous fluid moves across the interface (Müller & Gurevich, 2005, Brajanovski et al., 2005). In all these studies similar general behavior of attenuation

versus frequency is observed. In particular, for high contrast in permeabilities, compressibilities and spatial scales between inclusion and background, three different frequency regimes can be identified. Dimensionless attenuation (inverse quality factor) is proportional to the first power of frequency ω at low frequencies, to $\omega^{-1/2}$ at high frequencies, and to $\omega^{1/2}$ in the intermediate frequency range, see Figure 1. However, the physical description how induced diffusion fluid motion produces intermediate frequency range, remains unclear. In this paper we show that the intermediate frequency regime is a general feature of saturated porous media with two very distinct elastic properties of the inclusion and the background and two very different characteristic length scales that are 1) scale of the inclusions and 2) distance between them.

Theory

Based on the dispersion equation for the effective P-wave modulus for a periodic system of fractures (Brajanovski et al., 2005), we compute two cross-over frequencies ω_P and ω_M that separate three different frequency regimes of attenuation. Although, each layer alone does not produce any attenuation (because the layer is homogeneous), when connected together, attenuation takes place because the pore pressure gradient across the interface is induced. In order to equilibrate pressure, fluid flow occurs between layers (background and fracture). This process is described by

the diffusion equation. Intuitively, we expect that condition for maximal attenuation is when fluid penetrates layers to the maximal possible depth. Let us analyze the process in the background. Cross-over frequency ω_P is independent of fracture weakness but depends on the ratio between diffusivity and thickness of the background. This is logical because diffusion length in fracture at this frequency is several orders of magnitude bigger than the thickness of fracture, such that it cannot control the frequency dependency of the relaxation process in the background. The upper cross-over frequency ω_M is not dependent on the fracture diffusivity. The reason is that in the used dispersion relation fracture properties are lumped into a single parameter that is fracture weakness. Underlying physical reason is the high contrast in spatial scales and compressibilities, which allows simpler parameterization of fractures via fracture weakness parameter. The cross-over frequency ω_M primarily depends on fracture weakness (thickness). It also depends on the background diffusivity D_b because the coupling of the two diffusion processes is strong in this case. Since diffusion length in the background is smaller than the diffusion length in fracture, the diffusion process in fracture will be dependent on D_b (amount of fluid that can flow across the interface is influenced by D_b). We can show that separation between ω_P and ω_M becomes stronger for smaller fracture weakness and softer fracture matrix.

Conclusions

We think that the results represent a general feature of attenuation due to the so-called mesoscopic flow (in the presence of heterogeneities small compared to the wavelength

double-porosity structures. In fact, the three different frequency regimes identified here can be clearly observed in the attenuation behavior of double-porosity configurations as shown in Pride et al. (2004) (see their Figure 1).

Presented results provide a physical basis for estimation of the reservoir permeability as well as the fracture weakness (thickness) by identifying cross-over frequencies from attenuation measurements. These parameters may provide additional input for reservoir modeling. The major requirement for such an approach is that measurements must be made in over a relatively broad frequency range (between seismic and sonic logging frequencies).

Acknowledgements

This work was kindly supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (contract MU 1725/1-2)

References

- Brajanovski, M. and Gurevich, B. and Schoenberg, M., 2005, A model for P-wave attenuation and dispersion in a porous medium permeated by aligned fractures, *Geophys. J. Int.*, 163, 372-384
- Müller, T.M., and Gurevich, B., 2005, Wave-induced fluid flow in random porous media: Attenuation and dispersion of elastic waves, *J. Acoust. Soc. Am.*, 117, 2732-2741
- Pride, S. R., Berryman, J. G., Harris, J. M., 2004, Seismic attenuation due to wave-induced flow, *J. Geophys. Res.*, 109, No. B1, B01201
- Web page:* <http://www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de/pub/workgroup8/de/>

Dümmong, S., Vanelle, C., Gajewski, D. (Universität Hamburg)

Common Reflection Surface Stack - eine alternative Implementation?

E-Mail: duemmong@dkrz.de

Bei der Suche nach Erdöl- und Erdgasvorkommen spielen geophysikalische Messmethoden eine zentrale Rolle. Mit ihrer Hilfe ist es möglich, potentielle Lagerstätten ausfindig zu machen und die geologische Situation des möglichen Reservoirs zu klären. Dabei spielt die angewandte Seismik eine entscheidende Rolle.

Zum Auffinden von potentiellen Lagerstätten wird ein Tiefenmodell des betrachteten Untergrundes benötigt. Ein wichtiger Schritt auf dem Weg dorthin ist die Simulation der sogenannten Zero Offset (ZO-) Sektion, in welcher Quell- und Empfängerposition koinzident sind. Die ZO-Sektionen sind in der Regel auf Grund der Aufnahmegeometrie der Datenakquisition nicht messbar, so dass sie mit Hilfe von Stapelverfahren simuliert werden müssen.

Seismische Stapelverfahren nutzen die Mehrfachüberdeckung in den Daten aus, um mit Hilfe von Laufzeitformeln zusammengehörige Information aufzusummieren. Hierbei ist es besonders wichtig, die die Laufzeitkurve definierenden Parameter bestmöglich approximiert aus den Daten zu bestimmen. Zum heutigen Standard der ZO-Sektions Simulationsverfahren zählt der Normal Moveout / Dip Moveout / CMP-Stack-Prozess (NMO/ DMO/ Stack). Dabei berücksichtigt die DMO-Korrektur die Neigungen der verschiedenen Reflexionen, kann jedoch komplexen Situationen nicht mehr gerecht werden.

Ein alternatives seismisches Stapelverfahren ist der Common Reflection Surface Stack (CRS). Dieser stapelt sowohl die zusammengehörige Information innerhalb eines CMPs als auch über benachbarte CMPs auf. Hieraus resultiert ein höheres Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Außerdem kann zusätzlich die Reflektorkrümmung berücksichtigt werden. Somit kann der CRS-Stapeloperator besser als andere Stapelverfahren die tatsächliche Laufzeitkurve approximieren.

Das CRS-Konzept basiert auf einer hyperbolischen Laufzeitapproximation die durch drei Parameter definiert ist. Das CMP-Stapelverfahren wird im Gegensatz dazu nur durch einen Parameter definiert. Das CRS Parametertupel beschreibt die Orientierung (Abstrahlwinkel), Krümmung (Krümmung der Normal-Welle) und Entfernung (Krümmung der Normal Incidence Point-Welle) eines betrachteten Reflektorelements. In der Arbeit von Mann (2002) konnte gezeigt werden, dass mit diesem Stapelverfahren simulierte ZO-Sektionen eine deutlich höhere Abbildungsqualität aufweisen, als die Ergebnisse der NMO/DMO-Stapelung. Außerdem können die CRS-Parameter wichtige Informationen für weitere Anwendungen (z.B. CRS-Tomographie, Berechnung des geometrischen Ausbreitungsverlustes, etc.) liefern.

Ziel des CRS Stacks ist es, zu jedem

Punkt der zu simulierenden ZO-Sektion das entsprechende Parametertupel zu finden, welches die Laufzeitkurven bestmöglich an die Daten anpasst und somit den optimalen Stapeloperator definiert.

Ziel der hier präsentierten Arbeit war eine alternative hyperbolische Laufzeitformel für die CRS-Anwendung zu testen, die im Gegensatz zur Originalparametrisierung keine physikalische Interpretation der Stapelparameter beinhaltet. Das ist besonders für den Fall der seismischen Anisotropie wichtig ist, da die Herleitung der klassischen CRS-Parameter für den isotropen Fall vorgenommen wurde und somit die Bedeutung nicht mehr gültig ist.

Vanelle und Gajewski (2002) haben eine hyperbolische Laufzeitformel abgeleitet, die sowohl ohne Modellannahmen auskommt, als auch für den Fall der seismischen Anisotropie gültig ist. Diese Formel kann auch auf das CRS-Konzept angewendet werden. Hierbei werden die Laufzeitflächen durch die ersten und zweiten Ableitungen der Laufzeit parametrisiert.

Im Gegensatz zur Originalform beschreibt die alternative CRS-Parametrisierung nach Vanelle und Gajewski (2002) den CRS-Operator in Schuss- und Empfängerkoordinaten. Dadurch ergeben sich Änderungen bei den zu bestimmenden Parametern sowie bei den Suchgathern, in denen diese aus niederparametrischen Optimierungen bestimmt werden. Hierzu wurden neue Suchstrategien implementiert und deren Ergebnisse an Hand von zwei synthetischen und einem realem Datensatz mit dem Originalverfahren nach Mann (2002) detailliert verglichen.

Dabei zeigten die Ergebnisse, dass die Anwendung der verschiedenen CRS-Implementationen in den synthetischen Datensätzen durchaus vergleichbare Ergebnisse liefern konnte. Allerdings wurden bei der Anwendung auf den realen Datensatz in komplexen geologischen Situationen Vorteile der Originalparametrisierung deutlich, deren Begründung in dem vermutlich robusteren Suchschema der Originalimplementation liegt.

Literatur:

Mann, J. Erweiterung und Anwendung der Common-Reflection-Surface-Stack-Methode. Dissertation Universität Karlsruhe, logos Verlag, 2002.

Vanelle, C. und Gajewski, D. Second order interpolation of traveltimes. *Geophysical Prospecting*, 50:73-83, 2002.

Webseite: <http://www.geophysics.zmaw.de>

Rabenstein, L., Buske, S., Shapiro, S. (FU Berlin)

Seismische Abbildung in stark heterogenen Medien - Numerische Modellrechnungen und Reflection-Image-Spectroscopy

Dieser Beitrag behandelt die seismische Abbildung von Strukturen in stark heterogenen Medien. Wir stellen ein Verfahren vor ('Reflection Image Spectroscopy'), das mit Hilfe der Migration frequenzbandgefilterter Daten die Sichtbarkeit der Strukturen erhöht und gleichzeitig Aussagen über die statistischen Eigenschaften der heterogenen Bereiche ermöglichen soll.

Die Ausbreitung seismischer Wellen in heterogenen Medien ist durch starke Streuung gekennzeichnet. Geologische Strukturen unterhalb von Heterogenitäten können daher meist nur schwer abgebildet werden. Auch nach einer Tiefenmigration lässt eine Sektion oft keine Aussage über solche Strukturen zu. Sie erscheinen diffus oder sind überhaupt nicht zu erkennen. Da Streuung ein frequenzabhängiger Prozess ist, kann eine frequenzselektive Bearbeitung von Seismogrammsektionen Erkenntnisse über heterogene Zonen sowie über darunterliegende Bereiche liefern. Die Erstellung einer Serie tiefenmigrierter Sektionen für gleitende Frequenzbänder nennen wir RIS ('Reflection Image Spectroscopy').

Numerische 2D-FD-Modellierungen der Wellenausbreitung in verschiedenen heterogenen Medien geben Aufschluss über die Wechselwirkung zwischen Medium und Wellenfeld. Das Modell besteht aus einer heterogenen Schicht und einem darunterliegenden ebenen horizontalen Reflektor. Auf die synthetisch generierten Seismogramme wurde die RIS Methode angewandt. Anhand der RIS Sektionen versuchen wir, eine Abschätzung

des Rückstreukoeffizienten g für verschiedene Frequenzen und Medien zu geben. Ferner analysieren wir die Qualität der Abbildung des darunterliegenden Reflektors.

Die Parameter, die das heterogene Medium beschreiben, sind die Fluktuation der Geschwindigkeit ξ , die Auto-Korrelationsfunktion ('ACF') und die horizontale bzw. vertikale Korrelationslänge a_x und a_z . Für Medien mit $a_x = a_z$ ist das Abbild des tiefen Reflektors am schlechtesten und zeigt eine Abhängigkeit von ξ ; je größer ξ desto schlechter das Abbild. Für Medien mit $a_x > a_z$ nimmt die Qualität des Reflektorabbildes zu und hat zunehmend weniger Abhängigkeit von ξ . Im Fall einer gausschen ACF wird das Wellenfeld weniger beeinflusst als im Fall einer exponentiellen ACF, d.h. die Abbildung des Reflektors gelingt für gaussche Medien besser.

Unsere Abschätzung des Rückstreukoeffizienten zeigt sehr unterschiedliche Ergebnisse für gaussche und exponentielle ACF. Gaussche Medien zeigen eine stärkere Frequenzabhängigkeit des Rückstreukoeffizienten g als exponentielle Medien. Erstere besitzen ein lokales Maximum, deren Lage nicht signifikant von a_x abhängt. Die Intensität des Maximums hingegen besitzt eine starke Abhängigkeit von a_x . Für $a_x = a_z$ fällt das Maximum klein aus und die Energie verteilt sich auf das gesamte Spektrum. Für $a_x \gg a_z$ konzentriert sich der Großteil der Energie um das Maximum. Zweitere zeigen kein eindeutiges Maximum, aber einen leichten Anstieg von g für hohe Frequenzen. Dabei ist g für alle Frequenzen umso größer, je größer das Verhältnis a_x/a_z ist.

Ein Vergleich unserer Abschätzung mit

theoretischen Berechnungen, basierend auf Bornscher Streuung, bestätigt das unterschiedliche Verhalten von gausschen und exponentiellen Medien.

Webseite: <http://userpage.fu-berlin.de/seis/>

Vanelle, C. (University of Hamburg)

True-amplitude migration in anisotropic media

E-Mail: vanelle@dkrz.de

True-amplitude Kirchhoff migration (TAKM) is a powerful tool for the imaging of seismic reflection data. In addition to a structural image, amplitude maps of the subsurface are obtained. These can be input for amplitude versus offset (AVO) studies, a key technique for seismic reservoir characterisation.

The process of TAKM is carried out by applying a weighted stack of the traces along the diffraction traveltime surface for each point in the model. The purpose of the weight function is to countermand the effects of geometrical spreading in the data. The weight can be computed by dynamic ray tracing or directly from traveltimes (e.g., Vanelle et al., 2005).

If the model under consideration is anisotropic, this must be taken into account for the generation of the diffraction traveltime maps. Also, the expressions for the weight functions become more complicated in the anisotropic case. We have derived and implemented a formulation of the anisotropic weight functions that is particularly suited for the efficient traveltime-based implementation of TAKM (Vanelle et al., 2005).

If anisotropy is present but neglected during processing, the resulting subsurface image will be neither kinematically nor dynamically correct. We demonstrate this in Figure 1 for the example of a horizontal planar reflector separating two homogeneous layers with VTI

symmetry.

Figure 1 (a) shows the migration result if the NMO velocity is used. Although the reconstructed reflector in the image is planar and horizontal, it is positioned at the wrong depth. Figure 1 (b) displays the result using the vertical velocity, e.g., determined from borehole measurements. Although the reflector depth at zero offset is correct, the shape of the reflector could not be recovered. Figure 1 (c) shows the depth section obtained from the true anisotropic model. Only this model leads to the correct image with the horizontal reflector positioned at the original depth. Finally, Figure 1 (d) displays the effect of the weight function on the reconstructed amplitudes. A comparison with the analytic AVO curve shows a significant error if an isotropic weight function is applied.

In conclusion, if anisotropy is present, it must be considered during the processing of seismic reflection data. Neglecting anisotropic effects leads to errors in the kinematic image, i.e. the reconstruction of reflector shape and position, as well as in the recovered amplitudes.

References:

Vanelle, C., Spinner, M., Hertweck, T., Jaeger, C., Gajewski, D., 2005, Traveltime-based true-amplitude migration: 65th Annual Meeting EAGE, Madrid.

Web page: <http://www.geophysics.zmaw.de/>

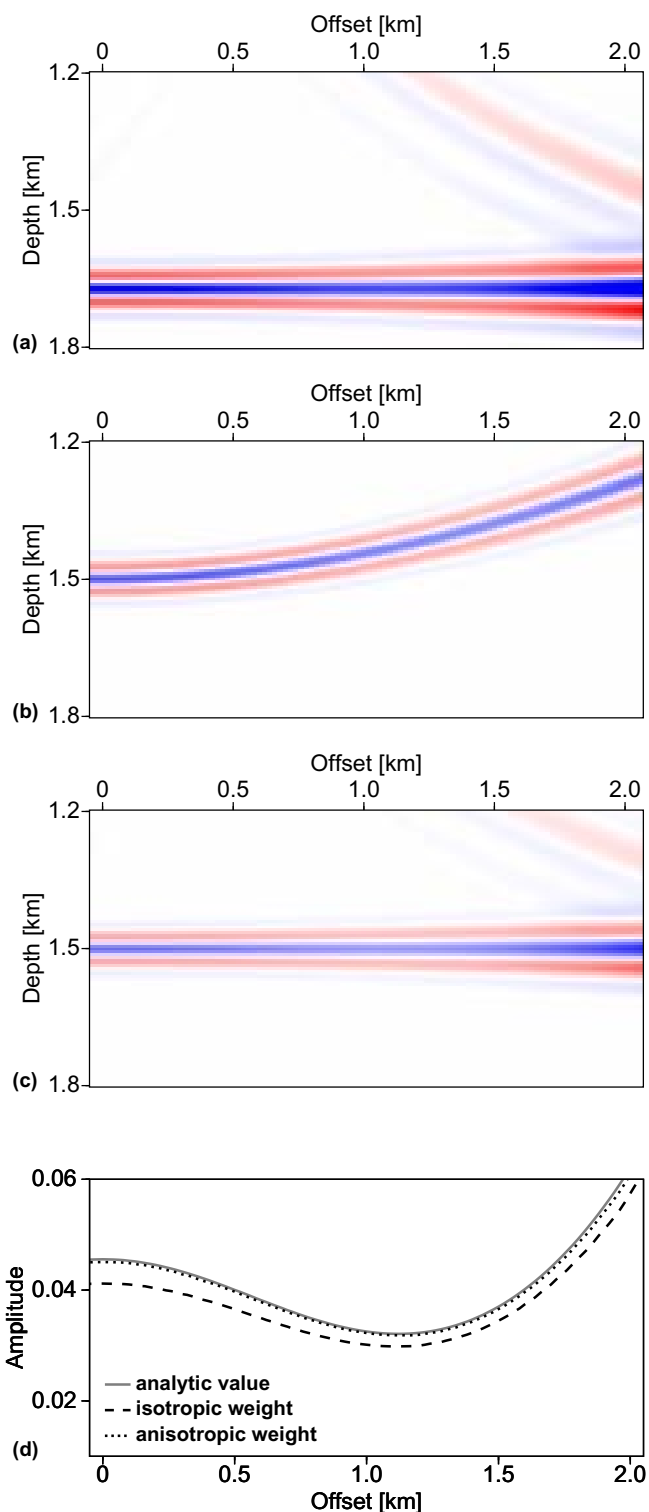


Figure 1: (a) to (c): Migrated depth sections using (a) the NMO velocity, (b) the vertical velocity, and (c) the correct anisotropic velocity model. The true reflector is horizontal and located at a depth of 1500 m. (d): Reconstructed reflection coefficients resulting from an isotropic weight function (dashed line) and the correct anisotropic model (dotted line). The grey line indicates the analytic reference.

Buske, S. (FU Berlin, Geophysik), Heigel, M. (TU Berlin, Geophysik), Lüth, S. (GFZ-Potsdam)

Prinzip und Anwendung der Fresnel-Volumen-Migration

E-Mail: buske@geophysik.fu-berlin.de

Seismische Abbildungsverfahren rekonstruieren die Untergrundstruktur aus seismischen Wellenfeldern. So wird z.B. bei der Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration das registrierte Wellenfeld entlang von Zweiweglaufzeit-Isochronen 'verschmiert'. Durch konstruktive Interferenz dieser Isochronen entsteht dabei ein Abbild des Reflektors. Auch für komplizierte Geschwindigkeitsmodelle erhält man so ein qualitativ hochwertiges Abbild des Untergrundes.

Im Fall geringer Überdeckung oder begrenzter Apertur der seismischen Daten ist das Ergebnis oft aufgrund mangelhafter Interferenz durch erheblichen Migrationsnoise gestört. Die Vermeidung dieses Migrationsnoise war bislang Gegenstand einiger Untersuchungen. Die Grundlage bildete dabei meist die Berechnung des Auftauchwinkels des reflektierten Strahls am Empfänger, z.B. mit Hilfe einer Slownessanalyse, und die weitgehend heuristische Beschränkung der Isochronen auf diese Strahlrichtung (Takahashi, 1995; Tillmanns and Gebrande, 1999; Sun and Schuster, 2003).

In diesem Vortrag wird eine alternative Methode, die Fresnel-Volumen-Migration, vorgestellt, bei der die Isochrone mit Hilfe des Fresnel-Volumen-Konzepts frequenzabhängig und physikalisch sinnvoll beschränkt wird. Insbesondere im Fall von geringüberdeckten Daten wird so die potentielle räumliche Mehr-

deutigkeit der Reflektorlokation behoben und der Migrationsnoise signifikant verringert. Desweiteren finden keine a-priori Annahmen über die Reflektorneigung statt, sodaß das Verfahren auch steil stehende Reflektoren sehr gut abbildet.

Das Verfahren wurde bereits erfolgreich an Mehrkomponentendaten im Rahmen der Tunnelvorauserkundung getestet (Lüth et al., 2005). In diesem Vortrag zeigen wir die Anwendung auf Einkomponentendaten, bei denen der Auftauchwinkel aus einer Kreuzkorrelation benachbarter Seismogramme bestimmt wird. Mit Hilfe dieses Auftauchwinkels wird ein Strahl vom Empfänger aus in das Medium bis zur zugehörigen Zweiweglaufzeit propagiert. Entlang des Strahls wird das entsprechende Fresnel-Volumen konstruiert und die Isochronen auf den Bereich dieses Fresnel-Volumens beschränkt.

Wir zeigen das Prinzip der Methode, diskutieren die Gültigkeit der verwendeten Approximationen und zeigen Anwendungen auf Daten über einem Salzstock in Norddeutschland sowie auf einen Einzelschuss des SAFOD2003 Experiments. Die Ergebnisse werden mit denen einer Standard-Kirchhoff-Prestack-Tiefenmigration verglichen. Die Resultate der Fresnel-Volumen-Migration sind von deutlicher höherer Qualität und ermöglichen auch die Abbildung sehr steilstehender Reflektoren wie im Fall der

San-Andreas-Verwerfung.

Lüth, S., Buske, S., Görtz, A. and Giese, R., 2005. Fresnel-volume migration of multicomponent data. *Geophysics*, 70, S121-S129.

Sun, H. and Schuster, G., 2003. 3D wave-path migration. *Geophysical Prospecting*, 51, 421-430.

Takahashi, T., 1995. Prestack migration using arrival angle information. *Geophysics*, 60, 154-163.

Tillmanns, M. and Gebrande, H., 1999. Focusing in prestack isochrone migration using instantaneous slowness information. *Pure and Applied Geophysics*, 156, 187-206.

Köhn, D. (IfG, CAU Kiel), Bohlen, T. (TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik)

Modellierung von elastischen Wellen auf einem räumlich variablen FD-Gitter: Anwendungsbeispiele

Die Modellierung von seismischen Wellenfeldern mit Finiten Differenzen hat sich seit dem Aufkommen von leistungsfähigen Parallelrechner in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts zu einem Standardverfahren, sowohl in der numerischen, als auch in der angewandten Geophysik entwickelt. Für große, bzw. komplexe geologische Modelle ist die Anwendung von FD-Verfahren jedoch sehr rechenintensiv. Insbesondere beim Auftreten von großen Variationen der S-Wellengeschwindigkeiten, bzw. kleinskaligen Strukturen, beträgt die Rechenzeit der FD-Modelle selbst auf massiven Parallelrechnern mehrere Tage.

Eine räumliche Anpassung des FD-Gitters an die Materialparameter, bzw. die geologischen Strukturen führt zu einer signifikanten Reduzierung der Rechenzeit. Der erste und am weitesten verbreitete Ansatz zur Realisierung eines adaptiven FD-Verfahrens stammt von Jastram & Behle 1991. In Koehn & Bohlen 2006 wird gezeigt, daß die räumlich adaptive Finite-Differenzen Modellierung mit dem Jastram-Schema zu instabilen Lösungen führt. Frühere Untersuchungen hatten den Verdacht nahegelegt, daß diese Instabilität durch eine zu ungenaue Interpolation der unbekannt Variablen am Übergang zwischen zwei Bereichen mit unterschiedlichen Gitterpunktabständen (coarse fine grid transition = CFGT) entstehen. Eine systematische Untersuchung von Interpolationsverfahren unterschiedlicher Genauigkeit, sowie eine Modellierung von synthetischem Noise auf einem homogenen FD-Gitter kann diesen Verdacht jedoch nicht erhärten. Vielmehr scheint die nicht kausale Ein-

bindung von Gitterpunkten des feinen Gitters am CFGT für die Instabilität verantwortlich zu sein. Durch eine Modifikation des FD-Operators am CFGT lassen sich diese Gitterpunkte kausal in die Geometrie des FD-Gitters einbinden. Das so modifizierte Schema wird als ACFGT-Schema bezeichnet.

Die Genauigkeit des ACFGT-Schemas wird an einem breiten Spektrum von geologischen Testproblemen demonstriert: Von der Rayleighwellenmodellierung in unkonsolidiertem Sediment, über die Propagation von Tube Waves in schmalen Bohrlöchern bis hin zu komplexen geologischen Medien. Ein numerisch sehr großes Problem stellt die Auflösung von extrem kleinen Strukturen dar. Mit einer ersten parallelisierten Version des ACFGT-Codes in Zylinderkoordinaten wird der Einfluß eines System von 8 mm großen Cracks in einer Tunnelwand auf das seismische Wellenfeld modelliert. Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, daß ein Großteil der Energie zwischen den Cracks oszilliert. Die numerischen Simulationen dieses "ringings" stimmen sehr gut mit den gemessenen Felddaten überein.

Literatur

JASTRAM, C. & BEHLE, A. 1991 Elastic modelling by finite difference and the rapid expansion method (REM). 61st Ann. Internat. Mtg.: Soc. of Expl. Geophys. pp. 1573-1576.
KOEHN, D: & BOHLEN, T. 2006 On the numerical stability of spatial adaptive finite-difference grids during the modelling of elastic waves. manuscript submitted for publication in Geophysics.

Session C

EM, GZ, BP

+ thematisch passende Beiträge aus MA und UI

6.3./7.3

in Raum 2020 im SFG

9.3.

in Raum 2030 im SFG

Braun, M., Rommel, I., Yaramanci, U. (TU Berlin)

Einfluss der elektrischen Leitfähigkeit auf Oberflächen NMR Daten in 2D Modellierung und 1D Inversion

E-Mail: martina.braun@tu-berlin.de

Das SNMR (Surface Nuclear Magnetic Resonance) Verfahren wird zur direkten Grundwassererkundung eingesetzt. Eine an der Erdoberfläche stromdurchflossene Spule erzeugt ein mit der Larmorfrequenz oszillierendes Magnetfeld, das die magnetischen Momente der Protonen im Untergrund anregt. In der Standardkonfiguration wird dieselbe Spule zum Senden und Empfangen verwendet. Durch eine Erhöhung der Stromstärke und eine dementsprechende Vergrößerung des Pulsmomentes wird eine Tiefenfokussierung erreicht. Eine Standard-Inversion bestimmt den Wassergehalt und gibt Hinweise über die Porenstruktur [1].

Neben anderen Effekten, führt ein elektrisch leitfähiger Untergrund zu einem komplexwertigen SNMR Signal [2].

Sollen 2D Strukturen erkundet werden, so muss auch die elektrische Leitfähigkeit 2D berücksichtigt werden. Die Modellierungen für das anregende Magnetfeld werden mit dem Finiten Elementen Programm Comsol Multiphysics durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass eine 1D Approximation gültig ist, wenn der Mittelpunkt der Spule mindestens einen Durchmesser von der 2D Struktur entfernt ist [3].

Da das anregende Magnetfeld von der elektrischen Leitfähigkeit des Untergrundes abhängt, muss diese bei der Inversion berücksichtigt werden. Entweder sie wird als a priori Information einbezogen oder bei der Inversion direkt aus den SNMR Daten ermittelt.

Abb. 1 zeigt für synthetische Daten mit den Schichtmächtigkeiten als a priori Information die Inversionsergebnisse für zwei typische Leitfähigkeits- und Wassergehaltsabfolgen. Wird ein gut elektrisch leitfähiger Aquifer untersucht (Abb. 1a) so kann Wassergehalt und elektrische Leitfähigkeit sogar aus einer reinen Amplitudeninversion zuverlässig abgeleitet werden. Für einen resistiven Aquifer (Abb. 1b) verbessert sich das Inversionsergebnis der elektrischen Leitfähigkeit, wenn Amplitude und Phase bei der Inversion berücksichtigt werden.

[1] Yaramanci, U., 2000. Surface Nuclear Magnetic Resonance (SNMR) - A new method for exploration of ground water and aquifer properties. *Ann. Geofis.*, 43 (6), 1159-1175.

[2] Braun, M., Hertrich, M. and Yaramanci, U., 2005. Study on complex inversion of magnetic resonance sounding signals. *Near Surface Geophysics*, Vol. 3, No. 3, 155-164.

[3] Braun, M., Rommel, I., Hertrich, M. and Yaramanci, U., 2005. Modelling of MRS signals over 2D electrically conductive structures. *Proceedings of 11th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, EAGE, A008.*

Webseite: <http://www.geophysik.tu-berlin.de>

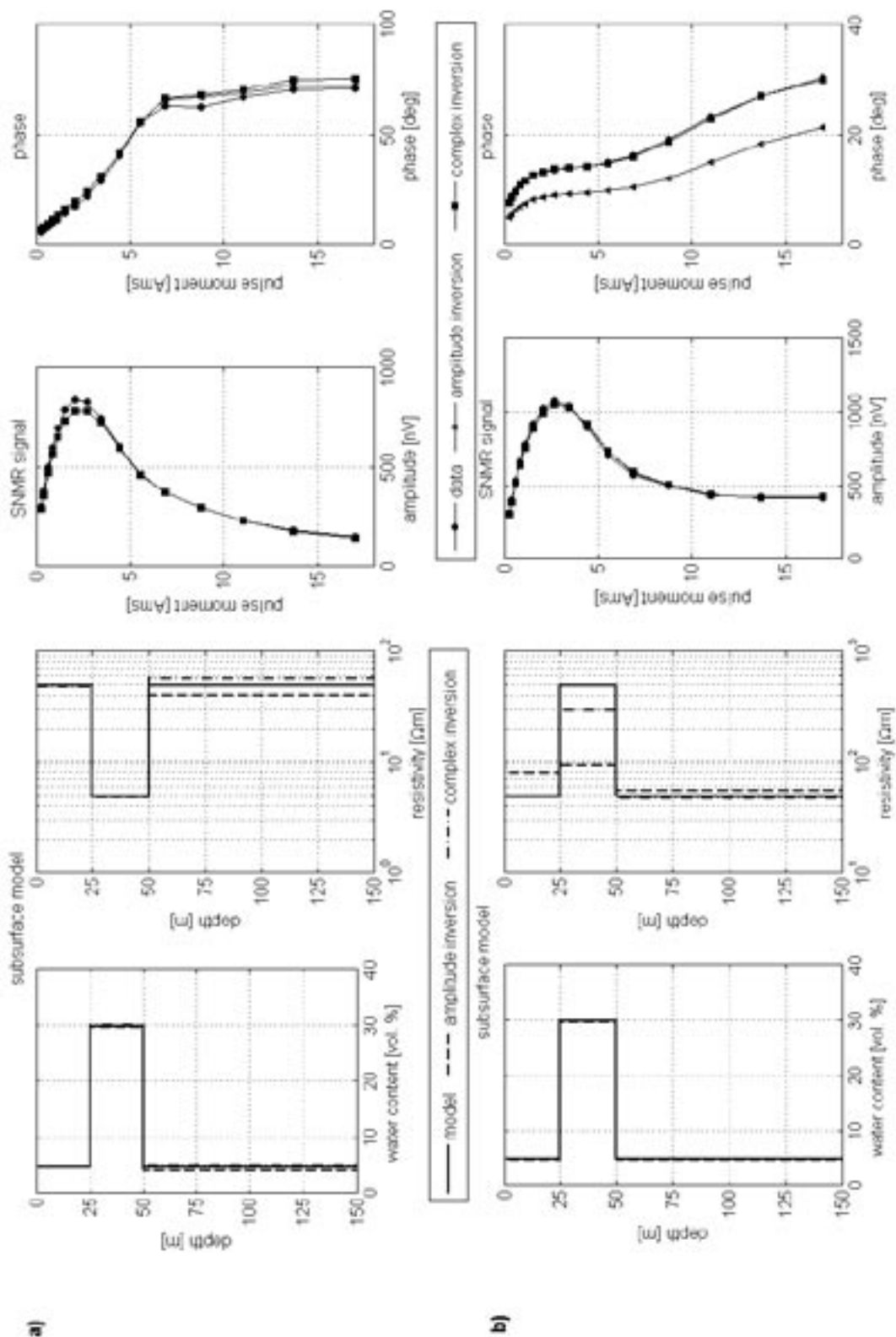


Abbildung 1: Inversionsergebnis für Wassergehalt und elektrische Leitfähigkeit mit Anpassung nur der Amplituden (gestrichelte Linie) sowie Amplitude und Phase (komplexe Inversion, gepunktete Linie) für einen gut leitfähigen (a) und einen resistiven (b) Aquifer. Schichtmächtigkeiten sind als a priori Information bekannt. Modell gerechnet für eine Kreisspule mit 100 m Durchmesser, 48000nT, 60°N Inklination.

Radic, T. (Berlin, Radic Research)

Zeitreihenauswertung von NMR-Messungen im Erdmagnetfeld

E-Mail: radic@radic-research.de

PROBLEMSTELLUNG

Die NMR-Methode liefert wichtige Informationen u.a. über die Porenraumgeometrie und den Wassergehalt von porösen Gesteinen. NMR-Tiefensondierungen basieren dabei auf der Anregung und Registrierung von 1H Protonen des Grundwassers im Erdmagnetfeld. Da deren Larmorfrequenz bei nur 2 kHz liegt, ist das Messsignal um viele Größenordnungen kleiner als bei Laborapparaturen. Feldmessungen in dicht besiedelten Gebieten weisen dann häufig ein sehr kleines S/R-Verhältnis (<1) auf. Ein weiteres Problem erwächst aus der Tatsache, dass das Erdmagnetfeld ständig etwas variiert. Um diese Probleme zu mindern wurde eine neuartige Mess- und Auswertemethode erprobt und eine spezielle

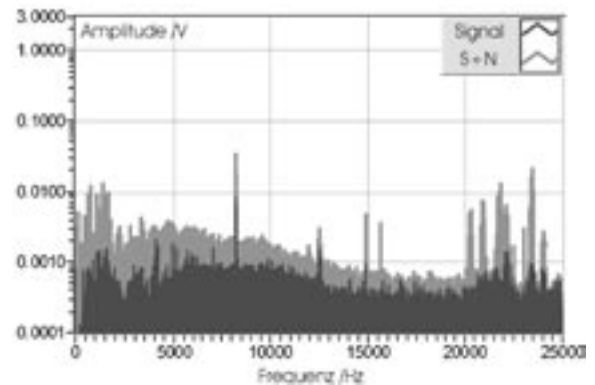


Abbildung 2: NMR-Referenztechnik mit einem Referenzkanal. Lokation: Nauen bei Berlin. Transmitter Loop: 1 Wnd., 10 m x 10 m; Receiver Loop: 10 Wnd., 10 m x 10 m; Reference Loop: 10 Wnd., 10 m x 10 m.

Hardware (NMR-MIDI) entwickelt, die die Registrierung und Speicherung mehrerer Magnetfeldkomponenten erlaubt. Mit diesem modularen Messgerät können sowohl NMR-Messungen an Probenmaterial im Erdmagnetfeld durchgeführt werden, als auch Testmessungen im Feldmaßstab.

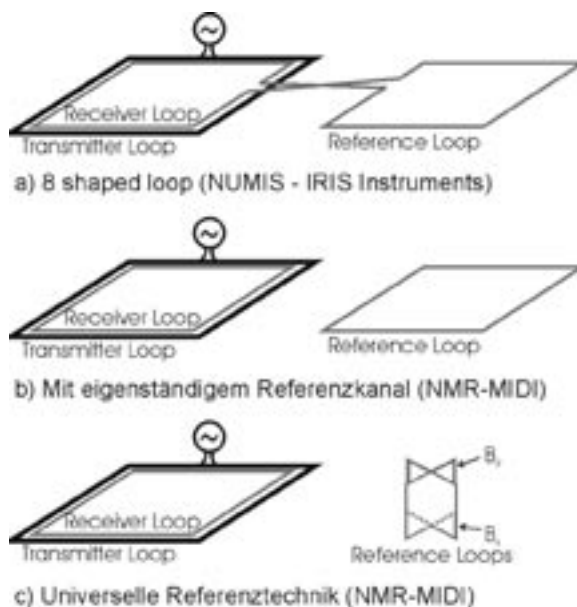


Abbildung 1: Referenzkonfigurationen.

REFERENZTECHNIK

Das S/R-Verhältnis von Felddaten wird in der Regel von räumlich kohärenten magnetischen Störfeldern gemindert. IRIS Instruments empfiehlt zu ihrer Unterdrückung die Verwendung einer "8 shaped loop" (Abb. 1a). Ein räumlich homogenes Störfeld kann auf diese Weise vollständig eliminiert werden. In der Praxis treten jedoch häufig komplexere Verhältnisse auf:

1. Verwundene und geneigte Loops

- 2. Inhomogenes Störfeld
- 3. Mehrere unkorrelierten Störsignale

All dies bedingt, dass der Einsatz einer "8 shaped loop" das Potential der Referenz-techniken zur Störsignalunterdrückung, nicht ausschöpft. Der Magnetotellurik entlehnte Referenztechniken (Abb. 1b–c) versprechen hier noch bessere Ergebnisse, da sie die oben aufgelisteten Effekte teilweise oder vollständig berücksichtigt. Eine Konfiguration wie in Abb. 1b berücksichtigt Fälle, in denen das Störfeld inhomogen ist (1.) und/oder die Loops gegeneinander geneigt sind (2.). Mit solch einer Konfiguration wird in dem für NMR–Feldmessungen bedeutsamen Frequenzbereich (1–3 kHz) immerhin eine Noise–Minderung um fast den Faktor 10 erzielt (Abb. 2). Trotzdem bleibt das NMR–Signal in der Einzelmessung immer noch unsichtbar. Eine weitere Verbesserung kann von der Verwendung zweier Referenz Loops erwartet werden, da im Fernfeld der Quellen des Störfeldes, dieses vollständig erfasst wird, wenn dessen beide Horizontalkomponenten gemessen werden.

STAPELN VON ZEITREIHEN

Ungeachtet der mit der Referenztechnik erzielbaren Datenqualitätsverbesserungen, wird man auch weiterhin auf ein Stapeln nicht verzichten wollen. Die NMR–Signale (Free Induction Decay – FID) können sowohl im Zeit–, als auch im Frequenzbereich gestapelt werden. Abbildung 3 (o.) zeigt zwei Zeitreihen die im Abstand von einer Minute im Erdmagnetfeld an einer Wasserprobe (100 ml) gemessen wurden. Die gestapelte Zeitreihe zeigt eine starke Schwebung (Abb. 3, u. 1.), die eine Auswertung unmöglich macht. Ursache hierfür ist die zeitlichen Variabilität des Erdmagnetfeldes bzw. der Larmorfrequenz.

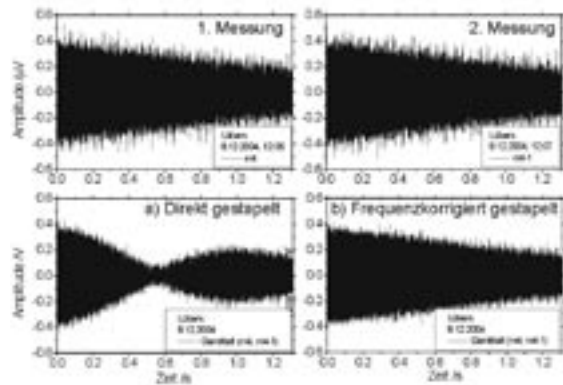


Abbildung 3: Zwei an 100 ml Wasser im Erdmagnetfeld gemessene FIDs. a) Direkt gestapelt; b) Zuvor frequenzkorrigiert

Um dieses Problem zu mindern wird häufig anstelle der Zeitreihen deren Hüllkurven gestapelt. Allerdings weisen diese Hüllkurven einen schwer korrigierbaren Bias auf, der bei einem geringem S/R–Verhältnis zu großen systematisch Fehlern führt. Alternativ hierzu haben wir die Zeitreihen auf eine gemeinsame Sollfrequenz hin verschoben. Das Stapelergebnis (Abb. 3, u. r.) zeigt dann keine störende Schwebung mehr. Wichtig bei dieser Frequenzkorrektur ist, dass das gesamte FID–Signal (hier Frequenzintervall von 1–3 kHz) verschoben wird. Andernfalls wird das Abklingverhalten der Zeitreihe verfälscht und die hieraus abgeleiteten NMR–Parameter (Gln. 1) sind unbrauchbar.

$$E(t) = E_o \sin(\omega_o t) e^{-\frac{t}{T_2^*}} \tag{1}$$

$$\omega_o = \gamma_p B_o \quad \gamma_p = 0.267 * 10^9 \text{ Hz/T}$$

B_o : Erdmagnetfeld; ω_o : Larmorfrequenz;
 γ_p : Gyromagnetisches Verhältnis; $E(t)$: FID

Webseite: <http://www.radic-research.de>

Hertrich, M., Müller, M., Yaramanci, U. (TU Berlin)

Untersuchung des Potenzials der Magnetischen Resonanz Sondierung für große Eindringtiefen

E-Mail: hertrich@geophysik.tu-berlin.de

Die Methode der Magnetischen Resonanz Sondierung (MRS) ist mittlerweile ein bewährtes geophysikalisches Verfahren zur Erkundung von oberflächennahen Grundwasserstrukturen. Durch den direkten Nachweis von im Porenraum gespeichertem Wasser liefert es wertvolle Informationen in der hydrogeophysikalischen Erkundung (Yaramanci et al., 2002).

Die Durchführung einer MRS-Messung erfolgt mittels großer Oberflächenspulen zur Erzeugung des elektromagnetischen Feldes und somit zur Anregung des NMR-Signals im Untergrund sowie zur Registrierung des abklingenden Antwortsignals. Konventionell wird das Verfahren als eindimensionale Tiefensondierung eingesetzt. Die bisher vorhandenen Geräte erlauben hierbei Spulengrößen bis 150 m Durchmesser und ermöglichen Erkundungstiefen bis etwa 100 m. Neueste Weiterentwicklung der Methode erlauben den Einsatz getrennter Send- und Empfangsspulen und ermöglichen durch profilhafte Messungen hochauflösende 2D-Untersuchungen (Hertrich, 2005; Hertrich et al., 2005; Hertrich et al., 2005a).

Im Zusammenhang mit der Detektion und Überwachung von verpresstem CO₂ in Untergrundspeichern gilt es geophysikalische Verfahren auf ihr Potenzial hinsichtlich der hochauflösenden Erkundung der räumlichen und zeitlichen Änderung der physikalischen Parameter durch eingespeichertes CO₂ zu untersuchen. Neben dem Einfluss des CO₂

im Porenraum auf die seismische Geschwindigkeit und die elektrische Leitfähigkeit birgt die Verdrängung von Wasser oder Kohlenwasserstoff durch Spin-freies CO₂ ein großes Potential für die Anwendung der MRS - Methode. Im Rahmen des vom BMBF geförderten Forschungsschwerpunktes „GEOTECHNOLOGIEN - CO₂ Speicherung in geologischen Formationen“, widmet sich eine Gruppe aus drei Partnern aus Industrie und Forschung der Untersuchung der Anwendbarkeit der MRS Methode für die vorgegebene Zieltiefe geologischer relevanter Strukturen, dem Entwurf neuer Erkundungsstrategien sowie der technischen Realisierung und Anwendung (Kaus et al., 2005).

Die räumliche Verteilung des MRS-Antwortsignals, und hier insbesondere die Tiefe, hängen direkt mit der Größe der Oberflächenspulen zusammen. In einer systematischen Studie haben wir den Zusammenhang zwischen der Größe der Oberflächenspulen, dem spezifischen Widerstand des Untergrundes und der Eindringtiefe des elektromagnetischen Spulenfeldes untersucht. Hierbei zeigt sich, dass die Eindringtiefe für den theoretischen Fall eines elektrisch isolierenden Halbraumes linear mit der Spulengöße ansteigt. Für den Fall eines elektrisch leitfähigen Untergrundes - im Rahmen plausibler geologischer Größenordnungen - ist die Eindringtiefe des elektromagnetischen Feldes jedoch für große Spulen stark eingeschränkt. Der Einfluss der Induktion,

und somit der Dämpfung, steigt quadratisch mit der Spulengröße. Daraus ergibt sich eine stark eingeschränkte Anwendbarkeit großer Spulen für Speicherstrukturen wie sie für die CO₂ Speicherung in Betracht gezogen werden (Müller et al., 2005).

Im Rahmen der Untersuchung zur Eindringtiefe und Auflösungstiefe des MRS-Verfahrens entwickeln wir neue quantitative Maßstäbe und wenden diese auf die systematische Untersuchung von Spulengröße und Untergrund-Leitfähigkeit an. Auf Grund dieser Studie kann für gegebene geologische Szenarien eine maximale Eindring- und Auflösungstiefe für technisch realisierbare Spulenkongfigurationen abgeschätzt werden.

In der Erweiterung des Verfahrens über die Anwendung von Oberflächenspulen hinaus untersuchen wir neuartige Konfigurationen in denen Bohrlöcher zur Anregung und/oder Signalaufzeichnung mit einbezogen werden um eine verbesserte Auflösung in den anvisierten Speicherstrukturen zur ermöglichen.

Kaus, A., Kopp, T., Lüdde, M., Yaramanci, U., Hertrich, M., Löffler, M. J., Ehlen, T., Oberschelp, W., 2005. Development of the spin-instrument system for Nuclear Magnetic Resonance exploration and monitoring of subsurface carbon dioxide storage. In: Stroink, L. (Ed.), Investigation, Utilization and Protection of the Underground. No. 6 in GEOTECHNOLOGIEN Science Report, 94-107.

Müller, M., Hertrich, M., Yaramanci, M., 2005. Analysis of Magnetic Resonance Sounding kernels concerning large scale applications using SVD. Proceedings of SAGEEP 2006, in print.

Yaramanci, U., Lange, G., Hertrich, M., 2002. Aquifer characterisation using surface NMR jointly with other geophysical techniques at the Nauen/Berlin test site. Journal of Applied Geophysics 50 (1-2), 47-65.

Webseite: <http://www.geophysik.tu-berlin.de>

Referenzen

Hertrich, M., 2005. Magnetic Resonance Sounding with separated transmitter and receiver loops for the investigation of 2D water content distributions. Ph.D. thesis, School of Civil Engineering and Applied Geosciences, TU-Berlin.

Hertrich, M., Braun, M., Yaramanci, U., 2005. Magnetic Resonance Soundings with separated transmitter and receiver loops. Near Surface Geophysics 3 (3), 131-144.

Hertrich, M., Braun, M., Yaramanci, U., 2005a. High resolution 2D inversion of separated loop Magnetic Resonance Sounding(MRS) surveys. Proceedings of SAGEEP 2006, in print.

Gonzalez-Huici, M. A., Uschkerat, U. (FGAN e.V.), Hördt, A. (TU Braunschweig)

Numerical simulation of electromagnetic-wave propagation for land mine detection by means of Ground Penetrating Radar

E-Mail: gonzalez@fgan.de

We look for a suitable shallow surface imaging technique for the reconstruction and classification of buried dielectric objects in order to improve the detection rate of buried land mines maintaining a low false alarm level in a Ground Penetrating Radar (GPR) survey. We propose an approach to a feasible description and solution of the electromagnetic-wave propagation problem across different materials and interfaces.

For the practical investigation two GPR systems are available to us: *ERA SPRscan*, with emission bandwidth between 0.5-2.5 GHz, and capability for measuring parallel polarization only, and a *GEOZONDAS GPR*, with bandwidth 2.8-6.5 GHz and receptive to both parallel and cross polarization. These frequencies are adequate for resolving shallow buried targets.

The whole system can be described using the electromagnetic scattering theory. To register the backscattered signal, there has to be changes in the electrical properties of the volume under test, in particular, the dielectric permittivity, $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$, with ϵ' the dielectric constant and $\epsilon'' = \sigma/\epsilon_0\omega$, the dielectric loss factor. When a change in ϵ is present, the waves are partially scattered and reflected, depending on the incidence angle, polarization, ϵ , magnetic permeability μ and conductivity σ of the media. These reflections come from man-made and natural targets, inhomogeneities of the soil or layers of different materials, and from air-ground rough interface

which is the highest clutter source.

The equation governing the forward problem, derived from Maxwell equations for harmonic waves, is Helmholtz type ($\Delta E + k^2 E = f$) which has been the starting point for our modeling being E the total field, composed by the incoming field plus the scattered one.

We have developed our model in frequency domain under COMSOL environment (MATLAB based commercial software for equation-based multiphysics modeling) which uses FEM (Finite Elements Method) when solving PDEs (Partial Differential Equations). It runs the finite element analysis together with adaptive meshing and error control making use of a variety of numerical solvers, direct and iterative. We have tested their accuracy and time consume for our particular case.

Concerning the boundaries, the computational domain can be surrounded by an absorbing boundary condition to absorb outwardly propagating waves at its edges. Perfectly matched layer (PML), whose parameters are chosen to yield an impedance match with the adjacent medium, is a good option for unbounded domains but in frequency domain the choice of the parameters is not very clear. Sommerfeld-like boundary condition, which allows normally incident waves to pass out the domain transparently, is frequently considered in literature and it has been used in our 2D approximation to the real problem.

Our first tests corresponded to the scattering of incoming linearly polarized plane waves by

2D dielectric objects in air and we analyzed and compared the accuracy of the PML and Sommerfeld radiation boundary conditions for a few cases. The results turned out to be in apparent agreement which justifies our election of the latter in the following calculations.

Afterwards, we modeled 2D dielectric targets shallow buried in the ground being the computational domain composed of air, ground and the air-ground interface. This time, when obtaining the Helmholtz equation for the backscattered signal, we took into account the transmission and reflection coefficients in the air-ground interface in the definition of the field E_0 , the solution with no targets present. We solved the Helmholtz equation in frequency domain for different single frequencies, targets and background soils.

The attenuation of the signal through the medium has also to be taken into account. The waves will experience exponential decay for non zero conductivity materials as they propagate, which depends on frequency, ϵ , μ and ρ (the lower the frequency the lower the attenuation is, but also target cross section and resolution decreases). We analyzed and compared the effects of different values for the conductivity of the soil at different frequencies to appreciate the effects of non-negligible conductivities over the amplitude of the backscattered signal and also to check numerical stability. The damping grows dramatically as conductivity becomes higher as it could be expected.

After calculating and studying the behaviour of the scattered wave for a single frequency incoming wave, we treated the case of broadband excitations according to the real external source we have. To do so, we decomposed the broadband pulse into a sum of narrowband excitations, determining the electrical parameters of the system at the center

frequency of each narrowband component. If the bandwidth of each component is narrow enough one can get accurate results using this method. We applied the same model as for the single frequency excitation to each of the components, we got a system of Helmholtz equations for the scattered wave to be solved. We assumed that σ and ϵ are constant for each material independent of the frequency. We also modified each component applying a Gaussian filter to perform the frequency-dependent alterations of the signal.

Once we got the frequency domain response for a broad-band input signal, we carried out the discrete Fourier transform of the amplitude distribution to compute the time-dependent signature of the analyzed system. We calculated the time-domain output for different targets, antenna heights and scan distances. We present and interpret the results for several simulated scans, where the backscattered signal by the studied targets is appreciated. Our modeling clearly shows that the reflections from the top and the bottom of the target may be distinguished depending on its size and shape.

As we need to perform accurate and realistic predictions in mine detection and classification, it is necessary to model the radiation pattern of the antenna, that is, the angular distribution of the radiated energy. We have to include this real input signal in our modeling, which till now has been developed considering incoming plane waves. This assumption is not appropriate when the distance between transmitter and target is small (near field case). We also present in this work some results for the first approach using our butterfly-shaped antenna modeling where the dependence on frequency looks much stronger than the dependence on shape.

Sandhäger, H. (Hagen, KBD-WL), von Gronefeld, G. (Düsseldorf, KBD-RL)

Kampfmitteldetektion in Nordrhein-Westfalen - Kombiniertes Einsatz von Luftbilddauswertung und Geomagnetik

Auch 60 Jahre nach dem Ende des 2. Weltkrieges ist ein Ende der staatlichen Aufgabe der Kampfmittelbeseitigung nicht absehbar. Das Gebiet des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) war in besonderem Maße von Kampfhandlungen und vor allem von Flächenbombardements im 2. Weltkrieg betroffen. So finden sich in den städtischen Ballungsräumen im Ruhrgebiet und entlang des Rheins, an Verkehrsknotenpunkten sowie auf den Flächen der damaligen Industrieanlagen noch eine Vielzahl derartiger Altlasten des Krieges. Allein im Jahre 2004 hat der staatlichen Kampfmittelbeseitigungsdienst NRW knapp 140 t Kampfmittel mit einem Nettoinhalt von ca. 34 t Sprengstoff aus dem 2. Weltkrieg geborgen.

Zuständig für den Schutz der Bevölkerung vor den von Kampfmitteln ausgehenden Gefahren sind die örtlichen Ordnungsbehörden. Da der Umgang mit Kampfmitteln eine besondere Fachkunde voraussetzt, unterhält das Land NRW zur Unterstützung der örtlichen Ordnungsbehörden bei den Bezirksregierungen Arnsberg und Düsseldorf die Kampfmittelbeseitigungsdienste Westfalen-Lippe (KBD-WL) und Rheinland (KBD-RL). Die Zuständigkeit und Befugnis zur Beseitigung von Kampfmitteln in NRW ist allein diesen Kampfmittelbeseitigungsdiensten vorbehalten.

Eine der vordringlichsten Aufgaben des KBD-WL und KBD-RL besteht darin, im Vorfeld von Bebauungsmaßnahmen die Kampfmittelbelastung der Grundstücke zu prüfen und ggf. auch die Kampfmittel zu räumen. Der erste wesentliche Arbeitsschritt bei der

Flächenüberprüfung ist die Auswertung des vorhandenen Luftbildmaterials der Alliierten. Nicht selten werden hierfür zunächst einige hundert Einzelbilder der betreffenden Fläche gesichtet, bevor dann die Interpretation der ausgewählten Bilder und die Übertragung der Ergebnisse auf die heutige Georeferenz erfolgen. Je nach festgestellten Indikatoren auf eine Kriegsbeeinflussung wird der örtlichen Ordnungsbehörde die Veranlassung weiterer Überprüfungsmaßnahmen empfohlen, d.h. Erkundung, Detektion und feststellender Bodeneingriff vor Ort.

Konkrete Indikatoren für Bombenblindgänger-Einschlagstellen werden derzeit fast ausschließlich mittels geomagnetischen Detektionsverfahren überprüft. Die Metallhüllen der Bombenblindgänger weisen eine induzierte Magnetisierung auf, so dass Oberflächen- und Bohrlochmessungen mit Fluxgate-Gradiometern zumeist eine genaue Lokalisierung ermöglichen. Bombenblindgänger werden bis in Tiefen von 8 m unterhalb der Geländeoberkante (zum Zeitpunkt der Kriegsbeeinflussung) angetroffen.

Liegen als Ergebnis der Luftbilddauswertung Indikatoren für eine wahrscheinliche, aber nicht konkretisierbare Kampfmittelbelastung vor, erfolgen ebenfalls Sicherheitsüberprüfungen in Form von geomagnetischen Oberflächendetektionen (insbesondere auf Bauflächen, in Baugruben) und Bohrlochdetektionen (z.B. vor dem Einbringen von Spundwänden, Grundwassermessstellen, Bohrpfählen). Bei Verdacht auf oberflächennahe Belastung durch Kleinkampfmittel kommen zusätzlich Minensuchgeräte zum Einsatz.

Ergänzend zur Luftbildauswertung und geomagnetischen Detektion, die sich beim staatlichen Kampfmittelbeseitigungsdienst NRW als kombiniertes Standardverfahren zur erfolgreichen Ortung von Bombenblindgängern durchgesetzt haben, sollen zukünftig weitere geophysikalische Detektionsverfahren zur Abwehr der von Kampfmitteln ausgehenden Gefahren genutzt werden.

Hanstein, T., Lange, J., Helwig, S. (Köln)

Auswirkung unterschiedlicher Metallobjekte und Böden auf reale Metalldetektoren

E-Mail: hanstein@harbourdom.de

Metalldetektoren sind neben der Suchnadel die meist verwendeten Geräte zum Aufspüren von Landminen. Die im Einsatz befindlichen Metalldetektoren kündigen durch ein akustisches Signal ein leitfähiges Objekt an. Die Geräte registrieren schnell und treffsicher die kleinste Veränderung des elektromagnetischen Feldes an, das diese ausstrahlen. Nahezu alle Metallgegenstände, wie verrotete Dosenblechteile, Metallsplitter u.s.w, zeigen diese Wirkung. Daher ist die Fehlalarmrate sehr hoch. Berichten zufolge sind in einem zu untersuchenden Areal drei Landminen auf 800-1000 Fehlalarme durchaus üblich. Das BMBF-Projekt „HuMin/MD-Minensuche mit Metalldetektoren: Entwicklungspotentiale bei Datenanalyse und Messtechnik“ hat sich zur Aufgabe gemacht, diese hohe Fehlalarmrate zu reduzieren unter Verwendung bestehender Geräte. Hierzu soll das elektromagnetische Signal am Sensor des Detektors direkt abgegriffen und analysiert werden. In dem Projektverbund werden verschiedene Ansätze und Wege ausprobiert und getestet. Der hier verwendete Ansatz versucht die gemessenen Signale zu simulieren und mit Hilfe einer Inversion zu interpretieren und auszuwerten. Die Modellierung der Mine und anderer kleiner Metallgegenstände soll daher möglichst schnell, effizient und sehr genau sein. Die Metallobjekte werden hier durch einfache Modellkörper simuliert, die sich mit analytischen Methoden berechnen lassen. Die Gegenstände beschränken sich zur Zeit auf Kugeln, Drahringe und perfekt leitende Rotationsellipsen (Zigarren-

und Diskusform).

Neben dem analytischen Ansatz werden auch numerisch aufwendige Modellierungen mit FEMLAB, einem kommerziellem Finite Elemente Programm, durchgeführt. Hierbei können auch kompliziertere Modellkörper simuliert werden.

Damit die gemessenen Signale auch interpretiert werden können, müssen die realen Gegebenheiten der Metalldetektoren simuliert werden. Im Frequenzbereich bedeutet es, dass die genaue Spulenform berücksichtigt werden muß. Da das Primärfeld der Senderspule um viele Größenordnungen stärker ist als das Sekundärfeld des Störkörpers, wird in der Praxis eine Kombination von Spulen verwendet, die das Primärfeld kompensieren. Bei Geräten mit einer pulsformigen Anregung, die im Zeitbereich arbeiten, muß die Signalform des Sendestromes berücksichtigt werden. Das Primärfeld des Schaltvorganges ist so stark, daß auch hier durch zusätzliche Schalter die empfindliche Elektronik geschützt werden muß. Dies hat einen Einfluß auf die Signalform, der bei der Modellierung berücksichtigt werden muß.

Der Boden trägt auch zum gemessenen Gesamtsignal im Metalldetektor bei, auch wenn er bei der Modellierung des Metallobjektes vernachlässigt werden kann. Es werden die Auswirkungen der Frequenzabhängigkeit in der elektrischen Leitfähigkeit (Induzierte Polarisation) und in der magnetischen Suzeptibilität untersucht.

Lange, J., Hanstein, T., Mollidor, L., Helwig, S. L. (Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie)

Inversion von Pulse Induction und Continuous Wave Metalldetektordaten

E-Mail: lange@geo.uni-koeln.de

Die Technik aktueller Metalldetektoren beschränkt sich auf die Unterdrückung unerwünschter Bodensignale um so möglichst sensibel auf kleine Metallteile reagieren zu können. Durch Pulse (PI) oder harmonische Wechselfelder (CW) werden im Metall Induktionsströme angeregt, deren Felder im Detektor registriert und in ein akustisches, optisches oder ein Vibrationssignal umgesetzt werden, das proportional zur Amplitude ist. Eine weitere Auswertung des empfangenen Signals findet nicht statt. Im Rahmen des Projektverbundes „HuMin/MD-Minensuche mit Metalldetektoren: Entwicklungspotentiale bei Datenanalyse und Messtechnik.“ wird untersucht inwieweit sich Informationen über Form, Material und Tiefe aus dem Signal gewinnen lassen. Bei der Nutzung der Metalldetektoren zur Suche von Landminen sollen dem Minenräumer dann zusätzliche Parameter über den Fund geliefert werden um so eine Bewertung und Bergung zu beschleunigen. In einem ersten Schritt wurden im Labor Messungen mit den Metalldetektoren über Kugeln durchgeführt. Diese Konfiguration lässt sich analytisch berechnen und eignet sich daher für eine Inversion der Daten. Um ein möglichst genaues Ergebnis zu erzielen ist es wesentlich die genauen Spulenformen und Sendesignale zu berücksichtigen. Der Einfluss des homogen leitfähigen Bodens ist nur bei dem PI-Detektor zu beachten. Das verwendete CW-Gerät besitzt zwei entgegengesetzt gewickelte Empfangsspulen, so dass sich bei diesem nur laterale Inhomogeni-

täten bemerkbar machen. Die bisherigen Ergebnisse zeigen für das letztere eine sehr hohe Genauigkeit. Die gemessenen Daten lassen sich sehr gut reproduzieren und die Übereinstimmung zwischen den aus der Inversion erhaltenen Parametern und den Tatsächlichen ist ebenfalls ausgezeichnet. Schwieriger ist die genaue Bestimmung der Kugelparameter aus den PI-Daten. Hier erzeugen direkt an der Spule verbaute Metallteile ein zusätzliches Signal, dessen Berücksichtigung noch nicht zufrieden stellend gelungen ist. Aufbauend auf die Laborergebnisse für einfache Kugeln wurde das Inversionsprogramm erweitert, so dass nun Kombinationen mehrerer Körper (Kugeln, Ringe und Rotationsellipsoide) zur Interpretation benutzt werden können.

Webseite: <http://www.geophysik.uni-koeln.de>

Buckup, P., Buckup, K. (Magdeburg)

Einsatz des Impuls-Neutron-Neutron-Verfahrens zur Minensuche

E-Mail: drkbuckup@bohrlochmesser.de

Das Impuls-Neutronenverfahren kann aus theoretischen Vorstellungen heraus zum stofflichen Nachweis eingesetzt werden.

Zur Untersuchung der Nutzung des Impuls-Neutron-Verfahrens für die Minesuche wurde ein Experimentierfeld eingerichtet. Um einen minenförmig gestalteten Versuchskörper von 25 kg in 6 m Tiefe wurden in verschiedenen Richtungen insgesamt 15 Bohrlöcher mit einer Tiefe von 10 m in einem Abstand von jeweils 1 m niedergebracht und z.T. mit Plaste-, z.T. mit Stahlrohren ausgebaut. Diese Bohrlöcher wurden mit dem INN-Verfahren punktweise in 0,5-m-Intervallen vermessen, die Standzeit pro Punkt betrug jeweils 2 min.

Die Daten wurden anschließend einer detaillierten Bearbeitung unterworfen. Es zeigte sich, daß das INN-Verfahren ausreichend sensitiv auf Metalle anwesenheit reagiert. In einer Entfernung von 4 m vom Testkörper wurden Abnahmen der Zählraten registriert, die mit dessen Anwesenheit im Untergrund in Verbindung standen.

Mit einer eigens entwickelten Software konnte dann folgendes ermittelt werden: - die Abklingkurven ändern sich mit der Distanz zum Testkörper, der letztlich dadurch identifiziert werden kann, daß die berechneten TAU oder SIGMA-Werte einen dem Material entsprechenden Wert annehmen, - die summarischen Zählraten für die Punktmessungen und für individuelle Fenster ändern sich mit Annäherung an den Testkörper, - die höchste Nachweisempfindlichkeit wurde bei einer größeren Sondenlänge erreicht.

Mit dem ausgewiesenen Entfernungswert von 4 m wird es möglich, das INN zur Vorwarnung bei der Minensuche einzusetzen und die Position des Minenkörpers vorauszusagen. Im Ausblick wird die Möglichkeit untersucht, den Inhalt der Mine ebenfalls zu bestimmen.

Wagner, N., Trinks, E., Kupfer, K. (Weimar, MFPA an der Bauhaus-Universität)

Spatial TDR-Sensor Characteristic in High Lossy, Strong Dispersive Subsoil

E-Mail: norman.wagner@mfpa.de

Accurate monitoring of water content profiles in subsoil with spatial time domain reflectometry (spatial-TDR, Heimovaara et al. 2004, Schlaeger 2005) requires precise knowledge of the propagation characteristics of electromagnetic waves along the corresponding sensors in saturated and unsaturated high lossy, strong dispersive soils like bentonite or loamy subsoil (Wagner et al. 2005). In this study the full space spatial sensor characteristic of a 6cm and a 30cm TDR flat band cable sensor section was simulated with finite element modeling (High Frequency Structure Simulator - Ansoft HFSS) under certain conditions: (i) in direct contact to the surrounding material (air, water of different salinities, different synthetic and natural soils (sand-silt-clay mixtures)), (ii) with consideration of a defined gap of variable size filled with air or water, (iii) the cable sensor pressed at a borehole-wall and (iv) inhomogeneous material distribution along the cable sensor.

The complex dielectric permittivity $\epsilon^*(\omega, \tau_i)$ or complex electrical conductivity $\sigma^*(\omega, \tau_i) = j\omega\epsilon^*$ of saturated and unsaturated soils was examined in the frequency range 10MHz-20GHz at room temperature and atmospheric pressure with a HP8720D- as well as a RS ZVR 1127.8551.61 network analyzer. This was performed using a combination of open-ended coaxial-line (HP85070B) and coaxial transmission line technique (sample holder $(7 \times 16 \times 100)mm^3$, $(12 \times 30 \times 120)mm^3$, $(90 \times 200 \times 250)mm^3$).

Three soil-specific relaxation processes are

assumed to act in the investigated frequency-temperature-pressure range (see Fig., Ishida et al. 2000): one primary α -process (main water relaxation) and two secondary (α' , β)-processes due to clay-water-ion interactions (bound water relaxation and the Maxwell-Wagner effect). The dielectric relaxation behaviour of every process is described with the use of a simple fractional relaxation model with asymmetric relaxation time distributions $H(\tau)$ (Hilfer 2002).

The simulation is performed with a $\lambda/3$ based adaptive mesh refinement at a solution frequency of 1MHz, 10MHz, 0.1GHz, 1GHz, 12.5GHz with an interpolating sweep in the frequency range 1MHz-12.5GHz with extrapolation to DC. The electromagnetic field distribution, S-parameter and step response (200ps rise time) were computed in reflection and transmission mode.

The simulation adequately reproduces the spatial and temporal electrical and magnetic field distribution. The sensitivity characteristic of the cable sensor changes along the sensor as a function of the dielectric relaxation behavior of the surrounding material. High-lossy soils cause in dependence of increasing water content c_W and bulk density D a decrease of TDR signal rise time as well as a strong absorption of multiple reflections. Air or water gap work as quasi waveguide, i.e. the influence of the surrounding medium is strongly reduced. Appropriate TDR travel time distortions can be quantified. Changes in dielectric properties along the cable sensor

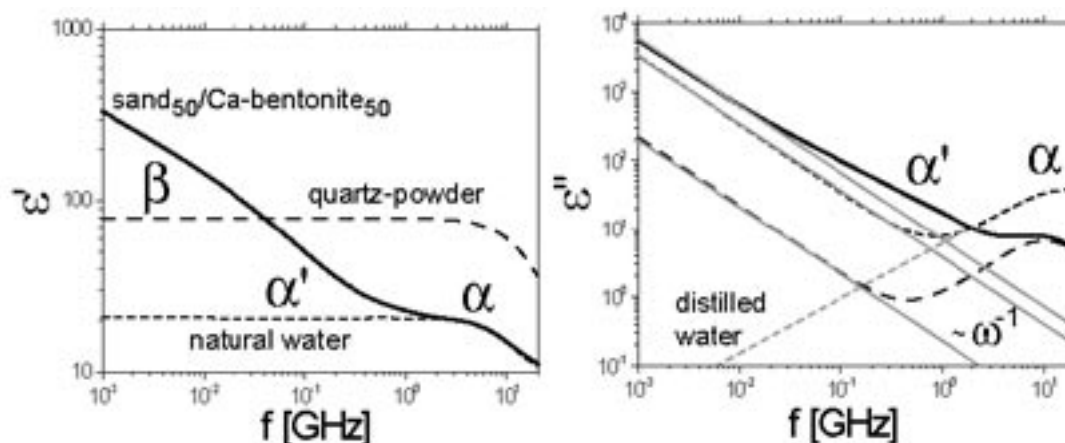


Figure 1: Dielectric spectra of a millisil quartz powder (median grain size $11\mu\text{m}$, water content $c_W = 25.47\text{wt.}\%$, bulk density $D = 1.55\text{g}/\text{cm}^3$, $\sigma_{DC} = 0.012\text{S}/\text{m}$), natural ($\sigma_{DC} = 0.034\text{S}/\text{m}$) or distilled water and a sand₅₀/Ca-bentonite₅₀ mixture (water content $c_W = 28.1\text{wt.}\%$, bulk density $D = 1.75\text{g}/\text{cm}^3$, $\sigma_{DC} = 0.28\text{S}/\text{m}$).

are reproduced. Further investigations in combination with reconstruction algorithms have to point out to what extent the accuracy of water content and porosity profiles can be determined in strong dispersive, high lossy materials.

Heimovaara, T., J., Huisman, J., A., Vrugt, J., A., and Bouten, W. (2004). Obtaining the Spatial Distribution of Water Content along a TDR Probe Using the SCEM-UA Bayesian Inverse Modeling Scheme. *Vadose Zone J*, 3:1128-1145.

Hilfer, R. (2002). H-function representations for stretched exponential relaxation and non-Debye susceptibilities in glassy systems. *Physical Review E*, 65:061510.

Ishida, T., Makino, T., and Wang, C. (2000). Dielectric-relaxation spectroscopy of kaolinite, montmorillonite, allophane, and imogolite under moist conditions. *Clays and Clay Minerals*, 48(1):75–84.

Schlaeger, S. (2005). A fast TDR-inversion

technique for the reconstruction of spatial soil moisture content. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9:481–492.

Wagner, N., Kupfer, K., and Trinks, E. (2005). Development of TDR-sensors for moist materials using HFSS. 6th International Conference on Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances, ISEMA, pages 107-115.

Kreutzmann, A. (Berlin), Neska, A., EMTESZ WG, X. (Warszawa)

Das EMTESZ - Projekt: MT - Messungen ueber die Trans European Suture Zone in Polen

Die Trans-Europaeische Suturezone (TESZ) ist eine der groessten tektonischen Grenzen in Europa. Sie trennt die Osteuropaeische Plattform im Osten von den mobilen palaeozoischen Gebirgsquerteln im Suedwesten und verlaeuft vom Schwarzen Meer durch Polen, die Ostsee und Skandinavien bis in die Nordsee. Der in SW-NE-Richtung durch Polen verlaufende Abschnitt der TESZ wird als Teisseyre-Tornquist-Zone (TTZ) bezeichnet, s. Abb. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene geophysikalische Messungen in diesem Gebiet durchgefuehrt. Das Ziel der Magnetotellurik ist es, ein detailliertes Bild der elektrischen Leitfaehigkeit der Kruste und des oberen Mantels in der Uebergangszone zwischen der Osteuropaeischen Plattform und der Variskischen Front zu erhalten. Auf der Karte sind alle neueren MT-Messpunkte dargestellt, wobei hier insbesondere die beiden NE-SW verlaufenden Profile LT-7 und P2 betrachtet werden sollen, die entlang der frueher vermessenen Seismik-Profile (Kampagnen POLONAISE und LT) gelegt und auch nach diesen benannt wurden (s. Abb.). Die LMT- sowie AMT-Messungen auf diesen Profilen fanden hauptsaechlich in den Jahren 2003 und 2004 statt. Sie wurden von der Polnischen Akademie der Wissenschaften in Warschau (PAS), der Freien Universitaet Berlin (FUB), der Universitaet Uppsala (UU) sowie der Tschechischen Akademie der Wissenschaften in Prag (CZAS) durchgefuehrt, s. Abb. Weitere Projektpartner sind die BGR in Berlin und die geophysikalischen Institute der Russischen Akademie der Wissenschaften in Troitsk, der Universitaet Oulu (Finnland) so-

wie der Ukrainischen Akademie der Wissenschaften in Kiew. Die Profile LT-7 und P2 queren das norddeutsch-nordpolnische Becken. Die oberen 5 km des Untergrundes werden von gut leitenden Sedimenten dominiert, die lediglich im Bereich der TTZ unterbrochen sind, da sie hier infolge von nachtraeglichen Hebungsprozessen erodiert worden sind. Ebenfalls im Bereich der TTZ befinden sich zahlreiche Salzstoেকে. Unter den Beckensedimenten werden im Messgebiet verschiedene tektonische Grenzen vermutet, etwa die Variszische Front (VF), die Trans-European Fault (TEF) und die kaledonische Deformationsfront (CDF, s. Abb.). Der Profilabstand auf dem Profil LT-7 betraegt ca. 10 km, auf dem Profil P2 wurde er an den Raendern des vermuteten Verlaufs der TTZ stark verringert um die Aufloesung zu erhoehen. Der in dieser Darstellung betrachtete Periodenbereich liegt bei 10-10000s. Schon bei Betrachtung der In-

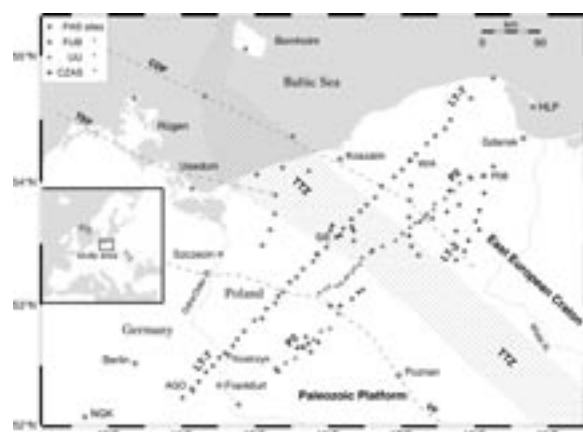


Abbildung 1: Das Messgebiet mit MT - Stationen und geologischen Grenzen. Erlaeuterungen s. Text.

duktionspfeile faellt eine starke Dreiteilung entlang der Profile auf. Im Norden zeigen die Realpfeile eher in noerdliche bis nordoestliche Richtung, im mittleren Teil sind sie sehr klein und im suedlichen Teil weisen sie nach S bis SE. Ihre Maximallaenge erreichen sie bei ca. 1800s. Auch in den Streichwinkelanalysen fuer das Profil LT-7 nach Smith sowie McNeice und Jones zeigen sich Variationen ueber das Profil, insbesondere im mittleren und noerdlichen Teil. Es wurde insgesamt ein frequenz- und stationsunabhaengiger Streichwinkel von -32 Grad berechnet. Allerdings wurden die Daten fuer die 2D-Modellierungen einheitlich um -60 Grad gedreht, da fuer diesen Winkel zusaetzlich Analysen der horizontalen magnetischen Uebertragungsfunktionen mit einflussen (Varentsov, pers. Mitt.). Um jedoch den weiteren Verlauf der Strukturen zu klaeren, die die genannten Inhomogenitaeten in Streichwinkeln und Induktionspfeilen verursachen, wurde im Jahr 2005 die Region im NW des Profils LT-7 vermessen. Dieses Projekt umfasst neben einem kleinen Array in Polen auch Stationen auf Bornholm, Ruegen und Usedom sowie Messungen mit einem an der polnischen Akademie der Wissenschaften konstruierten Offshore-Magnetometer, das in der Ostsee erstmals zum Einsatz kam. Die Untersuchung fuehrte zur Wiederentdeckung einer spektakulaeren Anomalie in den horizontalen magnetischen Uebertragungsfunktionen, die eine von Usedom bis etwa Koszalin entlang der Kueste verlaufende Zone stark erhoelter Leitfaehigkeit nahelegt. In den ersten 2D-Modellen ist deutlich die oberflaechennahe sehr gut leitende Sedimentschicht zu sehen, die, wie bereits erwaeht, im Bereich der TTZ unterbrochen ist. Weiterhin zeigt sich im NE der hochohmige praekambrische Kraton, waehrend die palaeozoische Plattform im

SW anscheinend geringere Widerstaende aufweist. Der Bereich der TTZ ist ausserdem gekennzeichnet durch mehrere kleine nicht zusammenhaengende Strukturen mit deutlich erhoelter Leitfaehigkeit in der mittleren Kruste.

Tezkan, B., Nix, B. (Köln)

Erste Felddaten eines neuen Radiomagnetotellurikgerätes im Frequenzbereich von 10 kHz-1 MHz

Im Rahmen eines EU-Projektes wurde ein neues Radiomagnetotellurikgerät entwickelt, das im Frequenzbereich von 10 kHz bis 1 MHz arbeitet und eine tensorielle Bestimmung der Übertragungsfunktionen ermöglicht. Projektpartner waren die Universitäten St. Petersburg (A. Saraev), Aarhus (N. Christensen), Kiew (D. Schuman) und Bucharest (P. Georgescu). Die Leitung und die Koordination des Projektes wurde von der Univ. Köln durchgeführt, das Gerät wurde in der Univ. St. Petersburg entwickelt.

Die horizontalen Komponenten der elektrischen und magnetischen Felder werden als Zeitreihe registriert und mittels einer Spektralanalyse dieser Zeitreihen werden Übertragungsfunktionen berechnet. Dabei wurde auch die Kohärenz zwischen den senkrecht stehenden elektrischen und magnetischen Feldkomponenten berechnet und anschließend die Übertragungsfunktionen in der Interpretation benutzt, deren Kohärenz >0.8 sind.

Das neue Gerät wurde dieses Jahr auf verschiedene Fragestellungen der Flacherkundung eingesetzt. In diesem Beitrag werden die Messungen in einem kerosinverseuchten Gebiet der Ukraine vorgestellt.

Sowohl auf der kontaminierten als auch auf der ungestörten Geologie (Referenzgebiet) wurden umfangreiche RMT-Messungen mit dem neuen Gerät durchgeführt. Die Daten wurden mit 2D Inversionsrechnungen interpretiert. Es zeigte sich, dass die Leitfähigkeit der kontaminierten Schicht gegenüber der unkontaminierten Schicht des Referenzgebietes deutlich erhöht ist.

Mit dem neuen Gerät ist es weltweit erstma-

lig gelungen, Übertragungsfunktionen im Frequenzband von 10 kHz bis 1 MHz tensoriell zu messen und mit Leitfähigkeitsmodellen zu interpretieren.

Thierner, M. (Bonn), Hördt, A. (Braunschweig)

Aspekte radiomagnetotellurischer Messungen im Hochgebirge

E-Mail: thierner@geo.uni-bonn.de

Bisher war die Geophysik im Bereich von geomorphologischen Fragestellungen, wie zum Beispiel die Struktur und Mächtigkeit von Hangrutschungen, Schutthalden, Kolluvien oder Talfüllungen, mit den klassischen Sondierungsmethoden wie (Hammerschlag-) Seismik oder (Multielektroden-) Geoelektrik vertreten [?].

Die Radiomagnetotellurik (RMT) bietet als passive Messmethode den logistischen Vorteil, dass keine erzeugende Quelle benötigt wird. Dies wird besonders im Gesamtgewicht der Apparatur deutlich. Dabei bietet die RMT ein ähnliches Abbild des Untergrundes wie es beispielsweise die Geoelektrik erzeugt [?]. Bei der Anwendung der RMT im Hochgebirge ergeben sich jedoch spezielle Aspekte, die wir hier untersuchen.

Bei ersten Messungen im oberen Reintal bei Garmisch-Partenkirchen erwies sich die RMT als im Prinzip in Hochgebirge benutzbar. Besonders der logistische Vorteil gegenüber den anderen Messmethoden wurde sofort deutlich.

Jedoch wurde klar, dass eine galvanische Ankopplung an das induzierte elektrische Feld nur mit großem Aufwand zu realisieren ist, der den logistischen Vorteil der Methode wieder zu Nichte macht. Daher wurden kapazitive Elektroden entwickelt, welche eine Ankopplung ohne Spieße ermöglicht. Voraussetzung ist, dass die Ankopplungsimpedanz an den Erdboden kleiner ist, als die Eingangsimpedanz des Messgerätes. Dies wurde durch eine separate Messung der frequenzabhängigen Impedanz verifiziert und mit einem einfachen analogen Schaltkreis simuliert. Die Elektroden sollten leicht und flexibel sein, um auch zu den groben Schottern einer Schutthalde noch guten Kontakt zu haben. Dazu natürlich feldtauglich, das heißt die Elektroden sollen möglichst reißfest sein, ihre Anschlüsse an das Messgerät möglichst stabil.

Die Entwicklung ist inzwischen abgeschlossen und die Elektroden haben sich bereits bei ersten Feldmessungen bewährt. Ein Beispiel sind Messungen auf einer Schutthalde bei Scheven / Eifel. Die Korngröße des

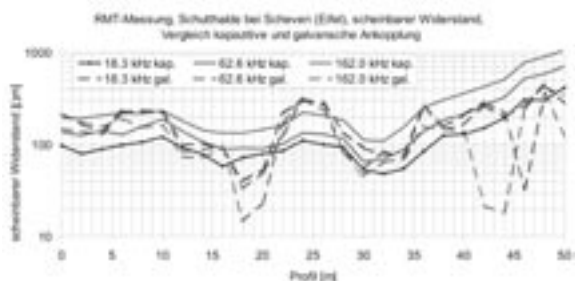


Abbildung 1: RMT-Profil gemessen mit kapazitiver und mit galvanischer Ankopplung - scheinbarer Widerstand

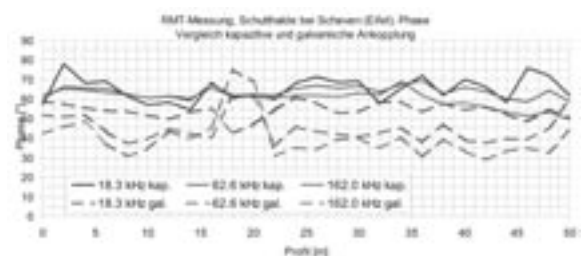


Abbildung 2: RMT-Profil gemessen mit kapazitiver und mit galvanischer Ankopplung - Phase

Schutts dort und seine kompakte (in diesem Fall künstliche) Lagerung entspricht der Situation, wie sie beispielsweise im Reintal vorlag. Deutlich lässt sich im Vergleich der Daten erkennen, dass die mit den kapazitiven Elektroden gemessenen Kurven sehr viel glatter verlaufen als die mit den Spießen gemessenen (siehe Abbildungen 1 und 2). Zudem konnte die Messzeit für ein Profil noch einmal um ein Viertel verbessert werden.

Bei Messungen auf der Krone der Schutthalde stellen wir Einflüsse auf die Messwerte fest, wenn der Messpunkt zu nahe am Rand der Krone lag. Bereits bekannt ist, dass Topographie Einflüsse auf MT Daten hat [?]. In wieweit sich diese Einflüsse auch auf die RMT mit ihren deutlich höheren Frequenzen übertragen lässt, untersuchen wir derzeit in zweidimensionalen Modellrechnungen. In einem weiteren Schritt wollen wir den Einfluss auf die Daten auch auf der Schutthalde noch einmal systematisch untersuchen.

Ebenfalls sind Untersuchungen geplant auf kristallinem Untergrund und Permafrostböden, wie sie in Hochgebirgen vorkommen können. Beide Untergründe zeichnen sich durch sehr hohe spezifische Widerstände aus, so dass für die hohen Frequenzen der Radiomagnetotellurik die Näherung der klassischen MT zur Vernachlässigung der Verschiebungsströme nicht mehr gilt. In Vorwärtsrechnungen für den eindimensional geschichteten Untergrund [?] zeigt sich, dass es durchaus Kombinationen von spezifischen Widerständen, Dielektrizitätszahl und Schichtdicken gibt, bei denen der Einfluss sehr deutlich wird [?]. Für viele typische Kombinationen dieser Werte liegen die Abweichungen zu den Modelldaten ohne Verschiebungsströme allerdings im tolerierbaren Bereich.

Literatur

- [1] L. Persson und L. B. Pedersen, The Importance of Displacement Currents in RMT Measurements in High Resistivity Environments, *Journal of Applied Geophysics*, 51, (1), 11 - 20, 2002
- [2] L. Schrott, G. Hufschmidt, M. Hankammer, T. Hoffmann und R. Dikau, Spatial Distribution of Sediment Storage Types and Quantification of Valley Fill Deposits in an Alpine Basin, Reintal, Bavarian Alps, Germany, *Geomorphology*, 55, (1 - 4), 45 - 63, 2003
- [3] B. Tezkan, A. Hördt und M. Gobashy, Two-dimensional Radiomagnetotelluric Investigation of Industrial and Domestic Waste Sites in Germany, *Journal of Applied Geophysics*, 44, (2 - 3), 237 - 256, 2000
- [4] J. R. Wait; Propagation of Radio Waves Over a Stratified Ground, *Geophysics*, 18, (2), 416 - 422, 1953
- [5] P. E. Wannamaker, J. A. Stodt und L. Ri-jó, Two-dimensional Topographic Responses in Magnetotellurics Modeled Using Finite Elements, *Geophysics*, 51, (11), 2131 - 2144, 1986

Schmucker, U. (Göttingen)

Elektromagnetische Sondierungen in Übergangsbereich von Sq und DP zu Dst

E-Mail: uschmuc@geo.physik.uni-goettingen.de

Es sollen Übertragungsfunktionen für langperiodische erdmagnetische Variationen mit Perioden von ein bis zehn Tagen bestimmt werden, entsprechend Sondierungstiefen von 600 bis 800 km. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Bestimmung der Übertragungsfunktion C , welche sich als Maß für die Eindringtiefe aus dem Verhältnis der Vertikal-komponente (Z) zu den räumlichen Ableitungen der Horizontalkomponenten (H , D) ergibt, und auf die Interpretation von C durch eindimensionale Modelle der elektrischen Leitfähigkeit für den Erdmantel. Es gibt Anzeichen dafür, dass die steile Zunahme der Leitfähigkeit in etwa 600 km Tiefe 1-200 km tiefer einmündet in ein Maximum von deutlich über 1 S/m mit einer Abnahme zu größeren Tiefen hin. Doch der sichere Nachweis für eine solche extrem leitfähige Zone im mittleren Erdmantel ist schwierig angesichts der komplizierten Quellenfeldstruktur im kritischen Periodenbereich, auch wenn dadurch eine wirkungsvolle Überprüfung von Sondierungsergebnissen ermöglicht wird, welche mit Quellenfeldern unterschiedlicher Struktur gewonnen worden sind. Es sind dies im wesentlichen drei Arten von induzierenden äußeren Feldern: Quasi-periodische Variationen des Tagesganges an ruhigen Tagen werden verursacht durch ionosphärische Ströme in mittleren und niederen Breiten (Sq), irreguläre Variationen von Teilstürmen durch polare Elektrojets in hohen Breiten (DP), irreguläre Variationen insbesondere in der Nachphase erdmagnetischer Stürme durch den magnetosphä-

rischen Ringstrom (Dst).

Zwei Gesichtspunkten erhalten besondere Beachtung. Sobald im spektralen Kontinuum irregulärer Variationen Dst Beiträge solche von DP mit wachsender Periode verdrängen, wird die Anwendbarkeit des Gradientenverfahrens zunehmend infrage gestellt, und zwar infolge der abnehmenden räumlichen Strukturierung des Variationsfeldes an der Erdoberfläche. Differenzen in den Horizontalkomponenten können dann zu klein sein für eine genügend genaue Bestimmung ihrer räumlichen Ableitungen. Ein zweites Problem hängt mit dem Einfluss von Induktionsanomalien auf Z zusammen. Um solche Einflüsse zu berücksichtigen, sind 3-variate Regressionen notwendig, in denen die beiden Horizontalkomponenten als zusätzliche Eingabevariablen hinzukommen. Beim Übergang von DP zu Dst entstehen jedoch lineare Beziehungen zwischen den drei Eingabevariablen, welche multiplen Regressionen entgegenstehen.

Die Untersuchungen werden durchgeführt mit Stundenmittelwerten des erdmagnetischen Feldes an 30 europäischen Observatorien für zwei Jahre (1964-65). Es werden Zeitintervalle von jeweils vierzig Tagen Länge gebildet und spektralanalytisch Schätzwerte der Übertragungsfunktionen in acht Frequenzbänder von jeweils 0.2 cpd Breite bestimmt, für Mittenfrequenzen von 0.1 cpd bis 1.5 cpd entsprechend Perioden von 16 Std. bis 10 Tagen.

Schwarzbach, C., Spitzer, K. (Freiberg)

FEM-Lösung der Maxwell-Gleichungen im Frequenzbereich

E-Mail: schwarzb@geophysik.tu-freiberg.de

Die Lösung der Maxwell-Gleichungen im Frequenzbereich ist für viele elektromagnetische Verfahren und verschiedene Spektralbereiche von Interesse. Unser konkreter Anwendungsfall ist die Simulation von Radargrammen (GPR) mit dem Ansatz einer Frequenzbereichsmodellierung und anschließender Foursiersynthese der Zeitreihen. Die grundlegende Problematik, die in diesem Beitrag vorgestellt wird, betrifft jedoch auch die niederfrequenten Verfahren.

Einen gängigen Ausgangspunkt für die numerische Lösung der Maxwell-Gleichungen im Frequenzbereich bildet die Vektor-Wellengleichung (Rot-Rot-Gleichungen) für das elektrische Feld. Ihre Lösungen erfüllen die Divergenzfreiheit der Verschiebungsstromdichte implizit. Für niedrige Frequenzen wird die Lösung jedoch zunehmend instabil gegenüber Störungen, z. B. durch unvermeidliche Rundungsfehler der Computerarithmetik. Ursache ist der große Nullraum des Rotationsoperators. Bei hinreichend niedrigen Frequenzen ist es möglich, die gesuchte Lösung durch ein beliebiges Gradientenfeld zu stören, ohne die Gültigkeit der Vektor-Wellengleichung *in Maschinengenauigkeit* zu verletzen. Aus diesem Grund wird zum einen der Vektor-Wellengleichung ein Regularisierungsterm hinzugefügt und zum anderen die Gültigkeit der Divergenzbedingung explizit gefordert. Die resultierende Randwertaufgabe stellt ein gemischtes Problem für das gesuchte elektrische Feld sowie für ein Skalarpotential dar.

Die Lösung der Randwertaufgabe erfolgt mit der Methode der Finiten Elemente (FEM). Für die Diskretisierung von Vektorfeldern, wie dem elektrischen Feld, kommen spezielle Finite-Elemente-Typen zum Einsatz. Diese sogenannten Kanten-/Nédélec-/Whitney-Elemente spiegeln adäquat die Stetigkeitsbedingungen der Tangentialkomponenten des elektrischen Feldes über Elementgrenzen hinweg wieder, ermöglichen jedoch Sprünge in der Normalkomponente. Das aus der FEM resultierende System linearer Gleichungen enthält als Unbekannte die stetigen Feldkomponenten – die Tangentialkomponenten des elektrischen Feldes entlang der Kanten und auf Flächen der Elemente – sowie u. U. das Feld im Inneren der Elemente. Bei der regularisierten Formulierung kommt zusätzlich das Skalarpotential an den Ecken und ggf. auf Kanten, Flächen und im Inneren der Elemente hinzu, das jedoch mit den klassischen, knotenbasierten Lagrange-Elementen diskretisiert wird.

Martin, R. (Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie), Scholl, C. (University of Toronto, Department of Physics), Koch, O., Tezkan, B., Helwig, S. L. (Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie)

3D-Inversion transientelektromagnetischer Daten

E-Mail: roland.martin@geo.uni-koeln.de

Die rasch fortschreitende Entwicklung im Bereich der elektromagnetischen Tiefenfor- schung erlaubt es, dass TEM-Messungen zunehmend auf dreidimensionale Fragestel- lungen angewandt werden. Jedoch fehlt bislang eine geeignete Inversionssoftware für eine dreidimensionale Interpretation von TEM-Daten. Die Lösung des 3D-TEM- Inversionsproblems ist, trotz des relativ ho- hen Entwicklungsgrads moderner Computer, immer noch eine große Herausforderung und bekannten Lösungen befinden sich derezeit im Entwicklungsstadium. Dies liegt vor al- lem daran, daß eine schnelle und zuverlässige Vorwärtslösung der nichtlinearen EM- Diffusionsgleichung benötigt wird. Außerdem ist das Inversionsproblem großskalig, übli- cherweise mit einigen tausend Datenpunkten und einigen zehntausend Modellparametern, weswegen bekannte Lösungen nur auf Groß- rechenanlagen implementiert sind und nur dort genutzt werden können. Weiterhin ist das Problem aufgrund der limitierten Menge von Daten, die zusätzlich verrauscht sind, nicht eindeutig lösbar.

Um eine schnellere mehrdimensionale In- terpretation von TEM-Daten zu ermöglichen, wird am Institut für Geophysik und Meteor- ologie der Universität zu Köln ein entsprechen- der Inversionsalgorithmus entwickelt. Das Be- sondere des Inversionsprogramms ist zum einen, dass eine effektive Methode zur Sen- sitivitätsberechnung direkt im Zeitbereich und

zum anderen, dass ein impliziter Vorwärtslö- ser für 3D-TEM-Probleme benutzt wird. Aus den berechneten Sensitivitäten und einer ge- eigneten Regularisierung des Modells wird der Gradient der Kostenfunktion bestimmt. Die Lösung des Optimierungsproblems wird daraufhin durch herkömmliche Koonjugierte- Gradienten-Verfahren erreicht. Erste Tests mit synthetischen TEM-Daten zeigen bereits viel- versprechende Ergebnisse.

Webseite: <http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomat/geo/forschung/indien/index.html>

Neumann, J., Bergers, R., Helwig, S. L., Hanstein, T. (Institut für Geophysik und Meteorologie), Kozhevnikov, N. (Institut of Geophysic of SB RAS, 3, Prospect Koptyyga, Novosibirks, 630090, Russia), Tezkan, B. (Institut für Geophysik und Meteorologie)

Messung der Transientelektromagnetik-Antwort von Bohrkernproben

E-Mail: neumannj@geo.uni-koeln.de

TEM-Messungen auf einer ehemaligen Bauschuttdeponie in Köln führten zur Hypothese, dass superparamagnetisches (SMP) Material die gemessenen TEM-Transienten verursachen. Diese Transienten zeigen in späten Zeiten einen Abfall von $t^{-1.2}$, was für SMP charakteristisch sein kann.

Um diese Hypothese zu überprüfen, wurden im Labor die TEM-Antworten von Bohrlochproben der Altlast gemessen und mit den TEM-Antworten von Vergleichsproben verglichen (Lab-TEM). Die Kontrollproben bestehen aus superparamagnetischem Boden, getrocknetem Quarzsand und getrockneten Quarzsand mit Kugellagerkugeln.

Lab-TEM, das im Institut für Geophysik und Meteorologie neu entwickelt wurde, besteht aus einer großen Sendespule und zwei differentiell geschalteten Empfangsspulen. Die Induktion des Primärfelds in den beiden Empfangsspulen hebt sich gegenseitig auf und verhindert die Übersteuerung der Empfangselektronik. Als Sender- und Empfänger-elektronik wurde die Kölner NanoTEM-Ausrüstung verwendet. Aus numerischen Berechnungen und Messungen mit Salzwasser ergab sich, dass nur Proben mit einer Leitfähigkeit weit über der normalen Bodenleitfähigkeit messbare Signale erzeugen würden. Die Messung wurde mit dem Programm FEM-LAB simuliert. So konnte die Messung mit einem genau abgemessenen Aluminium-Zylinder auf systematische Fehler überprüft werden.

Die Messung von TEM-Antworten von Bodenproben ist mit Lab-TEM erfolgreich durchgeführt worden. Die TEM-Antwort von SPM-Boden zeigt im Einklang mit der Theorie einen Abfall von t^{-1} . Keine der Bohrlochproben der Altlast zeigt einen Transienten ähnlich zu den SPM-Proben. Einige Bohrlochproben zeigen Transienten ähnlich zu den Proben mit Stahlkugeln. Überraschend ist, wie viele Bohrlochproben einen messbaren Transienten erzeugen. Es liegt die Vermutung nahe, dass es sich um Metalleinschlüsse handelt.

Schwalenberg, K. (BGR), Scholl, C. (University of Toronto), Willoughby, E.C. (Pacific Geoscience Centre, Geological Survey of Canada), Mir, R., Yuan, J., Edwards, R.N. (University of Toronto)

Marine Gas Hydrate Assessment Using a Towed Controlled Source Electromagnetic System: Latest Results from Cascadia

E-Mail: k.schwalenberg@bgr.de

Marine controlled source electromagnetic (CSEM) methods have become an important and valuable tool in the detection of offshore hydrocarbon targets. Oil, gas and gas hydrate increase the formation resistivity of a sediment layer if they form in sufficient quantity to block previously interconnected pore spaces. The Cascadia Margin, to the west of Vancouver Island, British Columbia has been the focus of intensive studies on gas hydrates which have been identified on seismic sections, by direct sampling and from the analyses of cores and logs collected by the Ocean Drilling Program (ODP). Gas hydrates are a source of a large volume of methane gas and are recognized as an important future energy resource. In the summers of 2004 and 2005, we conducted a marine CSEM experiment in the vicinity of ODP sites 889 and 890 over an area characterized by several seismic blank zones. We used a ship-towed, electric dipole-dipole transient electromagnetic system developed at the University of Toronto. The transmitter-receiver array is dragged along profiles on the seafloor. The current signature is a square wave generated by a shipboard transmitter and sent through a coaxial winch cable to the transmitter dipole on the seafloor. The receiver array consists of pairs of silver-silver chloride electrodes each with its own amplifier, clock, processor and data storage. A simple analysis of the data obtained reveals a clear increase

in resistivity over the blank zones. Resistivities rise from background values in the range of 1.1 Ohm m to 1.5 Ohm m to more than 5 Ohm m. These values are highly anomalous for the upper seafloor. We believe that a higher hydrate concentration within the blank zones, probably accompanied by free gas, explains the resistivity anomalies. The amount of hydrate in the anomalous zones has been estimated to be as large as 50 per cent of the available pore space making them interesting targets for the exploration community.

Steuer, A., Siemon, B., Rehli, H.-J. (Hannover, BGR)

HELicopter Project ACEH - HELP ACEH

E-Mail: a.steuer@bgr.de

Das Erdbeben der Magnitude 9,3 vom 26. Dezember 2004 und der unmittelbar folgende Tsunami haben die Provinz Aceh im Norden Sumatras, Indonesien, schwer getroffen. Mehr als 120.000 Menschen haben ihr Leben verloren und 80 % der privaten Häuser, der Infrastruktur und der öffentlichen Einrichtungen in den Küstenregionen der Provinz Aceh wurden zerstört. Die Tsunami-Wellen haben an den Küsten großflächig Überschwemmungen mit Salzwasser verursacht und tausende von flachen Trinkwasserbrunnen zerstört. Die tieferen Grundwasserleiter in den Küstenebenen sind zwar häufig durch oberflächennahe Tonschichten gegen das Eindringen von Salzwasser der Tsunami-Wellen geschützt, doch gibt es auch Salzwasserintrusion in diese Aquifere. Vielerorts werden oberflächennahe Notbrunnen gebohrt, die häufig nur kleine Mengen süßen Grundwassers fördern.



Abbildung 1: Lage der Messgebiete Banda Aceh, Calang-Meulaboh und Sigli in der Provinz Aceh im Norden Sumatras.

Das indonesisch-deutsche Projekt HELP-ACEH der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) unterstützt die indonesischen Partner DGGMR/DJGSM (Directorate General for Geology and Mineral Resources), BRR (Executive Agency for the Rehabilitation and Reconstruction in Aceh and Nias) und BAPPENAS (National Development Planning Agency) bei einem nachhaltigen Wiederaufbau von öffentlichen und privaten sowie der kommunalen Wasserversorgung, indem geophysikalische, geologische, hydrogeologische und topo-

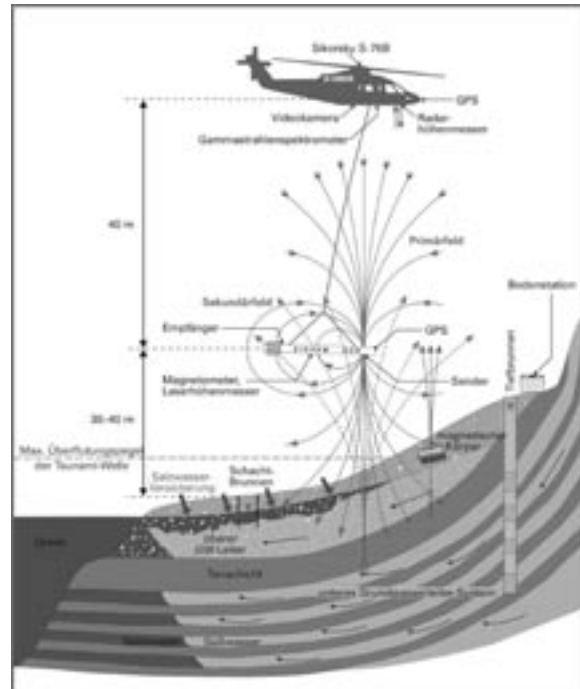


Abbildung 2: Skizze des Hubschraubermesssystems und der hydrogeologischen Verhältnisse.

graphische Daten als Basisdaten für weitere Planungen bereitgestellt werden. Das Projekt wird finanziert aus Haushaltsmitteln der BGR, die dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) nachgeordnet ist, und vom Bundesministerium für Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) sowie von der Indonesischen Regierung.

Zur aerogeophysikalischen Erkundung der aktuellen Grundwassersituation schickte die BGR ihr Hubschraubermesssystem in die Provinz Aceh im Norden Sumatras. Die Hubschrauberbefliegung fand von August bis Oktober 2005 in den Messgebieten Banda Aceh und Calang-Meulaboh (siehe Abb. 1) statt. Erfahrene Hydrogeologen der BGR und meist junge Hydrogeologen und Geophysiker des Projektpartners DGGMR begleiteten die BGR-Hubschraubergruppe. Ihre Aufgabe war es, bei der Interpretation der hubschrauberelektromagnetischen (HEM) Daten mitzuwirken und eine hydrogeologische Übersichtserkundung in den Messgebieten durchzuführen.

Im Anschluss an das HELP-ACEH-Projekt wurde eine weitere Befliegung sowie bodengeophysikalische Messungen im Gebiet um den Ort Sigli an der Nordküste Sumatras durchgeführt, finanziert durch CCFI (Coca Cola Foundation Indonesia).

Das Hubschraubermesssystem (Abb. 2) der BGR umfasst die Methoden Elektromagnetik, Magnetik und Radiometrie. Mit HEM-Daten zu fünf Messfrequenzen im Bereich 387 Hz bis 133.200 Hz wird die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit bis in maximal 150 m Tiefe bestimmt. Die Eindringtiefe der EM-Felder ist nicht nur abhängig von der

Frequenz, sondern auch von der elektrischen Leitfähigkeit im Erduntergrund. Hohe Leitfähigkeiten und hohe Messfrequenzen bewirken ein geringeres Eindringen als hohe spezifische Widerstände und niedrige Frequenzen. Da die elektrische Leitfähigkeit sowohl von der Gesteinsmatrix als auch von der Porenflüssigkeit abhängt, können tonhaltige Sedimente von sandigen wie auch Salz- von Süßwasser unterschieden werden.

Der Einsatz der HEM resultiert in dringend benötigten Übersichtskarten und Vertikalschnitten, die Informationen zu oberflächennahen Salzwasserkontaminationen, Salzwasserintrusionen, Süßwasservorkommen, Grundwasserstauern und -leitern liefern. Die Salzwasserkontaminationen und -intrusionen erstrecken sich teilweise mehrere Kilometer weit in das Landesinnere. Dennoch konnten küstennahe Süßwasservorkommen ausgewiesen werden, die für die Instandsetzung alter sowie das Abteufen neuer Brunnen geeignet erscheinen.

Auf dem Poster von Siemon et al. (2006) werden die Ergebnisse des Messgebietes Banda Aceh ausführlich präsentiert.

Siemon, B., Steuer, A., Meyer, U., Rehli, H.-J. (2006): Post-tsunami helicopter-borne electromagnetics along the coasts of Aceh, Indonesia. Poster Präsentation, 66. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Bremen.

Hendricks, S., Haas, C. (Alfred Wegener Institut, Bremerhaven), Haapala, J. (Finnish Institute for Marine Research, Helsinki)

Vergleich von Laser- und Radaraltimetermessungen der Meereisoberfläche in der Ostsee mit elektromagnetischer Eisdickensondierung

E-Mail: shendricks@awi-bremerhaven.de

Seit Beginn der weltraumgestützten Beobachtungssysteme kann die Ausdehnung des Meereises in den polaren Gebieten zuverlässig bestimmt werden. Die Dicke des Meereises jedoch muss mithilfe von Altimeterprofilen oder Strahlungseigenschaften der Oberfläche abgeleitet werden. In der Altimetrie wird zwischen Laser- und Radarverfahren unterschieden. Erstere Methode ist sensitiv für die Luft-Schnee Grenzschicht, letztere bestimmt die Höhe der Eis-Schnee Grenzschicht über dem Meeresniveau (Freibord). Die Eisdicke wird unter der Annahme von hydrostatischen Gleichgewicht aus den Elevationen bestimmt. Die größte Unsicherheit besteht bei beiden

Methoden in der nicht bekannten Mächtigkeit der Schneeschicht. Zusätzlich kann sich bei deformierten Meereis das Verhältnis von Freibord zu Tiefgang aufgrund der veränderten Dichte durch Wassereinschlüsse im Eis ändern, so dass lokale Abweichungen von der mittleren Dichte des schneebedeckten Meereises zu berücksichtigen sind.

Im März 2005 wurden Laser- und Radaraltimetermessungen (LaRa) im Bottnischen Meerbusen in der Ostsee durchgeführt. Zum Einsatz kam das Airborne Synthetic Aperture and Interferometric Radar Altimeter System (ASIRAS) der Europäischen Weltraum Agentur ESA zur Bestimmung des Freibordes, sowie zwei Lasersysteme zur Messung der Elevation der Schneebedeckung. Entlang diesen Flugprofilen wurden außerdem helikopterbasierte Elektromagnetikmessungen durchgeführt, mit welchen die totale Dicke, bestehend aus Meereis und Schneebedeckung direkt bestimmt wurde. Entlang eines 2200 m langen Profils wurden zusätzlich alle relevanten Parameter mithilfe von Bohrungen zur Validierung der luftgestützten Messungen bestimmt. Das Verhältnis von Elevation über Meerespiegel und Dicke entlang des Bohrprofils ist in Abbildung 1 dargestellt. Die weiteren überflogenen Gebiete unterscheiden sich z.T. in der Dicke der Eisschollen als auch in der Dicke der Schneeschicht von der Region der Validierungslinie, welche nur eine geringe Schneebedeckung aufwies. Daher ist eine repräsentative

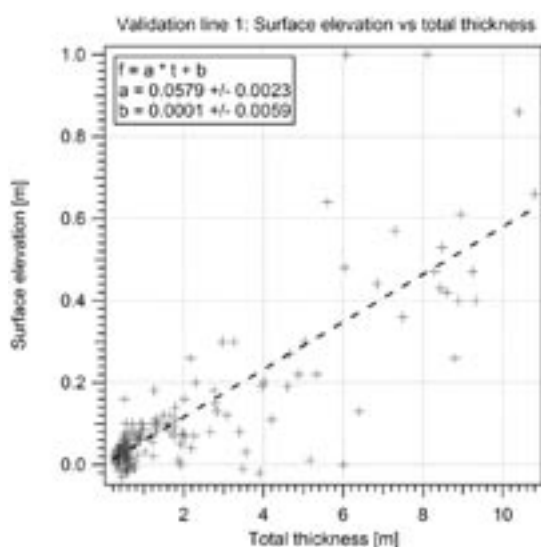


Abbildung 1: Beziehung zwischen Elevation über Meeresniveau und totaler Dicke (Eis + Schnee) entlang einen 2200 m langen Profils

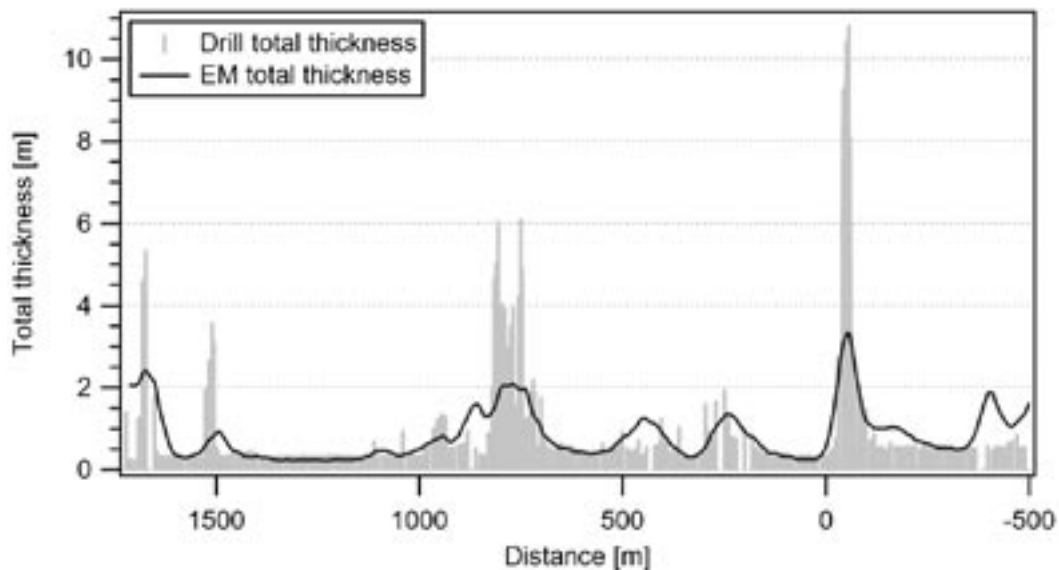


Abbildung 2: Vergleich von totaler Dicke (Eis + Schnee) entlang eines 2200 m langen Profils gemessen durch Bohrungen und Elektromagnetik (durchgezogene Linie).

Untersuchung des einjährigen Meereises der Ostsee gewährleistet.

Mit den Datensätzen aus den verschiedenen Methoden kann daher das Verhältnis von gemessenem Altimeterprofil und realer Eisdicke grundlegend untersucht werden. Für die Referenzhöhe des Meeresspiegels müssen kontinuierlich Stellen von eisfreien Wasser in den Altimeterdaten identifiziert werden. Diese Stellen werden ebenfalls verwendet um die Unterschiede in den Altimeterprofilen von Laser und Radar zu kalibrieren.

Bei der Auswertung der Elektromagnetik Daten wird auf ein einfaches 1D-Modell mit Meereis und Schnee als Nichtleiter zurückgegriffen. Während diese Annahme trotz des geringen Leitfähigkeitskontrastes, hervorgerufen durch die geringe Salinität des Ostseewassers, über undefor miertem Eis gute Ergebnisse erzielt, wird die tatsächliche Eisdicke von defor mierten Eis durch die Elektromagnetik deutlich unterschätzt (siehe Abb. 2). Dies

ist vor allen auf erhöhte Leitfähigkeit innerhalb des defor mierten Eises und auf die Größe des EM Footprints, welcher die Ausdehnung der Presseisrücken übersteigt, zurückzuführen. Für den Vergleich mit Altimeterdaten sind diese 3D Strukturen des Meereises jedoch besonders interessant.

Webseite: <http://www.awi-bremerhaven.de/Modelling/SEAICE/>

Hilbich, C. (FSU Jena), Hauck, C. (Forschungszentrum Karlsruhe), Scherler, M., Schudel, L. (Uni Zürich), Völksch, I. (ETH Zürich), Hoelzle, M. (Uni Zürich)

Geophysical Observation and 4-Phase-Modelling of Ice Content Evolution - GO 4 ICE

E-Mail: christin.hilbich@uni-jena.de

Im Rahmen des GO 4 ICE Projektes (Geophysical Observation and 4-Phase-Modelling of Ice Content Evolution) werden neue geophysikalische Monitoring-Systeme an verschiedenen Permafrost-Standorten der Schweizer Alpen eingerichtet. Ziel ist die langfristige Beobachtung der Permafrost-Entwicklung und insbesondere die quantitative Erfassung von Degradationserscheinungen im Gebirgspermafrost.

Dieses Projekt baut auf den Ergebnissen einer Pilot-Studie am Schilthorn (Berner Oberland, Schweiz) auf. Seit September 1999 werden im Rahmen eines Monitoring-Ansatzes regelmäßig Geoelektrik-Messungen am Schilthorn durchgeführt, um die Entwicklung des Permafrostes auf verschiedenen Zeitskalen zu beobachten. Grundlage bildet ein dauerhaft installiertes Monitoring-Profil aus 30 Elektroden im Abstand von 2 m mit einer Erkundungstiefe von etwa 10 m. Die Elektroden wurden 1 m tief im Untergrund vergraben und die Kabel in einer manuellen Switch-Box zusammengeführt, um ganzjährigen Zugriff sicherzustellen (auch unter Schneebedeckung).

Aufgrund der Annahme, dass in einem fest installierten Profil (unveränderte Randbedingungen) die Änderungen des elektrischen Widerstandes über die Zeit allein auf Gefrier- und Tauprozesse im Untergrund zurückgeführt werden können, lassen die Daten Rückschlüsse über die Entwicklung des Permafrostes bzw. der jeweiligen Anteile an Eis und

ungefrorenem Wasser zu. Das Ergebnis dieses Monitorings bilden über 90 Datensätze über einen Zeitraum von 7 Jahren, welche die Widerstandsänderungen über verschiedene Zeitskalen repräsentieren.

Diese Datenreihe zeigt charakteristische Jahresgänge im Verlauf der Gefrierfront innerhalb der Auftauschicht, die sich durch zunehmende Widerstände im Winter und abnehmende Widerstände im Sommer bemerkbar machen. Auch Tagesgänge im Bereich der Auftauschicht können anhand signifikanter Änderungen der Widerstandsverteilung im Untergrund aufgelöst werden. Darüber hinaus ist eine deutliche saisonale Abhängigkeit des absoluten Wertebereichs der Widerstände zu erkennen. Neben regelmäßigen saisonalen Mustern spiegeln die Daten ebenfalls die extrem warmen Verhältnisse im Sommer 2003 wider, welcher durch vergleichsweise geringe Widerstände gekennzeichnet ist.

Die Datenreihe demonstriert die generelle Anwendbarkeit geoelektrischer Tomographien für die langfristige Beobachtung der Permafrost-Entwicklung im Hochgebirge.

Neben qualitativen Aussagen zu Gefrier- und Tauprozessen wird im nächsten Schritt die quantitative Bestimmung des Eisgehalts im Untergrund angestrebt. Dazu wird zusätzlich zu regelmäßigen geoelektrischen Messungen mindestens eine deckungsgleiche refraktionsseismische Messung an jedem Standort durchgeführt. Mit dem von Hauck et al. (2005) entwickelten 4-Phasen-Modell (ba-

sierend auf Archies Law und der seismischen Mischungsregel von Timur (1968)) kann unter Verwendung zweier komplementärer Datensätze neben der festen Phase (Fels) und dem Anteil an luft- und wassergefüllten Poren auch der Eisgehalt im Porenraum quantitativ bestimmt werden. Messungen der elektrischen Widerstände über längere Zeiträume erlauben somit zusätzlich die Beobachtung der Entwicklung des Eisgehaltes im Hochgebirgspermafrost, der sowohl für geotechnische Fragestellungen als auch für Energiebilanzierungen einen wichtigen Parameter darstellt.

Literatur

Hauck, C., Böttcher, M., Kottmeier, C. (2005): Modellierung von 4-Phasen-Gemischen in gefrorenem Untergrund auf der basis von Geoelektrik und Seismik.- 65. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 21.-25.02.2005, Graz.

Timur, A. (1968): Velocity of compressional waves in porous media at permafrost temperatures. *Geophysics*, 33(4): 584-595.

Göbell, S., Hendricks, S., Haas, Ch. (AWI Bremerhaven)

Helikoptergestützte Laseraltimetermessungen über Meereis und Vergleich mit Eisdickendaten

E-Mail: sgoebell@awi-bremerhaven.de

Bisher war es mit Satellitenmissionen möglich, die Ausdehnung der Meereisbedeckung zu erfassen. Die Dicke kann erst seit kurzem aus der von ICESat gemessenen „surface elevation“ abgeleitet werden.

Hierbei definieren wir „surface elevation“ als Höhe der Schneeoberfläche über dem Meeresspiegel. Wir haben diese Messungen mit einem Sensor durchgeführt, der an einem 20m langen Seil unter einem Helikopter geschleppt wird. Der Sensor beinhaltet ein Laseraltimeter sowie ein differentielles GPS (DGPS). Die „surface elevation“ ergibt sich aus der Differenz der gemessenen Laserentfernung zur Schneeoberfläche und der Höhe des Instruments über dem Meeresspiegel, die mittels DGPS bestimmt wird. Die Bezugsfläche für DGPS Messungen ist das WGS 84 Ellipsoid. Unter Annahme eines Geoidmodells erhält man die Höhe bzgl. des Geoids, das den Meeresspiegel approximiert. Trotz der Verwendung des derzeit aktuellsten Geoidmodells, das aus einer Kombination eines speziellen Geoids für die Arktis und dem jüngsten GRACE Geoid besteht, kommt es aufgrund der unbekanntenen Meerestopographie und Geoidfehler zu Abweichungen gegenüber dem aktuellen, lokalen Meeresspiegel. Deshalb ist die Differenz der Messungen von Laser und DGPS über Wasser nicht gleich Null. Um diese Differenz auf das Niveau des aktuellen Meeresspiegels zu reduzieren, detektieren wir die niedrigsten Werte, die offenes

Wasser darstellen, manuell und subtrahieren diese anschließend von der Differenz, um die „surface elevation“ zu erhalten.

Es wurden mehrere Flüge in der Arktis und Antarktis durchgeführt, bei denen zusätzlich die Eisdicke simultan gemessen wurde. Hierfür wurde ein elektromagnetisches Instrument verwendet, das ebenfalls in dem Sensor unter dem Helikopter geschleppt wird. Vergleiche der „surface elevation“ bzw. der daraus resultierenden Eisdicke mit der direkt gemessenen Eisdicke zeigen eine gute Übereinstimmung. Die Unkenntnis der Schneedicke hat entscheidende Auswirkungen auf die Transformation von „surface elevation“ in Eisdicke. Es ist jedoch möglich, die Eisdicke ohne direkte Kenntnis der Schneedicke zu bestimmen. Diese läßt sich im Anschluss an die Transformation berechnen. Die mächtigere berechnete Schneedicke für die Antarktis wird durch die gemessenen Schneeprofile im Feld bestätigt.

Webseite: <http://www.awi-bremerhaven.de/Modelling/SEAICE/>

Dinske, C., Kummerow, J., Shapiro, S.A. (FU Berlin), Asch, G. (GFZ Potsdam)

Induced Microseismicity Guided By A Fault System - The 2004-2005 Injection Experiment At The KTB Site

Recent hydraulic experiments at the KTB site in Bavaria (Germany) demonstrated that seismicity induced by long-term fluid injection directly into a continental crustal fault is guided by this fault. A combination of sequential one-year fluid production (2002/2003) and one-year fluid injection (2004/2005) experiments in the pilot hole has shown that only positive pore pressure perturbation caused by the injection was able to induce seismicity. Moreover, the onset of seismicity roughly coincides with the time of compensation of the fluid volume extracted during the production experiment by the following injection. This indicates that pressure diffusion may be a dominant mechanism of seismicity triggering in the case of fluid injections. It seems that the probed fault, which is the seismic SE2 reflector, is seismically more stable than rock volumes stimulated during previous injection experiments (years 1994 and 2000). The recent experiment produced less seismicity for the same order of averaged injection pressure and a much larger amount of injected fluid volume. Microseismic events have been released by weak pore pressure perturbations as low as 0.01-1 bars estimated at the hypocenters. The SE2 reflector shows a significant anisotropy and a non-linear behaviour of its hydraulic properties according to flow and pressure data of the last production and injection experiments. It is characterized by a positive correlation to seismic reflectivity. The hydraulic diffusivity and permeability of rocks in the SE2 reflector are up to one order of magnitude larger than that of surrounding rocks and one order of magnitude lower than that of the

corresponding SE1 reflector at larger depths. In order to analyze the influence of long-term production or injection experiments on elastic and hydraulic properties at the KTB site a pressure analysis is shown which allows to quantify parameters as i.e. effective wellbore radius and skin factor.

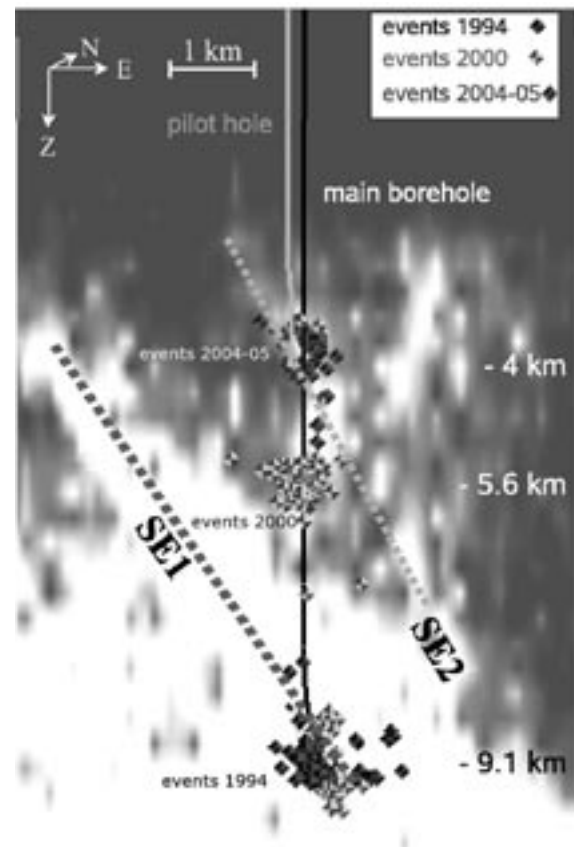


Figure 1: Depth migrated image ISO89-3D. The seismic reflection intensities are shown in gray colour-scale. Light colours correspond to large reflection intensities and darker colours to lower ones, respectively. Additionally, seismicity induced by injection experiments of years 1994, 2000 and 2004/2005 is shown.

Erzinger, J. (GFZ Potsdam), Kümpel, H.-J. (GGA-Institut, Hannover), Shapiro, S. (FU Berlin), KTB-VB Science Team, X. (NN)

Massive Hydraulic Tests in 4 km Deep KTB Pilot Hole Completed

E-Mail: kuempel@gga-hannover.de

A series of massive hydraulic tests at Germany's super deep drill site KTB has focused on transport processes of energy and fluids in crystalline crust. The experiments have further exploited the scientific potential of the 4.0 km deep pilot hole (VB) and the 9.1 km deep main hole (HB). A research target of particular interest for the new tests was a major fault system known as SE2 seismic reflector. It is intersected by the boreholes at ca. 4.0 km depth. The KTB site allows to study in-situ hydraulic parameters of such a structure on the kilometre scale and e.g., to verify the mechanical stability of the crust if submitted to elevated pore pressure. The fault system SE2 is hydraulically accessible through the open hole part of KTB-VB i.e., from 3.85 to 4.0 km depth. The 1st experimental phase was a massive pump test in KTB-VB with production of 22 300 m³ of saline formation fluids. Seismic activity, recorded both at the surface and inside KTB-HB at depths down to 3.9 km, was absent during the pumping. The 2nd experimental phase was a massive fluid injection test in KTB-VB. It started in June 2004, following a 12 months period of recovery from the pump test, and ended in April 2005. Over these 10 months, 84 600 m³ of fresh water were injected at rate 200 l/min, on average. Pressure build-up was surprisingly low and varied between 95 and 120 bar (well head). The fault zone at 4 km depth was found to have a bulk permeability of roughly 2×10^{-15} m². Induced seismicity started in September 2004 i.e., with a

delay of about 3 months with respect to the onset of the injection. Up to the end of the test, roughly 3000 events were recorded by the deep borehole seismometer inside KTB-HB and 200 events by surface stations. Seismicity occurred mostly within 1 km distance of the injection. The delay in the onset of the seismic activity is believed to be due to incomplete recovery from the previous pump test at the date when the injection began. This view is supported by fluid level observations in KTB-HB which is in weak hydraulic contact with KTB-VB: The height of the fluid level in KTB-HB steadily rose from nearly 40 m below surface, at the beginning of the test, up to the surface in October 2004. Further investigations of the 2nd phase include large scale DC measurements, near surface tilt-monitoring, and active seismic reflection measurements to find out whether the forced hydraulic inflation of the fault zone can be imaged from the surface. Although detailed interpretation work is ongoing, three major conclusions can already be drawn: (1) The fault system SE2 probed at depth 4 km under in-situ conditions is a virtually open hydraulic system; (2) bulk permeability of the fault system is surprisingly high; (3) massive pumping at that depth has mechanically stabilized the crust. Future use of the KTB boreholes for scientific or other purposes is presently open.

Web page: <http://www.icdp-online.de/sites/ktbhydraulic/news/news.html>

Heesemann, M., Villinger, H. (Universität Bremen), Fisher, A. T. (University of California, Santa Cruz), Trehu, A. (Oregon State University, Oregon), Witte, S. (ANTARES Datensysteme GmbH)

Bestimmung von in-situ Temperaturen in IODP Bohrlöchern mit dem neuen APC3: Erste Tests und Messungen

E-Mail: heesema@uni-bremen.de

Messungen von in-situ Temperaturen liefern wichtige Randbedingungen für viele dynamische Prozesse, die in den Geowissenschaften untersucht werden. Daher wurden schon in den ersten Deep Sea Drilling Project (DSDP) Bohrlöchern Temperaturen gemessen. Seit 1984 sind im Rahmen des DSDP und des ODP auch Geräte im Einsatz, die es erlauben während der Kernentnahme mit dem Advanced Hydraulic Piston Corer (APC) in-situ Formationstemperaturen zu bestimmen. Das hier vorgestellte APC3 ist die dritte Generation dieser Messgeräte (APCT) und wurde in einem von der DFG und der NSF geförderten Gemeinschaftsprojekt an der Universität Bremen und der University of California in Santa Cruz in Zusammenarbeit mit der Firma Antares entwickelt. Ein neues APCT wurde zum einen notwendig, da fast alle alten Geräte bei zahlreichen erfolgreichen Einsätzen mit der Zeit beschädigt wurden oder verloren gingen. Zum anderen erfordern viele der aktuellen wissenschaftlichen Fragestellungen genauere, hochauflösendere und robustere Temperaturmessungen, als sie mit den in die Jahre gekommenen APCTs möglich sind.

Das APC3 besteht aus einem in einer Metallkanüle eingebetteten Thermistor und einem programmierbaren Temperaturdatenlogger. Diese Bauteile sind auf einem zylindrischen Rahmen montiert und passen genau in einen Hohlraum, der sich oberhalb des APC

Schneidringes befindet. Die Messung der Formationstemperatur findet bei der Kernentnahme mit dem APC statt. Dabei wird das APC3 ca. 9 m in das Sediment im Bohrlochboden gepresst und anschließend für ca. 10 Minuten in der Formation belassen. In dieser Zeit klingt die Störung des Temperaturfeldes, die vor allem durch Reibungswärme beim Eindringen des APC erzeugt wird, langsam ab und die vom APC3 gemessenen Temperaturen nähern sich der ungestörten Formationstemperatur an.

Während der Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 311 im Herbst 2005 wurde das APC3 erstmals eingesetzt und getestet. Bei allen neun Einsätzen hat sich das APC3 als robustes, verlässliches und benutzerfreundliches Instrument bewährt. Daher wurden bei den Testmessungen nicht nur, wie geplant, Informationen zur Bewertung und Verbesserung der Leistungsfähigkeit des APC3 gewonnen, sondern auch in-situ Temperaturen gemessen, die maßgeblich zum Erreichen der für die IODP Expedition 311 gesteckten Ziele beigetragen haben. Die Tests haben ergeben, dass sich mit dem APC3 Temperaturen mit einer Auflösung und einer absoluten Genauigkeit (eine entsprechende Kalibrierung vorausgesetzt) von ca. ± 1 mK bei einer Abtastrate von einer Messung pro Sekunde erreichen lässt. Im Vergleich zum vorherigen APCT, wurden sowohl Auflösung, als auch absolute Genauigkeit um mindestens ei-

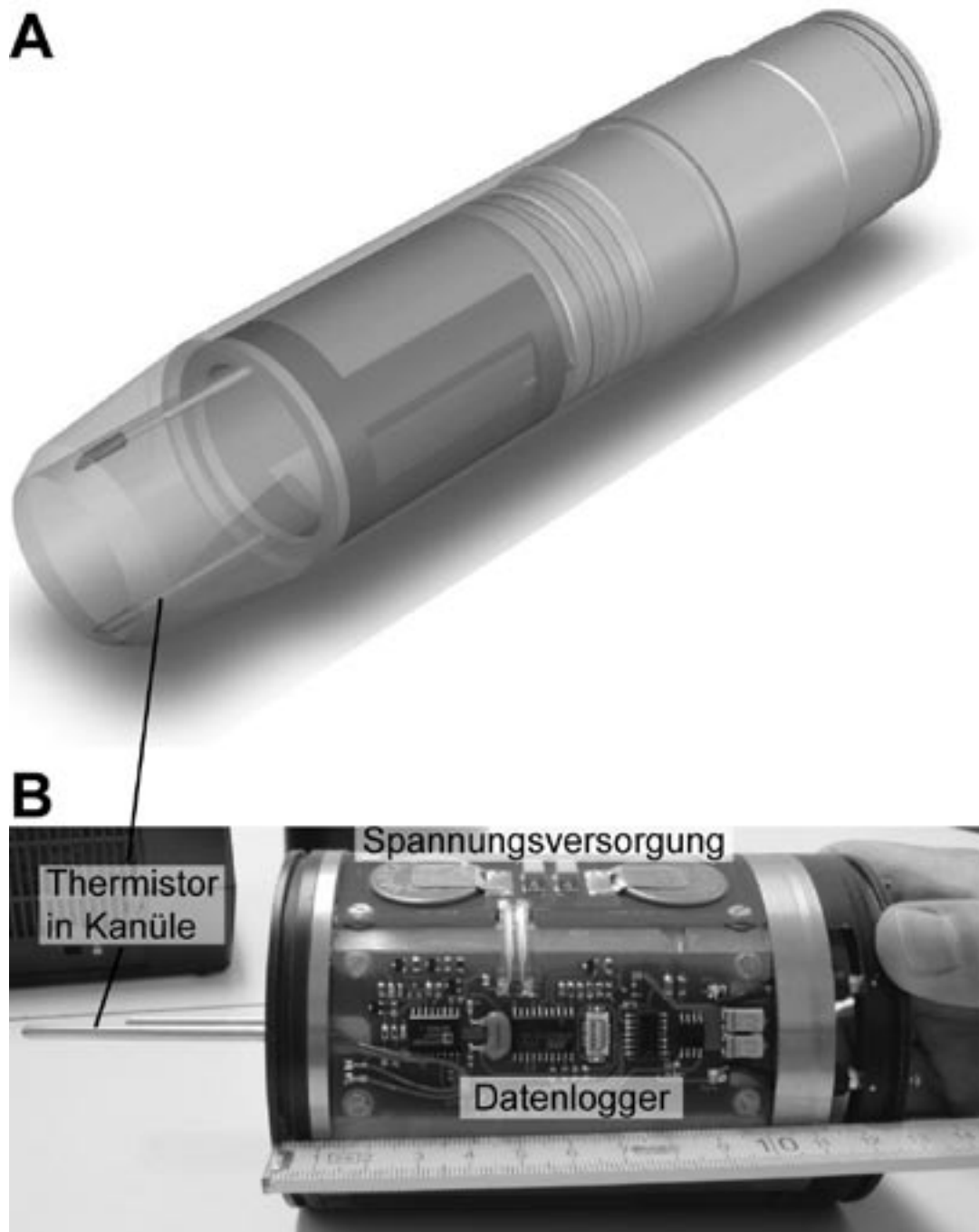


Abbildung 1: A. Vorderer Teil des APC, der die APC3 Elektronik beherbergt. B. Auf einem zylindrischen Rahmen montierte APC3 Elektronik.

ne Grössenordnung verbessert.

Gelfort, R., Wonik, T. (GGA Institut, Hannover), Dennielou, B. (IFREMER Brest, France), Frigola, J., Schoolmeester, T. (University of Barcelona, Spain), PROMESS-1 shipboard party, X. (EU)

Classification of logging data from the PROMESS-1 project

E-Mail: r.gelfort@gga-hannover.de

The general objective of the European project PROMESS-1 (PROfiles across MEditerranean Sedimentary Systems, part 1) is to obtain comprehensive transects (from source to sink) across two Mediterranean Deltaic Margins. These are the Rhône and Catalan-Languedocian river system and the Po and Apennine river system. PROMESS-1 performed coring and in situ measurements of shelf and upper slope (50-300 m water depth) in these sedimentary environments with a geotechnical drilling vessel in Summer 2004. The detailed scientific goals were the provision of a chrono-stratigraphic framework over the last 500 ka, the link of sediment fluxes, sea-level changes and climate variability, the understanding of sediment gravity processes and the estimation of slope stability hazards from physical properties measurements.

At drilling location PRGL1 in the Gulf of Lions, wireline logging data, multi-sensor core logging (MSCL) data and spectral X-ray (XRF) core logging data were recorded and used for a comprehensive comparative study of automated classifiers. Linear discriminant analysis, k-nearest neighbour classification, logistic regression, Parzen density estimation, support vector machines and back-propagation neural networks were applied to identify 5 stratigraphic sequences associated with 100 ka glacio-eustatic cycles. Altogether 17 log curves were used as input for each classification algorithm. A data set of 2800 input

vectors each consisting of 17 recorded values was divided into a training data set of 5 % of all data points per class and a test data set with the remaining 95 % per class. Each classifier was fed with the training data set and correct class labels (sequence 1-5), applied to the test data set and finally compared with the (known)

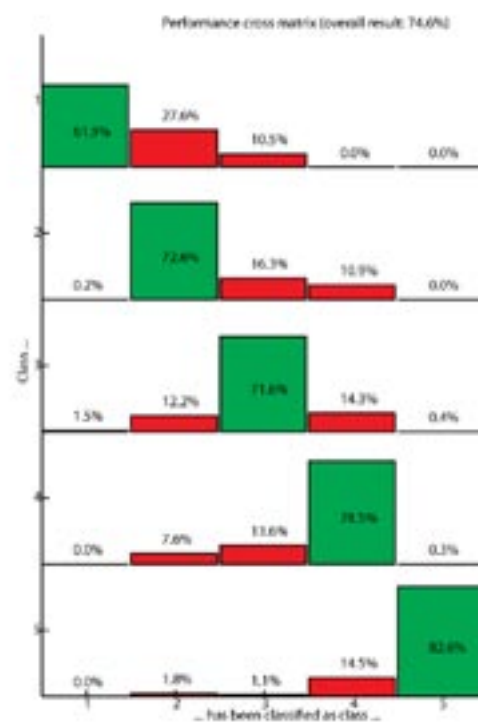


Figure 2: Performance cross matrix of support vector machine classification. Misclassification occurs mainly with class 1 being wrongly assigned to class 2.

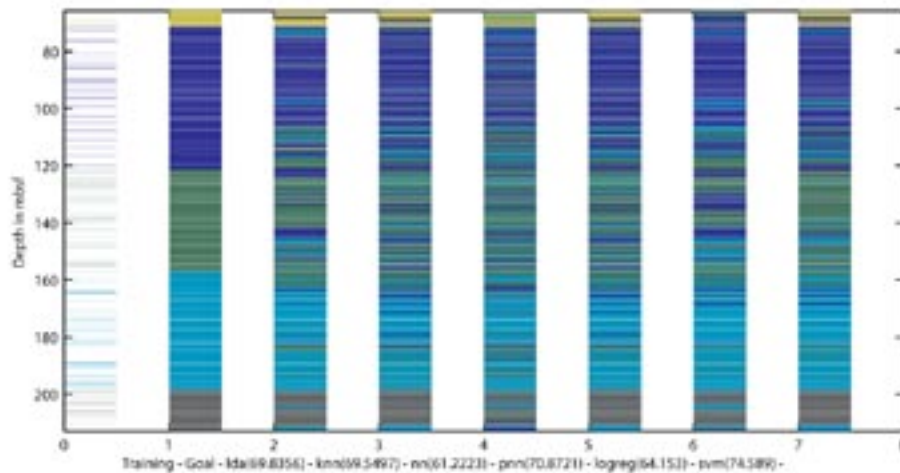


Figure 1: Classification of borehole PRGL1. From left to right: Training data presented to the algorithm; (true) test data; classification results from linear discriminant analysis, k-nearest neighbour, neural network, Parzen windows, logistic regression, support vector machine.

true output.

Despite its simple background, linear discriminant analysis performs remarkably well with a performance of 69.8% compared to backpropagation neural network (merely 61.2%), logistic regression (64.2%), k-nearest neighbour (69.5%) or Parzen density estimation (PNN, 70.9%). Best performing classifier is the support vector machine with correct classification of 74.6% of all test data (Fig. 1). The sequence boundary between sequence 4 and 5 is very well detected by all algorithms. However, the boundary between sequence 3 and 4 appears more difficult for most of the classifiers. The performance cross matrix (Fig. 2) reveals that most of the misclassified data are due to class 1 wrongly assigned to class 2.

The overall performance is good considering the small training data set (5% of all available data). Linear discriminant analysis outperforms many more sophisticated classification algorithms. Support vector machines

show the best classification results.

PROMESS-1 is an European Community funded project within the 5th Framework Programme (FP5), contract no. EV1-CT-2002-40024. It belongs to the OMARC cluster of projects.

Web page: <http://www.pangaea.de/Projects/PROMESS1/>

Bartetzko, A. (Bremen, DFG-Forschungszentrum Ozeanränder)

Hydrothermal alteration in young oceanic crust at Juan de Fuca Ridge - Evidence from downhole logging data

E-Mail: bartetzko@uni-bremen.de

Integrated Ocean Drilling (IODP) Expedition 301 drilled at the eastern flank of Juan de Fuca Ridge to study the nature of fluid pathways in the oceanic crust. Thick sediment successions delivered from the continental margin lap onto the crust and thermally and hydrologically isolate the basement at young crustal age. Therefore, this region is particularly suitable to study the processes of fluid circulation through the oceanic basement. Expedition 301 drilled two holes, one shallow (U1301A) and one deep (U1301B), into basaltic crust of normal Mid-Ocean Ridge basalt (N-MORB) composition. Age of the basement is 3.5 my. Hole U1301B drilled 265 m of sediments and 318 m of volcanic basement with an average core recovery of 30 % in the basement. Downhole measurements were carried out in the basement and included measurements of electrical resistivity, natural radioactivity, density, and neutron porosity.

Geophysical downhole measurements and physical properties measured on core samples are used to (1) identify possible fluid pathways in the basement and their relation to volcanic architecture, and (2) to investigate the influence of hydrothermal alteration on the physical properties of the oceanic crust. A detailed reconstruction of lithostratigraphy using the downhole logs is essential to obtain a continuous record of volcanic architecture that is not biased by core loss. The major lava morphologies identified in the cores are pillow basalts with some intercalations of massive

basalts and breccias. Strong borehole enlargements in the upper 100 m of the basement indicate strong fracturing and/or brecciation of the rocks and affect the quality of most downhole measurements. Differences in in-situ physical properties between pillow basalt units and lava flows are only minor in Hole U1301B. Three major lithostratigraphic sequences may be distinguished: (a) an upper pillow basalt sequence from the bottom of the casing at 350 mbsf (meters below sea floor) down to 420 mbsf, (b) a middle sequence with massive lava flows and pillow basalts between 420 and 465 mbsf, and (c) a lower pillow basalt sequence down to the bottom of the hole. Differences in fracturing between the sequences very likely reflect differences in porosity and permeability and suggest that permeability is high in the upper pillow basalt sequence and low in the lower pillow basalt sequence and that the massive basalts of the middle sequence may act as a hydrologic barrier.

Differences in physical properties between lava morphologies are insignificant in Hole U1301B. However, such differences were observed in other boreholes into oceanic crust. Variations for example in electrical resistivity, density, and natural radioactivity reflect differences in fracturing and alteration between the lava morphologies. Less intense and less pervasive alteration in Hole U1301B due to the young crustal age compared to other holes into older crust (e.g. Holes 504B - Costa Rica Rift, 6 m.y.; 395A - Mid-Atlantic Ridge, 7.3 m.y.;

418A - Bermuda Rise, 110 m.y.), is a possible explanation for the similarity in physical properties of massive basalts and pillow basalts.

Müller, T. M. (Geophysikalisches Institut, Uni Karlsruhe)

Effective conductivity of randomly heterogeneous porous solids

E-Mail: tobias.mueller@gpi.uni-karlsruhe.de

Abstract

Inhomogeneous fluid-saturated porous materials are often probed with diffusion waves to estimate their effective conductivity and diffusivity. Analysis of diffusion wave fields in randomly inhomogeneous poroelastic structures provides new insight how fluctuations of the compressible constituents affect the effective diffusivity. Based on the method of statistical smoothing an effective wave number of the coherent diffusion wave field is computed. From this wave number both an effective conductivity and diffusivity are identified. The correspondence between this conductivity and that estimated from unsteady flow through porous media based on Darcy's law is elucidated. It is shown that in the limits of low and high frequencies these effective conductivities are identical.

Introduction

Probing complex structures with diffusion waves has become a powerful technique in various physical disciplines. In particular, diffusion waves are used to characterize transport properties of fluid-saturated porous solids. If the porous material has a deformable frame, the transport properties can be affected by the compressibility of the solid as well as fluid phase. This effect can be analyzed using Biot's theory of poroelasticity (Biot, 1962). In particular, Biot's theory predicts the existence of so-called Biot's slow wave, which in the low-frequency (i.e., quasi-static) limit is governed by the diffusion equation.

The corresponding diffusion coefficient depends on compressibilities of the fluid and solid phases as well as permeability and fluid viscosity.

Transport properties of porous materials are particularly affected by spatial heterogeneity. The study of these effects usually employs the concept of random media, and requires an analysis of field equations with random coefficients. One method that can be applied in this context is method of statistical smoothing, which has been widely used in the analysis of wave propagation in random media (Müller & Gurevich, 2005) as well as flow through random rigid porous media (King, 1987).

Theory

We employ the method of statistical smoothing to compute the effective diffusivity of randomly inhomogeneous porous media. The medium is assumed to be governed by the low-frequency version of Biot's equations of poroelasticity where the slow compressional wave is a diffusion wave characterized by the wave number

$$k_0 = \sqrt{i\omega/D_0} \quad (1)$$

with diffusivity D_0 . Neglecting the interaction with other wave modes, we analyze the coherent diffusion wave field only. We derive an expression for the effective diffusion wave number from which we extract the effective transport properties.

Assuming that the effective wave number k^* involves an effective diffusivity D^* such that $k^* = \sqrt{i\omega/D^*}$, we obtain

$$D^* = D_0[1 - \Delta_s \xi(\omega)], \quad (2)$$

where

$$\xi(\omega) = 1 + k_0^2 \int_0^\infty rB(r) \exp(ik_0 r) dr. \quad (3)$$

Here Δ_s is a combination of the variances of the fluctuating poroelastic moduli and $B(r)$ denotes the spatial autocorrelation function.

The presence of inhomogeneities reduces the effective diffusivity below the background diffusivity. In the zero frequency limit we have $D^*(\omega \rightarrow 0) = D_0(1 - \Delta_s)$, whereas for infinite high frequency the background value is obtained, $D^*(\omega \rightarrow \infty) = D_0$. The magnitude of the diffusivity dispersion is controlled by Δ_s which contains the second order moments of the random fields of the Biot-Willis coefficient α , porosity ϕ , fluid bulk modulus K_f and reciprocal conductivity p . The role of cross-correlations is particularly interesting. For example, negative cross-correlation between the Biot-Willis coefficient and the fluid bulk modulus, i.e. if there is a stiff fluid in the pore-space of a very compressible porous solid, produces an enhanced diffusivity dispersion.

Analogously to D^* , we can construct an effective conductivity κ^* by assuming that k^* is of the form $k^* = \sqrt{i\omega/\kappa^*N}$, i.e., N is constant. In this case the calculations outlined above can be performed in all space dimensions m . This effective conductivity is bounded by

$$\kappa_H < \kappa^* < \kappa_A, \quad (4)$$

where κ_H and κ_A denote the harmonic and arithmetic averages, respectively. In the low-frequency limit the lower bound becomes an identity for $m = 1$ only, whereas at infinitely high frequencies the upper bound is reached exactly in all space dimensions.

Acknowledgements

This work was kindly supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (contract MU 1725/1-2)

References

Biot, M. A., 1962, Mechanics of Deformation and Acoustic Propagation in Porous Media, J. Appl. Phys., 33, 1482–1498

King, P.R., 1987, The use of field theoretic methods for the study of flow in a heterogeneous porous medium, J. Phys. A: Math. Gen., 20, 3935–3947

Müller, T.M., and Gurevich, B., 2005, A first-order statistical smoothing approximation for the coherent wave field in random porous media, J. Acoust. Soc. Am., 117, 1796–1805

Web page: <http://www-gpi.physik.uni-karlsruhe.de/pub/workgroup8/de/>

Müller, M., Yaramanci, U. (TU Berlin)

Kombinierte Anwendung von komplexer elektrischer Leitfähigkeit und NMR

Die Bestimmung der Bodenfeuchte und der Qualität von Böden im Sinne des Ton- oder Sandgehaltes ist für einer Reihe von Anwendungen, wie z.B. bei der Bestimmung der Bodenheterogenität, der Interpretation von Satellitendaten, Ernte/Produktivitätsvorhersagen in der Landwirtschaft, Ingenieurgeophysik oder klimatischen Fragestellungen wesentlich. Um geophysikalische Verfahren in der Bodenkunde oder Landwirtschaft erfolgreich zu etablieren, muß es deshalb möglich sein aus den gemessenen (geo)physikalischen Parametern Bodentypen ableiten zu können. Derzeit wird wurden dazu im wesentlichen Gleichstromgeoelektrik, Elektromagnetik (EM38) und Georadar eingesetzt. Das Georadar weist leider wesentliche Nachteile in Bezug auf die Eindringtiefe und besonders auf elektrisch leitfähigen Böden auf. Andererseits ist der Zusammenhang von elektrischer Leitfähigkeit und Wassergehalt nicht eindeutig und deshalb fehlerbehaftet.

Ein Lösungsweg den wir hier aufzeigen, ist die kombinierte Anwendung der (Spektralen) Induzierten Polarisation (SIP) und der Kernspinresonanz (nuclear magnetic resonance, NMR). Die NMR ist ein petrophysikalisches Verfahren zur Bestimmung von Gesteins- und Fluidparametern, das als einzige Methode in der Lage ist, Wasser (1H -Protonen) im Untergrund bzw. in Probenmaterial direkt nachzuweisen. Das Abklingverhalten (Abklingkonstante) kann korreliert werden mit dem Verhältnis von innerer Oberfläche zu Porenvolumen bzw. zur Porosität des analysierten Materials.

An Standorten in Berlin (Buch und Tiergarten) wurden SIP-Messungen mit einer Ramm-

sonde (Müller et al., 2005) durchgeführt. Für einen direkten Vergleich der SIP-Messungen mit NMR Laboruntersuchungen wurden an jeweils einem Punkt zusätzlich Kerne (Liner). Der an der jeweiligen Lokation etwa zeitgleich gezogene Kern wurde nach der Entnahme im Labor mit NMR untersucht. Des weiteren wurden Proben eines anderen Standortes aus Baderitz (Sachsen) sowohl mit SIP und NMR im Labor untersucht.

Die Korrelation des Realteiles der elektrischen Leitfähigkeit (σ') und des volumetrischen Wassergehaltes (θ) ist zufriedenstellend für die Proben aus Buch und die tonhaltigen Proben aus Baderitz. Für die humushaltigen Tiergarten und Baderitz Proben ist dieser Zusammenhang allerdings fast nicht zu erkennen. Auf der anderen Seite gibt es eine gut bis sehr gute Korrelation des Imaginärteiles der elektrischen Leitfähigkeit (σ'') und den NMR Abklingzeiten (T_2) für alle drei Datensätze, ausser den humushaltigen Proben aus Buch.

In der σ'' und T_2 Domäne können die Daten in drei Teilmengen getrennt werden: Eine Teilmenge A mit geringen σ'' und großen T_2 die sandigen Proben und humushaltigen Proben aus Buch entsprechen. Eine zweite Teilmenge B1 mit hohen σ'' und mittleren T_2 die humosen Proben aus Tiergarten und Baderitz entsprechen. Eine dritte Teilmenge B2 mit hohen σ'' und geringen T_2 die den tonhaltigen Proben aus Baderitz entsprechen (s. Abb.).

Ursache dieses Verhaltens liegt sicherlich daran, das sowohl σ'' als auch T_2 vor allem durch die spezifische Innere Oberfläche beeinflusst werden, wogegen der σ' vor allem von der Sättigung abhängt. Diese Vermutung wird dadurch bestätigt, das alle Abklingzeiten pro-

portional zum Wasserhalt sind. Da Wasser aufgrund der Kapillarkräfte zunächst in die kleinsten Poren eindringt, können große Abklingzeiten oberhalb eines gewissen Sättigungsschwellwertes auftreten, ab dem die großen Poren gefüllt sind. Die humösen Proben aus Buch sind offenbar gequollen oder übersättigt, so dass auch bei geringer Sättigung Wasser in grossen Poren vorhanden ist.

Sowohl hohe imaginäre Leitfähigkeiten als auch geringe Abklingzeiten korrelieren mit kleinen Poren oder tonigem Material. Geringe imaginäre Leitfähigkeiten und lange Abklingzeiten korrelieren auf der anderen Seite mit großen Poren und mobilem Porenfluid. σ'' und T_2 korrelieren recht gut, sogar unabhängig vom Wassergehalt. Unsere Daten zeigen abnehmende σ'' mit zunehmendem Wassergehalt für sandige Proben, wie auch von Ulrich and Slater (2004) beschrieben. Für humöse und tonige Proben ist der Effekt umgekehrt, σ'' nimmt mit zunehmendem Wassergehalt zu. Dies könnte mit der speziellen Struktur von Ton/Humus zusammenhängen,

da beide Materialien durch hohe Kationenaustauschkapazität (KAK) und innere Oberfläche ausgezeichnet sind. Tonhaltige Schichten zeichnen sich durch Abklingzeiten von unter 3 ms, humushaltige durch Abklingzeiten von 10-20 ms aus. Schichten die reinen Sand enthalten haben durchweg Abklingzeiten von über 10 ms (20 ms in Buch). Die cutoff-Zeit die sich daraus ableiten läßt, entspricht in etwa der cutoff-Zeit (33 ms) die bei der Erdölexploration zur Unterscheidung von mobilem/immobilen Öl/Wasser genutzt wird. T_2 alleine reicht aber nicht aus, um humushaltige und sandige Bereiche zu trennen. Erst eine Kombination von T_2 und σ' erlaubt an den untersuchten Standorten eine vollständige Unterscheidung von humus-/sandhaltigen und humus-/tonhaltigen Proben.

Wir danken dem Interurban Team und dem Sachsen Team für deren Arbeit an den Proben im Gelände und im Labor. Teile dieser Arbeit wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und des Sächsischen Landwirtschaftsministeriums gefördert.

Literatur: Müller, M., Mohnke, O. Schmalholz, J. and Yaramanci, U., 2003. Moisture assessment with small-scale geophysics - The Interurban Project, Near Surface Geophysics, 1, No. 4, 173-182. Ulrich, C. und L.D. Slater (2004), Induced polarization measurements on unsaturated, unconsolidated sands, Geophysics, (69), 3, 762-771.

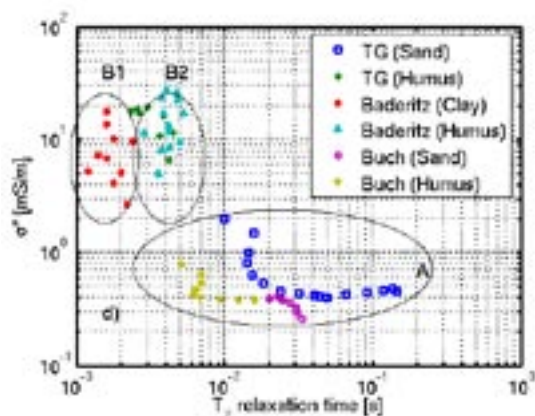


Abbildung 1: Imaginärteil der elektrischen Leitfähigkeit σ'' von der mittleren NMR Abklingzeit T_2 von allen Proben der drei im Text beschriebenen Lokationen.

Schönfelder, W., Stallmach, F. (Universität Leipzig), Gläser, H. R. (UFZ Leipzig - Halle), Kaden, H. (Universität Konstanz), Kopinga, K. (Universität Eindhoven)

NMR- und SIP-Untersuchungen zur Charakterisierung von Aquifergesteinen

E-Mail: w.schoenfelder@physik.uni-leipzig.de

Im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen dem Umweltforschungszentrum Leipzig - Halle und der Universität Leipzig wurden kalzitische Dolomitsteine eines Zechsteinaquifers mit Methoden basierend auf dem Prinzip der Kernmagnetischen Resonanz (NMR), der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) und weiteren petrophysikalischen Verfahren untersucht. Ziel war eine mit bohrlochgeophysikalischen Ergebnissen in Übereinstimmung zu bringende Charakterisierung des Gesteins (hinsichtlich Porosität, Tortuosität, Diffusivität, Mineral- und Tongehalt usw.).

Die untersuchten Gesteinsproben stammen aus einer im Südraum Sachsen-Anhalts abgetauften Bohrung. In diesem Gebiet wurden im letzten Jahrhundert Abwässer der Braunkohleverarbeitenden Industrie in den Untergrund versenkt. Das hochporöse Dolomitgestein erlaubte einen schnellen Eintrag in das tiefere Grundwasser, in dem die Kontamination durch Phenole noch heute nachweisbar ist.

Untersucht wurden zylindrische Proben (Durchmesser 2 cm) aus einem Bryozoenriffkörper, der im oberen Bereich aus tonhaltigem Kalkstein und darunter porösem Dolomitstein besteht.

NMR-Messungen wurden bei einer Resonanzfrequenz von 9,1 MHz an wassergesättigten Proben durchgeführt. Die aus den NMR-Signalintensitäten ermittelten Porositäten stimmen gut mit den Ergebnissen aus anderen Verfahren und den Bohrlochmessdaten überein.

In ihrer Ausprägung unterscheiden sich die T2-Relaxationszeitverteilungen deutlich für beide Gesteinsklassen. Die Bestimmung der Porengrößen erfolgte durch kombinierte Anwendung von Cryoporometrie- und Relaxometrie. Dabei wird die Schmelzpunktniedrigung des Wassers in kleinen Poren und die Tatsache, dass die Kernspins gefrorenen Wassers kein NMR-Signal geben, ausgenutzt. Aus Untersuchungen an exemplarisch ausgewählten Kernen ergab sich eine einheitliche Porengröße von $0,5 \cdot 10^{-6}$ m. Demnach handelt es sich bei den ermittelten Relaxationszeitverteilungen nicht um Porengrößenverteilungen, sondern wahrscheinlich um verschiedene Moden [1] einer Relaxationszeit.

Diffusionsuntersuchungen mit der PFG NMR und Messungen des elektrischen Widerstandes liefern übereinstimmende Aussagen hinsichtlich der Tortuosität der Dolomitsteine. Die beobachteten Weglängen sind groß gegen die ermittelte Porengröße. Folglich müssen die Mikroporen des Gesteins gut miteinander in Verbindung stehen und tragen somit zur effektiven Porosität bei der Interpretation der Bohrlochmessdaten bei.

[1] K.R. Brownstein and C.E. Tarr, Importance of classical diffusion in NMR studies of water in biological cells, Phys. Rev. A, vol. 19, pp. 2446-2452, 1979.

Strehl, S., Müller, M., Yaramanci, U. (TU-Berlin)

Untersuchungen zu Tortuosität und innerer Oberfläche durch Messung des zeitabhängigen effektiven Diffusionskoeffizienten mit PFG-NMR

E-Mail: steph@geophysik.tu-berlin.de

Die Messung der Kernspinresonanz (Nuklearmagnetische Resonanz - NMR) hat sich als sinnvolles Verfahren erwiesen, fluidführende poröse Sedimentgesteine und Lockersedimente zu untersuchen. Neben der großen Bedeutung von NMR-Verfahren in der Kohlenwasserstoff-Exploration hat diese Technik ein großes Potenzial, in Zusammenhang mit der Grundwassererkundung wichtige Parameter zu liefern. Die Methoden basieren auf der Ausnutzung des magnetischen Momentes der ^1H -Kerne in den Wassermolekülen. Die Protonenspins erzeugen beim Anlegen eines statischen Magnetfeldes eine zusätzliche Magnetisierung in Richtung des Primärfeldes. Durch pulsformige, senkrecht zum Primärfeld gerichtete Anregung mit der Larmor-Frequenz („radio frequency puls“, bzw. RF-Puls) werden die Spins ausgelenkt. Sie präzidieren anschließend um das primäre Feld und das Zurückkehren in den Gleichgewichtszustand kann als exponentiell abklingendes Signal bei Messung der transversalen Relaxation oder als entsprechend zunehmendes Signal bei Messung der longitudinalen Relaxation registriert werden. Die Relaxationsgeschwindigkeit ist im porösen Medium vor allem von der Porengröße abhängig. Kleine Poren verursachen ein schnell abklingendes Signal, große Poren haben entsprechend längere Relaxationszeiten. Bei einer multi-exponentiellen Anpassung der Relaxationskurve einer Probe lässt sich eine Korrelation mit der Porenradienverteilung

feststellen, die effektive Porengröße als Grundlage für die Abschätzung der hydraulischen Leitfähigkeit ist ermittelbar. Auch ein mono-exponentieller Fit kann durch empirische Zusammenhänge mit der hydraulischen Leitfähigkeit verknüpft werden [1]. Neben der geometrischen Beschaffenheit des Porenraumes ist jedoch auch die Oberflächenrelaxivität als nicht exakt bestimmbarer Parameter mitverantwortlich für das Relaxationsverhalten, was zur Mehrdeutigkeit der Ergebnisse führt.

Durch Labor-NMR-Verfahren mit gepulsten Gradienten (PFG-NMR) hat man die Möglichkeit, geometrische Parameter des Porenraumes unabhängig von der Oberflächenrelaxivität der Probe zu bestimmen. Bei der PFG-NMR werden Gradienten- und RF-Pulse miteinander kombiniert. Durch Gradientenpulse wird das Primärmagnetfeld inhomogen überprägt, wodurch die Larmor-Frequenz innerhalb der Probe lokal variiert und die Phasenlage der präzidierenden Spins kontrolliert verändert wird. Es können Pulsfolgen konstruiert werden, bei denen Spin-Echos entstehen, deren Amplituden von der Brownschen Bewegung der Moleküle abhängig sind [2]. Mithilfe der PFG-NMR-Methode lässt sich also der Selbstdiffusionskoeffizient des Porenfluides bestimmen. Die Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Porenfluiden (z.B. Öl und Wasser) wird auf diese Weise möglich. Der effektive Diffusionskoeffizient D_{eff} im porösen Medium mit vollständiger Wassersättigung weist bei konstanter Temperatur aber

auch eine charakteristische Zeitabhängigkeit auf, die einerseits von der Diffusionstortuosität, also der Wegsamkeit für das Wasser und andererseits von der inneren Oberfläche des Porenraumes abhängig ist [3,4]. Durch die Bestimmung des Diffusionskoeffizienten für verschiedene Diffusionszeiten lassen sich also die beiden Parameter Tortuosität τ_{diff} und spezifische innere Oberfläche S_{por} rekonstruieren.

Zur Abschätzung der Genauigkeit, bzw. Grenzen der Anwendung des Verfahrens für wasserführende Lockersedimente wurden PFG-NMR-Labormessungen an synthetischen Proben mit Glasperlen und Sanden unterschiedlicher Korngröße, einer Schluffprobe, sowie an natürlichen Sandproben mit bekannter Korngrößenverteilung durchgeführt. Die Diffusionszeit ist im Bereich von $5 \mu s$ bis $1 s$ variiert worden. Die Zeitabhängigkeit von D_{eff} konnte an allen Proben nachgewiesen werden und zeigt die in der Literatur beschriebene Charakteristik [3,4]. Die Datenqualität ist bis auf die der Schluffprobe gut genug, um durch Anpassung der Messwerte mit den Gleichungen aus der Theorie die Parameter τ_{diff} und S_{por} zu ermitteln. Die relativen Anpassungsfehler liegen zwischen zwei und acht Prozent. Die Messergebnisse der Schluffprobe lassen keine weiteren Analysen zu. Das Verfahren hat hier seine Grenzen aufgezeigt: Ist die mittlere Porengröße zu klein, dann ist das NMR-Signal bereits zu weit abgeklungen und die Spin-Echos für große Diffusionszeiten können nicht mehr registriert werden. Für die Glasperlen- und Sandproben weisen die ermittelten Parameter für τ_{diff} die erwartete negative Korrelation mit der Korngröße auf. Der Vergleich von τ_{diff} mit der elektrischen Tortuosität bestätigt die höhere Zuverlässigkeit der PFG-NMR-Methode bei der Bestimmung der Tortuosität. Auch die ermittelten

S_{por} werden mit zunehmender Korngröße geringer, was der Erwartung entspricht [5]. Der Vergleich mit BET-Messungen führt zu dem Schluss, dass die innere Oberfläche durch das PFG-NMR-Verfahren allerdings unterschätzt wird. Die Korrelation der ermittelten Parameter τ_{diff} und S_{por} mit den aus „constant-head“-Messungen bestimmten k_f -Werten der Proben bestätigt die Relevanz der mit PFG-NMR bestimmbaren Größen für Fragestellungen der Hydrogeophysik.

Literatur

- [1] Kenyon, W.E., 1997, Petrophysical Principles of Applications of NMR Logging, Log Analyst 38, 21-43
- [2] Tanner, J.E., 1970, Use of the stimulated echo in NMR diffusion studies, J. Chem. Phys. 52, 2523-2526
- [3] Mitra, P.P., Sen P.N., Schwartz, L.M. and LeDoussal, P., 1992, Diffusion Propagator as a Probe of the Structure of Porous Media, Phys. Rev. Lett. 68, 3555-3558
- [4] Latour, L.L., Mitra, P.P., Kleinberg, R.L. and Sotak, H., 1993, Time-Dependent Diffusion Coefficient of Fluids in Porous Media as a Probe of Surface-to-Volume Ratio, J.Magn.Reson., A101, 342-346
- [5] Stallmach, F., Vogt, C., Kärger, J., Helbig, K. and Jacobs, F., 2002, Fractal Geometry of Surface Areas of Sand Grains Probed by Pulsed Field Gradient NMR, Phys.Rev.Lett. 88, 105505

Webseite: <http://www.geophysik.tu-berlin.de>

Session D

GE, UI

+ thematisch passende Beiträge aus GR, GV, MA, SM, SO

6.3./7.3./9.3. in Raum 2040 im SFG

Meqbel, N., Helwig, S., Tezkan, B. (Institut für Geophysik, Universität zu Köln)

A new Software for the 2D Inversion of DC-Resistivity data

E-Mail: meqbel@geo.uni-koeln.de

Abstract: A new software was developed to interpret DC-geoelectric data. This new software was divided in two main branches. The first branch deals with data collected in Schlumberger and Wenner configurations, VES -Vertical Electric Sounding-, to derive one dimensional structure of the subsurface. The second branch works with data collected by multichannel DC measurements to derive a two dimensional structure of the subsurface. In the 2D-branch the forward modeling was achieved by using the Finite-Difference method to solve the Poisson equation over two dimensional subsurface. The obtained equation system from this method was solved using the Cholesky decomposition to calculate the resistivity distribution in the subsurface. Different inversion schemes like Marquardt, Constraint Marquardt, and Occam inversion were implemented in the program to let the user to choose one of them according to the geological and another geophysical Information. Also different methods like Cholesky decomposition, singular value decomposition (SVD), overrelaxation and Conjugate gradient (CG) were implemented in the program to solve the inversion problem. Another use of the program is that, it can be used to derive the best electrode configuration for a given 2D conductivity model prior to field measurements. The selection of the best electrode configuration based on the forward modeling and sensitivity analysis for the most common electrode configurations. The goal of this Software is to visualize the results from each step in the calculation, and to be able to see the end result from different views in order to analyze it. The program was written in Visual Basic in order to use its graphical capabilities. The developed program was tested using synthetic and field data. The test results were successfully compared with other numerical inversion 2D programs (e.g. DCIP2D from D. Oldenburg, dc2dinvres from T. Günther and Res2dinv from M. Loke) and analytical solution of a certain models. The 2D inversion results of multichannel resistivity data from an archaeological application in Turkey and from geomorphologic application near Cologne will be shown as field examples.

Günther, T. (GGA Hannover), Rücker, C. (Leipzig)

Ein neuer Joint-Inversion-Ansatz und seine Anwendung auf die kombinierte Auswertung von geoelektrischen und refraktionsseismischen Daten

E-Mail: T.Guenther@gga-hannover.de

Mit dem Vortrag wird ein neuer Algorithmus zur kombinierten Inversion von Datensätzen aus unterschiedlichen geophysikalischen Verfahren vorgestellt. Im Gegensatz zu klassischen Methoden (Vozoff & Jupp, 1975) erfordert dieser Algorithmus nicht die Identität der zu invertierenden Parameter oder feste Beziehungen zwischen diesen, sondern koppelt die getrennten Minimierungsprobleme durch den Austausch von Strukturinformationen. Angelehnt an das Konzept der robusten Inversion (Claerbout, 1973) erleichtern auftauchende Gradienten in dem einem Parameter die Entwicklung in den anderen, erzwingen diese jedoch nicht. Dadurch wird die Mehrdeutigkeit der Verfahren eingegrenzt und es bilden sich stabilere Kontraste in den Parametern. Um ein einheitliches Modell vom Untergrund zu erhalten, wird eine Clusteranalyse eingesetzt. Das Verfahren wird auf die Inversion geoelektrischer und refraktionsseismischer Daten angewandt.

Ausgehend von den Erfahrungen mit der Drei-Gitter-Inversion (Rücker & Günther, 2005) werden die Modellparameter auf unstrukturierten Dreiecksgittern definiert. Die geoelektrische Vorwärtsrechnung beruht auf der Methode der Finiten Elemente. Bei der Bestimmung der Ersteintrittszeiten kommt ein Shortest-Path-Algorithmus zum Einsatz, der später durch die Lösung der Eikonalgleichung mit Finiten Elementen ersetzt werden soll. Die zu invertierenden Parameter sind die Logarithmen des spezifischen elektrischen Wider-

stands bzw. der Wellengeschwindigkeit. Anhand von synthetischen Modellen wird demonstriert, wie der Ansatz auf verschiedene Typen von Grenzflächen reagiert. Schließlich wird durch die Anwendung des Algorithmus auf Felddaten aus einer hydrogeologisch relevanten Fragestellung gezeigt, wie die einzelnen Inversionsergebnisse durch die strukturelle Kopplung zu einem aussagekräftigeren Modell des Untergrunds führen.

Rücker, C. & Günther, T. (2005): Drei-Gitter-Technik zur 3D-Inversion geoelektrischer Gleichstrommessungen mit beliebiger Topographie, 65. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Graz. Claerbout, J. F. & Muir, F. (1973). Robust modeling with erratic data. *Geophysics*, 38(1):826-844. Vozoff, K. & Jupp, D. L. B. (1975). Joint inversion of geophysical data. *Geoph. J. R. astr. Soc.*, 42:977-991.

Druiventak, A. (Geologisches Institut, Universität Bonn), Hördt, A. (Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik, TU Braunschweig), Norbert, Z. (Geologisches Institut, Universität Bonn)

Bestimmung des K_f -Wertes aus Felddaten durch spektrale induzierte Polarisation und der Vergleich mit hydrogeologischen Methoden

E-Mail: tony@geo.uni-bonn.de

Die hydraulische Leitfähigkeit, angegeben als K_f -Wert, ist von großer Bedeutung in den Geowissenschaften. Die traditionellen hydrogeologischen Methoden zur Bestimmung des K_f -Wertes sind bislang auf Bohrungen beschränkt mit den dementsprechenden Pumpversuchen, Tracerversuchen und Korngrößenanalysen im Laboratorium. Eine Bestimmung mit geophysikalischen Methoden könnte hier eine wichtige Ergänzung darstellen. Da eine empirische Beziehung zwischen dem komplexen elektrischen Widerstand und dem K_f -Wert besteht, kann letzterer im Prinzip aus Daten der spektralen induzierten Polarisation (SIP) berechnet werden. Hierzu gibt es bisher überwiegend Laboruntersuchungen, aus denen empirische Gleichungen für den Zusammenhang zwischen komplexer elektrischer und hydraulischer Leitfähigkeit abgeleitet wurden. Feldmessungen und Vergleiche mit hydrogeologisch bestimmten K_f -Werten wurden bisher nur vereinzelt durchgeführt.

Bei unseren eigenen bisherigen Feldversuchen zur Bestimmung des K_f -Wertes am Testfeld Krauthausen handelte es sich bei dem Untersuchungsmaterial um Kies. Nun wurden weitere Feldversuche in verschiedenen Testgebieten durchgeführt, bei denen wir versucht haben, ein möglichst breites Spektrum an verschiedenen Lithologien abzudecken. Insgesamt wurden an vier Gebieten Messungen durchgeführt (Cuxhaven/Lüdingworth, Has-

loh bei Norderstedt, Kappelen/Schweiz und am Siegbogen bei Bonn), wobei Lithologien von Tonen, Schluffen, Feinsanden, über Mittelsande bis zu Kiesen variieren.

Die Lithologie im Testgebiet Lüdingworth/Cuxhaven ist durch Feinsande dominiert. Es liegen zwei Bohrungen im Abstand von ca. 400 m vor. In den Bohrungen wurden Salzelutionsmessungen zur Bestimmung der tiefenabhängigen Leitfähigkeit des Grundwassers durchgeführt. Außerdem ist aus Hubschrauber-Elektromagnetik ersichtlich, dass sich zwischen den Bohrungen eine laterale Süß-Salzwassergrenze befindet. Ein variierender Salzgehalt bei gleich bleibender Lithologie ist von besonderem Interesse, weil derzeit von mehreren Arbeitsgruppen der Einfluss des Salzgehaltes auf SIP-Messungen im Labor untersucht wird. SIP-Daten wurden auf einem mehr als 600 m langen Profil aufgezeichnet, welches die beiden Bohrungen miteinander verbindet. Die Süß-Salzwassergrenze zeichnet sich dabei bereits in den Pseudosektionen des scheinbaren Widerstandes deutlich ab. Die Phasenwerte sind durchweg niedrig; im Bereich des untersuchten Aquifers bleiben sie i.d.R. kleiner als 4 mrad. Etwas überraschend ist, dass sich die Salz- Süßwassergrenze in den Phasen nur schwach abbildet, obwohl von Laboruntersuchungen ein deutlicher Effekt zu erwarten wäre. Zusätzlich zu den SIP-Messungen wurden

3 weitere Bohrungen abgeteuft, um Proben für Korngrößenanalysen zu nehmen und einen Pumpetest durchzuführen. Der Pumpetest ergibt einen K_f -Wert von ca. 10^{-5} m/s, was für Feinsande ein typischer Wert ist. Erste Abschätzungen des Wertes, der aus SIP-Messungen bestimmt wurde, liegen in derselben Größenordnung.

Igel, J., Günther, T., Preetz, H. (GGA-Institut, Hannover), Mohnke, O. (FG Angewandte Geophysik, TU-Berlin)

Bestimmung der kleinräumigen Variabilität der elektrischen Leitfähigkeit von Böden und ihr Einfluss auf geoelektrische Messungen

Böden und v.a. ihre mit Oberböden bezeichneten oberen Profilabschnitte zeichnen sich durch eine sehr große räumliche Heterogenität aus. Als die oberste Schicht der Erdkruste stellen Böden bei vielen geophysikalischen Untersuchungen des tieferen Untergrunds eine störende Schicht dar, deren Einfluss oft nicht berücksichtigt wird. Die Heterogenität der elektrischen Parameter beeinflusst z.B. geoelektrische Messungen, die Antennenankopplung bei Georadar-Messungen und elektromagnetische Messverfahren und damit beispielsweise die Detektierbarkeit von Antipersonenminen. In jüngerer Zeit ist der Boden selbst immer stärker zum Gegenstand geophysikalischer Untersuchungen geworden, da hiermit Parameter kartiert werden können, die wichtige Eigenschaften wie z.B. den Wasserhaushalt, das Schadstoffrückhaltevermögen oder den Ernteertrag beeinflussen.

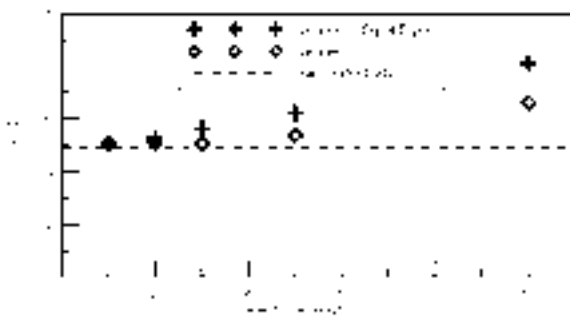


Abbildung 1: Scheinbare el. Leitfähigkeit gemessen in Wasser ($\sigma = 0.049 \text{ S/m}$) mit unterschiedlich langen Elektroden (Elektrodenabstand: 10 cm, Elektrodendurchmesser: 1 cm), zu Grunde gelegt sind k-Faktoren für Punkt-Elektroden.

Die Untersuchung des Einflusses kleinräumiger Heterogenitäten in der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit auf geoelektrische Messungen lässt sich in folgende Schritte unterteilen:

- Bestimmung der räumlichen Verteilung
- Bestimmung der statistischen Eigenschaften und statistische Simulation
- Vorwärtsrechnung unter Verwendung zufallsverteilter Medien

Zunächst müssen die elektrischen Bodeneigenschaften und ihre oft kleinräumige Variabilität im dm-Bereich bestimmt werden. Bedingt durch das hierbei angestrebte hohe Auflösungsvermögen stößt man auf mess- und auswertetechnische Schwierigkeiten. Bei sehr kleinen Elektrodenabständen kann nicht mehr, wie bei größeren Auslagen üblich, von Punktelektroden ausgegangen werden. Entweder man verwendet möglichst punktförmige Elektroden, was aber meist zu Ankopplungsproblemen führt, oder man muss die tatsächliche Geometrie der Elektroden berücksichtigen. Den Einfluss stabförmiger Elektroden im Vergleich zu Punktelektroden auf das Ergebnis geoelektrischer Messungen zeigt Abb. 1. Dargestellt ist die, sich aus geoelektrischen Messungen in einem Wassertank ergebende, scheinbare elektrische Leitfähigkeit ohne Berücksichtigung der Elektrodengeometrie, d.h. unter Annahme von Punktelektroden. Bei einem Elektrodenabstand von 10 cm machen sich ab einer Elektrodenlänge von 3–4 cm

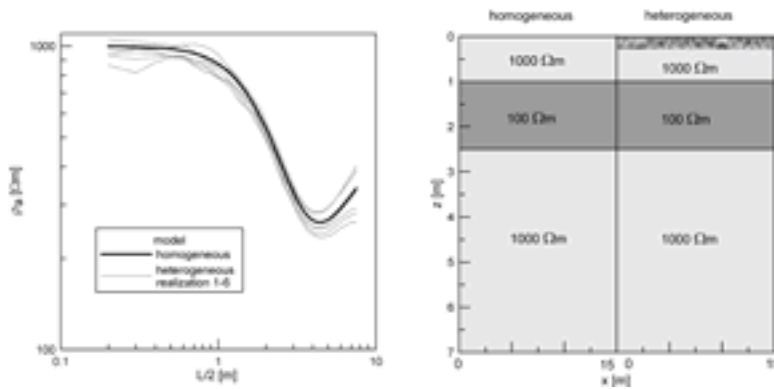


Abbildung 2: Simulierte Schlumberger Sondierungen eines Dreischichtfalls: homogener Oberboden $\rho = 1000 \Omega\text{m}$ (linkes 2d-Modell, schwarze Kurve) und 6 Realisationen einer zufallsverteilten heterogenen Leitfähigkeitsverteilung des Oberbodens, Mittelwert $\rho_{mean} = 1000 \Omega\text{m}$, Standardabweichung $\sigma_\rho = 170 \Omega\text{m}$, Range $a = 0.3 \text{ m}$ (rechtes 2d-Modell, graue Kurven).

deutliche Fehler bemerkbar. Dabei ist die bei Multielektrodenmessungen häufig verwendete Dipol-Dipol-Aufstellung anfälliger als die Wenner-Anordnung.

In einem zweiten Schritt werden die statistischen Eigenschaften der räumlichen Leitfähigkeitsverteilung untersucht. Die wichtigsten Parameter sind dabei die Verteilungsdichte und Korrelationslänge, die aus einer Variogrammanalyse gewonnen werden können. Mittels dieser statistischen Kenngrößen können zufallsverteilte Medien mit exakt denselben statistischen Eigenschaften wie auf einer untersuchten Fläche generiert werden. Jede Realisation ist eine gleich wahrscheinliche Verteilung des jeweils simulierten Parameters.

Als dritter Schritt werden die solchermaßen realisierten Medien für numerische Vorwärtsrechnungen verwendet, um die natürliche Streubreite der auf einer Fläche durchgeführten geophysikalischen Messung zu erhalten. Abb. 2 zeigt die sich ergebende Streubreite beispielhaft an einer simulierten Schlumberger-Sondierung. Dargestellt ist das mittels FD-Modellierungen (DC2dInvRes,

www.resistivity.net) berechnete Ergebnis einer Schlumberger Sondierung für 6 unterschiedliche Realisationen des Oberbodens (oberste 30 cm des Modells) und jeweils gleicher Schichtenabfolge darunter. Selbst bei großen Auslagen kann man noch deutlich den Einfluss der kleinräumigen Heterogenitäten des Oberbodens auf das Messergebnis erkennen, die Schwankungsbreite beträgt bei den vorgegebenen statistischen Kenngrößen ca. 10 %.

Die Simulationen liefern die natürliche Streubreite geoelektrischer Messungen unter Berücksichtigung der natürlichen Variabilität der elektrischen Parameter. Es handelt sich um statistische Fehler die zu den Fehlern der Messapparatur oder Fehlern in der Positionierung der Elektroden addiert werden sollten, um die Zuverlässigkeit von Inversionsergebnissen abzuschätzen und ggf. Äquivalenzfälle der Inversion anzugeben.

Münch, H.-M. (ehemals Institut Agrosphäre (ICG-IV), Forschungszentrum Jülich GmbH), Kemna, A. (ICG-IV), Zimmermann, E. (Zentralinstitut für Elektronik (ZEL), Forschungszentrum Jülich GmbH), Vereecken, H. (ICG-IV)

Beziehung zwischen SIP Relaxationszeit und Salinität, Korngröße, Sättigung bzw. hydraulischer Leitfähigkeit

Die elektrischen Leitungs- und Polarisations-eigenschaften von Böden und Sedimenten hängen von Strukturmerkmalen und Zustandsvariablen ab, die fließ- und transport-relevant sind. Insbesondere die Polarisations-eigenschaften enthalten Strukturinformationen, die wesentlich zur erforderlichen Parameterverknüpfung beitragen können, da sich elektrische Polarisationsphänomene vor allem in der Nähe der Grenzfläche Bodenmatrix-Porenfluid manifestieren. Zur Untersuchung des Zusammenhangs der elektrischen Eigenschaften mit den stofftransportrelevanten Merkmalen werden am Institut Agrosphäre (ICG-IV) Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) im Frequenzbereich 1mHz bis 45kHz mit einem selbst entwickelten Messsystem durchgeführt, das auf einer 24 bit A/D-Karte basiert. Untersucht wird die Abhängigkeit der Impedanzspektren reiner Sande von Salinität, Korngröße, Sättigung sowie der Zusammenhang mit hydraulischer Leitfähigkeit. Zusätzlich präsentiert werden die Ergebnisse von SIP-Messungen an elektrischen Testnetzwerken, die zur Überprüfung der Genauigkeit des elektrischen Messsystems dienen. Die erzielte hohe Phasengenauigkeit ist entscheidend für die Messungen, da die untersuchten Materialien nur eine kleine Frequenzabhängigkeit aufweisen, insbesondere bei höheren Salinitäten. Aus den Spektren wurden unter Annahme sich überlagernder Cole-Cole-Modelle (COLE & COLE, 1941) jeweils Relaxationszeit τ , Polarisierbarkeit und Cole-Cole-Exponent für verschiedene identifizierte Dispersionsbereiche ermittelt (KEMNA,

2000). - Bei den untersuchten Sanden wurde eine generelle Abnahme der größten Relaxationszeit τ_1 mit zunehmender elektrischer Leitfähigkeit des Porenfluids beobachtet gemäß einem Potenzgesetz und mit der Korngröße variierend. Dieses generelle Verhalten kann möglicherweise zurückgeführt werden auf die Dicke der elektrischen Doppelschicht, die mit zunehmender Leitfähigkeit abnimmt. Damit verbunden ist eine Abnahme der effektiven Relaxations-Diffusions-Länge L in Porenhälsen, welche gemäß der Theorie $L \sim \tau^{1/2}$ beträgt (z. B. TITOV ET AL., 2002). - Mit zunehmender Korngröße d wird generell eine wachsende Relaxationszeit beobachtet. Die Steigung der Ausgleichsgeraden zwischen $\log \tau_1$ und d ist relativ unabhängig von der elektrischen Leitfähigkeit des Porenfluids. Dieses Ergebnis ist in Übereinstimmung mit der Beziehung zwischen τ und L , und deren Zusammenhang mit der Korn-/Poren-Größe, die in der Literatur für Sedimentgesteine dokumentiert ist (z. B. TITOV ET AL., 2002; SCOTT & BARKER, 2003). - Des Weiteren wurde der Einfluss des Sättigungsgrades untersucht. Zur Variation der Sättigung wird eine Multi-Step-Outflow-Anlage (MSO) verwendet, die ebenfalls am ICG-IV entwickelt wurde. Die Anlage dient gleichzeitig zur Erfassung hydraulischer Kenngrößen. Im Gegensatz zur Verdunstungstrocknung erlaubt sie die Einstellung eines kontrollierten Wassergehaltes bei konstanter elektrischer Leitfähigkeit des Porenwassers. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der genannten Abhängigkeit der Phasenspektren von der Elektrolyt-

leitfähigkeit notwendig. Die SIP-Messungen erfolgen jeweils nach einer Druckstufe am ansonsten unveränderten Messzylinder. An den gleichen Materialien wie bei den Messungen unter Variation der Salinität wurden Phasenspektren aufgenommen. Der angelegte Luftdruck wurde bis 1 bar erhöht, womit Sättigungen von $S = 100\%$ bis unter 2% erreicht wurden. Die Entwässerung reduziert bzw. entfernt das freie Porenwasser. Somit nimmt der Anteil der Wasserschicht an der Fluid-Matrix-Grenze an der elektrischen Gesamtleitfähigkeit zu, d. h. der Einfluß der Oberflächenleitfähigkeit und der Polarisationsvorgänge wird stärker (TITOV ET AL., 2004). Daraus folgt eine inverse Beziehung zwischen Sättigung und Stärke der Polarisierbarkeit. Gleichzeitig beobachten wir eine Zunahme von τ_1 mit Abnahme von S . - Ferner untersucht wurde der Zusammenhang zwischen τ_1 und gesättigter hydraulischer Leitfähigkeit K_S . Für die betrachteten Sande finden wir eine fast perfekte Proportionalität zwischen den beiden Größen bei doppelt-logarithmischer Auftragung zu $K_S \sim \tau^{0,53}$. Qualitativ war diese Beziehung zu erwarten bei den oben genannten Ergebnissen und der engen Beziehung zwischen K_S und d . Die Möglichkeit des Gebrauchs der Relaxationszeit im Niederfrequenzbereich zur Abschätzung der hydraulischen Leitfähigkeit wurde bereits früher erkannt (PAPE & VOGELSANG, 1996; KEMNA, 2000), aber unterstützende Daten sind immer noch rar. Die hydraulischen Eigenschaften wie Lufteintrittswert a und Porengrößenverteilungsindex n wurden aus entsprechenden MSO Daten mit inverser Modellierung mittels des Programms von SIMUNEK ET AL. (2005) ermittelt. Dies ermöglicht dann z. B. die Berechnung der hydraulischen Leitfähigkeit K in Abhängigkeit von der effektiven Wassersättigung S_e .

Die Relaxationszeiten für die verschiedenen Korngrößen unterscheiden sich systematisch über den betrachteten Bereich der Sättigung. Zu einer gegebenen effektiven Sättigung kann damit eine Beziehung zwischen τ und K abgeleitet werden.

Literatur

COLE, K. S., & COLE, R. H. (1941): Dispersion and absorption in dielectrics, *J. Chem. Phys.*, **9**, 341–351.

KEMNA, A. (2000): Tomographic Inversion of Complex Resistivity - Theory and Application. Berichte des Instituts für Geophysik der Ruhr-Univers. Bochum A56, Der Andere Verlag, Tönning.

PAPE, H., & VOGELSANG, D. (1996): Fractal evaluation of induced polarization logs in the KTB-Oberpfalz HB: BGR/Geolog. Landesämter der BRD, Geologisches Jahrbuch, **54(E)**, 3–27.

SCOTT, J. B. T., & BARKER, R. D. (2003): Determining pore-throat size in Permo-Triassic sandstones from low-frequency electrical spectroscopy, *Geophys. Res. Letters*, **30(9)**, 1450–1453.

SIMUNEK, J., VAN GENUCHTEN, M. TH., & SEJNA, M. (2005): HYDRUS-1D, V3.00, Code for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-saturated porous media, Riverside, USA.

TITOV, K., KOMAROV, V., TARASOV, V., & LEVITSKI, V. (2002): Theoretical and experimental study of time domain-induced polarization in water saturated sands. *J. Appl. Geophys.*, **50**, 417–433.

TITOV, K., KEMNA, A., TARASOV, A., VERECKEN, H. (2004): Induced polarization of unsaturated sands determined through time-domain measurements, *Vadose Zone J.*, **3**, 1160–1168.

E-Mail: a.kemna@fz-juelich.de;

martin.muench@uni-bonn.de

Webseite: <http://www.fz-juelich.de/icg/icg-iv/index.php?index=441>

Lück, E., Gebbers, R. (Universität Potsdam), Spangenberg, U. (Großbeeren, IGZ)

Evaluierung elektrischer Leitfähigkeitskartierungen für die Landwirtschaft

E-Mail: elueck@geo.uni-potsdam.de

Für eine teilflächenspezifische Landwirtschaft sind Informationen über die Heterogenitäten der zu bewirtschaftenden Flächen notwendig. Neben verschiedensten Datenebenen spielt die elektrische Leitfähigkeit zunehmend eine Rolle. Aus den elektrischen Kenngrößen sind Informationen über Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Verdichtung und Salzgehalt abzuleiten.

Für großflächige Kartierungen stehen Geräte, die auf galvanischer, elektromagnetischer und kapazitiver Ankopplung basieren, zur Verfügung. Im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL, Projektträger - Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)) geförderten Projektes werden die Verfahren mit auf dem Markt befindlichen Geräten getestet und bewertet. Ergänzend werden aktuelle Geräteentwicklungen von Forschungseinrichtungen einbezogen. Das Hauptaugenmerk gilt den Methoden zur flächendeckenden Kartierung von Schlägen.

Im Projekt ist bisher der Einsatz der aufgelisteten Geräte erfolgt:

EM38, EM38-DD, EM38-MK2 (Geonics, Kanada), Elektromagnetik

CM-138 (GfInstruments, Tschechien), EM, ähnliche Parameter wie EM38

VERIS3100 (Veris Technologies, USA), galvanische Kopplung, 2 Tiefen

ARP (Geocarta, Frankreich), galvanische Kopplung, 3 Schichten

HAHA71 (Gemeinschaftsentwicklung von Industrie, Schule und Universität Potsdam),

Elektrik über 4-punkt-light (Lippmann)

Pluripol (Entwicklung an der Universität Kiel), galvanische Kopplung

VERIS300 Profiler (Veris Technologies, USA), galvanische Kopplung, Penetrometer mit Leitfähigkeitsmessung, für punktuelle Messungen

ERM - Earth resistivity meter (Eijkelkamp), Bohrlochsonde bis 1 m Tiefe

OhmMapper (Geometrics, USA), kapazitive Kopplung

Kapazitätssensor der FH Osnabrück

GeoTom (GeoLog, Deutschland), Multi-elektrodenapparat, Pseudosektionen

BIG-M Greifswald, Multi-elektrodenapparat, Pseudosektionen

Weitere, noch in Entwicklung befindliche Geräte, z.B: Uni Potsdam gemeinsam mit Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau

Die Arbeiten basieren zum großen Teil auf Kooperationen mit verschiedenen Forschungseinrichtungen: TU München, Uni Kiel, FH Osnabrück, Institut für Zuckerrübenforschung, ATB, ZALF, IGZ Großbeeren, John Deere und diversen landwirtschaftlichen Betrieben. Bei der Auswahl der Versuchsschläge wird darauf geachtet, dass bereits möglichst umfangreiche Zusatzinformationen vorliegen (Textur, Nährstoffe, Ertragkarten etc.), um die Geoelektrik-Messungen besser in den landwirtschaftlichen Kontext einordnen zu können.

Parallel zu allen Messungen werden Bodenproben gezogen, die im Labor hinsichtlich Bodenwassergehalt und Textur untersucht wer-

den. Ergänzend wird als Referenzdatensatz jeweils ein gleichstromgeoelektrisches Profil in einer in der Geophysik üblichen Standardanordnung (meist Wenner-Anordnung) gemessen. Dies bietet die Möglichkeit, tiefendifferenziert Schichten aufzulösen. Da es sich hierbei ebenfalls um ein Verfahren handelt, welches von der Oberfläche aus misst, werden zur Beurteilung dieses Verfahrens Messwerte im direct push-Verfahren herangezogen. Es werden die Widerstandswerte im Bohrloch in unmittelbarer Umgebung des Messpunktes ermittelt. Die Tiefenintervalle betragen 2 bzw. 10 cm, so dass die Messungen an der Oberfläche, wie sie für großflächige Kartierungen eingesetzt werden sollen mit Werten verglichen werden, die direkt im Boden in verschiedenen Tiefen gewonnen wurden.

Das Ergebnis des Gesamtprojektes wird ein Leitfaden für Landwirte und Dienstleister sein, in welchem die verschiedenen geoelektrischen Verfahren bewertet werden hinsichtlich:

- Präzision (Reproduzierbarkeit, Störgrößen)
- Bias (systematische Abweichung von Referenz)
- Erfasster Bodenraum (Messtiefen), Auflösungsvermögen usw.
- Bezug zu relevanten Bodenparametern
- Anzahl der Output-Parameter
- Qualität der Hardware, Software und Support

Die Zusammenstellung der Möglichkeiten sowie der Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden sollen der Auswahl und der richtigen Anwendung von geoelektrischen Verfahren in der Landwirtschaft dienen.

Bei der Bewertung der geophysikalischen Verfahren sind folgende methodischen Probleme zu berücksichtigen:

- Messungen werden teilweise zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt
- Messungen an nicht exakt den gleichen Positionen
- Frage nach der geeigneten Referenzmethode
- Kausalanalyse eingeschränkt, da Bodenuntersuchungen nicht in dem gewünschten Umfang möglich sind
- Diverse Fehlerquellen (Positionierung, Gerätefehler, Datenverarbeitung)
- Die Umrechnung der Widerstandswerte in Leitfähigkeiten und die sich anschließenden parametrische Korrelationsanalysen können insbesondere für hochohmige Zonen zu verzerrten Resultaten führen.
- Bei Messungen von der Oberfläche aus kommt hinzu, dass die Messwerte immer von der gesamten Bodensäule beeinflusst werden. Messungen, die Schichten in größeren Tiefen erfassen, enthalten ebenfalls Informationen des Oberbodens. Die Trennung der einzelnen Schichteinflüsse kann bei hinreichender Datenmenge über Inversionsverfahren erfolgen. Die Verwendung von invertierten Daten bedeutet, dass die Werte durch entsprechende Theorien und Algorithmen manipuliert sind.

Webseite: <http://www.geo.uni-potsdam.de/mitarbeiter/index.html>

Müller, M., Mohnke, O., Schmalholz, J., Yaramanci, U. (TU Berlin)

Monitoring von Feuchteänderungen im Boden mit Gleichstromgeoelektrik – Monitoring von Feuchteänderungen im Boden mit Gleichstromgeoelektrik - INTERURBAN

E-Mail: mamue@geophysik.tu-berlin.de

Der Wasser- und Stofftransport und die räumliche Variabilität im Oberboden sind die zentralen Fragestellungen der DFG Forschergruppe 409 (INTERURBAN) in Berlin. Für ein besseres Verständnis der Vorgänge in urbanen Böden wird im Rahmen der Forschergruppe ein nichtinvasives geophysikalisches Verfahrenskonzept zur verlässlichen Abbildung des Wasserhaushaltes und wichtiger Strukturparameter entwickelt. Insbesondere werden die zeitlichen Änderungen im Wasserhaushalt, sowie die relevanten Strukturparameter erfasst und gemeinsam mit bodenkundlichen Erkenntnissen interpretiert.

Für die geoelektrischen Messungen wurden die Auslagen und die Sensorik auf die notwendigen Dimensionen angepasst (Elektrodenabstand 0,2 - 0,05 m) und der Einfluss der Stabelektroden berücksichtigt. Für das Georadar wurden senkrechte Metallrohre eingebracht, um vertikale zeitliche Veränderungen des Wassergehaltes über Laufzeitveränderungen zu überwachen (Radar Based TDR). Weiterhin erlaubt die Auswertung der GPR-Bodenwelle die hochauflösende Abbildung des Wassergehaltes in den obersten Zentimetern. In diesem Beitrag zeigen wir vor allem die Ergebnisse der zeitabhängigen Geoelektrikmessungen an permanent installierten Multielektrodenauslagen (2D und 3D).

Die 3D-Untersuchungen wurden an s.g. kontrollierten Mesokosmen in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt FAUNA (Bodenzoologie der Freien Universität Berlin)

mittels Geoelektrik angesetzt und durchgeführt. Anhand dieser Mesokosmen soll geprüft werden, in wie weit Bodentiere die physikalischen Parameter des Bodens beeinflussen. Bei den Mesokosmen handelt es sich um Würfel von $50*50*50\text{ cm}^3$ die mit homogenisiertem Bodenmaterial aus dem Berliner Tiergarten befüllt wurde. Die Mesokosmen sind nach oben offen, und nach unten durch eine Gaze wasserdurchlässig vom umgebenden Boden getrennt, damit keine Bodentiere eindringen/entweichen können. Sie wurden so in den Boden eingelassen, dass die Oberkante mit der Grasnarbe abschliesst. Die Mesokosmen wurden dann mit Boden befüllt und fünf von insgesamt zehn zusätzlich mit Würmern besetzt, um den Einfluss der Bodentiere auf die Bodenparameter zu untersuchen. Jeweils ein Mesokosmos mit und einer ohne Würmer wurde vorher mit 96 Elektroden präpariert, s.d. geoelektrische 3D-Messungen an ihm vorgenommen werden können.

Die 2D-Untersuchungsfläche in Berlin-Buch liegt auf ehemaligen Rieselfeldern am Stadtrand von Berlin, auf denen bis in die 80er Jahre des 20. Jahrhunderts Abwässer Berlins ungeklärt versickert wurden. Das Gelände wurde in den vergangenen Jahren intensiv untersucht. Deshalb wurde dort im Rahmen der Forschergruppe eine Intensivuntersuchungsfläche mit permanenter Sensorik bestückt (TDR, DC-Geoelektrik, Temperatur, Niederschlag, etc.). Um die zeitlichen Veränderungen des elektrischen Widerstandes in Ab-

hängigkeit von der Bodenfeuchte beobachten zu können, wurden zwei permanente Elektrodenauslagen installiert. Beide Elektrodenstrecken haben jeweils 50 Elektroden in 0.2 m Abstand. Dieser Abstand wurde gewählt, um einerseits eine hinreichende Auflösung zu gewährleisten und andererseits gleichzeitig einen großskaligeren Überblick zu ermöglichen.

Seit Juni 2002 werden regelmäßig elektrische Widerstandssektionen (Wenner-Konfiguration) auf den beiden Profilen gemessen. Zunächst monatlich und seit Beginn 2004 wöchentlich. Die Geoelektrikdaten können dann an einer permanenten TDR-Installation kalibriert werden. Es zeigt sich, dass bestimmte Merkmale sich von Jahr zu Jahr wiederholen; bestimmte Bereiche scheinen stärker als andere auszutrocknen bzw. zu durchfeuchten. Im Juni 2003 wurde die elektrische Leitfähigkeit vor, während und nach einem Beregnungsexperiment aufgezeichnet. Die Beregnung wurde durch einen Großflächenrasensprenger durchgeführt. Die aufgebrauchte Wassermenge entspricht ca. 25 mm Niederschlag. Die Widerstandsverteilung vor der Beregnung zeigt laterale Inhomogenitäten mit einer Wellenlänge von ca. 3 m, die mit der undulierenden Morphologie des Geländes korreliert.

Bei langperiodischen Wiederholungsmessungen der Dynamik des Wassergehaltes können isolierte Niederschlagsereignisse die tatsächlichen langperiodischen Variationen stark maskieren, wenn die zeitliche Auflösung zu gering ist. Das Kurzzeitmonitoring zeigt erfolversprechende Ergebnisse sowohl was die Beschreibung hydrophober Bereiche als auch präferentieller Fliesswege angeht. Besonders präferentielle Fliesswege lassen sich nur mit Kurzzeitdynamik erkennen. Nasse

und trockene Bereiche korrespondieren mit wasserabweisenden und wasseraufnehmenden Bereichen. Entsprechend der Heterogenität von urbanen Böden haben diese Bereiche eine Größenordnung von wenigen Dezimetern.

Literatur: Müller, M., Mohnke, O. Schmalholz, J. and Yaramanci, U., 2003. Moisture assessment with small-scale geophysics - The Interurban Project, Near Surface Geophysics, 1, No. 4, 173-182.

Webseite: <http://www.interurban.de>

Grinat, M., Südekum, W., Günther, T. (Hannover)

Geoelektrisches Monitoring eines Tracer-Experiments in der Südstadt von Hannover

Das GGA-Institut hat zwischen dem 16.9. und dem 12.10.2005 ein Tracer-Experiment des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLfB) in der Lutherstraße (Südstadt von Hannover) mit geoelektrischen Monitoring-Messungen begleitet, um den Bereich zwischen der Injektionsbohrung und dem Beobachtungspegel zu erkunden und mögliche zeitliche Änderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes zu erfassen. Dieses Experiment ist Teil eines mehrjährigen Forschungsvorhabens zur Erkundung eines CKW-Schadensfalls in der Südstadt von Hannover. Nähere Informationen zu diesem Schadensfall sowie zum Forschungsvorhaben finden sich auf der Internet-Seite www.nlfb.de unter Altlasten/Projekte.

Das Experiment begann am 16.9.2005 mit der Injektion von 300 l Wasser mit einem Kilogramm Lithiumbromid in 13–15 m Tiefe. Die Leitfähigkeit dieses Tracers betrug 4440 MikroS/cm. Die Ausbreitung des Tracers wurde in einem 15 m entfernten Pegel beobachtet (Filterstrecke in 13–15 m Tiefe) (S. Hoffmann, pers. Mitteilung).

Etwa 1 m neben dem Beobachtungspegel ist bereits im Mai 2005 eine vom GGA-Institut konstruierte vertikale Elektrodenstrecke unter Verwendung des NLfB-Bohrgerätes fest eingebaut worden. Auf dieser sind insgesamt 66 Elektroden im Abstand von jeweils 0,25 m angeordnet (Tiefe der untersten Elektrode: 16,6 m). Zusätzlich wurden während des Tracer-Experiments Messungen an der Erdoberfläche auf einem 39 m langen Profil über Injektionsbohrung und Beobachtungspegel sowie Messungen zwischen dem Profil an der Erdoberfläche und der vertikalen Elektroden-

strecke durchgeführt. Der minimale Elektrodenabstand auf dem Oberflächenprofil betrug 1 m. Für die Surface-to-hole-Messungen wurden acht Stromdipole mit einer Dipollänge von 4 m sowie ein Stromdipol mit einer Dipollänge von 8 m an der Erdoberfläche in unterschiedlicher Entfernung zur vertikalen Elektrodenstrecke verwendet. Für jeden Stromdipol wurden die Potentialdifferenzen auf der vertikalen Elektrodenstrecke an insgesamt 59 Dipolen mit einer Dipollänge von jeweils 1 m aufgezeichnet. Die Messungen erfolgten mit der Multielektrodenapparatur Resecs.

Im Untersuchungsgebiet finden sich quartäre Sande und Kiese, letztere vorwiegend im unteren Teil des Grundwasserleiters. Unterhalb von etwa 15 m Tiefe liegen mächtige Kreidetone.

Auf der vertikalen Elektrodenstrecke erfolgten mehr als 90 Wiederholungsmessungen sowohl in Wenner-Alpha- als auch in Wenner-Beta-Elektrodenanordnung. Die Messungen sind sehr gut reproduzierbar, zeigen jedoch keine Unterschiede im Verlauf des Experiments. Die Grundwasserleitfähigkeiten im benachbarten Beobachtungspegel haben sich allerdings nur geringfügig erhöht, von etwa 1340 MikroS/cm auf 1420 MikroS/cm (S. Hoffmann, pers. Mitteilung).

Die 21 Messungen an der Erdoberfläche erfolgten tageweise. Da sie lediglich auf einem 39 m langen Profil durchgeführt werden konnten, sind mit der verwendeten Wenner-Elektrodenanordnung Erkundungstiefen von maximal etwa 7 m erreicht worden. Die beobachteten Änderungen im Verlauf des Experimentes werden bisher vor allem auf Änderungen im Bereich der Erdoberfläche zurück-

geführt.

Die 21 Surface-to-hole-Messungen, die wie die Oberflächenmessungen tageweise durchgeführt wurden, zeigen wesentliche Änderungen vor allem im oberflächennahen Bereich.

Just, A., Rücker, C., Jacobs, F. (Leipzig), Krause, Y. (Göttingen)

Geoelektrische Messungen in Salzbergwerken

E-Mail: ajust@rz.uni-leipzig.de

Geoelektrische Messungen in Salzbergwerken sind prinzipiell gut geeignet, um Feuchtezonen zu detektieren und zu charakterisieren, da Salzgestein in Abhängigkeit vom Wassergehalt große Widerstandsvariationen aufweist. Der spezifische elektrische Widerstand schwankt von $<100 \Omega\text{m}$ für laugengefüllte Bereiche bis $>10^8 \Omega\text{m}$ für trockenes Salzgestein. Im Vergleich zu obertägigen Messungen ergeben sich für die Untertagegeoelektrik im Salinar jedoch spezifische Probleme: 1. infolge des hohen Gebirgswiderstandes schlechte Ankopplung der Elektroden und messtechnische Schwierigkeiten, 2. erschwerte Auswertung und Interpretation. Die Messungen finden in einem durch das Grubengebäude modifizierten Vollraum entlang einer Strecke oder auf Querprofilen statt und werden so aus allen Raumrichtungen beeinflusst. 3. Die quantitativen Zusammenhänge mit gesteinsphysikalischen Größen sind nicht eindeutig.

Die messtechnischen Probleme können durch Verwendung von Messgeräten mit Konstantspannungsquelle und Strommessung sowie geeignete Ankopplungsmethoden weitgehend gelöst werden (Kulenkampff et al. 2005).

Die Auswertung und Interpretation der Messungen kann durch 3D-FE Modellierungen - z.B. mit FEMLAB (COMSOL AB) oder DC-FEMLIB (Rücker et al. 2004, Rücker & Günther 2005) - unter Einbeziehung der geometrischen Strukturen des Grubengebäudes und anderer a-priori Informationen verbessert werden. So kann der Einfluss der Streckengeometrie auf die Messungen auf Linienprofi-

len entlang des Stoßes, der Sohle oder der Firste durch Berechnung der exakten Geometriefaktoren berücksichtigt werden. Während die Geometriefaktoren für größere Elektrodenauslagen (für linienhafte Dipol-Dipol-Anordnungen etwa ab dem 10 bis 20-fachen der Streckenhöhe bzw. -breite) denen für den Vollraum und für kleine Auslagen (unter der Streckenhöhe bzw. -breite) denen für den Halbraum entsprechen, sind sie für die dazwischenliegenden Auslagen sehr stark von der Form des Streckenquerschnittes und der Lage des Profils (Höhe am Stoß bzw. bei Sohlen- oder Firstprofilen Abstand vom Stoß) abhängig. Auch der Einfluss benachbarter Strecken oder außerhalb der Profilebene gelegener bekannter Anomalien wie eine teilweise durchfeuchtete Sohle kann abgeschätzt bzw. in der Inversion berücksichtigt werden.

Für die Klärung der Abhängigkeit des spezifischen elektrischen Widerstandes von Salzgestein von gesteinsphysikalischen Größen, insbesondere aber vom Wassergehalt, liegen bereits umfangreiche Untersuchungen an Salzproben vor (Kulenkampff et al. 2005, Schönfelder et al. 2004). Dabei wurde zur Bestimmung des Wassergehaltes das hochgenaue Karl-Fischer-Titrationsverfahren angewendet und zur Widerstandsmessung ein spezieller Messplatz mit 4-Elektroden-Anordnung entwickelt. Es zeigte sich, dass der elektrische Widerstand nicht nur vom Gehalt an Wasser abhängt, sondern auch stark von dessen Bindung im Salz (äußerlich anhaftendes Wasser, freies und anhaftendes Porenwasser, chemisch

gebundenes Kristallwasser), die sich während der Probentrocknung ändern kann. Für die genaue Quantifizierung der Zusammenhänge sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Geoelektrische Messungen wurden - größtenteils im Rahmen von zwei Verbundvorhaben (BMBF Fkz. 02C0558 (1998-2001) und 02C0861 (2001-2003) (siehe Jacobs et al. 2006) - in vier Bergwerken mit unterschiedlichen geologischen Situationen durchgeführt. Am ersten Standort, einer Strecke im ehemaligen Kalibergwerk Bischofferode (Südharz), konnte in Verbindung mit den anderen eingesetzten geophysikalischen Verfahren (Radar, Elektromagnetik, Seismik und Sonar) eine bis dahin unbekannte laugenführende Störungszone im Hangenden der Strecke in weitgehend söhliger Lagerung detektiert und charakterisiert werden. Der zweite Standort war eine Bergwerksstrecke in einem Salzstock. Dort wurden Aussagen über die Widerstandsverteilung - und damit über die Feuchteverteilung - im stoßnahen Bereich bis in eine Entfernung von etwa 30m vom Stoß geliefert. Insbesondere wurde stoßnah eine ausgedehnte Feuchtezone lokalisiert. Neben diesen Messungen wurden geoelektrische Messungen im ehemaligen Kalibergwerk Teutschenthal (siehe Posterbeitrag Just et al. 2006) sowie im Forschungsbergwerk Asse durchgeführt. Zusätzliche Informationen kann man durch kombinierte Übertage-/Untertagemessungen mit Stromeinspeisungen übertage und Spannungsregistrierungen untertage oder getrennte Stromeinspeisung/ Spannungsmessung auf verschiedenen Sohlen eines Bergwerkes erhalten. Die prinzipielle Machbarkeit solcher Messungen konnte in einem ersten Versuch am Forschungsbergwerk Asse gezeigt werden. Dazu wurden an der Erdoberfläche über dem Grubengebäude mit einer Hochspannungsquelle zwi-

schen zwei Elektroden im Abstand von 100 bis 300 m Rechteck-Signale mit Speisespannungen von 300 bis 900 V eingespeist. Auf der 490m- und der 637m- Sohle wurden die Spannungen zwischen jeweils 2 Elektroden in Abständen zwischen 6 und 150 m mit RefTek-Transientenrekordern registriert.

Referenzen:

JACOBS, F., et al. (2006): Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertearbeitsinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. 66. Jahrestagung der DGG, Bremen.

JUST, A., et al. (2006): Geoelektrische Messungen in einem ehemaligen Kalibergwerk. 66. Jahrestagung der DGG, Bremen..

KULENKAMPFF, J., JUST, A., ASCHMANN, L., JACOBS, F. (2005): Laboratory investigations for the evaluation of in situ geophysical measurements in a salt mine. In: Harvey, P. K., Brewer, T. S., Pezard, P. A., Petrov, V. A. (eds), 2005. . Petrophysical Properties of Crystalline Rocks. Geological Society, London, Special Publications, 240, 301-306.

RÜCKER, C., KRAUSE, Y., JUST, A. (2004): 3D Finite Elemente Modellierung zur Untersuchung des Einflusses des Grubengebäudes auf geoelektrische Messungen im Bergwerk. 64. Jahrestagung der DGG, Berlin.

RÜCKER, C., GÜNTHER, T. (2005): Dreigitter-Technik zur 3D-Inversion geoelektrischer Gleichstrommessungen mit beliebiger Topographie. 65. Jahrestagung der DGG, Graz

SCHÖNFELDER, W., JUST, A., KRAUSE, Y., JACOBS, F. (2004): Untertagegeoelektrik im Salinar-Widerstandsbestimmung in-situ und im Labor. 64. Jahrestagung der DGG, Berlin.

Webseite: <http://www.geo.uni-leipzig.de>

Kneib, G. (Tunnelseis)

Ableitung seismischer Untergrundparameter vor der Tunnelbrust

E-Mail: G.Kneib@tunnelseis.com

Tunnelbauingenieure erwarten von der Geophysik Hinweise auf die geotechnischen Eigenschaften des Baugrunds vor der Tunnelbrust, damit sie die Vortriebsparameter daran anpassen können und vor Hindernissen rechtzeitig gewarnt werden. Seismische Methoden können die erforderliche Auflösung in der Größenordnung von einem Meter mit Frequenzen von wenigen kHz erreichen und haben sich im Tunnelbau seit Jahren bewährt.

Kommerzielle seismische Systeme für den Tunnelbau wie SSP (Sonic Softground Probing) für Lockergesteine oder TSP (Tunnel Seismic Prediction) für Festgesteine zielen auf das Abbilden reflektierender Strukturen vor dem Tunnel oder in seiner Umgebung. Zum SSP (Kneib, G., Kassel, A. und Lorenz, K., 2000, Automatic seismic prediction ahead of the tunnel boring machine, First Break, 18, 295-302) gehört eine Vibroseisquelle und wenige Empfänger, die alle in das Schneidrad einer Tunnelbohrmaschine integriert sind. Das System liefert während des Vortriebs automatisch etwa alle fünf Meter ein neues 3-D Modell des Bodens vor dem Schneidrad. In jedes Modell gehen Tausende Spuren ein, nachdem sie zuvor einem komplexen Prozessing unterworfen worden waren. Beim TSP (Sattel, G., Frey, P. und Amberg, R., 1992, Prediction ahead of the tunnel face by seismic methods - pilot project in Centovalli Tunnel, Locarno, Switzerland, First Break, 10, 19-25) registrieren Drei-Komponenten-Empfänger, die rund zwei Meter in das Gestein hinein versetzt wurden, Dutzende von kleinen Explo-

sionen, welche entlang eines Profils ebenfalls rund zwei Meter von der Tunnelwand entfernt ausgelöst wurden. Ein halbautomatisches seismisches Prozessing von rund zwei Dutzend Messungen liefert eine seismische Vorhersage für Entfernungen bis zu zweihundert Metern.

Im Rahmen des seismischen Prozessings enthüllen die seismischen SSP- und TSP-Daten neben der Reflexionsstärke auch weitere Eigenschaften, die mehr oder weniger direkt mit physikalischen und geotechnischen Untergrundparametern korrelieren. Zahlreiche Datenbeispiele illustrieren dies.

Beide genannte Messsysteme bestimmen die durchschnittlichen Geschwindigkeiten der direkten P- und S-Wellen. Diese bilden das Startmodell für die iterative automatische Geschwindigkeitsanalyse, die zu einem Modell der Geschwindigkeitsverteilung vor dem Tunnel führt. Aufgrund der tunnelgebundenen Messgeometrie mussten neue Verfahren für die Geschwindigkeitsanalyse entwickelt werden. Es wird die räumliche Verschiebung der migrierten Reflexionspunkte für unterschiedliche Schuss-Empfängergeometrien und Geschwindigkeiten automatisch verglichen und quantitativ ausgewertet. Daraus wird ein verbessertes Geschwindigkeitsmodell abgeleitet. Das berechnete Geschwindigkeitsmodell ist einerseits Voraussetzung für die Migration und damit für die räumliche Abbildung der Strukturen und andererseits ist es eine wichtige Hilfe bei der petrophysikalischen Interpretation. Im Falle des TSP werden aus P- und S-Wellengeschwindigkeitsmodellen mittels em-

pirischer Relationen auch Dichten und andere Parameter abgeleitet und für den Benutzer dargestellt.

Der seismische Qualitätsfaktor Q beschreibt die Wellendämpfung und ist durch die Mikrostruktur des Baugrunds bestimmt, insbesondere durch seine Heterogenität und die Anwesenheit von Fluiden. Für den Tunnelbau ist er damit besonders interessant. Q -Werte werden aus den Veränderungen der Amplitudenspektren mit dem Laufweg der Wellen abgeleitet (Spectral Ratio Methode) oder aus dem zeitlichen Abfall der Momentanfrequenzen der Spuren. Das SSP wird oftmals in Tiefen zwischen fünf und zwanzig Metern in gesättigten Lockergesteinsböden eingesetzt. Dort liegen die Q -Werte in der Regel zwischen 50 und 100. Im Festgestein bestimmen wir mit dem TSP meist Q -Werte zwischen 15 und 50. Starke Dämpfung (niedriges Q) beschränkt die Reichweite der Vorhersage und muss durch inverse Q -Filterung ausgeglichen werden.

Eine quantitativ zuverlässige Vorhersage eines abgeleiteten Bodenparameters auf der Basis eines physikalischen Modells ist oftmals nur für bestimmte Geologien möglich. Im Rahmen eines Tunnelprojektes in den Niederlanden in wassergesättigtem Sandboden ist es gelungen, aus den Laufzeiten der direkten P- und S-Wellen vor dem Schneidrad einer Tunnelbohrmaschine die Porosität des Bodens bis auf ein Prozent genau zu bestimmen. Das Verfahren beruht auf einer Kombination von Biot-Theorie für fluidgesättigten Boden, Hertz-Mindlin-Theorie granularer Medien und empirischen Formeln. Die mittleren Geschwindigkeiten der direkten P- und S-Wellen müssen sehr genau bekannt sein, was hier durch eine statistische Auswertung tausender Einzelmessungen erreicht wurde.

Trotz ungünstiger tunnelgebundener Mess-

geometrie, oftmals hohem Rauschniveau, Zeitdruck, dem ökonomischen Zwang zur (zumindest teilweisen) Automatisierung von Akquisition und Processing und einer unwirtlichen Umgebung kann hochwertige Hardware und sorgfältige Datenverarbeitung zu zuverlässigen oftmals quantitativen seismischen Vorhersagen führen. In der Umwandlung seismischer Messergebnisse in geotechnische Parameter liegt eine wichtige Aufgabe für die Zukunft.

Webseite: <http://www.tunnelseis.com>

Lüth, S., Giese, R. (GFZ Potsdam), Dickmann, T. (Amberg Regensdorf ,CH), Bohlen, T. (TU Bergakademie Freiberg), Krüger, K., Mielitz, S., Otto, P. (GFZ Potsdam)

Erkundung einer geologischen Schwächezone mit tunnelseismischen Messungen - die Piora-Mulde am Gotthard-Basistunnel

Die Trasse des im Bau befindlichen Gotthard-Basistunnels schneidet eine Reihe von geologischen Schwächezonen, zu denen auch die Piora-Mulde gehört. Die Piora-Mulde liegt im Übergang vom Gotthardmassiv im Norden und der südlich angrenzenden Penninischen Gneiszone. Sie besteht aus sedimentären Ablagerungen mit darin enthaltenem Dolomit. Dieser ist in Folge einer metamorphen Überprägung während der alpinen Gebirgsfaltung teilweise zuckerförmig ausgebildet.

Mitte der 90er Jahre wurde ein Sondierstollen gebohrt, um die Piora-Mulde zu untersuchen, bevor sie vom Hauptvortrieb erreicht wird. Der Piora-Sondierstollen wurde mit einer Tunnelbohrmaschine (TBM) mit 5 m Durchmesser aufgeföhren und erreicht eine Länge von ca. 5,5 km. Er endet ca. 30 m vor der Piora-Mulde. In diesem Sondierstollen sind durch das AlpTransit Konsortium zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden, er stand aber auch für seismische Messungen durch das GFZ Potsdam, unterstützt durch die Firma Amberg Messtechnik AG (Regensdorf, Schweiz), zur Verfügung.

Seismische Messungen, die im Piora-Sondierstollen und im Bereich der Multifunktionsstelle Faido (Gotthard Basistunnel), durchgeführt worden waren, zeigten, dass bei einer Anregung an der Tunnelwand vor allem an die Tunnelwand gebundene Oberflächenwellen erzeugt werden. Dies ließ sich auch mit Finite-Differenzen-Modellierungen bestätigen. Die Modellierungen zeigten, dass bei einer Anregung an der Seitenwand in der Nä-

he der Ortsbrust unter anderem Oberflächenwellen angeregt werden, die an der Ortsbrust vor allem zu S-Wellen konvertieren, die sich dann von der Ortsbrust aus in Vortriebsrichtung ausbreiten (Bohlen et al., diese Tagung). Befindet sich vor der Ortsbrust ein Reflektor, wird ein Teil der S-Welle hier reflektiert, kehrt zur Ortsbrust zurück und wird dort in eine an der Tunnelwand entlang laufende Oberflächenwelle rückkonvertiert. Dieser Wellentyp eignet sich deshalb grundsätzlich für eine reflexionsseismische Vorauserkundung während des Vortriebs, auch weil hierbei Quellen und Empfänger nicht unmittelbar an der Ortsbrust angebracht werden müssen.

Um die Anwendbarkeit dieses Wellentyps auf die seismische Tunnelvorauserkundung in einem bekannten Umfeld zu untersuchen, wurden im März 2005 seismische Messungen an der Ortsbrust des Piora-Sondierstollens durchgeführt. Die Messauslage bestand aus zwei Drei-Komponenten-Geophonen, die an der Spitze von Gebirgsankern befestigt sind und in 2 m Tiefe in der Tunnelwand ca. 60 m hinter der Ortsbrust verklebt werden. An 71 Positionen an der Tunnelwand wurde dann mit einem pneumatischen Hammer angeregt. Die Verteilung der Geophone und der Schlagpunkte entspricht zwei VSP-Experimenten entlang der Tunnelwand. Bei den unbearbeiteten Aufzeichnungen zeigt sich vor allem in der tunnelwandnormalen Komponente eine starke Dominanz der an der Tunnelwand gebundenen direkten Oberflächenwelle. Mit Hilfe eines Median-Filters (wahlweise Top-mute) lässt sich diese direkte Oberflächenwelle entfer-

nen. Nach Bandpassfilter und einer laufzeitabhängigen Amplitudenkorrektur sind nun auch Einsätze zu erkennen, die aufgrund ihrer Laufzeitkurven eindeutig als Reflektionen identifiziert werden können. Mit einer an die Strahlwege des hier verwendeten Wellentyps angepassten modifizierten Kirchhoff-Migration lässt sich eine migrierte Sektion berechnen, die die Lage von Reflektoren im Raum anzeigt. Diese zeigt deutlich sowohl die südliche Begrenzung der Piora-Mulde als auch einen vor der Piora-Mulde befindlichen kakiritisierten Bereich.

Bohlen, Th. (TU Bergakademie Freiberg), Lorang, U., Rabbel, W. (Universität Kiel), Giese, R., Lüth, S. (GFZ Potsdam), Müller, C. (Universität Kiel)

Seismic prediction ahead of tunnel construction using Rayleigh to body wave conversion at the head face

E-Mail: tbohlen@geophysik.tu-freiberg.de

Underground construction is often carried out under complex soil and rock conditions. An important factor in tunnel excavation is the knowledge of the geological environment and the geotechnical parameters to be encountered. Unrecognized and unexpected decreases in rock quality or fluid inflows represent a danger for humans and machines. It is therefore of great importance to develop techniques which can localize geological heterogeneities, such as faults, erratic rocks, fracture zones and wet layers (aquifers) before tunnel constructions reach such areas.

Conventional tunnel seismic prediction systems utilize body waves that are directly excited at the side walls or at the face of the tunnel boring machine (TBM). These signals are reflected or scattered at geological heterogeneities and received by receivers placed in bore holes around the tunnel or at the head of the TBM.

In this work we suggest a new strategy which utilizes Rayleigh waves that are converted into body waves at the tunnel head face. The new wavepaths are illustrated in Figure 1a. The Rayleigh waves are generated by a seismic source (e.g. hammer or explosion) behind the TBM. They propagate along and around the tunnel, and arrive at the front tunnel face where they are converted into body waves (P- and S-waves). The front tunnel conversion interface acts like a body wave source that is triggered by the direct Rayleigh

wave field. After emission the converted body waves are reflected at heterogeneities and are partly converted back into Rayleigh waves. These Rayleigh waves travel backwards along and around the tunnel wall and are recorded by the receivers (geophones or accelerometers) which are located behind the TBM. One main advantage of this approach is that neither the sources nor the receivers need to be installed at the front face to use it as a transceiver of body waves. Source and receivers may be placed behind the TBM which allows to keep the interference with the ongoing excavation process to a minimum.

In this paper we investigate the efficiency of Rayleigh wave to body wave conversion at the (front) tunnel face (and vice versa) through a series of numerical modelling experiments based on 3-D finite difference viscoelastic modelling. We describe in detail the complex wavefields involved in the conversion process and analyse the influence of the shape of the front tunnel wall, the presence of the TBM and the dip of the reflecting interface. We present a simple and robust technique for estimating the distance as well as the dip of possible fault zones ahead of the underground construction (Figure 1b). This new method is successfully applied to synthetic data and also works well when applied to a field data example.

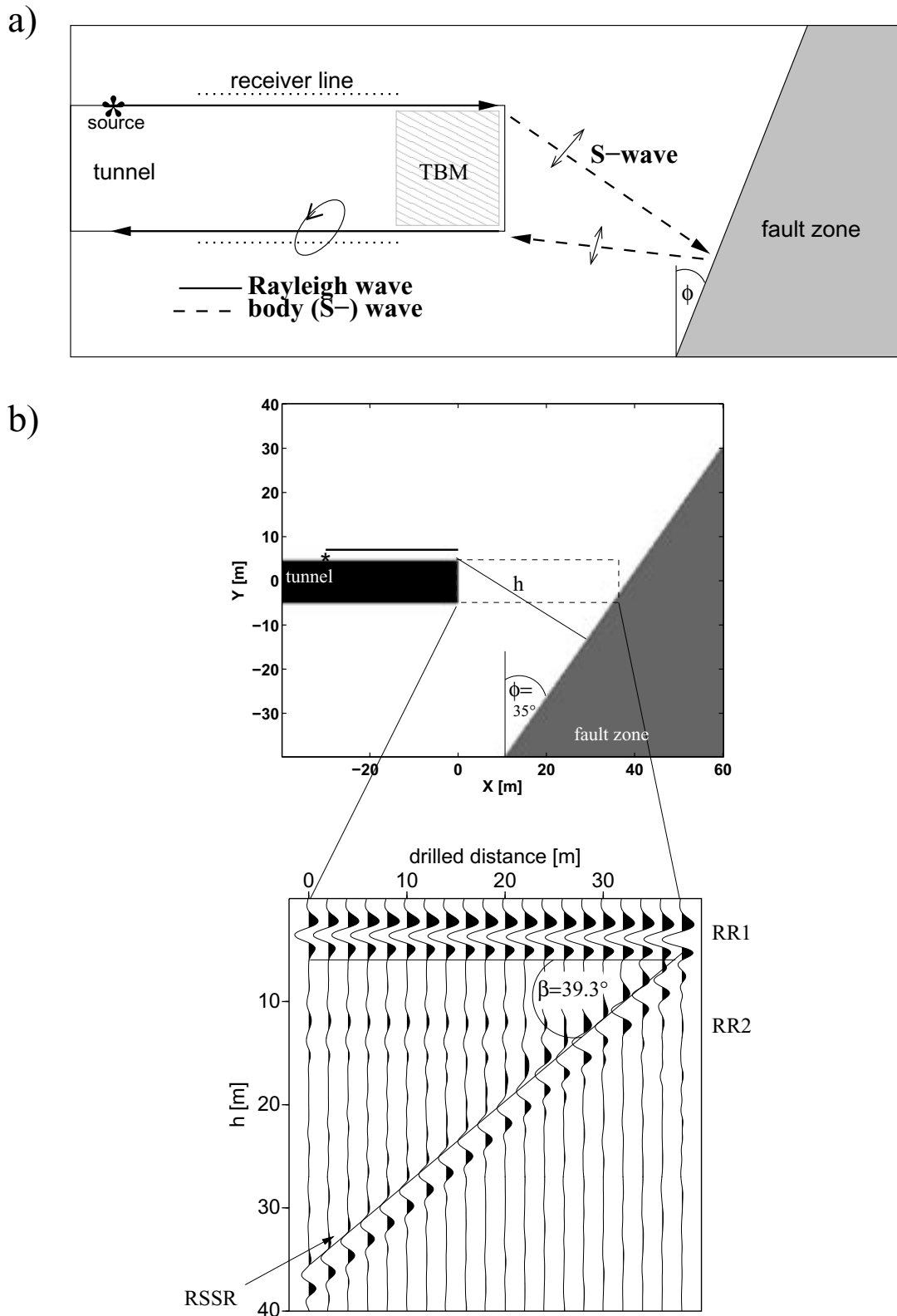


Figure 1: a) Wavepath of Rayleigh to body wave (S-wave) conversion at the tunnel face. The face acts as a secondary S-wave source triggered by the direct Rayleigh wave. Reflected S-waves are converted back into Rayleigh waves. b) The dip angle ϕ as well as the reflector distance h can be derived from so-called RSSR-gathers

Essen, K. (Bochum), Bohlen, T. (Kiel), Friederich, W. (Bochum)

Modellierung von Rayleigh Flözwellen in gestörten Kohleflözen und in der Nähe einer untertägigen Strecke

E-Mail: katja.dietrich@rub.de

Zur Vorerkundung beim Bau neuer Verkehrs- und Transporttunnel wurde in den vergangenen Jahren eine Reihe von neuen Methoden entwickelt, um die Kosten und Risiken der Arbeiten zu verringern. Die existierenden Systeme sind an den Tunnelbau im Festgestein angepasst und nutzen in der Regel reflektierte Raumwellen. In unserer Arbeit soll untersucht werden, ob es möglich ist, ähnliche Verfahren für die Erkundung untertägiger Strecken im Kohlebergbau zu entwickeln. Da die Strecken dort parallel zur jeweilig abzubauenen Flözschicht aufgeföhren werden, konzentrieren wir uns auf die Untersuchung von reflektierten Flözwellen.

Auch bei den Standardverfahren zur Erkundung von gesamten Bauhöhen werden die Eigenschaften der Flözwellen, meist Love-Flözwellen, ausgenutzt. Aus diesem Grund gibt es bereits eine Reihe von Untersuchungen über den Einfluss der Flözschichtung auf die Ausbreitung von Flözwellen und auf deren Verhalten an unterschiedlichen Störungen des Flözes. Wir haben uns auf die Modellierung von Rayleigh-Flözwellen für unterschiedliche 1D- und 2D-Flözmodelle konzentriert, um dann in einem weiteren Schritt die Ausbreitung von Flözwellen in 3D-Modellen zu untersuchen. Synthetische Seismogramme für eindimensionale Modelle wurden mit einem Algorithmus erzeugt, der exakte Greensfunktionen für ein sphärisch symmetrisches Modell berechnet. Die Wellenausbreitung in gestörten Flözmodellen und in Modellen mit

Tunnel wurden mit einem parallelen elastischen 2-D/3-D Finite Differenzen Code gerechnet.

Insbesondere haben wir das Verhalten von Flözwellen in der Nähe eines Tunnels untersucht. Bei den Standardtransmissionsmessungen ist dies weniger von Bedeutung, da in diesem Fall Geophone und Schusspunkte in unterschiedlichen Strecken platziert sind. Will man dagegen in einer Strecke seismische Wellen anregen und Daten aufzeichnen, so muss die Ausbreitung von Wellen entlang des Tunnels berücksichtigt werden, ähnlich wie auch schon bei den Methoden für den Bau von Verkehrstunneln beobachtet.

Die Berechnungen haben gezeigt, dass für ein einfaches Dreischichtmodell Nebengestein-Kohle-Nebengestein die Wellenausbreitung durch die Grundmode dominiert wird. Wird das Modell um zusätzliche Bergemittleinlagerungen innerhalb des Flözes erweitert, dominieren höhere Moden die Wellenausbreitung. Der FD Algorithmus hat sich als sehr effektiv erwiesen, die Wellenausbreitung an Störungen und in der Nähe eines Tunnels zu untersuchen. Die Berechnungen haben gezeigt, dass Flözwellen an der Tunnelfront zu Rayleigh-Tunnelwellen konvertieren und umgekehrt. Ein Vergleich von synthetischen Daten und gemessenen Daten kann Aufschluss über die Existenz von erwarteten Störungen geben. Es soll ein Inversionsverfahren entwickelt werden, mit dem Störungen lokalisiert werden können.

Jaksch, K., Giese, R., Lüth, S. (GFZ Potsdam)

Hochauflösende seismische Messungen an Lehmdeichen

Projektbeschreibung

Innerhalb des BMBF-Projektes „Versagen von Deichen und Dämmen auf und mit Lehmzonen bei Hochwasser“ wurden ab November 2004 über ein halbes Jahr lang in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) und dem Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik (IBF) der Universität Karlsruhe geotechnische und geophysikalische Untersuchungen an Modelldeichen durchgeführt.

Der geophysikalische Teil dieses Projektes untersucht, inwieweit mit seismischen hochauflösenden Messungen die Durchfeuchtung eines Deiches abgebildet werden kann. Ziel ist es, anhand der seismischen Messungen die Durchfeuchtungsbereiche eines Deiches während eines Hochwassers zu erkennen und daraus die Versagenswahrscheinlichkeit des Deiches bestimmen zu können. Dazu sollen die Strukturen im Deichkörper hinsichtlich ihrer Materialien und deren Bodenparameter, wie Wassergehalt und Porosität, bestimmt werden. Um eine hohe Auflösung zu erhalten, wurde als seismische Quelle ein magnetostriktiver Vibrator verwendet, der Frequenzen bis zu 7 kHz anregen kann.

Versuchsanlage

Im Theodor-Rehbock-Laboratorium des IWG wurde eine Versuchsanlage für Deiche mit einer Regelung für den Wasserstand aufgebaut, um die Simulation von Hochwasserszenarien an Deichen zu ermöglichen. Um die Versagensmechanismen genauer bestimmen zu können, wurden insgesamt zwei Modelldeiche aufgebaut, bei denen unter anderem das Deichmaterial und das

Hochwasserszenario variiert wurden. Die Größe der Modelldeiche entspricht dem Verhältnis von 1:4 bis 1:3 von realen Deichen. Dementsprechend haben die Modelldeiche eine Länge des Deichlagers von 8 m und eine Höhe von 1,4 m. Die Breite der Deiche beträgt 2,3 m.

An den beiden Modelldeichen wurden langfristige Durchfeuchtungsversuche mit konstanten oder stufenweise veränderten Wasserstandshöhen durchgeführt. Eine Regelung des Wasserzuflusses sorgt für stabile Wasserstandshöhen. Da die beiden verwendeten Deichmaterialien unterschiedliche hydraulische Leitfähigkeiten aufweisen, schritt die Durchfeuchtung der Deiche unterschiedlich schnell voran.

Seismische Meßanordnung

An beiden Deichen bestand das Schuß- und Empfängerarray jeweils aus drei parallelen Messlinien im Abstand von circa 56 cm, mit einem Schuß- und Empfängerabstand von jeweils 40 cm. Für die Messungen wurden insgesamt 63 3-Komponenten-Geophonköpfe in den Deich eingebaut, wobei auf der zu flutenden Deichflanke 21 Geophonköpfe in wasserdichter Ausführung zum Einsatz kamen. Die Schüsse jeder Meßlinie wurden von allen 3-Komponenten-Empfängern registriert, wodurch ein 3D-Messfeld entsteht. Insgesamt konnten je nach Wasserstandshöhe maximal 54 Quellpunkte auf dem Deich je Messdurchgang gemessen werden.

Analog zur Deichgeometrie der großmaßstäblichen Deichmodelle am IWG wurde ein Finite-Differenzen-Rechenmodell erstellt, basierend auf einem homogenen Auf-

bau mit vorgegebenen Materialparametern, wie seismischer Geschwindigkeit, Dämpfung und Dichte. Für die Durchführung verschiedener Modellrechnungen wurden die Modellparameter variiert und auf bestimmte Fragestellungen, wie z.B. Durchfeuchtungszonen, konkretisiert.

Als seismische Quelle diente ein magnetostriktiver Vibrator, mit dem Sweeps von 300 bis 6300 Hz erzeugt wurden. Um die Zeit für einen Durchlauf aller Quellpunkte je Messung zu verkürzen, wurde ein Wagen verwendet, der oberhalb des Deiches auf einer horizontalen Schiene fährt. So konnte sichergestellt werden, daß der Vibrator jeweils senkrecht zur Oberfläche angepreßt wurde und die Schußpunkte reproduzierbar sind. Eine SPS-Steuerung ermöglichte eine automatische Durchfahung der Schußpunkte eines Meßdurchlaufs und somit eine Minimierung der Meßzeit.

Die Signalqualität wird durch den Einsatz eines Echtzeitregelungssystems verbessert. Dadurch wird erreicht, daß alle angeregten Frequenzen des Sweeps mit möglichst gleicher Amplitude angeregt werden und vorhandene Resonanzfrequenzen des Vibrators in ihrer Amplitude reduziert werden. Für die Regelung des Steuersignals des magnetostriktiven Vibrators wird dabei das Beschleunigungssignal eines am Kopf des Vibrators integrierten Aktuators verwendet.

Ergebnisse

Die Messungen im trockenen Zustand zeigen ein komplexes Wellenfeld, daß von direkten P-Wellen, Oberflächenwellen sowie reflektierten und refraktierten Wellen an den Modellgrenzen dominiert wird. Die Frequenzen der direkten P-Wellen liegen im offsetnahen Bereich bis circa einen Meter bei bis zu 3000

Hz und fallen darüber hinaus schnell auf circa 700 bis 900 Hz ab. Die Oberflächenwellen zeigen über den gesamten Offsetbereich Frequenzen von 300 bis 400 Hz.

Der Vergleich mit Messungen bei hohen Wasserständen und starker Durchfeuchtung des Deiches zeigt einen starken Einfluß auf die seismischen Daten. So ist eine deutliche Dämpfung der Signale in Bereichen des Deiches mit hoher Durchfeuchtung zu erkennen. Ein Vergleich der Ersteinsatzzeiten zeigt zudem, daß diese besonders bei Laufwegen zunehmen, die hauptsächlich durch den Deichkörper verlaufen, und somit auf eine Abnahme der P-Wellengeschwindigkeiten mit zunehmender Durchfeuchtung des Deiches hinweisen. Im Nahbereich der Quelle wird das gesamte angeregte Frequenzspektrum in den Boden eingebracht.

Für den trockenen Deichzustand zeigt die Laufzeit-Tomographie Heterogenitäten im Deichkörper und mit der Tiefe zunehmende P-Wellengeschwindigkeiten. Der bautechnisch homogene Einbau des Deichmaterials wird durch die seismischen Daten nicht belegt. Derzeit werden seismische Laufzeit-Tomographien für verschiedene Durchfeuchtungsstadien des Deiches erstellt. Die aus den Laufzeit-Tomographien am Deichmodell gewonnenen Materialparameter werden wiederum zur weiteren Anpassung des FD-Rechenmodells genutzt.

Kaufmann, G. (FU Berlin)

Numerische Untersuchungen zur Stabilität von Staudämmen im Karst

E-Mail: gkaufma@zedat.fu-berlin.de

Die Versorgung der Weltbevölkerung mit sauberem Trinkwasser in ausreichenden Mengen ist eine der großen Herausforderungen im neuen Jahrtausend. Um eine kontinuierliche Versorgung sicherzustellen, ist es notwendig, künstliche Wasserreservoirs in ausreichender Anzahl zur Verfügung zu stellen. Geeignete Standorte für Reservoirs sind allerdings nicht immer einfach zu finden.

Schon heute werden deshalb viele Staubecken in Regionen gebaut, in denen verkarstungsfähige Gesteine, z.B. Kalke oder Gipse, anstehen. Diese Gesteine sind wasserlöslich, und im Laufe der Zeit werden kleinste Klüfte und Schichtfugen durch Lösungstätigkeit vom Sub-Millimeterbereich bis zum Meterbereich erweitert. Der hohe hydraulische Gradient, der durch künstliche Reservoirs erzeugt wird, beschleunigt die Lösungstätigkeit stark, so daß die Reservoirs innerhalb ihrer bautechnischen Lebensdauer undicht werden können und damit unbrauchbar werden.

Wir untersuchen mit Hilfe der Software KARST (Karst Aquifer Simulation Tool) die hydraulische Stabilität von Staubecken, die auf Kalksteinen aufgestaut werden. Die Modellrechnungen zeigen eine starke Gefährdung der Staubecken oft innerhalb der Lebensdauer eines Reservoirs.

Webseite: <http://userpage.fu-berlin.de/geodyn>

Dipl. Geophys. Swoboda, U., Dipl. Phys. Witte, C., Dipl. Geol. Loske, B. (Deutsche Montan Technologie GmbH, Exploration und Geosurvey, Am Technologiepark 1, D-45307 Essen), Dr. Weihrauch, S. (Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR, Alte Königstraße 3, D-22767 Hamburg), Dipl. Geol. Döhler, M. (RWE Dea AG, Überseering 40, D-22297 Hamburg)

3-D Seismische Erkundung einer Pipelinetrasse zur Anbindung der RWE-DEA-Förderplattform MITTELPLATE

Aufgabenstellung:

Das Mittelplate Konsortium (RWE Dea AG als Betriebsführerin und Wintershall AG mit jeweils 50 % Anteil) will die Ölförderung aus dem größten deutschen Erdölvorkommen Mittelplate mit noch gewinnbaren Reserven von etwa 30 Mio. t. optimieren und zeitlich verkürzen. Hierfür sollten zwei Pipelines zwischen der Landstation in Friedrichskoog und der Bohr- und Förderinsel Mittelplate A im Nationalpark vor der schleswig-holsteinischen Westküste verlegt werden.

Das Konzept der seeseitigen Verlegung mittels HDD Technik minimiert die Umweltauswirkungen durch die Verlegearbeiten in diesem ökologisch sensiblen Gebiet und erfordert im Vorfeld eine intensive Baugrunderkundung zur Reduzierung des Baugrundrisikos.

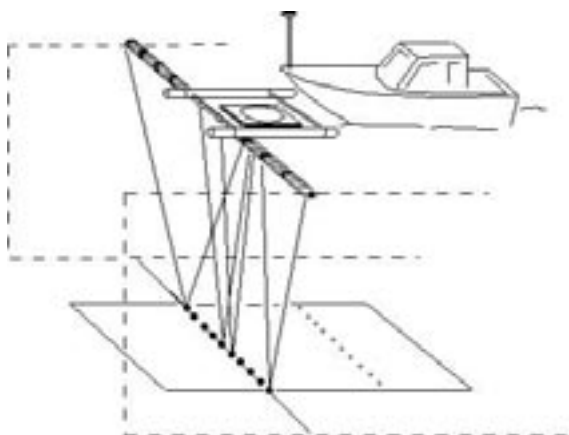


Abbildung 1: Prinzipskizze der 3-D Wattenmeer Datenaufnahme.

Dem kurzfristigen Eingriff in die Natur bei der Verlegung der Rohrleitungen durch das Wattenmeer steht der ökologische Gesamtnutzen des Projektes gegenüber. Jährlich können rd. 1000 Öltransporte mit speziellen Schubverbänden entfallen und durch die Produktionserhöhung ist eine Verkürzung der Förderdauer mit entsprechendem vorzeitigem Rückbau der Insel aus dem Wattenmeer gegeben.

Leistungen:

Um für den Kunden die gesamten Leistungen für die Baugrunderkundung kompetent aus einer Hand in dem begrenzten Zeitrahmen zu erbringen, hat die Deutsche Montan Technologie GmbH eine Arbeitsgemeinschaft mit der Firma Grundbauingenieure Steinfeld & Partner GbR gegründet und folgende Leistungen erbracht:

- * 3-D reflexionsseismische Datenerfassung,
- * Erstellung von Bohrungen im Wattenmeer und auf dem Festland,
- * Geophysikalische Aufnahme im Bohrloch (Drucksondierung, VSP),
- * Seismische Datenbearbeitung und geologische Interpretation,
- * Erstellung eines Baugrundgutachtens.

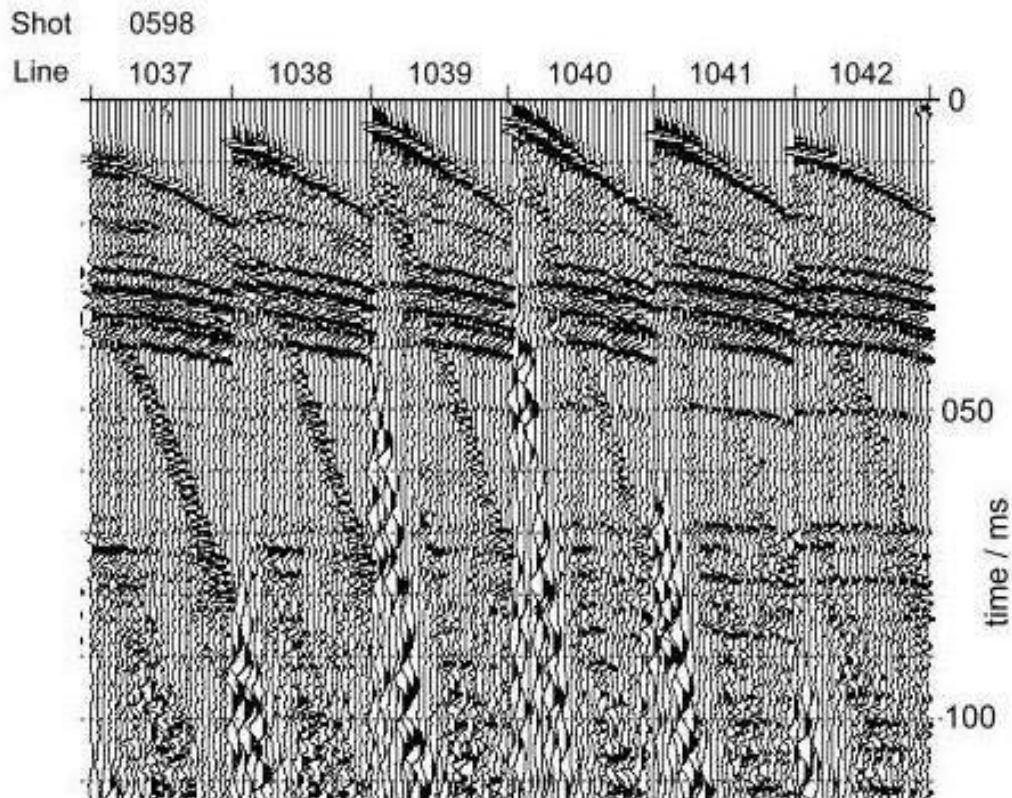


Abbildung 2: Beispiel für 3-D reflexionsseismische Rohdaten in der Transitionszone.

Die 3-D reflexionsseismische Erkundung wurde zu Land, in der Transitionszone und im Wattenmeer durchgeführt. Die maximale Erkundungstiefe betrug 60 m unterhalb der Geländeoberkante.

Zu Land und im Deichbereich wurden die seismischen Daten mit dem Telemetriesystem summit (DMT Produkt) gewonnen, wobei eine sprengseismische Quelle (POPSY, DMT Produkt) zum Einsatz kam. In der Transitionszone wurden die seismischen Wellen aus Gründen des Umweltschutzes mittels Impulshammer erzeugt.

Die Wattenmeer-Erkundung wurde im Flachwasser bei Wassertiefen ab 0,3 m durchgeführt. Zum Einsatz kam eine an einem Messboot installierte Boomerquelle. Die GPS-Positionierung wurde mit Trimble- und

Leica-Systemen vorgenommen.

Entlang des Messkorridors wurden auf sechs Positionen Bohrinformationen gewonnen. Das Bohrprogramm bestand jeweils aus der Entnahme von Bodenproben, einer Drucksondierung und einer seismischen Aufzeitmessung (VSP).

Bei der Datenbearbeitung und der geologischen Interpretation konnten aus dem Datensatz wertvolle Informationen über die Beschaffenheit des Baugrundes extrahiert werden. Von besonderem Interesse waren die potentiellen Lagen von Geschiebe- und Kiesnestern, die die Verlegung der Pipelinerohre erschwert hätten.

Walter, M. (Stuttgart, Institut für Geophysik)

Seismische Untersuchung von Massenbewegungen am Heumöser Hang, Vorarlberg mittels Nanoseismic Monitoring

Seismische Untersuchung von Massenbewegungen am Heumöser Hang, Vorarlberg mittels Nanoseismic Monitoring

M. Walter, M. Joswig

Im Rahmen von mehreren Forschungsprojekten wurden von den Instituten für Geoökologie und für Bauingenieurwesen der TU Berlin, dem Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart sowie dem Institut für Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe zahlreiche mechanische, hydrologische und geologische Untersuchungen am Heumöser Hang im Vorarlberg (Österreich) durchgeführt. Zusätzlich wurde jetzt erstmals versucht, mögliche mikroseismischen Impulse, freigesetzt durch Spannungsabbauprozesse während der Rutschung des Heumöser Hanges, zu detektieren und zu orten. Der Rutschungskörper hat die Größe von ca. 0,8 mal 2,0 km und man vermutet, dass vor allem bei Starkregenereignissen das feinkörnige, mergelige und kaum wasserdurchlässige Material des Hanges unter Auftrieb gerät und es somit zu Instabilitäten kommt. Die seismischen Messungen erfolgten durch zwei SNS-Arrays, jeweils bestehend aus einem 3- und drei 1-Komponenten Seismometer. Die Messdauer betrug insgesamt zwei Wochen im Herbst 2005 bei unterschiedlichen Niederschlagsverhältnissen. Es konnte tatsächlich eine Vielzahl mikroseismischer Ereignisse im Bereich M_l -1,3 bis -2,2 nachgewiesen werden, deren Häufigkeitsverteilung mit der Niederschlagsaktivität gut korreliert. Die georteten Hypozentren lassen sich darüber hinaus mit einzelnen Hangabschnitten unterschiedlicher Rutschungsgeschwindigkeit in Zusammenhang bringen.

Janik, M. (Bonn), Kirsch, R. (Flintbek), Reiss, S. (Hamburg)

Geophysikalische Erkundung eines Erdfalls

E-Mail: rkirsch@lanu.landsh.de

Im September 2004 ereignete sich in der Gemeinde Münsterdorf ca. 40 km nordwestlich von Hamburg ein Erdfall auf unbebautem Gebiet, der zwar keine Schäden anrichtete, aber allgemeine Beunruhigung hervorrief, da sich 3 Einsturztrichter von ca. 2 m Durchmesser bildeten. Die geologische Ursache des Erdfalls sind Lösungsprozesse innerhalb eines Kreidehorizontes, der nach Bohrergebnissen und geoelektrischen Messungen ca. 30 m unter Gelände verläuft und von sandigen/mergeligen Schichten abgedeckt ist.

Um das Risiko weiterer Erdfälle abschätzen zu können, wurde ein geophysikalisches Messprogramm durchgeführt. Mit zwei reflexionsseismischen Profilen wurde der Tiefenverlauf des Kreidehorizontes kartiert. Im Bereich des Erdfalls ergab sich ein gestörtes Reflexionsbild als Anzeichen einer Einbruchstruktur. Im weiteren Verlauf der reflexionsseismischen Sektion ergaben sich zusätzlich Hinweise auf derartige Bruchstrukturen. Diese werden als Anzeichen auf weitere Erdfälle gedeutet, die sich vor längerer Zeit ereignet haben müssen und heute an der Oberfläche nicht mehr sichtbar sind.

Mit Bodenradarmessungen konnten die Strukturen innerhalb der obersten 5 m Boden hochauflösend aufgenommen werden. Dort zeigten sich deutliche Deformationsstrukturen, wie sie als Folge von mehrfachen Rutschungen an aktiven Erdfällen entstehen können. Das Erdfall-System scheint in der Vergangenheit regelmäßig aktiv gewesen zu sein. Die Georadar-Untersuchungen wurden von

der Forschungsgruppe Geodynamik und Georisiken von Prof. Reuther, Geologisches Institut der Universität Hamburg im Rahmen des BMBF Projektes HADU - Hamburgs dynamischer Untergrund durchgeführt.

Mit den geophysikalischen Messungen konnten keine Hohlräume in der Kreide gefunden werden, deren Zusammenbrechen zu weiteren Erdfällen führen würde. Es wird aber gezeigt, dass der aufgetretene Erdfall an dieser Lokation kein Einzelereignis war.

Tillmann, A. (Forschungszentrum Jülich), Nyari, Z., Fejes, I. (ELGI Budapest), Vanderborght, J., Vereecken, H. (Forschungszentrum Jülich)

Charakterisierung der Sedimentheterogenität und der Korngrößenverteilung mit Hilfe der Cone Penetration Technologie

E-Mail: a.tillmann@fz-juelich.de

Die Technik der Cone Penetration Tests (CPT) hat sich in den letzten Dekaden zu einer Standardmethode entwickelt, um hochauflösende Untersuchungen in oberflächennahen unkonsolidierten Sedimenten durchzuführen (siehe z.B. Fejes und Josa (1990), Bowers und Daniel (1994) und Lunne et al. (1997)). Aufgrund der hohen Messgeschwindigkeit wird die CPT Technologie auch für hydrogeologische Untersuchungen eingesetzt (z.B. Campanella und Weemeees (1990) und Hubbard et al. (2001)).

Diese Arbeit zeigt einige Ergebnisse einer CPT Kampagne (Tillmann, (2005)) auf dem Testfeld Krauthausen, welche als Kooperation zwischen dem Forschungszentrum Jülich und dem Eötvös Lorand Geophysical Institute in Budapest durchgeführt wurde. Ziel der Untersuchung war eine detaillierte Untersuchung der Stratigraphie des Testfeldes als auch eine Abschätzung der räumlichen Variabilität der physikalischen Bodenkenngrößen innerhalb des oberen Aquifers. Dazu wurden Sondierungen an 77 Punkten in einem zentralen Gebiet des Testfeldes von ca. 25x30m Grösse durchgeführt. Bei jeder Sondierung wurde der cone resistance log, natural gamma log, gamma-gamma log und neutron log aufgezeichnet, um die mechanische Festigkeit, den Tongehalt, die Gesamtdicht und den Wassergehalt zu bestimmen. Zusätzlich wurde ein Log des elektrischen Widerstandes an 15 Sondierungspunkten aufgenommen. Um eine hinreichende

räumliche Auflösung bei kleinskaliger Variabilität zu erhalten beträgt der Sondierungsabstand nur 1,5m bis 3m und die vertikale Auflösung 10cm. Die Kenntnis der anisotropen Variabilitätsstruktur wurde als Grundlage einer Kenngrößeninterpolation mittels Kriging verwendet.

Dabei sind vor allem die physikalischen Bodenkenngrößen an den ca. 250 Stellen im Untersuchungsgebiet von Bedeutung an denen Sedimentproben durch Brunnenbohrungen gewonnen wurden. Durch konventionelle Siebanalysen bzw. Schlämmanalysen des Feinanteils wurden die Korngrößenverteilungen dieser Sedimentproben bestimmt, woraus sich wichtige hydrologische und geotechnische Parameter (z.B. die hydraulische Leitfähigkeit) abschätzen lassen. Unter Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen den verschiedenen mit CPT gemessenen physikalischen Bodenkenngrößen und charakteristischen Größen der Korngrößenverteilungen wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Daraus ergibt sich z.B. für jede Perzentile der kumulativen Korngrößenverteilung eine empirische Beziehungen zu den gemessenen CPT Daten. Die Korrelationskoeffizienten χ zwischen den Perzentilen aus den Siebanalysen und den CPT geschätzten Perzentilen sind in

der Tabelle zusammengefasst.

	d_{10}	d_{20}	d_{30}	d_{40}	d_{50}
χ	0.87	0.79	0.69	0.64	0.63
	d_{60}	d_{70}	d_{80}	d_{90}	
χ	0.61	0.59	0.57	0.55	

Anhand dieser Korrelationskoeffizienten χ kann man erkennen, daß die Percentilen, die den Ton- und Schluffanteil in Sediment repräsentieren, besser bestimmbar sind als die Percentilen, die den Kiesanteil repräsentieren. Daher sind weiterführende Interpretationen zur Charakterisierung des Testfeldes Krauthausen mittels durch CPT Daten geschätzter Korngrößenverteilungen zuverlässiger, wenn nur die Percentilen d_{10} bis d_{30} in die Interpretation einfließen.

Bowders, J. and Daniel, D.E., (1994). Cone penetration technology for subsurface characterization, *Geotech. News*, 12(3), 24-29

Campanella, R.G. and Weemees, I., (1990). Development and use of an electrical resistivity cone for groundwater contamination studies, *Canadian Geotechnical Journal*, 27(5), 557-567

Fejes I. and Jóna E., (1990). The Engineering Geophysical Sounding Method: Principles, Instrumentation, and Computerised Interpretation, *Geotechnical and Environmental Geophysics, Volume II: Environmental and Groundwater*, SEG, Tulsa, Oklahoma, 321-331

Hubbard, S., Chen, J., Peterson, J. Majer, E.L., Williams, K.H., Swift, D.J., Mailloux, B., and Rubin, Y., (2001). Hydrogeological characterization of the South Oyster Bacterial Transport Site using geophysical data, *Water Resour. Res.*, 37(10), 2431-2456

Lunne, T., Robertson, P.K., and Powell, J.J.M., (1997). Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, *Blackie Acad. and Prof.*, New York

Tillmann, A., (2005), Cone Penetration Tests (CPT) on the Krauthausen Test Site. Part I: Data Acquisition and Preliminary Interpretation of the Surveys 2003 and 2004, *Report of the Forschungszentrums Jülich GmbH, Jülich, Germany*, [online <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn:nbn:de:0001-00288>]

Webseite: <http://www.fz-juelich.de/icg>

Weihnacht, B., Börner, F. (Dresden)

Geophysikalische Messungen von Wasser-Retentionsfunktionen an sandgefüllten Blockmodellen im Technikumsmaßstab

Durchgeführt wurden die Untersuchungen an einem 2 m hohen, 1 m breiten und 0.30 m dicken Plexiglastrog, welcher mit verschiedenen Sanden gefüllt wurde (Weihnacht und Börner, 2005). Die Anlage ermöglicht die Durchführung statischer und dynamischer hydraulischer Experimente zum Transport- und Speicherverhalten der Bodenzone und des Übergangs zur Grundwasserzone. Die Versuchsanordnung gestattet die synchrone Ermittlung mehrerer geophysikalischer Messgrößen: der Georadarlaufzeit und -dämpfung, der Ultraschalllaufzeit und -dämpfung, des elektrischer Widerstand und der Phasenverschiebung.

Es wurden hysteresis Wasser-Retentionsfunktionen an großen Volumina (ca. 0,6 m³) und deren Vergleich mit

Laborergebnissen bestimmt und deren Reproduzierbarkeit durch wiederholtes Durchfahren der sekundären Drainage- und Imbibitionsfunktion belegt. Die primäre Drainagefunktion konnte ebenfalls ermittelt werden.

Zur Bestimmung seismischer Eigenschaften der Sande im Ultraschallfrequenzbereich wurden Ultraschallsender und Empfänger in gleicher Höhe (0,3 m Abstand) fest am Versuchsbehälter installiert. Die Ultraschalllaufzeitmessungen zeigten deutlich, dass die Laufzeit der p-Welle maßgeblich von der Wassersättigung abhängt. Dabei konnten drei Bereiche unterschieden werden:

Geringe Sättigungen: bis jetzt keine eindeutige Abhängigkeit festgestellt;

Mittlere Sättigungen (ca. 0,1 bis 0,3): moderater Anstieg der Laufzeit mit steigender Sättigung;

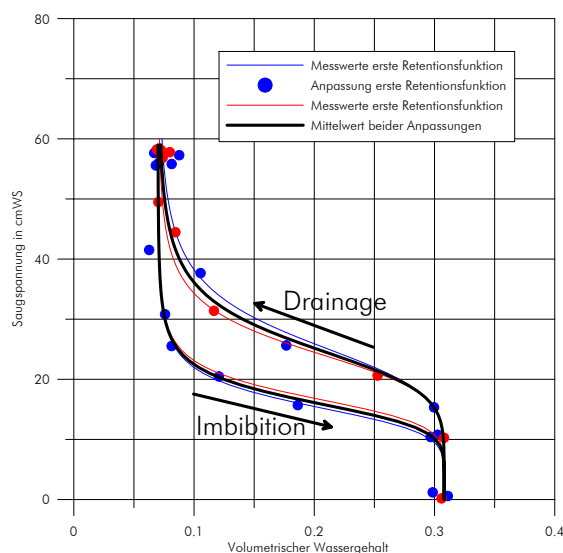


Abbildung 1: Wasser-Retentionsfunktionen an mit Mittelsand gefüllten Blockmodellen

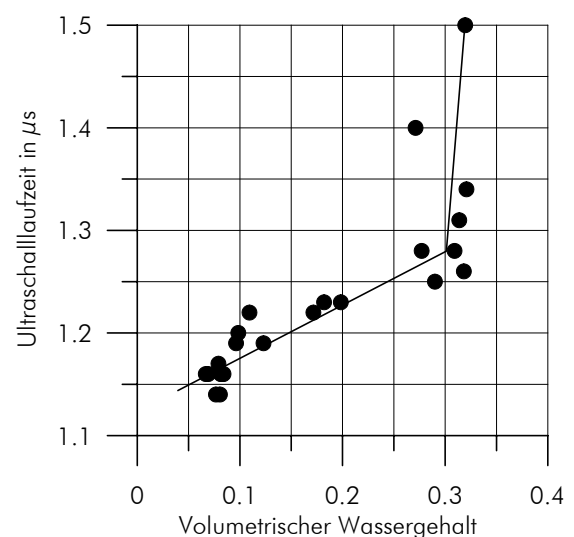


Abbildung 2: Abhängigkeit elastischer Eigenschaften vom Wassergehalt

Hohe Sättigungen (ca. 0,3 bis 0,33): deutlicher Anstieg der Laufzeit mit steigender Sättigung.

Die beobachtete Laufzeitzunahme mit steigender Wassersättigung ist mit einer Reduzierung der Korn-Korn-Kontakte zu erklären. Die mit sinkenden Wassergehalten zunehmenden Kapillarkräfte ziehen die Sandkörner zusammen und bewirken so eine Erhöhung des E-Moduls verbunden mit verbesserten Übertragungseigenschaften des Korngerüsts.

Literatur

Weihnacht, B., Börner, F. (2005): Ermittlung geohydraulischer Parameter aus kombinierten geophysikalischen Messungen im Technikumsmaßstab, DGG-Tagung 21.-25.2.2005 in Graz, BP06

Weihnacht, B., Börner, F. (2005): Eindeutige Übertragung geophysikalischer in geohydraulische Parameter - Erste Messergebnisse (DFG-Bündel „Hydroproxies“), 10. Dresdner Grundwasserforschungstage 13. und 14.07.2005 in Dresden, Proc. des DGFZ e.V., Heft 27, ISSN 1430-0176

Webseite: <http://www.dgfz.de>

Paasche, H. (ETH Zürich), Tronicke, J. (Universität Potsdam), Holliger, K. (Universität Lausanne), Green, A.G. (ETH Zürich)

Integration verschiedener geophysikalischer Modelle und Abschätzung petrophysikalischer Parameterverteilungen mittels fuzzy c-means Clusteranalyse

E-Mail: hendrik@aug.ig.erdw.ethz.ch

In der oberflächennahen geophysikalischen Erkundung werden häufig mehrere hochauflösende Verfahren parallel verwendet. Die erhaltenen geophysikalischen Modelle (z.B. Verteilung des elektrischen Widerstandes oder der seismischen Geschwindigkeit) werden in der Regel qualitativ gemeinsam zur strukturellen Charakterisierung des Untergrundes interpretiert. Dieses Vorgehen ist jedoch von der Erfahrung des Bearbeiters abhängig und schliesst in der Regel eine quantitative Erfassung der Unbestimmtheit der strukturellen Interpretation aus. Zusätzlich zur strukturellen Zonierung ist häufig noch eine Abschätzung der räumlichen Verteilung bestimmter petrophysikalischer Parameter erwünscht (z.B. Porosität, Dichte, etc.). Weit verbreitet ist dabei die Verwendung empirischer oder semiempirischer Beziehungen zwischen den gesuchten Parametern und einem der vorhandenen geophysikalischen Parametermodelle. Der Informationsgehalt allfälliger weiterer geophysikalischer Modelle bleibt dabei jedoch in der Regel ungenutzt.

Wir stellen einen auf der fuzzy c-means Clusteranalyse basierenden Ansatz vor, der die Integration verschiedener geophysikalischer Modelle zu einem zonierten geophysikalischen Multiparametermodell ermöglicht. Der Ansatz erlaubt quantitative Aussagen zur Verlässlichkeit der Zonierung basierend auf den Zugehörigkeitsfunktionen eines Modellpunktes zu einem bestimmten Cluster. Strukturelle

Interpretationen des Untergrundes mit Aussagen zur Zuverlässigkeit des Modells können auf Grundlage solcher zonierter Multiparametermodelle erfolgen.

Der vorgestellte Ansatz ermöglicht ausserdem die Abschätzung der räumlichen Verteilung petrophysikalischer Parameter auf der Basis aller in die fuzzy c-means Clusteranalyse einflussenden geophysikalischen Modelle. Hierfür werden an mindestens einer „repräsentativen“ Stelle in den geophysikalischen Modellen 1D Verteilungen der gesuchten petrophysikalischen Parameter, wie sie z. B. aus Bohrlochmessungen gewonnen werden können, benötigt. Ausgehend von derartigen Tiefenprofilen werden die Zugehörigkeitsfunktionen jedes Clusters als Wichtungsfunktionen für die Ermittlung der räumlichen Parameterverteilung benutzt. Ein wichtiger Aspekt dieser Methode ist, dass die so resultierenden heterogenen Parametermodelle von der Anzahl der verwendeten Cluster weitgehend unabhängig sind. Für eine sinnvolle Parameterabschätzung sollte gewährleistet sein, dass eine physikalische Beziehung zwischen mindestens einem der in die fuzzy c-means Clusteranalyse einflussenden geophysikalischen Parametermodelle und den gesuchten petrophysikalischen Parametern besteht, die aber nicht explizit bekannt sein muss.

Zur Illustration unseres Ansatzes haben wir für ein stochastisch generiertes Porositätsmodell Bohrloch-zu-Bohrloch Georadar-

und Seismikdaten modelliert und anschließend tomographisch invertiert. Die erhaltenen geophysikalischen Modelle (Geschwindigkeit und Dämpfung der Radarwelle sowie P-Wellengeschwindigkeit) dienen als Inputmodelle für die fuzzy *c*-means Clusteranalyse. Das zonierte Modell wird bezüglich seiner strukturellen Eigenschaften mit dem originalen Porositätsmodell verglichen. Basierend auf zwei simulierten Porositätslogs wird die oben erwähnte räumliche Rekonstruktion heterogener petrophysikalischer Parameterfelder demonstriert. Das so rekonstruierte heterogene Porositätsmodell wird anschliessend quantitativ mit dem Originalmodell verglichen.

Die Ergebnisse dieser synthetischen Studie zeigen, dass das zonierte Modell eine gute strukturelle Rekonstruktion des Inputmodells liefert. Kleinräumige Strukturen werden jedoch durch den Inversionsprozess der geophysikalischen Daten verschmiert, und können daher auch mit dem zonierten Modell nicht rekonstruiert werden. Die rekonstruierte Porositätsverteilung spiegelt die Heterogenität des Inputmodells wider, was seinen quantitativen Ausdruck in einem erstaunlich hohen und von der Zahl der verwendeten Cluster im Wesentlichen unabhängigen Korrelationskoeffizient von ~ 0.75 findet. Die mittlere Abweichung der rekonstruierten Porositätsverteilungen vom Inputmodell liegt bei $\sim 3\%$ für Modelle mit 2, 3 oder 4 Clustern.

Neben der synthetischen Studie wird der Ansatz auch auf entsprechende Georadar- und Seismik-Tomographie-Messungen zur Charakterisierung eines oberflächennahen fluvialen Aquifers am Beispiel des hydrogeologischen Testfeldes Kappelen (Kanton Bern, Schweiz) angewendet. Das erhaltene strukturelle Modell und die generierte Verteilung der hydraulischen Leitfähigkeit sind kompatibel

mit sämtlichen aus zahlreichen früheren hydrogeologischen Studien erhaltenen Ergebnissen.

Rühaak, W., Gorling, L., Schulz, R. (GGA-Institut Hannover)

Integration geophysikalischer Daten in ein dreidimensionales geometrisches Untergrundmodell

E-Mail: w.ruehaak@gga-hannover.de

Für den Raum Wolfsburg wird von dem GGA-Institut zusammen mit dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung ein 3D-Untergrundmodell entwickelt. Diese Pilotvorhaben findet in Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG statt. Ein Ziel des Projekts ist es, dieses Modell ergänzend zu stratigraphischen Informationen aus Bohrungen auch mit geophysikalischen Daten aufzubauen.

Das Untersuchungsgebiet ist 10 km x 7.5 km groß. Die maximale Untersuchungstiefe beträgt 100 m. Es werden daher nur quartäre Lockergesteine (glazifluviatile und glaziale Sedimente) und das liegende Mesozoikum (Lias-Tonstein) betrachtet.

Für die geometrische Modellierung wird das Programm GOCAD (Mallet, 2002) verwendet. Die geometrische 3D-Modellierung ist – unter anderem aufgrund der hohen Rechneranforderungen – eine junge Disziplin. Sie kann bei der geologischen Interpretation aufgrund der visuellen Auswertungsmöglichkeiten und der Möglichkeit, räumliche Abfragen durchzuführen (Apel, 2005), ein wertvolles Hilfsmittel sein. Wichtig sind geometrische Modelle als Eingangsinformationen für numerische Modellierungen.

Eine direkte Integration von geophysikalischen Messungen in die geometrische Modellierung ist bislang nur wenig erprobt. In den wenigen bekannten Fällen handelt es sich zu meist um spezielle Lösungen für die Lagerstätten erkundung.

Aus bisherigen Messkampagnen liegen

neben seismischen Profilen und gravimetrischen Daten umfangreiche geoelektrische Multielektroden-Messungen vor. Die geoelektrischen Profile wurden neu invertiert und als diskrete Rauminformation direkt in die 3D-Modellierung miteinbezogen. Für die Inversion wird das Programm DC2DResInv (Günther, 2004) verwendet. Um die Ergebnisse zu verbessern, werden zusätzliche Informationen ('constraints') aus Bohrungen und Seismik integriert.

Die vorliegenden seismischen Auswertungen werden als 2D-geometrische Informationen in das Modell übernommen.

Die existierenden gravimetrischen Messungen sollen für eine Validierung des berechneten Modells im Rahmen einer Vorwärtsmodellierung genutzt werden.

Es ist geplant auftretende Datenlücken durch neue Messungen zu schließen. Dazu werden auf mehreren, einige hundert Meter langen, Profilen verschiedene geophysikalische Messungen durchgeführt (Multielektroden-Geoelektrik, Reflexions- und Scherwellenseismik). Ergänzt werden diese durch Schlumberger Sondierungen und Bohrlochgeophysik. Daraus ergibt sich auch die Möglichkeit, die Dateninterpretation durch eine 'joint-inversion' von Geoelektrik und Seismik zu verbessern.

Die Datenhaltung erfolgt über das Fachinformationssystem Geophysik (Kühne, 2005). Der Zugriff auf die Daten erfolgt über eine neu entwickelte ODBC-Schnittstelle direkt

aus GOCAD heraus.

Erste Ergebnisse zeigen, dass dieses Vorgehen einen effizienten Weg darstellt, um Unsicherheiten bei der geometrischen Modellierung zu minimieren.

Literatur

Apel, M., 2005. From 3d geomodelling systems towards 3d geoscience information systems: Data model, query functionality, and data management. *Computers & Geosciences*, in press.

Günther, T., 2004. Inversion Methods and Resolution Analysis for the 2D/3D Reconstruction of Resistivity Structures from DC Measurements. Dissertation, TU Bergakademie Freiberg.

Kühne, K., 2005. Geophysik online - das Fachinformationssystem Geophysik. *DGG Mittlg.* 3, S. 23-29.

Mallet, J.L., 2002. *Geomodeling*. Oxford University Press, New York.

Webseite: <http://www.gga-hannover.de>

Furche, M., Noell, U., Grisseemann, Ch. (Hannover, BGR), Günther, T. (Hannover, GGA)

Geophysikalische Feldmessungen auf Haldenkörpern und Labormessungen im Technikumsmaßstab

Die Abschätzung des Kontaminationspotentials und die standortbezogene Planung von Sanierungsmaßnahmen von Bergbauhalden erfordert außer den mineralogischen und klimatischen Faktoren eine möglichst gute Kenntnis des internen Aufbaues der Halden und ihrer potentiellen Drainagepfade für eindringendes Oberflächenwasser. Drei Halden, die aus sehr unterschiedlichen Materialien bestehen (Spülsande aus der Flotation von Pb-Zn Erzen, Pochsande aus der gravitativen Aufbereitung von Erzen aus dem Oberharz, magnetische Fraktion von Schlacken aus Verhüttungsprozess), wurden auf ihre Internstrukturen mit dem Verfahren der geoelektrischen Tomografie untersucht.

Die Messungen wurden mit Multi-Elektroden-Apparaturen in Wenner-Konfiguration mit Elektrodenabständen von 1m bis 5m durchgeführt. Zur Inversion der Daten wurden die 2D-Software DC2DInvRes und die 3D-Software DC3DTopo von T. Günther und C. Rücker eingesetzt.

Alle Halden weisen eine inhomogene Widerstandsverteilung auf, die insbesondere auf Materialunterschiede (Korngrößen) und damit verbundener Feuchtigkeitsunterschiede zurückzuführen ist. Die Schlackenhalde zeigt eine auffällige hochohmige Deckschicht, die Bereiche anzeigt, die von Krusten beeinflusst werden. Diese Deckschicht ist bezüglich ihrer Mächtigkeit heterogen ausgeprägt.

Zur Beantwortung der zentralen Fragestellung nach dem Verbleib auftreffenden Regenwassers wird zum einen ein zeitliches Monitoring durchgeführt, bei dem kombinierte Anordnungen von einem horizontalen Profil mit

0.5m Elektrodenabstand und einem vertikalen Profil mit 0.05m Elektrodenabstand mit jeweils 16 Elektroden dauerhaft gemessen werden. Zum anderen werden aktive Berechnungsversuche mit fest definierten Randbedingungen eingesetzt. Auf der Schlackenhalde stellt sich heraus, dass natürlich auftretende Regenmengen nur in die ersten Dezimeter der Oberfläche eindringen. Selbst Wassermengen von bis zu 100 mm lassen sich nur bis zu einer Tiefe von einem Meter verfolgen. Diese Messungen werden hinsichtlich ihres Auflösungsvermögens weiter optimiert, um ein Verfahren zu entwickeln, verschiedene Standorte hinsichtlich der Eindringtiefe von Wasser vergleichen zu können.

Laborversuche im Technikumsmaßstab dienen zum besseren Verständnis und zur Kalibration von Feldbeobachtungen. Die Ausbreitung von Feuchtigkeit lässt sich hier durch Änderungen im spezifischen Widerstand ebenfalls deutlich verfolgen.

Hehmann, U., Degutsch, M. (Münster)

Numerische Simulation von Strömung in porösen Medien - ein spezielles Gittergasmodell

E-Mail: hehmannu@uni-muenster.de

Strömungsverhalten in porösen Medien ist ein weites Gebiet von interdisziplinärem Interesse. Die Kenntnis von Fließeigenschaften von Gasen und Flüssigkeiten im Untergrund beeinflusst entscheidend unter anderem die Studien von Magmenttransport durch die Erdkruste, Ausbildung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten, Beseitigung und Isolation von gefährlichen Altlasten und Untersuchungen des Grundwasserflusses. Die Permeabilität eines Mediums, ein Maß, welches angibt, wie *leicht* eine Flüssigkeit oder ein Gas das umgebende Gebiet durchdringen kann, ist in allen Fällen der primär interessante physikalische Parameter.

Der Vortrag stellt eine Strömungssimulation in zwei-dimensionalen porösen Medien und die Bestimmung von Permeabilitäten mittels eines speziellen Gittergases vor. Gittergase sind besondere zelluläre Automaten, die bedingt durch die Beschreibung der Mikrodynamik fiktiver Teilchen auf einem diskreten Gitter in diskreten Zeitschritten, die makroskopischen Gleichungen, wie Navier-Stokes-Gleichung und Kontinuitätsgleichung, erfüllen.

Zur Strömungssimulation in porösen Medien sind Gittergase besonders gut geeignet, da sich die Behandlung von Hindernissen im Strömungsfeld im Vergleich zu den *üblichen* numerischen Verfahren (finite Differenzen, finite Elemente, finite Volumen) als recht einfach darstellt. Auf mikroskopischer Ebene werden Kollisionsregeln zwischen den Teilchen und den Hindernissen definiert, die im

makroskopischen zur Erfüllung der 'no-slip'-Randbedingung an den Grenzflächen zwischen Flüssigkeit und Hindernissen führt.

Das spezielle Gittergas stellt eine Variation des von Frisch, Hasslacher und Pomeau 1986/87 vorgestellten FHP-I-Modells dar, ohne in die Klasse des FHP-II oder FHP-III zu fallen. Es wurden weitere Kollisionsregeln für die Teilchen eingeführt, die eine Simulation von engeren Durchlasskanälen im Bereich der porösen Medien im Vergleich zu dem FHP-I ermöglichen.

Für verschiedene Porositäten mit unterschiedlichen Hindernisanzahlen und -größen werden explizit einzelne Ergebnisse resultierender Strömungsprofile vorgestellt, um das Strömungsverhalten quantitativer diskutieren zu können. Es wird gezeigt, dass das Darcy-Gesetz erfüllt ist, und wie anhand des linearen Zusammenhangs zwischen Flussrate und Druckgradient die numerischen Permeabilitäten zu den einzelnen Porositäten bestimmt werden können.

Um die numerischen Ergebnisse, gegeben in skalierten Größen von Gittereinheiten, mit realen Systemen vergleichen zu können, wird gezeigt, wie sich zur Ausnutzung der dynamischen Ähnlichkeit die Reynoldszahlen errechnen lassen. Somit wird ein Vergleich von Modell zum natürlichen System ermöglicht.

Schmalholz, J., Stoffregen, H. (Technische Universität Berlin), Kemna, A. (Forschungszentrum Jülich), Yaramanci, U. (Technische Universität Berlin)

Abbildung zeitlich veränderlicher Wassergehalte in einem Lysimeter mit dem Georadar

E-Mail: schmalholz@geophysik.tu-berlin.de

Zur Untersuchung der Wassergehaltsverteilung in Lysimetern wurde eine Kooperation zwischen dem Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre, Agrosphäre (ICG-IV) des Forschungszentrum Jülich GmbH und dem Fachgebiet Angewandte Geophysik der Technischen Universität Berlin ins Leben gerufen [1]. Hierbei sollten neben Verfahren, wie Time Domain Reflectometry (TDR), Geoelektrik oder Tensiometrie, mittels Georadar tomographische Messungen an Lysimetern durchgeführt werden. Lysimeter sind mit Boden gefüllte Gefäße die bündig mit der Geländeoberkante abschließen und sich somit sehr gut zur Untersuchung hydrologischer Abläufe, wie etwa Infiltration, Evapotranspiration usw., eignen. Die Untersuchungen wurden an Lysimetern (Höhe 1,5 m, Durchmesser 1,2 m) mit PVC-Wänden durchgeführt, die am Forschungszentrum Jülich speziell für dieses Pro-

jekt bereitgestellt wurden. Die Kunststoffwände, im Gegensatz zu den üblichen Edelstahlwänden, ermöglichen erst den Einsatz elektrischer bzw. elektromagnetischer geophysikalischer Verfahren, da ansonsten die metallischen Wände zu starke Störungen in den Daten erzeugen würden und eine Tomographie nicht durchführbar wäre. Die Lysimeter sind mit ungestörtem Boden durch Ausstechen gefüllt worden. Auf diese Weise sollten reale/natürliche Verhältnisse im Lysimeter geschaffen werden. Die Lysimeter wurden in einer klimatisierten Lysimeterhalle untergebracht um äußere Einflüsse so gut wie möglich steuern zu können.



Abbildung 1: Blick auf das auf Stützen platzierte Lysimeter in der Lysimeterhalle (links). Vogelperspektivische Aufnahme des teilbewässerten Lysimeters mit von Hand platzierter Georadarantenne (rechts).

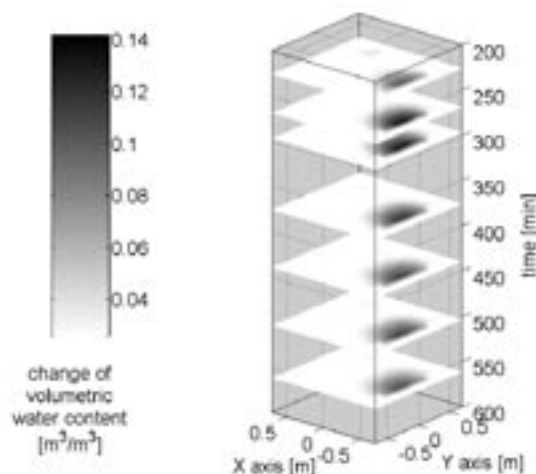


Abbildung 2: Mittels Tomographie bestimmte Änderung des volumetrischen Wassergehaltes in ca. 0,40 m unterhalb der Geländeoberkante. Der Datensatz erstreckt sich über annähernd 9 h nach Beginn der Bewässerung.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Messungen dienten zur Ermittlung des Auflösungsvermögens der tomographischen Messungen. Hierbei sollte nicht nur die räumliche sondern auch die zeitliche Auflösung optimiert werden um die Versickerung eines lokalen Wasserimpulses (ca. 135 mm Regenäquivalent über ca. 2 h auf ca. einem Viertel der Lysimeterfläche) zu verfolgen. Zur Kontrolle der Ergebnisse wurden während der Bewässerung ebenfalls Wassergehalte mit TDR Sonden aufgezeichnet. Die Messungen wurden vor und nach der Bewässerung bei stationären Verhältnissen durchgeführt [2]. Des Weiteren wurde eine Ebene mittels tomographischen und zwei weitere mit einfacheren parallelen Durchstrahlungsmessungen über einen Zeitraum von über 9 Stunden nach Beginn der Bewässerung beobachtet. Unter Verwendung der beiden durch Durchstrahlung bestimmten Flächen konnte der Wasserimpuls mit hervorragender zeitlicher Auflösung (geringer als eine Minute) abgebildet werden. Wenngleich mittels der parallelen Durchstrahlungsmessungen eine räumliche Aussage grob getroffen werden kann, erweisen sich die zeitaufwendigen tomographischen Messungen als besser. Auf Grund der langwierigen Datenerfassung für einen Datensatz (größer 30 Minuten) können allerdings erst bei quasi-stationärem Zustand gute Ergebnisse erzielt werden.

Die Messungen mit dem Georadar sollten Aufschluss über mögliche heterogene Wassergehaltsverteilungen im Lysimeter liefern. Hierfür ist das Georadar besonders gut geeignet, da Einflussgrößen, wie etwa Temperatur oder Lagerungsdichten, die Messung des Wassergehaltes weniger stören als bei anderen geophysikalischen Verfahren. Neben der flexiblen Handhabung auf engem und kleinem Raum und der vergleichsweise gering-

gestörten Datenqualität, hervorgerufen durch die Lysimeteereinfassung und Objekte in der Lysimeterhalle, der aufgezeichneten Messungen konnten sowohl homogene als auch heterogene Bereiche bis zu wenigen Dezimetern Ausmaßen detektiert werden. Des Weiteren konnten dynamische Wassergehaltsänderungen mit hoher Genauigkeit beobachtet werden.

Im weiteren Verlauf des Projektes soll das Georadar nun primär zur Bestimmung der Wasservolumenverteilung im Lysimeter verwendet werden, da die bodenphysikalischen Verfahren nur punktuelle Werte bereitstellen und geoelektrische Messungen zwar hervorragend geeignet sind Stofftransporte im Wasser abzubilden jedoch nicht ohne weiteres genaue Aussagen über die Wassergehalte an und für sich liefern.

Literatur

[1] Schmalholz, J., Stoffregen, H., Kemna, A., Yaramanci, U., 2004: Imaging of Water Content Distributions inside a Lysimeter using GPR Tomography, *Vadose Zone Journal*, Vol. 3, p 1106-1115.

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

Werban, U. (CAU Kiel, Geophysik), Dreibrodt, S. (CAU Kiel, Ökologiezentrum)

Georadar zur Rekonstruktion historischer Landschaftsoberflächen

E-Mail: werban@geophysik.uni-kiel.de

Das Bodenradar (GPR) ist geeignet Schichten mit elektromagnetischem Kontrast aufzulösen und lässt sich einfach bei hohem Messfortschritt, ggf. auch mit mobilen Systemen, flächenhaft anwenden. Wir setzen GPR-Messungen zur Unterstützung landschaftsökologischer und geomorphologischer Erkundungen historischer Oberflächen und Prozesse ein. Vergangene und aktuelle Bodenerosionsereignisse, verursacht durch Oberflächenabfluss, werden in Akkumulati-

onsgebieten, als Kolluvien, abgelagert und verfüllen bisweilen ehemalige Abflussbahnen. Diese Ablagerungsgebiete werden als Geoarchive bezeichnet. Sie können datierbares Material enthalten und geben Auskunft über die vergangenen Umweltbedingungen und Landnutzungsformen. Die Erfassung der Bodenveränderungen erfolgt traditionell punktuell, durch zahlreiche große Aufschlüsse und Bohrungen im Akkumulationsbereich, um die Ausdehnung der Kolluvialkörper

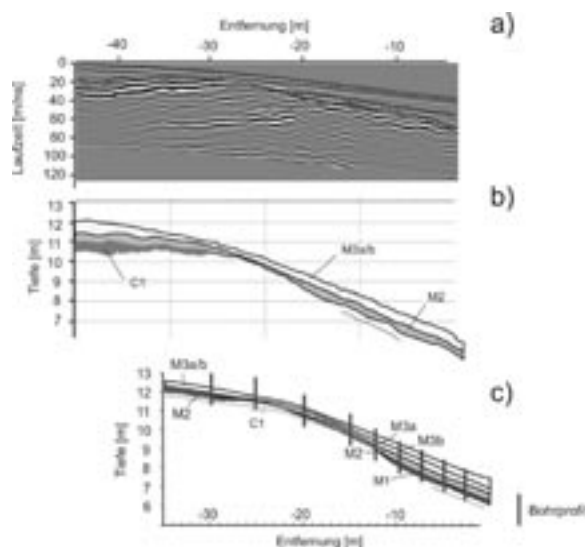


Abbildung 1: Radargramm (bandpassgefiltert, AGC-skaliert und migriert, die Topografie wurde mit Luftgeschwindigkeit (0,3 m/ns) korrigiert) mit angerissenen Einsätzen (a), Interpretation der Reflexionen (b), wobei die Schichtgeschwindigkeiten anhand von CMP-Analysen bestimmt wurden und Vergleich mit interpolierten Bohrergebnissen (c).

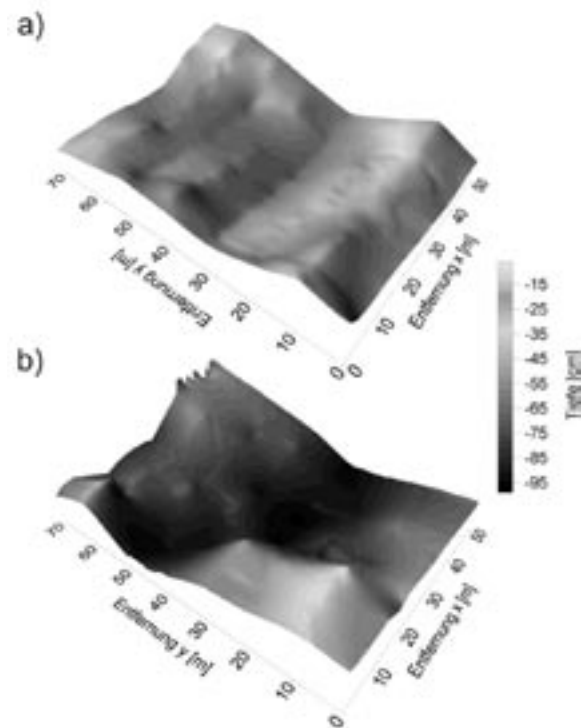


Abbildung 2: 3D Darstellung der angerissenen Oberfläche (a) und angerissenen Reflexion innerhalb des pleistozänen Materials (b).

zu erfassen. Nach der Erstellung einer prozess-basierten Stratigrafie kann unter Bezug auf das Liefergebiet der Sedimente die Quantifizierung der Bodenerosion erfolgen. Durch zusätzliche Untersuchungen in den Abtragsgebieten kann ein Abbild historischer Landschaftsoberflächen entwickelt werden. Die kolluvialen Ablagerungen sind oftmals durch ebenförmige Horizontgrenzen, unterschiedliche Textureigenschaften und wechselnden Bodenwassergehalt gekennzeichnet.

In einem Einzugsgebiet in Norddeutschland haben wir GPR-Messungen mit 200 MHz und 400 MHz Antennen durchgeführt, um die Eignung der Methode zur Kartierung der Kolluvien zu analysieren. Zunächst erfolgten CMP- und Common-offset-Messungen in unmittelbarer Nähe eines Aufschlusses, um die Radarergebnisse mit bodenkundlichen Parametern zu vergleichen. Es wurde ein 2D-Geschwindigkeits-Tiefen Modell entwickelt und für die Migration der Radargramme verwendet. Abbildung 1 zeigt ein Radarogramm westlich des Aufschlusses mit angerissenen Reflexionen und Tiefeninterpretation der Schichten. Die Radarinterpretation zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit dem aus Bohrungen interpolierten Modell des Schichtaufbaus am Hang. Die Abgrenzung der holozänen Kolluvien zum unterliegenden pleistozänen Material ist durch den höchsten Reflexionskoeffizienten gekennzeichnet. Zudem können verschiedene Kolluvien differenziert werden. Die flächenhafte Kartierung kann für die Bilanzierung der Erosion in diesem Einzugsgebiet verwendet werden. Die ebene Lage der Reflexionen impliziert eine homogene bzw. kontinuierlich veränderte Feuchteverteilung über das Messprofil.

Eine weitere prominente Reflexion ist im

pleistozänen Material zu erkennen. In einem Teilgebiet des Untersuchungseinzugsgebiets wurden in einem Raster von 10 m x 10 m profilweise GPR-Messungen durchgeführt. Die Reflexion innerhalb des pleistozänen Materials und die topografiekorrigierte Oberfläche wurden jeweils angerissen und als 3D-Bild dargestellt (siehe Abb. 2). Es wird eine an der heutigen Oberfläche nicht mehr erkennbare Rinnenstruktur kartiert (Abb. 2 unten). Die Lage der Rinne gibt wertvolle Hinweise zur Rekonstruktion der historischen Abflussprozesse.

Zusammenfassend sind GPR-Messungen durch ihre effiziente und zerstörungsfreie Anwendung eine sehr gute Ergänzung der bisherigen landschaftsgenetischen Untersuchungen. Die Kolluvien können flächenhaft kartiert werden und für die Erosionsbilanzierung verwendet werden. Das Auffinden von verschütteten Rinnen (Geoarchive) wird vereinfacht und unterstützt zukünftige landschaftsgenetische Analysen.

Webseite : <http://www.ifg.uni-kiel.de/>
Ingenieurgeophysik/

Gundelach, V., Eisenburger, D., Kahnt, W., Otto, D. (Hannover, BGR)

Peilmessungen mit Georadar zur räumlichen Ortung im Salz mit verschiedenen Antennen und Polaritäten in einer Streckenauffahrung

Zur Erkundung von geologischen Strukturen in Salzstöcken hat sich das Prinzip der Elektromagnetischen Reflexion (EMR), oder auch Georadar genannt, als eine wichtige Methode etabliert. In den häufig komplex gefalteten Salzstrukturen ist eine räumliche Messung unerlässlich. Untertage sind jedoch die Möglichkeiten einer Profilauswahl für das Georadar begrenzt. Auf linearen Profilen, wie in Bohrungen, Strecken oder in Schächten müssen die komplexen räumlichen geologischen Strukturen im Raum erfasst werden. Dort wo die geometrische Bedingung für Reflexionen gegeben ist, können über die Laufzeiten der Signale die Abstände vom Profil errechnet werden. Für die räumliche Auswertung ist es notwendig, neben der Entfernung auch die Richtung zu bestimmen, aus der eine Reflexi-

on empfangen wird. Zu diesem Zweck wurden in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) für Messungen in Bohrungen eine Bohrlochsonde entwickelt, die es erlaubt zu jedem Messpunkt, zu jeder Laufzeit der Signale die Richtung zu bestimmen. Bei Profilen in einem Schacht kann die Rotationssymmetrie des Schachtes genutzt werden, um durch radial angelegte Profile an der Schachtwand das jeweilige Amplitudenmaximum und damit die Empfangsrichtung einer Reflexion zu ermitteln. Wird jedoch in Streckenauffahrungen gemessen, ist in der Regel keine Radialsymmetrie der Streckenform gegeben und die Richtungsbestimmung aus radial angelegten Messungen (Rundum-Messungen) erlaubt nur eine ungefähre Richtungsbestimmung. Um die Richtungsbestimmung in Strecken zu

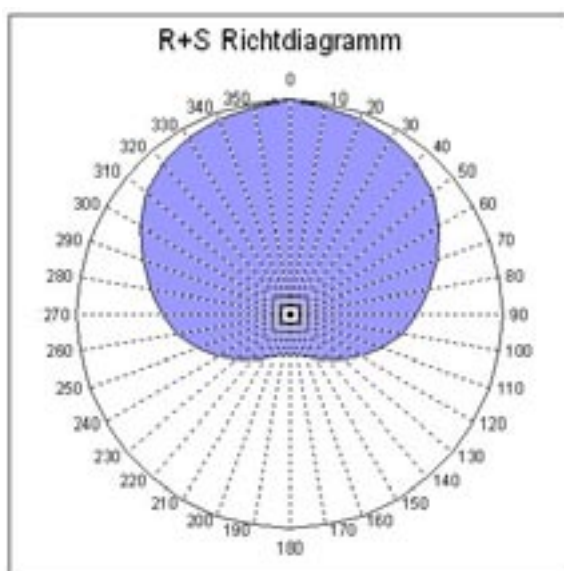


Abbildung 1: Richtcharakteristik der Rhode&Schwarz Peilantenne

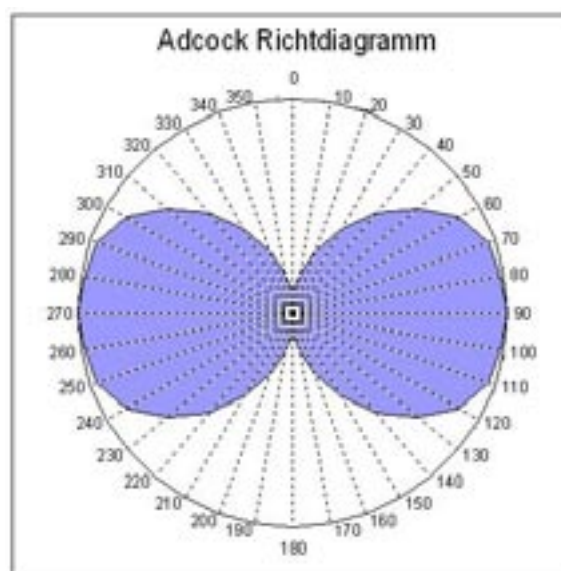


Abbildung 2: Richtcharakteristik der Adcock Peilantenne

optimieren, wurden in einer Auffahrung im Salz, neben Rundum-Messungen, Peilantennen mit unterschiedlichen Peilcharakteristika eingesetzt und zusätzlich die Auswirkungen unterschiedlicher Antennenpolaritäten getestet. In einer Strecke wurden Profile mit konstantem Sender-Empfängerabstand an den Stößen, der Sohle und der Firste, mit einer Mittenfrequenz um 50 MHz gemessen.

Die Peilmessung

Für die Durchführung von Peilmessungen stehen der BGR zwei Antennentypen zur Verfügung, die nach den Verfahren der Maximumpeilung bzw. Minimumpeilung funktionieren. Die Peilantennen werden ferngesteuert über eine mobile Registriereinheit mit einer triaxialen Drehvorrichtung bewegt, um Störeinflüsse durch den Operator während der Messung gering zu halten. Die Antenne, die eine Richtung einer Reflexion über das Maximum der Signalamplitude bestimmt, ist ein Rhode&Schwarz Peiler. Dieser Antennentyp empfängt breitbandig. Der abgebildete Peiler vermag im Frequenzbereich zwischen 20 MHz und 200 MHz zu messen. Die Richtcharakteristik dieses Peilers weist ein eindeutiges und breites Maximum auf (Abb. 1). Die Antenne, mit der eine Richtung einer Reflexion über das Minimum der empfangenen Signalamplitude bestimmt wird, ist der Adcock Peiler. Dieser Antennentyp kann in der Wahl der Frequenz mit der Sendeantenne optimal abgestimmt werden. Bei den Peilmessungen wurden, wie auf dem Profil, 50 MHz Antennen verwendet. Die Richtcharakteristik dieses Peilers weist zwei scharfe Minima auf (Abb. 2). Die daraus resultierende Zweideutigkeit der Richtung kann durch einen Amplitudenvergleich an gegenüber liegenden Profilen behoben werden. Da auf linearen Profilen gemessen wird, genügt es in angemessenen Ab-

ständen von einigen Wellenlängen senkrecht zur Profilrichtung zu peilen. Eine Sendeantenne wird dazu in Streckenmitte platziert und die Peilantenne um die Streckenachse rotiert. Die Peilantenne kann für die Messung in gleicher Polarität wie die Sendeantenne angeordnet werden oder senkrecht dazu in Kreuzpolarität. Sowohl mit dem Adcock- als auch mit dem Rhode&Schwarz Peiler können zu jeder beliebigen Laufzeit Richtdiagramme erstellt werden. Die Bestimmung der Winkel aus diesen Diagrammen ist aufgrund der Symmetrien bis in die Nähe des Rauschpegels möglich. Die Varianz beträgt wenige Grad. Über die Laufzeit der in den Streckenprofilen gemessenen Signale kann die Zuordnung der gepeilten Richtungen vorgenommen werden. So können Richtungsänderungen von Reflexionen in Abhängigkeit der Dichte der Peilmessungen über ein Profil verfolgt werden. Die Verwendung von zwei orthogonalen Antennenpolaritäten bei einer Messung erlaubt zusätzlich die Erkennung von Streichrichtungen reflektierender Strukturen.

Fazit

In gering leitfähigem Gestein, wie z.B. Salz, kann mit dem Georadar Messverfahren Untertage die räumliche Struktur des Gebirges bis in große Entfernungen aufgelöst werden. Dadurch wird eine tragfähige geologische 3D Modellierung des Gebirges möglich. In Bohrungen und in Schächten ist die Ermittlung der Richtung, aus der eine Reflexion empfangen wird, unproblematisch und genau. In Streckenauffahrungen können die Empfangsrichtungen von Reflexionen durch den Einsatz von Peilantennen in der notwendigen Genauigkeit von einigen Grad bestimmt werden. Der Einsatz von zwei Polaritäten bei der Messung gibt weitere Hinweise über die Geometrie der reflektierenden Strukturen.

Jacobs, F., Just, A., Serfling, U., Rücker, C. (Leipzig), Wonik, T., Uchtmann, S. (Hannover), Kühnicke, H., Schulze, E. (Dresden), Lindner, U., Schicht, T. (Sondershausen), Schwandt, A. (Erfurt)

Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar

E-Mail: fjacobs@rz.uni-leipzig.de

Salzgestein ist aufgrund seiner geringen Permeabilität als geologische Barriere zur Lagerung von Abfällen, insbesondere auch chemisch-toxischen oder radioaktiven, geeignet. Problemzonen wie tektonische Störungszonen, Kluftzonen, Feuchtezonen und Schichtgrenzen sowie bergbaulich bedingte Auflockerungszonen können die Barriere-wirksamkeit jedoch beeinträchtigen. Die Detektion solcher Problemzonen sowie ihre möglichst genaue Vermessung und Bewertung sind wichtige Voraussetzungen für detaillierte Planungen und qualifizierte Langzeitsicherheits-nachweise für Endlager und Untertagedepo-nien. Da eine Beschädigung des barrierewirk-samen Gebirgsbereiches ausgeschlossen wer-den muss, ist zur Bewertung der Sicherheit der geologischen Barriere ihre räumliche Er-kundung ins Unverritzte mit zerstörungsfrei- en Untersuchungsmethoden zwingend erfor-derlich. Dazu sind insbesondere geophysikali-sche Verfahren gut geeignet. Im Vergleich zum Einsatz an der Erdoberfläche birgt ihre unter-tägige Anwendung im Salzgestein jedoch spe-zielle Probleme, da wesentlich ungünstigere Bedingungen zu berücksichtigen sind: durch den Verlauf der bergmännischen Aufschlüs-se sind bestimmte Messanordnungen vorgege-ben. Sie befinden sich in einem durch das Gru-bengebäude modifizierten Vollraum. Dadurch ergibt sich eine größere Mehrdeutigkeit der Messsignale als an der Erdoberfläche, und die

Interpretation ist erschwert (Einflüsse aus al-len Raumrichtungen). Untertage herrschen oft schwierige Umgebungsbedingungen.

Um diese Probleme zu überwinden und die Aussagekraft der Verfahren zu erhöhen, ist ne-ben der Verbesserung und Optimierung der Einzelverfahren der kombinierte Einsatz so-wie die gemeinsame Auswertung und Inter-pretation erfolgversprechend. In zwei Ver-bundvorhaben (Fkz. BMBF 02C0558, -568, -578, Laufzeit 1998 bis 2001 sowie Fkz. BMBF 02C0851, -861, -871, Laufzeit 2001 bis 2003), mit den Partnern: GGA Hannover (Georadar und elektromagnetische Methoden), Institut für Geophysik und Geologie der Universität Leipzig (Geoelektrik) mit den Firmen Geo-physik GGD Leipzig und K-UTEC Sonders-hausen (seismische Methoden) sowie dem In-genieurbüro Dr. A. Schwandt, Erfurt (Geolo-gie) und Fraunhofer Institut für Zerstörungsf-reie Prüfverfahren Dresden (Sonar) wurde ein komplexes geophysikalisches Mess- und Aus-werteinstrumentarium für die untertägige Er-kundung von Problemzonen im Salinar ent-wickelt. Dieses wurde an zwei sehr verschie-denen Standorten erfolgreich erprobt, ohne dass bereits alle Fragestellungen ausreichend geklärt werden konnten. Es wurden die Ein-zelverfahren Geoelektrik, Radar, Elektroma-gnetik, Seismik und Geosonar für den unter-tägigen Einsatz angepasst und optimiert sowie eine neue Methode der gemeinsamen Interpre-

tation der Ergebnisse in Form eines integrierten Problemindex entwickelt. Damit konnte an einem Referenzstandort, einer Strecke im stillgelegten Kalibergwerk Bischofferode (Südharz), eine bis dahin unbekannte laugenführende Störungszone im Hangenden der Strecke in weitgehend söhligiger Lagerung detektiert und charakterisiert werden (Jacobs et al. 2002, Kurz et al. 2002).

Anschließend wurde das Instrumentarium an einem zweiten Standort mit völlig anderen geologischen Verhältnissen eingesetzt. Es handelte sich dabei um eine Strecke im Kaliwerk Sigmundshall westlich von Hannover (Betreiber: K+S KALI GmbH), das auf dem Salzstock Bokeloh, einer Salzsattelstruktur mit komplizierten geologischen Verhältnissen, liegt. Dort waren in mehreren Horizontalbohrungen Salzlösungsvorkommen im Anhydrit erbohrt worden, deren Erkundung das Untersuchungsziel war. Aufgrund der nicht ausreichenden Überdeckung der Datensätze mehrerer Verfahren infolge der ungünstigen geologischen Verhältnisse und Messbedingungen in einer Abwetterstrecke im Bereich eines Großwetterlüfters war der Ansatz des gemeinsamen Problemindex' hier nur eingeschränkt anwendbar. Dennoch wurden die komplizierten geologischen Strukturen, an die die Salzlösungsvorkommen gebunden sind, erfaßt. In Ergänzung zu den vorhandenen geologischen Dokumentationen wurde eine deutliche Präzisierung der Lage der Schichtenfolge erreicht. Durchfeuchtete und bruchtektonisch beanspruchte Bereiche, die mit den Salzlösungsvorkommen in Zusammenhang stehen, konnten durch mehrere Messverfahren in guter Übereinstimmung ausgewiesen werden (Jacobs et al. 2004). Das Ziel des aktuellen Verbundprojektes „Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und

Auswerteinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar“ (BMBF Fkz.: 02C1305, 02C1315, 02C1325, Laufzeit 1.6.2005-31.5.2008) ist die Schaffung eines universellen integrierten geophysikalischen Mess- und Auswerteinstrumentariums, das unter den allgemeinen Bedingungen der Entsorgung im Salinargestein einsetzbar ist. Dazu wird das Instrumentarium auf weitere Standorte mit typischen Problemzonen, die repräsentativ für potentielle Gefährdungsbereiche, angewendet. Zunächst wurde eine Strecke im ehemaligen Kalibergwerk Teutschenthal (westlich von Halle/Saale, Betreiber: GTS Teutschenthal GmbH), in deren Umgebung ein Laugenzufluss unbekanntes Ursprungs aus dem Liegenden Hauptanhydrit vorliegt, ausgewählt und mit ersten Messungen begonnen.

Referenzen:

JACOBS, F., et al.(2002): Komplexes Mess- und Auswerteinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und Untertagedeponien (UTD) im Salinar. Abschlussbericht zu den BMBF-Forschungsvorhaben Fkz. 02C0558, 02C0568, 02C0578, Leipzig.

JACOBS, F., et al.(2004): Geophysikalische Erkundung als Beitrag zur Bewertung der Langzeitsicherheit von Endlagern und Untertagedeponien. Abschlussbericht zu den BMBF-Forschungsvorhaben Fkz. 02C0851, 02C0861, 02C0871, Leipzig.

KURZ, G., ASCHMANN, L., JACOBS, F., KULENKAMPFF, J., MOISE, E., SCHUCK, A., SCHULZ, R.(2002): Auswertekonzept zur geophysikalischen Erkundung von Problemzonen im Salinar.- Zeitschrift für Angewandte Geologie, 48 (2/02): 56-62; Hannover.

Webseite: <http://www.geo.uni-leipzig.de>

Klitzsch, N. (RWTH Aachen)

Widerstandserniedrigung durch Kohlenwasserstoffkontamination?!

Der Einfluss geringer (für die biologische Bodensanierung relevanter) Kohlenwasserstoffkontaminationen auf die frequenzabhängigen elektrischen Eigenschaften wurde exemplarisch für n-Hexadekan (LNAPL) und Phenanthren (DNAPL) untersucht. Dazu wurden SIP Messungen (SIP - spektrale induzierte Polarisation) an unkontaminierten und kontaminierten Modellböden (Sande und Sand-Kaolinit-Gemische) verglichen. Die Kontamination mit hochohmigen, unpolaren Kohlenwasserstoffen (KW) führte bei fast allen Proben zu einer Widerstandserniedrigung (Verringerung des Formationsfaktors).

Eine These für die Ursache der Widerstandserniedrigung und das spektrale Verhalten von mit KW kontaminierten Gesteinen wird aufgestellt. Aus dieser These kann abgeleitet werden, dass der Einfluss der KW auf die elektrischen Eigenschaften von der Größe der inneren Oberflächen und von der Hydrophobizität der KW abhängt. Dies stimmt weitgehend mit den Ergebnissen der eigenen und bisher veröffentlichten Untersuchungen überein. Daraus folgt insbesondere, dass die elektrischen Eigenschaften von Böden mit kleinen inneren Oberflächen (z.B. Grob- und Mittelsande) durch geringe KW-Kontamination nicht signifikant beeinflusst werden.

Wessling, S. (GGA Institut), Kessels, W. (GGA Institut, Hannover)

Der Einfluss thermischer und hydraulischer Parameter auf die Ausbreitung von Untertage-Kohlefeuern

E-Mail: s.wessling@gga-hannover.de

Unbeabsichtigte Brände von Kohleflözen stellen ein weltweites Problem und zugleich eine Herausforderung für die Kohleindustrie dar. Die Bekämpfung der Brände ist von wesentlicher Bedeutung für die Erhaltung von Energieressourcen, den Schutz der Umwelt durch Minderung von CO_2 -Ausstoß, und die Vermeidung von Minenunglücken.

Insbesondere die Löschung von untertage befindlichen Bränden ist schwierig, da deren Position und Ausmaße nicht genau bekannt sind. Eine erfolgreiche und nachhaltige Brandbekämpfung setzt die Kenntnis der dynamischen Entwicklung des Brandes voraus, um prognosefähige Aussagen treffen zu können.

Dieser Beitrag stellt die Untersuchung der dynamischen Entwicklung von Untertage-Kohlebränden in Abhängigkeit hydraulischer und thermischer Parameter vor. Die Untersuchung wurde mit Hilfe numerischer Simulationsrechnungen durchgeführt, die ein gekoppeltes System aus hydraulischen, thermischen und Transportprozessen reaktiver Gaskomponenten berücksichtigen. Die Prozesse finden sowohl im Flöz, als auch im Umgebungsgestein statt. Die Verwendung eines Operator-Splitting Algorithmus ermöglicht die Simulation der Prozesse auf verschiedenen Zeitskalen in angemessenen Rechenzeiten. Wesentliche Eigenschaft des Algorithmus liegt in der Kontrolle der Branddynamik in Abhängigkeit vom geschwindigkeitsbestimmenden Prozess. Soist die Branddynamik, die sich durch den

Sauerstoffumsatz ergibt, bei hohen Temperaturen vom Sauerstoffzustrom bestimmt, wohingegen Reaktionskinetik keinen Einfluss auf die Brandgeschwindigkeit hat.

Als Parameter mit wesentlichem Einfluss auf die Branddynamik wurden die Permeabilität und die Wärmeleitfähigkeit variiert. Zur Berücksichtigung von Strahlung bei hohen Temperaturen wurde vereinfachend eine temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit angenommen, die mit der dritten Potenz der Temperatur steigt.

Die Simulationsrechnungen haben gezeigt, dass die maximale Brandtemperatur und die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Brandes wesentlich von der Permeabilität k des Umgebungsgesteins abhängen. So variiert bei gleicher Wärmeleitfähigkeit die Maximaltemperatur für $5E - 10m^2 < k < 1E - 8m^2$ um $800K$. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit variiert zwischen ca. $95mJahr^{-1}$ für $k = 1E - 8m^2$ und ca. $2mJahr^{-1}$ für $k = 5E - 10m^2$. Die Simulation mit verschiedenen Wärmeleitfähigkeitsmodellen hat gezeigt, dass eine konstante Leitfähigkeit nach kurzer Brandzeit zu unrealistisch hohen Temperaturen führt. Die Verwendung eines temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeitsmodells ergibt hingegen Maximaltemperaturen zwischen 900 und $1300K$, was für ein Untertage-Kohlefeuer realistisch ist.

Webseite: <http://www.coalfire.caf.dlr.de>

Stadtler, C., Kraml, M., Ochmann, N. (BGR)

GEO THERM-Projekt in Uganda: Widerstandsverfahren, Gravimetrie, Geochemie und Seismologie zur Exploration des Geothermiestandortes Buranga

Im Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) führt die BGR in mehreren Entwicklungsländern das GEO THERM-Programm durch. Mit GEO THERM soll die Nutzung geothermischer Energie gefördert werden. In einem der Projekte des Programms wird die ugandische Regierung bei der geowissenschaftlichen Untersuchung eines möglichen geothermischen Standortes unterstützt. Projektpartner sind das Geological Survey and Mines Department (GSMD) und die deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Das Projekt soll in der zweiten Jahreshälfte 2006 abgeschlossen werden.

Uganda wird hauptsächlich durch ein großes Wasserkraftwerk am Nil (Owens-Falls-Damm) mit Strom versorgt. Aufgrund zunehmender Trockenheit in den vergangenen Jahren kommt es vermehrt zu Stromausfällen. Daher sucht die ugandische Regierung nach alternativen, einheimischen Energiequellen, um die Elektrifizierungsrate (9%) zu erhöhen und den stetig steigenden Energiebedarf zu decken. Geothermische Energie könnte dabei wegen ihrer Grundlastfähigkeit und Umweltfreundlichkeit eine ideale Alternative repräsentieren.

Als möglicher Standort für ein Geothermiekraftwerk in Uganda wurde Buranga ausgewählt, da das Gebiet 37 heiße Quellen aufweist, die auf ein hohes geothermisches Potential mit guter Permeabilität schließen lassen. Die eindrucksvollen heißen Quellen haben Wassertemperaturen von bis zu 98°C und eine Fließrate von insgesamt etwa 30 l/s (Abb.1). In der Umgebung fehlen jedoch Anzeichen von

Vulkanismus an der Erdoberfläche.

Unmittelbares Ziel der geowissenschaftlichen Untersuchungen ist es, den Ursprung und die an Klüfte gebundenen Fließwege der Thermalwässer zu klären, die Existenz einer möglichen magmatischen Wärmequelle nachzuweisen und diese zu lokalisieren, die Infiltration der Thermalwässer in den Grabensedimenten im Bereich der heißen Quellen zu kartieren und aktive Störungen zu entdecken. Auf der Basis der Ergebnisse sollen letztlich geeignete Lokationen für Explorationsbohrungen vorgeschlagen werden.

Das Gebiet liegt im Albert-Graben (Teil des Westarms des Ostafrikanischen Grabens) am Fuße des Ruwenzori-Gebirges nahe der Grenze zur Demokratischen Republik Kongo. Weite Bereiche des Messgebietes sind schwer zugänglich, da im Osten des Gebietes die Flanke des Ruwenzori-Gebirges (Horst) steil ansteigt und im Westen das Grabeninnere mit dichtem, tropischen Regenwald und Sumpf bedeckt ist. Daher ist eine flächenhafte Abdeckung des Gebietes mit geophysikalischen Messmethoden nicht möglich.

Deshalb beschränkten sich die Messungen während einer Kampagne Anfang 2005 auf einen schmalen N-S Streifen entlang des Gebirgsfußes. Es wurden geoelektrische, transientelektromagnetische und gravimetrische Messungen durchgeführt. Alle im Untergrund des Grabens gemessenen spezifischen Widerstände sind sehr niedrig, ebenso wie im benachbarten Gebiet ohne geothermische Aktivität an der Erdoberfläche. Dies lässt vermuten, dass Widerstandsverfahren für die Lokalisierung eines potentiellen Thermalwasser-

reservoirs in diesem Gebiet kaum geeignet sind, da die niedrigen Widerstände offenbar sowohl von Thermalwasser als auch durch tonreiche Schichten mit mineralisiertem Wasser verursacht werden können. Durch weitere, geplante transientelektromagnetische Messungen soll diese Vermutung überprüft werden.

Die gravimetrischen Messungen zeigen einen starken Schweregradienten, der durch den Dichtekontrast zwischen Grabensedimenten und dem abtauchenden Grundgebirge des Ruwenzori verursacht wird. Nach Regionalfeldtrennung und Filterungen konnten Hinweise auf bestimmte geologische Strukturen wie z.B. Störungen und Schuttfächer gefunden werden. Die Lokalisierung einer möglichen magmatischen Intrusion, die als Hitzequelle des hydrothermalen Systems dienen könnte, wird durch die Überlagerung der Signale von Intrusion und Grundgebirge erschwert bzw. unmöglich gemacht.

Geochemische Untersuchungen von Wasser-, Gas- und Sinterproben zeigen jedoch, dass (i) eine aktive Magmenkammer im Untergrund von Buranga existiert, (ii) das Thermal-



Abbildung 1: Eindrucksvollste heiße Quelle von Buranga mit Kalksinterablagerungen

wasser nicht aus den Grabensedimenten, sondern vom hohen Ruwenzori stammt, (iii) auf dem weiten Fließweg eine intensive Wasser-Gesteins-Wechselwirkung stattgefunden hat und (iv) die Reservoirtemperatur $>150^{\circ}\text{C}$ ist.

Das Untersuchungsgebiet zeichnet sich weiterhin durch eine hohe Seismizität aus; auch Starkbeben sind relativ häufig. Nach stärkeren Erdbeben wurden Ortsverlagerungen der heißen Quellen sowie Änderungen der Fließrate beobachtet. Dies legt nahe, dass die hydrothermale Aktivität der heißen Quellen Buranga an aktive Störungssysteme gebunden ist und dass das Thermalwasser entlang tektonischer Störungen zur Erdoberfläche aufsteigt. Seit April 2005 werden an 3 seismologischen Stationen im Ruwenzori-Gebirge lokale Erdbeben registriert, die Hinweise auf aktive Störungen im Messgebiet liefern sollen. Aufgrund der hohen lokalen Seismizität (über 100 Lokalbeben pro Monat) ist geplant, mindestens 10 weitere Erdbebenstationen zu errichten, um die Lokalisierungsgenauigkeit zu verbessern und fortgeschrittenere Auswertungsverfahren (Inversionsverfahren, evtl. shear wave splitting) zu ermöglichen. Die Registrierungen sollen bis Mitte 2006 andauern.

Die Seismologie scheint zurzeit die vielversprechendste geophysikalische Methode zur weiteren Erkundung des Standortes zu sein. Durch eine Inversion der seismischen Laufzeitresiduen (Tomographie) könnte die im Untergrund vorhandene Magmenkammer lokalisiert und möglicherweise aktive Störungssysteme (= Fließwege der Fluide) im Messgebiet nachgewiesen werden. Auf dieser Basis ließen sich dann Bohransatzpunkte vorschlagen.

Webseite: <http://www.bgr.de/GEOTHERM>

Kroner, C., Jahr, T. (Institut für Geowissenschaften, FSU Jena), Kämpf, H. (GeoForschungs-Zentrum Potsdam)

Gravimetrische und magnetische Erkundung des Diatremes bei Ebersbrunn/Westsachsen

E-Mail: corinna.kroner@uni-jena.de

Im September 2004 wurde mit einer neuen gravimetrischen und magnetischen Vermessung einer als *Tuffschlot* charakterisierten Struktur bei Ebersbrunn begonnen. Das Diatrem liegt im Kreuzungsbereich zweier regionaler Störungssysteme: dem Regensburg-Leipzig-Rostock Lineament und der Gera-Jachymov-Störung. Die Struktur befindet sich zudem 10 km SE von Fraureuth, wo 1997/98 zwei kleine Erdbebenschwärme auftraten (Schwarmbebenregion Werdau).

Die gravimetrischen Messungen ergeben eine näherungsweise elliptische Bouguer-Anomalie mit einem Schwereminimum von -2 mGal und einem Durchmesser von etwa 800 m in SW-NE Richtung und ca. 1000 m in NW-SE Richtung. Wie bereits bei den Messungen der Vertikalintensität in den 1960er Jahren ist die aus den neuen Messungen abgeleitete Anomalie des erdmagnetischen Totalfeldes durch eine heterogene Struktur mit Variationen von mehreren 100 nT charakterisiert. Die Totalfeldanomalie hat eine ähnliche räumliche Ausdehnung wie die gravimetrische Anomalie, jedoch fehlt ihr die NW-SE Erstreckung mit einem zentralen Anomaliebereich. Anhand 2- bzw. 2,75-dimensionaler Modellierungen werden erste Vorstellungen zu der, den Anomalien zugrunde liegenden Untergrundstruktur entwickelt. Die gravimetrischen und magnetischen Messungen sowie petrographische Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass es sich bei dem *Tuffschlot* nahe Ebersbrunn mit hoher Wahrscheinlichkeit um den erodierten

Rest (Diatrem und Wurzelzone) eines Maar-Diatrem-Vulkans handelt. Das Alter wird auf Tertiär oder Kreide geschätzt.

Naujoks, M., Kroner, C., Jahr, T., Weise, A. (FSU Jena)

**Vom Störeinfluss zum Nutzsignal:
Hydrologische Effekte in gravimetrischen Beobachtungen**

E-Mail: M.Naujoks@uni-jena.de

Hydrologische Effekte in einer Größenordnung von bis zu mehreren μGal werden weltweit in Schweredaten beobachtet, insbesondere in den hoch auflösenden Registrierungen supraleitender Gravimeter. Da sie andere geodynamische Signale überdecken, ist ihre Reduktion erforderlich. Für die Entwicklung eines Reduktionsmodells ist das Verständnis der zugrunde liegenden hydrologischen Prozesse von zentraler Bedeutung. Auf der anderen Seite sind die in der Schwere beobachteten hydrologischen Effekte für Hydrologen und Hydrogeologen von Interesse, da sie Informationen über Massenverteilungen im Untergrund enthalten. Schweremessungen, insbesondere flächenhafte Schweremessungen, erfassen hydrologische Variationen integral – im Gegensatz zu den nur punktuellen hydrologischen Messungen. So werden auch Informationen über Bereiche gewonnen, in denen hydrologische Messungen nicht bzw. nur schwer möglich sind. Auf diese Weise können Schweremessungen helfen, hydrologische Prozesse besser zu verstehen. Ebenso können sie auch eine Randbedingung für hydrologische Modellierungen sein. Da im Allgemeinen kein supraleitendes Gravimeter zur Verfügung steht, stellt sich die Frage, ob auch durch wiederholte Schweremessungen mit Feldgravimetern hydrologische Variationen im μGal -Bereich signifikant nachgewiesen werden können. Darüber hinaus besteht der Vorteil, dass flächenhafte Messungen möglich wären.

Am Geodynamischen Observatorium Moxa wurde ein lokales Festpunkt-Schwerenetz angelegt und mit sehr guten LCR-Feldgravimetern die Schweredifferenzen zwischen diesen Punkten in bisher acht Kampagnen gemessen. Es zeigte sich, dass die durch das supraleitende Gravimeter sowie Wasserstands-, Bodenfeuchte- und Abfluss-Messungen beobachteten hydrologischen Variationen als Schwereänderungen im Bereich von wenigen μGal zwischen verschiedenen Punkten des Schwerenetzes bei Wiederholungsschweremessungen mit Feldgravimetern signifikant nachweisbar sind. Insbesondere werden Unterschiede in Schweredifferenzen zwischen Punkten im Tal und am Hang östlich des Observatoriums beobachtet. Sie werden bei trockener Witterung größer und bei nasser Witterung kleiner, was auf signifikante hydrologische Variationen im Hang schließen lässt. Zum besseren Verständnis der hydrologisch bedingten Schwereänderungen sowie zur Evaluierung der für den Observatoriumsbereich bestehenden hydrologischen Modelle werden 3D-Schweremodellierungen vorgenommen. Auf Basis einer Bouguerkarte wurde ein 3D-Schweremodell der Observatoriumsumgebung erstellt, in dem die gemessenen hydrologischen Variationen in Dichteänderungen umgesetzt werden. Auf diese Weise soll untersucht werden, in welchen Bereichen und in welcher Stärke hydrologische Variationen, die für die gravimetrischen Beobachtungspunkte signifikant sind, auftreten.

Hackney, R. (Universitaet Kiel)

Geological and Geophysical Applications of New Generation Satellite-Derived Earth Gravity Models

E-Mail: rhackney@geophysik.uni-kiel.de

Global Earth gravity models (GGMs) derived from the CHAMP and GRACE satellite missions provide opportunities within the Earth Science that were previously not possible. Uniform data are now available for the whole world with a consistent resolution and in areas where data were previously unavailable or difficult to obtain. In the near future, gravity models obtained from the GOCE mission will achieve still higher resolution, but more importantly, the direct measurement of gravity gradients opens many new possibilities. This abstract outlines some of the new possibilities that arise from the new generation of global gravity models derived from CHAMP and GRACE data.

Continent-wide uniform gravity datasets

Until recently, continent-wide gravity studies were limited by the irregular distribution of data or the inaccuracy of existing long-wavelength global gravity models. The latest models derived from the combination of CHAMP and GRACE data with surface data (where it is available) have sufficient resolution to allow interpretation of large-scale crustal and lithospheric structures that are relevant to tectonic and geodynamic studies. Models with a spatial resolution of ~ 50 km (spatial wavelength ~ 100 km, equivalent to spherical harmonic degree and order 360) are routinely available (e.g. GGM02C, Tapley et al., 2005, *J. Geod.* 79; EIGEN-CG03C, Förste

et al., 2005, EGU Gen. Ass.). At this resolution, these models are claimed to be accurate to better than 10 mGal (e.g. Förste et al., 2005, EGU Gen. Ass.).

A noteworthy example of how these new models can be applied is in the computation of continental rigidity, an important constraint on geodynamic models of lithospheric evolution and also for constraining crustal composition. Previous computations of continental rigidity are limited by the non-uniform distribution of surface data, or even the lack of data in certain areas. Despite the advantages of the new data, the limited spatial resolution contained within the models means that the lowest rigidities cannot be well resolved.

Applications in frontier regions

An example of a region where significant advances can be made using the new gravity models is the Wilkes Basin, a subglacial bedrock depression under the East Antarctic ice sheet that parallels the Transantarctic Mountains (TAM). This basin has been argued to be either a flexural basin linked to the uplift of the TAM (e.g. ten Brink et al., 1997, *JGR* 102) or a rift basin (e.g. Ferraccioli et al., 2001, *EPSL* 192). The lack of constraining data, which largely reflects the difficult access to the interior of East Antarctica, means that most interpretations are ambiguous or relevant only to specific parts of the basin.

The few attempts to obtain seismic data

over this basin were only partially successful. Gravity data are only available along ground-based profiles (e.g. ten Brink et al., 1997, JGR 102) or, more recently, in narrow swaths of airborne data (e.g. Studinger et al., 2003, EPSL 220). The advent of the CHAMP- and GRACE-based GGMs changes the situation dramatically. These GGMs place important constraints on the origin of the Wilkes Basin by showing that it coincides with a broad, negative free-air gravity low. Such a long-wavelength negative gravity signature in a continent is not typical of rifting.

Other regions that can potentially benefit from the new models include high mountain regions (e.g. Himalaya, Andes) and areas that are logistically or politically difficult to access (e.g. East African Rift, Middle East).

Better regional gravity fields?

The application of gravity data in Earth sciences often involves isolating the regional component of the gravity field that is related to large-scale structure (e.g. the Moho), then subtracting this from measured anomalies to leave residual anomalies that reflect smaller-scale features (e.g. within the crust). Traditional methods of regional-residual field separation (filtering, polynomial filtering, isostatic anomalies) are limited because the choice of polynomial, filter parameters or isostatic model is subjective. Alternatively, the direct use of satellite-derived gravity data has the potential to avoid these ambiguities because they provide a direct measurement of the regional, long-wavelength gravity field.

With better-determined residual gravity anomalies, improved interpretations of crustal structure may be possible. One example of such improvements is in the comparison of

residual anomalies with anomalies predicted from regional seismic tomography in order to isolate compositionally- and thermally-derived structures within the crust and upper mantle. A second potential application is in the identification of subduction-zone asperities (the regions of highest seismic moment release, or rupture, during subduction-zone earthquakes).

Applications in hazardous regions

Song & Simons (2003, *Science* 301) have suggested that trench-parallel negative residual gravity anomalies in subduction zones correlate with asperities. If the regional gravity fields derived directly from satellite-derived GGMs prove to be superior to traditional methods of regional-residual field separation, then they are also likely to benefit gravity-based attempts to identify subduction zone asperities.

The future

The resolution of GGMs derived from CHAMP and GRACE data will continue to improve as computational methods improve and more terrestrial data are incorporated in the models. When data from GOCE become available in 2008, still higher resolution gravity field models will be possible. More importantly, direct measurements of gravity-field gradients with global coverage will become available. Gradient data are particularly useful because they are well-suited to identifying major density discontinuities within the lithosphere that are potentially related to structures of tectonic or economic significance.

Heyde, I., Kewitsch, P. (BGR Hannover)

Neue Flugergebnisse mit dem BGR Aerogravimetriesystem

E-Mail: heyde.i@bgr.de

Die BGR führt seit den 60er Jahren seegravimetrische Messungen auf Forschungsschiffen durch. Seit 1984 wird dafür das Seegravimetersystem KSS31 der Bodenseewerk Geosystem GmbH verwendet. Die KSS31 gelten derzeit als die weltweit besten Seegravimeter. Das System wurde modifiziert, um es auch für die Aerogravimetrie einzusetzen. Die Modifikationen zum KSS31M betrafen vor allem die Erfassung der Messdaten, aber auch die Gewichtsreduktion des Systems. Das System (Abb. 1) besteht aus der kreiselstabilisierten Plattform auf der der Sensor montiert ist und dem Rack mit der Kontrollelektronik und der Stromversorgung. Ein Industrie PC dient der Datenaufbereitung und -erfassung.



Abbildung 1: Das KSS31M System mit Sensor und Kreiselstisch (rechts) und Steuerungselektronik und Stromversorgung (links).

Ein Schweresensor, der auf einer bewegten Plattform installiert wird, misst die Summe der Schwere- und Inertialbeschleunigungen der Systemeigenbewegung. Die Störungen durch die Trägheitsbeschleunigungen bei einem normalen Messflug können die 1000fache Amplitude des Nutzsignals einer zu erfassenden geologisch bedingten Schwerevariation aufweisen. Falls die Inertial- und Schwerebeschleunigung in unterschiedlichen Frequenzbereichen liegen, ist es möglich, die beiden Signale durch Filterung zu separieren. Bei der Aerogravimetrie jedoch liegen beide Signale im selben Frequenzbereich, so daß eines der Signale direkt bestimmt werden muss. Die Inertialbeschleunigung kann jedoch aus der Flugzeugbewegung abgeleitet werden. Hierzu ist die Kenntnis der Flugtrajektorie nötig. Die Bestimmung der Flugbahn ist durch satellitengestützte Navigationssysteme wie dem Global Positioning System (GPS) möglich. Wir benutzen moderne NovAtel L1/L2 Empfänger mit einer Aufzeichnungsrate von 20 Hz, sowohl im Flugzeug als auch als Basisstationen. Durch die kinematische, differentielle GPS-Auswertung im Post-Processing ist es dann möglich, die im Flugzeug auftretenden Vertikalbeschleunigungen genügend genau zu erfassen und die gemessenen Schweredaten entsprechend zu korrigieren. Verbesserte Ergebnisse erzielen wir durch die Einbeziehung der Daten eines neu beschafften Inertialsystems, welches mittels Laserkreisel und Beschleunigungsmessern in den drei Raumrichtungen die Fluglage mit einer Datenra-

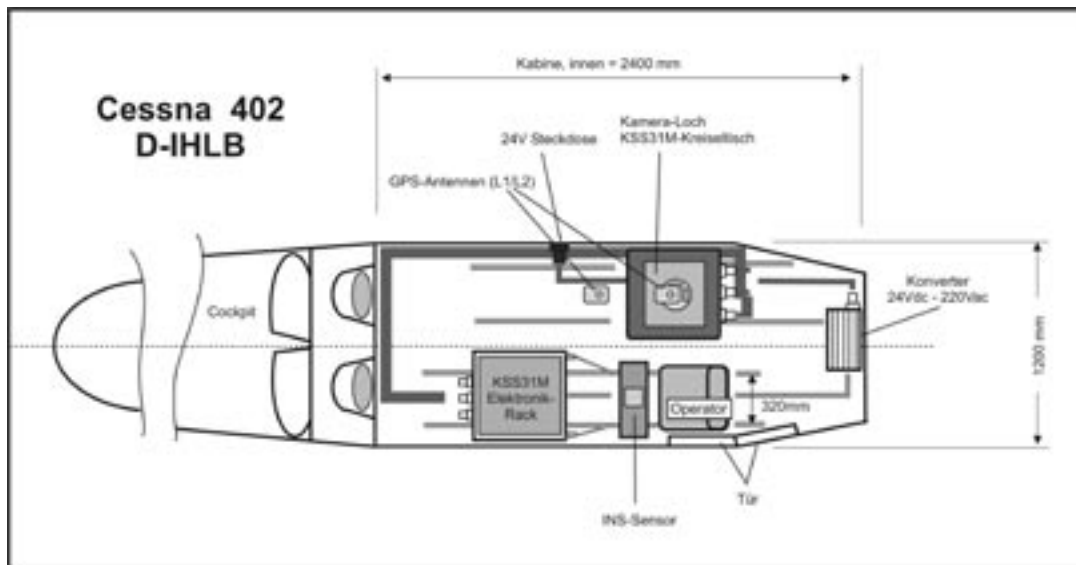


Abbildung 2: Skizze des Systemeinbaus in das Flugzeug.

te von 100 Hz erfasst. Wir verwenden das GPS-gestützte SPAN System von NovAtel. Die Erfahrungen der ersten Testflüge im November 2003 zeigten, dass wir den Einfluss von Horizontalbeschleunigungen auf den Schwere-sensor aufgrund von Fehlhorizontierungen der Kreisellplattform besser in den Griff bekommen müssen. Dazu wurden in Zusammenarbeit mit dem Hersteller neue Datenausgänge für die Horizontalbeschleunigungen und die Fehlwinkel der Sensorplattform gelegt. Mit diesen Daten lässt sich eine genaue Plattformfehler- oder Harrisonkorrektur berechnen.

Die Messflüge erfolgten im Mai 2005. Das System wurde in einer Cessna 402 installiert (Abb. 2). Vom Flughafen Münster/Osnabrück aus wurden zwei etwa 280 km lange gerade Profile in Höhen von ca. 800-1600 m ü. NN geflogen. Die Flughöhe entlang der einzelnen Profile sollte möglichst konstant sein. Dieses war leider aufgrund der Wolkendecke und der Flugverkehrslage nicht durchgängig möglich. Die Hin- und Rückflüge erfolgten jeweils ent-

lang derselben Profillinie.

Die Ergebnisse der Messungen und die notwendigen Bearbeitungsschritte werden vorgestellt. Die Schwerevariationen in der Flughöhe erhält man nach Anbringung der Eötvös-, der Vertikalbeschleunigungskorrekturen, sowie der Plattformfehler- oder Harrisonkorrekturen. Die Freiluftschwereanomalien erhält man durch die zusätzliche Berücksichtigung der Normalschwere- und der Freiluftschwere-reduktionen. Die so bestimmte Freiluftschwereanomalien müssen anschließend tiefpaßgefiltert werden. Die gefilterten Anomalien werden dann mit dem entsprechenden am Boden gemessenen Schwereanomalienprofil verglichen. Daraus lassen sich Aussagen zur Genauigkeit und zum Auflösungsvermögen des KSS31M Aerogravimetriesystems machen.

Webseite: <http://www.bgr.bund.de>

Grosser, J., Glaßmeier, K.-H., Auster, H.-U. (Braunschweig, Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik)

LAPUTA - Aeromagnetik an Bord eines unbemannten Kleinluftschiffes

E-Mail: j.grosser@tu-braunschweig.de

Vorgestellt werden soll ein System zur Durchführung magnetischer Untergrunderkundungen mit Hilfe eines unbemannten, ferngesteuerten Kleinluftschiffes, wie es derzeit am Institut für Geophysik und extraterrestrische Physik an der TU Braunschweig entwickelt wird. Das Luftschiff ermöglicht aeromagnetische Messungen mit geringer Höhe und Geschwindigkeit. Dadurch wird eine hohe räumliche Auflösung erreicht, wie sie beispielsweise im Rahmen von Spezialvermessungen zur Untersuchung eng begrenzter Untergrundstrukturen (z.B. regionale Geologie/Stratigraphie, Deponie- bzw. Baugrunderkundung, Archäometrie) notwendig ist. Die Nutzung des Kleinluftschiffes ermöglicht eine im Vergleich zu Vermessungen mit handgeführten Sensoren rasche Prospektierung insbesondere von kleineren Flächen einiger Hektar Größe. Auch sind Einsätze oberhalb schwer begehbar Areale prinzipiell durchführbar. Das Hauptinstrument stellt ein digitales, 3-komponentiges Fluxgate-Magnetometer dar, an das ein Datenlogger angeschlossen ist. Die räumliche und zeitliche Zuordnung der Meßwerte erfolgt mittels Satellitennavigationssystem (NAVSTAR-GPS). Ohne Kenntnis der genauen Orientierung des Luftschiffes ist direkt nur der Betrag des Magnetfeldes interpretierbar. Im Rahmen dieses Projektes soll auch der Versuch unternommen werden, mit Hilfe von Beschleunigungs- bzw. Neigungsmessungen auf dem Luftschiff die Vertikal- und Horizontalkomponente zu bilden. Mes-

sungen oberhalb von Testanomalien im Rahmen einer Machbarkeitsstudie werden vorgestellt. Aufbauend auf diesen Erfahrungen soll die Entwicklung eines feldtauglichen Einsatzsystems erfolgen.

Session E

AG, EP, PG

+ thematisch passende Beiträge aus GD und GS

8.3./9.3. in Raum 2020 im SFG

Müller, C. (Kiel, Institut für Geowissenschaften), Lübke, H. (Schwerin, Archäologisches Landesmuseum), Wölz, S., Jokisch, T. (Kiel, Institut für Geowissenschaften), Wendt, G. (Rostock, Institut für Nachrichtentechnik und Informationselektronik), Rabbel, W. (Kiel, Institut für Geowissenschaften)

3-D Seismic Investigation of a Late Ertebølle Settlement in Wismar Bay, SEAMAP-3D case study

E-Mail: cmu@geophysik.uni-kiel.de

3-D seismic acquisition is an established tool in routine offshore investigations predominantly used by the oil industry. Advances in personal computer and GPS technology in the last decade moved this technology into reach of engineering and archaeological geophysics. We have developed a very high resolution 3-D seismic system that allows for fast, large scale and routine archaeological prospection in very shallow waters. It is aimed to investigate sedimented settlement remains, to locate archaeological objects and to provide seismic stratigraphy in three dimensions.

The system so far was applied at two sites of archaeological interest in Wismar Bay. We present a case study based on results from the youngest survey conducted approx. 200 m off the western shore of Poel Island (Mecklenburg Western Pomerania):

Wismar Bay belongs to the Mecklenburgian Bay of the south-western Baltic Sea and is separated by shoals from the open sea. In prehistoric time it must have been a fjord extending deeply into the morainic landscape of Mecklenburg. Since 1998 investigations on submarine Stone Age settlements took place in this area - until now more than 20 new sites were discovered with different degrees of preservation of cultural remains. These sites are submerged as a result of sea level changes in the Baltic Sea following the last Ice Age.

One of the most important sites so far is "Timmendorf-Nordmole I", a coastal settlement of the late Ertebølle culture.

The subsistence was based mainly of marine resources. This is well-documented by wooden prongs and bone points of fishing spears, wooden sticks and posts as remains of fish weirs, antler harpoons, paddles, fragments of log boats and a large number of fish bones of fish (especially eel and cod), sea mammals and birds. Accelerator radiocarbon dates of wooden implements, charred food-waste on ceramics and animal bones show that the site was in use during the period from 4400 to 4100 calBC.

The seismic survey was aimed to map pit building remains (discovered and unknown) and the paleo landscape with the former shore line in this area.

An electrodynamic sub-bottom profiler (boomer) and its power supply, the data acquisition unit (32 channel, 24 bit, 100 kHz) and navigational units were mounted on a catamaran, which was towing a hydrophone array with 8 active hydrophones ($dx=0.5$ m). Acquired data was processed and visualized with help of a Linux cluster through a standardized processing sequence which requires only minimal user interaction. Data were acquired on a regular track grid with 2 m profile spacing, 3 Hz shot rate, 100 kHz sampling rate and 10-25

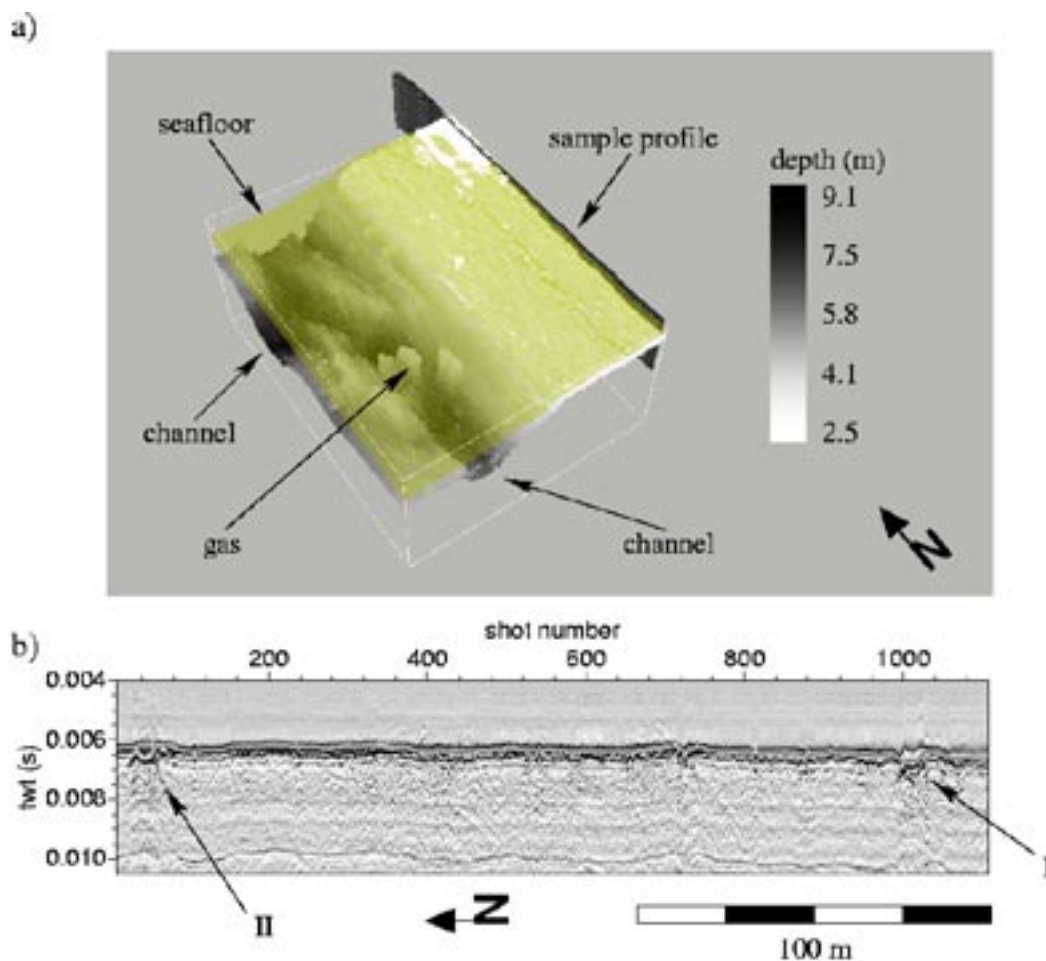


Figure 1: a) 3-D view of two interpreted horizons: the seafloor (transparent) is sheeting glacial till (grayscale coded depth), b) Sample profile as indicated in a). I: seismic signature due to a former excavation pit, II: similar signature, not related to excavation activities.

cm CMP separation.

Figure 1a shows interpreted horizons from the seismic data volume documenting the slightly sloping sandy seafloor sheeting glacial till, which builds a system of synclines. The sedimentary infill in accordance with the proposed mean sealevel prevailing during the Ertebølle period suggests a limnic environment (not shown). Several local anomalies are caused by biogenic gas accumulating just below the seafloor. Figure 1b displays a sample seismic section vertically trenching through

a former excavation pit. Disturbance of the seafloor horizon and scattering coda in the seismic signal clearly indicate its position. Roughly 200 meters to the north of this site we identify a similarly localized seismic signature. It is characterized by a phase inverted seismic reflection only about 1 m below the undisturbed seafloor. Only manual inspection or coring will clarify its origin and is scheduled for a follow-up investigation.

Web page: <http://www.seamap-3d.de>

Lorenz, B., Plaumann, G. (Berlin)

Geophysikalische Untersuchungen zur Archäologie der frühen Geschichte Perus

E-Mail: plaumann@geophysik-lorenz.de

Im Tal des Rio Casma im peruanischen Bundesstaat Ancash gibt es mehrere Monumente aus der sog. Formativzeit (1200-200 v. Chr.). Die imposanten Bauten sind im Gelände weithin sichtbar. Vorgängerbauten des Monuments gehören.

Im aktuellen Projekt des Lateinamerika-Instituts der FU Berlin wurden archäogeophysikalische, zerstörungsfreie Messungen auf einem Vorplatz des Sechín-Bajo-Monuments, einem der Hauptbauten in der Region, ausgeführt.

Das Ziel der Erkundung war die Detektion von geophysikalischen Anomalien, aus deren Lage und Struktur Rückschlüsse auf archäologisch relevante untertägige Objekte, wie z. B. Mauerreste oder Paläofeuerstellen gezogen werden. Hauptbaumaterial der Formativzeit waren Lehmziegel. Das Verfestigen erfolgte durch Lufttrocknung der Ziegel. Die Bauwerke aus diesem Material besitzen oft einen deutlichen Widerstandscontrast zu ihrer weniger leitfähigen Umgebung, so daß sie sich gut als Untersuchungsobjekte für eine kombinierte archäomagnetische und archäoelektromagnetische Erkundung eignen. Beide Methoden haben individuelle Vorteile, die sie dafür prädestinieren, die bestmögliche Aussage über mögliche Untergrundstrukturen zu erhalten. Die Interpretation fand in enger Abstimmung mit den verantwortlichen Archäologen statt.

Die kürzlich beendeten archäologischen Grabungen, die gemäß der geophysikalischen Ergebnisse durchgeführt wurden, konnten Strukturen freilegen, die vermutlich zu

Soffel, H. C. (Sektion Geophysik, LMU München)

Die zweite geomagnetische Landesaufnahme in Bayern vor hundert Jahren durch J. B. Messerschmitt

E-Mail: soffel@geophysik.uni-muenchen.de

Nach den ersten geomagnetischen Landesvermessungen in Bayern und Sueddeutschland, Frankreich, Spanien, Holland und Preussen durch Lamont in den Jahren 1850-1860 wurden in den folgenden Jahrzehnten solche Messungen mit hoher Punktdichte auch in anderen deutschen Staaten und Nachbarlaendern durchgefuehrt. Lamont erhoehte auch die Zahl seiner Messpunkte im Koenigreich Bayern und in ganz Sueddeutschland von 129 im Jahre 1854 auf schliesslich 240, was einer durchschnittlichen Distanz von 17 km entsprach. In diesem Datensatz waren schon einige Gebiete mit lokalen magnetischen Anomalien erkennbar (Noerdlinger Ries, Serpentine im Bayerischen Wald, die Vulkanite der Rhoen und des Spessarts), die von Lamont aber nicht weiter im Detail untersucht wurden. Nach dem Tod Lamonts im Jahre 1879 wurde die Landesvermessungen zur Bestimmung der regionalen Saekularvariation in Bayern nicht weitergefuehrt. Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde dies durch J. B. Messerschmitt wieder aufgegriffen. Bei dieser Wiederholungsmessung des Koenigreichs Bayern der Jahre 1903 - 1906 waren die meisten der von Lamont etwa 50 Jahre zuvor angelegten Messpunkte durch die Ausdehnung der Siedlungen und die Industrialisierung unbrauchbar geworden. Es wurden von Messerschmitt auch neuere und genauere Messgeraete eingesetzt, z.B. in neues Inklinometer und ein neuer Reisetheodolit von L. Tesdorpf zur Messung der Deklination, der Inklination und der Horizontalintensitaet. Ei-

ne neue Karte reduziert auf den Anfang des Jahres 1905 zeigt die Isolinien fuer D, I und H. Sie basiert nur noch auf 57 Messpunkten. Gegenueber der Landesvermessung von 1850 hatten sich die Werte fuer Muenchen von $D = 15,898$ Grad, $I = 64,992$ Grad und $H = 19\,523$ nT zum Teil erheblich veraendert und lauteten fuer 1905: $D = 10,122$ Grad, $I = 63,175$ Grad und $H = 20\,653$ nT. Daraus konnte Messerschmitt die regionale und lokale Saekularvariation zwischen 1850 und 1905 fuer den sueddeutschen Raum ableiten.

Saur, J. (Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie), Dougherty, M. (London, Imperial College), Neubauer, F.M. (Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie), Khurana, K., Russell, C. (L.A., UCLA)

Entdeckung einer Atmosphäre am Südpol des Saturnmondes Enceladus

E-Mail: saur@geo.uni-koeln.de

Im Jahr 2005 erfolgten die ersten je geflogenen nahen Vorbeiflüge einer Raumsonde am Saturnmond Enceladus durch die Raumsonde Cassini. Bei diesen Vorbeiflügen maß Cassini in der Nähe von Enceladus eine unerwartet große Magnetfeldstörung von ungefähr 5-10 nT. In unserem Vortrag stellen wir eine Analyse dieser gemessenen Magnetfelder mittels drei-dimensionalen Plasmasimulationen vor. Unsere Simulationen zeigen, dass die Magnetfeldmessungen konsistent sind mit atmosphärischem Ausgasen in der Nähe des Südpols. Diese Interpretation ist zudem im Einklang mit den Beobachtungen von erhöhten Eistemperaturen in den Eisverwerfungen ebenfalls in der Nähe des Südpols.

Buske, M., Christensen, U. (MPS, Katlenburg-Lindau)

Thermische Evolutionsmodelle für die Konvektion im Marsmantel

E-Mail: buske@mps.mpg.de

Auf dem Mars sind Vulkanismus, tektonische Aktivitäten und starke Geoidanomalien auf eine Region -die Tharsis-Region- begrenzt. Diese Beobachtung führt zu der Hypothese, dass das Konvektionsmuster im Mars sich von dem der Erde unterscheidet und von wenigen eventuell nur einem starken Plume unter der Tharsis-Region dominiert wird. Ein Konvektionsmuster mit einer deutlich reduzierten Anzahl von Aufströmen kann in numerischen Modellen beobachtet werden, die die endotherme Phasengrenze vom γ -Spinell zum Perowskit berücksichtigen, die im Marsin der Nähe der KMG auftreten könnte.

In erweiterten sphärischen 3-D Modellen untersuchen wir die thermische Entwicklung des Marsmantels unter Berücksichtigung der säkularen Abkühlung. In diesen Modellen ist die Viskosität tiefenabhängig und wird durch den Druck und die horizontal gemittelte Temperatur nach einem Arrheniusterm beschrieben. Das radiale Viskositätsprofil ändert sich mit der Zeit und ermöglicht es, das Anwachsen der Lithosphäre zu modellieren.

Es zeigt sich, dass die Druckabhängigkeit der Viskosität die Wirkung der Phasengrenze auf das Konvektionsmuster und die thermische Entwicklung des Planeten stark beeinflusst. Ist die Viskosität in der Tiefe der Phasengrenze zu gering, entsteht trotz Phasengrenze ein Konvektionsmuster mit vielen Aufströmen. Eine verstärkte Druckabhängigkeit führt zu einer dünneren Lithosphäre und einem schnelleren Abkühlen des Kerns und des Mantels. Die zeitliche Entwicklung der Temperatur und

des Wärmeflusses an der KMG ermöglichen Rückschlüsse auf die Existenz und Lebensdauer eines Dynamos im Mars.

Wünnemann, K. (Humboldt-Universität), Morgan, J. V. (Imperial College London), Jödicke, H. (Westfälische Wilhelms-Universität)

Der Ries Krater: Impaktdynamik und geophysikalische Erkundung

E-Mail: kai.wuennemann@museum.hu-berlin.de

Einschlagereignisse von Asteroiden und Kometen werden als wichtiger, auf manchen planetaren Körpern sogar als einziger geologischer Prozess verstanden, der zur Gestaltung der Oberflächen beiträgt. Das komplexe Zusammenspiel der bei der Kraterbildung wirkenden Kräfte, das für die große Vielfalt der sich morphologisch unterscheidenden Kraterformen verantwortlich ist, ist noch immer nicht vollständig verstanden. Im Gegensatz zu der mit Impaktkratern übersäten Oberfläche des Mondes sind Spuren von Einschlagereignissen auf der Erde relativ selten und in der Regel nur schlecht erhalten. Der große Vorteil terrestrischer Kraterstrukturen besteht darin, dass impaktbedingte Modifikationen im Untergrund, wie beispielsweise die Fragmentierung oder die stratigraphische Anhebung von Gesteinseinheiten, untersucht werden können.

In diesem Zusammenhang eignet sich das Nördlinger Ries in idealer Weise, da bereits eine große Datenvielfalt aus geophysikalischen Messungen und Bohrungen vorliegt [1] und nun in Verbindung mit numerischen Computermodellen zur Simulation der Kraterbildung neu interpretiert werden können [2].

Im Gegensatz zu früheren Interpretationen hat die Neubearbeitung der seismischen Refraktionsprofile [3] ergeben, dass eventuell eine strukturelle Anhebung von ca. 1 km im

Untergrund stattgefunden hat. In dem neu erstellten Geschwindigkeits-Tiefen-Modell (Abb. 1A) ist die seismische P-Wellen Geschwindigkeit unter dem Kraterboden bis in eine Tiefe von etwa 2.2 km gegenüber demselben Tiefenbereich außerhalb des Kraters reduziert. Unterhalb dieser Tiefe steigt die Geschwindigkeit sprunghaft an, vermutlich aufgrund einer Anhebung ursprünglich tiefer gelegener dichter Gesteinsschichten.

Mit Hilfe neuer magnetotellurischer Tiefensondierungsdaten wurde ein 2D-Inversionsmodell der elektrischen Leitfähigkeitsverteilung unter dem Ries Krater erstellt (Abb. 1B). Das Modell zeigt eine anormale hohe Leitfähigkeit, die vermutlich auf mit Fluiden gefüllte Risse und Spalten bis zu einer Tiefe von ca. 2 km zurückzuführen ist.

Die numerischen Modelle der Kraterbildung (Abb. 1C) zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen an der Oberfläche sowie des Untergrundes des Ries Kraters. Die Modelle helfen dabei, strukturelle Unterschiede zwischen dem Ries und anderen Kratern ähnlicher Größenordnung zu erklären. Es hat sich herausgestellt, dass das Ries im Gegensatz zu der konventionellen Abschätzung des Kraterdurchmessers hinsichtlich der Größe durchaus vergleichbar mit dem Bosumtwi Krater in Ghana ist und beide Impaktstrukturen als typische Beispiele für „komplexe Krater“ auf der Erde zu betrachten

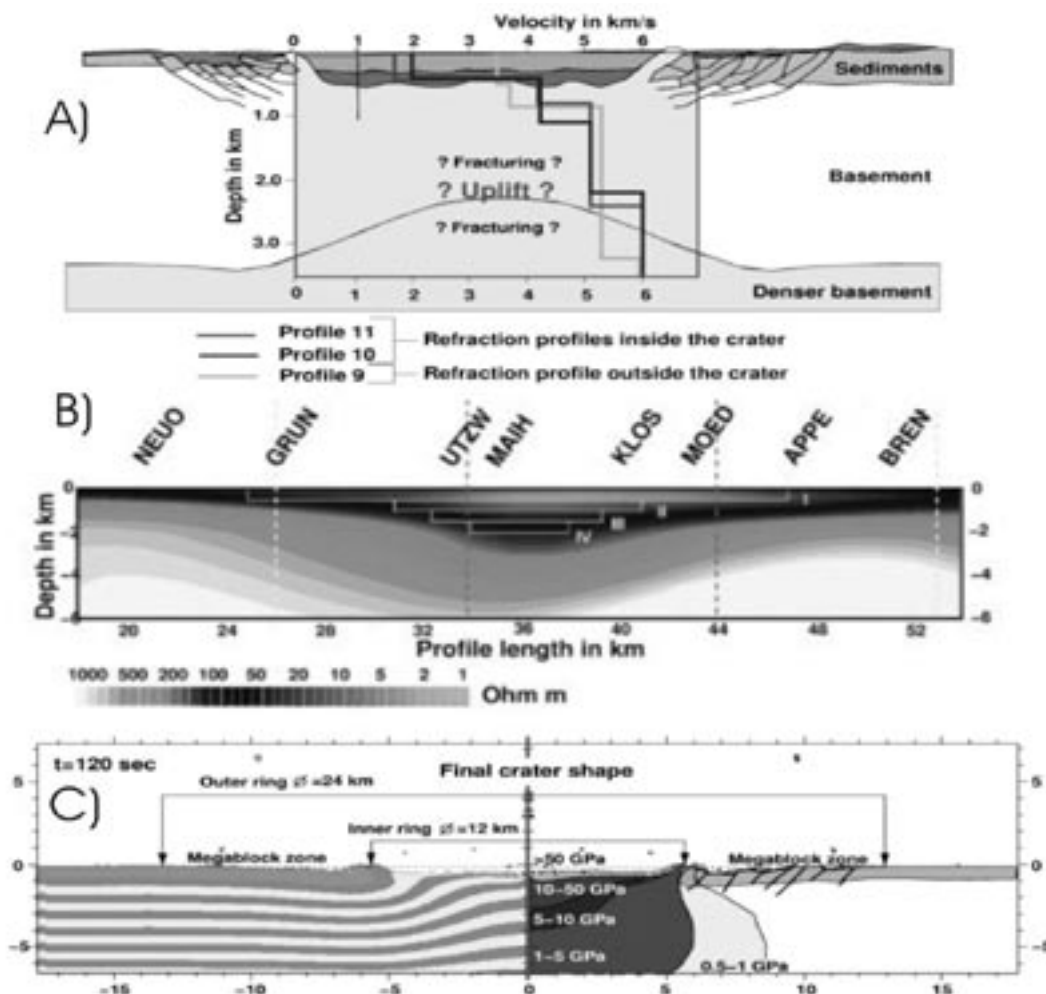


Abbildung 1: A) Geol. Profil und Geschwindigkeits-Tiefen-Modell der seismischen P-Wellengesch. innerhalb und außerhalb des Ries Kraters. B) Widerstands-Tiefen-Modell aus 2D-Inversionsrechnung aus MT-Daten. C) Ergebnisse der numerischen Modellrechnungen der Kraterbildung. Links: Schichten verdeutlichen stratigraphische Aufwölbung. Rechts: Druck-Isobaren grenzen Zonen maximal erreichter Stoßwellendrucke ein.

sind.

Literatur:

[1] Pohl J. et al., 1977, The Ries impact crater, in: *Impact and explosion cratering*, Pergamon Press, NY, pp. 343-404. [2] Wünnemann K et al., 2005, Is Ries crater typical for its size? An analysis based upon old and new geophysical data and numerical model-

ling, in: *Large meteorite impacts III*, Geo. Soc. of America Special Paper 384, pp.67-83. [3] Angenheister, G., Pohl, J., 1976, Results of seismic investigation in the Ries crater area (Southern Germany), in: *Explosion Seismology in Central Europe; Data and Results*, Springer-Verlag, Berlin, p. 290-302.

Albert, A., Vogt, J., Zieger, B. (International University Bremen)

Energetic particle flux modeling in simulated paleomagnetospheres

E-Mail: a.albert@iu-bremen.de

This paper is concerned with calculating the flux of high energetic particles (cosmic rays and solar protons) that enter the upper atmosphere. We make use of simulated magnetospheric configurations and an optimized particle initialization strategy to improve counting statistics. The aims are to provide an integrated output of the magnetospheric modelling and of the particles flux calculations for the ionization profiles computations, and to improve the results of the existent flux calculation and particle trajectory integration codes (the EPOM code from TU Braunschweig).

A validation of the existing code has been performed by comparing the results from the analytical model of the magnetosphere employed in EPOM with a discrete model obtained by MHD simulations. For this purpose, the EPOM code has been modified to allow the use of the discrete magnetic field model. The outputs agree within the expected errors due to the numerical implementation.

Our alternative approach proposes to follow the trajectories of the particles shot from the ionosphere to an outer spherical shell. We will discuss criteria for determining which particle orbits have to be treated numerically and which ones can be approached analytically, based on the theory of adiabatic invariants. The final goal is to calculate the flux function and the domains that it maps from the ionosphere and the outer sphere in the phase space associated with the system.

Zieger, B., Vogt, J. (International University Bremen)

Solar wind control of magnetopause shape derived from MHD simulations

E-Mail: b.zieger@iu-bremen.de

The shape of the magnetopause is known to be controlled by the solar wind ram pressure and the interplanetary magnetic field. Roelof and Sibeck (JGR, 1993) have derived an empirical bivariate function of magnetopause shape by fitting an ellipsoid of revolution to observed magnetopause crossings. We use MHD simulations to derive the shape of the magnetopause in a wide range of the control variables. We compare the simulation results with the empirical Roelof-Sibeck bivariate function and find very good agreement in the validity range of the Roelof-Sibeck method. We conclude that the Roelof-Sibeck function cannot be extrapolated to southward IMF values stronger than 5 nT, because the magnetopause can be no longer approximated with an ellipsoid of revolution. The asymmetry of the magnetopause is explained with field line reconnection and the related erosion of the magnetic field.

Winkler, H. (Institute of Environmental Physics, University of Bremen), Glassmeier, K.-H. (University of Braunschweig), Kallenrode, M.-B. (University of Osnabrück), Notholt, J. (University of Bremen), Schulze, K. (University of Braunschweig), Sinnhuber, M. (University of Bremen), Steinhilber, F. (University of Osnabrück), Vogt, J. (International University Bremen)

Modelling of impacts of Solar Proton Events on the Earth atmosphere in a changing geomagnetic field

E-Mail: hwinkler@iup.physik.uni-bremen.de

During a Solar Proton Event (SPE) the flux of highly energetic charged particles from the sun is greatly increased. When these particles (mainly protons and electrons) reach the Earth they are deflected by the terrestrial magnetic field. Due to its dipole-topography the present geomagnetic field guides the solar particles into the polar regions where they can enter the atmosphere. There interactions with air molecules lead to the formation of reactive NO_x , HO_x and O_x radicals. The resulting disturbances of the middle atmosphere's chemistry are known to particularly influence the ozone budget in the polar regions. To assess the impacts of SPEs on the atmosphere in a varying geomagnetic field 2D-atmospheric chemistry and transport simulations have been performed, covering time periods of several years after the events. The proton fluxes of three SPEs taken from GOES data were applied on different geomagnetic configurations including an asymmetric quadrupole field originating from potential-theory based magnetospheric simulations of the Matuyama-Brunhes reversal. The atmospheric simulations show that and how the chemical impacts of solar particles depend on the geographic region in which they enter the Earth's atmosphere and therefore on the Earth

shielding by its magnetic field.

Web page: <http://www.iup.physik.uni-bremen.de/paleo/index.html>

Balasis, G. (GFZ Potsdam), Egbert, G. D. (College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University)

A study of global electromagnetic induction using satellite and observatory magnetic data

Electromagnetic (EM) induction studies using satellite and ground-based magnetic data may ultimately provide critical new constraints on the electrical conductivity of Earth's mantle. Unlike ground-based observatories, which leave large areas of the Earth (especially the ocean basins) unsampled, satellites have the potential for nearly complete global coverage. However, because the number of operating satellites is limited, spatially complex (especially non-zonal) external current sources are sampled relatively poorly by satellites at any fixed time. The comparatively much larger number of ground-based observatories provides more complete synoptic sampling of external source structure. By combining data from both satellites and observatories models of external sources can be improved, leading to more reliable global mapping of Earth conductivity. For example, estimates of EM induction transfer functions (TFs) estimated from night-side CHAMP data have been previously shown [Balasis et al., 2004] to have biases which depend systematically on local time (LT). This pattern of biases suggests that a purely zonal model does not adequately describe magnetospheric sources. Balasis et al. [2004] also showed that an extended magnetospheric source model, which incorporates a non-axisymmetric quadrupole, Y_2^1 , and allows for Earth rotation, qualitatively explains the LT dependence of satellite TF biases. This additional term simply accounts for stronger ring current fields on the dusk side compared to the dawn side. As a first step toward improved modeling of spatial complexity in sources, we have applied empirical orthogonal function (EOF) methods to exploratory analysis of night-side observatory data. After subtraction of the predictions of the CM4 comprehensive model, which includes a zonally symmetric storm-time correction based on D_{st} , we find significant non-axisymmetric, but large scale coherent variability in the mid-latitude night-side observatory residuals. Over the restricted range of LTs (18:00-6:00) and latitudes (50°S to 50°N) considered, the dominant spatial mode of variability is reasonably approximated by a Y_2^{-1} quadrupole spherical harmonic. Temporal variability of this leading EOF mode is well correlated with D_{st} . Results are generally consistent with the simple Y_2^1 model of Balasis et al. [2004], supporting the proposed explanation for the observed bias in satellite estimates of induction TFs. Strategies for moving beyond this initial exploratory EOF analysis to combine observatory data with satellite data, and to develop improved models of night-side current systems will be discussed.

Stemmer, K., Harder, H., Hansen, U. (Universität Münster, Institut für Geophysik)

Der Einfluss von stark temperatur- und druckabhängiger Viskosität auf die Mantelkonvektion in einer 3D Kugelschale

E-Mail: stemmer@uni-muenster.de

We present a new finite volume code for modeling three-dimensional thermal convection in a spherical shell with strong temperature and pressure dependent viscosity. A new discretization formulation of the viscous term, tailored to the finite volume method on a collocated grid, enables laterally variable viscosity. A smoothed cubed-sphere grid is used to avoid pole problems which occur in latitude-longitude grids with spherical coordinates. The spherical shell is topologically divided into six cubes. The equations are formulated in primitive variables, and are treated in the Cartesian cubes. In order to ensure mass conservation a SIMPLER pressure correction procedure is applied and to handle strong viscosity variations up to $\Delta\eta = 10^6$ and high Rayleigh-numbers up to $Ra = 10^8$ the pressure correction algorithm is combined with a pressure weighted interpolation method to satisfy the incompressibility condition and to avoid oscillatory pressure solutions. The model is validated by a comparison of diagnostical parameters of steady-state cubic and tetrahedral convection with other published spherical models and a detailed convergence test on successively refined grids. Lateral variable fluid properties have a significant influence on the convection pattern and heat flow dynamics. The influence of temperature and pressure dependent viscosity on the flow is systematically analyzed for basal and mixed-mode heated thermal convection in the spherical shell. An new method to classify the simu-

lations to the mobile, transitional or stagnant-lid regime is given by means of a comparison of selected diagnostical parameters, a significantly improved classification as compared to the common surface layer mobility criterion. A scaling law for the interior temperature and viscosity in the stagnant lid regime is given. Purely basal heating and strongly temperature dependent rheology stabilize plume positions and yield with a weak time dependence of the convecting system, while the amount of additional internal heating controls the strength of time dependence. Strength and partitioning of basal and internal heat sources in the mantle seems to be of major importance to specify the dynamics of the flow field and therefore the evolution of the Earth and other planets. Additional pressure dependence strongly influences the dynamics even if the magnitude of pressure variation is relatively small. For an appropriate combination of pressure and temperature dependence we observe a kind of low and high viscosity zone in the asthenosphere and deep in the mantle. The viscosity-depth profile of such a flow shows striking similarities to viscosity profiles from inversion of seismic, geoid and postglacial rebound data.

Web page: <http://earth.uni-muenster.de/dyn/>

Breuer, M., Harder, H., Hansen, U. (Institut für Geophysik, WWU Münster)

A Numerical Study on Possible Driving Mechanisms of Core Convection

E-Mail: breuerm@earth.uni-muenster.de

We present a numerical study on core convection based on a model of a rotating spherical shell where different driving mechanisms are investigated. Two different sources are potentially available to act as driving forces. The first is based on the super adiabatic temperature gradient in the outer core. The second is of chemical nature and is derived from light elements which emerge at the boundary between the inner and the outer core as a result of the freezing process of the outer core. So far it is uncertain if the convective flow in the outer core is dominated by thermal or by chemical buoyancy. Dynamically, both components differ mainly in terms of their diffusional time scales, whereas the chemical component diffuses much faster than the thermal one. To investigate the influence of the driving mechanisms on the convective flow pattern we considered different scenarios including the two extreme cases of purely thermal and purely chemical driven convection and the more likely situation of a joint action of both sources. We focused on the question how the driving mechanisms affects the differential rotation and the spatial distribution of helicity which are particularly important for the dynamo process.

Harder, H., Hansen, U. (Universität Münster)

Numerische Simulationen des Geodynamos: Resultate und Perspektiven

E-Mail: harder@earth.uni-muenster.de

In der jüngsten Vergangenheit sind bedeutende Fortschritte in der numerischen Simulation der Entstehung des erdmagnetischen Innenfeldes durch hydromagnetische Dynamoprozesse im flüssigen Erdkern erzielt worden. Insbesondere der Einsatz von parallelen Rechnerarchitekturen hat es ermöglicht, Modelle in erdähnlicheren Parameterbereichen zu berechnen. Voraussetzung ist allerdings die Entwicklung entsprechender paralleler Modellierungsalgorithmen. Im Rahmen des DFG Schwerpunktprogrammes ist unserer Arbeitsgruppe eine lokale finite Volumen Methode entwickelt worden, die speziell für paralleles Rechnen optimiert worden ist. Aber auch herkömmliche, spektrale Ansätze werden zunehmend für paralleles Rechnen modifiziert.

In früheren Modellen war aus numerischen Gründen viskose Dissipation in der gesamten Kugelschale der bedeutendste Beitrag zur lokalen Kräftebilanz. In unseren aktuellen Modellen bei geringer Ekman Zahl, d.h. bei geringer mechanischer Viskosität, ist viskose Dissipation nur in dünnen Grenzschichten bedeutend. Dies verschiebt das Maximum der kinetischen Energie zu Moden im Bereich $\ell = 40$ bis $\ell = 60$.

Aber auch die Struktur des erzeugten Magnetfeldes im Erdkern ist nicht länger dipoldominiert und durch zeitlich konstante, circumpolare Flußbündel bestimmt. Hingegen entstehen episodisch lokale, zeitlich variable magnetische Spots, die vorzugsweise in NS Richtung wandern. In diesen Spots übertrifft die lokale magnetische Feldstärke die Dipolfeldstär-

ke von 4 Gauss um Größenordnungen. Animationen der berechneten Felstärken demonstrieren die zeitliche Variation der Strukturen. Wir werden die Bedeutung dieser magnetischen Spots für das Verständnis der Dynamik und Struktur des Erdkerns diskutieren .

Wicht, J. (Max-Planck-Institut fuer Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau), Constable, C. (Green Institute of Geophysics and Planetary Physics, Scripps Institution of Oceanography, University of California at San Diego)

Variation der Umkehrhaeufigkeit in einer Dynamosimulation

E-Mail: wicht@linmpi.mpg.de

Der Erdmagnetfeld variiert auf sehr unterschiedlichen Zeitskalen, die von Monaten bis hin zu einigen zehn Millionen Jahren reichen. Die längsten Variationen sind mit Umpolungen und Änderungen in deren Häufigkeit verknüpft. Die Dynamik des Erdmantels ist wahrscheinlich für die langsamsten Variationen in der Umkehrfrequenz verantwortlich. Doch auch ohne Änderungen im Erdmantel kann die Häufigkeit der Umpolungen stark variieren, wie paleomagnetische Untersuchungen nahelegen. Wir verwenden Computersimulationen, um die zeitliche Variation der Umkehrrate genauer zu untersuchen. Damit hinreichend lange numerische Datensätze erzeugt werden können, wurden Parameter ausgewählt, bei denen sowohl

ne Umkehrung notwendig sind. Die stochastische Natur dieser Vorgänge bewirkt, dass die Umkehrhäufigkeit sehr stark um ihren Mittelwert schwanken kann. Valet und Koautoren (Nature 2005) schlagen vor, dass es während der letzten zwei Millionen Jahre einen Zusammenhang zwischen Stärke und Umkehrhäufigkeit im Erdmagnetfeld gab. Umkehrungen waren häufiger in Zeiten in denen das Magnetfeld generell schwach war. Diese Theorie bestätigt sich nicht bei unseren numerischen Datensatz, wo keine signifikante Korrelation festgestellt werden konnte. Ursache dieser Diskrepanz könnte sein, dass unser Datensatz wesentlich mehr Umkehrungen umfasst und somit eine bessere Statistik gewährleistet.

Konvektion als auch Magnetfeld großräumig bleiben. Das Model ist jedoch dreidimensional, selbstkonsistent und chaotisch, und weist ein recht erdähnliches Magnetfeld auf. Über einhundert Feldumkehrungen wurden simuliert und das Ergebnis statistisch ausgewertet. Es zeigt sich, dass wie bei der Erde die zeitlichen Abstände zwischen den Umkehrungen einer Poisson-Verteilung folgen. Dies legt nahe, dass es sich bei den Umpolungen um statistisch voneinander unabhängige Prozesse handelt. Ursache der Umkehrungen scheinen Ereignisse mit besonders kräftigen Konvektionströmungen zu sein. Die Amplitude dieser Strömungen schwankt stochastisch und erreicht nur selten Stärke und Dauer, die für ei-

Wardinski, I., Korte, M. (GFZ Potsdam)

Die Fluidbewegung an der Kern–Mantel–Grenze der letzten siebentausend Jahre

Die Beschreibung des Erdmagnetfeldes und seiner zeitlichen Variation, der Säkularvariation, der letzten siebentausend Jahre (Korte & Constable, 2005) erlaubt es die Fluidbewegung des flüssigen Erdkerns an seiner Grenze zum Mantel zu bestimmen. Im Prinzip invertiert man die Induktionsgleichung, um die Fluidbewegung zeitlich kontinuierlich zu modellieren. Man vernachlässigt für Zeitskalen kürzer als einhundert Jahre den Diffusions-term (Frozen Flux Hypothesis), für längere Zeitskalen ist diese Vereinfachung nicht mehr gültig. Wir diskutieren den Effekt der Diffusion innerhalb des Zeitrahmens der letzten siebentausend Jahre.

Vorläufige Resultate deuten darauf hin, dass die Fluidbewegung abwechselnd westwärts und ostwärts gerichtet ist und dass diese Richtungsänderungen mit einer Periode zwischen 450 und 850 Jahren auftreten.

Durch eine Kopplung von Kern und Mantel wirken sich diese Variationen über einen Drehmomenttransport auf die Tageslänge aus. Sowohl die mögliche Ursachen der Richtungsänderungen als auch ein Vergleich der abgeleiteten Variation der Tageslänge mit denen aus historischen Aufzeichnungen von Mond- und Sonnenfinsternissen abgeleiteten Tageslängen werden diskutiert.

Korte, M. (Potsdam), Constable, C. (San Diego)

Geomagnetische Säkularvariation der letzten Jahrtausende

E-Mail: monika@gfz-potsdam.de

Das Modell CALS7K beschreibt das Erdmagnetfeld und seine Änderungen der letzten siebentausend Jahre. Es basiert auf Archäomagnetischen Daten, sowie paläomagnetischen Ergebnissen von Lava und Seesedimenten. Die Beschreibung erfolgt durch räumliche Kugelfunktionen und einer Spline-Repräsentation in der Zeit. Damit ist es aktuellen Modellen aus direkt gemessenen Magnetfelddaten direkt vergleichbar. Obwohl die räumliche und zeitliche Auflösung aufgrund der Datenverteilung und -qualität gegenüber aktuellen Modellen stark limitiert ist werden generelle, grossräumige Strukturen der Säkularvariation im Frequenzbereich von Jahrhunderten bis Jahrtausenden zuverlässig beschrieben. Wir präsentieren Charakteristika der Säkularvariation und insbesondere die Entwicklung des Dipolmoments während der letzten Jahrtausende. Die durchschnittliche Abnahme des Dipolmoments der letzten Jahrhunderte ist deutlich schwächer als die momentane, starke Abnahme. Im Vergleich der stark variierenden Ab- und Zunahmeraten erscheint die momentane Abnahme nicht ungewöhnlich schnell und ununterbrochene Trends haben in den vergangenen 7000 Jahren nie länger als einige hundert Jahre angehalten.

Webseite: <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/Models/CALS7K/index.html>

Böhnel, H. (Queretaro, UNAM), Negendank, J.F.W., Nowaczyk, N. (Potsdam, GFZ), Schaaf, P. (Mexico City, UNAM)

Säkularvariation in Mexiko

E-Mail: hboehnel@geociencias.unam.mx

Daten zur Säkularvariation (SV) in Mexiko, die absolute Paläointensitäten einschliessen, können an der grossen Anzahl rezenter Vulkangesteine ermittelt werden. Die Einschränkung ist allerdings nicht deren Häufigkeit, sondern die Anzahl tatsächlich datierter Lavaeruptionen. Wir haben daher wo möglich eine der folgenden Methoden angewendet: C-14, Ar-Ar, Thermolumineszenz (TL). Die C-14 Methode ist nur selten anwendbar, da kaum Material in der Kontaktzone der Lava mit dem Untergrund gefunden wurde. Die Ar-Ar Methode kann nur bei den älteren Gesteinen angewendet werden, und weist selbst dann analytische Fehlergrenzen auf, die für eine SV Zeitserie unzureichend sind; Labors, die Ar-Ar an Gesteinen < 100 kyr überhaupt durchführen, sind sehr selten. TL Analysen sind beschränkt auf wenige Minerale (insbesondere Quarze sowie klare vulkanische Gläser), die im Transmexikanischen Vulkangürtel eher selten angetroffen werden. Erstmals wurden daher TL Experimente an Olivinmineralen durchgeführt, die vielversprechende Ergebnisse geliefert haben. Sollten diese durch unabhängige Datierungen bestätigt werden, ergeben sich hervorragende Möglichkeiten zur Altersbestimmung von Lavagesteinen, zudem in Altersbereichen, die für andere Methoden ausgeschlossen oder problematisch sind. Es werden SV Kurven vorgestellt, die auf bisher publizierten sowie neuen Altersdaten basieren. Das Alter der Vulkane umfasst die letzten 50 kyr. Soweit die entsprechenden

Experimente erfolgreich waren, werden dabei die Paläorientierungen von Paläointensitäten begleitet. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden diese mittels der Mikrowellenmethode bestimmt. Seit der letzten Publikation solcher Daten in 2002 konnte die Datenbasis erheblich vergrössert werden. Weitere Fortschritte hängen dabei ausschliesslich von der Verfügbarkeit datierter Lavagesteine ab.

Michalk, D.M., Nowaczyk, N. (GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany), Böhnell, H. (Centro de Geociencias, UNAM-Campus Juriquilla, Queretaro 76230, Mexico), Negendank, J.F. (GeoForschungsZentrum Potsdam, Germany)

Full vector Geomagnetic Secular Variation in Central Mexico as derived from volcanic rocks dating from Bruhnes-Chron: First preliminary palaeo- and rock-magnetic results

E-Mail: michalk@gfz-potsdam.de

Volcanic rocks of Bruhnes age (< 780 ka) from three volcanic provinces of the Trans Mexican Volcanic Belt; the Valle de Bravo, Ceboruco San-Pedro and Michoacan-Guanajuato volcanic fields, are investigated in an integrated (full-vector) palaeo- and rock magnetic studies to improve our knowledge of the spatial and temporal variability of the geomagnetic field. In particular; focus is placed on the field behaviour during some of the approximately 20 geomagnetic excursions- or events that have previously been reported from various marine world-wide sediment records to obtain an unambiguous confirmation of these by their detection in volcanic rocks that are constraint by absolute radiometric ages. Ideally a chronology of absolute palaeointensities together with absolute age control can be used to verify and calibrate relative palaeointensity curves from marine sediments, which may be affected by delayed lock-in of remanence and/or by diagenetic as well as climatic perturbations.

During the first field campaign a new sampling method for obtaining palaeomagnetic drill cores has been developed by collecting samples with smaller remanences. Mini-samples of only 12 mm diameter and 10 mm length allow measurements in automated cryogenic magnetometers with in-line 3 axis auto-demagnetisers. Measuring suites of 8 mini-samples at a time means a possible 10 fold

increase of palaeomagnetic data as compared to usual demagnetisation and usage of a spinner magnetometer. Site mean directions, characterized by their 95% confidence level, are comparable to that of standard-size samples.

First rock magnetic experiments including thermomagnetic measurements, isothermal remanence acquisition and hysteresis experiments combined with ore-microscopy studies show differences in magnetic mineralogy between but also within the three volcanic provinces under investigation. In most cases remanences are carried by Ti-poor titanomagnetite of pseudo-single domain state, while other sites show variable degrees of low/high temperature oxidation and/or hydrothermal overprinting.

20 out of 27 site mean remanent directions are within their 95% confidence level, indistinguishable from the expected dipole direction of normal polarity for Mexico. However, seven directions display significant deviation from a normal direction and are interpreted as excursions to reversed. Future palaeointensity experiments, together with new ^{40}Ar - ^{39}Ar age data will show if these anomalous directions correspond to known geomagnetic excursions.

Nowaczyk, N.R., Demory, F., Yancheva, G., Frank, U. (GFZ Potsdam)

Geomagnetische Exkursionen als stratigraphische Zeitmarken?

E-Mail: nowa@gfz-potsdam.de

Seit der Veröffentlichung der ersten paläomagnetischen Daten des 'Laschamp events' vor annähernd 40 Jahren sind eine Vielzahl weiterer Publikationen zum Thema kurzfristige geomagnetische Exkursionen erschienen. Faßt man diese zusammen, so müßte es innerhalb der Brunhes Chron über 20 Ereignisse gegeben haben. Auf der anderen Seite gibt es hinreichend viele, auch hochauflösende magnetostratigraphische Arbeiten, sowohl aus dem marinen als auch dem lakustrinen Bereich, wonach die Brunhes Chron durchgehend eine normale Polarität aufweist. Im marinen Bereich stammen die meisten Belege für geomagnetische Exkursionen aus Regionen, in denen klastische Sedimentation vorherrscht. Seen hingegen, mit ihren häufig 10mal höheren Sedimentationsraten, die dadurch als Studienobjekt prädestiniert wären, aber nur sehr selten Hinweise auf hochfrequente geomagnetische Aktivitäten erbrachten, beinhalten oftmals organisch reiche, anoxische Sedimente. Anhand mehrerer Seen und mariner Sequenzen wird aufgezeigt, wie die Kombination geochemischer und mineralmagnetischer Daten zeigen kann, welche zum Teil fatale Rolle diagenetische Prozesse bei dem Verlust des magnetischen Gedächtnisses spielen.

Hofmann, D., Fabian, K. (Bremen)

Which parameters control relative paleointensity? Results from a South Atlantic stratigraphic network

E-Mail: danhof@uni-bremen.de

Eight contiguous sediment cores from the subtropical and subantarctic South Atlantic were combined in a stratigraphic network for comparison of their rock magnetic properties and relative paleointensity records. The cores were recovered across the subtropical Front (Figure 1), which leads to large differences in their sediment lithology. The cores can be divided in three lithologies, diatom, foram and clay bearing nannofossil ooze. For each sediment core we measured high resolution records of magnetic susceptibility κ , wet bulk density ρ , NRM, ARM, IRM and XRF element analysis, and $\delta^{18}\text{O}$ for two cores. A detailed chronology was established by multi-parameter correlation, Hofmann et al., 2005. Primary remanence acquisition in sediments occurs by alignment of magnetic particles within the geomagnetic field H . For the determination of relative paleointensity (RPI) it is usually assumed that natural remanent magnetization (NRM) is proportional to H and to the concentration of remanence carriers, which is compensated by normalizing the NRM by a concentration dependent parameter $N_i(z)$ (e.g. ARM, IRM, κ). Homogeneity of the magnetic mineral fraction is therefore an accepted prerequisite for reliable RPI determination. However it has hardly been considered yet, how the degree of particle alignment may also depend upon other lithological sediment properties.

Assessing the influence of any normalized lithological parameter λ upon RPI is based on

a linear approach using an additional factor $(1 + \alpha\lambda)$ in which the coefficient α describes the relative influence of λ . When two or more cores $i=1,2,\dots,n$ are used, an optimal α can be determined by minimizing the least-square distances between the paleofield estimates $H_i(z)$ in function of α :

$$NRM_i(z) \sim H(z)N_i(z)(1 + \alpha\lambda_i(z)) \quad (1)$$

This method has been used to calculate the efficiencies α of many sediment properties, including Ca, ARM/IRM and Fe/κ . The latter is indicative for reductive diagenetic processes. The best coherence for the RPI signals is found by lithological correction according to (1) using the grain size dependent parameter ARM/IRM. Most noticeably, correction for diagenetic influence using the ratio Fe/κ does not improve correlation significantly. This indicates that reductive diagenesis has only minor impact upon NRM/ARM records. Comparing the uncorrected (Nullstack) and corrected stacked RPI signal with a global relative paleointensity stack like Sint-800 (Guyodo and Valet, 1999) it turned out that the correction with ARM/IRM improves the correlation between the stacked RPI signal with Sint-800 (Figure 2). Furthermore the ratio of corrected ($\lambda = \text{ARM/IRM}$) to uncorrected RPI stack reveals a global climate signal which was not visible in any single record (Figure 2).

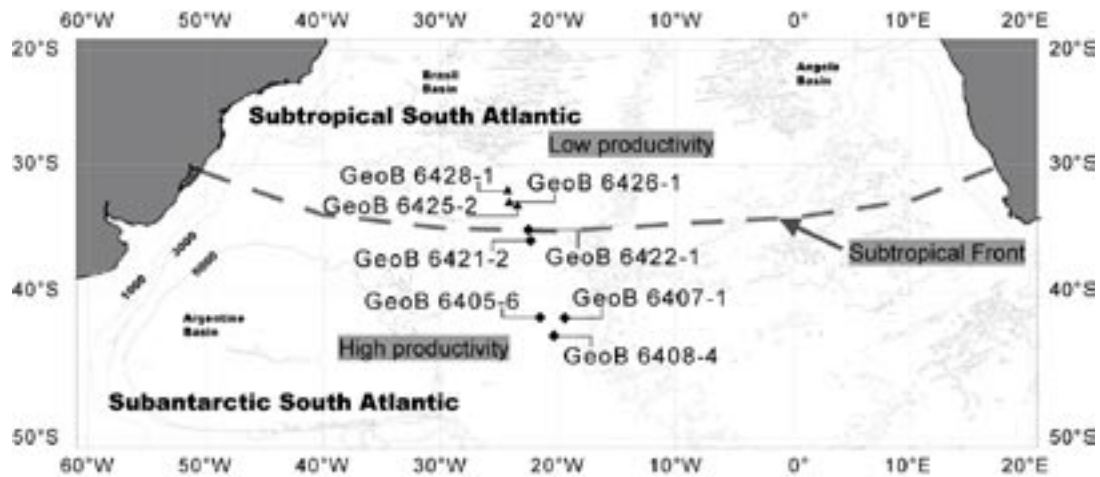


Figure 1: Location of the eight gravity cores used to build the stratigraphic network. The dashed line indicates the approximate current position of the Subtropical Front.

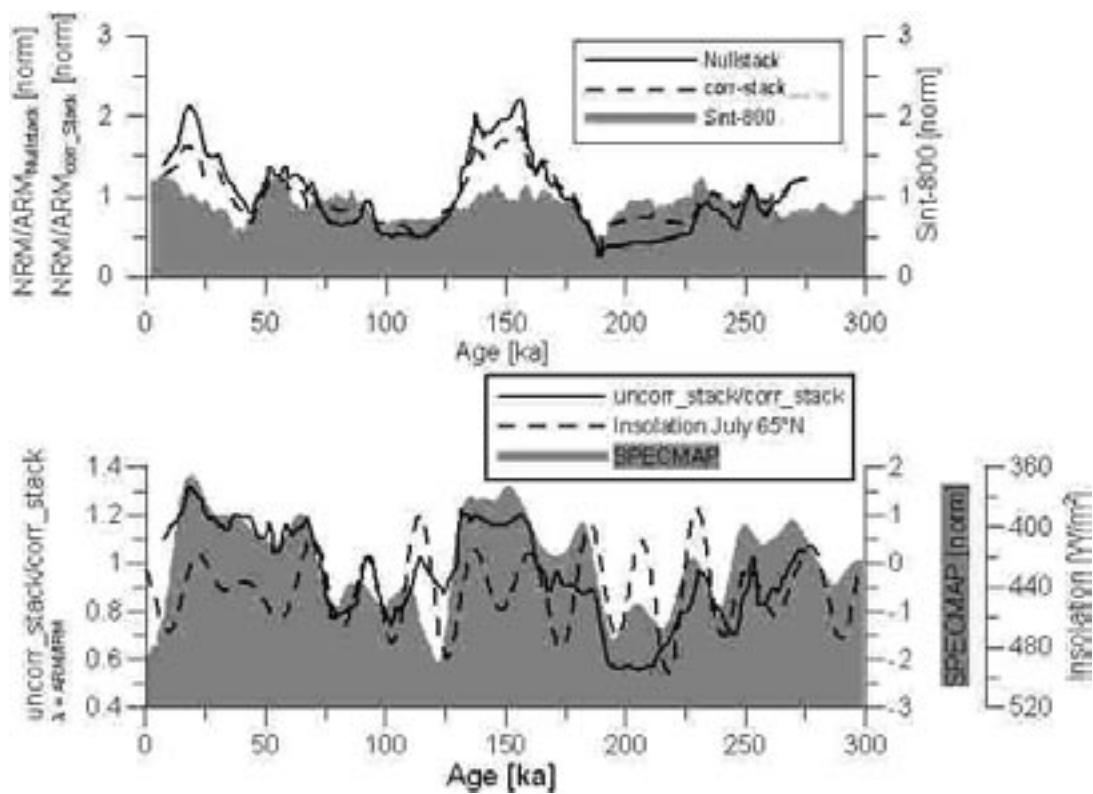


Figure 2: The uncorrected and corrected RPI stacks compared to the global RPI-stack SINT-800. The stack of the corrected RPI has less amplitude variation and matches the global SINT-800 curve better than the direct NRM/ARM stack. The ratio of corrected to uncorrected stack reveals a global climate signal which is not visible in any single record.

Heslop, D. (Universität Bremen)

Modelling magnetic particle orientation during sedimentation through a still water column.

E-Mail: dheslop@uni-bremen.de

The classical image of the initial stages of Depositional Remanent Magnetization (DRM) formation is one of individual magnetic particles rotating to align with the ambient geomagnetic field as they descend through the water column. How realistic is this picture when factors such as Brownian motion and hydrodynamic effects are taken into consideration?

Collinson (1965) and Stacy (1972) considered the influence of Brownian motion on particle orientation by drawing an analogy between sedimenting magnetic grains and the Langevin (1905) model of electron alignment in a paramagnetic gas. Whilst this approach provided some insights into experimental data, important factors such as the friction of the surrounding fluid, magnetic particle size and shape were not accounted for. Hydrodynamic effects must also be considered and it has been known for many years that an ellipsoidal particle falling through a Newtonian fluid with a small but non-zero Reynolds number will travel with its long axis perpendicular to the direction of descent.

A number of different numerical approaches now exist to model the 3-dimensional Brownian motion of non-spherical magnetic particles in the presence of an external field. The effects of particle size and shape on the Brownian properties of magnetite ellipsoids will be reported and compared directly to the Langevin paramagnetic gas model. Galdi and Vaidya (2001) provide an expression to

calculate the magnitude of the torque acting upon a prolate ellipsoid falling due to the force of gravity through a Newtonian fluid with a small non-zero Reynolds number. Hydrodynamic torque is combined with the effects of Brownian motion in a statistical approach to determine the trajectory of a particle during its descent through the water column. Although the model takes into consideration a number of new aspects, simplifications still must be made. The sediment suspension is assumed to be infinitely dilute, therefore interactions between particles cannot occur. In addition, a still-water column is assumed with no influence from fluid currents or turbulence.

The presented model is used to investigate the 3-dimensional alignment of prolate magnetite particles as a function of particle size, aspect ratio, external field strength and inclination. It is found that although the Langevin approach does not take into account a number of properties it does provide a good approximation of the Brownian behaviour of naturally occurring magnetites in the size range 100 nm to 10 μ m. Hydrodynamic effects can cause consistent offsets in particle alignment as a function of size, aspect ratio and external field strength and inclination. The horizontal orientation of the magnetic particles is not influenced by the hydrodynamic factors and the impulse torques produced by Brownian motion have an equal probability of being positive or negative. Therefore when considering a sufficiently

large assemblage of particles no consistent offset in declination should be observed. The hydrodynamic influences do act to shallow the inclination of the sedimenting grains, this effect however, only becomes significant in large multidomain particles ($>5 \mu\text{m}$), which are not expected to form part of a geologically stable sedimentary palaeomagnetic signal.

References

- Collinson, D. W. (1965) *J. Geophys. Res.*, 70, 4663.
- Langevin, P. (1905) *Ann. Chim. (Phys.)*, 5, 70.
- Stacey, F. D. (1972) *Pure Appl. Geophys.*, 98, 139.
- Galdi, G. P. and Vaidya, A. (2001) *J. math. Fluid. Mech.*, 3, 183.

Müller, H., von Dobeneck, T. (Bremen)

Magnetit im Kräfte regime uniaxial komprimierter Tiefseesedimente

E-Mail: hendrik.mueller@uni-bremen.de

Welche physikalischen Prozesse steuern die Aufzeichnung des Erdmagnetfelds im Sediment und bis zu welcher Tiefe ist das Sediment in der Lage, eine (Post-) Sedimentationsremanenz zu erwerben? Rheologisch betrachtet ist das magnetische Drehmoment bereits im Oberflächensediment zu schwach, um eine Orientierung des magnetischen Remanenzträgers, vornehmlich Magnetit, gegen die herrschenden Kontaktkräfte durchzusetzen. Nach einem Modell von *Otofuji und Sasajima (1981)*¹ führt der Kompaktionsprozess zu einem lokalen Aufbrechen von Kornkontakten und ermöglicht damit eine schrittweise Ausrichtung der magnetischen Partikel zum umgebenden Magnetfeld. Diese Hypothese durch Kompaktionsversuche an natürlich gebildeten marinen Sedimenten nachzuvollziehen, ist ein Hauptanliegen dieser Studie. Dabei ist das dichte Korngefüge natürlich abgelagerter Sedimente die entscheidende Voraussetzung, um eine realistisch hohe Scherfestigkeit zu erhalten. Die bisher üblichen Resedimentationsversuche sind dazu nicht in der Lage.

An Subkernen ungestörter pelagischer Decksedimente (0-40cm) wurde der Kompaktionsprozess im kontrollierten Magnetfeld einer Alldred & Scollar Spulenanordnung nachempfunden. Bei der technischen Realisierung haben wir uns für eine uniaxial-vertikale Kompression bei einer konstanten Kompres-

sionsrate von wenigen Millimetern pro Tag mit radialer Entwässerung entschieden. Dabei wird der Prozess der Korn-zu-Korn (Sekundär-) Setzung betrachtet. Über mehrere Wochen wurden die Kerne komprimiert, der Spannungs-Dehnungsverlauf kontinuierlich aufgezeichnet und der sukzessive magnetische Remanenzwerb relativ zu Sedimenttiefe und Kompressionsgrad in regelmäßigen Zeiträumen zerstörungsfrei im Ganzkernmagnetometer gemessen. Experimentell konnte so eine vornehmlich lineare Beziehung zwischen der Zunahme (bzw. Abnahme bei inverser Feldrichtung) der magnetischen Remanenz und der Kompression nachgewiesen werden. Das relative Ausmaß dieser 'Kompaktionsremanenz' hängt sowohl vom Sedimenttyp wie von der Intensität und Richtung des anliegenden Magnetfeldes ab.

Anhand einer rheologischen Betrachtung der angreifenden Dreh- und Reibungsmomente wird ein Einblick in die intergranularen Prozesse während der Kompaktion gewonnen. Die Änderung der Magnetisierung wird dabei auf eine Rotation von Magnetitkörnern im sich lokal ändernden Kräfte regime zurückgeführt. Ein entscheidender Anteil der Diskussion gilt der Möglichkeit zur Entkopplung der zwei fundamentalen Prozesse a) der Remanenz erzeugenden, magneto-viskoplastischen Reorientierung und b) der Remanenz reduzierenden Kornrotation im Rahmen der kompakativen Gefügeverdichtung.

¹Otofuji, Y. und Sasajima, S., 1981. A magnetization process of sediment: laboratory experiment on post-depositional remanent magnetization. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 66:241-260.

Franke, C. (University of Bremen, Utrecht University), Dekkers, M.J., Drury, M.R., Meeldijk, H. (Utrecht University), von Dobeneck, T. (University of Bremen)

Mineral magnetic and microscopic characterisation of magnetic particles in pelagic sediments: Examples from the Equatorial Atlantic

A correct interpretation of the information contained in the natural remanent magnetisation (NRM) of rocks crucially depends on a proper identification of the minerals carrying the magnetisation.

In the present contribution we focus on the magnetic inventory of pelagic sediments, which can show large changes in magnetic properties, depending on their composition. Most existing paleomagnetic studies are made plausible, although non-unique assumptions concerning the details of the mineralogy, grain size, and origin of the magnetic mineral assemblages of pelagic sediments.

Variations in the magnetic properties of the sediment can also be used as proxy parameters for paleoenvironmental and paleoceanographic reconstructions. This provides enhanced insight into the transport mechanisms and provenances of the various magnetic components. The most meaningful paleomagnetic and paleoenvironmental information is often carried by submicron magnetic particles from various sources. They are not straightforward to identify since they are so small and occur in low concentration, the rule in marine sediments.

This study aims at a detailed identification and characterisation of magnetic micro- and nanoparticles in oxic to mildly suboxic sedimentary environments. The study area in the Equatorial Atlantic comprises three sites along a W-E transect (Ceara Rise, Mid

Atlantic Ridge (MAR), Sierra Leone Rise). Magnetic particles come from distinctly varying sources: continental eolian dust, fluvial discharge, and submarine weathered ocean ridge basalts. Authigenic sources for magnetic particle input constitute the biogenic formation of magnetosomes and the (inorganic) recrystallisation of previous iron sulphides.

Bulk sediments, magnetic extracts and heavy liquid separates were scrutinised by rock magnetic techniques. The extracts were analysed by analytic scanning (SEM) and transmission (TEM) electron microscopy to supplement the magnetic information. Novel techniques, such as electron backscatter diffraction (EBSD), were applied to characterise the particles in great detail. The outcome testifies to the complexity of the magnetic inventory and displays potential diagenetic mineral alterations. Seeming inconsistencies in bulk magnetic signals could be clarified using the electron microscopy techniques for grain size and mineralogical analysis. By this means, the amounts of individual magnetic components (riverine, eolian, submarine weathering) can be (semi-)quantified allowing for better budget calculations.

The detailed knowledge of the mineral inventory and its specific properties helps to distinguish between primary and secondary magnetic components of different origins, which is of key importance in paleomagnetism. The results of this study aid

the understanding of other magnetic bulk sediments data from similar environmental settings. They provide useful proxy parameters (for transport mechanisms, source areas, or sedimentary processes) in comparable oxic to suboxic marine sediments from the Equatorial and subtropical South Atlantic.

Köhler, C. M., Höcker, M., Heslop, D., von Dobeneck, T. (Bremen), Krijgsman, W. (Utrecht)

Late Miocene climate reconstruction based on the Mediterranean Metochia section using hematite and goethite proxies

E-Mail: ckoehler@uni-bremen.de

The lithological cyclicity of late Miocene sediments (9.7 – 7 Ma) of the Mediterranean Metochia section (Gavdos Islands, off Crete) is associated with different climatic conditions. This period experienced tectonic and climatic changes influencing the Mediterranean region and northern Africa. Until the initiation of the Asian monsoon system between 9 – 8 Ma (An et al., 2001, Gupta et al., 2004), the climatic conditions of northern Africa during the late Miocene were driven predominantly by the Earth's precession cycle. The Tortonian salinity crisis (7.8 – 7.6 Ma) was triggered by the tectonic closure of the Atlantic gateway (Krijgsman, 2002). To study the interaction between the tectonic events and the North African monsoon system, fluctuations in aeolian hematite and goethite are used as continental dust proxies. Hematite and goethite are formed in terrestrial environments; hematite during drier conditions, goethite in moister environments. Both minerals provide information on the alternation between arid and humid periods. Their grain sizes are indicative of variable wind and weathering conditions.

A combination of magnetic and non-magnetic methods are used to characterise and semi-quantify hematite and goethite in the marine marls. Environmental magnetic measurements are made to examine mineralogy, coercivity and grain size distributions of hematite and goethite. They include ARM and IRM acquisition (up to 2.5 T), S-ratio,

HIRM, as well as high-field and high-temperature thermomagnetic measurements. The non-magnetic analysis comprises reflectance spectrometry and voltammetry of microparticles (VMP). XRF and ICP-AES data give information on the Ti / Al ratio, a proxy for aeolian and fluvial dust input, validating the climatic information provided by the iron mineral fraction.

Magnetically, the presence of goethite can be detected using high-field and high-temperature measurements on the Quantum Design XL7 Magnetic Property Measurement System (MPMS). In order to form a TRM in goethite, the samples are subjected to field cooling (FC) from 400 – 300 K in a 7 T field. This is followed by zero field heating (ZFH) up to 400 K to demagnetise the TRM. Taking the maximum in the second derivative curves, the Hopkinson peak during field heating (FH) and the Néel temperature (ZFH) of goethite can be determined. It was found that the Hopkinson peak is between 325 – 335 K (up to 370 K ?) and that the Néel temperature is between 375 – 390 K. After zero field cooling (ZFC) the sample to 300 K, the loss of remanence relative to the first run quantifies goethite.

Colour data was obtained using the Minolta Spectrophotometer cm-2600d / 2500d. Modelling colour reflectance spectra, four mineral phases can be identified, hematite, goethite, clay minerals and calcite (Fig. 1), and the relative concentrations can be determined.

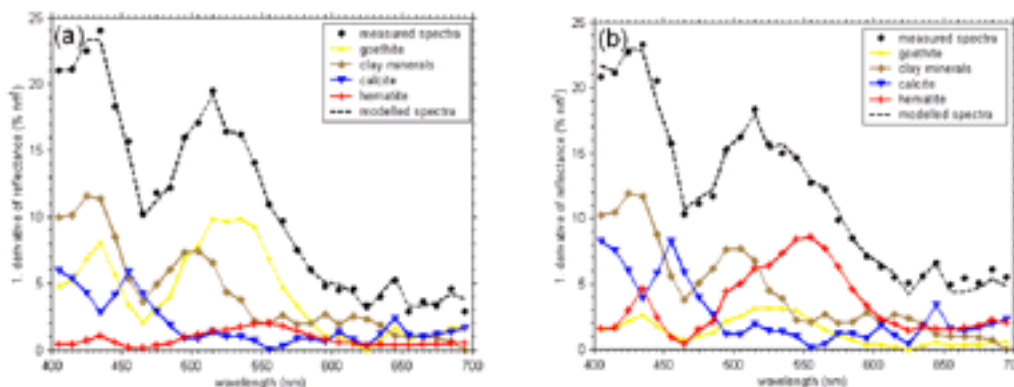


Figure 1: Modelled and measured spectra from the reflectance spectrometry data set. The presented spectra show different climatic conditions: (a) moister climate, goethite rich; (b) drier climate, hematite rich.

The data is used to elucidate variations in the hematite / goethite ratio throughout the late Miocene. At the time of the initiation of the monsoonal system, there is an increase in goethite from 8.4 Ma accompanied by a decrease in hematite. This suggests a climatic shift to a moister climate in the source region of the minerals.

A climatic interpretation of the late Miocene using a combination of the non-magnetic and magnetic parameters will be presented. The study will be extended to other late Miocene sections of the Mediterranean region to reconstruct the spatial and temporal climate evolution of North Africa.

References

An, Z., Kutzbach, J.E., Prell, W.L. and Porter, S.C., 2001. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times. *Nature*, 411: 62–66.

Gupta, A.K., Singh, R.K., Joseph, S. and Thomas, E., 2004. Indian Ocean high-productivity event (10-8 Ma): Linked to global cooling or to the initiation of the Indian

monsoons? *Geology*, 32(9): 753–756.

Krijgsman, W., 2002. The Mediterranean: Mare Nostrum of Earth sciences. *Earth and Planetary Science Letters*, 205: 1–12.

Fu, Y., Heslop, D., Franke, C., Frederichs, T. (Bremen), Flemings, P.B. (Penn State University), John, C. (Santa Cruz), Behrmann, J. (Freiburg), von Dobeneck, T. (Bremen), The Expedition 308 Shipboard Scientific Party, X. (IODP)

Paleo- and Rock Magnetic Investigation of Brazos Trinity Basin 4, Gulf of Mexico - IODP, Leg308, Site U1319A and U1320A

E-Mail: fuyanzhe@hotmail.com

During the Integrated Ocean Drilling Program (IODP) Expedition 308, Site U1319A and U1320A were drilled to study sedimentation, overpressure and fluid flow in the Brazos Trinity Basin 4, Gulf of Mexico, 2000 km offshore on the continental slope. The aim of our research within this project is to investigate the mass transport mechanisms and stratigraphic evolution of this basin by applying paleomagnetic and rock magnetic methods.

Because the sedimentation rate of the basin is very high, the cores do not reach beyond the late Pleistocene. As no reversed polarities are

documented, a reversal magnetostratigraphy can not provide chronostratigraphic tie points. Multiparameter correlation was therefore used to establish a preliminary age model (Expedition Scientists, 2005) by correlating the shipboard data of natural remanent magnetization (NRM) intensity and magnetic susceptibility to the oxygen isotope record of Martinson et al.(1987) and the magnetic susceptibility stack of von Dobeneck and Schmieder (1999).

For the sake of refining the preliminary age model, an AF demagnetization of discrete sample NRM was carried out. From the data, one can obviously see that a drilling induced remanence was removed after 20-30

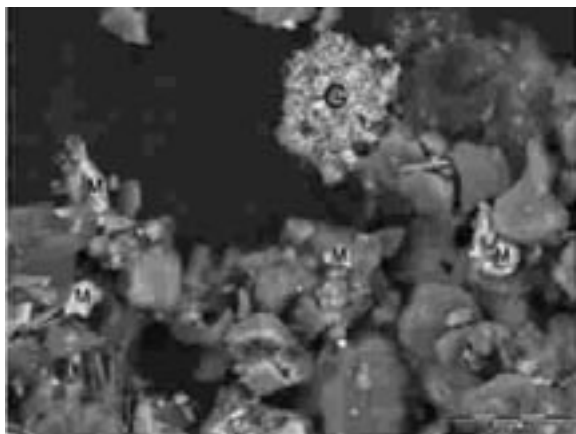


Figure 1: Figure 1: Representative SEM picture of a magnetic extract from Hole U1319A (20m sediment depth) in back scatter electron detection (BSE) mode. 'M' marks (titano-)magnetite grains; 'G' donates very fine grain size greigite particles (<500nm).

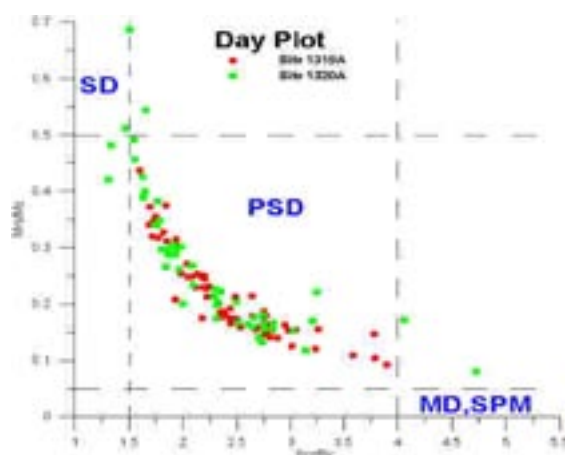


Figure 2: Figure 2 Magnetic domain states after Day et al. (1977) of site Site U1319A (0-30m) and U1320A (0-163.46m), based on discrete sample magnetic hysteresis loops.

mT AF demagnetization and the characteristic remanent magnetization (ChRM) can be resolved between 30-60mT. However it is found that some samples show a trend of increasing magnetization after AF fields of 50-70 mT. This phenomenon suggests that those samples could have acquired a gyroremanent magnetization (GRM). The magnetic grain size distribution and the composition of magnetic components were analyzed by magnetic hysteresis, frequency dependent susceptibility and anhysteretic remanent magnetization (ARM) measurements. Based on this magnetic data and scanning electron microscopy image (SEM Figure 1), an extremely broad range of domain states was observed shifting from the ultra-fine single domain (SD) to the coarse pseudo single domain (PSD) and multi domain (MD) (Day et al. 1977, Figure 2). Such a broad range could be due to the mass transport fractionation and the carrier of gyroremanence is attributed to the authigenic magnetic mineral greigite. All the information will be used to further investigate sediment mass transport, the origin of sediment source and the specific geochemical environments.

Postersession A

SO

+ thematisch passende Beiträge aus GD, VU, S5

7.3. und 8.3., 16:00 - 18:00 Uhr in Raum 0140 im SFG

(alle Poster hängen während der gesamten Tagung aus)

Gebauer, A., Jahr, T., Jentzsch, G., Letz, H. (Jena)

Deformationsmessung an der KTB: Vom Messwert über die Zeitreihe zur Analyse

E-Mail: andre.gebauer@uni-jena.de

An der Kontinentalen Tiefbohrung der Bundesrepublik (KTB) wurde in den letzten zwei Jahren ein großskaliger Injektionsversuch vorgenommen. Zur Beobachtung der Deformation wurden zu diesem Zweck 5 ASKANIA-Bohrlochneigungsmesser (ABNM) in einer Entfernung von etwa 2.5 km Entfernung installiert. Von den Bohrlochneigungsmesser wurden Ende der 60-er Anfang der 70-er etwa 20 produziert. Das Registriersystem und die Hilfsmittel zur Aufbereitung und Analyse der Zeitreihen wurden von verschiedenen Arbeitsgruppen vorangetrieben und entwickelten sich im Rahmen der jeweiligen Forschungsprojekte weiter. Die Aufbereitung und Analyse der Zeitreihen war in der Vergangenheit sehr stark durch die Leistungsfähigkeit der verwendeten Rechner begrenzt. Bekanntlich hat die Rechnerkapazität insbesondere der PC's sehr stark zugenommen, so dass jetzt so gut wie keine Rücksicht mehr auf die Ressourcen der verwendeten PC's während der Bearbeitung der Daten der ABNM genommen werden muss. Unter dieser neuen Voraussetzung ist das Processing zur Aufbereitung und -Analyse der Daten im Rahmen des Injektionsversuches fast vollständig überarbeitet und auf einen modernen Stand gebracht worden. Vorhandene Software aber auch die prinzipielle Vorgehensweise konnte dabei überarbeitet, ersetzt und erweitert werden. Kernpunkt bildet das Programm PreAnalyse, das wie ein graphischer Editor für Zeitreihen arbeitet und dem Benutzer komfortable, interaktive Möglichkeiten zur Bearbeitung von langperiodi-

schen Beobachtungsdaten, z.B. von Gravimetern, Strainmetern, Neigungsmessern u.a. zur Verfügung stellt.

Fabian, M. (Universität Bremen), Kümpel, H.-J. (GGA-Institut)

Long-term monitoring of tilt, well level height and environmental parameters at a tectonic fault, close to a waterworks in the Lower Rhine Embayment, Germany

E-Mail: marcus.fabian@uni-bremen.de

From 1999 till 2002, data of ground tilt, well level height and of environmental parameters like precipitation, soil-temperature and air-pressure were recorded at a site in the Lower Rhine Embayment. The investigation was aimed to improve understanding of sub-surface groundwater dynamics by monitoring the surface deformation field. Three high-resolution biaxial bubble-tiltmeters of type Applied Geomechanics Inc. 722a were installed at shallow depth. One was installed in close vicinity of a tectonic fault, the two others were placed close to a nearby located waterworks, at several hundred meters distant from the former one. The waterworks is continuously operating. It produces up to several hundred m^3/h of fresh water, at variable production rates. Well level height were measured in the production wells and in nearby observation wells. It is believed that the tectonic fault acts as a hydraulic barrier, but nonetheless a larger amount of groundwater can cross the fault from the waterworks side to the other side that is drained due to open pit lignite mining. We observed mostly stable long-term tilt near the waterworks, whereas data from the tiltmeter at the fault is characterized by a long lasting trend. Rather, this instrument has indicated occurrence of micro-subsidence on the waterworks side of the fault and/or tectonic activity and micro-uplift on the opposite side.

The poster provides an overview of the long-term data available from the site, shows selected events in tilt caused by e. g. rain fall

or pump activity, and summarizes on possible causes for the observed signals in tilt and environmental parameters. The study is a continuation of the investigations of Kümpel et al. (2001) and Fabian (2004).

References:

Kümpel, H.-J., Lehmann, K., Fabian, M., Mentés, Gy. (2001), Point stability at shallow depth - experience from tilt measurements in the Lower Rhine Embayment, Germany, and implications for high resolution GPS and gravity recordings, *Geophysical Journal International*, 146, pp. 699-713.

Fabian, M. (2004), Near surface tilt and pore pressure changes induced by pumping in multi-layered poroelastic half-spaces, *Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen*, No. 229, 121 p., ISSN: 0931-0800, Diss. thesis, Math.-Nat. Fak., Univ. Bonn, URN: [urn:nbn:de:hbz:5-03724](http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:5-03724), URL: http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/math_nat_fak/2004/fabian_marcus.

Web page: <http://www.geo.uni-bonn.de/user/fabian/disszusammen.htm>

Buness, H., Gabriel, G. (GGA-Institut, Hannover)

Forschungsbohrungen Heidelberger Becken - Stand des Projektes und seismische Untersuchungen

E-Mail: h.buness@gga-hannover.de

Die geplante Niederbringung einer Forschungsbohrung in die quartäre Füllung des Oberrheingrabens hat sich im vergangenen Jahr weiter konkretisiert. Etwa 35 interessierte Wissenschaftler sprachen sich auf dem 2. Workshop Forschungsbohrung 'Heidelberger Becken' dafür aus, zur Lösung der vielfältigen Fragen zwei Kernbohrungen bis in das Liegende der Quartärbasis niederzubringen: eine ca. 500 m tiefe Kernbohrung in der Gemarkung Heidelberg und eine ca. 350 m tiefe Kernbohrung im Raum Viernheim.

Ziele der Bohrungen

Die Bohrung in der Gemarkung Heidelberg erlaubt die Bearbeitung der wohl vollständigsten Abfolge quartärer Sedimente, die im Subsidenzzentrum des Beckens abgelagert wurden ('Heidelberger Loch'). Die Bohrung bei Viernheim kennzeichnet dagegen die Normalsituation, wie sie in weiten Teilen des Heidelberger Beckens angetroffen wird. Das Gebiet bei Viernheim zeichnet sich durch hoch aufgelöste feinklastische Zwischenhorizonte aus. Das kombinierte Bohrvorhaben bietet die Möglichkeit, insbesondere bei zusätzlicher Einbindung der bereits existierenden Bohrungen Ludwigshafen-Parkinsel, ein umfassendes Verständnis der klima- und subsidenzgesteuerten Sedimentation zu erlangen. Damit können nicht nur Fragen der Neotektonik und der Feinstratigraphie fluviatiler Abfolgen im Quartär des Oberrheingrabens und der wichtigen Korrelation der glazialen Entwicklung in Nordeuropa und dem

alpinen Raum weitaus besser als bisher geklärt werden. Aufgrund des neu erschlossenen hoch auflösenden Datenmaterials werden auch anwendungsnahe Fragestellungen stimuliert, die auf die Nutzung und Bewirtschaftung des Untergrunds im Rheingraben zielen. Für die Nutzung tiefer kontaminationsgeschützter Wasserreservoirs (Katastrophenreserve) können diese Bohrungen eine unverzichtbare Informationsquelle werden. Mögliche geothermische Studien in Kombination mit der Reflexionsseismik lassen erwarten, dass erstmals zuverlässige Temperaturprognosen für die Zielhorizonte der Tiefengeothermie abgeleitet werden können.

Die an den Bohrungen beteiligten Institutionen sind das (a) Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA-Institut), (b) das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau im Regierungspräsidium Freiburg (LGRB), (c) das Landesamt für Bergbau und Geologie Rheinland Pfalz (LBGRP), (d) die Universität Heidelberg sowie weitere Institutionen aus dem In- und Ausland.

Seismische Voruntersuchungen

Zur Festlegung der Bohrpunkte wurden beide Lokationen mithilfe hochauflösender reflexionsseismischer Profile untersucht. Da das wichtigste Ziel der Bohrungen die Durchteufung einer möglichst vollständigen stratigraphischen Abfolge ist, musste die Seismik zwei Aufgaben erfüllen: Zum einen sollte die Tiefe der Quartärbasis abgeschätzt werden, zum anderen mussten tektonische Störungen

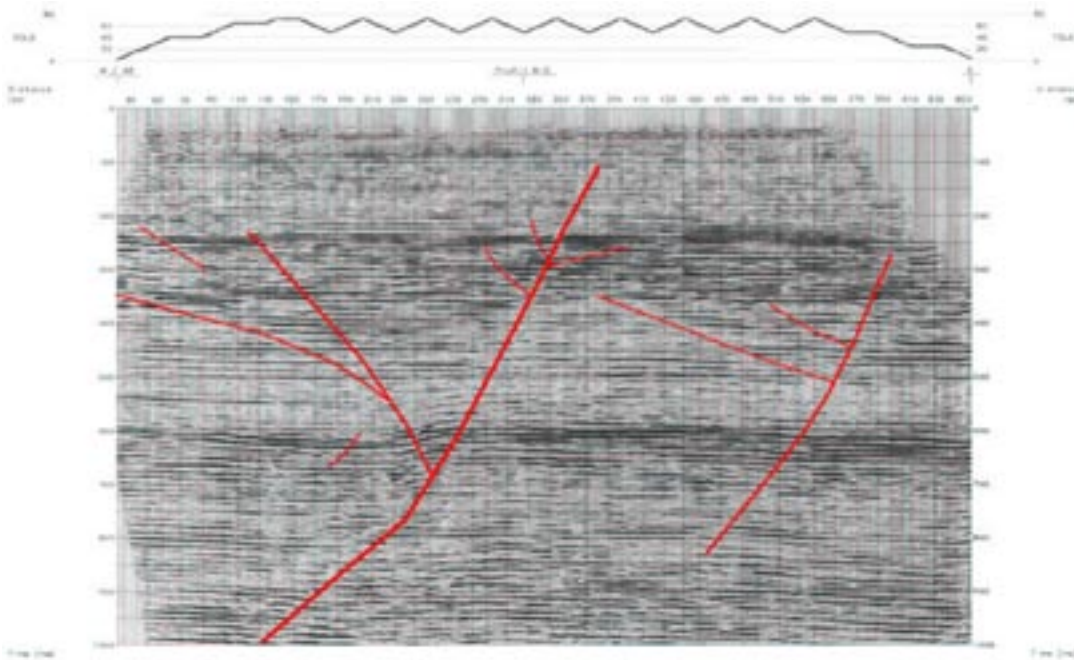


Abbildung 1: Seismisches Profil bei Viernheim: migrierte Zeitsektion bis 1000 ms. Länge des Profils: 1,7 km, CMP-Abstand 2,5 m. Der ursprünglich geplante Bohrpunkt bei CMP 320 wurde aufgrund der ins Quartär reichenden Störung verlegt.

und damit verbundene mögliche Schichtausfälle identifiziert werden. Die Messungen wurden mit dem hydraulischen Kleinvibrator des GGA-Instituts mit Auslagenlängen von 600 bzw. 1200 m durchgeführt.

Im Raum Heidelberg bestätigten insgesamt 5 Profile die Existenz eines 'Heidelberg Loches' im Stadtgebiet von Heidelberg innerhalb des weiter gefassten Heidelberger Beckens. Das Einfallen der neogenen Schichten ist bis in eine Tiefe von 2 km eindeutig zu erkennen. Die Quartärbasis kann nördlich des Neckars auf einem etwa 3 km langen, N-S verlaufenden Profil verfolgt werden. Mithilfe industrieseismischer Profile und einer KW-Bohrung konnte ihr Einfallen von etwa 300 m Tiefe im Norden bis zu fast 500 m Tiefe ca. 1 km nördlich des Stadtzentrums nachgewiesen werden. Als Bohrlotation wurde das südliche Ende des

Profils in einem nicht von Störungen betroffenen Bereich festgelegt.

Zur Erkundung der im Raum Viernheim geplanten Bohrung wurden 2 senkrecht zueinander stehende Profile registriert. Die Profile zeigen einen gänzlich anderen Charakter als die in Heidelberg vermessenen. Hier ist die Quartärbasis in ca. 250 m Tiefe sowie der Übergang der Schichten Jungtertiär I / II in ca. 550 m Tiefe offensichtlich durch kräftige Reflektoren gekennzeichnet. Der vor den Messungen geplante Bohrpunkt musste zur Vermeidung einer weit ins Quartär hineinreichenden tektonischen Störung um mehrere 100 m verlegt werden.

Webseite: <http://www.gga-hannover.de/>

Cailleau, B., Kukowski, N., Klotz, J. (GFZ Potsdam), Wdowinski, S. (University of Miami, RSMAS)

Combining short and long-term deformations in the Central Andes using Finite Element modelling

E-Mail: cailleau@gfz-potsdam.de

The western margin of the South American plate is the locus of intense deformation caused by oblique convergence with the Nazca Plate at about 70mm/yr. Shortening in the Central Andes led to the formation of the 4000m-high and 600km-wide Altiplano-Puna plateau symmetric around the trench bend. During the past 10 Myrs the shortening has been accommodated mainly by a fold and thrust belt (FTB) in the eastern Sub-Andes. The Central Andes are characterised by GPS velocity fields that are not parallel to the direction of convergence. The fields tend to converge toward the symmetry axis of the bend in the forearc and to diverge in the backarc region. Added to this spatial pattern, paleomagnetic data show a temporal rotation, i.e. clockwise south of the bend and anticlockwise north of it, which may be still active. In elastic dislocation models, the deformation recorded by the GPS velocity fields was interpreted mostly as the result of a) short-term interseismic deformation in the forearc and b) long-term underthrusting by the Brazilian shield in the backarc at the FTB which neglects the permanent deformation related to the weak rheology of the Andes. Using the Finite Element method we develop a viscoelastic model that combines both the variation of mechanical strength and viscous flow in the Andes as well as the locking of the subduction interface. In this unifying model, the part of short- and long-term deformations can be better sep-

arated by simulating the observed spatial and temporal variations of the velocity field.

Wölbern, I. (Universität Frankfurt am Main), Heit, B., Yuan, X., Asch, G., Kind, R. (GFZ Potsdam)

Crustal and Upper Mantle structures beneath the Central Andes at 21°S and 25.5°S derived from Receiver Functions

The Andes reach their greatest width in the a sector between roughly 14°S and 24°S commonly known as the Central Andes. The main tectonic feature of the Central Andes is the Altiplano-Puna plateau extending ≈ 1700 km from north to south with a width of up to ≈ 400 km. The plateau exhibits an average elevation of about 4 km.

In previous studies low-velocity layers have

been found in the upper crust and delamination of lithospheric material has been suggested to explain the observed structures and the evolution of the Andean plateau. But still some processes are poorly understood, which possibly play an important role in the tectonic evolution.

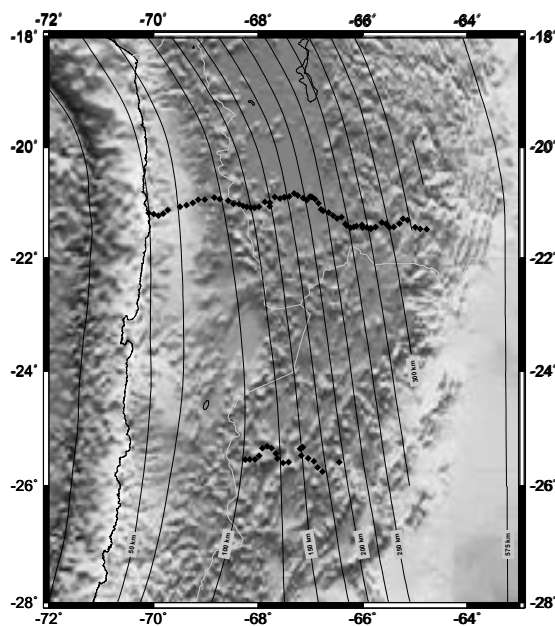


Figure 1: Map of the area under investigation. The northern profile transects the Altiplano plateau. The southern profile is located in the Puna plateau.

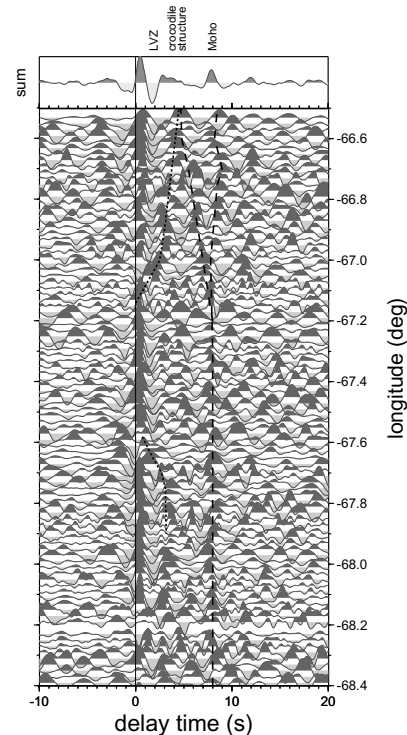


Figure 2: Section of summed traces recorded at the Puna profile. Traces have been binned in intervals of 0.02° according to the longitude of their piercing points at 70 km depth. The Moho is indicated by the dashed line. The dotted lines mark dipping structures within the crust.

Teleseismic events have been recorded on two profiles crossing the Altiplano plateau and the Puna plateau at roughly 21°S and 25.5° , respectively, in order to investigate the structures of the upper mantle. Along the northern profile a set of 59 mainly shortperiod seismic stations was operational between March 2002 and January 2004 with an average spacing of 10 km. The southern profile has been deployed in July 2002 consisting of 9 broadband and 10 shortperiod seismic instruments (see Fig. 1).

In this study, we have applied the receiver function technique to investigate seismic discontinuities of the crust and upper mantle underneath the Altiplano-Puna plateau. We have selected events of magnitude m_b 5.5 and higher with epicentral distances between 30° and 95° . We have obtained a total of 2499 and 1659 receiver functions for the northern and the southern profile, respectively.

Our results confirm the observation of expanded low velocity zones in the upper crust. At 21°S depths to Moho varies between 70 km and 80 km in the central part and shallows to 50 km at the east. Beneath the Puna plateau a constant depth to Moho of about 60 km has been derived in the western segment of the profile, thickening to 70 km beneath the Galan volcano at $\approx 67^{\circ}\text{W}$ and further east.

The subducting slab can be seen very clearly beneath the northern profile down to approx. 130 km, where the amplitude rapidly decreases. But, weak converted phases can be vaguely traced further down fitting well to observed local seismicity. Dipping structures have also been found within the crust beneath both profiles indicating complex dynamic processes (see Fig. 2). In addition, upper mantle discontinuities have been investigated, reveal-

ing anomalous changes in depth underneath the Puna plateau indicating elevated temperatures in this area.

Finally, the results of the receiver function method are compared with the achievements of a tomographic study independently obtained from the same data set.

References:

- Schurr, B., G. Asch, A. Rietbrock, R. Kind, M. Parbo, B. Heit and T. Monfret, 1999. Seismicity and average velocities beneath the Argentine Puna Plateau. *Geophys. Res. Lett.* 26(19), 3025-3028
- Yuan, X., S.V. Sobolev and R. Kind, 2002. Moho topography in the central Andes and its geodynamic implications. *Earth Planet. Sci. Lett.* 199, 389-402
- Haberland, C., A. Rietbrock, B. Schurr and H. Brasse, 2003. Coincident anomalies of seismic attenuation and electrical resistivity beneath the southern Bolivian Altiplano plateau. *Geophys. Res. Lett.* 30(18), 1923, doi:10.1029/2003GL017492
- Sobolev, S.V. and A.Y. Babeyko, 2005. What drives orogeny in the Andes? *Geology* 33, 617-620

Li, X., Yuan, X., Kind, R. (GeoForschungsZentrum Potsdam)

Lithospheric Structure Beneath Western US

E-Mail: li@gfz-potsdam.de

The coast range of Western United States is a tectonically very active region. Many of the tectonic features are directly related to the northward migration of the Mendocino triple junction (MTJ) along the western edge of North America during the past 30 million years. South of the MTJ the Farallon slab has completely subducted beneath the North American plate, leaving a slab window which is thought to be filled by the upwelling asthenospheric materials. Accurate knowledge of the thickness of the lithosphere is important to understand the tectonic evolution of northern California. High temperature in the upper mantle estimated from seismic tomography and xenolith data indicates a thin (<100 km) thermal lithosphere. A zone of low shear wave velocity is imaged down to a depth of 300 km by surface wave tomography. Receiver function technique is one of the most powerful tools to detect seismic discontinuities in the crust and upper mantle. Here we jointly use P and S receiver function methods for 67 permanent broadband seismic stations of numerous seismic networks. The Receiver functions reveal complicated crustal structures. A strong intra-crustal interface at a depth of 20 km effectively masks the converted signals from the Moho and lithospheric interfaces at many sites. The S receiver function method overcomes this problem, as the direct S-to-P converted waves arrive earlier than the S waves and thus consequently separated from the multiples that arrive later. We calculated S receiver functions from waveform data of S and

SKS phases for all the stations. A significant phase with negative amplitudes is observed in the S receiver functions at 8 s, indicating a low velocity interface in the upper mantle at a depth of 70 km. We interpret this phase as the S-to-P conversion at the base of the lithosphere. Waveform modeling shows that the lithosphere-asthenosphere boundary here is less than 20 km sharp. The 410 and 660 km discontinuities are also well observed with P and S receiver functions. The simultaneous delay of both discontinuity phases by 2-3 s is consistent with a thin lithosphere and a slow upper mantle in the area.

Eckhardt, C., Rabbel, W., Bohlen, T. (Universität Kiel, Freiberg)

ANALYSE VON RECEIVER FUNKTIONEN ZUR QUANTITATIVEN UNTERSUCHUNG SEISMISCHER ANISOTROPIE IM BEREICH DES GRSN

DIE ANALYSE SEISMISCHER Wellen insbesondere von Pn-Phasen, SKS-Phasen und Pds/Sdp-Phasen haben gezeigt, dass der Mantel in Zentraleuropa lateral seismisch anisotrop ist. Unbeantwortet blieb bisher, in welchem Tiefenbereich die Anisotropie vorherrscht, ob sie mit der Tiefe variiert und welcher Anteil auf Kruste und Mantel entfällt. Dies ist von Bedeutung für die Beurteilung ihrer tektonischen Auswirkung, z.B. der Kopplung plattentektonischer Prozesse. Diese Arbeit soll die Analyse des Scherwellensplittings von PS-konvertierten Wellen an Krusten- und Manteldiskontinuitäten umfassen. Dabei treten zwei Typen von Scherwellen auf, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ausbreiten und senkrecht zueinander polarisiert sind (Abb. 1). Die Scherwellen lassen sich durch zwei Splittingparameter charakterisieren: (a) die Verzögerungszeit δt zwischen der meist langsameren SV(Radial) und schnelleren SH(Transveral) Welle sowie (b) die Polarisationsrichtung ϕ . Die Polarisationsrichtung ist Indikator für die bevorzugte Ausrichtung von Kristallen im Mantel, die Verzögerungszeit Indikator für die Ausdehnung der anisotropen Zone. Wie gut und ob sich die Parameter überhaupt identifizieren lassen, ist Kernpunkt der Untersuchung. Bisherige SKS-Phasenstudien lieferten Verzögerungszeiten zwischen $0.5 \leq \delta t \leq 1.96s$. Dies deutet an wie gering die zu erwartenden Effekte auf Laufzeit und Impulsform sind. An Datenmaterial stehen teleseismische Ereignisse aus einem mehr als 12 jährigem Registrierzeitraum am Deutschen Regionalnetz (GRSN) zur Verfügung. Die Auswahl findet innerhalb

eines Epizentralbereiches von 33° bis 99° und unter Berücksichtigung eines gutem Signal/Rausch Verhaltens statt. Ein erster Analyseansatz mittels der Receiver-Funktions Methode wird vorgestellt. Die Untersuchung soll durch Modellstudien gestützt werden.

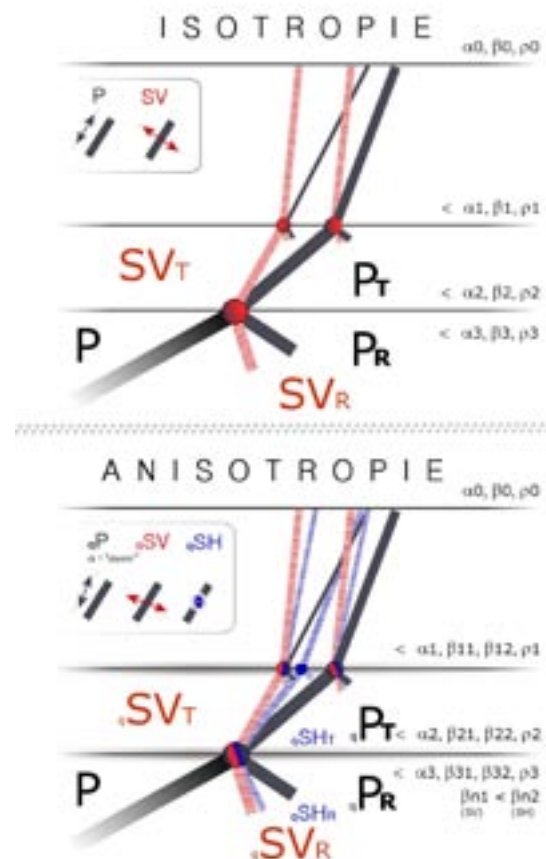


Abbildung 1: Strahlwegsymbolik im isotropen und anisotropen Medium nach dem Snellius'schem Gesetz

Staackmann, M., Fischer, K. D. (Bochum)

Auflastbedingte Spannungskonzentrationen unter Inseln

Mit dem CYClades seismic NETwork (CYCNET) wird seit 2002 die Seismizität im Bereich des Hellenischen vulkanischen Bogens registriert. Die Lokalisierung der Ereignisse zeigte, dass sich die Seismizität unterhalb der Inseln auf den oberflächennahen Bereich bis in wenige km Tiefe konzentriert. Die Verteilung der Seismizität ist abhängig von der Spannungsverteilung im Untergrund. Bedeutenden Anteil an dieser Spannungsverteilung hat die Insel als eine Auflast. Die durch eine solche Auflast entstehenden Spannungsverhältnisse lassen sich mit der Finite-Elemente-Methode (FEM) modellieren. Um die auftretenden Spannungen in der Umgebung von Inseln zu untersuchen, werden mehrere Modelle mit dem Programm ABAQUS erstellt. Als Indikator für potentielle Bereiche mit erhöhter Seismizität dient der Quotient aus maximaler Scherspannung und der Normalspannung. Überschreitet dieser Quotient einen gewissen Schwellenwert, hält das Gestein die herrschende Spannung nicht mehr stand und versagt.

Ausgangspunkt der Untersuchung ist ein Modell mit einem elastischen Halbraum und einer Insel mit dreieckigem Querschnitt als Auflast. In weiteren Schritten wird das Modell sukzessive den Verhältnissen der Realität angepaßt. Zunächst ist der Halbraum in zwei Schichten unterteilt worden. Die Tiefe der Schichtgrenze ist hierbei so gewählt, daß sie der mittleren Mohotiefe in diesem Bereich entspricht. Elastisches Material im Mantel entspricht nicht dem, was dort beobachtet wird. Das Gestein zeigt ein viskoses Verhalten. Im nächsten wird das Modell mit viskossem Mantelmaterial gerechnet. Die Schicht-

grenze wird dabei weiterhin als konstant in mittlerer Mohotiefe angenommen. Als weitere Verfeinerung wird für die Kruste eine plastische Rheologie eingefügt, um dem Verhalten der Gesteine in der Natur näher zu kommen. Auch hier bleibt die Schichtgrenze unverändert. Bis hierher sind nur Veränderungen in den petrophysikalischen Parametern gemacht worden. Ein realistisches Modell muß aber neben dieser Parameter auch einen realistischen Verlauf der Moho und die Topo- bzw. Bathymetrie enthalten. In einem letzten Schritt wird das Modell soweit modifiziert, daß der Mohoverlauf, die Topographie der Insel und die Bathymetrie des Meeresbodens der Realität angepaßt wird.

Die Berechnung des Quotienten aus maximaler Scherspannung und Normalspannung für den elastischen Halbraum zeigt, daß kritische Werte in flachen Bereichen an den Rändern der Insel erreicht werden. Dies deutet auf eine Seismizität in den Küstenbereichen hin, die von den Beobachtungen des CYCNET bestätigt werden. Im weiteren sollen die Ergebnisse der verfeinerten Modelle im einzelnen gezeigt werden.

Plenefisch, T., Klinge, K. (Erlangen)

Das Spannungsfeld des Sunda-Bogens abgeleitet aus Erdbeben-Herdmechanismen

E-Mail: plene@szgrf.bgr.de

Wir untersuchen das Spannungsfeld entlang der Sunda-Bogen-Subduktionszone mit Hilfe der Inversion von Erdbeben-Herdmechanismen. Ziel unserer Untersuchungen ist es, ein dreidimensionales Abbild des Spannungsfeldes zu erhalten, d.h. eventuelle laterale Änderungen entlang des Bogens sowie Änderungen des Spannungsfeldes mit der Tiefe aufzulösen.

Als Datensatz benutzen wir Momententensor-Lösungen der Harvard-Momententensor-Datenbank. Insgesamt stehen 964 Herdmechanismen im Magnitudenbereich M_W gleich 4.6 bis 8.3 aus dem Zeitraum 1977 bis 2003 zur Verfügung, die den Bereich Sunda und Java abdecken. Einen weiteren Datensatz bilden 41 Mechanismen für die Region NW-Sumatra, Andamanen- und Nikobaren-Inseln, bestehend aus dem Mechanismus des Magnitude 9 Bebens vom 26. Dezember 2004 und aus den Mechanismen von 40 starken Nachbeben.

Folgende Ergebnisse lassen sich aus unseren Inversionsrechnungen bisher ableiten:

1. Unter Java kommt es zu einem Wechsel in der Orientierung der maximalen Hauptspannungsachse σ_1 von subhorizontaler Ausrichtung im Tiefenbereich von 0 bis 200 km Tiefe zu subvertikaler Ausrichtung im Tiefenbereich von 400 bis 670 km Tiefe, und damit zu dem auch in vielen anderen Subduktionszonen beobachtetem Wechsel zwischen „down dip

extension“ und „down dip compression“ (z.B. Apperson & Frohlich, 1987).

2. Für die Region NW-Sumatra, Nikobaren- und Andamanen-Inseln erhalten wir eine Nord-Süd- bis NNE-SSW-Richtung für σ_1 , die gut übereinstimmt mit der Nord-Nord-Ost gerichteten Subduktion der Indischen Platte unter die Burma-Mikroplatte.

Auf dem Poster werden die Zusammenhänge zwischen den Hauptspannungsachsen, der Trench-Geometrie und der Plattenbewegung für die jeweiligen Abschnitte der Sunda-Subduktionszone (Andamanen, Sumatra, Java) dargestellt.

Rische, M., Brüstle, A., Endrun, B. (Ruhr-Universität Bochum), Bohnhoff, M. (GFZ Potsdam), Meier, T. (Ruhr-Universität Bochum)

Mitteltiefe Seismizität in der Hellenischen Subduktionszone

E-Mail: rische@geophysik.rub.de

Die Südägäis ist eine der seismisch aktivsten Gebiete Europas. Ihre Tektonik wird im wesentlichen von der Hellenischen Subduktionszone bestimmt. Verschiedene seismogene Zonen können hier unterschieden werden. Krustale Beben in der Oberplatte sind in der gesamten Region in unterschiedlicher Häufung und Intensität zu beobachten. Der Forearc-Bereich südlich von Kreta weist eine starke Interplattenseismizität auf. Mitteltiefe Beben innerhalb des abtauchenden Slabs ereignen sich im Gebiet nördlich Kretas und unterhalb des vulkanischen Bogens.

Das CYC-NET mit seinen bis zu 22 Stationen im Bereich der Kykladen bietet, in Ergänzung mit GEOFON Stationen und dem regionalen NOA-Netz, gute Bedingungen zur genauen Beobachtung der mitteltiefen Seismizität im zentralen vulkanischen Bogen.

Die Verteilung der mitteltiefen Seismizität im Bereich der Kykladen weist starke laterale Variationen auf. Sie zeigt das Einfallen des Slabs nach Norden hin aber auch deutliche Ost-West Unterschiede in Einfallen und Tiefe der Benioff Zone. Es kann dabei in eine gleichbleibend bis in 100 km Tiefe einfallende Zone im Westen und eine abknickende bis in 150 km Tiefe steilere Zone im Osten differenziert werden (siehe Abbildung 1). Diese Segmentierung der abtauchenden Platte kann mit Strukturbeobachtungen aus receiver functions und Beobachtungen im Forearc in Einklang gebracht werden.

Die registrierten Wellenformen mitteltiefer

Beben an Stationen im vulkanischen Bogen und in Forearc-Bereich zeigen deutliche Un-

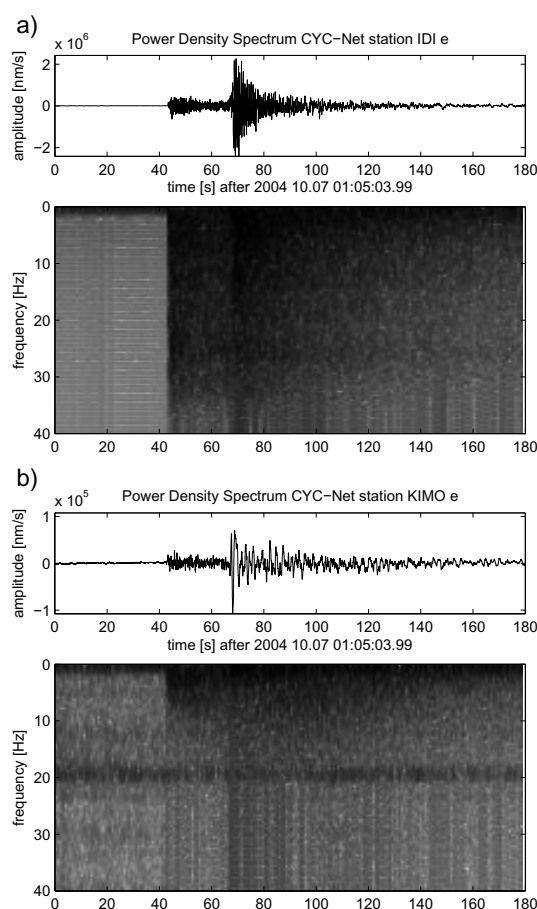


Abbildung 2: Wellenformen und Frequenzinhalt eines mitteltiefen Bebens unter dem Vulkanbogen an den Stationen IDI im Forearcbereich auf Kreta (a) und KIMO im Vulkanbogen bei Milos (b). Beide Stationen besitzen etwa die gleiche Entfernung zum Epizentrum.

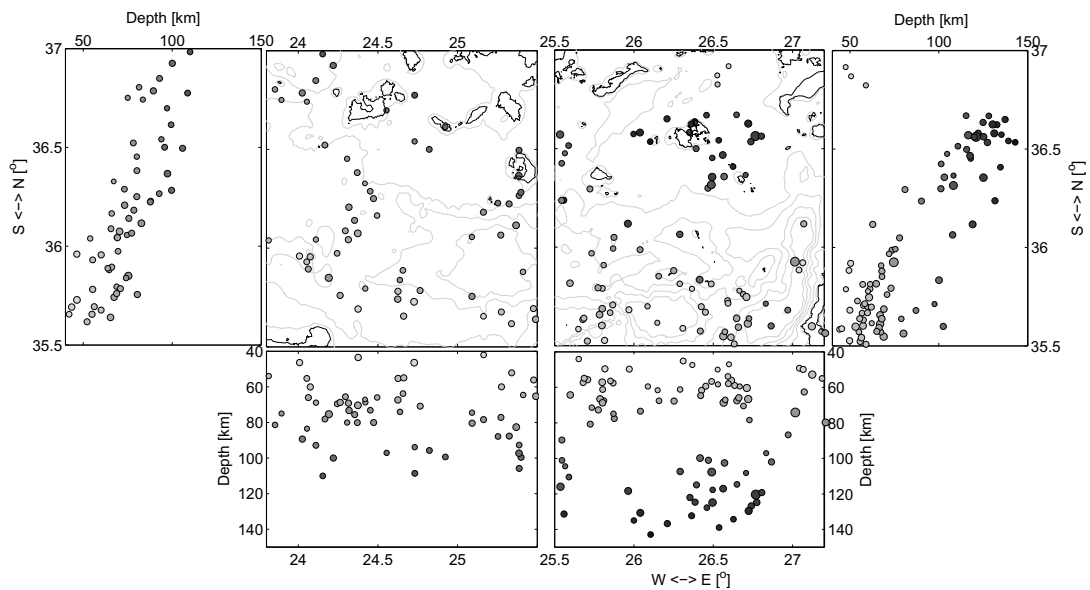


Abbildung 1: Mitteltiefe Seismizität im Bereich der Kykladen erreicht eine maximale Tiefe von 110 km im westlichen und 150 km im östlichen Teil. Der unterschiedliche Einfall der Benioff Zone im Westen und Osten ist in den Süd-Nord Schnitten gut zu erkennen.

terschiede aufgrund der hohen Dämpfung im vulkanischen Bogen. In Seismogrammen von Stationen aus dem vulkanischen Bogen fehlen die hohen Frequenzen, die bei Stationen im Forearc deutlich zu beobachten sind (Abbildung 2). Auch Laufzeitunterschiede zwischen den unterschiedlichen Regionen sind zu erkennen und weisen auf hohe Geschwindigkeiten der im abtauchenden Slab geführten Wellen hin.

Webseite: <http://www.geophysik.rub.de>

Dörner, D. (Frankfurt), Hofstetter, A. (GII Lod, Israel), Mohsen, A., Bock, G. (GFZ Potsdam), Rümpker, G. (Frankfurt), DESERT Group, X. (X)

Seismische Anisotropie im Bereich der Dead-Sea Transform aus SKS Daten des DESERT Arrays

E-Mail: ddoerner@geophysik.uni-frankfurt.de

Wir analysieren SKS Phasen des temporären DESERT Arrays (April 2000 – Juni 2001) im Bereich südlich des Toten Meeres (Weber et al. 2000) zur Untersuchung der regionalen seismischen Anisotropie der Lithosphäre und Asthenosphäre. Der Datensatz ergänzt bereits analysierte Daten entlang eines engabständigen Profils mit kurzperiodischen Stationen quer über die Dead Sea Transform (Rümpker et al. 2003).

Die Auswertung der hier verwendeten Daten von 31 Breitband-Stationen bietet dabei auch die Möglichkeit Stationskorrekturen – im Hinblick auf die Ausrichtung der Sensoren relativ zu N – anzubringen. Wir nutzen dabei den Effekt, dass SKS Phasen bei sehr langen Perioden (>15 s) im wesentlichen radial polarisiert sind. Das Programm Seismic Handler (Stammler 1993) wird für die Auswertung des Datensatzes verwendet. Ein zusätzliches Tool ermöglicht dabei die semi-automatische Bestimmung der Splittingparameter von SKS Phasen.

Die Resultate zeigen eine relativ einheitliche Ausrichtung der Polarisationen der schnellen Welle, wobei diese überwiegend annähernd parallel zum Streichen der Transformstörung orientiert sind. Die zugehörigen Verzögerungszeiten zwischen schneller und langsamer Welle liegen dabei im Bereich von 1.0 s bis 1.5 s. Tendenziell nehmen die Verzögerungszeiten mit der Entfernung zur Transformstörung ab.

Es zeigen sich allerdings auch starke Variationen in Abhängigkeit vom Backazimuth. Inwieweit sich diese durch tiefenabhängige Ändernder Anisotropie erklären lassen, soll im Rahmen dieser Untersuchung geklärt werden.

Literatur

Rümpker, G., Ryberg, T., Bock, G. & Desert Seismology Group, Evidence for boundary-layer mantle flow beneath the Dead Sea Transform from seismic anisotropy, *Nature*, 425, 497-501, 2003.

Stammler, K., SeismicHandler – programmable multichannel data handler for interactive and automatic processing of seismological analysis, *Comp. Geosci.*, 19, 135-140, 1993.

Weber et al., Multinational geoscientific research effort kicks off in the Middle East, *Eos*, Transactions, AGU, 81, No. 50, pages 609, 616-617, 2000.

Muench, Thomas W., Koch, M. (Uni Kassel), Schlittenhardt, J. (BGR Hannover)

Simultaneous inversion for 3D crustal and lithospheric structure and regional hypocenters beneath Germany considering an anisotropic upper mantle

Although anisotropy is a major property of most of the minerals in the crust and especially in the upper mantle, most of the seismic studies and 3D tomographic studies, in particular, undertaken up-to-date have neglected its effect on the seismic travel times and have, therefore, provided an unclear image of the structure and biased hypocenter (re)locations. For the upper mantle underneath Germany the 2D-refraction seismic study of Enderle [1998] shows strong evidence of the anisotropic behavior. More exactly, the investigations of Song et al. [2001] and Song et al. [2004] by means of a 1D time-term analysis and a full 2D Pn iso- and anisotropic inversion of regional travel time data, respectively, indicate that an anisotropic velocity ellipse with the fast axis pointing about N25°E and an anisotropy level of 3.5 % explains best the observed data and, additionally, show that geologically meaningful Pn-velocities (> 8 km/sec instead of 7.9 km/sec or less for isotropic models) are only obtained if the large-scale anisotropy is included in the inversion process.

Employing a modified version of the method of simultaneous inversion for structure and hypocenters (SSH) by Koch [1993], including an a priori tested upper mantle anisotropy, the studies above are extended to a full 3D-SSH-inversion underneath Germany. Regional travel times from local and regional events occurring between 1975-2003 are used, which, after application of several selection criteria, result in about 1300 events with a total of about 30000 P- and S-phases for the SSH inversion. This provides, in conjunction

with about 400 recording stations, a very dense and well distributed set of ray-paths providing a good coverage of the area.

First of all improved vertically inhomogeneous velocity (1D) models are derived assuming an isotropic as well as an anisotropic upper mantle. In addition of a slightly better model fit for the anisotropic than for the isotropic model, the latter gives also a somewhat too low Pn-velocity of ≈ 7.90 km/s, compared with ≈ 8.0 km/s for the former. This indicates that inclusion of upper mantle anisotropy into the model is required to obtain physically reasonable Pn-velocities. The results for the P-velocity in the lower crustal layer of the model are less clear, as there appears to be some trade-off in the velocity of that layer and that of the upper mantle.

Significant improvements for both the isotropic and anisotropic upper mantle cases are obtained for full 3D SSH inversion models. Similar to the 1D Pn-velocity models there are remarkable differences in the lateral Pn-velocities, depending on whether the lithosphere is corrected for anisotropy or not. Namely, for an anisotropic upper mantle the median ellipse velocities are generally higher, laterally smoother and behave also more stably throughout the inversion than those obtained assuming an isotropic upper mantle. Checkerboard resolution tests are performed indicating a rather well-resolved upper crust and upper mantle and a less-resolved lower crust. These tests are correlated with the calculation of resolution and covariance matrices which provide further information for the reliability of the calculated models. These

tests provide also indicators for the maximum number of blocks, respective the minimum size of the blocks which is primarily limited by the distribution of the rays through the model volume.

Finally, the derived models and their crustal velocities are put in connection with existing tectonic and geological studies. A certain amount of congruence is found, namely in some parts of the upper crust, which is best resolved by the tomographic method.

Schweitzer, J. (NORSAR), Levshin, A. (University of Colorado), Weidle, CH. (Universitet i Oslo), Maercklin, N. (NORSAR), Shapiro, N., Ritzwoller, M. (University of Colorado)

SURFACE WAVE TOMOGRAPHY OF THE EUROPEAN ARCTIC

Existing global and regional tomographic models have limited resolution in the European Arctic due to the small number of seismic stations, relatively low regional seismicity, and poor knowledge of the crustal structure. During the last decades, new seismic stations were permanently or temporarily installed in and around this region. However, many of the data from these stations are not easily accessible via the international data centers but only by direct request to various data operators. Recently, a new crustal model of the Barents Sea and surrounding areas had been derived in a joint project between the University of Oslo, NORSAR and the USGS (Bungum et al. (2005), EOS 86(16), 160-161). This model with its detailed information on crustal thickness and sedimentary basins in the area helps to constrain the tomographic inversion of the upper mantle velocity structure based on surface wave data. To improve the surface wave data set in the region, we extensively searched for broadband data from stations in the area from the beginning of the 1970s until 2005 and were able to retrieve surface wave observations from the data archives at NORSAR, University of Bergen, University of Helsinki, the Kola Science Center in Apatity, and the Geological Service of Denmark in addition to data from the data centers of IRIS and GEOFON. Rayleigh and Love wave group velocity measurements from 10 sec to 150 sec period obtained on these seismograms were combined with the existing data set provided by the University of Colorado (e.g., Levshin et al. (2001), PEPI 123, 185-204). Using these data, we constructed a new 3-D shear

velocity model of the crust and upper mantle beneath the European Arctic which provides higher resolution and accuracy than previous models.

The new model reveals substantial variations in shear wave speeds in the upper mantle across the region. Of particular note are clarified images of the mantle expression of the continental-ocean transition in the Norwegian Sea and a deep high wave speed lithospheric root beneath Novaya Zemlya.

Schulz, S., Küperkoch, L., Meier, T., Friederich, W. (Bochum)

Stapelung breitbandiger Seismogramme europäischer Stationen für den Entfernungsbereich 0° bis 50°

In den letzten Jahren ist die Anzahl an Erdbebenstationen innerhalb Europas erheblich gewachsen. Seismische Stationen verschiedener europäischer Netze können zum sog. VEBSN (Virtual European Broadband Seismological Network) zusammengefaßt werden. Die Daten der einzelnen Netze können über Datenbanken wie ORFEUS und GEOFON, sowie direkt bei den Instituten abgerufen werden. Zum jetzigen Zeitpunkt erhält man bis zu 150 Seismogramme für ein Ereignis, wobei die größte Stationsdichte in Zentraleuropa (Deutschland, Schweiz, Österreich) zu finden ist.

Shearer u.a. haben für globale Stationsverteilungen Seismogramme gestapelt, um globale Laufzeitkurven zu konstruieren. Wir verwenden Seismogramme europäischer Stationen, um mittlere Seismogramme und Laufzeitkurven für Laufwege in Europa zu erhalten. Hierzu wurden ca. zwanzig Ereignisse ausgewählt, deren Distanz zwischen 0° und 50° zu Zentraleuropa beträgt. Die Epizentren der verwendeten Beben wurden aus einem Azimuthbereich von 105° bis 115° gewählt und befinden sich in einer Region von den Alpen bis Pakistan. Zur Auswertung wurden die Vertikalkomponenten des 20Hz Datenstroms verwendet. Die zugehörigen Seismogramme der Beben werden gestapelt und in Abhängigkeit der Epizentralentfernung dargestellt. Verschiedene Auswertemethoden helfen Raumwellen sowie Oberflächenwellen darzustellen:

1. Die Berechnung der Enveloppe glättet die Seismogramme.

2. STA/LTA-Filterung (short/long time ave-

rage), bei der zu gegebenen Zeitfenstern für STA(2-5sec) und LTA(20-45sec) das Amplitudenverhältnis pro Abtastschritt berechnet wird. STA/LTA-Filterung erster und zweiter Ordnung (Berechnung des Betrages bzw. der Varianz) löst einzelne Phasen in der Abbildung deutlich erkennbar auf.

3. Die Berechnung der Schiefe bzw. Kurtosis für ein gleitendes Zeitfenster(20-45sec) erhöht dabei die Genauigkeit des Einsatzes der P-Welle.

4. Die Berechnung der Enveloppe und anschließende STA/LTA-Filterung ist eine weitere Auswertoption.

Die einzelnen seismischen Phasen werden mit theoretischen Laufzeitkurven für IASP91 verglichen.

Schäfer, J., Wölbern, I., Rumpker, G. (Universität Frankfurt)

Regionale Stapelung von Seismogrammen zur Analyse von Manteldiskontinuitäten

E-Mail: schaefer@geophysik.uni-frankfurt.de

Die globale Stapelung von Seismogrammen für eng-benachbarte Epizentralentfernungen ermöglicht eine signifikante Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses (Shearer 1991). Somit wird die Identifizierung von Phasen geringer Amplitude ermöglicht, die im Einzelseismogramm nicht zu detektieren sind.

Im Rahmen einer Diplomarbeit untersuchen wir Vorläufer von PP und SS Phasen, die durch Reflexion an den Unterseiten der Manteldiskontinuitäten in 410 km und 660 km Tiefe entstehen. Die Vorläufer treten im Entfernungsbereich zwischen etwa 60° und 180° auf. Die relativen Amplituden (z.B. P410P/PP) lassen dabei Rückschlüsse auf den Geschwindigkeitskontrast an der Diskontinuität zu (Shearer & Flanagan 1999).

Für die Analyse verwenden wir Breitbanddaten der globalen Netzwerke unter Einbeziehung von Erdbeben ab Magnitude 6, mit Tiefen von bis zu 50km und Epizentralentfernungen zwischen 60° und 180°. Nach Filterung und Resampling werden die Einsätze der Referenzphase (z.B. PP) innerhalb eines 60s Zeitfensters um den theoretischen Einsatz automatisch gepickt und das Signal/Rausch-Verhältnis bestimmt. Zur Eliminierung des Einflusses der Herdfunktion wird eine Dekonvolution durchgeführt, so dass die Referenzphase Impulsform aufweist. Ferner werden die Spuren langperiodisch gefiltert und bezüglich der Referenzphase zeitlich ausgerichtet. Die Stapelung erfolgt für eine Binweite von 1°.

Ein Ziel der Arbeit ist es zu untersuchen, inwieweit die Amplitudenverhältnisse zwi-

schen Vorläufer und Referenzphase regionale Unterschiede aufweisen. Frühere Untersuchungen (Estabrook & Kind 1996) deuten bereits darauf hin, dass z.B. die Amplituden der PP Vorläufer von der 660-km Diskontinuität regional unterschiedlich ausgeprägt sind. In einem ersten Schritt wird hier überprüft, ob eine Einteilung nach Reflexionspunkten aus kontinentalen und ozeanischen Regionen ebenfalls unterschiedliche Amplitudenverhältnisse erkennen lässt. Danach sollen auch Einflüsse in Abhängigkeit von der tektonischen Region berücksichtigt werden.

Literatur

Estabrook, C.H. & Kind, R., The Nature of the 660-kilometer upper-mantle seismic discontinuity from precursors to the PP phase, *Science*, 274, 1179-1182, 1996.

Shearer, P.M., Constraints on upper mantle discontinuities from observations of long-period reflected and converted phases, *J. Geophys. Res.*, 96, 18,147-18,182, 1991.

Shearer, P.M. & Flanagan, M.P., Seismic Velocity and Density Jumps across the 410- and 660-kilometer discontinuities, *Science*, 285, 1545-1548, 1996.

Küperkoch, L. (Bochum), Meier, T., Fiederich, W. (Bochum)

Detection of Signals using Higher Order Statistics

E-Mail: ludger.kueperkoch@rub.de

Due to the continuously increasing amount of data of permanent and temporary seismological networks the necessity of an automatic event and phase detection algorithm becomes more important. The most widely used algorithm for detecting events compares statistical parameters determined from a short and a long time window. For the so called STA-/LTA-(short time average-/long time average)-trigger normally the absolute arithmetic mean values of the short moving window are compared with the absolute arithmetic mean values of the long moving window. An event is detected if the ratio of the mean values of the short time window to the mean values of the long time window exceeds a certain threshold. Beside this conventional STA-/LTA-trigger higher order statistics can be used for detecting events. In this study central moments of higher order were used to detect P- and S-onsets on vertical traces from recordings of stations of the Cyclades network.

Their characteristics and usefulness for triggering and onset detection were studied and compared among each other. Using the variance (2. normalized central moment), the scewness (3. normalized central moment), the kurtosis (4. normalized central moment) and the gradient of the scewness for detecting microseismic events this study shows promising results towards the development of a stable and reliable event and phase detection and travel time curves determination algorithm.

Heimann, S., Dahm, T. (Hamburg)

Modelling Seafloor Compliance using a Pseudo-Spectral Method

E-Mail: sebastian.heimann@dkrz.de

Ambient free infragravity waves in the oceans have periods of between 30 and 300 seconds and wavelength between 2 and 40 km. They are excited by nonlinear interaction of high swell at coastal regions, mainly in the South Pacific and South Atlantic, and propagate long distances with amplitudes of a few mm only. Their propagation velocities depend on the depth of the ocean, and they are typically in the range between 30 and 140 m/s. The dispersion relation of infragravity waves is well known so that measuring a pressure transient at a single station is sufficient to estimate the corresponding wavenumber. Using this knowledge, the seafloor compliance method has been developed to study the response of the oceanic crust to slowly propagating infragravity waves. The seafloor compliance is sensible to variations in the shear modulus and thus the shear wave velocity (Crawford et al., 1999). During my diploma thesis a numerical method has been developed to simulate the seafloor compliance in response to infragravity waves. A pseudo-spectral method has been used. Although this problem may be handled as a quasi-static problem for many cases, the introduction of soft uppermost seafloor layers with low shear wave velocity may justify full dynamic simulations.

Dahm, T., Miensopest, M., Winter, S., Knut, R., Thoelen, M., Herber, R. (Hamburg, Geophysik)

Labor-Kalibrierung von Ozeanbodenstationen

Neue Generationen von Ozeanbodenstationen (OBS) für die passive Seismologie sollten Druck und Geschwindigkeit am Meeresboden in einem relativ breiten Frequenzband zwischen 0.01 und 50 Hz messen können. Eine genaue Kalibrierung der Systeme, sowohl im Labor als auch in situ am Meeresboden, ist für die Wellenformauswertung von großer Bedeutung. Die Sensoren der OBS-Systeme sind auf relativ große und schwere Rahmen montiert, die zusätzlich noch unterschiedliche elektronische und mechanische Komponenten und einen Ankerstein tragen müssen. Die Rahmen sind freifallend, selbstkoppeln und freischwimmend, nachdem der Ankerstein abgeworfen wurde. Wegen der Komplexität der Systeme sind unerwünschte Einflüsse des Rahmens oder anderer Komponenten auf die seismischen Registrierung nicht auszuschließen. Ebenso müssen derzeitige Breitbandsensoren in Kugeln oder Druckzylindern befestigt werden und selbstnivellierend sein, mit der Möglichkeit der regelmäßigen Nachjustierung. Die Kalibrierung eines gesamten Systems mit herkömmlichen Schütteltischen im Labor scheidet in der Regel an den Dimensionen und dem Gewicht der Systeme bzw. der Seismometerkugel.

Auf dem Poster werden alternative Ansätze der Kalibrierung an unterschiedlichen Sensoren und Systemen getestet und miteinander verglichen. Außerdem werden Kalibriersysteme für Drucksensoren untersucht. Für die Eichung von Seismometern in Kugeln inklusive der Nivelliersysteme wird ein steuerbarer Maschinentisch und ein selbstkonstruierter Neigungstisch verwendet. Beide Plattformen er-

lauben die Vermessung von

großen und schweren Systemen. Der Maschinentisch ist für die Kalibrierung im kurzperiodischen Bereich ausreichend, läßt aber keine genaue Rekonstruktion der Transferfunktion bei tiefen Frequenzen zu. Ein Verstärkungsfaktor kann bestimmt werden. Der Neigungstisch erlaubt für Horizontalkomponenten die Rekonstruktion der Transferfunktion bei tiefen Frequenzen.

Die Untersuchungen auf dem Neigungstisch haben ergeben, daß die passiven Nivelliersysteme der Uni Hamburg, bei denen der Sensor in zähflüssigem Öl schwimmt, bis etwa 0.1 Hz nur geringen Einfluß haben, bei kleineren Frequenzen jedoch zu anelastischem Nachschwingen des Sensors führen. Für die Integration eines STS2-Sensors in eine Druckkugel wurde ein aktives mechanisches Nivelliersystems entwickelt und getestet.

Forbriger, T. (Observatorium Schiltach, BFO)

Entmagnetisierung der Tragfeder eines STS-1V

E-Mail: Thomas.Forbriger@gpi.uni-karlsruhe.de

Seismometer und Gravimeter sind empfindlich für Variationen des äußeren Magnetfeldes. Signifikante Störungen der langperiodischen, seismischen Registrierungen treten während starker magnetischer Stürme auf aber auch aufgrund technischer Quellen wie variierender DC-Starkströme und bewegter magnetische Körper. Blattfeder-Seismometer erfahren eine scheinbare Beschleunigung proportional zur Änderung der magnetischen Feldstärke. Die nachgewiesenen Empfindlichkeiten liegen in der Größenordnung von $0.1 \text{ ms}^{-2}\text{T}^{-1}$. Für die Seismometer kann empirisch eine tensorielle Beziehung zwischen Magnetfeldvariationen und beobachtetem Ausgangssignal gefunden werden, die für jedes Instrument anders ausfällt und die zur Korrektur seismischer Registrierungen verwendet werden kann. Wünschenswert wäre jedoch, diesen Effekt von vornherein zu vermeiden. Die genaue physikalische Ursache für die Empfindlichkeit ist bisher noch nicht nachgewiesen worden. Es wird vermutet, dass das Magnetfeld über die ferromagnetischen Eigenschaften der Tragefeder aus Elinvar auf des Seismometer wirkt, da der Effekt bei den Horizontal-Seismometern des STS-1 im Gegensatz zum Vertikal-Seismometer nicht beobachtet wird. Die Abhängigkeit der elastischen Moduln von der Magnetisierung, Magnetostraktion und ein Drehmoment auf die Feder aufgrund remanenter Magnetisierung (vergleichbar einer Kompassnadel) werden als mögliche Ursachen diskutiert. Die Form der tensoriellen Beziehung zwischen Magnetfeld-

variationen und beobachtetem Ausgangssignal weist auf einen Kompassnadel-Effekt hin. Durch Entmagnetisierung der Tragfeder eines STS-1V soll nach einem weiteren Indiz für diesen Effekt gesucht werden.

Widmer-Schnidrig, R. (BFO), Kurrle, D. (Institut für Geophysik, Uni Stuttgart)

Evaluation of Installation Methods for STS-2 Seismometers

E-Mail: widmer@geophys.uni-stuttgart.de

In the course of the planned upgrade of the Gräfenberg Array (GRF) from Streckeisen STS-1 seismometers with 20s free period to STS-2 seismometers with 120s free period the question of how best to install the sensors has to be reconsidered.

While it was understood early on that the Streckeisen STS-1 seismometers needed elaborate shielding in order to reach their full potential (Wielandt & Streckeisen, 1982) it took 10 years of experimenting before a satisfactory and widely accepted method was established (Holcomb & Hutt, 1992). Because some of the experience gained with the shielding of the STS-1 entered the design of the casing of the STS-2, it was not clear what kind of additional shielding was needed for getting best results with the STS-2. Since the first STS-2s have been deployed starting with the GRSN in 1991 different types of insulations have been tried and it became apparent that the data quality at low frequencies can be markedly improved by extensive shielding of the sensors (Hanka, 2000).

The STS-1s of the GRF Array are installed on warp-free base plates (Holcomb & Hutt, 1992) and operated under slight vacuum because otherwise both the vertical and horizontal components would respond more strongly to variations in the ambient air pressure: the vertical component due to buoyancy and the horizontal component due to tilts produced by the deformation of the seismometer casing. In contrast to the STS-1 the STS-2 has a sealed casing such that variable air pressure should

not lead to any buoyancy forces on the sensor masses. Air pressure fluctuations will however deform the casing which would adversely affect horizontal components if the casing did not have a warp-free design. Since this warp free design does not completely remove pressure induced tilt Wielandt proposed to install the STS-2 in a sealed container consisting of a thick gabbro base plate and an upside down stainless steel pot as cover. The German Regional Seismic Network (GRSN) is so far the only network which has adopted this shielding and by now nine stations have been converted. This shielding protects the sensor from humidity and reduces ambient temperature and pressure fluctuations.

We inspect two types of signals to make inferences about the STS-2 shielding used by the different networks: free mode spectra from the 2004 Sumatra event and vertical component noise spectra tuned for the detection of the permanently excited background free oscillations (hum). The networks considered here are the GRSN, GEOFON, the Swiss SDSnet, the IRIS/GSN, the Berkeley BDSN and the F-Net in Japan.

Very few of the STS-2s operated by the IRIS/GSN, BDSN or the F-Net clearly see the hum while ~12% of the GEOFON and SDSnet stations see it and an overwhelming 75% of the GRSN stations equipped with gabbro base plate give positive results. We attribute the poor performance of the STS-2Z in the IRIS, BDSN and F-net to the fact that in these networks the sensors stand essentially naked

on the pier.

In our comparison of horizontal component spectra of the 2004 Sumatra event we only include networks of which a significant fraction of stations see the hum. We find that the SDSnet ranks in quality second behind the GRSN but before GEOFON. The elevated noise level in the GEOFON spectra is probably due to the fact that the GEOFON shield is not stiff enough so that variations in ambient air pressure induce large tilt noise. In the SDSnet the sensors are placed immediately on the pier with only a thermal shield surrounding the sensor. Consequently the sensors of this network do not suffer from tilt noise induced by warping base plates.

In spite the lack of side-by-side comparisons of differently shielded seismometers we have found clear indications that Wielandt's gabbro shield yields by far the least noisy low frequency vertical and horizontal component data. While our study concentrated on the free mode band our findings are certainly also relevant at the frequencies of surface waves and long-period body waves as noise levels in these frequency bands are highly correlated.

Based on our study we strongly recommend the use of the Gabbro base plate in the upgrade of the Gräfenberg array.

Acknowledgments: The network operators for freely providing high quality broad-band data: GRSN, GEOFON, SDSnet, IRIS, BDSN and F-Net. D. K. is supported by DFG grant WI 1549/3-1.

Oye, V. (Kjeller, NOR SAR)

Real-time Monitoring of SAFOD Microearthquakes

E-Mail: volker@norsar.no

In August 2005, the San Andreas Fault Observatory at Depth project (SAFOD) successfully drilled an inclined borehole through the San Andreas Fault at seismogenic depth and drilling was stopped at about 4 km depth below surface (Hickman et al., 2004). Side track drilling and coring will continue in summer 2007, and borehole seismometers will be installed in order to direct these actions to the seismically most active areas in the best possible way. Data recorded during ear-

lier instrumentations of the vertical Pilot Hole (drilled in 2002) and of the deviated Main Hole (Figure 1) were already used to locate microearthquakes (e.g. Oye et al., 2004) and experience was gained to prepare for real-time analysis of upcoming data. In 2004/2005, data was recorded at 5 levels in the Pilot Hole (with spacing of 20 meters) and 2 instruments in the Main Hole. Figure 2 shows the seismic traces of an event recorded on December 17th 2004. Automatic P- and S- phase onset picks as well as polarization angles of the downhole data were used to determine the location. To better constrain the locations automatic detection picks from permanent seismic networks were included (up to 12 stations from HRSN and NCSN that are closer than 15 km to SAFOD). The basic functionality of the online system (MIMO) is described in Oye and Roth (2003). Data from the Main Hole will be included into the USGS real-time earthquake location program Earthworm, however, probably only one geophone and downsampled to 200 Hz. The main goal of this additional real-time monitoring of SAFOD microearthquakes is to create an event catalogue with roughly estimated locations and magnitudes and to provide it in near real-time to a larger community. Triggered event data files will then easily be accessible including all downhole recordings in full sampling rate, probably at 4 kHz. In addition, the very small events that would not be triggered by the Earthworm system – due to too little detections – can then be included in the planning of SAFOD phase 3 drillings.

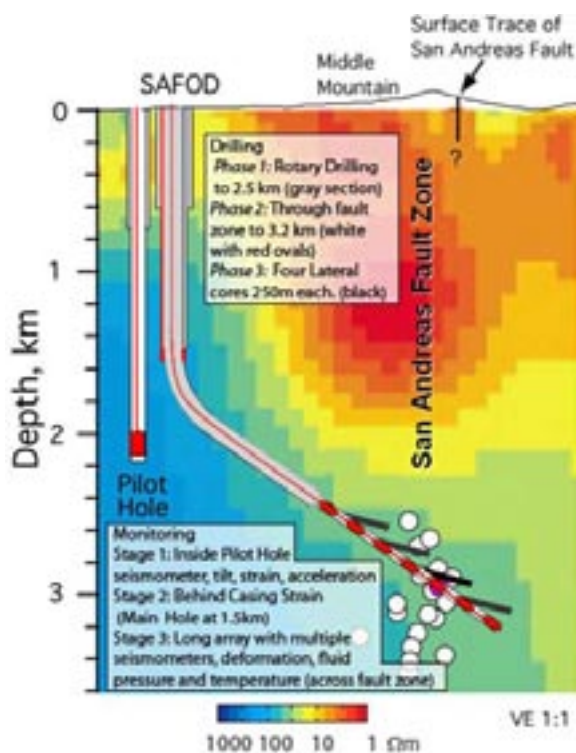


Figure 1: Cross section of the drilling project, superimposed on an interpretation of electrical resistivity. The approximate locations of small earthquakes are shown as white dots.

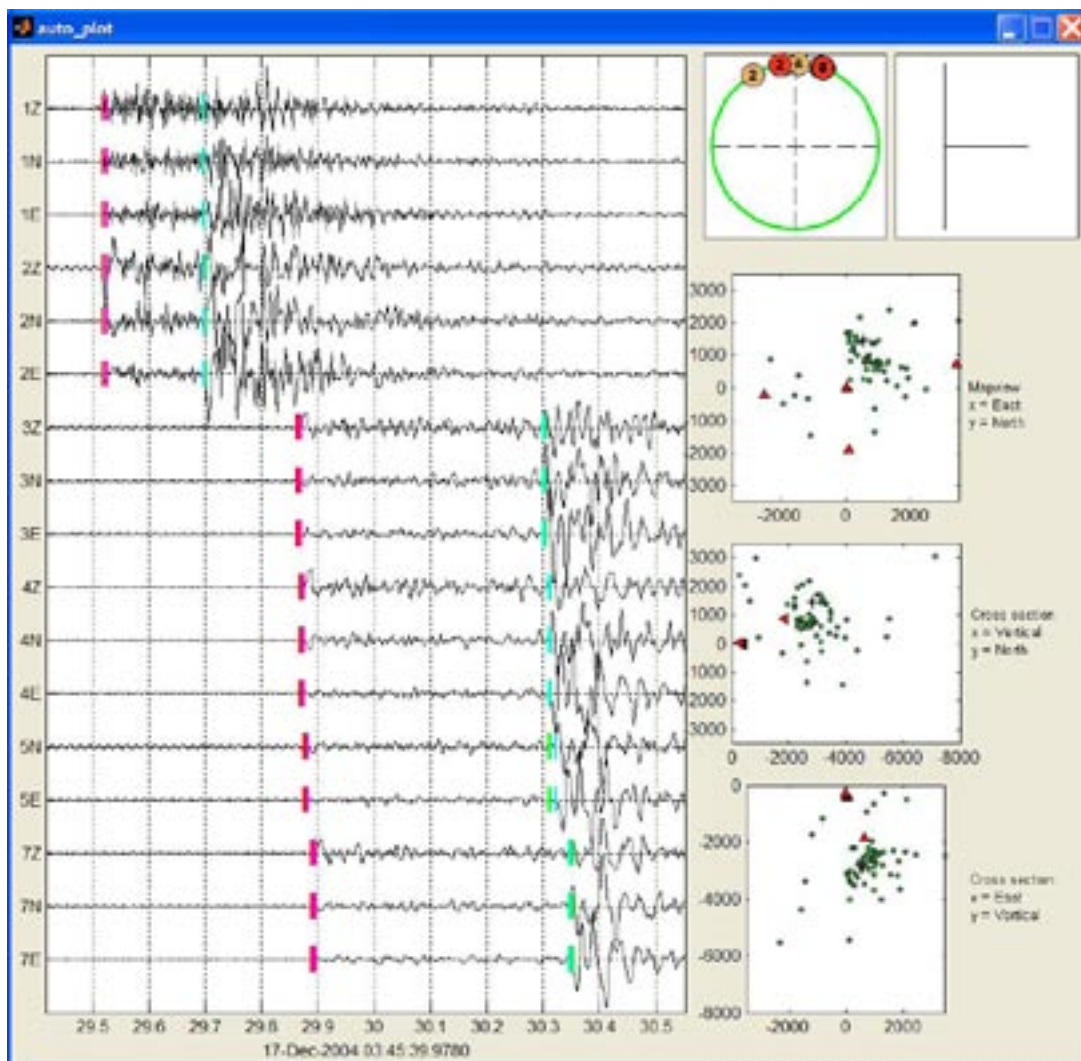


Figure 2: Automatic processing of SAFOD microearthquakes. Left: waveforms with automatic P- and S- wave onset picks. Right: calculated azimuth angles of 3C geophones. Lower right: cumulative locations in map view and depth sections (dots); borehole and 3 close surface stations (triangles).

Acknowledgements

I thank the Norwegian Research Council for funding, Bill Ellsworth for data access, his interest and all organisation work that was involved and Lynn Dietz and Will Kohler for help with setting up the online system.

References

Hickman, S., M. Zoback, W.Ellsworth,

2004. Introduction to special section: Preparing for the San Andreas Fault Observatory at Depth, *Geophys. Res. Lett.*, DOI 10.1029/2004GL020688.

Oye, V., M. Roth, 2003. Automated seismic event location for hydrocarbon reservoirs, *Comput. Geosci.* 29, 851–863.

Oye, V., J. A. Chavarria, P. E. Malin, 2004. Determining SAFOD area microearthquake locations solely with the Pilot Hole seismic array data, *Geophys. Res. Lett.*, DOI 10.1029/2003GL019403.

Kühn, N., Hainzl, S., Scherbaum, F. (Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam)

Cycling properties and temporal correlations in linked stress release models

In seismic hazard analysis, the temporal evolution of seismicity is often modeled by a Poisson process, assuming that earthquakes occur independently of each other. The Poisson model, however, has its drawbacks: it is not based on physical grounds and, for example, cannot account for correlated occurrence of earthquakes in nature, such as foreshock and aftershock activity accompanying large earthquakes. Therefore, more elaborate models have been proposed, like the Epidemic Type Aftershock model or the stress release model.

Here we investigate the linked stress release model, a stochastic version of elastic rebound theory, regarding the impacts for seismic hazard assessment. In particular, we are concerned with the occurrence of seismic cycles and generation of aftershocks. In the stress release model, the occurrence probability of an earthquake depends on the stress level in the studied region. The stress level increases deterministically between two earthquakes and drops when an earthquake occurs: $S(t) = S(0) + \rho t - \sum_{t_i < t} \Delta S_i$, where $S(0)$ is the stress level at $t = 0$, ρ is the loading rate and $\sum_{t_i < t} \Delta S_i$ the accumulated stress released by earthquakes prior to time t . The amount of stress released by an earthquake can be calculated from its magnitude via the empirical Benioff formula $\Delta S = 10^{h(m-m_0)}$. Stress transfer between distant faults is included in the linked stress release model, where the local stress level depends also on the earthquake activity in the adjacent regions. The occurrence probability of an earthquake is governed by a conditional intensity function that depends on the stress level $\lambda(t) = \Psi(S(t))$. Our stan-

dard choice for $\lambda(t)$ is the exponential function $\lambda(t) = \exp[\alpha + \beta S(t)]$.

The simulations are carried out as follows: A grid of $M \times N$ regions is considered. Stress transfer is only allowed for neighbouring regions. Magnitudes are chosen randomly from a truncated Gutenberg-Richter distribution, where the maximum magnitude is determined by the actual stress level in the region. The parameters α and ρ are fixed by the desired frequency-magnitude distribution, while β and θ remain as free parameters.

To reveal information about the cycling properties of the considered systems, we examined the coefficient of variation C_V (standard

variation/mean) and the interevent time histogram. In the uncoupled case, small earthquakes are clustered ($C_V > 1$), whereas large earthquakes occur quasi-periodically ($C_V < 1$). Correspondingly, the interevent time histogram of large earthquakes is peaked. In the coupled case, the cycling is maintained for each individual region but breaks down if the whole system is considered. Also, coupling leads to a correlated occurrence of large earthquakes in neighbouring regions.

Friedrich, C. (Peine, DBE), Eilers, G. (Salzgitter, BfS), Klippel, O. (Sondershausen, K-UTEC)

Seismisches Monitoring im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben

E-Mail: friedrich@dbe.de

Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben befindet sich in der Grube Bartensleben der Doppelschachanlage Marie/Bartensleben (Sachsen-Anhalt). In Bartensleben fand während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts Salzgewinnung statt. Von 1971 bis 1998 wurde ein Teil der Grube zur Endlagerung radioaktiver Abfälle genutzt.

Der Zentralteil von Bartensleben weist einen hohen Durchbauungsgrad auf. Im Rahmen bergbaulicher Gefahrenabwehrmaßnahmen wird dort eine Verfüllung ausgewählter Grubenhohlräume mit dem Ziel der vorsorglichen Stabilisierung des Abbausystems und der dauerhaften Erhaltung der Integrität der Barriere zum Salzspiegel durchgeführt. Dazu werden 22 Abbaue mit einem speziellen Salzbeton verfüllt.

Zur Erfassung der durch die Verfüllmaßnahmen ausgelösten, großräumigen und seismisch wirksamen Spannungumlagerungen wird derzeit im Zentralteil Bartensleben eine ortungsseismische Überwachungsanlage nach dem Stand von Wissenschaft und Technik eingerichtet. Die vorgesehene Anlagenkonfiguration wird erläutert.

Das Messsystem wird nach Abschluss der Installation aus 3 geschwindigkeitsproportionalen Seismometern und 20 beschleunigungsproportionalen piezoelektrischen Geophonen bestehen, die sämtlich in Bohrlöchern und Nischen eingebaut werden. Die Sensoren überdecken das Teufenintervall zwischen -253 mNN und -372 mNN. Die horizontale Erstreckung des Netzes wird ca. 800 m x 900

m betragen. Die Signalübertragung von den einzelnen Sensoren zur zentralen Registrierstation unter Tage erfolgt per Puls-Frequenz-Modulation. Nach der Demodulierung und Digitalisierung werden die gemessenen Signale getriggert aufgezeichnet.

Die Installationsarbeiten sind voraussichtlich im Juli 2006 abgeschlossen. Der Probebetrieb hat begonnen

Webseite: <http://www.dbe.de>

Pohl, C., Stange, St., Brüstle, W. (Landeserdbendienst Baden-Württemberg am LGRB, RP Freiburg), Behrmann, J.H. (Universität Freiburg), Stribrny, B. (BGR Hannover)

Earthquake Microzonation Map Lörrach and Weil am Rhein, Southern Upper Rhine Graben

During the last two years an earthquake microzonation study was carried out by Landeserdbendienst Baden-Württemberg in a program of German-Swiss-French cooperation, co-financed as a cross-border-project by the European Community Initiative INTERREG III.

The area of interest on the German side is situated around Lörrach and Weil am Rhein in Baden-Württemberg, next to the Swiss and French borders in the southern part of the Upper Rhine Graben (URG) [Figure 1]. This densely populated area at the bend of the Rhine River near Basel is one prominent region of earthquake hazard in Middle Europe. Since in the event of a major earthquake, ground motion and seismic hazard strongly depend on local geology and tectonic features, a hazard microzonation map was compiled during this project to describe the amplification effects of seismic waves in the study area. The geological situation in the area of interest is dominated by the eastern master fault of the URG which is developed as a flexure zone in this region. From North to South the master fault develops into the flexure zone at the Kandern-Hausen-Fault, which forms the boundary between the Weitenauer Berge, the Dinkelberg and the Black Forest crustal blocks. The flexure zone mediates between the Tertiary sediment fill of the URG in the west, and the mid-upper Triassic (Muschelkalk, Keuper) rocks of the Dinkelberg block to the east, the latter being fragmented into a pattern of NNE striking fault blocks by a combination of salt movements and contact deformation of

the URG rift zone. Within the flexure zone the sedimentary layers are steepened up strongly to dips of about 40° to 70°. In the area of Lörrach, these layers form a fault mosaic of mid-Jurassic units. The vertical offset at the flexure zone amounts to about 1500 m. To the west of the flexure, the asymmetric syncline of St. Jakob-Tüllingen follows, with a NNE trending axis. The syncline has a steep eastern, and an almost horizontal western limb. Major parts of downtown Lörrach are located in the valley defined by the syncline. Contrary to this, the westernmost part of the study area shows a much simpler and more homogeneous structural setting. Below alluvial deposits and the low-terrace-gravels of the Rhine River Oligocene sediments of the Meletta Formation are found. These strata dip about 4° towards the east.

The data base for the geological model was formed by borehole information, especially three deep geothermal drillings in Switzerland near the study area. Additionally, one section of industrial reflection seismics on Tüllinger Berg and two sections of Rhine River reflection seismic survey were used, as well as a detailed geological map of the fault mosaic in the Lörrach area. The geological model is the primary basis for the interpretation of the geophysical data.

In order to directly examine the site-effects above different geological units we installed seven temporary seismic stations in addition to two permanent ones. They were installed on a profile from the Dinkelberg across the flexure zone and the Tüllinger Berg to the Rhine

River. In a time span of slightly over a year ten medium-size earthquakes could be recorded at a majority of the stations. A rather clear impression of the actual site dependent amplifications and deamplifications emerged from the data compilation. Most surprising was the strong amplification within the flexure zone in contrast to the relative deamplification in the gravel-covered Wiesetal, only a few hundred meters apart.

In order to transfer the point discrete geophysical and geological information into the whole area ambient noise measurements (H/V or horizontal over vertical spectral ratio, also called Nakamura's method) were used. Distributed over the area of interest, 1100 measurements were performed. Within urban areas and in zones of geological interest point spacing was as small as 30 m. 85% of the data could be successfully processed and interpreted. From the H/V spectra each location was assigned a dominant frequency. Regions with rather homogeneous frequency distribution were mapped and separated from those areas with discernible frequency trends or quite

inhomogeneous distributions. This interpretation was merged with the geological model to actually define zones of supposedly uniform amplification in the case of an earthquake. These zones then formed the base of the microzonation map, while the actual hazard level within each zone was derived from the earthquake recordings mentioned above.

In a not too complicated geological setting the H/V-method can also be used as a suitable tool for mapping of geological layers. For instance, in the geologically homogeneous westernmost area a decrease of frequencies from west to east is observed. This frequency distribution coincides with the depth of the base of the Meletta Formation. Assuming a homogeneous shear wave velocity within the Meletta Formation a 3D model of its base was created. In another example on the western slope of Tüllinger Berg the distribution of shallow landslides coincides with the appearance of certain frequencies. At the southern end of Tüllinger Berg two different geological units on either side of a fault can be distinguished. On the Dinkelberg Upper Triassic and Quaternary clays can be distinguished from Middle Triassic limestone by means of pronounced differences in characteristics of the H/V spectra. This might enable us to identify zones of deep weathering, and Quaternary clays not present in published geological maps. At this point it is possible to significantly enhance the geological model using the H/V data.

The final goal of the project is to join the microzonation maps of the neighbouring countries.

For more detailed information on the geophysical part of the project please attend the presentation of Stange et al.: Geophysik zur seismischen Gefährdungszonierung am Beispiel Lörrach/Weil am Rhein.

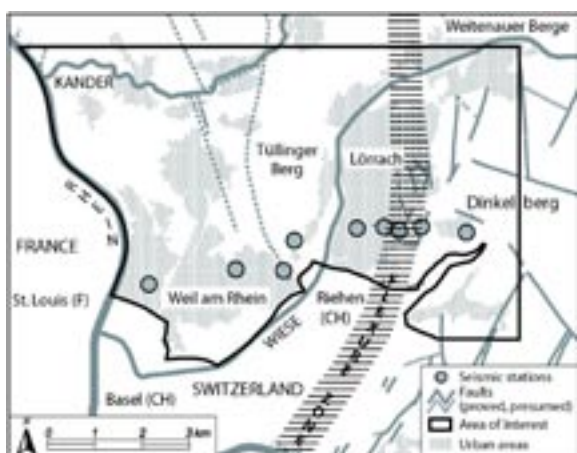


Figure 1: Site map of the area of interest including the position of the flexure zone.

Jaskolla, B., von Steht, M., Ritter, J.R.R. (Geophysikalisches Institut, Universität Karlsruhe)

S-Wellengeschwindigkeit im Stadtgebiet von Bukarest

E-Mail: Beate.Jaskolla@gpi.uni-karlsruhe.de

Im Rahmen des SFB 461 „Starkbeben“ der Universität Karlsruhe wurden im Sommer 2005 in Zusammenarbeit verschiedener deutscher und rumänischer Institute Mikrozonierungsexperimente zur Bestimmung der elastischen Eigenschaften des Untergrundes im Stadtgebiet von Bukarest durchgeführt. Zur Bestimmung der S-Wellengeschwindigkeit bis in eine Tiefe von mindestens 50 m wurde die Methode der Hammerschlagseismik eingesetzt. Die Ausrüstung des Geophysikalischen Instituts der Universität Karlsruhe, die aus einer Geometrics Geode Seismik-Aparatur mit 24 Vertikalgeophonen besteht, wurde mit 24 Horizontalgeophonen der Universität Clausthal ergänzt. Mit dieser transportablen und leicht einzusetzenden Messausrüstung war eine optimale Anpassung an die Bedingungen vor Ort möglich.

In zwei zuvor bestimmten Parkanlagen im Stadtgebiet (Parcul Tineretului im Süden und Parcul Bazilescu im Nordosten von Bukarest) wurden drei bzw. zwei 2-D-Profile mit unterschiedlicher Streichrichtung vermessen, wodurch eine flächige Information entlang der 2-D-Linien gewonnen werden konnte sowie eine Kontrolle der einzelnen Ergebnisse an den Kreuzungspunkten möglich wurde. Für ein bestmögliches Signal-Rausch-Verhältnis und eine Unterdrückung von P-Wellen wurden unterschiedlich polarisierte S-Wellen von mehreren Registrierungen mit dem richtigen Amplituden-Vorzeichen gestapelt. Die gewonnenen Daten dienen der Berechnung von S-Wellengeschwindigkeits-

Tiefenprofilen nach der Berechnungsmethode mit der Interceptzeit für mehrere geneigte Schichten. Die Modelle für die jeweiligen Parkanlagen zeigen durchgängig sehr niedrige S-Wellen-Geschwindigkeiten (140-300 m/s) in den obersten Bodenschichten (bis in 25 m Tiefe), und erst in größerer Tiefe (über 50 m) eine Erhöhung der S-Wellengeschwindigkeit (über 460 m/s im südlich gelegenen Parcul Tineretului und über 660 m/s im nordöstlich gelegenen Parcul Bazilescu). Durch eine Messung der P-Wellengeschwindigkeit entlang eines Profils war ein Vergleich mit der vs Struktur und eine Bestimmung von v_p/v_s möglich. Es zeigt sich, dass die P- und S-Wellen an unterschiedlichen Schichtgrenzen refraktiert werden und dass vor allem ein sehr hohes Poisson Verhältnis von annähernd 0.5 gefunden wird. Ein solch hohes Poisson Verhältnis wurde bereits in früheren Messungen gefunden und deutet auf fluidgesättigte Sedimente im Stadtgebiet von Bukarest.

Sèbe, O. (Geophysical Institute - University of Karlsruhe), Forbriger, T. (Observatorium Schiltach - BFO), Ritter, J. (Geophysical Institute - University of Karlsruhe)

The shear waves velocity underneath Bucharest City from surface waves analysis at the URS broad-band network

E-Mail: Olivier.Sebe@gpi.uni-karlsruhe.de

Today, the concentration of people, infrastructure, goods and sensitive industries in urban areas dramatically increases the seismic risk, even if the seismic hazard is moderate. Consequently, a precise estimation of seismic hazard becomes more and more fundamental in cities. However, due to low signal to noise ratio in urban area, the current assessment of seismic hazard is mainly based on strong motion recordings at accelerometer networks. Although, accelerometer stations are efficient to provide peak ground acceleration (PGA), they are often insufficient to investigate refined characteristics of seismic waves fields from weak motion, specially at low frequency. However such weak motion could also provide useful information concerning the subsurface geology and its related site effects. Bucharest city (Romania) is one of most endangered European cities with more three earthquakes of magnitude 7 or higher per century. In order to better understand the seismic waves in an urban area and its usefulness in seismic hazard mitigation, a network of 32 broad-band stations has been installed in the city of Bucharest within the framework of the CRC 461 "Strong Earthquakes" by the university of Karlsruhe and the National Institute for Earth Physics at Bucharest. It was operated continuously from October 2003 to August 2004 at a sampling frequency of 100 Hz. This urban network provides an unique data set to study the urban seismic wave field properties such as site ef-

fects or the origin of noise. Based on array processing with this urban network, we focus here on the study of regional surface waves in order to recover the shear waves velocity structure underneath Bucharest.

Barth, A., Wenzel, F. (Universität Karlsruhe)

Fault geometry of the 05-12-05 Lake Tanganyika earthquake and its aftershocks

E-Mail: andreas.barth@gpi.uni-karlsruhe.de

On December 5th a strong earthquake occurred on the western branch of the East African Rift beneath the Lake Tanganyika (6.2°S/29.6°E, 20 km depth). The moment magnitude was estimated to M_W 6.8 and thus this earthquake was the strongest one in the East African Rift zone since May 1990 when three major events up to M_W 7.2 occurred within one week. Different agencies (CMT, NEIC) calculated moment tensor solutions and correspondingly estimated one nodal plane with a strike of 150° parallel to the Tanganyika rift and a dip around 40° to 45°. The slip direction was determined differently to -120° and -100° by CMT and NEIC, respectively. The aftershock series included seven moderate sized events (m_b 4.6-5.5, until December 18th), which were located nearby the mainshock.

In this study we compare long period waveforms of several African broadband stations for the main- and aftershocks and perform a moment tensor inversion as far the signal to noise ratio allows it. We use regional stations only (source-receiver distances up to 3000 km), since these provide a high signal to noise ratio even for the aftershocks below m_b 5.0 using long period waveforms. In order to have comparable results we also restrict the data set for the larger events to these regional stations. Used data is provided near-real time by IRIS data center via *BUD* (Buffer of Uniform Data, www.iris.washington.edu/bud_stuff/dmc).

Our inversion shows similar faulting mech-

anisms for the aftershock series compared to the mainshock, due to their nearly congruent low-pass filtered waveforms (Fig. 1). We show fault plane solutions for the different events and discuss the limitations of long period waveform analysis of light events. The mostly normal faulting mechanisms are discussed in the context of other faultplane solution in the region.

LAKE TANGANYIKA REGION

Lat: -6.20 Long: 29.60

Frequency range (Hz): .0100-.0180

Date: 05.12.05 Time: 12:19:55.4

Depth: 25 km

Variance: 0.125 Mw: 6.7

82.6% double couple



Z



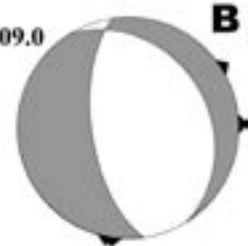
KMBO
57° 1017 km

Date: 06.12.5 Time: 05:53:09.0

Depth: 31 km

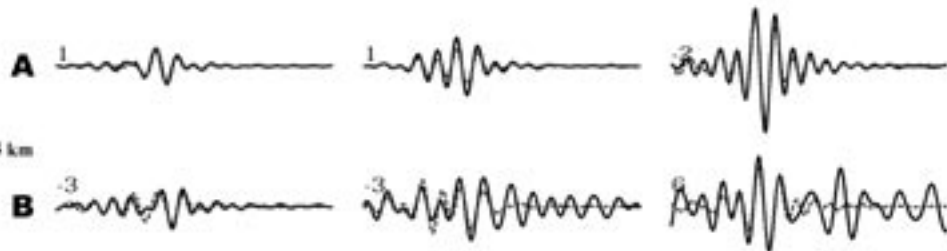
Variance: 0.536 Mw: 5.2

85% double couple



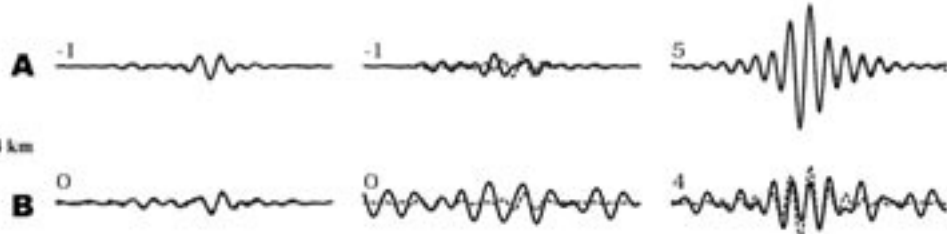
MSEY
88° 2870 km

R



LSZ
189° 1015 km

T



LBTB
191° 2124 km

Figure 1: Result for the moment tensor inversion of the 05-12-05 mainshock (A) and the 06-12-05 aftershock (B) using data of broad band seismometers KMBO, MSEY, LSZ, LBTB. Observed waveforms are shown as solid, synthetic waveforms as dashed lines.

Benn, N., Stange, S., Brüstle, W. (Landeserdbebendienst Baden-Württemberg am LGRB-RP Freiburg), Henk, A. (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg), Stribny, B. (BGR Hannover)

Das Beben von Waldkirch am 5.12.2004

E-Mail: stefan.stange@rpf.bwl.de

In der Nacht zum 2. Advent 2004 erschütterte ein Erdbeben der Magnitude $ML=5.4$ weite Teile Baden-Württembergs, des Elsass und der Schweiz. Dies war seit 1978 (Schwäbische Alb) das stärkste Beben in Baden-Württemberg. Das Epizentrum lag am Kandel bei Waldkirch, einige Kilometer nordöstlich von Freiburg, einem Gebiet, das im Erdbebenkatalog bisher nicht besonders in Erscheinung getreten ist.

Die relativ hohe Lokalmagnitude steht im Kontrast zu einer Momentmagnitude von nur $M_w=4.6$. Mit einer Maximalintensität von VI EMS blieben auch die Auswirkungen unter dem befürchteten Niveau.

In der ersten Stunde nach dem Hauptbeben konnten in St. Peter (7km Epizentraldistanz) 14 Nachbeben wahrgenommen werden. Die stärksten erreichten eine Magnitude von $ML=2.7$. Bis Januar 2005 verzeichnete die Station Kirchzarten (KIZ, 17km Entfernung) ca. 160 Nachbeben ab etwa Magnitude $ML=0.8$. Sehr viel mehr Ereignisse wurden natürlich von den zahlreichen Nachbebenstationen rund um das Epizentrum aufgenommen. Als erste vor Ort waren die Mitarbeiter des Instituts für Geophysik der Universität Stuttgart mit einer Station, die in knapp zwei Tagen Laufzeit um die 500 Ereignisse registrierte. Einen Tag nach dem Hauptstoß installierte auch der Landeserdbebendienst Baden-Württemberg (LED) zwei Stationen; und am folgenden Tag liefen auch noch zwei Stationen des Seismologischen Zentralobservato-

riums (SZGRF/BGR) und 11 Stationen der Deutschen Task Force Erdbeben des Geoforschungszentrum Potsdam. Alle Stationen wurden im Januar 2005 mit Abklingen der Nachbebenaktivität wieder abgebaut.

Ein spätes Folgeereignis fand im Mai mit einer Magnitude von $ML=3.2$ statt. Im August kam es dann noch einmal zum Wiederaufleben der Tätigkeit bis zu einer maximalen Magnitude von $ML=2.4$, begleitet von der Reinstallation einer Station des LED.

Die Herdflächenlösung bzw. der Momententensor des Hauptbebens passen gut in das regionale Spannungsfeld des Oberrheingrabens. Das Hypozentrum liegt aber deutlich außerhalb des Grabenbereichs und auch die prominente Elztalstörung zeigt eine abweichende Streichrichtung. Darüber hinaus tritt aus der Nachbebenverteilung (vor allem durch Relativlokalisierung bestimmt) deutlich die 102° -streichende Herdfläche und nicht die rheinische Richtung als tatsächliche Bruchfläche hervor.

Prinzipiell ist oder war diese Streichrichtung im tektonischen Umfeld aktiv, das Glottertal südlich des Kandels weist eine ähnliche Streichrichtung wie die Herdfläche auf und auch die untertägige Mineralisierungszone im mittelalterlichen Barytabbau von Suggental am Fuße des Kandels zeigt die entsprechenden geometrischen Eigenschaften.

Schon die oben erwähnte Magnitudendiskrepanz zeigt, dass dieses Erdbeben nicht zufriedenstellend mit den üblichen Skalierungsbe-

ziehungen erklärt werden kann. Hier hilft die exzellente Registrierung der Nachbeben mit der Vielzahl von Stationen, die Bestimmungen von Bruchfläche, Bruchgeschwindigkeit, Spannungsabfall etc. zu präzisieren.

Webseite: <http://www.lgrb.uni-freiburg.de>

Häge, M., Hoppe, M., Joswig, M. (Stuttgart, Institut für Geophysik)

Anwendung nichtlinearer Korrelationsverfahren im Zeitbereich für die Ortung der Nachbeben des Waldkirch Bebens vom 05.12.2004

Am 05.12.2004 ereignete sich in der Nähe von Freiburg bei Waldkirch ein Erdbeben der Stärke $M_l=5.4$. Zur Erfassung der Nachbeben wurde vom GFZ/SZGRF und LGRB in den nachfolgenden Tagen ein temporäres Stationsnetz aufgestellt. Zudem wurde ca. 14 Stunden nach dem Hauptbeben ein Seismic Navigation System (SNS) der Universität Stuttgart, bestehend aus einem Kleinarray mit einer Apertur von 150m in der Epizentralregion installiert. Dabei wurden in knapp zwei Tagen ca. 400 Nachbeben erfasst und ausgewertet.

Vorgestellt wird der Vergleich zwischen den absolut zu den relativ lokalisierten Hypozentren, welche mittels eines nichtlinearen Korrelationsverfahrens im Zeitbereich (Dynamic Waveform Matching, DWM) bestimmt wurden. Diese Relativlokalisierungsmethode basiert auf der Bestimmung der Ähnlichkeit zweier Signale zwischen kurzen Zeitfenstern für verschiedene Zeitverschiebungen, was eine Korrelation zwischen Signalen erlaubt die zueinander gestaucht oder gestreckt sind.

Hartmann, G., Schick, A. (BGR Hannover)

Einschätzung des Schadenpotenzials weltweiter Erdbeben

Jährlich ereignen sich global mehr als 1000 Erdbeben mit einer Magnitude größer als 5.0. In verschiedenen Datenzentren auf der ganzen Welt werden diese mit Hilfe automatischer Verfahren schnell lokalisiert, ihre Stärke bestimmt und diese Ergebnisse meist per E-Mail verbreitet. Dem Empfänger solcher Meldungen bleibt es überlassen abzuschätzen, ob ein Beben möglicherweise Sach- oder Personenschäden verursacht. Erst die gezielte Auswahl von potenziell Schaden verursachenden Erdbeben aus der Flut der täglich eingehenden Erdbebenmeldungen rechtfertigt die Alarmierung von Erdbeben-Hilfsdiensten und Lagezentren. Schon Jahre vor dem katastrophalen Sumatra-Erdbeben vom 26.12.2004 hat die BGR begonnen, an verschiedene Einrichtungen routinemäßig Erdbeben-Alarmmeldungen per E-Mail und SMS zu versenden, die auf mögliche Schadenbeben verweisen. Um die Zuverlässigkeit dieser Meldungen weiter zu erhöhen, wurden jetzt weitere Auswahlkriterien hinzugefügt und miteinander kombiniert.

Neben der Stärke des zu bewertenden Erdbebens und seiner Position in einem Gebiet, indem sich schon früher Schadenbeben ereignet haben, werden auch die Bevölkerungsdichte und die Nähe zu größeren Städten für die Entscheidung berücksichtigt. Grundlage ist der aktuelle, hoch aufgelöste Datensatz der „Gridded Population of the World (GPW)“, Version 3. Die Auswahlkriterien wurden für alle Erdbeben ab Magnitude 5.0 im Zeitraum der letzten 10 Jahre bestimmt. Die Schwellenwerte wurden so festgelegt, dass alle Erdbeben mit mehr als 1000 Toten erfasst sind. Insgesamt führt die Anwendung der Auswahlkriterien bei etwa 7% aller in die Analyse einbezo-

genen Erdbeben zu einer Alarmmeldung. Dies entspricht im Mittel einer Meldung in 5 Tagen.

Obwohl eine eindeutige Unterscheidung von Beben mit und ohne Schadenwirkung auf der Basis automatisch bestimmter Herdparameter weder mit seismologischen noch mit statistischen Parametern möglich ist, ist die Reduzierung der Meldungen ein weiterer Schritt, dem Wunsch der Öffentlichkeit nach schneller und zuverlässiger Information über Erdbeben in Bezug auf zu erwartende Auswirkungen besser nachzukommen.

Arroyo, I.G. (SFB574, University of Kiel), Flüh, E. (Leibniz-Institut für Meereswissenschaften), Husen, S. (Swiss Seismological Service), Goßler, J. (SFB574, University of Kiel), Alvarado, G.E. (Instituto Costarricense de Electricidad), Mora, M. (Universidad de Costa Rica)

Characterization of the Central Costa Rican Pacific Seismogenic Zone from an “Amphibious” Local Seismological Network

E-Mail: iarroyo@ifm-geomar.de

The convergent margin along the Middle America Trench off Costa Rica has been the focus of the first stage of the project SFB574 “Volatiles and Fluids in Subduction Zones”, which aims to better understand the processes involved in the exchange of fluids on erosive margins. The central Pacific region of Costa Rica has the highest seismicity rate along this sector of the trench, coinciding with the subduction of rough-relief ocean floor, which includes seamounts and ridges. The area has generated earthquakes with magnitude up to seven in the past, most recently a Mw-6.9 event in 1999 and a Mw-6.4 in 2002. Precise local earthquake locations and detailed knowledge of the three-dimensional velocity structure provide valuable insights into the dynamics and structure of the shallow part of the subduction zones, including the limits and geometry of the seismogenic zone. As part of the project, 23 ocean bottom sensors and 15 land stations were deployed from April to October 2002 in an area where a subducted seamount has been detected. Additional readings from 10 of the permanent stations of the Red Sismológica Nacional (RSN) were included in the database improving the coverage to the expected downdip end of the seismogenic zone. More than 2000 earthquakes were recorded in the target area over the six-month period. Most of the earthquakes originated

offshore, beneath the continental slope and along the plate interface. Fewer were generated close to trench and within the subducting slab. To achieve precise earthquake locations and to serve as an initial model for local earthquake tomography, we derived a minimum-1D model using a very high-quality subset of 262 events with 5004 P-wave arrivals with the lowest reading uncertainty (0.05 s). This model was applied to relocate all recorded earthquakes, and a new subset of 540 events was selected for the 3D inversion of seismic velocities. We present the characteristics of the seismogenic zone based on the tomographic results and precise hypocenter locations, and review the results in the light of heat flow and controlled source seismology data for this area.

Web page: <http://www.sfb574.ifm-geomar.de>

Brüstle, A., Rische, M., Meier, T., Friederich, W., EGELADOS working group, X. (Ruhr Universität Bochum)

Das EGELADOS Projekt - Ein temporäres, regionales, amphibisches Breitband-Stationsnetz in der Südägäis

Untersuchungen der Hellenischen Subduktionszone waren mit den bislang vorhandenen seismologischen Netzwerken nur für großräumige Strukturen oder detailliert nur auf Teilbereiche beschränkt möglich. Die gleichmäßige Stationsverteilung ermöglicht die Untersuchung der Seismizität, der Erstellung tomographischer Modelle und deren Interpretation für die gesamte Hellenische Subduktionszone. Dabei sollen die Schwerpunkte auf flacher Mikroseismik entlang des Forearc und der kretischen See, auf mitteltiefer Mikroseismik in der Benioffzone, und auf der Modellierung und Inversion von seismischen Wellenformen regionaler Erdbeben auf der Grundlage von Wellenstreuung und numerischer Modellierung liegen.

Das Stationsnetz wird in Zusammenarbeit mit mehreren Kooperationspartnern (GFZ Potsdam, Universität Thessaloniki, Nationales Observatorium Athen, Technische Universität Kreta, Universität Hamburg und Technische Universität Istanbul) betrieben. Es erstreckt sich in der südlichen Ägäis vom Peloponnes im Westen bis an die türkische Küste im Osten (W-E: ca. 700 km) und von den Kykladen im Norden bis nach Kreta im Süden (N-S: ca. 500 km). Der durchschnittliche Stationsabstand beträgt ca. 40-70 km (siehe Abbildung 1). Die 30 Ozeanboden- und 45 Landstationen bestehen aus Güralp 60s Seismometern mit 24-bit Aufzeichnungseinheiten des neuen deutschen Pool amphibischer Seismometer (DEPAS). Ergänzt wird das temporäre Stationsnetz durch 7 permanente Breitband-Stationen des GEOFON-Netzes auf Kreta und

auf den Kykladen, sowie durch das, bereits seit 2002 arbeitende, temporäre Kykladen-Netz (CYC-NET; 4 Breitband-Stationen und 7 kurzperiodische Stationen) der Ruhr Universität Bochum. 25 der Landstationen sind mit einem GSM-Modem ausgerüstet, sodass online alle Statusabfragen möglich sind und Daten zu Testzwecken in 1/2std. Blöcken akquiriert werden können. Die gesamten Daten der Landstationen werden im 1/2jahres Rhythmus von den jeweiligen Kooperationspartnern direkt von den Stationen geholt.

Die Installation der 45 Landstationen fand im Oktober 2005 statt. Im Sommer 2006 wird das Netzwerk durch die Installation der Ozeanboden Stationen vervollständigt. Die Laufzeit des Stationsnetzes endet im März 2007. Erste Testdaten ermöglichen eine Abschätzung der zu erwartenden Datenqualität und geben einen Eindruck der Komplexität der Daten.



Abbildung 1: Breitband-Stationsnetz des EGELADOS Projektes

Altmann, J., Heidbach, O. (Universität Karlsruhe, Geophysikalisches Institut), Westerhaus, M. (Universität Karlsruhe, Geodätisches Institut)

3D Finite Elemente Modellierung saisonaler Neigungsänderungen am Vulkan Merapi auf Zentraljava, Indonesien

E-Mail: johannes.altmann@gpi.uni-karlsruhe.de

Zur Überwachung des Vulkans Merapi wurde innerhalb des MERAPI-Projekts ein Experiment zur Messung der Deformation durchgeführt. Hierzu wurden vier Arrays mit jeweils drei Vertikaltiltmetern in Bohrlöchern am Merapi installiert. Die Beobachtung der Deformation einer Vulkanoberfläche infolge von Druckänderungen im Inneren des Berges ist neben Seismizität und Gasbildung ein wichtiger Indikator vulkanischer Aktivität. Die gemessenen Tiltmetersignale zeigen allerdings an allen Stationen starke Störungen durch Regen und Grundwasserstandsänderungen. Zwei Arten von Störungen können unterschieden werden:

1. Kurzperiodische Variationen mit Amplituden von einigen μrad , die einzelnen Regenereignissen zugeordnet werden können.

Diese können durch einen Konvolutionsansatz unter Verwendung lokaler Regendaten aus den Daten entfernt werden.

2. Saisonale Variationen mit Amplituden von 15 bis 90 μrad , die dem allgemeinen Wechsel zwischen Regen- und Trockenzeiten, aber nicht individuellen Regenereignissen zugeordnet werden können. Eine Korrektur dieser Signale mit Hilfe lokaler Regendaten ist nicht möglich.

In der Arbeit untersuchen wir die Hypothese, dass die gemessenen saisonalen Tiltänderungen durch Druckschwankungen im Hydrothermalsystem des Vulkans hervorgerufen werden. Ursache könnte Regenwasser sein, dass in das Hydrothermalsystem eindringt und verdampft. Bei den Modellierungen stehen zunächst zwei wesentliche Fragestellungen im Vordergrund:

1. Sind Vorzeichen und Amplitude der saisonalen Neigungsvariationen durch Druckänderungen in einer zentralen Druckquelle erklärbar? 2. Werden die Signale der Vertikaltiltmeter durch die lokale Topographie beeinflusst?

Zur Untersuchung wird für die Modellgeometrie ein digitales Geländemodell mit einer Auflösung von 15 m des Merapi verwendet. Das Hydrothermalsystem wird zunächst als kugelförmige Druckquelle mit einem Durchmesser von 3500 m angenommen, deren Mittelpunkt in der Tiefe 0 m liegt. Lage und Größe der

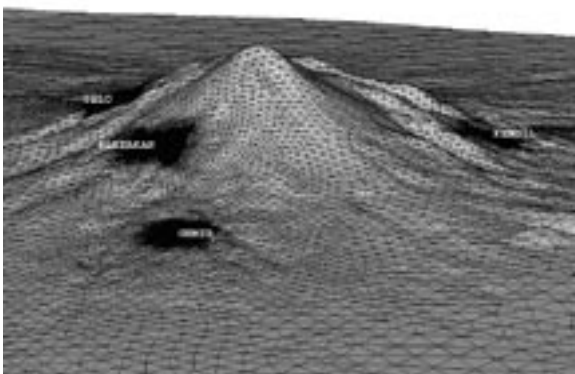


Abbildung 2: FE-Modellgeometrie mit den Stationen Gemer, Kendil, Klatakan und Selo.

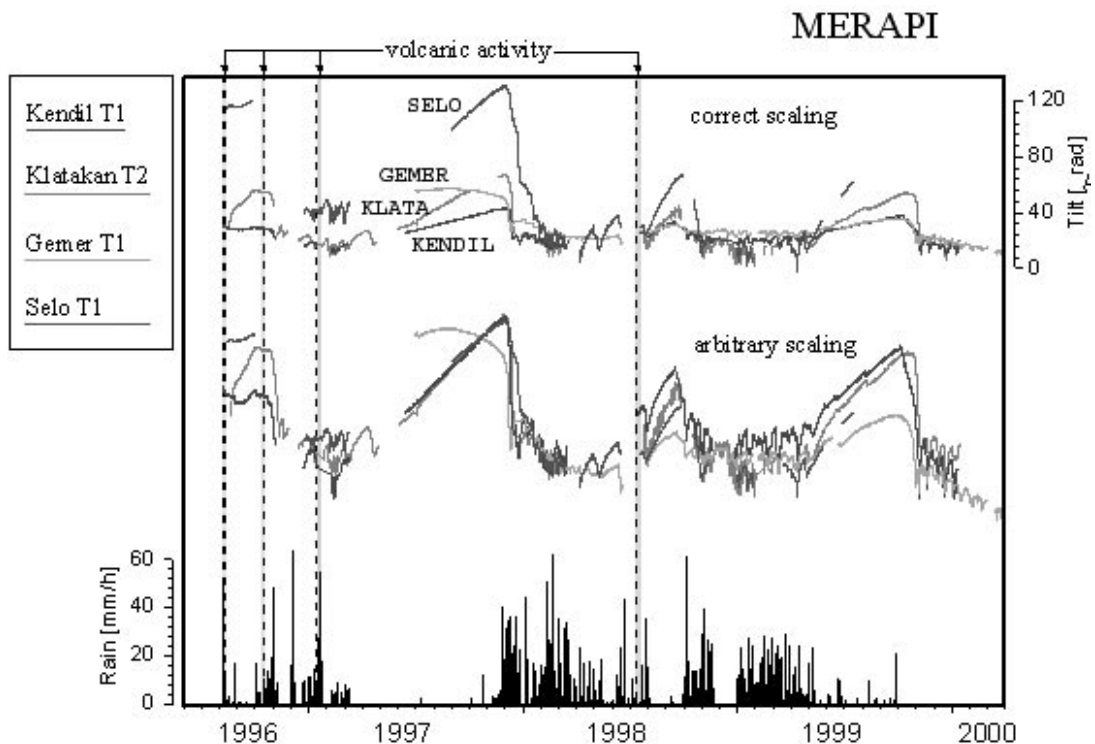


Abbildung 1: Verlauf der Tiltmetersignale an den Stationen Kendil, Klatakan, Gemer, Selo.

Druckquelle wurden an die Ergebnisse seismischer und geoelektrischer Strukturuntersuchungen angepasst. Als Randbedingung wird auf die Druckquelle ein nach außen wirkender, gleichmäßig verteilter Druck von 5 MPa aufgegeben. Das numerische Problem wird mit der kommerziellen Finite Elemente Software ABAQUS gelöst. Die Diskretisierung des Volumens erfolgt mit ~ 700.000 linearen Elementen, mit homogenen linear elastischen Eigenschaften. Aus den modellierten Verschiebungen und Rotationen kann man für die Punkte, an denen die Messstationen liegen, zugehörige Tiltänderungen berechnen. Ein Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Daten bei kugelförmiger Druckquellengeometrie wird diskutiert. Ergebnisse, die sich aus dem Einfluss der Lage der Druckquelle ergeben, werden ebenfalls vorgestellt.

Richter, G. (Universität Potsdam)

Analysis of the meteorological impact on monitoring parameters from Merapi volcano

E-Mail: richter@geo.uni-potsdam.de

Introduction

Triggering of volcanic activity caused by rain events is often discussed in literature (Yamasato et al., 1997, Villemant and Boudon, 1998, Violette et al., 2001, Matthews et al., 2002). At Merapi Volcano (Indonesia) such a triggering mechanism was supposed by Voight et al. (2000) and Friedel et al. (2004) for several historical eruptions. To evaluate the triggering mechanism, the meteorological perturbation of the monitoring parameters has to be taken into account. The presented analysis is based on various data from the monitoring network at Merapi Volcano and rain data from the Global Precipitation Center (GPCC). The longest data sets consist in monthly values which stretch over 19.5 years. Therefore, several volcanic crisis and seasonal changes are observed. Additionally, a detailed but shorter data set with daily resolution or even sampled with up to several Hz enables to deliberate about the different models for the underlying mechanism.

Interaction of the meteorology and the volcanic system

Seismicity is one of the most important monitoring parameters of volcanic activity. A possible mechanism for rainfall induced seismic activity could be pressurisation in the upper most parts of the dome as discussed for Soufriere Hills, Montserrat (Simmons et al., 2004; Matthews and Barclay, 2004; Elsworth et al., 2004) or by tensile stress increase in deeper parts of the volcanic system as

supposed by Violette et al. (2001) for Piton de la Fournaise, Reunion Island.

The list of monthly classified seismic events for the time period 1983 up to present showed no obvious increase or decrease of seismic activity in certain months. This is not surprising as the seven periods of high volcanic activity in the analysed data set are well distributed over the months. The data set from 1995 to 2004 with daily resolution of the mean rain of four observatories around Merapi Volcano and seismic events did as well not show any correlation between the parameters. This can be interpreted that there is no correlation or only a correlation of minor importance. But the length of the data set including only three times of high volcanic activity allow no stable statistic statements. Another point of view on the meteorological influence on the volcanic system is gained by the analysis of continuous records of rain rate, air temperature, air pressure and fumarole temperature data from monitoring stations of Merapi Volcano with higher temporal resolution. This data set reveals that single rain events cause a dramatic decrease in the fumarole temperature. The two fumarole sites react systematically in different ways. One fumarole site (Woro) has a clear hydrothermal buffer signature which is supported by the mean chemical composition, the lower temperature level (ca. 400 °C) and by the reaction on rain events. Here two mechanisms which cool down the temperature can be identified. The first is the 'direct cooling' of the sensor/superficial gas

during rainfall. The second starts after the rain event, can last up to days and can be much bigger than the first. This is most probably the replenishment of the hydrothermal system by the fresh meteoric water. At the second fumarole site (Gendol) of higher temperatures and a minor hydrothermal signature in the chemical composition only the 'direct cooling' is observed.

Additional daily variations can be found in the fumarole temperature data which seem to correlate better to air pressure than to air temperature although the clear 12 hours period of the air pressure is not found in the fumarole temperature. Here the correlation of the two fumarole sites differs as well: Gendol has a clear and dominant 24 hours period whereas Woro only sometimes shows a small 24 hours period. The underlying mechanism is not yet clear.

Conclusions

The correlation analysis of meteorological with monitoring parameters from Merapi Volcano revealed until now no obvious influence of the meteorological parameters on the monitoring parameter seismicity. The correlation between fumarole temperature and the meteorological parameters revealed no reaction which causes a change in the volcanic activity. Although the possibility that volcanic activity can be triggering by meteorological conditions can not certainly excluded. The different models will be discussed.

References

Elsworth, D., Voight, B., Thompson, G. and Young, S.R., 2004. Thermal-hydrologic mechanism for rainfall-triggered collapse of lava domes. *Geology*, 32, 969-972, doi: 10.1130/G20730.1.

Friedel, S., Byrdina, S., Jacobs, F. and Zimmer, M., 2004. J. Self-potential and ground temperature at Merapi volcano prior to its crisis in the rainy season of 2000-2001. *Volcanol. Geotherm. Res.* 134, 149-168.

Matthews, A.J. et al, 2002. Rainfall-induced volcanic activity on Montserrat. *Geophys. Res. Lett.* 29 (13), 1664, doi: 10.1029/2002GL014863.

Matthews, A.J. and Barclay, J, 2004. A thermodynamical model for rainfall-triggered volcanic dome collapse. *Geophys. Res. Lett.* 31, L05614, doi: 10.1029/2003GL019310.

Simmons, J. et al, 2004. Instability of exogenous lava lobes during intense rainfall. *Bull. Volcanol.* 66, 725-734, doi: 10.1007/s00445-004-0353-y.

Villemant, B. and Boudon, G., 1998. Transition from dome-forming to plinian eruptive styles controlled by H₂O and Cl degassing. *Nature*, 392, 65-69.

Violette, S. et al., 2001. Can rainfall trigger volcanic eruptions? A mechanical stress model of an active volcano: 'Piton de la Fournaise', Reunion Island. *Terra Nova*, 13, 18-24.

Voight, B., Constantine, E.K., Siswawidoyo, S. and Torley, R., 2000. Historical eruptions of Merapi Volcano, Central Java, Indonesia. *Volcanol. Geotherm. Res.* 100, 69-138.

Yamasoto, H., Kitagawa, S. and Komiya, M., 1997. Effect of rainfall on dacitic lava dome collapse at Unzen volcano, Japan. *Pap. Meteorol. Geophys.* 48 (3), 73-78.

Gerst, A., Hort, M., Vöge, M. (Institut für Geophysik, Bundesstr. 55, 20146 Hamburg), Kyle, P. (Earth and Environmental Science Department, New Mexico Tech, Socorro, New Mexico 87801, USA)

Die erste Sekunde strombolianischer Eruptionen: Beobachtungen am Mt. Erebus, Antarktis

E-Mail: gerst@dkrz.de

Die in situ Beobachtung vulkanischer Eruptionsdynamik ist nach wie vor eine der großen Herausforderungen geophysikalischer Vulkanologie. Hier ist es insbesondere von großem Interesse, Prozesse möglichst nah am Schlotausgang zu erfassen, da sie dort noch nicht durch atmosphärische Einflüsse verändert wurden. Nur durch die möglichst schlotnahe Beobachtung können so direkt Rückschlüsse auf Transportprozesse im Schlot und den Beginn der Eruption gezogen werden. Die direkte Beobachtung der Oberfläche der Magmasäule ist jedoch nur an wenigen Systemen weltweit möglich, eines davon ist der Mt. Erebus. Er liegt in der Westantarktis am Rande des Ross Eisschelfs, ist 3794 m hoch und ca. 40km Luftlinie von der amerikanischen McMurdo Station entfernt. Oberhalb 3500 m besitzt der Mt. Erebus ein Gipfelplateau, welches in den letzten 22.000 Jahren aus ineinanderverschachtelten phonolitisch-pyroklastischen- und Lavaablagerungen gebildet wurde, was auf eine weit zurückreichende explosive Geschichte schließen lässt. Im Zentrum des Plateaus befindet sich ein ca. 500m breiter und ca. 100m tiefer Hauptkrater. Dieser Hauptkrater wiederum beheimatet einen kleineren ca. 100m tiefen inneren Krater, in welchem sich ein flüssiger, phonolitischer Lava-see befindet, der Anorthoklase als Phenokristalle beinhaltet. Der Durchmesser des Lava-sees war im Dez. 2005 ca. 40m. Dieser Lava-

see, seit 1841 bekannt, ist kontinuierlich aktiv und der hauptsächliche Ursprung der explosiven Aktivität des Mt. Erebus. Er repräsentiert direkt die Oberfläche der Magmakammer.

Im antarktischen Sommer 2005/06 haben wir an der amerikanischen Mt. Erebus Antarktische Expedition teilgenommen, um mit Doppellerradarsystemen die Dynamik der explosiven Aktivität des Mt. Erebus quantitativ zu erfassen. Während der Beobachtungen war die Aktivität im Vergleich zu den letzten Jahren außerordentlich heftig, wobei eine Vielzahl vulkanischer Bomben auch weit außerhalb des Kraterrandes des Mt. Erebus landeten, was den Aufbau des Messsystems verkomplizierte. Während der Beobachtungszeit von mehreren Wochen wurden ca. 50 große Explosionen aufgezeichnet, wobei im Mittel eine Anfangsgeschwindigkeit der durch die Explosion der Gasblase beschleunigten, zum Teil mehrere Meter großen Magmafragmente von ca. 80 m/s beobachtet wurde. Spitzengeschwindigkeiten der 970°C heißen Fragmente lagen deutlich über 150 m/s. Auch deuten die Daten daraufhin, dass die für die Explosion verantwortliche Großblase, welche vor der Eruption im Schlot aufsteigt, sich an der Oberfläche ausdehnt und dann sofort platzt, was einigen theoretischen Modellen widerspricht. Wir zeigen eine erste Auswertung dieser einmaligen Daten und diskutieren verschiedene Implikationen der Messergebnisse. Neben unseren

Radardopplermessungen wurden zusätzlich zu den üblichen Registrierungen der Seismizität und des akustischen Wellenfeldes insbesondere Gas- und Infrarotmessungen durchgeführt, die später mit unseren Beobachtungen korreliert werden können. Eine Multiparameteranalyse der Daten wird mittelfristig das Verständnis des Beginns strombolianischer Eruptionen verbessern.

Postersession B

MG, SM

+ thematisch passende Beiträge aus EM, GD und VU

7.3. und 8.3., 16:00 - 18:00 Uhr in Raum 0150 im SFG

(alle Poster hängen während der gesamten Tagung aus)

Yoon, M., Baykulov, M., Dümmling, S., Brink, H.-J., Gajewski, D. (Hamburg)

New insight into the crustal structure of northern Germany by reprocessing of reflection lines with the CRS stack method

E-Mail: yoon@dkrz.de

Introduction In this paper we present new seismic images of the North German Basin that resulted from intensive reprocessing of industrial reflection data. The data sets were acquired and processed in the 80ies with the main focus on the sedimentary fill of the basin. The focus of the reprocessing was moved to lower crustal structures in order to investigate the influence of old deep rooted processes on the evolution of the Central European Basin System (CEBS). During reprocessing mainly the Common Reflection Surface (CRS) stack method was applied. This method is an entirely data-oriented approach that does not require an explicit knowledge of the macro velocity model (Müller et al., 1998; Müller, 1998). It has already been successfully applied to reflection data from sedimentary basins (Trappe et al., 2001; Menyoli, 2004), but yet it has not been used to investigate the crystalline crust and deeper structures.

Data processing and results The reprocessed seismic reflection lines were located in the western part of the North German Basin. The maximum offset was up to 4.8 km long and the total recording times were about 13 s TWT. The preprocessing consisted mainly of geometry setting, trace editing, noise elimination, muting, frequency filtering and static corrections. Also, predictive deconvolution was applied to one of the profiles. After preprocessing the CRS stack method was applied to the data. The comparison between the CRS stack and the CMP stack of both lines shows

that the CRS stack generally improved the image quality of the sedimentary cover as well as of the internal salt structures. Especially, the visibility of reflections from the crystalline crust and from the Moho was significantly increased. The CRS stack of line 8106 indicates a more or less flat Moho topography along the Glückstadt Graben (Fig. 1). However, this interpretation does not correspond with former observations where the Moho in this area is assumed to increase about 4 km (Bachmann and Grosse, 1989; Brink et al., 1990). This might conflict the current extension model of the Glückstadt Graben. On the other hand, a flat Moho would be in good agreement with the observed flat Moho topography in the DEKORP profiles (DEKORP-BASIN Research Group, 1999).

Conclusion and Outlook The reprocessing improved the seismic image quality. Especially, the visibility of crustal structures and of the Moho were enhanced. Also, the resolution of the internal structure of salt bodies could be improved. First interpretation of the new images implies a flat Moho throughout the Glückstadt Graben area, which stands in contradiction to previous results. However, further processing such as velocity model inversion and pre-stack depth migration is still necessary to confirm the new interpretation.

Acknowledgements We like to thank the German Society for Petroleum and Coal Sciences (DGMK) who kindly provided the seismic data sets.

Literature

Bachmann, G. and Grosse, S. (1989). Struktur und Entstehung des Norddeutschen

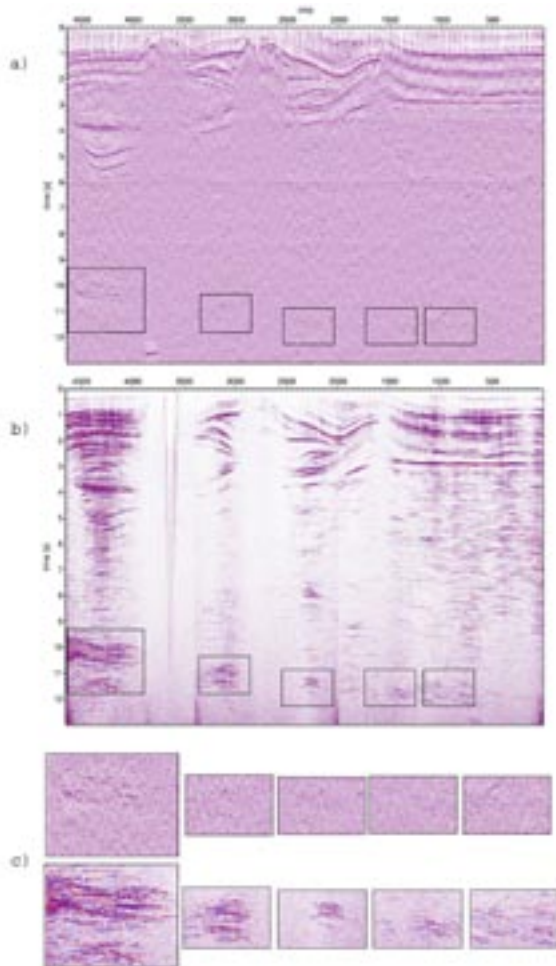


Figure 1: Profile 8106: a) CMP stack. b) CRS Stack. c) Zoom of the Moho reflections. Comparison of the results from conventional CMP stacking and from reprocessing with the CRS method shows an enhanced Moho image below the Glückstadt Graben. It also reveals that the reflection characteristics changes along the profile: The reflections appear stronger and more continuous in the western part below the Glückstadt Graben than in the eastern part of the profile.

Beckens - Geologische und geophysikalische Interpretation einer verbesserten Bouguer-Schwerekarte. *Nds. Akad. Geowiss*, 2:23–47.

Brink, H.-J., Francke, D., Hoffmann, N., Horst, W., and Oncken, O. (1990). Structure and Evolution of the North German Basin - The European Geotraverse: Integrative Studies. Results from the 5th Earth Science Study Centre. *European Science Foundation, Strasbourg*, pages 195–212.

DEKORP-BASIN Research Group (1999). Deep crustal structure of the Northern German basin: New DEKORP-BASIN96 deep-profiling results. *Geology*, 27(1):55–58.

Maystrenko, Y., Bayer, U., and Scheck-Wenderoth, M. (2005). The Glückstadt Graben, a sedimentary record between the North and Baltic Sea in north Central Europe. *Tectonophysics*, 397:113–126.

Menyoli, E., Gajewski, D. and Hübscher, C. (2004). Imaging of complex basin structures with the common reflection surface (CRS) stack method. *Geophys. Jour. Int.*, 157:1206–1216.

Müller, T., Jäger, R., and Höcht, G. (1998). *Common reflection surface stacking method - imaging with an unknown velocity model*. Soc. Expl. Geophys., 68th Annual Internat. Mtg., Expanded Abstracts.

Trappe, H., Gierse, G., and Pruessmann, J. (2001). The common reflection surface (CRS) stack - structural resolution in time domain beyond the conventional nmo/dmo stack. *First Break*, 19:625–633.

Heincke, B., Jegen-Kulcsar, M. (Kiel, IFM-Geomar), Hobbs, R. W. (Durham, UK, University of Durham)

Joint inversion of 2-D seismic travel time tomography, MT and gravity data to resolve structures below a basalt cover

E-Mail: bheincke@ifm-geomar.de

In sedimentary structures the reflection seismic technique is extremely powerful to obtain high-resolution 3-D images from the subsurface and is by far the most important method to discover and evaluate potential hydrocarbon reservoirs.

However, conventional seismic reflection technique may fail in sediments that are overlain by a basalt layer as for example in the northern part of the North Sea. In this case, seismic energy is strongly scattered at the top of the basalt layer and little or no energy penetrates into sub basalt layers. This missing complementary information may be derived from gravity and magnetotelluric (MT) measurements. The high density of basalt has a relatively large impact on gravity anomalies. Basalt is transparent to electromagnetic waves due to its high resistivity, but the low electrical resistivity of the sub basalt structure affects the MT data. Unfortunately, both methods are characterized by a larger degree of non-uniqueness such that it is impossible to derive unambiguously sub-basalt structures, if the different data sets are processed and inverted separately.

To obtain more detailed information from such sub-basalt structures, which are potential undiscovered hydrocarbon reservoirs, we chose an approach in which we jointly invert seismic tomography, MT and gravity data. To evaluate the potential of such an approach, we tested our joint inversion technique on a 2-

D model, which was developed to represent a typical geological situation of basalt cover structure in the North Sea within the framework of the EC project "SIMBA".

As input data for the joint inversion, the first arrival times of the p-waves were calculated for 4000 shot-receiver combinations. Thereby, the shot-receiver configuration is comparable to a streamer fixed behind a vessel. Moreover, the response of several gravity and MT stations were determined along the 2-D profile. Because of the non-linearity of the seismic tomography, the joint inversion problem was solved iteratively and damping and smoothing constraints prevented instabilities. In contrast to the seismic and gravity modeling, the response of the MT data is modeled only one-dimensionally, because 2-D calculation of all resistivity perturbations would be too time-consuming. In a first stage we assume that the different properties (seismic velocity, density, electrical resistivity) are linked by means of fixed relationships. Commercial drilling data from the Vøring basin located offshore between Norway and Faeroe Islands suggests that fixed relationships between these physical properties are adequate approximations for the real conditions in the northern North Sea. However, in the next stage we plan to exchange our inversion strategy with fixed parameter relationships with a more flexible one that relates parameters by statistical measures.

The first results from the synthetic data

demonstrate that a joint inversion is able to give an adequate estimate of the thickness and shape of the basalt layer and partly resolve sub basalt structures. None of the individual inversions (seismic, gravity or MT) provides such information.

Suhr, W. (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), Bohlen, T. (Technische Universität Bergakademie Freiberg)

Validity of acoustic waveform inversion for elastic media

E-Mail: wsuhr@geophysik.uni-kiel.de

Maximum information on the subsurface elastic properties can be derived if full seismic waveforms are used in the inversion process. Therefore, seismic waveform inversion is superior to the inversion of a specific wavefield property, e.g. traveltimes inversion. Improved velocity models with higher spatial resolution can be derived. Today in many cases acoustic forward modelling is performed during the inversion process (e.g. Pratt, 1999). However, when working with real geophone data this is an approximation since also

S-waves are included in the coda of the direct P-waves. In complex media also the waveforms of the direct P-waves may suffer from multiple P-S-conversion/scattering along the wavepath.

The goal of this paper is to evaluate the validity of the acoustic approximation for complex elastic media. We test the validity of the acoustic approach for three different models: (1) a high velocity inclusion, (2) a low velocity inclusion and (3) a random medium. All models exhibit maximum velocity variations of approximately 40 %.

We calculate both the acoustic and the elastic responses (seismograms) using a time-domain staggered grid FD method (Bohlen, 2002). The P-wave velocities are inferred by acoustic waveform inversion, which is performed in the frequency domain. By comparison of the inverted models, we evaluate the validity of the acoustic assumption. For the inversion we apply the widely used acoustic frequency domain implementation by G. Pratt (1999). We used a homogeneous starting model for the inversion because the traveltimes residuals for the homogeneous starting model are already less than half of the dominant period of the direct wave (no cycle-skip problem).

In our tests we assume the cross-well acquisition geometry depicted in Figure 1. Distance between the source and receiver lines is 80 m corresponding to approximately 10 wavelengths at the dominant frequency of 250 Hz. The inversion is performed for

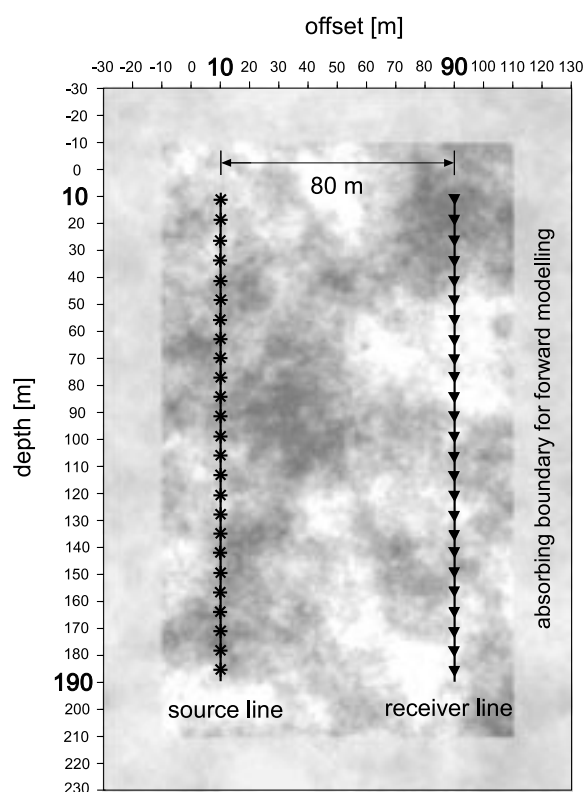


Figure 1: Cross-well acquisition geometry

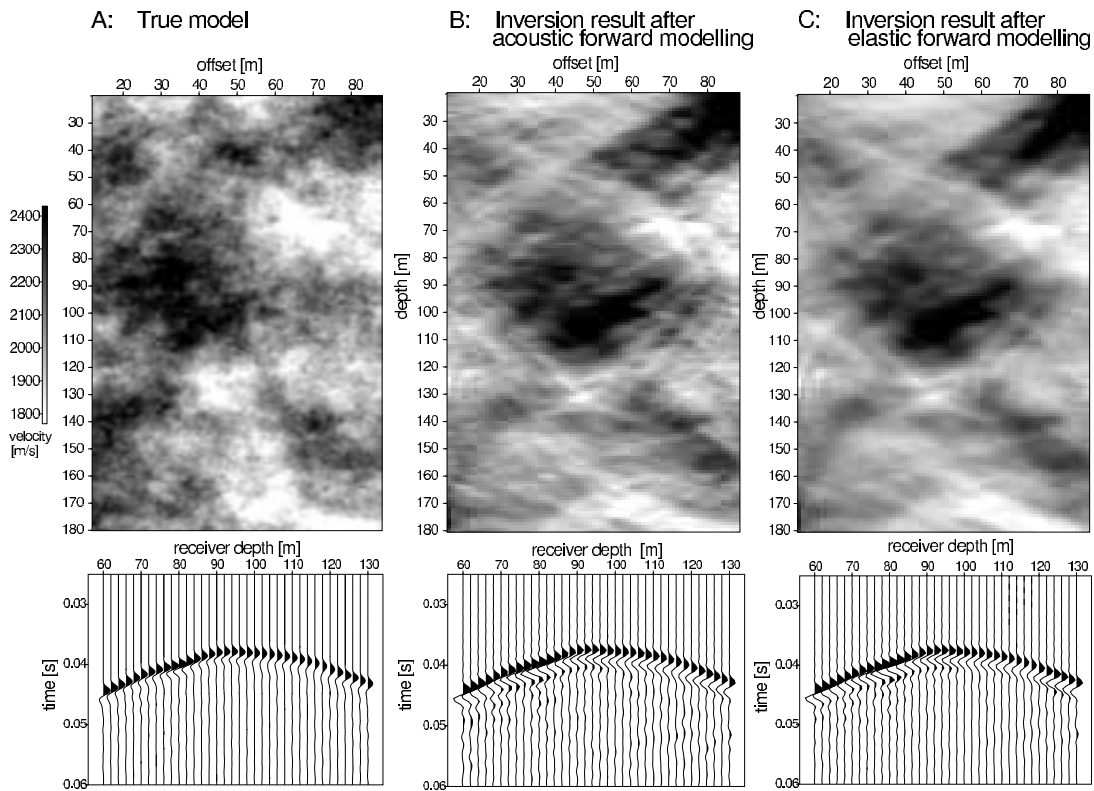


Figure 2: Random model: True model (A), inversion result of acoustic data (B), inversion result of elastic data (C). Resolution is less than the dominant wavelength (8 m)

frequencies between 40 and 500 Hz.

The inversion results for the acoustic and elastic data for the inclusions are similar. One can thus conclude that the acoustic approximation seems to be a good one for single elastic inclusions (either high or low velocity inclusions), in which only single scattering occurs.

For the random media model with multiple scattering, however, the inversion results differ (Figure 2). The resolution of the acoustic model is superior to the elastic model. The reason is probably multiple P- to S-wave scattering of the direct pulse leading to amplitude fluctuations which cannot be accomplished by an acoustic inversion.

References:

Bohlen, T., 2002, Parallel 3-D viscoelastic finite-difference seismic modelling, *Computers@Geosciences*, 28 (8) pp. 887-899.
 Pratt, R.G., 1999, Seismic waveform inversion in the frequency domain I - Theory and verification in a physical scale model: *Geophysics*, 64, 887-900.

Günther, D., Zöllner, H., Schikowsky, P. (Universität Leipzig)

Analyse von multiplen Reflexionen in seismischen CDP-Daten und Möglichkeiten ihrer Unterdrückung

E-Mail: danielguenther@onlinehome.de

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms 1135 „Dynamik sedimentärer Systeme unter wechselnden Spannungsregimen am Beispiel des zentral-europäischen Beckens“ werden im Projekt RERIK reflexionsseismische Offshore-Daten aus der Mecklenburger Bucht bearbeitet und interpretiert. Multiple Reflexionen erschweren dabei jedoch erheblich die Interpretation der migrierten Zeitschnitte im Mesozoikum und Präzechstein.

Es wurden Untersuchungen der Mehrfachreflexionen mit den in ProMAX implementierten Methoden durchgeführt und anschließend drei unterschiedliche Verfahren auf einen synthetischen Datensatz angewandt. Das erstellte Modell orientierte sich dabei an den geologischen Gegebenheiten im Gebiet RERIK. Für die Berechnung der synthetischen Spuren wurde die reale Messkonfiguration (max.

Offset: 2500m, Kanalabstand 50m, Schussabstand 50m) verwendet.

Moveoutunterschiede der Laufzeithyperbeln von Primär- und multiplen Reflexionen wurden ausgenutzt, um Multiple zu identifizieren und anschließend mittels zweidimensionalem Filter zu unterdrücken. Diese Filter wurden zum Einen nach Fouriertransformation der Daten in den $f-k$ -Raum erstellt, wo Reflexionsereignisse mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten voneinander getrennt werden können. Dabei wird ausgenutzt, dass Multiple meist eine niedrigere Geschwindigkeit besitzen als Primäre bei entsprechender Zweiweglaufzeit.

Zum Anderen wurden Filter verwendet, die nach Radontransformation im offsetabhängigen $\tau-p$ -Raum erstellt wurden. Hier können die Mehrfachreflexionen durch Moveoutunter-

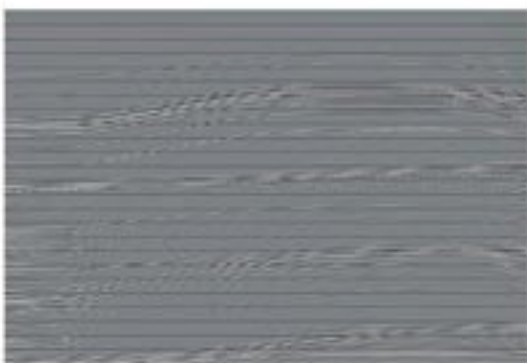


Abbildung 1: Synthetische Daten mit Multiplen

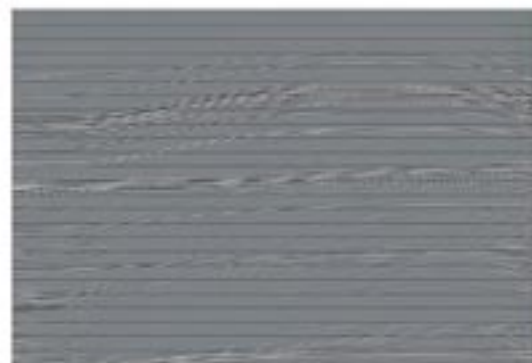


Abbildung 2: Synthetische Daten nach Multiplenunterdrückung mit Surface-related wave equation multiple rejection

schiede zwischen Laufzeithyperbeln von den reellen Reflexionen getrennt werden.

Als dritte Möglichkeit zur Multiplenunterdrückung wurde Surface-related wave equation multiple rejection eingesetzt, ein Verfahren, welches synthetische Seismogramme für vorgegebene, digitalisierte Horizonte modelliert. Damit werden Oberflächenmultiple errechnet, die sich aus den Originaldaten eliminieren lassen. Für diesen Weg wurde durch zusätzliche Processingschritte, die fehlerhafte Multiplenvorhersagen entfernen, noch eine deutliche Verbesserung erreicht.

Um die einzelnen Methoden zu quantifizieren wurden Signal-Rausch-Verhältnisse berechnet, indem RMS-Amplituden reeller Reflexionen zu denen von Multiplen ins Verhältnis gesetzt wurden.

Im Ergebnis zeigt sich, dass die beste Unterdrückung mit dem Verfahren der oberflächengebundenen Multiplenvorhersage erreicht werden konnte. Im Falle von nur schwach geneigten Reflektoren ergeben sich auch mit den anderen beiden Verfahren zufriedenstellende Ergebnisse.

Die an den synthetischen Daten gewonnenen Erkenntnisse wurden anschließend auf die realen Daten angewandt.

Jokisch, T., Müller, C., Rabbel, W., Wölz, S. (Kiel, Inst. für Geowissenschaften, Abt. Geophysik)

Das Amplitudenverhalten von flachmarinen Seebodenmultiplen bei konstantem Quell-Empfänger Abstand

E-Mail: jokisch@geophysik.uni-kiel.de

Bei einer Voruntersuchung im Rahmen des SEAMAP-3D Projektes (siehe Beitrag auf dieser Jahrestagung) wurden Ende Oktober 2004 mit einer Einkanal-Apparatur flachmarine seismische Messungen auf dem Bordesholmer See in Schleswig-Holstein durchgeführt. Der Abstand des Hydrophons zum Boomer, der bei der Messung benutzten elektrodynamischen Quelle, wurde dabei konstant gehalten. Die aufgezeichneten Daten weisen aufgrund der geringen Wassertiefe von ca. 3m und der dazu relativ langen Aufzeichnungsdauer von 100 ms eine große Anzahl von Seebodenmultiplen auf. Der überwiegende Teil des Meeresbodens führte freies Gas, welches eine verminderte Eindringung seismischer Wellen in den Untergrund verursachte und die Amplituden stellenweise verstärkt.

Die Multiplen zeigen darüber hinaus eine deutliche Abhängigkeit der Amplitude von Raum und Zeit. Dabei verändert sich die Amplitude der Multiple in lateraler Richtung und mit der Multiplenordnung in einer Art, die sich nicht ohne weiteres erklären lässt. Die Amplitude nimmt nicht grundsätzlich zu höheren Multiplenordnungen ab, sondern teilweise sogar zu. Ebenso werden starke laterale Variationen der Multiplenamplituden beobachtet, die nicht direkt mit den Änderungen in der Amplitude der primären Reflexion korrelieren.

Wir haben verschiedene Ansätze verfolgt, um das Amplitudenmuster zu erklären. Dabei wurde, neben einfachen Überlegungen zum

Amplitudenverhalten bei einem ebenen Seeboden, ein analytisches Modell zur Modellierung der Amplituden bei einem geneigten Seeboden gesucht. In diesem Fall ist die analytische Beschreibung der Strahlverläufe ungleich komplizierter, da die Multiplen updip aus dem Bereich zwischen Quelle und Empfänger herauswandern.

Es fand sich ein einfaches Modell, bei dem die Berechnung der Einfallswinkel der verschiedenen Mehrfachreflexionen an der Wasseroberfläche und an dem geneigten Reflektor über die Bildpunktmethod erfolgt. Aus den Einfallswinkeln wurden mit Hilfe der Zoeppritzgleichung die effektiven Reflexionskoeffizienten der unterschiedlichen Multiplen abhängig von der Entfernung des Punktes berechnet, an dem Reflektor und Messebene aufeinander treffen. Das so berechnete Amplitudenmuster zeigt eine, von der Ordnung der Multiplen und dem kritischen Winkel abhängige Verschiebung des Höchstwertes der Reflexion. Bei qualitativer Betrachtung zeigt sich, dass diese Verschiebung von der Änderung der Einfallswinkel der jeweiligen Multiplen an Quelle und Empfänger abhängen. In bestimmten Fällen kann diese Verschiebung dazu führen, dass die Amplitude mit zunehmender Amplitudenordnung nicht absondern zunimmt; einer der Effekte, die es zu erklären galt.

Eine weiterführende, genauere Untersuchung des Phänomens mit Hilfe von numeri-

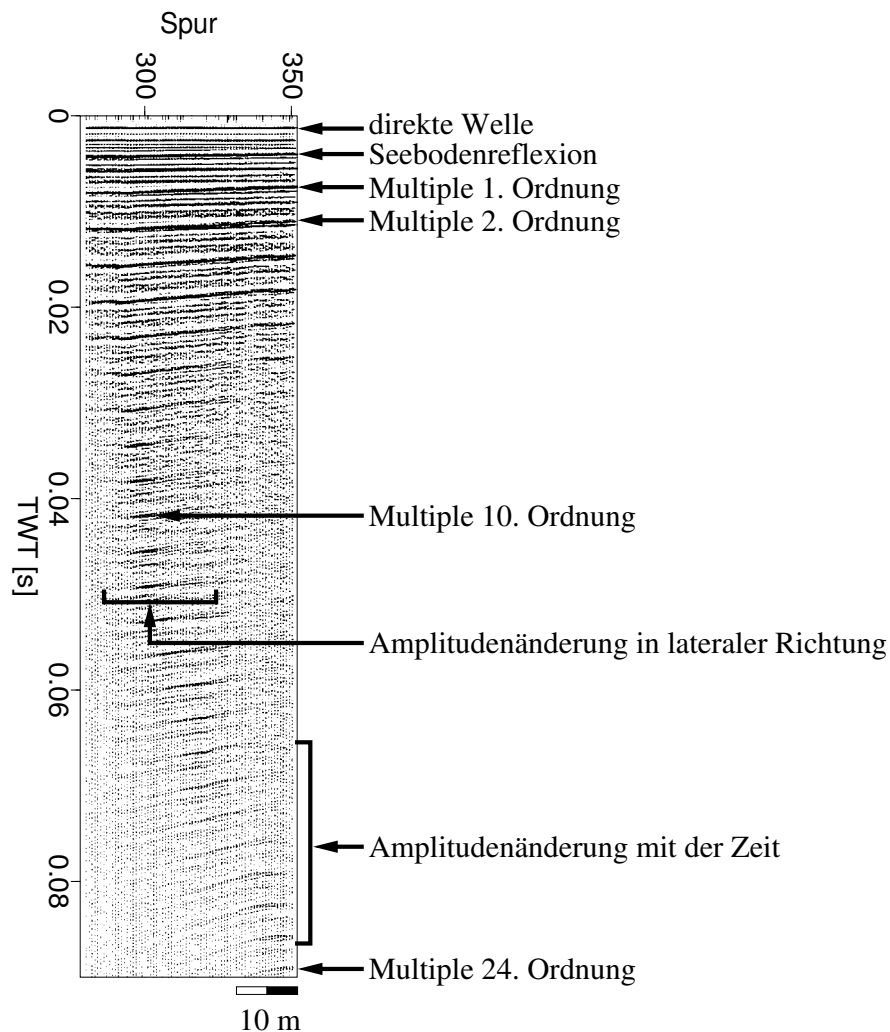


Abbildung 1: Seismogrammmontage der Schüsse 280-350 des Profils 9 der im Text beschriebenen Messung. Die Daten sind nur um den geometrischen Ausbreitungverlust korrigiert. Die Pfeile bezeichnen die Einsätze der direkten Welle, der reflektierten Welle und die Multiple erster, zweiter, 10. und 24. Ordnung. Weiter sind Beispiele für die Amplitudenänderung in lateraler Richtung und für die Amplitudenänderung mit der Zeit markiert.

schen Modellierungen ist daher durchaus interessant. Auch wäre eine Inversion der Multiplen bezüglich der elastischen Parameter des Meeresbodens denkbar. Eine AVO-Analyse, wie sie in der mehrkanaligen Streamerseismik angewendet wird, wäre dann mit dem ge-

ringen technischen Aufwand einer Einkanal-Apparatur durchführbar.

Literatur: Sarrafian, G. P. (1956): A marine seismic model. *Geophysics*, **21**(2), 320-336.

Webseite: <http://www.seamap-3d.de>

Wichert, S., Helwig, S.L., Tezkan, B. (IGM Köln), Rüter, H. (HarbourDom, Köln)

Oberflächennahe Reflektionsseismik mit einem Vibrationsstampfer

E-Mail: wichert@geo.uni-koeln.de

In den letzten zwei Jahrzehnten wurde die hochauflösende Reflektionsseismik ein wichtiger Bestandteil der Erkundung des oberflächennahen Teils des Erdbodens. Ziel ist dabei eine hohe vertikale und horizontale Auflösung der geologischen Strukturen in geringen Tiefen (bis zu einigen hundert Metern). Dies erfordert jedoch Messanordnungen mit vielen Geophonen (um sowohl die Auflösung als auch die Erkundungstiefe zu gewährleisten) als auch den Einsatz einer seismischen Quelle, die hochfrequente, breitbandige Signale anregen kann. Andererseits dürfen solche Erkundungen aber auch nur mit geringen Kosten verbunden sein, da z.B. Bohraufschlüsse in diesem Tiefenbereich relativ kostengünstig sind. Schließlich spielen noch Beschränkungen im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit eine zunehmend stärkere Rolle. Um all diesen Anforderungen zu entsprechen, musste die seismische Ausrüstung einerseits immer kompakter und beweglicher werden, andererseits setzten sich, im Gegensatz zur klassischen sprengseismischen Anregung, in der oberflächennahen Reflektionsseismik sprengstofflose Quellen durch. Auflösung und Eindringtiefe einer seismischen Messung stehen in direkter Beziehung zur Energie und zum hochfrequenten Anteil des Frequenzspektrums der Signalquelle. Steigt jedoch die freigesetzte Energie des seismischen Impulses, so sinkt gleichzeitig der hochfrequente Anteil des Spektrums. Dieses Problem kann umgangen werden, wenn die erforderliche Energie nicht in einem einzigen Im-

puls freigesetzt wird sondern in einer Serie schwächerer Impulse.

Das Mini-Sosie-Verfahren (M. G. Barbier 1983) macht sich diesen Umstand zunutze: Die Anregung erfolgt in einer Serie von Impulsen, die Gesamtzeit der Impulsfolge ist dabei deutlich größer als die Laufzeit der tiefsten Reflexion während das Zeitintervall zwischen den einzelnen Impulsen deutlich kürzer ist. Zahl und Abstand der Impulse werden dabei so gewählt, dass die Autokorrelation der Impulsfolge im wesentlichen ein Zentralpeak ist, umgeben vom sog. Korrelationsrauschen, dessen Amplitude unterhalb des Rauschniveaus liegt. Durch Kreuzkorrelation der Geophonda-



Abbildung 1: Wacker BS 600 Vibrationsstampfer mit angeschlossener Sensorbox.

ten mit dem Anregungssignal werden die sich auf den Geophonspuren zunächst noch überlappenden Antworten auf die einzelnen Impulse gestapelt, so dass man am Ende ein Seismogramm erhält, das die Antwort auf einen einzelnen Impuls mit der kombinierten Energie aller eingegangenen Einzelimpulse darstellt.

Das Mini-Sosie-Verfahren wird bereits intensiv angewendet (z.B. in Australien). Die verwendeten Apparaturen sind jedoch in der Regel recht teuer. Im Gegensatz dazu wird für diese Betrachtungen ein konventioneller Vibrationsstampfer der Firma Wacker (Typ BS 600) verwendet. An diesem wurde ein Beschleunigungssensor zur Aufzeichnung der Anregungsimpulse angebracht, der so ausgelegt ist, dass die gesammelten Daten über eine Funkstrecke direkt auf einem Notebook (über USB-Schnittstelle) aufgezeichnet werden können. Die ganze Sensorik ist so konstruiert, dass sie schnell und einfach an einem beliebigen Stampfer befestigt werden kann, so dass eine kostengünstige, einfach zu handhabende Messausrüstung entsteht.

Mittlerweile wurden Messungen mit einer 24-Kanal-BISON-Apparatur in der Nähe von Bendorf/Heimbach am Rhein durchgeführt, bei denen ein Vergleich der Daten des Vibrationsstampfers mit konventioneller Hammer-schlagseismik erfolgte. Parallel dazu wurde ein Programm entwickelt, welches die automatische Aufbereitung (Peaksuche, Korrelation, etc.) der Messdaten bereits im Feld ermöglicht, um direkt vor Ort eine Abschätzung der Datenqualität machen zu können und die Daten für die Weiterverarbeitung mit gängigen Seismik-Programmen (z.B. REFLEX) bereitzustellen.

Bussat, S., Kugler, S., De Nil, D., Bohlen, T. (Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)

Starke Polarisationsanomalien und jahreszeitliche Variationen bei Messungen mit Ozean-Boden-Seismometern

E-Mail: sbussat@geophysik.uni-kiel.de

In der Tromper Wiek (Rügen, Ostsee) wurden in den letzten Jahren sechs Airgun-Messungen mit Ozean-Boden-Seismometern (OBS) an gleicher Lokation durchgeführt. Beim Vergleich dieser Datensätze zeigten sich starke jahreszeitliche Veränderungen im angeregten Wellenfeld. Deutliche Polarisationsanomalien (SH-Wellen hoher Amplitude) können auf allen Profilen (verschiedene Azimuthe) beobachtet werden, obwohl weder stark geneigte Schichten noch Steukörper im Messgebiet bekannt sind. Einige Beobachtungen werden vorgestellt und diskutiert:

Die Abbildung 1 zeigt sowohl eine ausgeprägte Polarisationsanomalie in Form der angeregten Love-Welle (Quelle in der Wassersäule!) als auch eine deutliche Amplitudenvariation der Scholte-Welle und ein Verschwinden der Love-Welle in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Die Auswertung aller Daten deutet derzeit auf einen sich ändernden Meeresboden hin. Meeresbodenrippeln konnten nur im März 2003 beobachtet werden. Wie stark der Einfluß der Rauigkeit des Meeresbodens ist, konnte jedoch noch nicht abschließend durch Modellrechnungen quantifiziert werden.

Saisonal unabhängig sind die hohen Amplituden der SH-Wellen auf der Transversal(T)-Komponente (Abbildung 2). Das mit 2200m/s zeitreduzierte Common-Receiver-Gather (CRG) zeigt in T eine refraktierte P-Welle, die zu einer SH-Welle konvertiert ist. Die vom

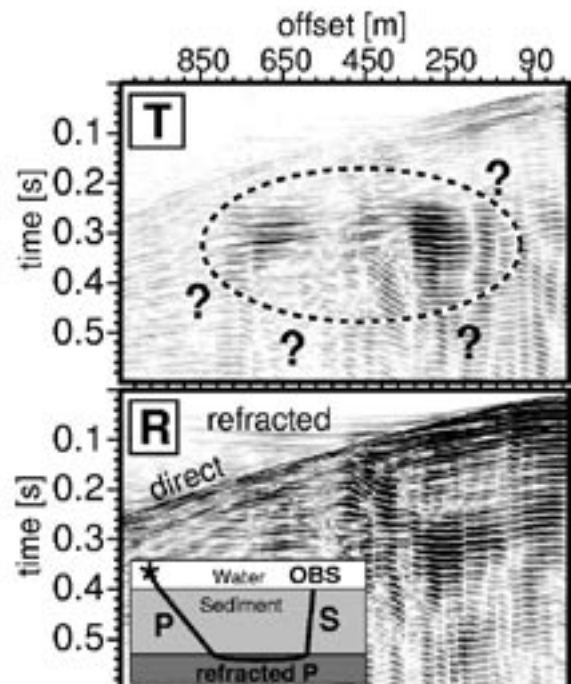


Abbildung 2: SH- und SV-Wellen abstrahlende refraktierte P-Welle in der Transversal(T)- und Radial(R)-Komponente im zeitreduzierten (2200m/s) CRG einer OBS-Messung. Des Weiteren ist der Strahlenverlauf dieser Welle skizziert.

Azimuth unabhängige Beobachtung solcher Wellen könnte auf eine Polarisationsdrehung (Gyrotropie) der abgestrahlten SV-Wellen im geschichteten Glazialsediment schließen lassen.

Eine weitere Beobachtung jahreszeitlicher Variation zeigt die Abbildung 3. Beim rauen Meeresboden im März 2003 scheint die durch

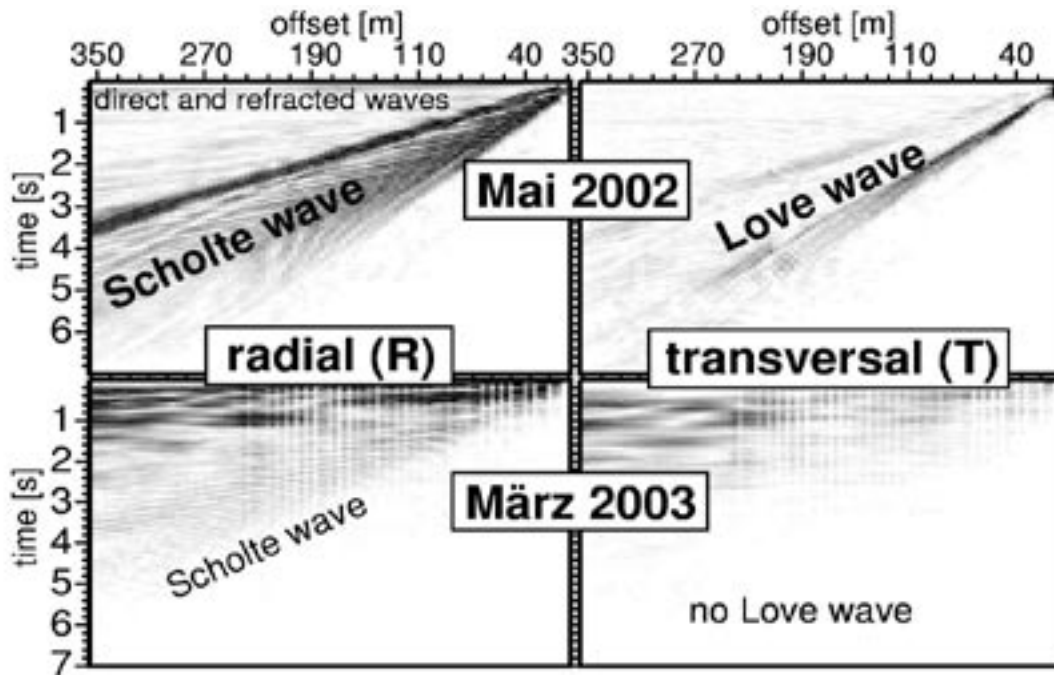


Abbildung 1: Jahreszeitliche Variation der Anregung von Scholte- und Lovewellen am Meeresboden

die refraktierte P-Welle abgestrahlte S-Welle am Meeresboden eine geführte Welle in der Wassersäule anzuregen, die eine vergleichbar hohe Amplitude wie die direkte Welle aufweist. Bei der vorliegenden Wassertiefe von 20 m kann eine Wasser-Multiple diesen Effekt nicht erklären.

Zur Ursachenfindung werden neben dem Einfluss von Quelle, Empfänger und Sediment auch die Rauigkeit des Meeresbodens sowie der meteorologische Einfluss diskutiert.

Wir danken der WTD 71 Kiel für die finanzielle Unterstützung und die sehr gute Zusammenarbeit bei den Seemessungen.

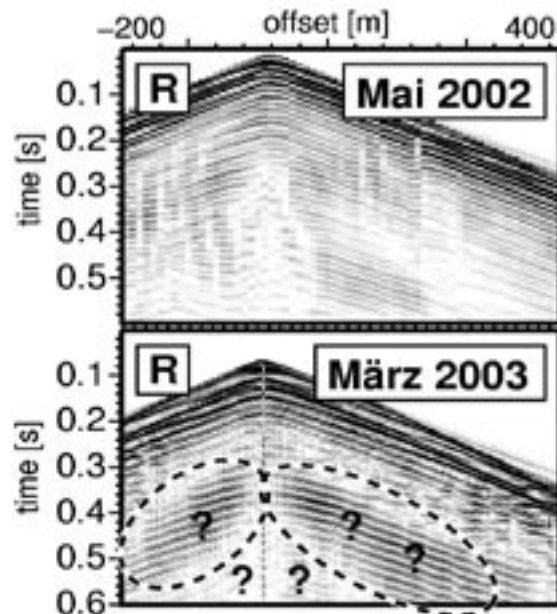


Abbildung 3: Saisonale Anregung einer zweiten, zeitversetzten, in der Wassersäule geführten Welle.

Bussat, S., Kugler, S., Bohlen, T. (Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel)

Anregung von Scholtewellen durch Schiffe - Auswertung zeitlich kontinuierlicher Signale

E-Mail: sbussat@geophysik.uni-kiel.de

Zur Bestimmung von Scherwellengeschwindigkeiten flachmariner Sedimente werden zunehmend Messungen von Grenzflächenwellen am Meeresboden (sog. Scholtewellen) durchgeführt. Die Scholtewellen werden dabei aktiv mit Hilfe von Airguns angeregt und mit Ozean-Boden-Seismometern (OBS) registriert. In dieser Arbeit untersuchen wir, ob auch das fahrende Schiff selbst Scholtewellen mit ausreichender Amplitude anregt und auf welche Weise die zeitlich kontinuierlichen Signale des Schiffes ausgewertet werden können. Wir analysieren den Doppler-Effekt, die Partikelbewegung sowie das Abklingverhalten der Signale mit der Entfernung.

Doppler-Analyse: Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Wellen, die durch die zeitlich kontinuierlichen Signale des Schiffes angeregt werden, können durch eine Doppler-Analyse bestimmt werden. Diese Methode setzt voraus, dass das Schiff mit konstanter Geschwindigkeit über das OBS gefahren ist. Für die Auswertung wird die mehrere Minuten lange Registrierung in zwei Teile (Fahrt auf das OBS zu und vom OBS weg) zerlegt und fouriertransformiert. Zwischen den beiden Amplitudenspektren können Frequenzverschiebungen vieler diskreter Frequenzpeaks gemessen werden (Abbildung 1a). Bei bekannter Schiffsgeschwindigkeit sind mit diesen Frequenzverschiebungen die Berechnungen der Ausbreitungsgeschwindigkeiten des gemessenen Wellenfeldes

möglich.

Die frequenzabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit der verschiedenen Scholte-Moden ist im Messgebiet der Tropmer Wiek (Rügen) bereits gut bekannt und im Phasenlangsamkeits(p)-Frequenz(f)-Spektrum in Abbildung 1b mit den aus der Doppler-Analyse gewonnenen Langsamkeiten dargestellt. Für diskrete Frequenzen ist es gelungen, nachzuweisen, dass das Forschungsschiff ebenfalls Scholtewellen anregt. Des Weiteren konnten die Phasenlangsamkeiten für verschiedene Moden mit hoher Genauigkeit bestimmt werden.

Hodogramme: Da die Fundamentalmode und die höheren Moden der Scholtewelle in den Airgun-Registrierungen zeitlich separiert sind, ist durch den Vergleich der Partikelbewegungen von Airgun- und Schiffssignalen eine Interpretation der vom Schiff angeregten Moden möglich. Es zeigt sich z.B., dass bei einer Frequenz von 8 Hz die in den Schiffssignalen beobachtete Partikelbewegung sehr gut mit der Bewegung der höheren Moden übereinstimmt (Abb. 2). Die Fundamentalmode der Scholtewelle ist bei dieser Frequenz anscheinend nicht durch das Schiff angeregt worden.

Abklingverhalten: Scholtewellen und Raumwellen unterscheiden sich im Allgemeinen durch einen unterschiedlichen geometrischen Ausbreitungsverlust und damit durch ein unterschiedliches Abklingen der Amplituden mit der Entfernung (offset). Es stellt sich die Frage ob dieser Effekt dazu

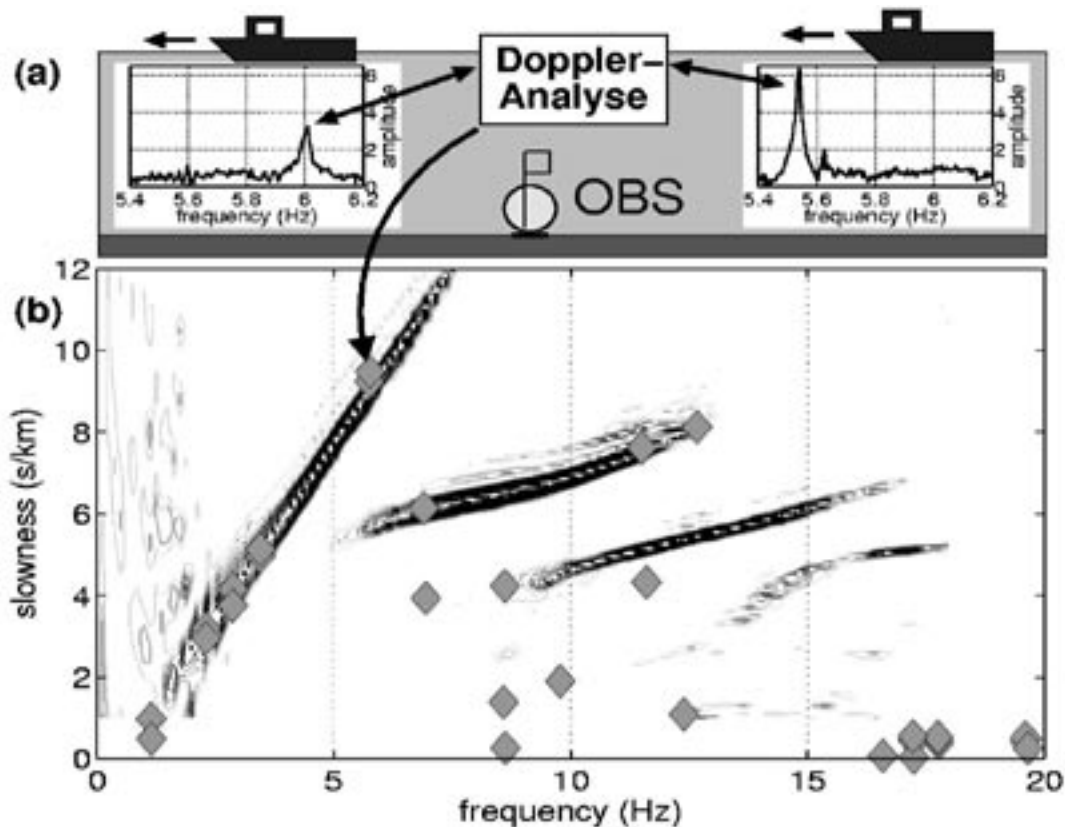


Abbildung 1: Prinzip der Auswertung zeitlich kontinuierlicher Signale mittels Doppler-Analyse (a) und Vergleich der Ergebnisse mit einem pf-Spektrum aus Airgun-Daten (b).

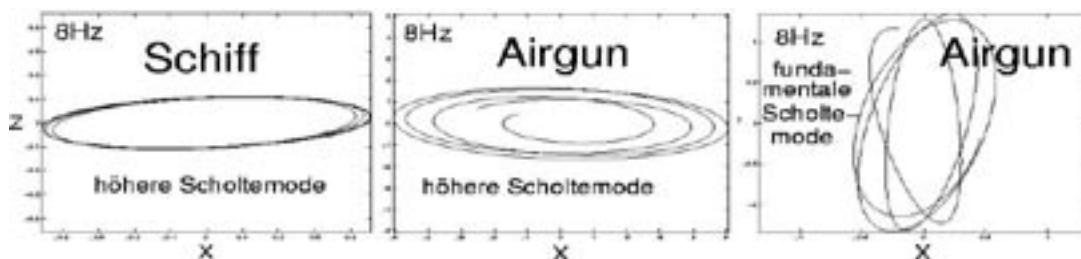


Abbildung 2: Vergleich von Hodogrammen von Airgun-Daten und zeitlich kontinuierlichen Signalen des Forschungsschiffes.

genutzt werden kann, Scholtewellen und Raumwellen in den zeitkontinuierlichen Schiffssignalen zu trennen. Zu diesem Zweck wurde das Abklingverhalten bei verschiedenen Frequenzen ausgewertet. Die berechneten Spektrogramme zeigen zum Teil ein deutlich

unterschiedliches Abklingen der Amplituden von Scholtewellen und Raumwellen.

Wir danken der WTD 71 Kiel für die finanzielle Unterstützung und die sehr gute Zusammenarbeit bei den Seemessungen.

De Nil, D. (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), Bohlen, T. (Technische Universität Bergakademie Freiberg)

On the existence of fast Rayleigh waves

Every now and then the idea arises that it would be nice, to measure fast Rayleigh waves associated with the additional roots of Rayleigh's equation in polynomial notation. These roots are not associated with Rayleigh waves (e.g. De Nil, 2001). Accordingly there should not be any additional free Rayleigh waves in a homogeneous half-space, which might be measured. However, when modeling elastic waves in a homogeneous solid half-space excited by a point source at the surface or interface to a liquid half-space, we often observe a leaky surface wave sim-

ilar to a Rayleigh and Scholte wave, respectively. These waves are propagating with the speed of a 'forbidden' wave and radiating energy into the half-space(s) like a 'forbidden' wave. They have been observed by Roth and Holliger (2000) in field data and occur in time-space domain (Roth and Holliger, 2000; Bohlen, 2002; Zhu et al., 2004) and frequency-wave-number domain (Wang, 1999) modeling, similarly. For simple cases analytical solutions exist (Roth and Holliger, 2000; Zhu et al., 2004). These waves may contribute significantly to the near field in active and passive seismology especially in cases with high Poisson's ratio.

A plausible explanation for their occurrence is that neither in field nor in our discrete numerical models sources are ideal point sources exactly at an interface. Thus, the condition that there are no waves arriving from the half-space is not admissible. Additional solutions of the dispersion relation caused by these waves connect Malischewsky's (2000) results with those of Roth and Holliger (2000) and Zhu et al. (2004). They allow describing the propagation characteristics by relatively simple formalisms.

Fig. 1 shows the complex phase slowness of the additional leaky Rayleigh wave in a half-space with free surface as function of Poisson's ratio. Figures 2 to 4 show seismic sections and time-slices of a 2D-example of a wavefield in a half-space with a compressional wave velocity of 1600m/s and a shear wave velocity of 400m/s resulting in a Rayleigh wave velocity of 380m/s and a velocity of the additional, damped surface wave of 834m/s.

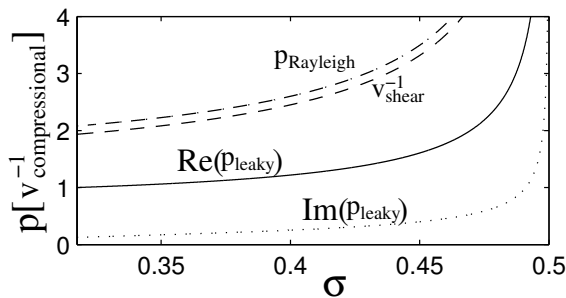


Figure 1: Horizontal slowness as function of Poisson's ratio.

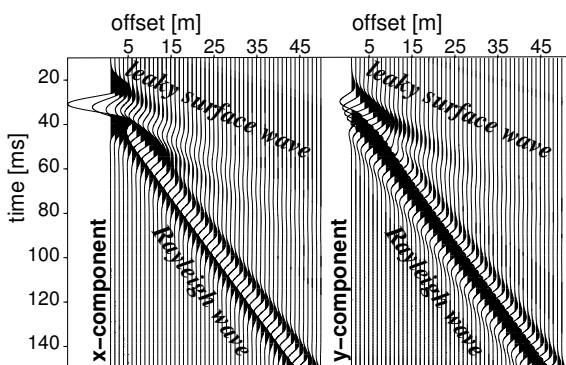


Figure 2: Shot-gathers of horizontal and vertical component of particle velocity.

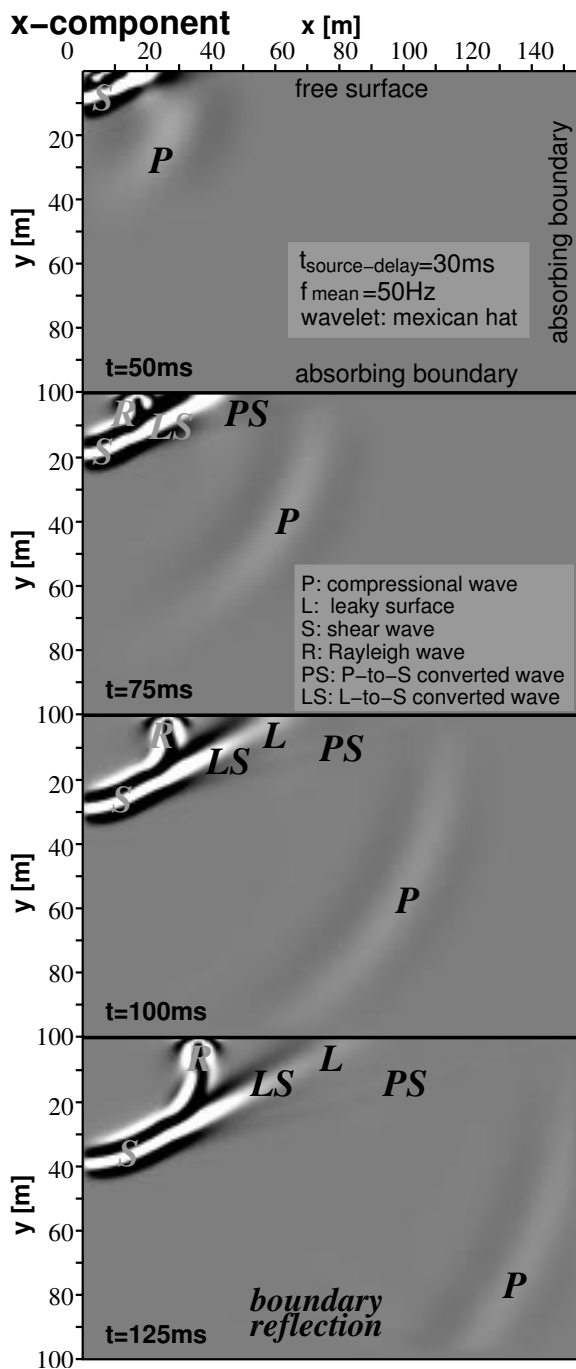


Figure 3: Time-slices of the horizontal component of the right half of the model.

References:

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

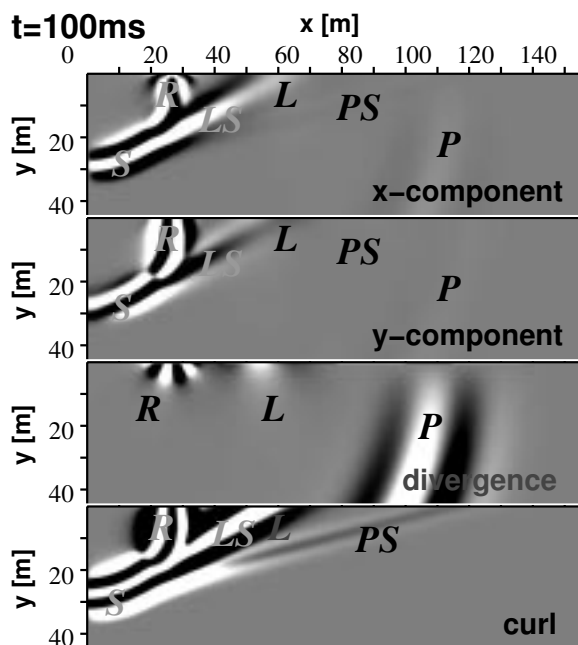


Figure 4: Time-slice at 100ms of the horizontal (x) and vertical (y) component, divergence and curl; compare Fig. 3.

ces, 28 (8) 887-899

D. De Nil (2001), Theoretical and numerical studies on surface wave propagation, Diplomarbeit, Ruhr-Universität Bochum

P. Malischewsky (2000), Some special solutions of Rayleigh's equation and the reflections of body waves at a free surface *Geofísica International*, 39 (2), 155-160

M. Roth and K. Holliger (2000), Thenon-geometric PS wave in high-resolution seismic data: observation and modelling, *Geophysical Journal International* 140, F5-F11

R. Wang (1999), A simple orthonormalization method for stable and efficient computation of Greens' functions, *Bulletin of the Seismological Society of America* 89 (3), 733-741

J. Zhu, J. S. Popovics und F. Schubert (2004), Leaky Rayleigh and Scholte waves at the fluid-solid interface subjected to transient point loading, *Journal of the Acoustical Society of America*, 116 (4), 2101-2110.

Klein, G., Kläschen, D., Reston, T.J. (IFM-GEOMAR, Kiel), Westbrook, G. (University of Birmingham), Mjelde, R. (University of Bergen), Pinheiro, L.M. (University of Aveiro)

Swath-Seismic method applied to 3D seismic

E-Mail: gklein@ifm-geomar.de

The swath-seismic method is designed to map subsurface structures across large areas of the continental margins in relatively short acquisition time. The aim is to bridge the gap between widely spaced 2D seismic lines and slow and expensive 3D seismic surveys. With the Swath-Seismic method we obtain a subsurface area coverage corresponding twice the depth of the target, e.g. about 20 times the width of a conventional 3D spread with a single sail line in deep water. This is achieved by using an areal distribution of seismic receivers as seismic antenna and seismic processing and imaging of the back-scattered seismic energy from prominent sub-surface targets. Such targets include the top of the basement and rotated fault blocks formed during continental rifting, distribution of lava flows in volcanic margins, and BSRs, diapirs and other fluid-related structures across continental margins. These structures are usually only mapped by widely spaced 2-D seismic profiles and thus their detailed structure and their inventory are poorly known.

From synthetic testing of the processing algorithm we show that no issues of concern arise from the positioning of the seismic antenna nodes, namely streamer fathering and swell affecting the array. The resolution of the imaging method is not significantly degraded by uncorrected systematic displacement of array nodes due to swell or currents.

This is confirmed by applying the swath-seismic method to conventional exploration

and high-resolution 3D seismic data. Exploration seismic data acquired with 6 parallel streamers is subject to aliasing due to large streamer separation of 100m. However, shallow backscattering objects provided sufficient energy to be imaged with the swath-seismic method despite of the ill-conditioned acquisition parameters. Additional geometry processing was not required. The second data set of a high-resolution 3D survey acquired with 8 parallel single-channel streamers at 10m separation. While the aliasing problems are mostly avoided with this configuration the omni-directional receiver pattern is not granted. Data driven geometry processing with GPS information from para-wings was applied without further requirements/use of telemetric systems of the individual streamers. The swath seismic method provides comparable/superior images of the highly variable seafloor topography compared to conventional 3D(Kirchhoff) migration images. Thus we demonstrate that inexpensive geometry tracking and processing is sufficient for the application of the swath-seismic method and the images are comparable or superior to conventional migration methods, despite of the non-ideal acquisition parameters.

These results can be much improved with an acquisition system of individual hydrophone nodes at close spacing with large cross-line extend.

<http://ifm-geomar.de/index.php?id=swathseis>

Buddensiek, M.L., Krawczyk, C.M., Kukowski, N., Oncken, O. (GFZ Potsdam)

Seismic Imaging of Scaled Sandbox Models

E-Mail: maikeb@gfz-potsdam.de

Analogue sandbox modeling is applied to study geological processes and to provide qualitative and quantitative insights into specific geological problems. In nature, the structures, which are simulated in these sandbox models, are e.g. imaged using seismic methods. In the study presented here, we combine both methods by developing a seismic imaging technique adapted to scaled sandbox models. The long-term objective of this approach is two-fold, aiming at 1) seismic and seismological imaging of both static and actively deforming 3D analogue models, and 2) the assessment of the transferability of model data to field data to improve field data acquisition and interpretation according to the addressed geological problem. For this purpose, the first laboratory experiments study the seismo-elastic properties of porous and other media to assess the possibilities and limits of seismic imaging of small-scale structures in analogue models.

The seismic experiments are conducted in a water tank of 1 m x 1 m x 0.4 m size that is filled with layers of saturated sand simulating a geological structure on cm-scale. For better seismic coupling, the tank is filled with water after the model has been sieved and saturated. Piezoelectric transducers are used as ultrasound sources and receivers. They have a frequency range of 1 kHz to 10 MHz. The transducers are lowered into the water, and step motors move them horizontally within the tank according to any given source-receiver geometry. Thereby, seismic profiles can be recorded at any position across the model,

comparable to 3D marine seismic surveys. Depending on the velocity of the material, source frequencies up to several MHz allow for a very high-resolution (mm-scale) imaging of the model. However, if the resolution is close to the grain size (GZ), the grains cause scattering effects and attenuation, so that the signal-to-noise ratio is impaired. Models with grains <0.4 mm and a source frequency of 250 kHz produce a reasonably good data quality.

To determine the possibilities and limits of our apparatus in imaging geological structures, our first experiments are kept very simple. A variety of source-signal frequencies is applied to different two-layer models, and the seismic response analyzed. The seismically penetrated models vary in layer thickness, material combination (e.g. water-saturated sand of different grain sizes and resin-saturated sand) and/or material densities. First results show that reflections of an interface between uncompacted GZ<0.6 mm sand and the denser, compacted GZ<0.4 mm sand can be picked in the seismic sections. From Sherlock's (2001) sandbox experiments, we know that the small dilation between sand grains generated by shearing causes reflections. Thus, we expect to be able to image geologic models containing 2-3 layers of different densities and a few shearing structures with our apparatus. The experiments presented here are analyzed with respect to the seismic response as a function of layer thickness, material density contrast, and source frequency. This will support the design of future

sandbox models to resolve specific structures systematically.

Huhn, K., Kock, I., Kopf, A.J. (Bremen, DFG-Forschungszentrum Ozeanränder)

Comparative numerical and analogue shear box experiments and their implications for the mechanics along the failure plane of landslides

E-Mail: khuhn@uni-bremen.de

A thorough understanding of processes occurring at the basal shear zone of gravitational mass movements is fundamental to understand why some submarine slopes destabilize while others do not. Failure occurs if applied forces which are acting to produce shear exceed the resisting force or the shear strength of a potential basal shear zone embedded in the slope material. Shear strength of granular materials is derived from a number of primary factors, such as sediment/mineral composition, texture, humidity, or pore fluid effects. While mineral composition and texture/porosity are directly linked to parameters such as coefficient of friction (μ) or cohesion (C), other factors are transient and less easily identified and quantified. It is now widely accepted that slope destabilization is closely related to the presence of mechanically weak layers (such as clays), a rapid increase of pore pressure, or a combination of them. However, it is yet unclear to which extent each of them contributes.

Therefore, our studies focus on how sediment composition and material properties (in particular humidity, fluid saturation) control the shear strength of clay-rich sediments. We combine standard analogue soil mechanical tests with numerical shear box experiments using a new simulation technique in geosciences - the Discrete Element Method which based on a granular model approach (for more details see I. Kock and K. Huhn).

Both experimental settings supplied comparable results of coefficient of friction for dry

'sediments' under low (normal stress = 5MPa) vertical load. In all dry experiments: numerical as well as analogue, a typical strain hardening behaviour characterized by a gentle increase of coefficient of friction with strain propagating to a mean friction value could be observed. However, numerical experiments provided much lower coefficients of friction compared to analogue shear tests for dry 'sediments'. Only an increase of humidity or fluid saturation caused a decrease of friction in natural materials. Thus, pore fluids are essentially to describe the significant low coefficient of friction of clay sediments. In particular illite requires a much higher fluid concentration to reach lowest friction coefficients compared to smectite which is much more sensitive to humidity.

In addition, numerical tests delivered also a direct interaction between position of tabular 'clay' particles in the material matrix with the location of shear planes. 'Clay' determined directly the position of localized deformation. In addition, an increase of 'clay' minerals results in a smoother deformation behaviour in both experimental settings proofing the dominant key function of the 'clay' matrix. Hence 'clay' minerals can be identified as control parameter for the deformation behaviour and they govern the mechanics of sediments at continental slopes.

Both geotechnical and numerical shear box experiments revealed the presence and in particular the concentration of clay minerals (at

least 30 %) as most important factor controlling the shear stability of sedimentary materials. Thus, failure of continental slopes required the existence of clay rich layers embedded in the slope sediments. However, fluid saturation, an effect which is maximised in clays, is elementary for friction values less than 0.3. Added humidity or aqueous fluid cause (μ) to decrease by a factor of 4 in the analogue tests.

Summarizing, only combination of both simulation techniques enables to classify frictional stability by regarding sediment composition, texture, and pore fluid concentration. This will bring us a step closer to understand the trigger mechanisms and to assess the risk of instability of continental slopes on one hand. On the other hand it enables an improvement of both experiment configurations and interpretations.

Lohrmann, J., Kukowski, N., Krawczyk, C.M., Oncken, O. (GFZ Potsdam)

Kinematics and mass transfer of subduction channels in fore-arc wedges - A comparison of scaled sandbox experiments with geophysical data

E-Mail: jo@gfz-potsdam.de

Tectonic material transfer in subduction zones is nearly entirely effected through the so-called subduction channel. The subduction channel is a narrow zone between the upper and the lower plate in which material consisting of trench deposits, fragments detached from the upper plate (by subduction erosion), or detached from the top of the downgoing plate at depth is transported. The impact of various mass-transfer modes and flow patterns on the internal architecture of fore-arc wedges and on their vertical surface movements, is only poorly understood so far.

With a series of scaled sandbox experiments, we investigated the mass-flux patterns at the interface of convergent plates, with emphasis on the upper (brittle) part of subduction channels. Analysis of the particle displacement field integrated over short time periods shows that both types of simulated subduction channels (accretive and those exhibiting subduction erosion) are characterized by episodically active thrusts (roof thrusts) at the top and a continuously active basal detachment. The short-term material flux reveals a complex temporal and spatial variability in the active mass-transfer processes within the subduction channel, and is particularly influenced by the activity of fore-arc structures (e.g. reactivation of backthrusts or duplexes). In the subduction channel, the localization of deformation also shows temporal and spatial fluctuations, which range from periodic kinematic cycles to unpredictable, apparently chaotic be-

haviour involving the activation and reactivation of shear zones. However, the location of the roof thrusts and their reactivation pattern during the periodic cycles are indicative of mass-transfer modes of subduction erosion and accretion. In contrast to the short-term observations, the long-term material flux integrated over one kinematic cycle exhibited diagnostic patterns for the location of sediment accretion and subduction erosion. The series of accretive experiments shows that the combination of several parameters (initial wedge thickness, absence/presence of upper-crustal structures, and depth-dependent softening of the top of the subduction channel) can cause the same bulk effect in the upper plate (i.e., the migration of the centre of uplift as an indicator of the position of rearward accretion). This experimental result precludes the determination of controlling parameters in nature.

We demonstrate that comparison of the subduction channel-related structures detected in the sandbox experiments with the structures of the accretive south-central Chilean fore-arc (37°- 38°S) and the north Chilean fore-arc (21°- 24°S), which has been a site of long-term subduction erosion, is possible, when the restrictions of the analogue experiments (strongly idealised set-up and simplified material behaviour) and observational methods for nature (observation time window, spatial resolution) are taken into account. We show that the differences between analogue models simulating subduction channels in both set-

ups can be applied to distinguish these end-member types of subduction channels in nature. In contrast to the data from the analogue simulations, the reflection seismic profiles and the seismological data only reveal the geometry of the currently active subduction channel, which might have fluctuated over time. The results imply that subduction channels in nature could have a particle-velocity pattern at least as complex as those seen in the analogue experiments.

Ding, F. (RCOM), Spieß, V., Zühlsdorff, L. (RCOM, Universität Bremen)

Reconstruction of growth fault movement patterns at Middle Valley, Juan de Fuca Ridge

E-Mail: dingfeng@uni-bremen.de

During R/V Sonne Cruise SO 149 in summer 2000, Multichannel seismic, sediment echosounder and bathymetric data had been collected from the southeastern part of Middle Valley, Juan de Fuca Ridge, to investigate sediment accumulation, recent tectonic activity and hydrothermal venting systems in an active spreading center. Large sediment volumes of terrestrial origin from the coastal mountain ranges of North America cover young oceanic crust, and typical processes are there affected by a thick sedimentary seal. Furthermore, massive and rapid turbiditic sedimentation interacts with neotectonic faulting, resulting in unique fingerprints of these processes in the sediment column.

Within the study area, which had also been the target area of ODP drilling legs 139 and 169, a grid of high frequency GI-gun multichannel seismic lines was processed, described and interpreted. The final FK migrated profiles image a thick sediment section with well traceable reflectors and a set of clearly defined large offset faults. Various bright events are also present in the data set with seismic signatures distinctive from each other.

This work is focused on several large offset faults in the west part of the study area. These faults cause large displacement cutting deep into the sediment units while having almost no expression on the modern seafloor. Stratigraphic observations argue that they could comprise two stages of activities: they started as pre-sedimentary faults and continued to move as syn-sedimentary faults.

Within the sediment package deposited during the faults syn-sedimentary stage, the sediment reflectors show dense spacing (< 10 ms TWT). These reflectors can be generally correlated across these faults, and the vertical displacements of the reflectors caused by the faults can also be picked. With such displacements as input, a method was developed in this study to reconstruct the vertical displacement history of one syn-sedimentary fault into fine time steps. What the result really suggests is subject to several uncertainties, such as highly unconstrained sedimentation rate history and sedimentation mechanisms. But it does indicate the syn-sedimentary fault movement is not constant through time. Although the fault age could be less than 160 ka, several more active fault movement periods can be recognized. Such movement style could further indicate the movement pattern of oceanic crusts faulting if these faults are really controlled by crust displacements.

Antobreh, A. A., Krastel, S. (RCOM, University of Bremen)

Failure mechanisms and controls on slide mobility of the Mauritania Slide Complex inferred from Parasound and high-resolution MCS data.

E-Mail: antobreh@uni-bremen.de

Recently acquired Parasound sediment echosounder and high resolution multi-channel seismic reflection data have afforded a more detailed characterisation of the Mauritania Slide Complex than previously reported. The slide has affected an area in the order of 34,000 sq. km lying between the upper slope and the rise, and hence ranks as one of the major slides on the NE Atlantic margin. The ovate-shaped slide displays a long run-out distance of more than 300 km as a result of higher sediment flow mobility induced in its northern parts by bounding canyon systems and the Cape Verde Rise. In addition, widespread diapiric growths may have enhanced quicker disintegration of overlying weaker contouritic deposits as well as pre-existing slide material, thus contributing to increased sediment flow mobility. The headwall scars commonly occur as a series of steps in seafloor morphology ranging between 25 - 100 m high and within 600 - 2000 m water depths. This characteristic of the headwall and the fact that the slide was released in an area of low slope inclination, generally less than 2 deg., suggest retrogressive modes of sediment failure. The data interpretation indicates that the sediment failures were facilitated by widespread weak layers during slide formation events. The presence of several vertically stacked debris flow deposits separated by well-layered sediment intervals revealed within the internal structure of the slide indicates that the stages of slide development have been characterised by multiple failure events. Excess pore pressures, resulting from decayed organic matter and / or sea level rise, appear to be the most important trigger mechanism for slide formation. Slide development following a major slide event may have been significantly modified by later minor instability events which involved the remobilization of pre-existing debris flows as well as translational sliding induced by underlying diapiric growths. The combined activities of these destabilizing factors are the most likely cause of the complex morphology of the Mauritania Slide Complex.

Berger, D., Jokat, W. (AWI)

Der Kontinentalrand Ostgrönlands: Glaziale Sedimentstrukturen in der norwegisch-grönländischen See zwischen 72°N und 75°N

Die Ausdehnung des grönländischen Eisschildes während des Plio/Pleistozäns ist für Ostgrönland weitgehend unbekannt. Es kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Zeitraum weite Bereiche des heutigen Schelfgebietes wiederholt durch Gletscher erodiert bzw. geformt wurden. Die heutige Bathymetrie zeigt insbesondere in den Fjorden markante Tröge, die wahrscheinlich durch schnell fließende Eisströme geformt worden sind. Hinweise für die Intensität und Häufigkeit der Glaziale kann indirekt über seismische Daten am Ostgrönlandhang abgeleitet werden. Wie auch an anderen glazial überprägten Schelfgebieten wurde der Schelf durch die glaziale Sedimentation erheblich vorgebaut.

Ein Vergleich mehrerer seismischer Profile, die im Jahr 2003 erfasst wurden, zeigt dass der Vorbau des Schelfgebietes von Nord nach Süd abnimmt. So sind die progradierenden Sequenzen auf dem nördlichen Profil (AWI-20030390) in einem Bereich über ca. 75 km sichtbar (bis CDP 8600), doch auf dem Profil (AWI-20030350) erstreckt sich diese glaziale Struktur nur über einen Weitenbereich von ca. 38 km. Während im Süden des Messgebietes zwischen den Glazialen noch hohe Sedimentationsraten zu erkennen sind, sind die *Topsets* der nördlichen Profile durchgehend erodiert. Dies weist für diesen Bereich entweder auf eine stärkere glaziale Erosion oder geringere Sedimentationsraten zwischen den Erosionszyklen hin.

Während der Bearbeitung der Daten zeigte

sich, dass die Geschwindigkeitsmodelle sehr komplex sind. So ist der glazial überprägte Schelfbereich nicht nur in der Sedimentstruktur erkennbar, sondern auch die Informationen aus der Geschwindigkeitsanalyse lassen darauf schließen. Der Geschwindigkeitsgradient innerhalb der oberen Sedimente ist sehr gross, so dass nahe der Meeresbodenoberfläche mit Geschwindigkeiten von 2.1 km/s zu rechnen ist, was auch die Analyse der refraktionsseismischen Daten bestätigt. Des Weiteren befinden sich im Untergrund *low-velocity*-Zonen im Übergangsbereich Kontinentalschelf zu Kontinentalhang. Auf dem Profil AWI-20030390 ca. 1 km unterhalb der progradierenden Sequenzen ist ein Bereich niedriger Geschwindigkeit zu erkennen. Die Geschwindigkeit nimmt von 2700 m/s auf 2400 m/s ab.

Erste Messergebnisse dieser Messkampagne werden vorgestellt.

Vogt, T., Spieß, V., Krastel, S. (Universität Bremen)

Einfluss starker Bodenströmungen auf die Entwicklung des argentinischen Kontinentalhangs im Einzugsbereich ausgeprägter Canyons um 44°S

E-Mail: vogttom@uni-bremen.de

Der Schelf und Kontinentalhang entlang der argentinischen Atlantikküste liegen im Einflussbereich intensiver, tiefreichender Bodenströmungen. Deren nordwärtiger Verlauf folgt im Wesentlichen der Morphologie des Hangs. Intensität und Richtung dieser Strömungen sind entscheidende Faktoren für die Sedimentationsbedingungen in der von uns untersuchten Region um 44°S und 58°W. In diesem Gebiet wurde eine Fläche von ca. 4000 km² mittels akustischer Methoden kartiert, wobei mehrkanalseismische Messungen der Meteor-Ausfahrt M49/2 (2001) den Schwerpunkt bilden. Zusätzlich stehen Fächerecholotdaten (Hydrosweep) sowie hochauflösende Parasound-Daten zur Verfügung.

Eine erste Auswertung der seismischen Daten zeigt, dass die Sedimentationsmuster bis in deutlich größere Wassertiefen von intensiven Bodenströmungen geprägt sind, als bisher basierend auf Strömungsmessungen und Modellierungen angenommen wurde. Eine Vielzahl kleiner Rinnen sowie eine geringmächtige Sedimentüberdeckung weist auf verminderte Akkumulation bzw. Erosion bis in 2000 m Wassertiefe hin. Weiter Hang abwärts schließen mächtige Sedimentpakete an, deren interne Struktur mit konvexen und konkaven Reflektoren auch in größeren Wassertiefen den Einfluss von Strömungen auf die Sedimentation verdeutlichen. Wir interpretieren einige dieser Körper als Konturite, welche sowohl in oberflächennahen Ablagerungen, als auch in tieferen Horizonten zu beobachten sind.

Weiterhin sind in dem untersuchten Gebiet zwei Canyons zu beobachten welche, als Channel I und Almirante Brown Canyon bezeichnet werden. Mit einer Tiefe um 1000 m und einer Neigung der Canyonwände von 15°-17° stellen sie prägnante Einschnitte in der Morphologie des Meersbodens dar. Beide Canyons haben auf ihren Flanken Uferwälle entwickelt, die sich durch eine deutliche Asymmetrie auszeichnen. An beiden Canyons ist jeweils ein Wall deutlich entwickelt, während der gegenüber liegende schwach oder gar nicht ausgebildet ist (Abb.1). Dieser Aufbau entspricht nicht dem Bild eines klassischen channel-levee Systems. Die Tiefe der Canyons und der innere Aufbau der Wälle deuten ebenfalls nicht auf eine Entstehung aus spill-over-Turbiditen hin. Vielmehr deuten die Konturiten sehr ähnlichen Strukturen auf ein dominantes Mitwirken von Bodenströmungen während der Bildung dieser Wälle hin.

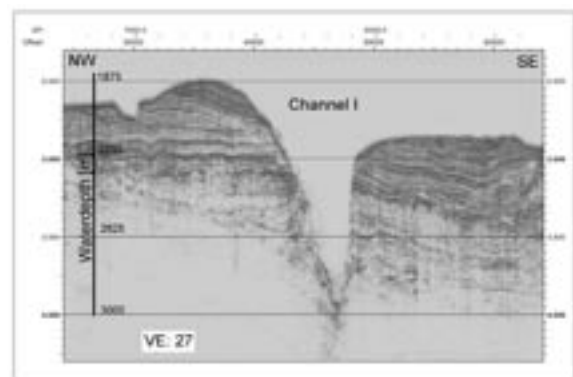


Abbildung 1: Mehrkanalseismisches Profil über Channel I

Wagner, G., Reston, T., Klaeschen, D., Krahnmann, G., Papenberg, G., Brandt, P., Visbeck, M. (IFM-GEOMAR)

Seismic Imaging of Thermohaline Fine Structure in the Eastern Atlantic

Following pioneering work by Holbrook and collaborators, we have reprocessed seismic data from the European Atlantic margins to investigate the structure of and processes within the water column along the track of the seismic ship. Key aspects of the processing include the use of different filters (e.g. tau-p

intercept-slowness) to suppress signals due to the direct acoustic energy, very careful acoustic velocity analysis to detect small horizontal and vertical variations representing the thermohaline fine structure and preliminary use of the variation of acoustic amplitude with offset (AVO) to constrain the nature of the physical boundaries. Using prestack depth migration techniques, we can determine the absolute large-scale acoustic velocity structure to an accuracy of about 5-10 m/s; from the AVO, we can determine the changes in the small scale acoustic velocity structure to within 2 m/s resolution. So far we have examined data from the Porcupine Seabight (west of Ireland) and from the Gulf of Cadiz and adjoining regions west of the Strait of Gibraltar. Both data sets show clear evidence for reflectivity patterns within the water column, which we associate with thermohaline fine structure. Most spectacularly, data from offshore southern Portugal and Spain show clear images of Meddies - eddies transporting Mediterranean water at intermediate depths into the open Atlantic. These are characterised both by a large acoustic velocity anomaly and by strong but complex surrounding reflectivity patterns that correspond to internal waves of different scales. In this poster we present the seismic images, discuss the technical details of the processing further and discuss the relative merits of seismic reflection methods for physical oceanography.

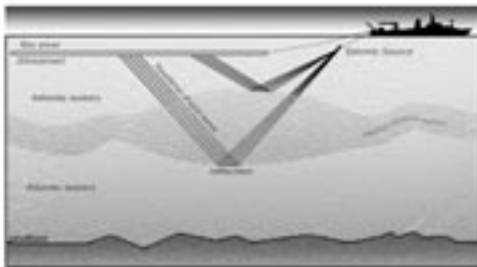


Figure 1: Cartoon, showing the seismic acquisition geometry for imaging different water masses.

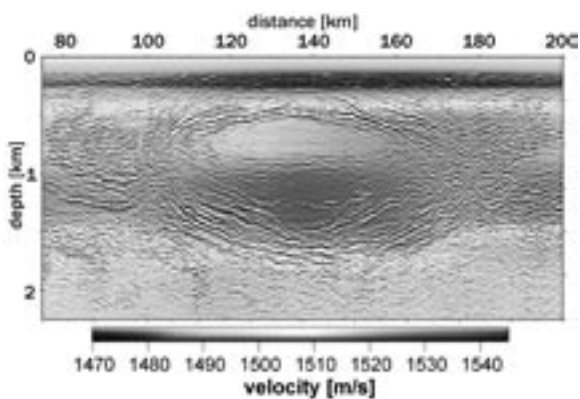


Figure 2: Migrated seismic section overlain by the (migration) velocity field. Strong thermohaline reflections can be observed down to 2 km depth. An oval-shaped cross-section of a meddie is clearly imaged.

Keil, H. (Bremen), Bartholomä, A. (Wilhelmshaven), Ding, F., Kreiter, S. (Bremen)

High resolution acoustic measurements in the southern German Bight

E-Mail: hanno.keil@uni-bremen.de

In October 2005 a joint cruise of the two research vessels FS Heincke and FK Senckenberg was carried out in the German bight to improve the understanding of the Holocene history of the North Sea, to study biogeochemical processes of shallow gas escapes and to yield a data basis for geotechnical and geophysical analyses of offshore construction foundations. As part of this project, high resolution multi-frequency acoustic measurements were carried out with the FK Senckenberg in the nearshore area off the Eastern Frisian Islands.

Three 130 km long seismic lines were shot parallel to the coast at 5, 10 and 15 m water depth with the Bremen shallow water multichannel streamer system (50 m streamer length, 48 channels), using a 0.2 l GI-Gun system and a 0.16 l watergun as seismic sources in alternating operation. The resulting seismic frequency range from 30 to 1600 Hz was supplemented by a parametric subbottom profiler (Innomar SES200) to obtain high resolution information on the uppermost meters of the sediment column.

Additionally a small area off the island Borkum was covered by a dense net of multichannel seismic lines and in parallel mapped with a high resolution swath sonar system (Reson) and the seafloor classification tool QTC. This area is a planned location for the construction of an offshore wind energy farm. A linked analysis of multichannel seismic data and geotechnical parameters, obtained from vibrocorer sampling sites, shall help to im-

prove the estimation of foundation properties. Furthermore the detailed knowledge on the sediment surface and bathymetry is a starting point for monitoring changes of the seafloor due to the erection and operation of wind energy turbines.

Schwenk, T., Spieß, V. (Universität Bremen), Kassens, H. (IfM-Geomar Kiel), Rekant, P., Gusev, E. (VNIIO St. Petersburg)

The submarine permafrost in the Laptev Sea imaged with high-resolution multi-channel seismic data

E-Mail: tschwenk@uni-bremen.de

A thick permafrost layer has developed below the Laptev Sea during the last glacials as the now flooded shelf was exposed and not glaciated. The permafrost still exists today in a submarine environment after the last transgression, but global warming with increasing arctic water temperatures may lead to degradation. Since organic carbon and gas hydrates are expected within and beneath the submarine permafrost, the degradation of permafrost could release considerable amounts of greenhouse gases into the atmosphere. Even though this importance of the submarine permafrost for the global climate system, the knowledge of its distribution and possible degradation in the Laptev Sea is still limited. In September 2004, high-resolution multi-channel seismic data as well as sediment echosounder and sidescan data were collected during the Expedition Transdrift X. This expedition was carried out in a Russian-German cooperation between the GEOMAR (Kiel, Germany), the VNIIO (St. Petersburg, Russia) and the University of Bremen (Germany). As seismic source, a Mini GI Gun was used; the seismic signals were received with a 48-channel streamer especially designed for shallow water. The main goal of the expedition was to image the distribution and character of the top of the permafrost. The seismic data show different seismic facies and features in the Laptev Sea. A central target of the cruise was a prominent reflector imaged with a dense grid of seis-

mic and acoustic data. Shape and scale of the reflector seems to be similar to the thermokarst terrain of the Siberian coastlands today including ice-complexes and filled thermokarst lakes. The strong reflection of the interface indicates the presence of permafrost. To the west, this reflector change from distinct to prolonged, which may interpreted as the degradation of the permafrost. A large number of gas seeps, mostly located in the depression of the prominent reflector, could be identified, underlining the possible potential of the submarine permafrost as greenhouse gas releaser.

Wagner, D., Rabbel, W. (Institut für Geowissenschaften, Abteilung Geophysik, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), Wittwer, A., Kopp, H., Flueh, E. (IFM-GEOMAR, Wischhofstr. 1-3, Kiel), and the Meramex Scientists, X. (X)

The MERAMEX Project- Modelling Results of the Seismic Refraction Profiles Close to the South Coast of Central Java, Indonesia

E-Mail: diana@geophysik.uni-kiel.de

1. Introduction

The MERAMEX project (MERapi AMphibious EXperiments) studies the relation of subduction zone processes and the arc volcanism in Central Java as it is manifested in the active strato-volcano Merapi. The Sunda island arc and the ongoing subduction process is part of an active continental margin. Combined amphibious seismological investigations including a seismometer array on- and offshore and marine refraction seismic profiles were carried out at 110°E in 2004 aiming in a three-dimensional sub-bottom structure of the forearc and the activity pattern of Merapi volcano.

2. Objectives of the Project

The project focuses on the relation between high-risk volcanism, seismicity and its tectonic implications at the active Sunda subduction zone. One of the key elements within the study area is the so-called seismic gap around 110°E, where seismic activity is highly reduced while accumulations of earthquake hypocenters occur to the west and east of this 100 km wide corridor. A separation zone seems to accompany this seismogenic zone, which is professed in different crust ages of 140 Ma east and 70 Ma west of this zone, with a corresponding difference in heat flow density. The main objectives of the combined on- and offshore experiment are the investigation of the tectonic regime of the Central Java margin, the correlation of the Wadati-Benioff zone and the upper crust and the revelation of the forearc structures up to below Central Java.

3. The Experiment and first Results

In Mai 2004 a temporal seismological network consisting of 115 stations was installed in a dense

grid of about 10-20 km station distance around Merapi volcano in Central Java to monitor the natural seismic activity. Fourteen Ocean Bottom Seismic Stations extended the land network offshore. In September/October 2004 RV SO179 set out to acquire seismic refraction and reflection profiles, bathymetric, gravimetric, and magnetic data. The two dip lines SO179-16 and SO179-18 reach from close to the coast across the trench onto the oceanic plate. The 200 km long coast parallel profile SO179-19 is located about 45 km off the south coast of Java. The airgun shots of the three profiles were recorded both onshore within the temporal seismological network and offshore along the seismic profiles. The main aim of profile SO179-19 was to shoot into the land array to allow for some 3-D control of the plate interface.

The bathymetric data and the seismic reflection profiles provided a first impression of the sea bottom structure and the upper sedimentary layers. The reflection profiles were modelled together with the refraction seismic profiles using a 2D forward modelling technique. The seismic profiles made it possible to develop a detailed model of the forearc region and the descending oceanic plate till a depth of 50 km. The final model of the coast parallel profile SO179-19 (Figure 1) shows a decrease in layer thickness and seismic velocities from east to west. The layering of this profile is mainly flat except for a 30 km wide region showing an uplifted structure which is located at the cross point of the profiles SO179-18 and SO179-19. In addition, the two-dimensional gravity response of the final model of profile

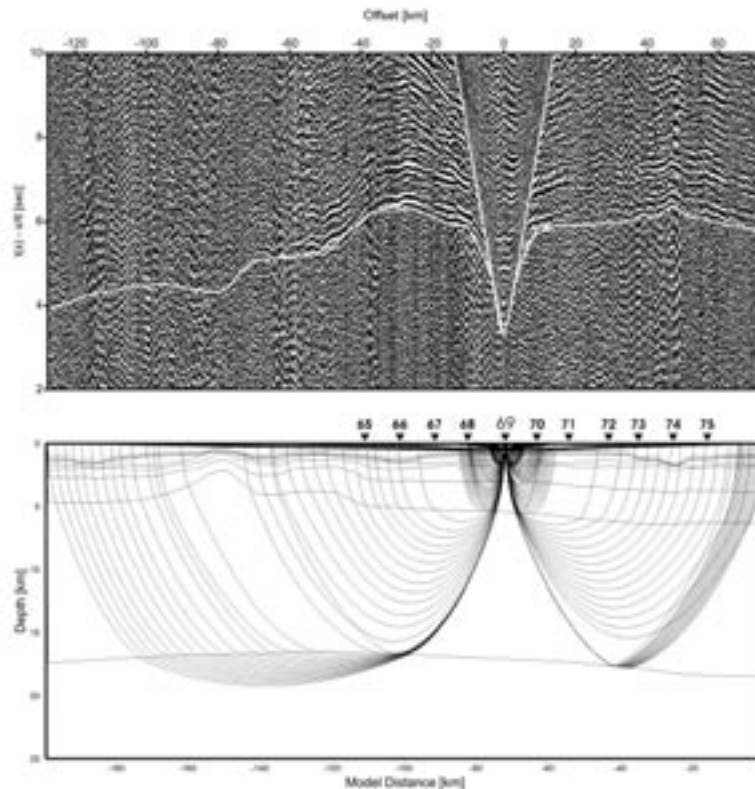


Figure 1: OBH69 is located on the coast parallel profile SO179-19. The upper diagram shows the processed data and the modelled ray paths. The lower diagram illustrates the model including the modelled ray paths.

SO179-19 was calculated and confirms the model. The models of all three seismic profiles were merged together and coincide at the cross points. The quality of the data recorded onshore within the land array is generally good and the range of the air gun signals is high. Hence, the seismic wide angle profiles SO179-16 and SO179-18 could be elongated landwards. Picking of both direct and refracted waves was possible at land receivers having offsets less than 30 km to the first shot of the refraction profiles perpendicular to the coast of Central Java. At least three stations located in profile direction were modelled onshore.

Recapitulating, a three dimensional model was developed due to the forward modelling results of the seismic profiles and their elongation landwards. This model will now be used as a

starting model for a tomographic inversion of the amphibious data. Future work will include a joint tomographic inversion of the seismological data and the on- and offshore active experiment yielding in a composite model of the subduction zone and its linkage to the volcanic source of the Merapi volcano.

Acknowledgements

The MERAMEX project is funded by the BMBF/DFG special initiative GEOTECHNOLOGIEN- Continental Margins. The geophysical data were acquired using RV SONNE as platform. The instruments were provided by the Geophysical Instrument Pool Potsdam (GIPP), the Christian-Albrechts-University, Kiel and the IFM-Geomar, Kiel.

Reston, T.J., Flueh, E.R., Gaw, V., Wagner, G. (Kiel, IFM-GEOMAR)

Seismic investigations of the structure of the Porcupine Basin, west of Ireland

E-Mail: treston@ifm-geomar.de

The Porcupine Basin west of Ireland has the shape of an inverted V, reflecting the southward increase of extension factors from 1.5 in the north to values greater than 6 in the south that are more commonly associated with rifted margins. As such, the basin provides a natural laboratory to investigate the evolution and symmetry of rifting leading toward continental separation and breakup: a series of east-west sections at different latitudes cross the basin where the maximum amount of extension is typical of a moderately extended rift in the north, a very extended deep rift basin in the middle and a pair of conjugate rifted margins in the south. Comparison between these sections thus represents the formation of a rifted margin at different stages in its evolution. In this presentation, we report the results from two DFG funded projects. The first concentrates on the reprocessing and analysis of deep penetration seismic reflection profiles across the basin at a variety of latitudes; the second was a Meteor cruise in 2004 which collected wide-angle seismic data along the same profiles.

On the reflection profiles, a bright reflection (P) is imaged at mid-latitudes and appears to represent a detachment fault, and may in part follow the top of partially serpentinized mantle. This is consistent with results from gravity modelling, and with numerical models of crustal embrittlement and mantle serpentinization during extension. Although overall the basin remains symmetric, the consistent westward structural dip of the detachment

implies that, at high stretching factors, extension was asymmetric. Farther south, the „Porcupine Median High“ appears in cross-section to be a triangular construction overlying tilted fault blocks and overlapped by postrift sediment. Despite no evidence for synrift magmatism, this high has previously been interpreted as a basaltic structure. However, it develops above the line of intersection of the crust-mantle boundary with the P detachment, and hence to be spatially related to the onset of serpentinization. The median high may represent a serpentinite-mud volcano or diapir: we suggest that such structures produce the serpentinite breccias found within the rifted continent-ocean transition of non-volcanic margins.

The Meteor cruise collected six wide-angle profiles, recorded by over 100 instruments in total. Data quality is excellent and modelling of the wide-angle arrival times has begun. Already there are indications of very thin crust and relatively low mantle velocities beneath the centre of the basin, consistent with mantle serpentinization occurring beneath highly faulted and extended crust.

Reston, T.J., Bialas, J., Meissner, K., Planert, L. (Kiel, IFM-GEOMAR)

Geophysical Studies near the Ascension Transform: Evolution of Ridge Segmentation and Crustal Structure - ASTERICS

E-Mail: treston@ifm-geomar.de

Slow spreading mid-ocean ridges are strongly segmented with segment boundaries occurring at transform faults and at non-transform ridge-axis discontinuities. In general it is thought that crustal thickness increases towards the middle of each segment, whereas lithospheric thickness increases towards the end. However, different segments show a broad variety of characteristics, ranging from those with a pronounced axial low, thought to correspond to limited melt supply and thick lithosphere, and those exhibiting a pronounced axial high, thought to be associated with excess magmatism and relatively thin lithosphere. Furthermore, the segment ends typically show a marked asymmetry, with the inside corner adjacent to the active transform or non-transform ridge-axis discontinuity commonly being elevated well above the surrounding regions and in places being characterised by domal massifs topped by corrugated surfaces. The corrugations at these high inside corners parallel the spreading direction and are thought to represent the exhumed slip surface of large offset normal faults. Domal structures exhibiting such corrugations are termed oceanic core complexes.

In late 2004 Meteor cruise M62/4 collected a large geophysical dataset in the region of the Ascension Transform fault with the aim of studying the segmentation of the spreading axis. Three segments with markedly different characteristics were investigated. First,

segment 0 between the north and south Ascension Fracture Zones was studied using a long wide-angle profile and a microseismicity survey. This segment is characterised by an unusually long-lived corrugated surface and, from initial results by very thin crust. Immediately to the south of the Ascension Fracture Zones, the adjacent segment 1 is characterised by a pronounced axial low, and abundant teleseismic activity. We investigated the structure of this segment with one flowline profile and two isochron profiles down the flanks of the axial valley. Furthermore, a microseismicity dataset was recorded for one month. Finally, we investigated the third segment south of the Ascension Fracture zones, where there is a marked axial high, and abundant evidence for volcanic activity. Here we collected a network of lines suitable for tomographic analysis and a deep tow seismic survey over the axial high and volcanic structures. In addition to the seismic data we collected magnetic profiles and continual bathymetric and gravity data along the ship track.

Specific questions to be addressed using these data are: the change in crustal and upper mantle structure moving from the centre of a spreading segment towards the end and between spreading segments with a well-developed median valley and a well-developed axial high; the asymmetry between segment ends adjacent to the active transform and the inactive fracture zone, inside and outside corners respectively; the evolution of oceanic

core complexes, domal exposures of deep crustal and mantle rocks exhumed by movement along detachment faults and characterized by corrugated upper surfaces. The wide-angle seismic profiles will be used to determine crustal structure through modelling or tomographic inversion and in conjunction with existing and new gravity data to constrain the thermal structure of the uppermost mantle; high resolution deep-tow seismic reflection studies to image magma chambers within the upper oceanic crust; tomographic studies using a grid of ocean bottom instruments to determine local 3-D crustal structure, microseismicity studies to constrain fault activity and mechanics. The aims of the project are in complete agreement with those of SPP1144, and the project is geographically and thematically closely linked to project De 572/21 which uses quite different methods to investigate the same segmentation.

Planert, L., Flüh, E.R., Reston, T.J. (Kiel, IFM-GEOMAR), Tilmann, F. (Cambridge, Bullard Laboratories), Weinrebe, W. (Kiel, IFM-GEOMAR)

2D Tomographic Imaging of the Crustal Structure of the Mid-Atlantic Ridge at 5° South

The nature of the volcanic and tectonic response of mid-ocean ridges to magmatic and rifting processes is a key component in the understanding how new ocean crust is created. Whereas magmatic injection is widely believed to play the dominant role for fast spreading ridges, mechanical extension is likely to be more important in slow spreading regimes.

Slow spreading mid-ocean ridges like the Mid-Atlantic Ridge are strongly segmented along axis by transform and non-transform discontinuities (NTD). Away from the segment centers, which are considered to be the places of focused magma uprising, a reduced crustal thickness, a more distinct ridge morphology (e.g. stronger across-axis relief), the absence of volcanic edifices (the intermittent pattern of volcanic activity, respectively), the higher rate and larger depth extend of seismicity, and last but not least the existence of ridge-axis discontinuities and NTDs demonstrate the dominant role of mechanical extension. A strong asymmetry along both types of segment boundaries is frequently observed, with the inside corner next to the active transform or NTD being characterized by high topography, large inferred fault spacings, and a positive mantle Bouguer gravity anomaly indicative of thinned crust, and the outside corner next to the inactive fracture zone being associated with more subdued topography, small inferred fault spacings, and a rather negative gravity anomaly. Understanding this spatial and temporal structural pattern still poses a big challenge for present-day geoscientists.

In 2000, two spreading segments adjacent to

the 5°S transform fault were investigated during Meteor cruise M47/2. This ridge transform intersection is unusual in that a pronounced inside corner massif with a corrugated upper surface south of the fracture zone has been split by a change in location of active seafloor spreading, resulting in an outside corner massif and the absence of a volcanic ridge in the northernmost part of the median valley. Using an OBS/OBH survey, a set of intersecting wide-angle seismic profiles were acquired running both parallel and perpendicular to the median valley, and extending from the center of one segment across the transform well into the next segment (see Fig. 1). The lines focused on a number of topographic features (median valley, inside corner high, outside corner, transform fault) in order to resolve related velocity variations inside the crust and the uppermost mantle.

For assessing velocity models we chose a tomographic method of Korenaga et al. (2000), which jointly inverts refraction and reflection travel times for a two dimensional velocity structure. The method employs a hybrid ray tracing scheme combining the graph method with further refinements utilizing ray bending with the conjugate gradients method, and it employs smoothing and dumping constraints to regularize an iterative inversion. A nonlinear Monte Carlo uncertainty analysis was performed by inverting data with random errors with a large number of random initial models to estimate the a posteriori model variance.

Modeling results show that large areas of the models and reflectors are well constraint with standard deviations $<0.2\text{km/s}$ and $<0.25\text{km}$,

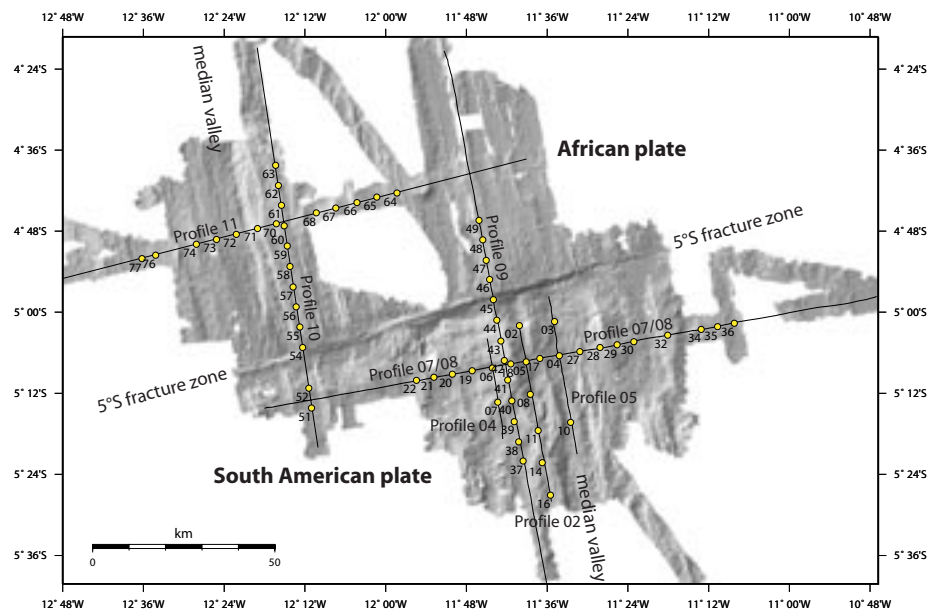


Figure 1: Profile geometry and stations distribution of Meteor cruise M47/2.

respectively. The 2D models reveal marked differences in the seismic velocity structure between the two adjacent spreading segments. North of the fracture zone, median valley seafloor depths show a bathymetric high near the middle of the segment. Here, the crustal thickness reaches up to 9.0km, and slightly varies in spreading direction around average values of the southern segment. Typical layer 3 velocities of 8km/s and low velocity gradients of around 0.1km/s suggest the existence of a pronounced layer 3. Towards the active transform in the south, the crustal thickness shallows to values of approximately 3km.

In the median valley of the southern segment, models show an unusual thin crust of about 4km thickness (shallowing towards the transform fault in the north). In the area of the inside corner massif, velocities in the upper layers are significantly higher, which is consistent with the hypothesis associated with the exhumation of lower crustal or mantle

rocks. Starting with surface velocities of about 5.5km/s and reaching up to values >6.0km/s within a few hundred meters depth, the crust beneath the slope of the inside corner high is only 2.5km thick. In spreading direction, crustal thickness varies around average values of 3.5km on the ridge-perpendicular profile, which is running through the center of the northern segment. Observed velocities of around 7.3-7.6km/s beneath the Moho indicate reduced upper mantle velocities in the southern segment. This could be related to serpentinization of the mantle by fluids, penetrating the thin crust, or by an upper mantle which is locally replaced by gabbroic intrusions.

Almeev, R., Holtz, F., Koepke, J. (Institut Mineralogie, Uni Hannover, Callinstr. 3, 30167, Germany), Haase, K. (Institut Geowissenschaften, Uni Kiel, Olshausenstr. 40, 24118, Kiel, Germany)

Phase equilibria simulations of basalts at the MAR near Ascension Island at 7-11° S - estimation of partial crystallization pressure and H₂O contents

Chemical compositions of basaltic glasses recovered from the mid-oceanic ridges commonly demonstrate regularities which are believed to be a result of combined effect of magma diversification processes at the stage of (1) primary magma generation and at the stage of (2) subsequent modification of the parental magmas in the course of the fractional crystallization, magma mixing and wall rock assimilation en route to the oceanic floor. Mantle source heterogeneity or/and different extents of partial melting is generally advocated to explain the varieties in trace element abundances and ratios as well as in isotopic compositions of the MORB glasses. Variations of the major elements in MORBs, as a first order approximation, can be directly related to the continued evolution of the parental basaltic melts along Ol+Pl and Ol+Pl+Cpx cotectics. This inference was supported by a numbers of experimental studies on phase equilibria in MORB-systems in which experimental liquid lines of descent fairly well reproduced natural petrochemical trends. Another important observation of the experimental studies was to highlight a pronounced dependence of the clinopyroxene saturation temperature on pressure: at higher pressure Cpx begins to coprecipitate at higher temperature, which results in a compositional trend showing a decreasing CaO and CaO/Al₂O₃ in residual liquids with decreasing MgO. This property of MORB systems allows us to estimate a depth (pressure) at which basaltic magmas do fractionate and several semi-empirical

techniques use this approach to calculate partial crystallization pressures for MORB-like magmas (Grove, et. al., 1992; Danyushevsky, 1996; Yang et. al., 1996; Herzberg, 2004). All methods developed utilize the same experimental database and have similar uncertainties (ca. 1-2 kbar) and limitations (e.g. Michael et. al., 1998). The most important restriction is that the models can only be applied to the dry basaltic systems which experienced Cpx precipitation in their crystallization history. However, although present in minor abundances in MORB systems, H₂O plays a significant role on mineral crystallization temperatures and the effect of small amount of H₂O has to be taken into account to simulate temperatures and pressures of multiple-saturation of basaltic magma. In this paper we present results of phase equilibria for basaltic glasses from the MAR between 7-11°S, allowing us to quantify and model the effects of pressure and H₂O activity on liquid lines of descent. The crystallization pressure for the Segments A1 to A4 was estimated using this combined experimental and theoretical approach. The chemistry of the N-MORB magmas beneath Segment A1, A2 and A4 can only be modeled assuming a polybaric evolution (2-8 kbar), in contrast to that of the enriched MORBs underneath the central Segment A3 with practically isobaric crystallization conditions (ca. 2kbar). These results also demonstrate that melts crystallize under almost anhydrous conditions under Segments A1 and A4, whereas the majority of Segment A3 MORB compositions can

only successfully modeled in the presence of small amounts of H₂O (0.5-0.8 wt.% H₂O in the parental magmas). This last observation is supported by the direct measurements of H₂O abundances (FTIR) in basaltic glasses and in melt inclusions for selected samples.

Stöber, U., Walter, M., Mertens, C., Rhein, M. (Bremen, Institut für Umweltphysik, Universität Bremen)

Hydrothermal Vent Power Estimates for the Nibelungen Field, Southern MAR

E-Mail: ustoeber@uni-bremen.de

Hydrothermal activity along the mid-ocean ridges generates buoyancy flux, which contributes to the global circulation. To obtain first estimates of the hydrothermal input in the South Atlantic, combined velocity/hydrography measurements were carried out at the Mid-Atlantic Ridge, 8° S during R/V Meteor Cruise M62/5 in November/December 2004. Evidence for hydrothermal activity was reported at 8° 16' S 13° 32' W with origin in the “Nibelungen Field” at “Cheating Bay”. The hydrothermal signal, however, vanished during the measurement campaign, which can be attributed to the complex flow field characterized by strong temporal and spatial variability. Despite this masking, estimates of the hydrothermal input are possible from the

maximum and equilibrium rise height of the hydrothermal signal combined with the local buoyancy frequency as well as using the temperature anomaly combined with the outflow in the in the non-buoyant plume layer.

The maximum and equilibrium rise heights are best identified from the reduction in light transmission. This implies a maximum height at approximately 2600 dbar and an equilibrium level at 2700 dbar, which corresponds for 2930 m water depth to rise heights of $z^* = (330 \pm 50)$ m and $z_{eq} = (230 \pm 50)$ m. Combined with a mean buoyancy frequency of $N = (3 \pm 1)$ cph between bottom and hydrothermal anomaly, two vent power estimates $P^* = (100 \pm 70)$ MW and $P_{eq} = (60 \pm 40)$ MW are obtained.

The plume shows a maximum temperature

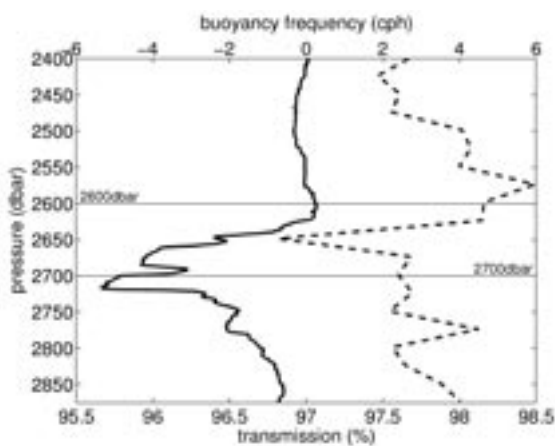


Figure 1: Light transmission (solid line) and buoyancy frequency (broken line) in the plume signal range. Maximum and equilibrium level of the hydrothermal signal are indicated.

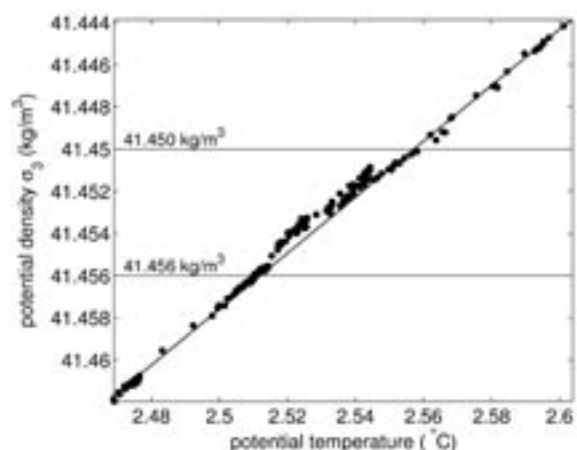


Figure 2: Hydrothermal temperature anomaly. Horizontal lines indicate the range for the mean plume anomaly.

anomaly of $\Delta\theta_{\max} = (-8.3 \pm 0.5) \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$, which reaches almost the typical order of magnitude of $10^{-2} \text{ }^\circ\text{C}$. The mean anomaly in the range $41.450 \text{ kg/m}^3 < \sigma_3 < 41.456 \text{ kg/m}^3$ is $\Delta\theta_{\text{mean}} = (-3.2 \pm 2.3) \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$. Combined with the transport from the direct velocity measurements, this yields a vent power estimate of $P_{\Delta\theta} = (120 \pm 100) \text{ MW}$.

Due to the strong variability in the flow field, the estimates are rough, but still sufficient to infer an order of magnitude of the vent power: All three estimates agree with the range of typical black smoker vents given by $1 \text{ MW} < P_{\text{smoker}} < 100 \text{ MW}$. The disappearance of the hydrothermal signal during the cruise and the failure in discovering the source despite the use of a remote operated vehicle suggest an event plume, which is characterized by a single, but extraordinarily strong outlet of heat energy (GW range). The signal of an event plume in presence of the given stratification, however, disagrees with the observed plume height, since it would show signals at much larger heights above the ocean bottom. Only a very weak event plume could be responsible for the reported anomaly. In consequence it appears much more probable that a usual hydrothermal vent field consisting of black smokers and/or diffuse vents exists, but could yet not be localized due to the flow field, which masks the plume dispersal.

Gennerich, H.-H., Fabian, M., Villinger, H. (Uni Bremen)

Langzeitregistrierung physikalischer Parameter im Logatchev-Hydrothermal-Feld

E-Mail: hherm@uni-bremen.de

Im Projekt LOLEM "Logatchev Longterm Environmental Monitoring" innerhalb des DFG-Schwerpunktprogrammes 1144 "Vom Mantel zum Ozean: Energie-, Stoff- und Lebenszyklen an Spreizungsachsen" wird die Variation physikalischer Umweltparameter am Meeresboden im Logatchev-Hydrothermalfeld an der mittelatlantischen Spreizungsachse bei 15° N wie Temperaturen, Druck, Neigung und Beschleunigung gemessen. Zu diesem Zweck haben wir Meßgeräte entwickelt, die in der Lage sind, für die Dauer von mehr als einem Jahr autonom diese Parameter zu messen und abzuspeichern. Dazu gehören OBP's (Ocean Bottom Pressure Meter), die den hydrostatischen Druck mit einer Auflösung von weniger als 0,5 mm registrieren und so gleichzeitig das exakte Gezeitensignal sowie die langperiodischen tektonischen Bewegungen des Meeresbodens erfassen. Eine weiterer Instrumententyp OBT

(Ocean Bottom Tilt Meter) misst die zeitliche Variation in der Neigung des Meeresbodens mit einer Auflösung von weniger als 1 Mikroradian in zwei Achsen gleichzeitig mit Beschleunigungen in einer Auflösung von genauer als 1 Mikro-g. Darüber hinaus wird der Einfluss der hydrothermalen Ausströmungen auf die Temperatur der untersten 25 m des Bodenwassers mit Hilfe einer Verankerung bei einer Auflösung von 1/1000 °C gemessen. Eine Reihe von 8-Kanal und 1-Kanal Temperaturmeßbläzen wurde zur Registrierung der zeitlichen und räumlichen Temperaturverteilung in Muschelbetten gebaut, die wichtige Parameter für die Lebensbedingungen der hydrothermalen biologischen Gesellschaften liefern. Um Temperaturdaten während des ROV-Einsatzes für operationelle Entscheidungen zur Verfügung zu haben, wurde eine Temperaturlanze gebaut, die Temperaturverteilung und Ausdehnung des

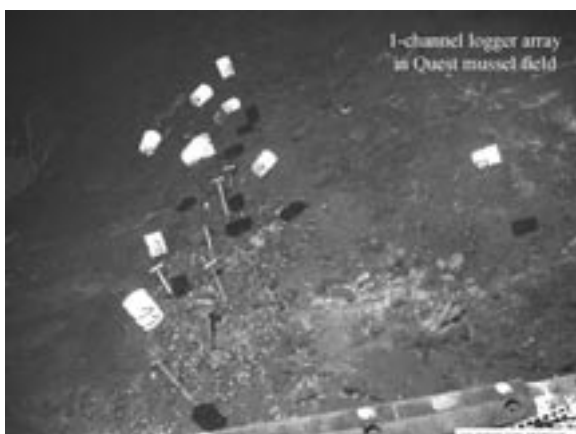


Abbildung 1: Temperaturfühleranordnung im Muschelbett



Abbildung 2: OBP und OBT am Meeresboden

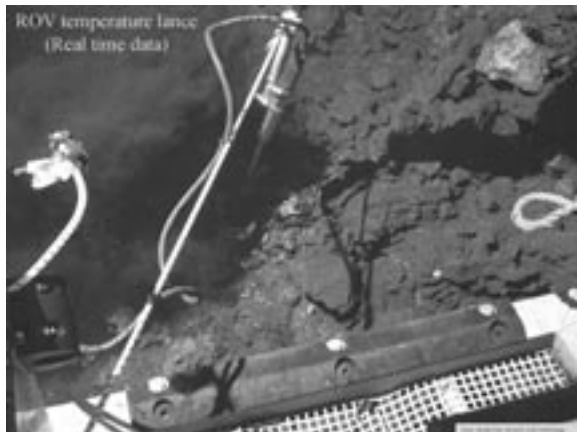


Abbildung 3: Einsatz der 8-Kanal-Temperaturlanze im Black Smoker mit dem ROV

biologischen, chemischen, geologischen, morphologischen und ozeanografischen Untersuchungen, die Prozesse in Relation zueinander gesehen, ihre Skalen und Variationen untersucht werden.

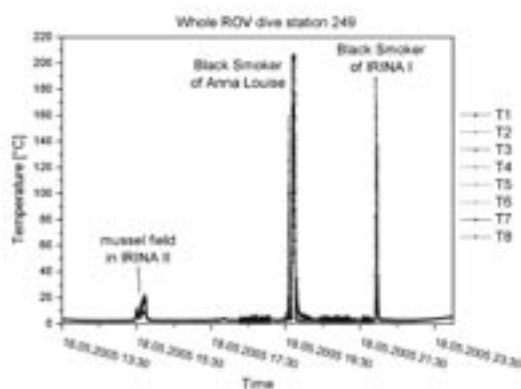


Abbildung 4: Temperaturdatenbeispiel einer Tauchfahrt mit der 8-Kanal-Temperaturlanze

Fluidstromes bis zu Temperaturen von 450 °C messen und die Daten in Echtzeit an Bord übertragen kann. Sie liefern auch entscheidende Randinformationen zur Chemie der hydrothermalen Fluiden. Weiterhin wurde eine Blockkalibrator gebaut, mit dessen Hilfe wir die 1-Kanaltemperaturmeßlanzen auf eine Genauigkeit von ca. 5/1000 °C kalibrieren können. Durch kontinuierliche Messungen dieser verschiedenen Parameter können gemeinsam mit regelmäßig wiederkehrenden

Walter, M., Stöber, U., Mertens, C., Rhein, M. (Bremen, Institut für Umweltphysik, Universität Bremen)

Auswirkung turbulenter Strömungen auf die Ausbreitung hydrothermaler Fluide

Während der *RV Meteor Expedition M62/5* wurde in einem hydrothermal aktiven Segment des südatlantischen MAR ein umfangreicher Datensatz gewonnen, der sowohl Strömungs- als auch Schichtungsmessungen in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung beinhaltet. Das horizontale Geschwindigkeitsfeld und seine vertikale Scherung wurde mit einem akustischen Doppler Profilstrommesssystem (ADCP) erfasst. Die Dichteschichtung wurde aus Temperatur- und Salzgehaltmessungen mit einer CTD bestimmt. Es wurden sowohl vertikale Profile als auch Jojo- und Zeitreihenstationen gemessen.

Die Beobachtungen zeigen zeitlich hochvariable chemische und physikalische hydrothermale Signale in der Wassersäule (Methan- und Temperaturanomalien). Die Variabilität des Plumes war verbunden mit starken vertikalen Auslenkungen von Temperatur- und Dichteflächen und dem gelegentlichen Auftreten von homogenen durchmischten Schichten in Bodennähe, welche eine starke Abhängigkeit von der vorherrschenden Gezeitenphase zeigten.

Die komplexe Topographie des Untersuchungsgebietes ("Cheating Bay", $8^{\circ}16' S$ $13^{\circ}32' W$) befördert eine Energiekaskade von baroklinen Gezeiten hin zu internen Wellen von kleineren räumlichen und zeitlichen Skalen. Während einer Zeitreihenstation wurden Wellen mit Amplituden von mehr als 200 m beobachtet.

Wir untersuchen in dieser Arbeit den Einfluss interner Wellen und der resultierenden diapycnischen Vermischung auf die Ausbreitung der hydrothermalen Fluide und den Ex-

port hydrothermaler Produkte in den Ozean innerhalb einer räumlich eng begrenzten Region von ungewöhnlich starker hydrographischer Variabilität.

Die Rolle vertikaler Vermischung durch das Brechen interner Wellen bei der Entstehung der homogenen Schichten und der Variabilität der beobachteten Anomalien wurde anhand der räumlichen Verteilung des turbulenten diapycnischen Austauschcoeffizienten untersucht. Dieser lässt sich auf zweierlei Art aus den Daten berechnen: Die horizontale Ausdehnung und die Stärke von Inversionen in der Dichteschichtung ist ein Maß für die freie Wegstrecke eines Teilchens in dem jeweiligen turbulenten Wirbel. Bei hinreichender Mit-

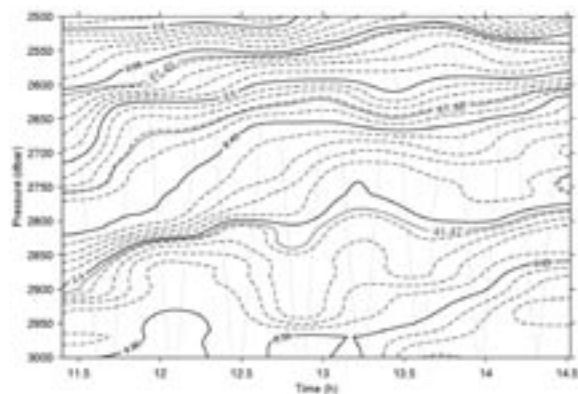


Abbildung 1: Zeitreihe der Temperatur- und Dichteschichtung in Cheating Bay, aufgetragen gegen die Tiefe. Dargestellt sind Isolinien der potentiellen Temperatur, Θ ($^{\circ}C$, gestrichelte Linien), und der Anomalie der potentiellen Dichte relativ zu 3000 dbar, σ_3 (kg/m^3 , durchgezogene Linien). Die Isopykne $\sigma_3 = 41.46$ entspricht dem Ausbreitungshorizont des hydrothermalen Plumes.

lung lässt sich aus dieser Information eine Abschätzung der Energiedissipation durch die Turbulenz und damit der Intensität der diapynischen Vermischung gewinnen. Die zweite Methode nutzt die Annahme eines energetischen Gleichgewichts zwischen der Produktion von Scherungsenergie durch interne Wellen und der Energiedissipation durch Turbulenz. Das Niveau der Scherungsenergie wird dabei spektral aus den Geschwindigkeitsmessungen bestimmt.

Temmler, T. (BGR), Marquardt, M., Hensen, C. (IFM-GEOMAR), Müller, C. (BGR), Wallmann, K. (IFM-GEOMAR)

Development of a combined geochemical-geophysical approach for quantification of regional submarine gas hydrate inventories

E-Mail: T.Temmler@bgr.de

Das durch die DFG geförderte Projektvorhaben ist darauf gerichtet eine neue Methodik zur Quantifizierung von Gashydratvorkommen in Kontinentalhangsedimenten zu entwickeln. Die Grundidee besteht aus der Zusammenführung zweier, bislang nur unabhängig voneinander genutzter Ansätze der numerischen Modellierung anhand von Kerndaten aus dem ODP/IODP-Programm und der Anwendung von neuen seismischen Methoden.

Trotz der gestiegenen Anzahl von Publikationen basieren Schätzungen der Gashydratmengen noch immer auf einem wenig belastbaren Datensatz und häufig stark vereinfachten Methoden der Dateninterpolation. Gerade wegen der Bedeutung des Methans aus Gashydraten als Treibhausgas, als Kohlenstoffspeicher im globalen Stoffhaushalt oder als Risikofaktor hinsichtlich der Hangstabilität ist eine verbesserte Methodik unerlässlich.

Das angewendete Konzept basiert auf der numerischen Modellierung verfügbarer Porenwasser-, Feststoff- und Logging-Daten von ODP-Kernen, die eine präzise Eingrenzung vorhandener Gashydratmengen ermöglichen. Parallel dazu werden, mit gleicher Zielsetzung, hochauflösende seismische Mehrkanaldaten mit einem adaptierten Ansatz der Effektivmediumtheorie ausgewertet. Dies erlaubt eine gegenseitige Kalibrierung und Verbesserung der angewendeten Methoden und soll zu einer verbesserten Quantifizierung der Hydratmengen in Kontinentalhangsedimenten

führen.

Die für die seismische Modellierung benötigten Parameter sind durch die ODP-Bohrungen unterschiedlich gut bestimmt und haben für das Modellierungsergebnis jeweils eine unterschiedliche Signifikanz. Bei der Sensitivitätsanalyse zeigt sich, dass eine fünfprozentige Veränderung der mineralogischen Zusammensetzung der Matrix zu einer nichtsignifikanten Änderung der seismischen P-Wellen-Geschwindigkeit führt. Einen weit größeren Einfluss zeigt die Porosität. Eine Genauigkeit der Bestimmung der Porosität von $\pm 2,5\%$ führt zu einer Ungenauigkeit der Gashydratmenge von 3% bei gleicher seismischer P-Wellen-Geschwindigkeit.

Die Verfügbarkeit seismischer Daten aus verschiedenen Regionen soll es ermöglichen, regionale Übersichtskarten der Gashydrat-Verteilung zu erstellen.

Eine weitergehende Synthese zielt auf die Entwicklung empirischer Funktionen ab, die eine quantitative Abschätzung anhand gut verfügbarer Daten (Sedimentmächtigkeit, geothermischer Gradient, BSR-Tiefe, Sedimentzusammensetzung, usw.) ermöglichen soll.

Danksagung

Dieses Projekt wird von der DFG unter den Nummern HE 3512/2-1, MU 2662/1-1 gefördert.

Fekete, N. (SFB 574, C. A. University, Kiel), Spiess, V. (Dept. of Earth Science, University Bremen), Grevemeyer, I., Reston, T. (IFM-GEOMAR, Kiel)

Gas Hydrates and Fluid Flow in the Costa Rican Continental Fore-Arc Offshore Central Nicoya Peninsula

E-Mail: nfekete@ifm-geomar.de

The Central American Subduction Zone has been a target of investigations of SFB574 since 2001, in order to study the fate of fluids and volatiles in subduction zones. Upward fluid and material transport has been detected at several locations from, among others, shallow sediment and pore water samples, ocean floor video observations, and deep-tow side scan sonar profiles.

The incoming oceanic plate offshore Costa Rica originates at two locations: the northwestern segment is produced at the East Pacific Rise (EPR), whereas further southeast, material from the Cocos-Nazca Spreading Center subducts. On the continental slope opposite the plate boundary, a cluster of mud domes - the Hongo mounds - are located at around 2000 m water depth. High-resolution multichannel seismic data acquired above these domes display a widespread occurrence of a negative-polarity bottom simulating reflector (BSR). This is interpreted as the lower boundary of gas hydrate stability zone (GHSZ), and implies the general presence of gas hydrates in the shallow sediment, as also evidenced at nearby ODP Leg 170 drillsites.

A mapping of the BSR has shown its traceability, continuity, and its depth below sea floor to vary on horizontal scales of a few hundred meters across the survey area. Extensive faulting has probably allowed free gas orig-

inally trapped below the GHSZ to escape in the vicinity of the central mounds, thus eliminating the BSR, while it is clearly visible further southeast near two other domes. Where the BSR is present, a reconstruction of the temperature field from its depth reveals lateral changes in the local temperature regime. Estimated heat flow values are similar to those expected above subducting EPR crust, and local variations can be explained in the context of deformation patterns and fluid advection. Thermal indication of the subducting triple junction trace is also presented.

Jegen-Kulcsar, M. (GEOMAR)

Using Marine EM to Image Fluids in Subduction Zones

The water content and its distribution play an important role in the subduction process. Water is released from the subducting slab in a series of metamorphic reactions and the hydration of the mantle wedge may trigger the onset of melting, weakening and changes in the dynamics and thermal structure of subduction zones. However, the amount of water carried into the subduction zone and its distribution are not well constrained by existing data and are subject of vigorous current research in SFB574 (Volatiles and Fluids in Subduction Zones: Climate Feedback and Trigger Mechanisms for Natural Disasters).

The electrical conductivity is a key parameter, which is most sensitive to the presence of fluids in the host rock and may change over orders of magnitude depending on water content, presence of partial melt and connectivity. Electromagnetic experiments, measuring the electrical resistivity distribution, are therefore a method of choice for water and partial melt targets.

Since few marine EM instruments exist worldwide, only two EM amphibious profiles (EMSLAB, Juan de Fuca Ride, Wannamaker et al., 1989; IMTEQ, Southern Chile, current project at TU Berlin) have been carried out so far, although numerical studies have shown (Evans et al., 2002) that both land and marine data are needed to infer electrical resistivities on the continental or marine section of the subduction zone.

Within the framework of the SFB574 at Geomar and University of Kiel we are building up a marine EM group and are constructing 10 highly sensitive marine MT Stations as well as a Controlled Source EM instru-

ment. These will be used 2006/2007 in Central America to conduct an onshore-offshore marine magnetotelluric (MT) experiment to determine electrical resistivity structure and fluid distribution in faults and along the subducting plate, the sediment wedge and upper mantle. A marine controlled source electromagnetic (CSEM) experiment, sensitive to fluid distribution and the presence of methane hydrates in the upper crust, will complement our results on a shallow scale.

In this poster we will give technical details about the instruments built and show numerical modelling studies which are used to determine the resolution and sensitivity of the MT response to fluids in the crust and subducting slab.

Evans RL, Chave AD, Booker JR (2003) On the importance of offshore data for magnetotelluric studies of ocean-continent subduction systems. *Geophys. Res. Lett.*, 29: 16-1 - 16-4.

Wannamaker PE, Booker JR, Jones AG, Chave AD, Filloux JH, Waff HS, Law LK (1989) Resistivity cross-section through the Juan de Fuca subduction system and its tectonic implications, *J. Geophys. Res.*, 94,:14,127-14, 144.

Weckmann, U. (Dublin), Ritter, O., Jung, A., Branch, T. (GFZ), de Wit, M. (University of Cape Town)

Geophysical images of South African mobile belts

E-Mail: ute@cp.dias.ie

South Africa hosts two of the world's largest known geophysical anomalies, the Beattie Magnetic Anomaly (BMA) and the Southern Cape Conductive Belt (SCCB), that extend in South Africa for almost 1000km in east-west direction and possibly also continue into Antarctica and southern South America. In South Africa the surface expressions of these anomalies appear to coincide approximately with the mapped boundary of the Cape Fold Belt and the Namaqua-Natal Mobile Belt. We report on the results of two high resolution magnetotelluric (MT) studies conducted in March, 2004, and November, 2005, which together form a longprofile between Mossel Bay and Fraserburg crossing the Cape Fold Belt and its basins as well as the BMA and the SCCB. Within the framework of the multi-disciplinary integrated German-South African project „Inkaba ye Africa“, MT data were collected at more than 175 sites in the frequency range from 1000Hz to 0.001Hz with an average site spacing of 2 km. The resulting 2D inversion model resolves the conductivity distribution of the entire crust. A zone of very high electrical conductivity ($\sim 1\Omega m$), at a depth of approximately 5-10 km, seems to be associated with the BMA. Another conductivity anomaly is located beneath the northern boundary of the SCCB, extending from the shallow crust down to $\sim 20km$ depth. Both conductors are inclined towards the south. These high conductivity anomalies might image faults which are mapped fur-

ther to the east and separate different terranes. The conductivity model furthermore reveals an extensive sub-horizontal band of high conductivity ($2\Omega m$) in the upper 5km of the Karoo Basin. Borehole data and results from Impedance Spectroscopy of core samples indicate that this anomaly is caused by carbonaceous shales and pyrite of the Whitehill Formation.

Krawczyk, C. M., Mechie, J. (GFZ Potsdam), Tašárová, Z. (Kiel University), Lüth, S. (GFZ Potsdam, FU Berlin), Stiller, M. (GFZ Potsdam), Brasse, H. (FU Berlin), Echtler, H. (GFZ Potsdam), Bataille, K. (UDEEC, Chile), Wigger, P. (FU Berlin), Araneda, M. (SEGMI, Chile)

GEOPHYSICAL SIGNATURES AND ACTIVE TECTONICS AT THE SOUTH-CENTRAL CHILEAN MARGIN

E-Mail: lotte@gfz-potsdam.de

The Andean convergent margin varies significantly along its 8000 km length. It has areas of both long-term erosion and accretion, as well as different morphological segments and segmented deformation. The geodynamic evolution of this system, and the relationship between deep and surface structures, are controversially debated and poorly understood. Images of the offshore fore-arc and its onshore continuation are complex. The segments vary in geophysical character, and there are several fault systems that have been active during the past 24 million years.

The SPOC 2001 (Subduction Processes Off Chile) and ISSA 2000 (Integrated Seismological experiment in the Southern Andes) onshore and offshore projects surveyed the Chilean margin between 36 and 40°S. This area includes the location of the 1960 earthquake ($M_w = 9.5$) that ruptured the margin from $\sim 38^\circ\text{S}$ southwards for ~ 1000 km. Together with gravity and magnetotelluric components, the active-passive seismic experiments between 36 and 40°S provide the first, complete, high-resolution coverage of the entire seismogenic plate interface.

The observed offshore mode of sediment subduction corresponds well with the landward extension of the reflection seismic profile at 38°S, which shows material transported downwards in a subduction channel. From the slow uplift of the Coastal Cordillera, we

conclude that basal accretion of parts of this material controls the seismic architecture and growth of the south Chilean crust. There is almost no seismicity observed along the entire, approximately 130 km-wide, seismogenic coupling zone. Furthermore, the study area is characterised by a 25-35 km-thick crust beneath the Longitudinal Valley, with high-conductivity zones at 20-40 km depth that correspond to large fault zones. Below the volcanic arc, the crust is generally 35-45 km thick, with a maximum thickness of 55 km at $\sim 36^\circ\text{S}$.

The slab steepens southwards along the margin (13° - 21°), and a wedge-shaped body at the plate interface can be either interpreted as hydrated mantle with 20-30% serpentinization or, when divided, as mafic crustal material in the upper part and serpentinized mantle in the lower part. The lower plate could suffer slab rollback while the upper-plate kinematic segmentation exhibits fore-arc extension. At the top of the active subduction channel, underplating, fore-arc uplift and dehydration/serpentinization are key processes at the south-central Chilean margin.

Web page: <http://www.gfz-potsdam.de>

Sick, C.M.A., Buske, S., Shapiro, S.A. (FU Berlin)

Advanced Seismic Imaging of Subduction Related Structures at the North Chile Convergent Margin

Within the framework of the CINCA project in 1995, the subducting Nazca plate offshore Chile between approximately 19°S and 26°S has been investigated. The aim of this study was to deliver improved images of the structures of the oceanic crust as well as of the subducting plate and the oceanic Moho. We processed two marine profiles crossing the trench using different imaging techniques. First, we applied prestack Kirchhoff depth migration to the data to get an impression of the main structures within the crust. In some depth regions along the profiles, the resulting images are dominated by strong migration smiles. To avoid these artifacts and to improve the seismic images, we applied Fresnel-Volume-Migration (FVM) to the data sets. As an extension of Kirchhoff prestack depth migration the FVM restricts the migration operator to the area in the subsurface that physically contributes to the recorded signal (Lüth, 2005). The resulting sections from both processing techniques give detailed insights into the subsurface structures and especially of the subducting Nazca plate near the trench region. While the Kirchhoff results show the typical horst-and-graben structures of the ocean bottom in the bending zone of the subducting plate seaward of the trench (Sick, 2005), the Fresnel images additionally exhibit structures indicating that also thrust faulting might be present. East of the trench, subducted horst-and-graben structures in the subsurface can be observed (von Huene, 1999; Sick, 2005) as well as fault systems at the continental slope parallel to the subducting plate. Several features can be seen in both

sections but the Fresnel migration leads to more continuous images of the subsurface structures as foreexample of the normal fault system below the continental slope.

References

- Lüth, S., Buske, S., Giese, R. and Goertz, A., 2005, Fresnel volume migration of multicomponent data: *Geophysics*, **70(6)**, 121-129.
- Sick, C. M. A., Yoon, M., Rauch, K., Buske, S., Lüth, S., Araneda, M., Bataille, K., Chong, G., Giese, P., Krawczyk, C. M., Mechie, J., Meyer, H., Oncken, O., Reichert, C., Schmitz, M., Shapiro, S. A., Stiller, M. and Wigger, P., 2005, Seismic images of accretive and erosive subduction processes from the Chilean margin, In: *Andean Geodynamics, Frontiers in Earth Sciences*, no. 1, Oncken, O., Strecker, M., Franz, G. and Ramos, E. (eds.): Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, submitted.
- von Huene, R., Weinrebe, W. and Heeren, F., 1999, Subduction erosion along the North Chile margin: *J. Geodyn.*, **27**, 345-358.

Scherwath, M., Contreras-Reyes, E., Grevemeyer, I., Flueh, E. (IFM-GEOMAR), Kaul, N. (Universitaet Bremen), TIPTEQ Working Group, X. (X)

Age-dependent lithospheric structures in the Young Subduction Zone of Southern Chile - Results from TIPTEQ

E-Mail: mscherwath@ifm-geomar.de

Seismic wide-angle and vertical reflection data from several transects across Southern Chile's young subduction system are compared to detect the age-dependence of the subduction process in terms of structure and influence of the incoming Nazca plate on the overriding South American plate. This study is part of the multi-institutional BMBF and DFG funded GEOTECHNOLOGIEN research initiative TIPTEQ (from The Incoming Plate to mega-Thrust Earthquake processes). Cruise SO181 of the research vessel Sonne took place from December 2004 to February 2005, acquiring a multitude of geophysical and geological data to investigate the structure and state of subduction of differently aged oceanic crust. Around the Chile Triple Junction (CTJ), where the continental South American plate joins the oceanic plates of Nazca and Antarctica at 46.5 degrees S, there exists a favourable natural laboratory for our scientific aims. Within 8 degrees to the north of the CTJ, the age of the subducting plate changes from 0 to 25 Ma along the Chile Trench. Segmentation of the crust enables data acquisition along corridors of distinctly different crustal ages in an otherwise homogeneous tectonic setting; the convergence rate along the Chile Trench is about 80 mm/a, and the spreading rates at the spreading centres are all roughly between 35-40 mm/a as found from our newly collected magnetic data. Further interest in this area stems from the 1960 Chile earth-

quake of Mw=9.5, whose rupture zone lies just north of the CTJ, extending right through the fracture zones of the oceanic plate segmentation.

A large part of the marine component of the TIPTEQ project were the 360 deployments of Ocean Bottom Seismometers and Hydrophones (OBS/H), most of these for seismic wide-angle data recordings using a large airgun seismic source, and some also for seismological studies of local and regional seismicity. We show the results of forward modelling of the wide-angle data using ray-tracing along two of the corridors, one where the subducting crust is 6.5 Ma old at the trench, the other 14.5 Ma. It appears that the younger crust is only slightly thinner than the older crust, the thickness of the sediments at the trench is about 2 km on both lines, and the dipping angle of the slab just below the continental slope is slightly shallower on the younger crust (5 degree dip) than that of the older crust (6 degree dip). It is expected that the younger crust is hotter and thus more buoyant, and this is investigated within the TIPTEQ group using heat flow measurements. Additional work on the seismic wide-angle is ongoing. Furthermore, the influence of the oceanic plate segmentation on the overriding South American plate will be studied. New detailed multibeam bathymetry helps to identify seafloor features that can be attributed to the tectonic processes and used in a three-dimensional sense.

Groß, K., Buske, S., Wigger, P. (Freie Universität Berlin), Micksch, U., Krawczyk, C. M., Stiller, M. (GeoForschungsZentrum Potsdam), Araneda, M. (SEGMI, Santiago), Bataille, K. (Universidad de Concepcion), Bribach, J. (GeoForschungsZentrum Potsdam), Lüth, S. (Freie Universität Berlin), Mechie, J., Schulze, A. (GeoForschungsZentrum Potsdam), Shapiro, S. A. (Freie Universität Berlin), Ziegenhagen, T. (GeoForschungsZentrum Potsdam), TIPTEQ Working Group, X. (Berlin)

Structural Image of the Chilean Subduction Zone at 38° S: The Reflection Seismic Survey Within Project TIPTEQ

E-Mail: kolja@geophysik.fu-berlin.de

The Chilean continental margin is one of the most seismically active subduction systems and serves as a natural laboratory to study mega-thrust earthquakes. Investigations with respect to the structural and petrophysical properties of the corresponding seismogenic coupling zone are the key to understand the triggering mechanisms and processes that generate those mega-thrust earthquakes. This is one of the main aims of the interdisciplinary project TIPTEQ (from The Incoming Plate to mega-Thrust Earthquake processes).

For these purposes, a 3-component high-resolution survey was set up. Together with the marine SPOC data, the newly acquired seismic land data will yield a reflection seismic section that will cover the entire seismogenic coupling zone from its up-dip to its down-dip end. The survey consists of three components: A Near-Vertical Reflection profile (NVR), an Expanding Spread Profiling (ESP) part, and a SH configuration to generate S waves, polarised perpendicular to the profile direction.

An approximately 95 km long near-vertical reflection (NVR) seismic profile was shot in southern Central Chile at about 38° S in January 2005. The profile runs from the Central Valley to the Pacific Ocean along an east-

west trending line, thus crossing the relocated hypocenter of the historic 1960 Valdivia earthquake ($M_w = 9.5$). An 18 km long spread made up of 180 evenly spaced three-component geophones was moved 4.5 km in a daily roll-along. Four NVR-shots along the active spread each day yield an up to 8-fold CDP coverage. This will deliver a high-resolution image of the seismogenic coupling zone between the subducting Nazca Plate and the South American continent. An expanding spread (ESP) experiment component focuses on the down-dip limit (30-50 km depth) of the seismogenic coupling zone, harbouring the hypocenter of the 1960 earthquake. The configuration with an approximately 10-fold CDP coverage, made up of 19 shots with offsets up to 90 km, was designed to give a detailed image of this region. A SH-shot configuration with single-fold CDP coverage along the whole profile was carried out as a pilot study to test SH-wave generation by three-hole (Camouflet) shooting in a crustal regime. Using 3-component recordings, S-wave images should be obtained to yield an improved picture of the petrophysical contrasts within the subduction zone system.

This paper focuses on the structural imaging results using prestack Kirchhoff depth migra-

tion. Close to the coast the subducting oceanic crust is clearly visible and can be traced below a strongly heterogeneous accreted overburden further inland down to depths of about 50 km. As the slab goes down the reflectivity pattern varies strongly, showing almost no reflections in the area of the 1960 earthquake. At the eastern end of the seismic section, a strong reflector appears at about 60 km depth, which runs perpendicular to the extrapolated plate interface.

Taking into account results from previous experiments and other components of project TIPTEQ, we will present an interpretation of the subduction zone image with special emphasis on its structural features.

Postersession C
BP, GZ, EM

7.3. und 8.3., 16:00 - 18:00 Uhr in Raum 1040 im SFG
(alle Poster hängen während der gesamten Tagung aus)

Wilhelms, W. (GeoForschungsZentrum Potsdam und Universität Leipzig), Ritter, O., Becken, M. (GeoForschungsZentrum Potsdam)

Processing and analysis of MT array data from the San Andreas Fault around Parkfield, California

E-Mail: w.wilhelms@gmx.de

A magnetotelluric (MT) survey in spring 2005 was undertaken to study the deep electrical conductivity structure of the San Andreas Fault and its surroundings in the vicinity of the SAFOD borehole in Parkfield, CA. Data were recorded at 41 LMT (long period MT) and 40 broadband MT sites in a 50x50 km array using up to 30 synchronously operating instruments. The broadband sites are located along a 50 km long profile perpendicular to the San Andreas Fault and coincide with the seismic reflection line of Hole & Ryberg (2003).

Magnetotelluric array data gathered by simultaneously recording instruments can be used to calculate horizontal magnetic transfer functions W , which carry information on the dimensionality (complexity) of subsurface anomalies. However, these transfer functions can also be used to identify disturbed time series segments, which can result in strongly biased estimates of the transfer function W . Here, we intend to synthesize a noise free reference site for subsequent remote reference processing by using only time series segments, which are in agreement with an expected transfer function W for the entire array.

Between all simultaneously recording sites of the Parkfield array horizontal magnetic transfer functions were computed. Subsequently, different mathematical functions, e.g. polynomials were tested to fit the earth's magnetic field in the array area. We aim to reconstruct the magnetic field at all sites with

just one function only depending on latitude and longitude. This function can be used as a proxy for the noise free magnetic field in this region. This new idea seems to be advantageous compared to the standard remote reference processing, which strongly depends on the data quality of one remote site.

Web page: <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/MT/>

Eydam, D., Brasse, H. (FU Berlin)

Abbildungen von Fluiden und Schmelzen in Kruste und oberem Mantel der zentralen Anden: ein neuer magnetotellurischer Datensatz aus Chile und Bolivien

E-Mail: diane@geophysik.fu-berlin.de

Ein 2002 gemessenes Profil langperiodischer magnetotellurischer Daten auf dem bolivianischen Hochplateau bei etwa 18°S wurde Ende 2004 um Daten bis hin zur chilenischen Küste erweitert. Die gesamte Traverse verläuft unter einem Winkel von ungefähr N45°E nahezu senkrecht zum Streichen der wichtigsten strukturellen Einheiten der bolivianischen Orokline, und erstreckt sich mit einer Gesamtlänge von ungefähr 340 km von der chilenischen Küstenkordillere über das Längstal zur Präkordillere, dem Vulkanbogen und weiter über die Altiplano-Hochebene bis hin zur Ostkordillere. Durch die Erweiterung des Profils in Richtung Küste sollte versucht werden, „Fluidvorhänge“ und Fluidwege über oder in der abtauchenden Platte im Bereich des Forearcs und des Vulkanbogens zu lokalisieren. Weiterhin sollte die laterale Ausdehnung einer krustalen Zone erhöhter Leitfähigkeit studiert werden, wie sie bereits im südlichen Altiplano entdeckt wurde (ANCORP-Profil).

Ein Problem bei der Interpretation von MT-Daten entlang einer großen Traversen besteht häufig darin, dass sich keine, für alle Abschnitte des Profils einheitliche, Streichrichtung der elektrisch wirksamen Strukturen finden lässt. Dies ist auch auf dem hier betrachteten Profil der Fall: Betrachtet man die reellen Induktionspfeile, fällt auf, dass sie auf dem Altiplano für Perioden ab ca. 500s nahezu in Profilrichtung zeigen, was uns zumindest für die Hochebene selbst eine 2D-

Interpretation der Daten erlauben sollte. Allerdings weichen die reellen Induktionspfeile im Bereich des Forearcs stark von dieser Richtung ab und verlaufen für höhere Perioden in Nord-Süd-Richtung, d.h. etwa parallel zur Küste. Ein entsprechendes Ergebnis erhält man bei der Multi-Stations-, Multi-Frequenz-Analyse der Impedanzen nach McNeice and Jones (2001), welche einen Streichwinkel von N33°W für die Altiplanostationen ergibt. Bezieht man die küstennahen Stationen in die Streichwinkelanalyse mit ein, ändert sich der Winkel, denn diese Daten sind stark von Ost-West verlaufenden Strukturen im Forearc beeinflusst. Die 2D-Interpretation muss daher auf die Daten des eigentlichen Hochplateaus beschränkt werden.

Erste Ergebnisse der 2D-Inversionsrechnungen zeigen, dass selbst bei dem eingeschränkten Datensatz die Antworten der TE-, TM-Mode und der vertikalen Transferfunktionen sich signifikant voneinander unterscheiden, was letztlich bedeutet, dass 3D-Effekte verblieben sein müssen. In allen Inversionen bleiben jedoch vier auffällige Strukturen erhalten: 1) die gutleitenden Sedimente des zentralen Altiplanobereichs (Corque-Becken); 2) ein ausgedehnter, sehr guter Leiter in unterer Kruste und oberem Mantel unter der Altiplano-Hochebene, welcher mit partiellen Schmelzen in Verbindung gebracht wird. Dieser scheint mit 3) einem weniger großen, mäßig guten Leiter, der sich in der mittleren Kruste unter dem Vulkanbo-

gen befindet, durch eine Zone erniedrigter Leitfähigkeit verbunden zu sein; sowie 4) einem krustalen, hochresistiven Block zwischen der östlichen Grenze des vulkanischen Bogens und dem Corque-Becken. Der gute Leiter im oberen Mantel kann durchaus als spektakuläres Ergebnis angesehen werden: Es gelingt hier erstmalig in den Anden, den Mantelkeil, der Quellregion krustaler Schmelzen, als Zone erhöhter Leitfähigkeit abzubilden. Des weiteren werden erste Ergebnisse von 3D-Modellierungen aus dem Forearcbereich vorgestellt.

Literatur: Brasse, H., Lezaeta, P., Rath, V., Schwalenberg, K., Soyer, W., Haak, V. (2002): The Bolivian Altiplano conductivity anomaly, *J. Geophys. Res.*, 107 (B5), 10.1029/2001JB000391. McNeice, G.W. and Jones, A.G. (2001): Multi-site, multi-frequency tensor decomposition of magnetotelluric data, *Geophysics*, 66, 158-173.
der zentralen Anden: ein neuer magnetotellurischer Datensatz aus Chile und Bolivien

Hübert, J. (GFZ Potsdam, Uni Potsdam), Ritter, O. (GFZ Potsdam)

Kanonische Kohärenzen als Indikatoren für kohärentes Rauschen in der Magnetotellurik

E-Mail: jhuebert@gfz-potsdam.de

Die magnetotellurische Tiefensondierung ist als elektromagnetisches Verfahren anfällig für Rauschen, welches die Zivilisation mit sich bringt: Stromleitungen, Verkehrswesen etc. Der Einfluss von Störsignalen kann mit Hilfe von verschiedenen Verfahren aus der Statistik und der *remote-reference* Methode verringert werden. Für letzteres benötigt man zeitgleich registrierte Daten einer ungestörten Referenzstation. Ob eine Station tatsächlich als Referenz geeignet ist, ist in der Praxis oft schwer festzustellen, da eine Kontamination mit kohärentem Rauschen sehr subtil sein kann, aber ausgeschlossen sein muss.

Nach *Egbert, 1997* kann man einen Ansatz aus der multivariaten Statistik zu Hilfe nehmen, die *Kanonische Korrelationsanalyse*, um die Korrelationsstruktur zwischen zwei Zufallsvektoren zu bestimmen. Die kanonischen Kohärenzen beschreiben die Kohärenzdimension zwischen einer lokalen Station und mehreren anderen. Für die Magnetotellurik sollte die Kohärenzdimension zwei betragen, da es bei natürlicher Anregung nur zwei von einander unabhängige Richtungen der induzierten Felder gibt. Ist die Datenqualität an mehreren Stationen durch Störsignale der gleichen Quelle beeinträchtigt, wird dies durch eine größere Kohärenzdimension im gestörten Frequenzbereich angezeigt.

Die Kanonischen Kohärenzen charakterisieren also, ob Rauschen nur lokal oder auch

weiträumiger auftritt.

Webseite: <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/MT/people/jhuebert/>

Baranwal, V. C., Franke, A., Börner, R.-U., Spitzer, K. (TU Bergakademie Freiberg), Sharma, S. P. (IIT Kharagpur, India)

2D MT inversion using an adaptive unstructured grid finite element approach

E-Mail: vickyiitian@yahoo.com

The development of an efficient MT inversion scheme to interpret 2D data sets needs the elaborate calculation of the sensitivity matrix that contains the partial derivatives of the data with respect to the inversion model parameters. The perturbation method that determines the sensitivity matrix row-wise requires $m + 1$ forward computations, where m is the number of model parameters. The same numerical effort arises for another procedure called the sensitivity equation method that provides a linear system of equations for each row of the Jacobian matrix. However, it can be reduced to $n + 1$ forward calculations where n is the number of observation points. This method uses a modified equation system obtained from the derivative of the finite element equations with respect to the model parameters.

We have compared these different methods for calculating the sensitivity matrix. For the forward calculations we use an adaptive unstructured grid finite element algorithm that allows for efficient discretisation of arbitrary 2D model geometries. However, the inversion model is parametrised on a coarser grid, for which the sensitivities are determined. Due to the small number of degrees of freedom the numerical effort is reduced significantly. Concluding, we obtain a two-grid technique which has proved to be numerically efficient.

Wiebe, H., Tezkan, B., Prof. Dr. (Köln)

Joint-Inversion von Radiomagnetotellurik- und Geoelektrikdaten

E-Mail: heiko.wiebe@geo.uni-koeln.de

Zu den an der Universität zu Köln häufig genutzten Erkundungsmethoden im oberflächennahen Bereich zählen die Radiomagnetotellurik (RMT) und die Multikanalgeoelektrik. Es ist aus diesem Grund wünschenswert eine Software zu entwickeln, die die Messdaten beider Messmethoden gemeinsam auswerten kann, um die Auflösung zu verbessern, da sich die Eindringtiefen von RMT und Geoelektrik überlappen. Die Geoelektrik löst schlechte Leiter besser auf als gute, bei der RMT gilt der umgekehrte Sachverhalt, auch darum ist eine Joint-Inversion beider Methoden sinnvoll, da sich hier möglicherweise die Vorteile ergänzen. Realisiert wurde dieser Ansatz durch die Implementierung der Geoelektrik in ein bestehendes 1D-Inversionsprogramm (emuplus), das bereits MT-Routinen beinhaltet und die Möglichkeit zur Marquard- und Occaminversion bietet. Es werden Beispiele mit synthetischen und Felddaten gezeigt. Insbesondere wird an synthetischen Daten untersucht, ob sich 2D-Leitfähigkeitsstrukturen mit Hilfe der 1D-Joint-Inversion besser interpretieren lassen, als durch 1D-Einzelinversionen von RMT und Geoelektrik. Die entwickelte Software wurde auch auf Felddaten angewandt, die im Zusammenhang mit geomorphologischen Fragestellungen mit einer Multikanal-Geoelektrikapparatur und einem neuen RMT-Meßgerät (10kHz-1MHz) im Kölner Raum beobachtet wurden.

Siemon, B., Steuer, A., Meyer, U., Rehli, H.-J. (Hannover, BGR)

Post-tsunami helicopter-borne electromagnetics along the coasts of Aceh, Indonesia

E-Mail: b.siemon@bgr.de

The earthquake and the tsunami event on December 26th, 2004, caused the loss of life of more than 120,000 people, the missing and injuring of more than 110,000 people and the destruction of about 80 % of all private houses, basic infrastructure and public facilities in the coastal region in the Province of Nanggroe Aceh Darussalam. The tsunami waves caused large scale coastal salt-water intrusions and destroyed thousands of shallow drinking water wells.

This poster presentation documents a project between the Indonesian and German governments that is dedicated to re-install the public life and to secure the future health and wealth of the people that suffered from the consequences of the catastrophe. The focal point is the water assessment in coastal areas of Aceh about nine months after the tsunami.



Figure 1: Survey area Banda Aceh / Aceh Besar in northern Sumatra.

The aim of the project HELP ACEH (Helicopter Project ACEH) of the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) is to assist the Directorate General for Geology and Mineral Resources (DGGMR), the National Development Planning Agency (BAPPENAS) and the Executive Agency for the Rehabilitation and Reconstruction in Aceh and Nias (BRR) in their efforts to plan and realize a sustainable reconstruction of community infrastructure (like fresh-water supply) by providing geophysical, hydrogeological, geo-

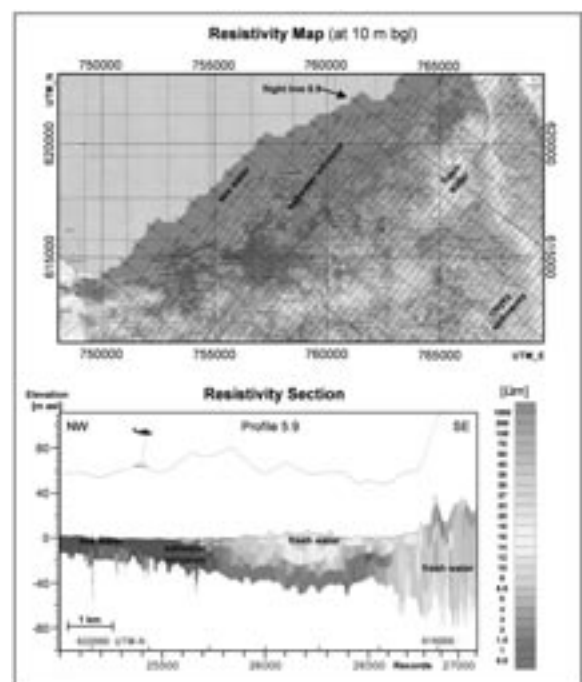


Figure 2: Resistivities at 10 m bgl and vertical resistivity section (profile 5.9) outline a shallow fresh-water lens to the east of the city of Banda Aceh.

logical and topographic data that will serve as a base for spatial planning.

The main activities comprise an airborne geophysical survey along the coastal areas of Banda Aceh / Aceh Besar, Calang-Meulaboh and Sigli conducted by the airborne group of the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) from August to November 2005. The BGR helicopter-borne geophysical system includes five-frequency (387 to 133,200 Hz) electromagnetics (HEM), magnetics (MAG) and gamma-ray spectrometry (SCI). The electromagnetic system provides information about the distribution of electrical conductivity in the earth down to a maximum depth of about 150 m. Based on the inversion of HEM data into the parameters of a layered half-space, resistivity maps and sections were produced.

This poster exemplifies the results of the helicopter-borne survey in the survey area of Banda Aceh / Aceh Besar in northern Sumatra (Fig. 1), where an area of about 1000 km² with a total survey line length of about 4000 km was surveyed within four weeks.

One important task has been the mapping of the tsunami-affected contamination of shallow groundwater resources. That could successfully be realised by calculating and displaying the resistivities at shallow depths, e. g. at 5 m bgl. EC values measured in February 2005 by Planète Urgence and from August to October 2005 by BGR are in sufficient agreement with the airborne data.

Resistivity maps, e.g. at 30 m bgl, outline areas of deep saltwater intrusion which has not been directly affected by the tsunami. Saline water at 30-50 m depth was found in at least two boreholes confirming that saltwater intruded several kilometres inland as shown on the resistivity maps.

One of the further tasks of HELP ACEH has been to outline fresh-water resources. From the resistivity maps it is evident that there are only some shallow fresh-water resources within the coastal areas of the Krueng Aceh valley. One is situated some 10 km east of the city of Banda Aceh (Fig. 2). Lateral and vertical extend of this fresh-water lens on top of saline water are clearly outlined by resistivity maps and sections, respectively.

Several organisations are drilling water wells in order to provide the population of Banda Aceh / Aceh Besar with potable water. BGR received many enquiries for appropriate drilling sites or, if the site had already been chosen, for information about the lithology to be expected. SDC (Swiss Agency for Development and Cooperation), for example, planned a water well close to the Krueng Aceh (river) and wanted to know how deep their borehole should be. From the corresponding resistivity section it could be assumed that about 14 m of sand/gravel covers a thick layer of clay or sandy clay.

The results of the helicopter-borne survey along the west (Calang-Meulaboh) and north coast (Sigli) are presented by Steuer et al. (2006).

Steuer, A., Siemon, B., Rehli, H.-J., (2006): HELicopter Project ACEH (HELP ACEH). Oral presentation, 66. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Bremen.

Schaumann, G., Reitmayr, G., Schmidt, H., Röttger, B., Rehli, H.-J. (Hannover, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)

Airborne and Ground Geophysical Investigations over the Coal Fire Area of Wuda, Inner Mongolia, China

The China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Centre for Land and Resources (AGRS) and the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Germany, have performed a helicopter borne survey as joint partners in the Sino-German Coal Fire Research Initiative.

The helicopter borne survey took place in the coal fire area of Wuda, Inner Mongolia, in August/September 2004. About 2800 line kilometres on 319 survey lines were flown with a nominal line spacing of 50 m and a tie line spacing of 250 m. The size of the area is about 100 square km.

The survey area includes all known coal fire locations in the Wuda syncline and for the first time a complex airborne geophysical equipment like a 6-frequency co-planar/co-axial electromagnetic system was used to verify fire locations with airborne methods. A caesium magnetometer measuring the anomalies of the Magnetic Total field complemented the survey system.

The detailed processing of the magnetic and electromagnetic data and their interpretation includes maps and resistivity depth sections. The main objective of the interpretation is focused on the recognition of coal fires by investigating the alteration of resistivities and magnetic intensities in the area. This is a new application of the helicopter EM method and the development of suitable algorithms is forced by this program.

With respect to the results of the Airborne electromagnetic (AEM) and airborne magnetic survey ground geophysical measure-

ments had been conducted in summer 2005 to complete the results. The ground geophysical survey was carried out by using the following methods: transient electromagnetics (TEM), Max-Min, Magnetic and VLF - measurements. These methods provide information about the electrical conductivity respectively the resistivity of the ground and the anomalies of the magnetic total field.

Results of the interpretation of the ground and airborne data will be presented.

Müller, M., Hertrich, M., Yaranmanci, U. (TU Berlin)

Untersuchungen zur Eindringtiefe und Auflösungsvermögen der magnetischen Resonanz Sondierung MRS mittels SVD

Untersuchungen zur maximalen Eindringtiefe und dem Auflösungsvermögen für das schlecht gestellte inverse MRS Problem wurden in den letzten Jahren aus verschiedenen Blickwinkeln vorgestellt. Die Arbeiten konzentrierten sich einerseits auf eine systematische Änderung der Modellparameter und deren Auswirkung auf das Inversionsresultat [1,2] oder verfolgten den Ansatz bei gleichbleibenden Modellparametern unabhängige Inversionsdurchläufe zu analysieren [3]. Alle genannten Methoden sind aus ihrem Ansatz heraus subjektiver Art. Eine objektive Methode das Auflösungsvermögen und die maximale Eindringtiefe zu bestimmen, bietet die Analyse der Modellauflösungsmatrix R , die mittels Singulärwertzerlegung (SVD) direkt aus dem Vorwärtsoperator gewonnen werden kann.

Die vorgestellte Studie beschreibt in diesem Kontext die Abhängigkeit der Eindringtiefe und des Auflösungsvermögens der MRS von verschiedenen Spulendurchmessern und spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten im Untergrundmodell, mit dem Ziel allgemeine Grenzen und Möglichkeiten der Methode zu bestimmen.

Aus der Modellauflösungsmatrix R können zwei wichtige Größen abgeleitet werden. Zum einen das Auflösungsvermögen als Funktion der Tiefe und die maximale Eindringtiefe. Die Vergleichbarkeit der verschiedenen Konfigurationen und Modelle bedingt die Definition einer Auflösungstiefe als Tiefe in der eine Schicht mit der Mächtigkeit von $1/10$ Spulendurchmesser noch verlässlich im Bezug auf seine Grenzen abgebildet werden kann.

Die maximale Eindringtiefe ist dann definiert, als Tiefe mit ausreichender Sensitivität um ein messbares Signal aufzunehmen, dass aber nicht mehr verlässlich einer Tiefe zugeordnet werden kann.

Die Studie zeigt, dass für vernachlässigbaren Leitfähigkeitseinfluss die maximale Eindringtiefe etwa 1.5 Spulendurchmesser und die Auflösungstiefe für eine Schicht von $1/10$ Spulendurchmesser Mächtigkeit 0.9 Spulendurchmesser beträgt. Für Spulen in der Größenordnung von 10 m und kleiner umfasst dieser vernachlässigbare Leitfähigkeitseinfluss nahezu alle geologisch relevanten Szenarien. Hinsichtlich größerer Spulen erhöht sich der Leitfähigkeitseinfluss überproportional und weist einen quadratischen Zusammenhang gegenüber der maximalen Eindringtiefe auf. Wir konnten weiterhin zeigen, dass die momentan verfügbare und genutzte Messtechnik an physikalische Grenzen hinsichtlich der Eindringtiefe auch für sehr große Spulen stößt. Eine Zieltiefe vom beispielsweise 1000 m ist nur für spezifische Widerstände größer $500 \Omega m$ und Spulendurchmesser größer 1000 m erreichbar.

[1] Legchenko, A. and Shushakov, O. 1998. Inversion of surface NMR data. *Geophysics*, 63, 75-84.

[2] Hunter, H. and Kepic, A. 2005. Surface nuclear magnetic resonance signal contribution in conductive terrains. *Exploration Geophysics*, 36, 73-77.

[3] Braun, M. and Yaranmanci, U. 2004. Inversions of surface-nmr signals using complex kernels. In *Proceedings of SAGEEP 2004*, Colorado Springs/USA, GW05.

Börner, R.-U. (TU Bergakademie Freiberg)

3D-TEM-Modellierung: Alternativen zum Zeitschrittverfahren

Die Berechnung elektromagnetischer Felder transienter Dipolquellen über dreidimensionalen Leitfähigkeitsstrukturen erfordert die numerische Lösung einer partiellen Differentialgleichung von parabolischem Typ. Als zuverlässige Lösungsmethode hat sich das Zeitschrittverfahren etabliert. Dabei wird das System der Maxwellgleichungen auf einem *staggered grid* diskretisiert. Die Stabilität des Verfahrens hängt von der Größe des gewählten Zeitschrittes ab. Die Zeitschrittweite ist proportional zu $\sqrt{\sigma_{min} t}$, womit die Behandlung des Lufthalbraumes der Leitfähigkeit $\sigma_{Luft} = 10^{-14}$ S/m zu einem erheblichen numerischen Mehraufwand führen würde. Zur Vermeidung derartiger extrem kleiner Zeitschritte kann der Luft-Halbraum-Grenze eine integrale Randbedingung zugewiesen werden. Der numerische Aufwand wird nun jedoch durch eine 2D-FFT dominiert.

Das Poster stellt einen alternativen Ansatz zur Lösung des Problems vor. Es wird eine gewisse Anzahl Lösungen im Frequenzbereich bereitgestellt, die den Transienten über eine Hankeltransformation synthetisieren. Die zur Synthese benötigten Antworten werden dabei für die zu einem speziellen Satz von Filterkoeffizienten gehörigen diskreten Frequenzen ermittelt.

Besonderes Interesse gilt der Problemlösung im Frequenzbereich. Skizziert wird eine Möglichkeit zur Effizienzsteigerung bei der Berechnung äquivalenter Probleme, die sich lediglich durch die Wahl der Frequenz unterscheiden.

Auf der Grundlage einer Krylov-Unterraum-Projektionsmethode können simultane Lösungen der Helmholtzgleichungen für viele Frequenzen bereitgestellt werden. Die Projektion wird durch einen Block-Lanczos-Algorithmus realisiert, welcher auf die bei der FE-Diskretisierung entstehenden Steifigkeits- und Massematrizen angewendet wird. Die Matrizen werden dabei auf ein niedrigdimensionales System abgebildet, wobei nur gewisse Lösungsanteile, z.B. an der Erdoberflächen, von Interesse sind.

chungen für viele Frequenzen bereitgestellt werden. Die Projektion wird durch einen Block-Lanczos-Algorithmus realisiert, welcher auf die bei der FE-Diskretisierung entstehenden Steifigkeits- und Massematrizen angewendet wird. Die Matrizen werden dabei auf ein niedrigdimensionales System abgebildet, wobei nur gewisse Lösungsanteile, z.B. an der Erdoberflächen, von Interesse sind.

Lange, J., Hanstein, T., Helwig, S.L. (Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie)

3D-Simulation von Metalldetektorsignalen mit finiten Elementen

E-Mail: lange@geo.uni-koeln.de

Die bisher effektivste Methode um im Erdreich verborgene Metallteile zu orten, ist die elektromagnetische Induktion. In einer Senderspule wird dazu durch einen harmonisch oszillierenden oder pulsartig geschalteten Strom ein elektromagnetisches Feld erzeugt, das wegen der hohen Leitfähigkeit der Metalle schon in kleinsten Teilen stärkere Induktionsströme erzeugt als in der Umgebung. Neben der Schatzsuche werden die Metalldetektoren vor allem bei der humanitären Landminensuche benutzt, da in den meisten Minen kleine Metallteile in Form von Zündkapseln, Schlagbolzen oder Federn verbaut sind. Um bei einer nachgeschalteten Analyse der Messsignale besser verstehen zu können, welche Komponenten der Mine bei der Signalerzeugung maßgeblich sind, werden an der Universität Köln numerische Simulationen durchgeführt. Bei Vergleichen der Ergebnisse mit analytischen Lösungen hat sich die kommerzielle Software FEMLAB bewehrt. Sie basiert auf der Methode der finiten Elemente. In einem ersten Schritt wurde das Signal von Kugeln berechnet, das in einer der Senderspule deckungsgleichen Empfangsspule bei harmonischer Anregung erzeugt wird. Vor allem die niedrige Eindringtiefe in den Metallteilen bei gleichzeitig relativ großem Induktionsraum erschwert die Gittergenerierung. Eine Möglichkeit dieses Problem zu lösen besteht in der Zerlegung des Modellraums in zwei Unterräume, die über Randbedingungen miteinander gekoppelt sind. Es ist dann möglich für

die Metallteile und den übrigen Modellraum getrennte Gitter zu erzeugen und so die für eine genaue Simulation erforderliche Elementdichte zu erreichen. Seit Erscheinen der neuen Version lassen sich für einfache Modelle auch ohne Zerlegung zufrieden stellende Gitter erzeugen. Für die Simulation komplexerer Minen ähnlicher Modelle ist aber weiterhin eine Aufteilung sinnvoll.

Webseite: <http://www.geophysik.uni-koeln.de>

Franke, A., Börner, R.-U., Spitzer, K. (TU Bergakademie Freiberg)

Dreidimensionale Finite-Elemente-Modellierung elektromagnetischer Felder auf unstrukturierten Gittern

E-Mail: franke@geophysik.tu-freiberg.de

Für die zweidimensionale Finite-Elemente-Modellierung elektromagnetischer Felder haben sich unstrukturierte Gitter als besonders zweckmäßig erwiesen. Sie ermöglichen die genaue Nachbildung komplizierter Modellgeometrien einschließlich beliebiger Oberflächentopographie. Außerdem bilden solche unregelmäßigen Netze die Grundlage für eine adaptive Gitterverfeinerung, die ausschließlich in Bereichen starker Feldgradienten und an Leitfähigkeitskontrasten stattfindet. Damit ist die optimale Nutzung der Rechnerkapazität zum Erreichen maximaler Genauigkeit der Lösung garantiert.

Die adäquate Auswertung dreidimensionaler Datensätze gewinnt zunehmend an Bedeutung. Sie erfordert die Simulation der elektromagnetischen Felder in drei Raumrichtungen. Formuliert man die Induktionsgleichung mit Hilfe eines Vektor- und eines Skalarpotentials, reduziert sich die Anzahl der Unbekannten pro Gitterpunkt auf vier. Mittels adaptiver Gitterverfeinerung kann eine sinnvolle räumliche Verteilung der Freiheitsgrade der resultierenden großen Gleichungssysteme sicher gestellt werden.

Die Simulation klassischer Anwendungen der Magnetotellurik basiert auf der Betrachtung der Maxwell'schen Gleichungen in quasistationärer Näherung. Der vorgestellte Finite-Element-Ansatz ist aber durch die Berücksichtigung von Verschiebungsströmen für Messverfahren, die mit einem breiteren Frequenzbereich arbeiten, einsetzbar. Ebenso

kann die relative magnetische Permeabilität neben der elektrischen Leitfähigkeit als Modellparameter auftreten, z.B. bei Anwendungen in der Erzprospektion und als temperaturabhängige Größe in Gesteinsschmelzen.

Fettig, A., Fertig, J. (TU Clausthal)

Anwendung zweiseitig rekursiver Filter – TSR-Filter – auf Georadar-Daten

E-Mail: andreas.fettig@tu-clausthal.de

Seismik und Georadar folgen beide den Grundlagen der Wellentheorie, jeweils mit den ihnen charakteristischen Größen. Dabei wird die Wechselwirkung des Quellsignals mit dem Untergrund durch das Modell der Faltung beschrieben. In der angewandten Seismik liefert die Dekonvolution unter Vernachlässigung von Störsignalen und Annahme einer statistisch zufälligen Verteilung von Reflektivitäten eine Lösung für dieses Modell. Diese Methodik führt aber beim Georadar aufgrund fehlender statistischer Voraussetzungen zu keinem optimalem Ergebnis mehr.

Eine Verbesserung der Auflösung und Schärfe von Kontrasten in Radargrammen soll hier durch die Anwendung eines TSR-Filters erreicht werden. Dieser stellt sich im z -Bereich dar als

$$F(z) = \frac{D(z) \cdot S(1/z)}{S_{min}(z)} \cdot \frac{1}{S_{min}(1/z)},$$

wobei D das gewünschte Signal und S das Quellsignal ist sowie min Minimalphasigkeit bedeutet.

Eine Beschreibung des Quellsignals S kann entweder mit Hilfe technischer Vorgaben des Herstellers oder über eine Messung der direkten Luftwelle zwischen den Radarantennen erfolgen. Für weitere Anwendungen wird ein analytisch beschreibbares Signal nach GABOR verwendet. Es bietet insgesamt drei Parameter zur Charakterisierung, darunter Frequenz und Phase.

Die Invertierung des minimalphasigen Äquivalents zum Quellsignal S erfordert eine Betrachtung der Filterstabilität. Diese

ist bei einer unendlichen Approximation der Inversen nur für einen endlichen Energiegehalt gegeben. Dies ist gleichbedeutend mit der Minimalphasigkeit von S . Eine stabile Invertierung von $S_{min}(1/z)$ ist nur durch eine 'doppelte' Invertierung, d.h. Invertierung in Zeit und Wert, zu erreichen.

Die Anwendung eines solchen Filters auf eine Datenspur X führt zu einer zweiseitigen, d.h. akasalen Rekursionsformel. Es zeigt sich, dass die Filterkoeffizienten je nach Signaltyp einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität des Ergebnisses haben, wie in Abbildung 1 dargestellt.

Zusammenfassend kann u.a. festgehalten werden, dass die notwendige Bestimmung des Quellsignals im Radarfall ohne Anwendung einer Autokorrelationsfunktion, wie in der Seismik üblich, anzunähern ist. Des Weiteren ist im Sinne der Filterstabilität auf eine genügend große Anzahl an Filterkoeffizienten zu achten. Diese sind dann im Rahmen der Faltung auf eine Datenspur X anzuwenden.

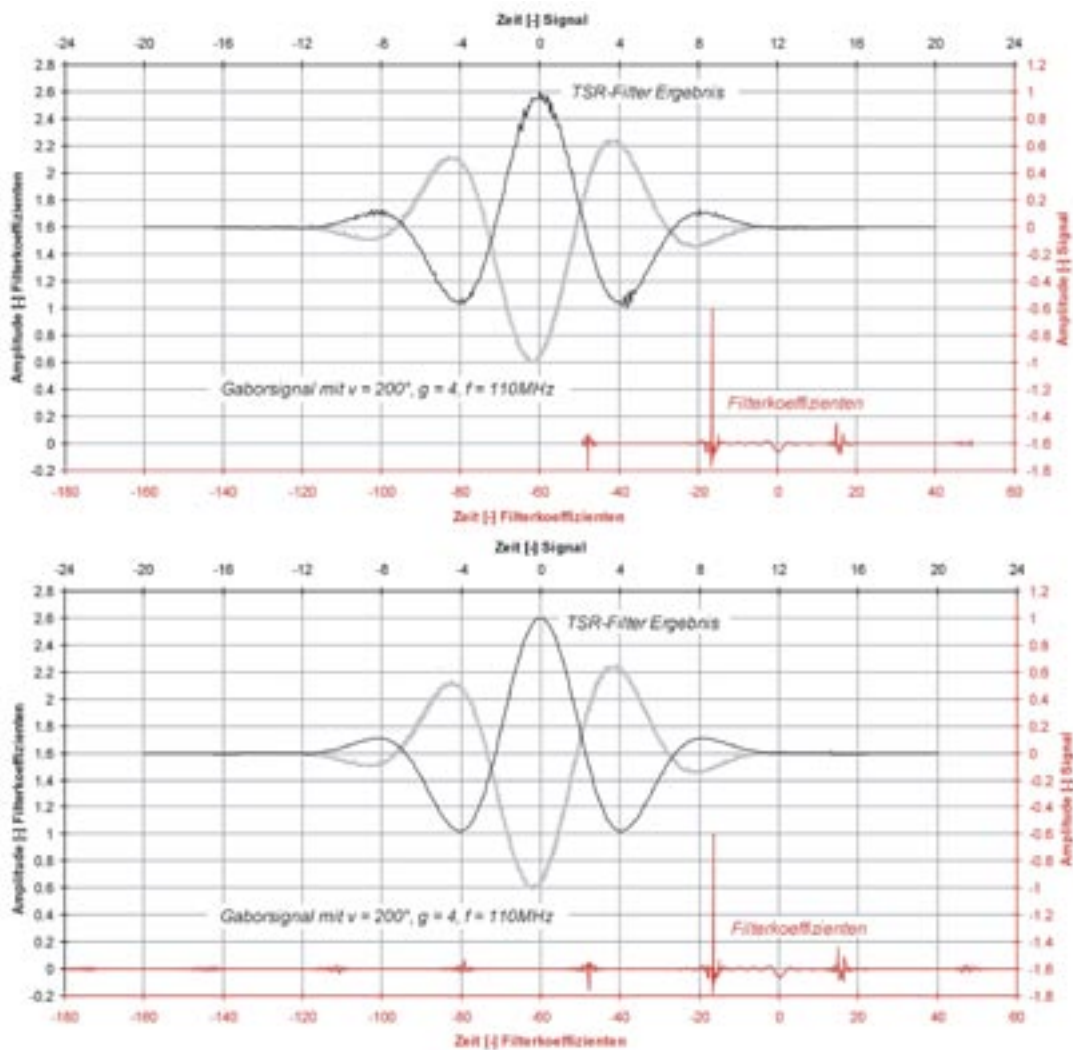


Abbildung 1: Ein Signal nach GABOR soll durch sein zerphasiges Äquivalent ersetzt werden. Nur mit einer verlängerten Reihe an Filterkoeffizienten (unten) liefert der TSR-Filter das gewünschte Ergebnis ohne störende hochfrequente Anteile (oben).

Grützner, C., Reicherter, K., Schikowsky, P. (Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie)

GPR investigations for neotectonic and paleoseismic studies in southern Spain

E-Mail: chrigrue@gmx.de

Ground penetrating radar (GPR, georadar) has been applied to visualize sedimentary structures related to recent deformation and for imaging fault geometries. Several 200 MHz GPR-profiles perpendicular and parallel, including large scaled grids, to active strike-slip and normal faults in Andalusia have been analyzed. Strike-slip and normal faults with associated sedimentary and tectonic patterns in southern Spain were taken as test sites (Fig. 1): (1) the Carboneras Fault Zone (CFZ) in the Cabo de Gata area (Province of Almería); (2) the Campo del Dalías with its Balanegra and Loma del Viento faults (Province of Almería) and (3) the Ventas de Zafarraya Fault (ZF) in the Granada basin (Province of Granada). The lithologies studied varies from faulted alluvial and colluvial sediments of the Pleistocene over Tyrrhenian terraces, coastal sands and Pliocene shallow marine carbonates to Mesozoic carbonates. The structural inventory and the sedimentary patterns were studied in trenches and natural outcrops for direct correlation with the GPR-data. Profiles across buried faults from several localities are compared with geological field observations. The hanging walls of these faults form grabens or half-grabens which are characterized by internal asymmetric concave, displaced reflectors or wedge-like features which can be observed in adjacent outcrops as well. Combined with those field investigations results from the interpretation of the GPR-data were used to create structural models of the active fault

zones. The examples demonstrate that high-resolution GPR-profiling provides the possibility to trace and map active normal faults. It is also practicable to visualize the associated hanging wall patterns in the subsurface such as heterogeneous graben and half-graben structures, tilted strata including coarse grained clastic wedges. Quantitative and qualitative evaluation of those wedges by georadar yield a certain possibility of estimation of paleomagnitudes and slip rate on active normal faults. GPR-profiling on the trench floor can reveal further information on the faulting history. As in the case of the Carboneras Fault Zone (Fig. 2), traces of active strike-slip faults are more difficult to be imaged with georadar, occasionally positive or negative flower structures can be observed in surface near sediments. Often it is not possible to delineate displacements or fault geometries or even to deduce fault kinematics along strike. However, mapping of faults is possible in this area. The GPR investigations of high-angle normal faults in the Campo del Dalías and Ventas de Zafarraya region provide various information from the hanging wall patterns and allow fault mapping as well as displacement delineation.

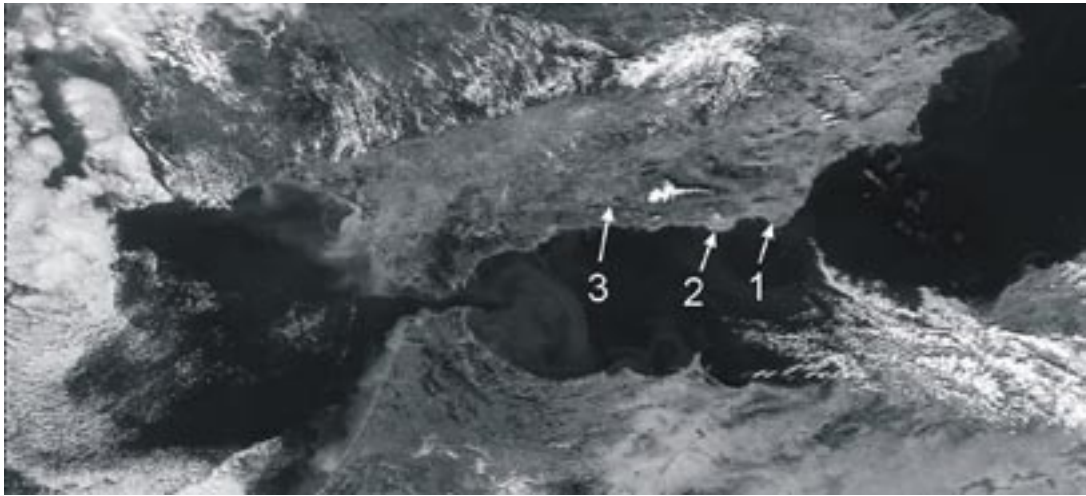


Figure 1: Setting of the test sites: (1) Cabo de Gata; (2) Campo del Dalías; (3) Granada basin

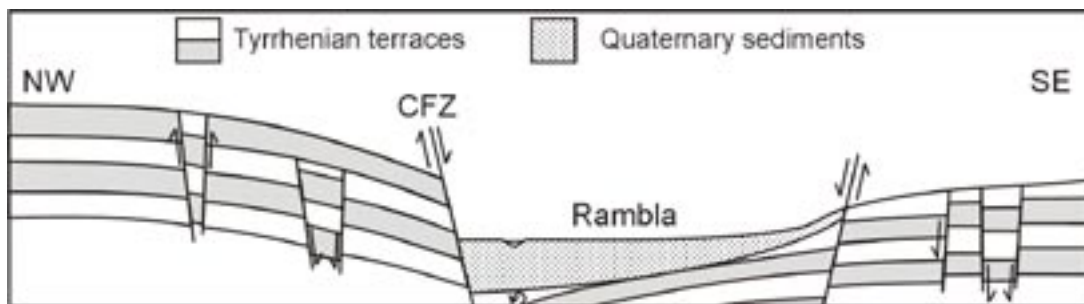


Figure 2: Sketch model of the Carboneras Fault Zone (CFZ) at Rambla Almoladeras/Cabo de Gata

Löhken, I., Bergers, R., Tezkan, B. (Universität zu Köln, Institut für Geophysik und Meteorologie)

Monitoring der Bodenfeuchte mit Georadar und FDR

In Zusammenarbeit mit dem Geographischen Institut der Universität Köln werden in der Nähe von Köln Untersuchungen zur Bodenfeuchte durchgeführt. Die Hydrologen interessiert hierbei die Wasserbewegung im Boden, insbesondere der laterale Fluss. Im Rahmen der Diplomarbeit wurden dafür auf drei Profilen über einen Zeitraum von fast sechs Monaten wöchentlich Georadar- und FDR-Messungen durchgeführt. Außerdem wurden Bodenproben zur Feuchtebestimmung im Labor entnommen. Zusätzlich zu diesen Messungen führten die Hydrologen an den gleichen Stationen Niederschlagsmessungen sowie kontinuierliche FDR-Messungen mit jeweils in drei verschiedenen Tiefen (10 cm, 30 cm und 90 cm Tiefe) vergrabenen Sonden durch. Die Georadar-Messungen wurden mit einem konstanten Antennenabstand von 80 cm durchgeführt, gemessen wurde in 20 cm Schritten. Aus der Laufzeit der direkten Bodenwelle wurde ϵ_r und danach die Feuchte nach der Formel von Topp bestimmt. Um die Georadardaten besser mit den FDR-Daten vergleichen zu können, werden jedoch vorerst nur die ϵ_r -Werte verglichen. Der zeitliche und auch der laterale Verlauf der Georadar- und FDR-Daten stimmen gut überein, wenn auch die Absolutwerte etwas auseinander liegen. Ein Vergleich mit den Messungen der Hydrologen ergibt, dass die Georadardaten am besten mit den Daten der Sonde in 10 cm Tiefe übereinstimmen. Zur Zeit werden Bodenproben ausgewertet, die zur Kalibrierung der FDR-Sonde dienen sollen.

Helm, V. (AWI)

The Cryosat land ice validation experiment 2004

Part I: Combination of ASIRAS - Airborne SAR Interferometric Radar Altimeter System - and laser altimetric

E-Mail: vhelm@awi-bremerhaven.de

The aim of the CryoSat satellite radar altimetry mission is to measure temporal changes in the surface elevation of land ice and sea ice over a period of 3 years. Over land ice, a change in surface elevation is considered to be a consequence of ice sheet thickening or thinning. Spatial patterns of the rate of thickening or thinning will be produced which, at the simplest level, will form the basis for attempts to identify regions and periods of mass accumulation and mass loss. Such information is vital for assessing the impact on the cryosphere of potential changes in global climate. Satellite-based radar altimetry is ideally suited to this purpose, having the capability to provide surface elevation measurements over large, remote areas at regular time intervals. However, the accuracy to which satellite-measured surface elevation change represent change in land-ice mass is imperfectly constrained.

Accurate quantification of surface elevation change is limited by two associated problems: I:) the accuracy to which satellite-derived records of the surface elevation of an ice mass represent actual surface elevation, and II:) the extent to which changes in actual surface elevation represent mass change.

The CryoVex (CryoSat Validation Experiment) 2004 campaign was the second combined experiment of airborne and surface campaigns in the Arctic (first campaign:

CryoVex 2003 - National Survey and Cadastre - Denmark).

The primary goal of CryoVex2004 as well as CryoVex 2003 was to provide coincident laser and interferometric radar measurements, in order to understand the penetration of CryoSat radar signal into polar sea ice and continental ice caps.

For redundant calibration purposes the german airplane Polar 4 is equipped with a laser altimeter (Riegl - LMS-Q280), the ASIRAS instrument, a scanning single-beam laser (LD90) and two GPS receivers (Trimble).

During CryoVex 2004 two campaigns took place. Flights were performed in Svalbard across Austfonna, on the Greenland Ice Sheet along the EGIG line and on Devon ice cap (Canadian Arctic). For calibrating the system runway overflights and corner reflector cross flights were performed. We will demonstrate the extensive calibration processing flow and focus at squint angle and timeshift problems between the instruments.

Radar waveform plots show penetration of up to 8 m into the snow pack and single reflectors can be identified. Different reflection patterns can be characterised corresponding to distinct snow regimes. A first try is made to classify these regimes and to combine with GPR results.

Dunse, T. (Bremerhaven,AWI)

The Cryosat land ice validation experiment 2004

Part II: Ground-based measurements of the firn structure using GPR

E-Mail: tdunse@awi-bremerhaven.de

The aim of the CryoSat satellite radar altimetry mission is to measure temporal changes in the surface elevation of land ice and sea ice over a period of 3 years. Over land ice, a change in surface elevation is considered to be a consequence of ice sheet thickening or thinning. Spatial patterns of the rate of thickening or thinning will be produced which, at the simplest level, will form the basis for attempts to identify regions and periods of mass accumulation and mass loss. Such information is vital for assessing the impact on the cryosphere of potential changes in global climate. Satellite-based radar altimetry is ideally suited to this purpose, having the capability to provide surface elevation measurements over large, remote areas at regular time intervals. However, the accuracy to which satellite-measured surface elevation change represent change in land-ice mass is imperfectly constrained.

Accurate quantification of surface elevation change is limited by two associated problems: I:) the accuracy to which satellite-derived records of the surface elevation of an ice mass represent actual surface elevation, and II:) the extent to which changes in actual surface elevation represent mass change.

During CryoVex 2004 high resolution ground-penetrating radar measurements were performed in the western part of the Greenland Ice Sheet along the lines of a detailed grid net (100 x 100 m), using 500

and 800 MHz antenna frequencies. The grid is located at point T05 (70° N, 47° W) of the EGIG-line at an altitude of around 1940 m NN, corresponding to the upper percolation zone. Surface melting may occur during the summer and melt water percolates into the snow pack to form ice lenses or continuous layers of high density. Reflections of the radar pulse are attributed to changes in the dielectric constant, which - in snow and firn - is controlled by the density contrast. Based on the GPR-measurements, several internal horizons down to a depth of about 10 m, including the last summer surface, could be identified and tracked throughout the grid, enabling an estimation of the mass balance and an analysis of the spatial and temporal variation in accumulation for the periods enclosed by the horizons. GPS-data was used to map the horizons within an absolute reference frame.

Finally, results from the ground-based measurements are discussed in comparison with results from the airborne ASIRAS-survey, in order to get a better understanding of how horizons visible in both records correlate with each-other.

Hauck, C. (Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Forschungszentrum Karlsruhe),
Kneisel, C. (Geographisches Institut, Universität Würzburg)

Quantifying the ice content in low-altitude scree slopes using geophysical methods

E-Mail: hauck@imk.fzk.de

In partly or permanently frozen ground the subsurface material may constitute of four phases: solid (rock), liquid (unfrozen pore water), gaseous (air-filled pore space) and another solid phase (frozen pore water, ice). The actual constitution of the subsurface can only be determined by direct observations in boreholes (which can be costly in permanently frozen areas) or through indirect geophysical measurements. In order to determine the actual volumetric fractions of the four phases (namely the ice content, air content, water content and porosity), Hauck et al. (2005) proposed a 4-phase model based on 2-dimensional resistivity and seismic velocity data sets. Inversion of resistivity and seismic data was performed using RES2DINV and a refraction tomographic inversion scheme introduced by Lanz et al. (1998), respectively. The model was originally tested on two Alpine rock glaciers with spatially variable ice content and ground truth obtained by boreholes.

In many periglacial applications the detection and quantification of ground ice is the important task. For example low-altitude central European highlands slope sections covered with blocky material may contain ground ice throughout the year due to microclimatic conditions that resemble those of high latitude or high altitude periglacial areas. Essential preconditions for this extraordinary microclimatic phenomenon are assumed to

be a thick layer of blocks with an open void system, i.e. steep slopes with almost no fine material. Summer ice observations in the near subsurface and the occurrence of cold adapting mosses and different invertebrate groups (e.g. beetles and spiders) normally living in high alpine or polar areas are normally used as indicators for the possible presence of ground ice (Gude et al. 2003, Zacharda et al. 2005). However, the hypothesis whether significant ice occurrences could be permanently present within the scree slopes is still an open question.

In this contribution the 4-phase model is applied to this problem using data sets from a series of geoelectric and seismic surveys on low-altitude scree slopes in Central Europe. First results indicate that the geophysical techniques used and the proposed 4-phase model are indeed capable of visualising possible ice occurrences within these unique geomorphological and microclimatic phenomena. In addition, sensitivity studies will be presented showing the dependency of the model on the inversion routines, the free parameters in the 4-phase model and on uncertainties in the determination of the material constants (e.g. the seismic velocity of the host material).

References:

Gude, M., Dietrich, S., Mäusbacher, R., Hauck, C., Molenda, R., Ruzicka, V. and Zacharda, M. (2003): Permafrost conditions

in non-alpine scree slopes in central Europe. In: Permafrost (eds: Phillips, Springman, Arenson), Swets and Zeitlinger, Lisse, 331-336.

Hauck, C., Böttcher, M. and Kottmeier, C. (2005): Modellierung von 4-Phasen Gemischen in gefrorenem Untergrund auf der Basis von Geoelektrik und Seismik. Proceedings 65th Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (DGG), Graz, Austria, 47-48 (in german).

Lanz, E., Maurer, H.R. and A.G. Green (1998): Refraction tomography over a buried waste disposal site. *Geophysics*, 63 (4): 1414-1433.

Zacharda, M., M. Gude, S. Kraus, C. Hauck, R. Molenda and V. Ruzicka (2005): The relict mite *Rhagidia gelida* (Acari, Rhagidiidae) as biological cryoindicator of periglacial microclimate in European highland screes. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 37 (3): 402-408.

Anschütz, H., Steinhage, D., Oerter, H., Jokat, W. (Bremerhaven), Dietrich, R. (TU Dresden)

Geophysikalische und glaziologische Untersuchungen zur Erfassung der Akkumulation im Dronning Maud Land, Antarktis

E-Mail: hanschuetz@awi-bremerhaven.de

Die Wechselwirkungen des antarktischen Eisschildes mit der Atmosphäre, den Ozeanen sowie der festen Erde stellen grundlegende Prozesse im weltweiten Klimageschehen dar. Daher ist die detaillierte Kenntnis der gegenwärtigen Veränderungen der antarktischen Eisbedeckung und der Massenbilanz von herausragender Bedeutung. Hierbei sind die Akkumulationsrate und ihre Variation in der Antarktis wichtige Parameter für das Verständnis des Eismassenhaushaltes.

Akkumulationsdaten, die aus Firnkernen, Schneeschächten oder Stangenablesungen gewonnen werden, geben jedoch nur punktuell Aufschluß über die mittlere jährliche Akkumulation. Mit dem Georadar dagegen können flächendeckend interne Reflexionshorizonte und Strukturen im Eis bzw. Firn erfaßt und verfolgt werden, aus denen mit Hilfe einer Alters-Tiefen-Beziehung die Akkumulation abgeleitet werden kann.

Auf diesem Poster werden die Daten und Ergebnisse der Expedition VISA-Boden 2003/2004 präsentiert. Diese Expedition fand im Rahmen des VISA-Projektes statt, das zum Ziel hat, Satellitendaten durch bodengebundene und fluggestützte Messungen zu validieren. So kann z.B. mit den aus den Bodendaten gewonnenen Massenänderungen der zeitlich veränderliche Anteil der aus den Satellitenmissionen erhaltenen Schweresignale validiert werden. Dazu fanden im Südsommer 2003/2004 Untersuchungen u.a. zur Variation der Akku-

mulationsrate auf dem Potsdam-Gletscher im Central Dronning Maud Land, Antarktis, statt.

Hierzu wurden nahezu 100 km GPR-Profilen mit einer 500 MHz-Antenne auf der Hauptfließlinie des Gletschers und senkrecht dazu gefahren. Der Spurbestand betrug 0.5 m bei 2048 Samples/Spur und einer Aufzeichnungszeit von 400 ns, so daß der obere Bereich des Firnuntergrundes hochaufgelöst überdeckt werden konnte. Ferner erfolgten an fünf ausgewählten Punkten auf den GPR-Profilen Firnkernbohrungen von je ca. 12 m Tiefe. An diesen Stellen wurden gleichfalls Schneeschächte gegraben, die je 2 m tief waren und mit 40 Proben beprobt wurden.

Ziel dieser geophysikalischen und glaziologischen Feldarbeiten war es, interne Horizonte im oberen Bereich des Firnuntergrundes aufzufinden und zu verfolgen. Aus der Datierung dieser Horizonte läßt sich bei bekannter Differenz der jeweiligen kumulativen Massen (Schneeauflasten bis zur entsprechenden Tiefe) die Akkumulation berechnen.

An den gebohrten Firnkernen wurden im Eislabor Dichtemessungen durchgeführt sowie DEP-Messungen (dielectric profiling), die Aufschluß geben über den Dielektrizitätskoeffizienten (DK) und die elektrische Leitfähigkeit im Firn. Weiterhin wurde der Gehalt des Sauerstoff-Isotops ^{18}O bezogen auf ^{16}O ($\delta^{18}\text{O}$ -Wert) bestimmt.

Aus den Dichtedaten lassen sich Massen-Tiefen-Modelle ableiten und aus dem DK und der Leitfähigkeit die Geschwindigkeit im Firn

bestimmen, mit deren Hilfe die gepickten Radarhorizonte von Laufzeit- zu Tiefenwerten konvertiert und ihre jeweilige Masse bestimmt wurde. Zählen der $\delta^{18}\text{O}$ -Peaks (Sommermaxima) führte zu einer Alters-Tiefen-Beziehung. Mit diesen Datensätzen konnte schließlich die mittlere jährliche Akkumulation und das Akkumulationsmuster im Messgebiet bestimmt werden.

Die Akkumulation im Untersuchungsgebiet variiert räumlich sehr stark mit ausgeprägten Maxima und Minima. Diese lassen sich z.T. durch die Oberflächentopographie erklären.

Die mittlere Akkumulation im Untersuchungsgebiet beträgt ca. $144 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}}$ mit einer einfachen Standardabweichung von 46 % des Mittelwertes. Generell läßt sich gletscherabwärts ein abfallender Trend der Akkumulation erkennen. Die zeitlichen Variationen sind im Betrachtungszeitraum 1970-2004 sehr gering und das Akkumulationsmuster ist örtlich nahezu stabil.

Eisen, O. (ETH Zurich, AWI Bremerhaven), Steinhage, S., Wilhelms, F. (AWI Bremerhaven)

Improving the dating accuracy and accumulation record of ice cores by geophysical constraints

E-Mail: eisen@vaw.baug.ethz.ch

Continuously imaging the internal structure of polar ice sheets and cold alpine glacier can only be achieved by ground-penetrating or airborne radar. The usage of this data is manifold, two applications are presented here.

The isochronous property of reflection horizons enables the synchronization of deep ice cores, which is otherwise usually performed by comparing various records and matching obvious characteristics. With a combination of radio-echo sounding data connecting two ice cores and techniques for numerical modeling of electromagnetic reflections in an ice sheet we show that it is possible to locate the origin of internal reflections in an ice core with an accuracy of 0.5 m in a depth of 2000 m and more. Electrical properties along an ice core serve as input to the model and reproduces the reflection characteristics of the radar profile near the ice core. The depth of origin of reflections are identified in two steps: firstly, pronounced series of reflections are used to calibrate the electromagnetic wave speed; secondly, individual peaks in conductivity in the input record are removed, thus also removing the corresponding reflections in the synthetic radargram. Our numerical modeling approach improves the accuracy with which the reflector origins are identified compared to the usual method where reflector traveltimes (respective depths) and ice-core profiles are merely compared. The method imposes little constraints on the input records, making it applicable to a number of drilling sites.

The spatial age-depth scale derived from isochronous internal reflection horizons contains information about the flow history of a glacier. Likewise, the spatio-temporal accumulation characteristics are imprinted in the internal structure. At drilling sites that are subject to horizontal flow the reconstruction of accumulation from the ice-core record is difficult because of upstream effects: temporal and spatial contributions are mixed in the record and have to be separated for a decent climatic interpretation. With internal layers accurately dated by the above technique at hand, we present an inverse modeling approach that reconstructs the kinematic properties of the ice-sheet movement in time. Thus it is possible to separate spatial variations in accumulation from the original climatic signals, which are the main aim of drilling projects.

Web page: [www.vaw.ethz.ch/research/
glaciology/glacier_mechanics/
gz_inversion/_eisdyn](http://www.vaw.ethz.ch/research/glaciology/glacier_mechanics/gz_inversion/_eisdyn)

Zisser, N., Heikamp, S., Nover, G. (Universität Bonn)

Einfluss von Druck und Anisotropie auf die Permeabilität und den komplexen elektrischen Widerstand von Sandsteinen

Die Messung des komplexen spezifischen Widerstandes bietet aufgrund seiner Abhängigkeit von petrophysikalischen Parametern die Möglichkeit der nicht-invasiven Bestimmung von Struktur- und Transportparametern. Da der Zusammenhang zwischen den Messwerten der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) und den petrophysikalischen Parametern noch nicht genügend verstanden ist, werden und wurden in diesem Bereich, insbesondere hinsichtlich der Korrelation zwischen komplexen Widerstand und Permeabilität, umfangreiche Forschungen durchgeführt (u.a. Sturrock et al. 1999). Diese Untersuchungen fanden jeweils unter Normaldruck statt und auch der Einfluss der Anisotropie auf die Messwerte ist noch nicht genauer betrachtet worden. Insbesondere in Bezug auf die Übertragbarkeit von Labordaten auf Gelände- und Bohrungsdaten ist die Kenntnis über diese Einflüsse aber unabdingbar. Zudem ermöglichen SIP-Messungen an Proben unter verschiedenen Drücken die Betrachtung des Zusammenhanges zwischen Porenraum und SIP-Messwerten bei gleich bleibenden anderen Einflussgrößen, wie Mineralbestand oder Korngrößenverteilung.

Die Messungen wurden in einem Druckbereich von 1 bis 1000 bar durchgeführt. Aufgrund der kleinen Permeabilitäten (<md) wurde die Permeabilität mittels der Druck-Transient-Methode erhoben. Als Messgas diente Argon. Der frequenzabhängige spezifische Widerstand wurde mittels einer Zweipol-Anordnung im Bereich von 1 kHz bis 1 MHz aufgezeichnet. Die Spektren sind

bezogen auf das Cole-Cole-Model (Cole & Cole, 1944) ausgewertet worden. Zur Auswertung wurde das erstellte Programm *modelfit* benutzt, das neben den etablierten Least-Square-Algorithmen einen genetischen Algorithmus und den Direct-Inversion Code von Xiang et al. (2003) zur Verfügung stellt. Das Programm basiert auf matlab und besitzt eine benutzerfreundliche graphische Oberfläche. Neben dem Cole-Cole-Model sind bisher 6 weitere Modelle in das Programm implementiert.

Die untersuchten Proben stammen aus einem dichten Gas-Reservoir des Nord-Deutschen Beckens. Die Proben bestehen überwiegend aus detritischen Komponenten: monokristalliner Quarz, Gesteinsfragmente und Feldspat. Untergeordnet treten sekundäre Tonminerale auf (u.a. Chlorit, Serizit). Die ausschließlich sekundäre Porosität der Proben beträgt bei Normaldruck zwischen 2 und 12 %. Aus dem Bohrkern wurden pro Probe jeweils drei richtungsabhängige Plugs entnommen: In der Foliationsebene, parallel zur Lineation (X), senkrecht zur Lineation (Y) und senkrecht zur Foliationsebene (Z).

Die Permeabilität der Proben nimmt wie zu erwarten mit steigendem Umgebungsdruck exponentiell ab, wobei in X-Richtung in der Regel die höchsten und in Z-Richtung die geringsten Permeabilitäten auftreten. Bei einigen Proben weist auch die Z-Richtung aufgrund von Mikrorissen die höchsten Werte auf. Diese Risse schließen sich aber bei geringerem Druck, so dass die Permeabilität

bei höheren Drücken unter die der X- und Y-Richtung sinkt. Bei kleinen Drücken weisen die Permeabilitäten eine starke Anisotropie auf. Die Werte unterscheiden sich bis zu einer Größenordnung. Mit zunehmenden Drücken gleichen sich die Werte einander an.

Die nach dem Cole-Cole-Model ausgewerteten Spektren zeigen einen exponentiellen Anstieg für den DC-Widerstand mit dem Druck, wobei die Anisotropie mit steigendem Druck zunimmt und bis zu 3 Dekaden beitragen kann. Die Relaxationszeit weist ebenfalls bei exponentieller Zunahme eine starke Anisotropie auf. Eine Druckabhängigkeit der Anisotropie für die Relaxationszeit ist allerdings nicht zu erkennen. Bezüglich der weiteren Cole-Cole-Parameter (m & c) zeigen die Proben keine Druckabhängigkeit und nur eine schwache Anisotropie.

Aus dem DC-Widerstand wurde die Porosität abgeschätzt. Die Werte stimmen relativ gut mit den bekannten Porositäten bei Normaldruck überein und zeigen die zu erwartende exponentielle Abnahme mit steigendem Druck. Allerdings besteht diese

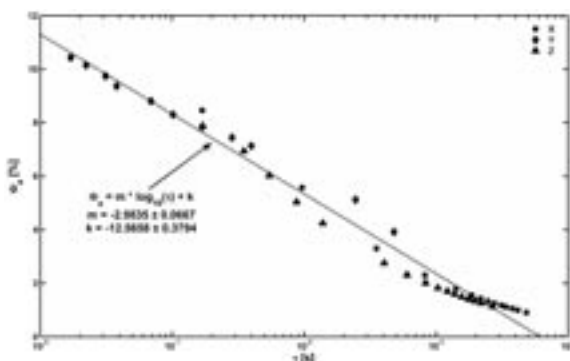


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Relaxationszeit und scheinbarer Porosität für Probe 4 in X-, Y- und Z-Richtung.

Übereinstimmung nur, wenn man den Mittelwert der richtungsabhängig bestimmten scheinbaren Porosität betrachtet, da diese scheinbare Porosität ebenfalls eine Anisotropie aufweist. Auffällig ist ein linearer Bezug zwischen Relaxationszeit (logarithmisch) und scheinbarer Porosität, der keine Abhängigkeit von der Richtung der Probe zeigt (Abb. 1). Ein direkter Bezug zwischen Permeabilität und Relaxationszeit ist hingegen nicht zu erkennen. Allerdings sinkt die Relaxationszeit stetig mit zunehmender Permeabilität.

In der Zukunft sollen weitere Messungen an Sand-, Ton- und Kalkgesteinen durchgeführt werden. Zudem wird für niederfrequente Messungen eine 4-Pol-Messanordnung für die Elektrik-Druckzelle gebaut und das Druckmedium von Öl auf Gas umgestellt, um den Einfluss auf das Messsignal zu verringern. Desweiteren werden die Messungen mit unterschiedlichen Elektrolytlösungen wiederholt. Zudem sollen bekannte Modellvorstellungen an den gemessenen Daten angewandt bzw. neue Modelle abgeleitet werden.

Literatur:

Cole, K.S., Cole, R.H. (1944) Dispersion and absorption in dielectrics. *J. Chem. Phys.*, 9, 341-351.

Sturrock, J, Lesmes, D., Morgan, F. (1999) Permeability estimation using spectral induced polarization measurements. *Proc. Symp. Appl. of Geophys. to Engin. and Environ. Probl.*, 409-416.

Xiang, J., Cheng, D., Schlindwein, F.S., Jones, N.B. (2003) On the adequacy of identified Cole-Cole models. *Computer & Geosciences*, 29, 647-654.

Rifai, H. (GGA-Institut, Hannover), Kappes, R. (Institut für Mineralogie der Universität Hannover, GGA-Institut, Hannover), Kischkies, S. (GGA-Institut, Hannover), Furche, M. (BGR, Hannover), Schmerler, J. (BGR, Hannover), Rammlmair, D. (BGR, Hannover), Wonik, T. (CGA-Institut, Hannover)

NMR-Untersuchungen an mit Elektroden ausgestatteten Linern zur Bestimmung von Transportvorgängen

E-Mail: H.Rifai@gga-hannover.de

Transportvorgänge in Deponien im Bereich von Bergbau- und Aufbereitungsanlagen können einerseits zu einem Schadstoffeintrag in die Umgebung führen, andererseits tragen sie zu Krustenbildungsprozessen an Deponieoberflächen bei, die möglicherweise an einer natürlichen Versiegelung mitwirken können. Derartige Transportvorgänge werden modellhaft an 50 cm langen Linern (Polyethylenschlauchkernen) untersucht. Zur umfassenden kinetischen Charakterisierung der Prozesse werden mehrere nicht-invasive physikalisch-chemische Methoden wiederholt angewandt: kernmagnetische Resonanzspektroskopie (NMR), Gleichstromgeoelektrik, Spektrale Induzierte Polarisation (SIP) und orts aufgelöste energie-dispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (EDXRF) mittels Geoscaner.

Die NMR-Spektroskopie bietet die Möglichkeit, Wassergehalt und Porenverteilung zerstörungsfrei zu bestimmen. Für die elektrischen Messungen sind die Liner mit einer Vielzahl ungleichmäßig über die Länge verteilter Elektroden ausgestattet. In diesen Elektroden werden bei NMR-Messungen Spannungen induziert, die das eigentliche Messsignal stören. Deshalb wird durch aufwändige Kalibriermessungen ausgelotet, inwieweit die Bestimmung des Wassergehaltes und der Porenverteilung an Proben in solchen Linern

überhaupt möglich ist.

Zur Kalibrierung werden sieben Standards bekannter Wassermenge (1,25 - 20 g) sowohl in einem normalen NMR-Probenrohr als auch im Liner gemessen. Aufgrund der unregelmäßigen Anordnung der Elektroden wird dieser Vorgang über die Länge des Liners in 5 cm-Schritten wiederholt. Für jede Linerposition muss der Probenkopf nachgestimmt werden, da durch die Elektroden und gegebenenfalls durch das Probenmaterial auch die Resonanzfrequenz der Messspule verstimmt wird. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wird jede Messung dreimal wiederholt. Da sowohl Wassergehalt als auch Porenverteilung bei dem Experiment interessieren, wird die Prozedur mit den beiden dafür üblichen NMR-Pulsfolgen (FID, CPMG) durchgeführt.

Bei den Messungen am Liner ist das Signal-Rausch-Verhältnis erheblich schlechter als im NMR-Probenrohr, außerdem geht ein Teil der Signalintensität durch die abschirmende Wirkung der Elektroden verloren. Die umfassende Kalibrierung erlaubt dennoch, die vorhandene Wassermenge auf 10 % genau zu bestimmen und die Porenverteilung zu ermitteln. Erste Wassergehaltsbestimmungen an repräsentativem Probenmaterial ergeben, dass zum oberen Ende des Liners hin die Wassermenge pro Volumeneinheit abnimmt, was auf einen Aus-

trocknungsvorgang zurückzuführen ist.

Der Geoscanner bietet die Möglichkeit, orts aufgelöste chemische Information entlang eines Vertikalprofiles in $250\ \mu\text{m}$ Schrittweite zu gewinnen, da die $80\ \mu\text{m}$ dicke Polyethylenfolie des Schlauches transparent für Röntgenfluoreszenzstrahlung schwererer Elemente (K bis U) ist.

Durch die Kombination der verschiedenen Verfahren ist es möglich, an dem verwendeten Liner die Entwicklung von Wassergehalt, spezifischem elektrischen Widerstand, Ionen-gehalt des Porenwassers, Elementzusammensetzung des Trägermaterials und der Wasserphase in Abhängigkeit von der vertikalen Koordinate über die Länge der Versuchsdauer zu ermitteln und damit Transport-, aber auch Lösungs- und Ausfallprozesse im Material zu verfolgen.

Die Ergebnisse der Messungen an einem Test-Liner, der mit bekanntem Probenmaterial gefüllt und mit einem Wasserzufluss versehen ist, demonstrieren die Anwendbarkeit des Verfahrens.

Webseite: <http://www.gga-hannover.de>

Postersession D

GE, UI

+ thematisch passende Beiträge aus GD und GV

7.3. und 8.3., 16:00 - 18:00 Uhr in Raum 1020 im SFG

(alle Poster hängen während der gesamten Tagung aus)

Rodemann, H. (Hannover)

1D-Fälle mit unzureichender Information

E-Mail: h.rodemann@gga-hannover.de

Es sollen 1D-Schlumberger-Kurven in nichtlinearen Auswertungen betrachtet werden, wobei es nicht auf die Inversion, sondern hauptsächlich auf die sich anschließende Fehleruntersuchung ankommt.

(Variation der Parameter, also der spezifischen Widerstände und der Mächtigkeiten). Im 1D-Fall kann die erforderliche große Zahl von Vorwärtsrechnungen leichter durchgeführt werden als im 2D/3D-Fall.

Im Unterschied zu einer optimalen Messung mit dicker(n) Schicht(en), geringem statistischem Fehler sehr langem $AB/2$ -Bereich und großen Widerstandskontrasten resultieren jeweils Fälle mit unzureichender Information.

Es ergeben sich diverse äquivalente Fälle bzw. Fälle mit Mehrdeutigkeiten. Sie können mit zwei verschiedenen Methoden behandelt werden.

So können bei dünnen Schichten solche Schichten endlicher Dicke betrachtet werden.

Schmähling, F., Griesbach, U. (FH Mittweida, Fachbereich Mathematik-Physik-Informatik), Schwarzbach, C., Spitzer, K. (TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geophysik)

Lösung der inversen Aufgabe der Geoelektrik mit Evolutionsstrategien und neuronalen Netzen

E-Mail: Franko.Schmaehling@gmx.de

Die inverse Aufgabe der Geoelektrik besteht darin, die räumliche Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit in einem Gebiet des Erdinneren zu rekonstruieren. Dabei werden Leitfähigkeitsverteilungen gesucht, welche die Differenz zwischen dem gemessenen elektrischen Potentialfeld und dem aus einer angenommenen Leitfähigkeitsverteilung synthetisierten Potentialfeld minimieren. Die Vielzahl möglicher Lösungen wird durch eine zusätzliche Forderung eingeschränkt, z. B. nach minimaler Variation der Werte benachbarter Zellen einer diskreten Gitterzerlegung des Gebietes. Die resultierende Aufgabenstellung ist ein multikriterielles Optimierungsproblem, dessen Lösung die Menge der Pareto-optimalen Lösungen ist. Eine Leitfähigkeitsverteilung ist genau dann eine Pareto-optimale Lösung, wenn keine andere Leitfähigkeitsverteilung existiert, die bezüglich eines Minimierungskriteriums bessere Werte besitzt und bezüglich des anderen Kriterium keine schlechteren.

Gelöst wurde dieses Optimierungsproblem mit einer Evolutionsstrategie (ES). Evolutionsstrategien (z.B. Nissen, 1997) gehören zur Klasse der evolutionären Algorithmen und imitieren das Rekombinations-Mutations-Selektions-Spiel der natürlichen Evolution, um Lösungen von Optimierungsproblemen zu generieren. Ihr größter Vorteil liegt darin, dass von vielen Punkten im Raum der unabhängigen Parameter (Werte der elektrischen Leitfähigkeit von Gitterzellen) ausgehend gleichzei-

tig nach Lösungen der Optimierungsaufgabe gesucht wird. Die unabhängigen Parameter eines Punktes (eine Leitfähigkeitsverteilung) sowie weitere Strategieparameter bilden ein Individuum. Jedem unabhängigen Parameter eines Individuums wird ein Strategieparameter zugeordnet, welcher den genetischen Operator der Mutation steuert. Durch Rekombination, die Mittelung und Mischung der Parameter mehrerer Individuen, sowie Mutation, die zufällige Veränderung auf der Basis normalverteilter Zufallszahlen, werden aus Elternindividuen Nachkommenindividuen geschaffen. Diejenigen Nachkommen, die bezüglich der gestellten Optimierungsaufgabe die vergleichsweise besten Werte haben, werden vom Selektionsoperator zu einer neuen Elterngeneration zusammengestellt. Es beginnt ein neuer Rekombinations-Mutations-Selektions-Zyklus. Somit gelangen in jedem Evolutions-schritt die besten bisher gefundenen Lösungen in die nächste Generation.

An Testbeispielen mit geoelektrischen Datensätzen zweidimensionaler Leitfähigkeitsstrukturen konnten sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Die Laufzeit zur Erstellung der Pareto-Fronten (Abbildung der Pareto-Menge in den Raum der Zielkriterien) betrug 72 Stunden auf einem PC (AMD-Prozessor, 1.7 GHz). Die ES erzielte im Vergleich mit einem genetischen Algorithmus (NSGA-II) (Deb et al., 2000; Schwarzbach et al., 2005), welcher auf einem Parallelrechner arbeitete, zwar eine we-

niger breit verteilte Pareto-Front, benötigte dafür aber nur etwa 5% der Rechenzeit (bezogen auf Prozessorrechenzeit). Die Ergebnisse beider Methoden sind qualitativ vergleichbar.

Um einen weiteren Geschwindigkeitsvorteil bei der Lösung der inversen Aufgabe der Geoelektrik zu erreichen, wurde die ES mit einem künstlichen neuronalen Netz (KNN) (Zell, 1994; Bishop, 1995) gekoppelt. Das KNN approximiert dabei die beiden zu minimierenden Zielfunktionen Datenanpassungsfehler und Modellvariation. Hintergrund dieser Herangehensweise ist die zeitaufwändige Auswertung des Vorwärtsoperators, der für jede Leitfähigkeitsverteilung für die Berechnung der synthetischen Daten eine Finite-Differenzen-Approximation des Potentialfeldes durchführt. Die Auswertung der Zielfunktionen muss für alle Individuen einer Generation erfolgen. Durch den Einsatz der mittels KNN approximierten Zielfunktionen kann bei der Zielfunktionsauswertung Rechenzeit gespart und der gesamte Optimierungsprozess beschleunigt werden.

Literatur

Bishop, C.M., 1995. Neural Networks for Pattern Recognition, Oxford University Press, New York/Oxford.

Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A. and Meyerviran, T., 2000. A fast elitist nondominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II, Tech. Rep. 2000001, Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KANGAL), Kanpur, India.

Nissen, V., 1997. Einführung in Evolutionäre Algorithmen, Optimierung nach dem Vorbild der Evolution, Vieweg, Braunschweig/Wiebaden.

Schwarzbach, C., Börner, R.-U., and Spitzer, K., 2005. 2D inversion of direct current resistivity data using a parallel, multi-objective genetic algorithm, Geophys. J. Int, 162, 685-695.

Zell, A., 1994. Simulation Neuronaler Netze, Addison-Wesley.

Webseite: <http://www.geophysik.tu-freiberg.de>

Rücker, C. (Leipzig), Günther, T. (Hannover)

Anwendungen der Drei-Gitter-Technik zur Inversion geoelektrischer Messungen auf verschiedenen Geometrien

Das Poster zeigt einige Anwendungen der Drei-Gitter-Technik zur Inversion geoelektrischer Daten (Rücker und Günther 2005). Dabei wird zunächst die Methode dargestellt und an einem Beispielfall dokumentiert. Es folgen zwei Beispiele zur 3D-Inversion mit großen topographischen bzw. geometrischen Kontrasten. An drei 2D-Beispielen wird gezeigt, wie diese Methode auf unterschiedliche Geometrien angewendet werden kann.

Die Inversion basiert auf drei unterschiedlichen Gittern: das Parametergitter definiert die zu invertierenden Zellen und ist an die Modellgeometrie (Topographie) und das Auflösungsvermögen angepaßt, auf dem verfeinerten und prolongierten Sekundärfeldgitter wird in jeder Iteration die Vorwärtsrechnung für die sekundären Potentiale durchgeführt. Diese erfordert jedoch Primärpotentiale, die einmalig zu Beginn der Inversion mit einem stark verfeinerten Primärfeldgitter berechnet werden. Aus den Primärpotentialen können zusätzlich Geometriefaktoren bestimmt werden, aus denen sich der reine Effekt der Topographie berechnen läßt.

Auf der Plesse-Burg wurde mit Hilfe von geoelektrischen Messungen nach Gewölben und einem ehemaligen Brunnen gesucht. Dies stellt ein Beispiel mit einer sehr starken Topographie dar, da zwischen zwei Profilen teilweise mehrere Meter Höhenunterschied lagen. Durch die Berücksichtigung der Topographie inner- und außerhalb des Meßgebietes, konnte ein plausibles Modell gefunden werden.

Im Cuxhavener Raum wurden zahlreiche Tiefensondierungen durchgeführt, um den Verlauf einer eiszeitlichen Rinne zu detektie-

ren. Eine 3D-Inversion stellt eine besondere Herausforderung dar, da hier Elektrodenabstände von 0.5m bis hin zu 4km berücksichtigt werden müssen. Trotz der ungleichmäßigen Überdeckung gelingt es, mittels angepasster Nebenbedingungen, den Verlauf der Rinne und das eindringende Salzwasser zu lokalisieren.

Die Technik kann auch auf die Auswertung von Unterwassermessungen angewendet werden. Dazu ist das Wasser Teil des Sekundärfeldgitters, wird aber nicht mit invertiert. Ein Beispiel vom Feldungelsee bei Osnabrück zeigt, wie Sedimentationsstrukturen unterhalb des See durch geoelektrische Messungen erkundet werden können. Das nächste Beispiel verdeutlicht, wie geometrische A-priori-Informationen in der Inversion berücksichtigt werden können. Durch die Hinzunahme einer Schichtgrenze aus einer refraktionsseismischen Auswertung als erlaubte Grenze wird die Mehrdeutigkeit des Inversionsproblems stark eingegrenzt. Abschließend wird die Auswertung von Impedanzmessungen für kreisförmige Objekte am Beispiel eines Baumes vorgestellt. Für eine hohle Linde kann sehr genau die hochohmige Struktur im inneren bestimmt werden.

Rücker, C. und Günther, T. (2005): Drei-Gitter-Technik zur 3D-Inversion geoelektrischer Gleichstrommessungen mit beliebiger Topographie, 65. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Graz

Wagner, N. (Weimar, MFPA an der Bauhaus-Universität), Rücker, C., Birnstiel, H. (Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie), Geiling, P., Hohlfeld, Th. (Leipzig, GGL GmbH)

Deichstrukturanalyse durch 3D-Inversion geoelektrischer Gleichstrommessungen

E-Mail: norman.wagner@mfpa.de

Die bestehenden Deichanlagen in Deutschland, aber auch andernorts, zeichnen sich in erster Linie durch ihre enorme Längserstreckung aus. Wesentliche Anteile dieser Bauwerke sind bereits viele Jahrzehnte alt und entsprechen aufgrund ihrer Bauweise, der verwendeten Materialien sowie deren Zustand infolge Alterung keineswegs den heute anerkannten Regeln der Technik (Hahn-Weishaupt und Trömmel 2003).

Häufig ist der Aufbau dieser sogenannter Altdeiche nicht bekannt und es muss davon ausgegangen werden, dass diese Erdbauwerke im Falle eines längeren Einstaus nicht stand-sicher sind; dies führt dann u.U. zu Deichbrüchen mit den damit verbundenen katastrophalen Auswirkungen.

Die Bewertung und Erhaltung des Altbestandes an Deichen bzw. der Neubau ganzer Deichanlagen ist bekannterweise ein langwieriges und kostspieliges Unterfangen. Mit dieser zeitlichen Perspektive und den sich verschärfenden meteorologischen Bedingungen mit all ihren Folgen für die Entstehung und den Verlauf von Hochwasserereignissen kommt der geotechnischen Bewertung von Altdeichen und der Prognose ihres Verhaltens bei zukünftigen Hochwasserereignissen eine herausragende Bedeutung zu (Brauns und Bieberstein 2002).

In einem durch das BMBF geförderten Verbundforschungsprojekt der MFPA an der Bauhaus Universität Weimar und der Abteilung Erddamm- und Deponiebau am In-

stitut für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe zur Untersuchung von Dämmen an Flüssen wurde im Vorfeld der eigentlichen Forschungsarbeiten der konkrete Aufbau eines Altdeiches typischerweise durch eine Kombination geotechnischer und geophysikalischer Untersuchungen erkundet (Hennig et al. 2005).

An einem Flussabschnitt der Unstrut an einem Schöpfwerk ca. 200m unterhalb des Hochwasserrückhaltebeckens Straußfurt (Thüringer Becken, Bleicherode-Stadtrodaer Scholle) wurde ein ca. 100m Altdeichabschnitt, der im Bereich der wasserseitigen Böschung mit einer ca. 5m tiefen und 30m langen Stahlspundwand verstärkt ist, die jedoch nicht in den Grundwasserstauer einbindet, mit einer Wenner-Sondierungskartierung (GGL-GmbH Leipzig, Elektrodenabstand 2m, Multi-Elektroden-System GMS 125, GeoSys Leipzig) in drei 200m Längsprofilen (wasser- und luftseitiger Deichfuß, Deichkrone) und in drei Querprofilen mit einem Abstand von 50m unter Benutzung verschiedener Elektrodenkonfigurationen (IGG-Leipzig, GeoTom RES/IP, GEOLOG Fuß/Hepp GdB) auf Schwachstellen untersucht. Zur Umsetzung der Ergebnisse der Widerstandsmessung in lithologische Aussagen wurden zehn direkte Aufschlüsse durch zwei Kernbohrungen ($d=10\text{cm}$) sowie acht Rammkernbohrungen mit einer Tiefe von ca. 10m-15m unter Deichoberkante in insgesamt drei Querschnitten (50m Abstand)

herangezogen. Um Angaben zur Lagerungsdichte der nichtbindigen Sedimente und zur Konsistenz der bindigen Sedimente zu erhalten, erfolgte im Bereich der Deichquerschnitte auf der Deichkrone je eine Sondierung mit einer schweren Rammsonde (GGL-GmbH Leipzig). Die Lage und Tiefe der Spundwand wurde mittels geomagnetischer Bohrlochmessungen (Bo-Ra-tec GmbH-Weimar) in zwei Bohrungen mit einem Abstand von 10m und die Länge mit einer konventionellen magnetischen Oberflächensonde bestimmt.

Die 2D und 3D Inversion der geoelektrischen Messdaten mit Berücksichtigung der Topographie erfolgte mit der Drei-Gitter-Inversion (Rücker und Günther 2005). Die Umsetzung der geoelektrischen Ergebnisse in einen Baugrundschnitt wird von vielen Faktoren beeinflusst, wobei die Spundwand hierbei die Widerstandsmessungen erheblich stört. In Höhe der Spundwand wurde ein markantes Widerstandsminimum und ca. 15 m davor und dahinter ein begleitendes Widerstandsmaximum auf allen drei Längsprofilen gemessen. Das heißt, im Einzugsbereich der Spundwand kann die konventionelle Widerstandsmessung unter Benutzung einer 2D-Inversion nicht für die Konstruktion von Baugrundschnitten verwendet werden. Damit können in diesem Bereich nur die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen zur Abbildung der Deichstruktur herangezogen werden.

Die 3D-Inversion erfasst vorhandene Befestigungen aus Schotter im Bereich der wasserseitigen sowie luftseitigen Böschung, die oberflächennah ein deutliches Widerstandsmaximum zeigen. Weiterhin wird die Lage einer Sielleitung (Wasserbausteine) und der Spundwand ohne markante Randeffekte abgebildet. Die Einbeziehung der Sondierungen und Aufschlüsse sowie die genaue

Lage und Größe der Störkörper erlaubt hierbei Aussagen zur Deichstruktur aus den geoelektrischen Messungen auch im sehr stark vom Spundwandeffekt überlagerten Bereich abzuleiten. Weitere Untersuchungen müssen jedoch zeigen, welche Möglichkeiten und Grenzen zur Erkundung des Aufbaues, speziell im Fall von heterogenen Altdeichen mit Dichtungselementen, durch geoelektrische Messungen (geeignete Wahl der Elektrodenkonfiguration (vgl. Hennig et al. 2005)) in Kombination mit 3D-Inversion unter Berücksichtigung der Topographie zur Verfügung stehen.

Brauns, J. und Bieberstein, A. (2002). Technischer Hochwasserschutz - Erfordernisse aus geotechnischer Sicht, *Geotechnik*, 25(4):239-248.

Hahn-Weishaupt, A. und Trömmel, H. P. (2003). Historischer Deichbau im Oderbruch. *Wasser und Boden*, 55(6):15-18.

Hennig, T., Weller, A., and Canh, T. (2005). The effect of dike geometry on different resistivity configurations. *Journal of Applied Geophysics*, 57(4):278-292.

Rücker, C. und Günther, T. (2005). Drei-Gitter-Technik zur 3D-Inversion geoelektrischer Gleichstrommessungen mit beliebiger Topographie. 65. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Graz.

Just, A., Nüsch, A.-K., Schönfelder, W., Rücker, C., Jacobs, F. (Leipzig), Krause, Y. (Göttingen)

Geoelektrische Messungen in einem ehemaligen Kalibergwerk

E-Mail: ajust@rz.uni-leipzig.de

Für die zerstörungsfreie Untersuchung der geologischen Barriere von Untertagedeponien und Endlagern sowie zur Standortcharakterisierung lassen sich geophysikalische Verfahren einsetzen, insbesondere die Geoelektrik, wenn Feuchteänderungen zu erwarten sind. Im Zusammenhang mit einem kürzlich begonnenen, vom BMBF (Fkz: 02C1305, 02C1315, 02C1305) geförderten Verbund-Projekt „Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertearmamentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar“ mit den Projektpartnern GGA Hannover, Fraunhofer Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren Dresden, Universität Leipzig sowie K-UTEC GmbH Sondershausen und Dr. A. Schwandt, Erfurt (siehe Jacobs et al. 2006) wurden geoelektrische Messungen im ehemaligen Kalibergwerk Teutschenthal, westlich von Halle/Saale, durchgeführt. Dort wurde bis 1982 das Salz des Kaliflözes Staßfurt in einer Teufe von 600 bis 900 m abgebaut. Die Schichten sind flachgelagert mit einem schwachen Einfallen nach Norden. Seit 1992 wird die Grube von der GTS Teutschenthal GmbH als Versatzbergwerk betrieben. Geoelektrische Messungen wurden an 2 Lokationen durchgeführt: in einer Referenzstrecke, die repräsentativ für eine abzudichtende Strecke im leichtlöslichen Carnallit ist und in einer neu aufgefahrenen Verbindungsstrecke im Steinsalz, in der aus dem Liegenden (Hauptanhydrit) ein Laugenfluss auftritt. Während in der Carnallitstrecke die Ausdehnung der Auflockerungs-

zone gefragt war, war das Untersuchungsziel in der neuen Verbindungsstrecke die Erkundung der laugenführenden Struktur. Die Arbeiten in der Carnallitstrecke fanden im Zusammenhang mit dem von der GTS durchgeführten Projekt CARLA - Streckenverschluss im Carnallit (BMBF Fkz 02C0942, Knoll 2005) statt. Dazu wurde in einer mit kreisförmigem Querschnitt aufgefahrenen Referenzstrecke eine Vielzahl von geologischen, mineralogischen, geotechnischen und geophysikalischen Untersuchungen durchgeführt. Eine Fragestellung war die räumliche Ausdehnung der chemischen Auflockerungszone (infolge der Zersetzung des mit relativ hohem Anteil vorhandenen Minerals Tachhydrit innerhalb zweier Kieseritbänder im Carnallit), die mit einer erhöhten Durchfeuchtung verbunden ist. In Ergänzung zu diesen Untersuchungen wurden dort geoelektrische Messungen durchgeführt. Es wurde ein kreisförmiges Profil mit 32 Elektroden über den Streckenquerschnitt angelegt, weiterhin je ein Linienprofil an Stoß und Firste. Auf dem Kreisprofil wurde eine Kreisipseudosektion in Dipol-Dipol-Anordnung aufgenommen, auf den Linienprofilen Dipol-Dipol-Pseudosektionen mit 0.5 m Dipolweite. Im Gegensatz zu anderen Standorten im Salzgestein (siehe Just et al. 2006) waren die Messbedingungen hier infolge der hohen Durchfeuchtung der Strecke unkompliziert, die Übergangswiderstände lagen in der Größenordnung von 1.5 bis 2 k Ω .

Für die Auswertung der Kreisipseudosektion

wurden die Geometriefaktoren für einen homogenen Hohlzylinder mit dem 3D FD Modellierungsprogramm für Zylinder Mod3DZyl (Just 2001) berechnet. Danach wurde die Kreispseudosektion in Segmente unterteilt und in rechteckige Abschnitte transformiert. Dabei wurden nur die Elektrodenanordnungen berücksichtigt, bei denen alle 4 Elektroden innerhalb eines Viertelkreises lagen. Zur Inversion wurde wie für die Linienprofile das 2D-Programm DC2DSIRT von A. Kampke verwendet. Insgesamt treten für Salzgestein sehr niedrige spezifische elektrische Widerstände ($5 \Omega\text{m} - 10^4 \Omega\text{m}$) auf, was auf die hohe Durchfeuchtung der Strecke zurückzuführen ist. Besonders niedrige Widerstandswerte finden sich dabei unter der Sohle, die stark durchfeuchtet war. An der Firste treten Widerstände bis $10^4 \Omega\text{m}$ auf, die nach oben zunächst zunehmen. Hier ist die Durchfeuchtung wesentlich geringer. Am Stoß liegt das Widerstandsniveau stoßnah bei $100-1000 \Omega\text{m}$, ab 1 m Tiefe deutlich höher. Im Bereich der Kieseritbänder ist der Widerstand niedriger und die Feuchtigkeit stärker (schichtparallele Feuchtigkeitsaufnahme mit zusätzlichem Verwitterungseffekt). Die Mächtigkeit der Auflockerungszone wurde auf 0.5 bis 0.8 m abgeschätzt, was auch durch andere Verfahren bestätigt wurde. Insgesamt konnte hier in der Strecke in einer geschichteten Lagerstätte die Schichtenfolge in ihrer vertikalen Heterogenität elektrisch abgebildet werden, wobei die Laugenansammlung in der Sohle ebenfalls zu einer Leitfähigkeitsanomalie führte.

An der zweiten Messlokation im Bereich des Laugenzuflusses (rechteckiger Streckenquerschnitt mit 6.60 m Breite und 4 m Höhe) wurden Dipol-Dipol-Pseudosektionen auf 32 m langen Linienprofilen am Stoß (in 1.10 m Höhe) und an der Sohle im Abstand von 1.90 m

zum Stoß gemessen. Der Laugenzutritt zeichnet sich im Stoßprofil als lokales Widerstandsminimum ($<10^4 \Omega\text{m}$) ab. Ansonsten ist das Gebirge in einer Entfernung von 3-4 m vom Stoß trocken (Widerstände $>10^6 \Omega\text{m}$). Unter der Sohle treten sehr niedrige spezifische elektrische Widerstände ($<100 \text{m}$) auf, da die Sohle infolge des Laugenaustritts nass war. In größerer Tiefe (ab ca. 2 m) nimmt der Widerstand rasch auf Werte über $10^6 \Omega\text{m}$ zu, wobei sich eine horizontale Differenzierung andeutet. Eine eindeutige Identifizierung des Laugenpfades war mit den geoelektrischen Messungen bisher noch nicht möglich. Die Untersuchungen werden im Rahmen des Verbundprojektes fortgesetzt. Dazu gehört neben der Ausdehnung der Messungen die 3D-Inversion der Daten unter Einbeziehung der geometrischen Struktur des Grubengebäudes, die in der bisherigen 2D-Inversion vernachlässigt wurde.

Referenzen:

JACOBS, F., et al.(2006): Universelles integriertes geophysikalisches Mess- und Auswertearbeitsinstrumentarium zur Charakterisierung von Problemzonen im Salinar. 66. Jahrestagung der DGG, Bremen.

JUST, A. (2001): Bestimmung der räumlichen Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes an zylinderförmigen Körpern mit Hilfe der Elektrischen Widerstandstomographie - Anwendung in der Petrophysik auf Bohrkerne und Lockersedimente.- Dissertation, Universität Leipzig, 2001 und Shaker Verlag Aachen 2002, ISBN 3-8265-9894-6.

JUST, A., RÜCKER, C., JACOBS, F., KRAUSE, Y. (2006): Geoelektrische Messungen in Salzbergwerken. 66. Jahrestagung der DGG, Bremen.

Webseite: <http://www.geo.uni-leipzig.de>

Laaß, D., Danckwardt, E., Petzold, G. (Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie)

Tiefengeoelektrik: Detektierbarkeit von Fluidbewegungen nach dem Injektionstest 2004-2005 an der KTB-VB

E-Mail: dlaass@rz.uni-leipzig.de

In rund 4000 m Tiefe durchdringt die Kontinentale Tiefbohrung bei Windischeschenbach in der Oberpfalz eine der Störungszonen, die zur Nahtzone zweier vor 320 Millionen Jahren kollidierter Kontinentalplatten gehört.

Zur Charakterisierung von Transportphänomenen in großskaligen Störungszonen trägt das Injektionsexperiment maßgeblich bei. Die kontinuierliche Verpressung von über 60.000.000 Litern Frischwasser über einen Zeitraum von 12 Monaten führte zu einer Erhöhung des elektrischen Widerstandes der bohrlochnahen Fluide, da das saline Krustenwasser vom eingespeisten Süßwasser durchmischt und verdrängt wurde. Aufgrund starker Leitfähigkeitskontraste eignen sich geoelektrische Messmethoden, um den Rücklauf der natürlichen salinaren Wässer zu detektieren, sowie Fließrichtungen und Zuflusstiefen, die an Risse und Spalten der Störung gekoppelt sind, zu bestimmen.

Die tiefenabhängige Widerstandsbestimmung im unteren, unverrohrten Bohrlochbereich (3850 m - 4000 m) wurde unter Anwendung einer Dipol-Dipol-Anordnung (Elektrodenabstand von 25 m) realisiert.

Erste geoelektrische Untersuchungen fanden im September 2005, 3 Monate nach Beendigung des Injektionstests, statt. Vielfach höhere Widerstände, als sie 2003 nach dem Produktionstest gemessen wurden, konnten nachgewiesen werden (Abb. 1). Im September wurde eine zusätzliche geringfügige Widerstandserhöhung 24 h später bei der Aus-

fahrt des Elektrodenkabels gemessen. Erklären lässt sich diese Erhöhung anhand eines unmittelbar zuvor durchgeführten zusätzlichen Kurzinjektionstests. Mikroklüfte schlossen sich aufgrund der eingestellten Druckentlastungen. Da sich so der Anteil der beteiligten leitfähigen Fluide verringerte, stieg der Widerstand der bohrlochnahen Fluide. Wiederholungsmessungen im November 2005 belegen den Zustrom neu gebildeter salinärer Krustenwässer in Bohrlochnähe allerdings noch nicht. Weitere Messungen im Frühjahr sollen klären, ob sich das Gleichgewicht der natürlichen Fluide dann bereits in Bohrlochnähe einge-

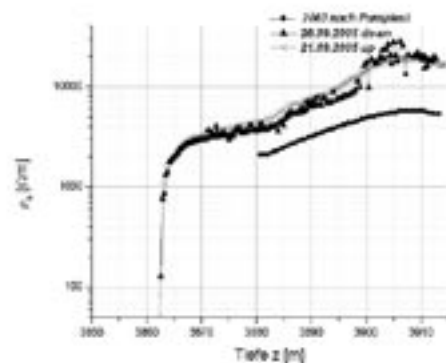


Abbildung 1: Änderungen der scheinbaren elektrischen Widerstände (Inhole-Messungen) im unverrohrten Bohrlochbereich im September 2005 bei der Ein- (Kreuz) und Ausfahrt (Dreieck) des Messkabels, zum Vergleich die Widerstandsvariationen im Jahr 2003 nach dem Pumpstest (Punkt).

stellt hat oder ob der Rücklauf salinarer Wasser weiter anhält.

Durchgeführte kombinierte Oberflächen-Tiefenmessungen sollen genaue Hinweise auf die Zustromtiefen und Strömungsrichtungen liefern, sowie den Rücklauf und Stabilisierungsprozesse in größeren Entfernungen zum Bohrloch nachweisen. Die kombinierten Oberflächen-Tiefenmessungen setzen sich aus 11 Stromspeisedipolen, die sich konzentrisch im Abstand von 1 km um die Vorbohrung befinden, und aus 5 Elektroden im unverrohrten Bohrlochbereich zusammen. An der Erdoberfläche werden 5 - 7 A eingespeist, während im Bohrloch an 7 unterschiedlichen Dipolen (Dipollängen von 25, 50 und 100 m) das Potential mit Datenloggern Texan 125 abgegriffen wird.

Bock, M., Regenauer-Lieb, K. (Universität Mainz, Institut für Geowissenschaften), Lotze, M., Wilke, T., Lentjes, F.-T. (Mainz, Schott AG), Siedow, N. (Kaiserslautern, Institut Techno- und Wirtschaftsmathematik)

Untersuchung von Konvektionsströmungen im Laborversuch mit Hilfe der geoelektrischen 3D-Tomographie

E-Mail: mbgeophy@gmx.de

Konvektionen entstehen sowohl im Erdmantel als auch in Glasschmelzwannen durch Unterschiede in der Temperatur, der Dichte und der Konzentration. Über numerische Modellierungen soll das Verständnis für derartige Vorgänge im Erdmantel verbessert werden. Für die Verifizierung der so gewonnenen Erkenntnisse sind Untersuchungen im Labor unerlässlich. Gleiches gilt für die Anwendung in der Glasschmelztechnik. Um während des Schmelzvorganges gezielt in den Prozess eingreifen zu können und die Strömungen zu beeinflussen, benötigt man eine Überwachung der dreidimensionalen Temperaturverteilung innerhalb der Wanne.

Die Laborexperimente werden in einem Makrolonbecken durchgeführt, in dem sich ein viskoses Gemisch aus Wasser und Polyethylenglykol befindet. Durch Heizen von unten bilden sich Konvektionszellen im Becken aus. Da mit zunehmender Temperatur auch die spezifische elektrische Leitfähigkeit zunimmt, ist es möglich, über geoelektrische Messungen Aussagen über die Temperatur zu treffen. Der Zusammenhang zwischen diesen beiden physikalischen Größen wird über die Formel von Vogel, Fulcher und Tammann definiert. Über die dreidimensionale Leitfähigkeitsverteilung im Becken, die mittels gleichstromgeoelektrischer 3D-Tomographie bestimmt wurde, ist somit eine Berechnung der dreidimensionalen Temperaturverteilung möglich.

Vorgestellt werden das Verfahren sowie erste Ergebnisse.

Berens, A., GÜSgen, R. (Universität Bonn), Hördt, A. (TU Braunschweig)

Erkundung der Deponie Finkenberg mittels Gleichstrom-Geoelektrik, Spektral Induzierter Polarisation und Radiomagnetotellurik

In den Jahren 1968-1974 wurde in einem ehemaligen Basaltsteinbruch, in Bonn-Limperich, eine Deponie betrieben. Als Deponiegut dienten größtenteils Hausmüll, Verpackungsmaterial, Erdaushub und Bauschuttabfälle. Die Deponie wurde nach Betriebsende renaturiert und ist heute weitgehend bewachsen und inzwischen als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen. Im Jahr 1986 wurde durch die Stadt Bonn ein Gutachten zur Gefährdungsabschätzung erstellt. Dabei wurden u.a. Bohrungen auf der Deponie und im GW-Abflussbereich der Deponie abgeteuft, um ein Monitoring bzw. Abpumpen des eventuell kontaminierten Sickerwassers zu ermöglichen.

Die aus dem Gutachten stammenden Ergebnisse, wie Bohrprofile und GW-Pegel, sowie Luftbildaufnahmen aus den Jahren 1957-2005 und Katasterunterlagen dienten als Basis, um ein möglichst detailliertes Abbild des Basaltsteinbruchs vor und nach der Verfüllung zu erstellen. Die resultierenden räumlichen Modelle und die daraus abgeleiteten Profile bilden die Grundlage zum Vergleich mit den durchgeführten Geoelektrikuntersuchungen.

Der Finkenberg liegt am unteren Mittelrhein, am Süden des niederrheinischen Senkungsfeldes. Er gehört zum Vulkanismus des Siebengebirges, der an die Störungsflächen der Niederrheinischen Bucht geknüpft ist. In einer mehrphasigen Eruptionsperiode (vor ca. 26 - 18 Mio a) wurden Trachyttuffe, Trachyte, Latite und zuletzt Alkalibasalte gefördert. Der hier in tertiäre Tone und Trachyttuffe oberflächennah intrudierte Basalt erreichte im

Bereich der Deponie eine Mächtigkeit von etwa 15 m. Er bildet die typischen polygonalen Kluftflächen, die meist senkrecht zur ehemaligen Abkühlungsfläche stehen. Er gilt als guter Kluftwasserleiter. Die hangendsten Schichten bilden Terrassensedimente des Rheins sowie Löß und deren Verwitterungsprodukte.

Die Deponie hat eine maximale Ausdehnung von 230 m (ONO), ist ca. 90 m breit (NS) und hat eine maximale Mächtigkeit von etwa 22 m. Zum Einsatz kamen die Geräte SAS300c von Abem für die Multielektrodenmessungen mit Wenner-Alpha Auslagen, mit denen zunächst ein rechtwinkeliges Netz von Profilen über die Deponie gelegt wurde. Des Weiteren wurden an einzelnen geeigneten Profilstrecken Radiomagnetotellurik (RMT)-Sondierungen mit dem von der Universität Neuchatel entwickelten Gerät durchgeführt. Für die Spektral Induzierte Polarisation (SIP) wurde die SIP256c Apparatur von Radic-Research verwendet.

Gleichstrom-Geoelektrik (GG)

Die maximale Auslagenweite betrug bei den GG-Profilen 340 m bei einem Elektrodenabstand von 10 m. Die maximale Pseudosektionstiefe betrug etwa 70 m. Die kürzesten Auslagen sind 100 m lang bei einem Elektrodenabstand von 2.5 m und einer Pseudosektionstiefe von etwa 14 m. Zur Auswertung wurden die Inversionsprogramme RES2DINV von Geotomo Software, DC2DInvRes von Thomas Günther (GGA) und das von Roland Blaschek (Universität Bonn) erweiterte Inversionsprogramm von Andreas Kemna (FZ Jülich) genutzt. Die

Inversionsergebnisse der GG zeigen deutlich die lateralen Grenzen des Deponiekörpers, wo hingegen die Basis der Deponie nur in den größeren Auslagenweiten gezeigt werden konnte. Der Deponiekörper liefert spezifische Widerstandswerte im Bereich 20 - 50 Ωm während das seitlich angrenzende Gestein deutlich höhere Widerstände zeigt. Sie liegen in den Bereichen von 50 - 1500 Ωm . Unterhalb der Deponie werden in den größten Auslagen stellenweise ähnliche Werte ermittelt wie für die Randbereiche.

Spektral Induzierte Polarisation (SIP)

Die mit 5 m Dipol-Dipol-Weite gemessenen SIP-Profile liefern die gleichen spezifischen Widerstandswerte für den Deponiekörper. Auch die Werte für die Randbereiche liegen in gleicher Größenordnung. Die Frequenzabhängigkeit der Widerstände ist deutlich zu beobachten. Obwohl die Pseudosektionstiefe unterhalb der Deponiebasis liegt, lassen die Inversionsergebnisse für die komplexen Widerstände keine klare Grenze erkennen.

Die Phasenverschiebungen zeigen ein deutlich differenzierteres Bild und lassen den Deponiegrund erkennen. Die negativen Phasenverschiebungen liegen in einigen Bereichen des Deponiekörpers, abhängig von der genutzten Frequenz, deutlich über Werten von 60 mrad. Sektionen im oberen Bereich, außerhalb der Deponie, zeigen über weite Frequenzbereiche deutlich geringere Werte. Unterhalb des Randbereichs des ehemaligen Steinbruchs, zur Deponiebasis hin, zeigen die Inversionsergebnisse der Phasen bei einigen Frequenzen erhöhte Werte. Zu bemerken ist, dass die Regularisierungsparameter der Inversion einen starken Einfluss auf die Qualität der Inversionsergebnisse haben und ein besonnener Umgang mit den Daten angebracht ist.

Radiomagnetotellurik (RMT)

Entsprechend der Ausdehnung der Deponie wurden zwei mal vier zueinander senkrecht stehende Sender ausgewählt. Im Vergleich zur GG läßt sich die Deponie ähnlich gut zur Umgebung abgrenzen. Im Detail gibt es aber Unterschiede. Die Eindringtiefe der RMT über der gutleitenden Deponie ist unzureichend. Der deutliche Vorteil der RMT liegt hier in der geringen Auslageweite von 5 m und der nur durch die geologischen Gegebenheiten und die vorgegebenen Radiofrequenzen begrenzten Eindringtiefen. In räumlich begrenzten Gebieten, in denen lange Kabelauslagen, etwa für GG, nicht möglich sind, können dennoch Aussagen über die Widerstände und den Verlauf der Phasenverschiebungen gemacht werden. Dies war in diesem Fall gerade an den Rändern der Deponie von großer Hilfe, da hier stellenweise wertvolle Informationen mit der GG und der SIP nicht erbracht werden konnten. Die Daten wurden mit REBOCC von W. Siripunvaraporn und G. Egbert (Oregon State University) invertiert.

berens@geo.uni-bonn.de

guesgen@geo.uni-bonn.de

www.geo.uni-bonn.de/members/guesgen

Triebe, H., Klitzsch, N. (RWTH Aachen)

Einfluss der Porenraumgeometrie von Sedimenten auf das SIP Verhalten

Ein aktuelles Forschungsthema ist die Ableitung der hydraulischen Permeabilität aus Messungen der spektralen induzierten Polarisation (SIP). Dabei hat sich herausgestellt, dass empirische Beziehungen (basierend auf der imaginären Leitfähigkeit oder Relaxationszeit), die die elektrischen und hydraulischen Parameter verknüpfen, keine Allgemeingültigkeit besitzen, da die Vielzahl der Einflussfaktoren auf die elektrischen Messgrößen durch diese empirischen Ansätze nicht berücksichtigt wird. Es ist also notwendig, modelltheoretische Ansätze zur Ableitung der Permeabilität aus SIP Messungen zu nutzen, die möglichst alle relevanten Einflussfaktoren berücksichtigen. Es existiert aber eine Vielzahl von Modellen, die unterschiedliche Ursachen für das Polarisationsverhalten angeben. So hängt die Polarisation beim Constant Phase Modell (Börner, 1991) von der Größe der inneren Oberfläche ab, dagegen schlagen Lesmes und Morgan (2001) ein Modell vor, dass die Polarisation in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung beschreibt, bei Klitzsch (2004) wiederum hängt das spektrale Verhalten von der Porengrößenverteilung ab.

An der RWTH Aachen werden SIP Messungen an gesättigten Lockersedimenten in Durchflussmesssäulen durchgeführt. Permeabilität und SIP- Verhalten können hier gleichzeitig ermittelt werden. Die Bestimmung der elektrischen Eigenschaften bei unterschiedlicher Verdichtung (Lagerungsdichte) wird dazu genutzt, die relevanten Einflussgrößen zu identifizieren. Die Experimente zeigen, dass die Polarisierbarkeit von der Lagerungsdichte bzw. der Porosität abhängt. Mit zunehmender Kompaktion eines Sediments ändert

sich das Phasenspektrum, die Polarisierbarkeit nimmt zu und der Formationsfaktor wird größer. Da sich die Porengrößenverteilung als einziger der oben genannten Parameter verändert (Oberfläche und Korngrößenverteilung werden durch die Verdichtung nicht beeinflusst), folgt, dass sie ein relevanter Parameter für die Beschreibung der SIP-Eigenschaften ist.

Literatur

Börner, F.D., Schön, J., 1991, A relation between the quadrature component of electrical conductivity and the surface area of sedimentary rocks. *Log Analyst*, 32, 612-613.

Lesmes, D.P., Morgan, F.D., 2001, Dielectric spectroscopy of sedimentary rocks. *J. of Geophys. Research*, 106 (B7), 13329-13346.

Klitzsch, N., 2004, Ableitung von Gesteinseigenschaften aus Messungen der spektralen induzierten Polarisation (SIP) an Sedimentgesteinen. Dissertation, Universität Leipzig.

Breede, K., Weller, A. (TU Clausthal)

SIP-Messungen an Sandsteinen mit Lösungen unterschiedlicher Salze

Ein Projekt zwischen der Universität Birmingham und dem Institut für Geophysik der Technischen Universität Clausthal hatte Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) an Sandsteinen zum Inhalt. Die Messungen wurden mit zwei verschiedenen Sättigungsfluiden durchgeführt: Zum einen mit Clausthaler Leitungswasser und zum anderen mit einem synthetisch hergestellten Sättigungsfluid, welches die gleiche chemische Zusammensetzung wie das Birminger Grundwasser hatte. Die elektrische Leitfähigkeit dieser beiden Fluide unterscheidet sich etwa um den Faktor 7, wobei das Clausthaler Leitungswasser eine deutlich geringere Leitfähigkeit von ungefähr 10 mS/m aufweist.

Die SIP-Messungen haben gezeigt, dass der spezifische elektrische Widerstand der Proben - wie erwartet - mit steigender Salzkonzentration abnimmt. Die Spektren der Phasenverschiebung zeigten hingegen keinen einheitlichen Trend, sondern unterschieden sich zum Teil sehr stark. Bei der Messung mit dem synthetischen Birminger „Grundwasser“ wiesen die SIP-Spektren zum Teil einen nahezu konstanten Phasenwinkel auf, während sich mit dem weniger leitfähigen Clausthaler Leitungswasser bei der gleichen Probe ein Phasenmaximum ergab. Bei einigen Proben war mit abfallender Leitfähigkeit eine deutliche Änderung in der Position des Phasenmaximums festzustellen.

Aufgrund der erhaltenen Ergebnisse wurden einige Sandsteinproben ausgewählt, an denen weitere SIP-Messungen durchgeführt werden sollten.

An den ausgewählten Gesteinsproben, welche zum einen aus Großbritannien und zum anderen aus Deutschland stammen, wurden Messungen mit Lösungen zwei verschiedener Salzionenarten durchgeführt. Als Lösungen wurden hierbei eine Natrium- und eine Calciumchloridlösung gewählt. Die Konzentration der beiden Salzlösungen wurde schrittweise von 125 ppm bis auf 16000 ppm erhöht. Die Messungen ergaben, dass es kein einheitliches Verhalten für Sandsteine gibt. Allerdings scheint eine Aufteilung der untersuchten Sandsteine in verschiedene Gruppen möglich zu sein. Bei allen Proben bestätigte sich, dass der spezifische elektrische Widerstand mit zunehmender Salzkonzentration abnimmt. Bei den Spektren der Phasenverschiebung zeigt sich der Trend, dass der Phasenwinkel mit zunehmender Salzkonzentration abnimmt. Eine Ausnahme bildet hierbei eine feinsandig-siltige Buntsandsteinprobe, bei der das Phasenmaximum zwar mit steigender Salzkonzentration zuerst abnimmt, dann jedoch wieder zunimmt und gleichzeitig eine Verschiebung des Phasenmaximums zu größeren Frequenzen hin auftritt.

Für alle Proben wurde auch der Verlauf von Real- und Imaginärteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Porenfluids dargestellt.

Die Darstellung des Realteils gegen die Porenfluidleitfähigkeit ergab bei allen Proben eine Gerade, wobei die Geraden für die Natrium- und die Calciumchloridlösungen nahezu übereinander lagen.

Diese Darstellung ermöglicht die Berechnung des Formationswiderstandsfaktors, der ein Maß für die Vergrößerung des spezifi-

schen elektrischen Widerstands einer wässrigen Porenlösung durch die Anwesenheit einer nichtleitenden Gesteinsmatrix ist. Anhand dieser Darstellungsweise war eine Unterteilung der untersuchten Sandsteinproben in drei verschiedene Gruppen - je nach Grad der Geradensteigung - möglich. Die Unterteilung der Sandsteinproben in diese Gruppen entspricht auch den unterschiedlichen Größenordnungen der Porositäten der Proben, da der Formationswiderstandsfaktor vor allem durch die effektive Porosität bestimmt wird.

Die Darstellung des Imaginärteils der komplexen elektrischen Leitfähigkeit gegen die Leitfähigkeit des Porenfluids ergab bei allen Proben eine Kurve, welche bei geringer Leitfähigkeit des Porenfluids zunächst stark ansteigt und dann immer mehr abflacht. In einigen Fällen scheint mit der Zeit ein Sättigungszustand erreicht worden zu sein, in anderen Fällen wird ein Maximum erreicht und der Kurvenverlauf flacht für höhere Konzentrationen wieder ab. Im Fall der schon erwähnten feinsandig-siltigen Buntsandsteinprobe steigt die Kurve auch bei einer Salzkonzentration von 16000 ppm Natrium- bzw. Calciumchlorid noch weiter an.

Bei der Darstellung des Imaginärteils liegen die Kurven für die Natrium- und die Calciumchloridlösungen nicht übereinander, sondern unterscheiden sich in ihrer Intensität ungefähr um einen Faktor von zwei, was möglicherweise auf die unterschiedlich starke Bindung von Calcium- und Natriumionen in der Sternschicht zurückzuführen ist.

Nach der Durchführung der SIP-Messungen wurden für alle Proben noch einmal Wiederholungsmessungen bei einer geringeren Salzkonzentration durchgeführt um zu überprüfen, inwieweit sich die Proben

im Rahmen der Messungen verändert haben. Das Ergebnis zeigte, dass bei einigen Proben die Kurven der Phasenspektren der Wiederholungsmessungen genau auf denen der „Originalmessung“ lagen. Bei anderen Proben hingegen zeigte sich sowohl in der Intensität des Phasenwinkels eine Veränderung, als auch in der Lage des Phasenmaximums. So war hier meist eine Verschiebung des Phasenmaximums zu höheren Frequenzen hin zu beobachten.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurden eine weitere Sandsteinprobe - Bentheimer Sandstein - und „Schwesterproben“ von einigen der gemessenen Sandsteinproben ausgewählt. An diesen Proben wurden zunächst petrophysikalische Untersuchungen, wie Messungen der Dichte, Porosität, der Inneren Oberfläche und NMR durchgeführt.

Anschließend wurden weitere SIP-Messungen mit zwei weiteren Salzionenarten durchgeführt: Kalium- und Aluminiumchlorid. Diese Auswahl wurde auf Grund der Ladungszahlen und Ionenradien von Kalium und Aluminium getroffen.

Im Rahmen der SIP-Messungen soll der Einfluss der unterschiedlichen Ionenarten des Sättigungsfluids auf die komplexen Leitfähigkeitsspektren untersucht werden. Da Polarisation ein Oberflächenphänomen ist, welches an der Grenzfläche zwischen Porenoberfläche und dem Elektrolyten abläuft, soll bei den Untersuchungen der Sandsteine auch auf die unterschiedlichen - in den Proben vorkommenden - Tonminerale und die Zemente eingegangen werden.

Kruschwitz, S. (BAM Berlin)

SIP Messungen an Baumaterial mit unterschiedlich salinen Porenfluiden und Feuchtegehalten

E-Mail: sabine.kruschwitz@bam.de

Motivation

Wasserlösliche Salze sind wesentlich am Verwitterungsgeschehen von Bauwerken beteiligt. Die zerstörungsfreie Schadensanalyse feuchte- und salzbelasteter Baustoffe ist daher eines der Kernthemen in der Kulturguterhaltung. Mittels Laborstudien und ersten Untersuchungen an definiert salzbelasteten Vollziegeln wurde das Potential niederfrequenter elektrischer Messungen untersucht, zerstörungsfrei Informationen bezüglich Material und Salzbelastung zu gewinnen.

Laborstudie zu Na_2SO_4 belasteten Baustoffen

Zur Untersuchung des Einflusses von Natriumsulfat auf das Impedanzverhalten von Baustoffen wurde eine Studie an Sandstei-

nen, Kalksandsteinen und Tonziegeln durchgeführt. Laborproben jedes Materials wurden mit 5 Fluiden unterschiedlicher Salzkonzentrationen (dest. Wasser, Leitungswasser, 0.01 M, 0.05 M und 0.1 M Na_2SO_4 -Lsg.) vollgesättigt. Es zeigte sich, dass die drei Materialien durch ihr unterschiedliches Polarisationsverhalten bei gleichen Fluidsalinitäten voneinander unterscheidbar sind.

Bei allen drei Baustoffen führte eine Erhöhung des Salzgehaltes zu einer Abnahme des maximalen Phasenwertes. Der Imaginärteil der komplexen elektrischen Leitfähigkeit ist direkt mit den Polarisationsprozessen an der inneren Oberfläche korrelierbar. Sowohl für den Sandstein, als auch für den Kalksandstein konnte eine Zunahme der Polarisierbarkeit mit steigender Fluidsalinität beobachtet werden (Abb. 1). Dies entspricht generell den Beobachtungen von Breede et al. (2005) an

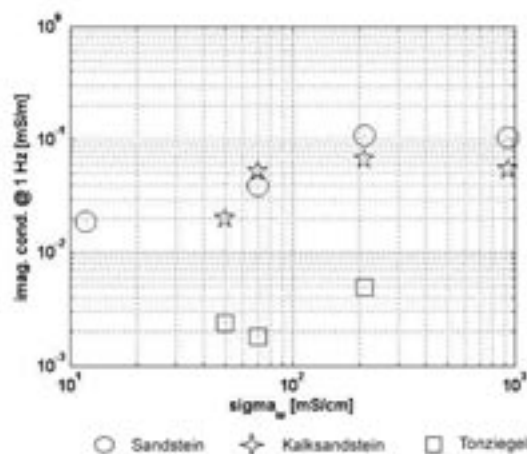


Abbildung 1: Änderung des Imaginärteils des komplexen elektrischen Leitfähigkeit bei Erhöhung der Fluidsalinität durch Zugabe von Na_2SO_4 .

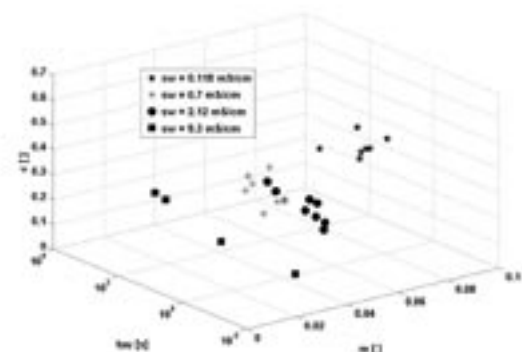


Abbildung 2: Verteilung der Cole-Cole Modellparameter für einen Sandsteinprobensatz mit unterschiedlichen Fluidsalinitäten.

NaCl und KCl gesättigten Sandsteinen. Der Tonziegel ist für alle Salinitäten nahezu unpolarisierbar.

Um zu untersuchen, inwiefern Veränderungen der Salinität modelltheoretisch erfassbar sind, wurden die gewonnenen Spektren durch Superposition zweier Cole-Cole Terme angepasst (SpecFit, Kemna 2000). Je nach Fluidsalinität ergab sich eine charakteristische Verteilung der Modellparameter m , τ und c (Abb. 2). An den Sandsteinproben wurde eine Abnahme des Cole-Cole Exponenten und der Relaxationszeit mit zunehmender Salinität (0.118 - 9.3 mS/cm) beobachtet. Im Gegensatz dazu führte ein erhöhter Salzgehalt beim Kalksandstein zwar ebenfalls zu einer Abnahme der Relaxationszeit, jedoch unter Zunahme des Cole-Cole Exponenten. Die Abnahme der Relaxationszeit könnte mit einer dünneren elektrischen Doppelschicht in salinen Porenfluiden erklärt werden, die mit einer Abnahme der effektiven Diffusionslänge in den Porenhälsen einhergeht. Die Ursachen für den Einfluss von Salzen auf die Breite des Phasenmaximums müssen weiterhin untersucht werden.

Austrocknung von Tonvollziegeln mit unterschiedlichen Porenfluiden

An Tonvollziegeln wurde beobachtet, wie sich die SIP-Charakteristiken unter Austrocknung bei Raumtemperatur (RT) verändern. Die Ziegel wurden vor der Messung ca. 14 Tage in verschiedenen Sättigungslösungen gelagert. Mit vier EKG-Elektroden, die in 4 cm Abständen auf den Ziegel geklebt wurden, konnte dann nach der Entnahme über mehrere Tage die komplexe elektrische Leitfähigkeit aufgezeichnet werden. Je nach Art des Sättigungsfluids ergab sich im Trocknungszeitraum eine unterschiedliche Änderung der Polarisations-eigenschaften. Für die Sättigungsfluide dest. Wasser und 0.01 M Na_2SO_4 -Lsg. wurde mit

fortschreitender Trocknung eine Zunahme der Relaxationszeit festgestellt. Dies lässt sich erklären, wenn man davon ausgeht, dass zuerst große Poren entsättigt werden und später kleinere. Im Fall des mit 0.01 M NaCl-Lsg. gesättigten Ziegels wurde eine Abnahme von τ beobachtet, deren Ursache noch ungeklärt ist, aber möglicherweise mit dem Chemismus an der inneren Oberfläche zusammenhängt. Für alle Fluide wurde mit zunehmender Austrocknung ein Anstieg der Polarisierbarkeit m festgestellt.

Zusammenfassung

Die SIP-Charakteristiken verschiedener Baumaterialie unter dem Einfluss saliner Porenfluide wurde untersucht. Im Gegensatz zum nahezu unpolarisierbaren Tonziegel, wurde an vollgesättigten Sandstein- und Kalksandsteinproben mit zunehmender Salinität (hier Na_2SO_4) eine Zunahme der Polarisations-eigenschaften trotz abnehmendem Phasenmaximum beobachtet. Auch der Sättigungsgrad hat einen entscheidenden Einfluss auf das SIP Verhalten. Abhängig vom Fluid wurden charakteristische Änderungen der Cole-Cole Parameter festgestellt. Weiterführende systematische Untersuchungen sollen klären, mit welcher Genauigkeit Aussagen über Salzmilieu und Feuchtegehalt in Baustoffen möglich sind.

Literatur

1. Kemna, A. 2000. Tomographic inversion of complex resistivity - theory and application. PhD thesis. Bochum University. Der Andere Verlag. Osnabrück.
2. Breede K., Weller, A. und Scott, J. 2005. SIP-Messungen an Sandsteinen mit Lösungen unterschiedlicher Salzkonzentrationen. Proc. 65. Jahrestagung der DGG. Graz, Österreich.

Webseite: <http://www.bam.de/fg-44.htm>

Martin, T. (BAM Berlin)

SIP an stehenden Bäumen

E-Mail: tina.martin@bam.de

Motivation Um sichere Aussagen über die Standfestigkeiten wertvoller, alter Parkbäume sowie Straßen- und Alleebäumen zu treffen, spielt neben den üblichen Untersuchungsmethoden an Bäumen¹, auch die Anwendung der Tomographie eine Rolle. Erfahrungen dazu gibt es bereits bei der CT², der Schalltomographie, sowie vereinzelt bei der elektrischen und Georadartomographie³ Aufgrund der elektrischen Polarisierbarkeit von Holz⁴ sollte es auch möglich sein, das IP-Verfahren auf stehende Bäume zu übertragen, um damit etwaige Hohl- oder Fäulnisstellen orten zu können. **Messungen** Vorab haben wir mittels eines mit Leitungswasser gefüllten, zylindri-

schen Probekörpers (Plastikabwasserrohr, Höhe 71 cm/Durchmesser 30 cm) Testmessungen durchgeführt, um u.a. den Einfluss von Kreisgeometrien auf Widerstandsmessungen zu beobachten und verschiedene Inversionssoftware zu testen. Dazu wurde der Probekörper auch mit verschiedenen Materialien gefüllt (Plastikrohre, Plastikbrett, Holzbalken) und in verschiedenen Ebenen gemessen. Erste praktische Untersuchungen wurden an unterschiedlichen Holzarten unternommen. Dabei haben wir an zwei stehenden (Eiche und Kiefer) und einigen gefällten Bäumen gemessen. Dazu wurde die Apparatur SIP 256C (Fa. Radic Research) mit 24 Kanälen verwendet. Der Abgriff erfolgte mittels 55 mm langer Stahlnägel äquidistant am Stammfuß des Baumes. Mit einer Dipol-Dipol-Auslage wurde im Frequenz-

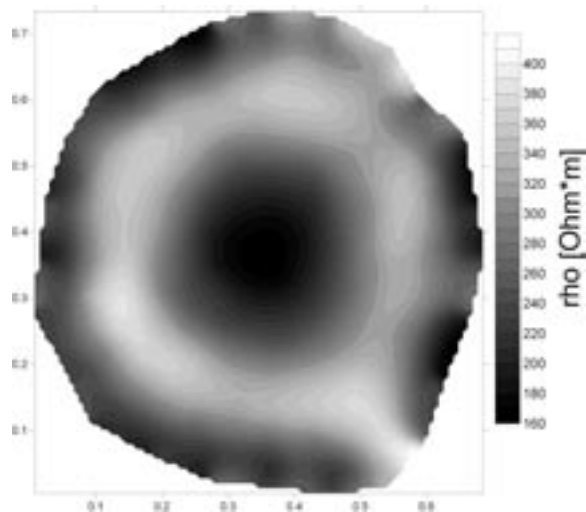


Abbildung 1: Spezifische Widerstandsverteilung einer gesunde Eiche. Die hat aufgrund der Gerbsäuren einen gut leitfähigen inneren Kernbereich und aufgrund des wasserführenden Splintholzbereich eine gutleitfähige äußere Zone.

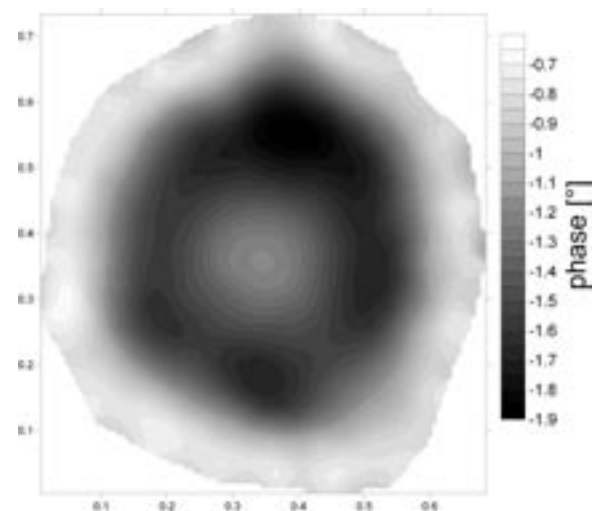


Abbildung 2: Phasenverteilung einer gesunden Eiche. Gut leitfähige Bereiche korrelieren mit niedrigen Phasenwerten und umgekehrt.

bereich von 1.25 Hz bis 0.156 Hz gemessen. Zusätzlich wurde noch die Baumtopographie aufgenommen und bei der Inversion berücksichtigt. Die Daten wurden anschließend mit dem Inversionsprogramm DC2dtree⁵ ausgewertet.

Ergebnisse Grundsätzlich ist es möglich das SIP Verfahren auf zylindrische Körper zu übertragen. Probleme gab es anfänglich bei dem Rundschluss der Messungen (Elektr. 24 \rightarrow Elektr. 1), bei leichten Abweichungen von der Kreisgeometrie und dem Erfassen kleinräumiger Strukturen (z.B. einer Brettlängsseite). Bei den Baummessungen ergab sich folgendes Bild: (i) Es ist prinzipiell möglich die spezifische Widerstands- und Phasenverteilung im Inneren eines Baumes zu erhalten (siehe Abb.1 & 2). (ii) Dabei ändert sich der spezifische Widerstand kaum (Änderung $\rho_s < 5\%$) über die untersuchten Frequenzen. (iii) Währenddessen scheint sich die Phase stärker frequenzabhängig zu ändern. Dabei wurde außerdem festgestellt, dass: (iv) Je größer die Frequenz ($f_{max} = 1.25\text{ Hz}$), desto höher der Phaseneffekt (bis -4°) und (v) Je niedriger die Frequenz ($f_{min} = 0.156\text{ Hz}$), desto mehr (nicht zu vernachlässigende) positive Phasen treten auf. Von großer Bedeutung ist auch der Unterschied zwischen den einzelnen Baumarten. Während die Eiche als Kernholz einen besser leitenden Kernbereich hat ($200\ \Omega\text{m}$, Abb.1), wird der Kernbereich der Kiefer (auch Kernholz) als sehr schlecht leitende Zone ($> 1000\ \Omega\text{m}$) dargestellt. Beide Bäume erweisen sich aber als völlig gesund. Im Unterschied zur Kiefer, deren trockenes Kernholz die Widerstandsanomalie erzeugt, sorgen die im ebenfalls trockenen Eichenkernholz befindlichen Gerbsäuren für bessere Leitfähigkeiten⁶.

Ausblick Weitere Messungen am künstlichen Probekörper sollen unter anderem die Effek-

tivität einer Baummessung hinsichtlich der Elektrodenanordnung und des -abstandes verbessern. Nach weiteren Referenzmessungen an gesunden Bäumen soll im nächsten Schritt gezielt an bekannten, kranken Bäumen der Baumarten Eiche, Buche und eventuell Kiefer gemessen werden. Dabei entnommene Proben sollen unter Berücksichtigung der drei Hauptanisotropierichtungen (radial, axial und tangential) im Labor untersucht werden. Ein möglicherweise für jede Baumart typisches Frequenzverhalten soll dabei ermittelt werden. Es wird außerdem versucht, die aufgenommenen Spektren einem Modell anzupassen, wobei die Frage zu klären sein wird, wie die Polarisation im Baum überhaupt genau zu Stande kommt.

Literatur (1) P. Niemz, H.-C. Bodmer, L.J. Kucera, H.-W. Ridder, A. Habermehl, P. Wyss, E. Zürcher und O. Holdenrieder (1998), Eignung verschiedener Diagnosemethoden zur Erkennung von Stammfäule bei Fichte. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 149, 8:615-630 (2) A. Habermehl und H.-W. Ridder (1992), Methodik der Computer-Tomographie zur zerstörungsfreien Untersuchung des Holzkörpers an stehenden Bäumen. Holz als Roh- und Werkstoff 50, 465-474 (3) G. Nicoletti, L.V. Socco, R. Martinis, A. Godio and L. Sambuelli (2003), Application and Comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. Journal of Agriculture 29(2) 66-78 (4) N. Schleifer, A. Weller, S. Schneider and A. Junge (2002), Investigation of a Bronze Age Plankway by Spectral Induced Polarization. Archaeological Prospection, 9, 243-253 (5) DC2dtree, Th. Günther und C. Rücker, <http://www.resistivity.net> (6) mündl. Mittei-

Ullmann, A. (TU Bergakademie Freiberg), Bieker, D., Rust, S. (Hochschule für Angewandte Wissenschaften und Künste, Hildesheim-Holzminde-Göttingen, Fakultät Ressourcenmanagement), Börner, R.-U., Spitzer, K. (TU Bergakademie Freiberg)

Dreidimensionale geoelektrische Rekonstruktion des Wurzelbereichs von Bäumen

E-Mail: angelika.ullmann@student.tu-freiberg.de

Die Kenntnis über die räumliche Verteilung von Baumwurzeln ist für verschiedene Fachbereiche interessant. Wir stellen eine interdisziplinäre Untersuchung vor, welche beschreibt, wie und ob man mit Hilfe geoelektrischer Arraymessungen an der Erdoberfläche und modernen dreidimensionalen Inversionstechniken (Günther, 2004) diesen Bereich elektrisch erfassen, räumlich rekonstruieren und charakterisieren kann. Dabei ließe sich erwarten, dass die Wurzelbereiche einerseits materialspezifische physikalische Kontraste zeigen und andererseits durch eine Veränderung des Wasserhaushalts des Bodens detektierbar sind. Frühere geoelektrische Messungen (Spitzer und Südekum, 1996) haben gezeigt, dass der Wassergehalt den spezifischen elektrischen Widerstand des Bodens stark beeinflusst und daher indirekt den Wurzelbereich abbilden kann.

Bäume im Stadtbereich haben einen hohen gestalterischen und kulturellen Wert, sie sind dort aber häufig Beschädigungen durch Baumaßnahmen ausgesetzt. Da eine der Hauptaufgaben der Wurzel darin besteht, den Baum im Boden zu verankern, können die direkten und indirekten Schäden an den Wurzeln die Standsicherheit des Baumes beeinträchtigen. Die bisher einzige Möglichkeit, die Bewurzelung in ihrer gesamten räumlichen Ausdehnung darzustellen, ist die händische Freilegung der Wurzeln. Die Variationsbreite der Bewurzelung kann damit allerdings nicht erfasst wer-

den (Kutschera und Lichtenegger, 2002). Eine frühzeitige Lokalisierung der Starkwurzeln im Vorfeld der Baumaßnahmen könnte helfen, Beschädigungen an Wurzeln zu verhindern. Bereits entstandene Schäden könnten diagnostiziert und in ihren Auswirkungen auf die Standsicherheit bewertet werden.

Ein weiterer Einsatzbereich ist die Wasserhaushalts- bzw. Ökosystemmodellierung. Die Aufnahme von Wasser ist neben der Verankerung im Boden eine der wichtigsten Aufgaben der Wurzeln. Da die räumliche Ausbreitung von Wurzeln jedoch sehr stark variiert, lassen sich keine allgemeingültigen und dabei hinreichend exakten Aussagen über den durchwurzelten Bereich machen. Dies wäre jedoch wünschenswert, da die Verteilung der Wurzelmasse eine stark regulierende Wirkung auf den Wasserhaushalt hat (Kutschera und Lichtenegger, 2002) und die Wasseraufnahme bei uneingeschränkter Wasserversorgung proportional zur Durchwurzelungsintensität ist (Granier et al., 1999). Bisher lässt sich der Wurzelraum allerdings nur indirekt über Modelle abschätzen, die recht ungenau sind und bei inhomogenen Boden- und Bestandesverhältnissen bald an ihre Grenzen stoßen. Eine physikalische Detektion des durchwurzelten Bodenvolumens würde die Genauigkeit von Wasserhaushaltsmodellierungen erhöhen. Die geoelektrischen Rekonstruktionstechniken könnten eine kostengünstige Methode zur zerstörungsfreien

Bestimmung der Wurzelverteilung im Boden darstellen.

Die Wurzelmasse nimmt in der Regel von der Oberfläche aus nach unten hin exponentiell ab. Horizontal erstreckt sich das Wurzelsystem im ungestörten Boden oberflächennah noch um einiges über den Kronenraum hinaus. Erste Messungen und Rekonstruktionen um eine einzeln stehende Eiche im Freiburger Albert-Park zeigen eine räumliche Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands, die nicht im Widerspruch zu den oben formulierten Thesen steht. Die Arbeiten werden vertieft durch Wiederholungsmessungen und Messungen an anderen Standorten.

Literatur

Granier A., Breda N., Biron P. und Villetto S. (1999) A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands. *Ecol Modelling* 116: 269-283.

Günther, T., 2004. Inversion methods and resolution analysis for the 2D/3D reconstruction of resistivity structures from DC measurements, PhD-thesis, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, TU Bergakademie Freiberg.

Kutschera, L und Lichtenegger, E (2002) Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Leopold Stocker, Graz.

Spitzer, K. und Südekum, W., 1996. Dreidimensionale numerische Modellrechnungen zur oberflächennahen Kartierung am Schloss Rotenburg/Wümme, Bericht, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufga-

ben, Archiv-Nr. 115 718, Hannover, 31p.

Webseite: <http://www.geophysik.tu-freiberg.de>

Vasterling, M., Jetschny, S., Franke, A., Börner, R.-U., Spitzer, K. (TU Bergakademie Freiberg)

Elektrische und elektromagnetische Methoden zur Vorerkundung von HDR-Geothermiestandorten und zur Abbildung künstlich erzeugter Kluftsysteme

E-Mail: MargareteVasterling@gmx.de

In einer vom Bundesministerium für Umwelt finanzierten Machbarkeitsstudie zum Einsatz von superkritischem CO₂ als Trägerfluid in Hot-Dry-Rock-Geothermiekraftwerken untersuchen wir Möglichkeiten der elektromagnetischen Standortvorerkundung von der Erdoberfläche aus und der Abbildung hydraulisch erzeugter Kluftsysteme (Hydrofrac) durch geoelektrische Methoden im Bohrloch. Da die angestrebten Zieltiefen in der Größenordnung von 5 km liegen, erscheint für die Vorerkundung lediglich eine breitbandige Magnetotellurik (MT) zweckmäßig. Eine besondere Bedeutung beim Einsatz von superkritischem CO₂ kommt der Abgeschlossenheit des Fluidkreislaufs zu. Deshalb sucht man im Vorfeld der technischen Umsetzung ungeklüftete Bereiche der im Erzgebirge und in der Lausitz vorkommenden Granite. Die Hauptfragestellung, die wir mit der MT beantworten wollen, bezieht sich auf das Vorhandensein von natürlichen Störungszonen, die bei Anwesenheit von salinaren Fluiden elektrisch kontrastieren und damit detektierbar sind. Im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchung führen wir daher in einem ersten Schritt Auflösungsstudien mit unseren MT-Simulationscodes (Franke, 2004) aus, um abschätzen zu können, bis zu welcher Tiefe Störungszonen erkennbar sind.

In einer weiteren Auflösungs- und Konzeptionsstudie simulieren wir gleichstromgeoelektrische Elektrodenkonfigurationen im

Bohrloch, um die für den Wärmeaustausch künstlich erzeugten Rissysteme räumlich rekonstruieren zu können. Hierbei finden ebenfalls unsere gleichstromgeoelektrischen Simulations- und Inversionscodes Anwendung (Günther, 2004). Ziel der Studie ist es zu zeigen, welche Experimente ausgeführt werden müssen, um Rissysteme überhaupt abbilden zu können und welches Experimentaldesign zu wählen ist, um das Auflösungsvermögen zu optimieren.

Beide Arten von Kluftsystemen – natürliche und künstliche – legen nahe, dass deren makroskopische elektrische Leitfähigkeit anisotrope Eigenschaften aufweist, deren Ausprägung das Kluftsystem charakteristisch beschreibt. Wir werden daher Modellstudien durchführen, die verschiedene Formen und Grade der elektrischen Anisotropie berücksichtigen und deren Auswirkung auf das elektrische Feld nachvollziehen. Auch für diese Simulationsrechnungen haben wir Computercodes entwickelt (Franke, 2004; Li und Spitzer, 2005), die wir für diese Studien nutzen.

Unsere Ergebnisse fließen zusammen mit Untersuchungen zur Hydrogeologie, Bohrtechnik, Kraftwerkstechnik und Wirtschaftlichkeit in einen Entscheidungsprozess zur Umsetzung eines eventuell anschließenden Pilotprojekts ein. Kooperationspartner der TU Freiberg sind das Oberbergamt Freiberg, das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, das GFZ Potsdam und die Vattenfall Europe Renewables GmbH.

Literatur

Franke, A., Börner, R.-U und Spitzer, K., 2004. 2D Finite Element modelling of plane-wave diffusive time-harmonic electromagnetic fields using adaptive unstructured grids, Proceedings of the 17th IAGA WG 1.2 Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth, Hyderabad, India, October 18-23, 2004, <http://www.emindia2004.org>, 6p.

Günther, T., 2004. Inversion methods and resolution analysis for the 2D/3D reconstruction of resistivity structures from DC measurements, PhD-thesis, Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau, TU Bergakademie Freiberg

Li, Y. und Spitzer, K., 2005. Finite element resistivity modelling for three-dimensional structures with arbitrary anisotropy, Phys. Earth Planet. Int., 150. 15-27.

Webseite: <http://www.geophysik.tu-freiberg.de>

Bosch, F.P. (Münster, Institut für Geophysik), Chalikakis, K. (Paris, UMR Sisyphe, University Paris 6), Gurk, M. (Leipzig, GGD)

Remote radio transmitter electromagnetic survey in the vicinity of a sinkhole in the karstic, alluvial depression of Lousoi, Peloponnesus, Greece

E-Mail: boschf@uni-muenster.de

Vulnerability assessment of groundwater is an important task for actual and future sustainable groundwater protection and management. Knowledge of the thickness and internal structure of loose sediments as well as fractures and faults of (karstified) hard rock is essential in the evaluation process of all common groundwater vulnerability assessment schemes (Daly et al. 2002). Hydrogeological mapping of an aquifer catchment is commonly done by in-situ surface observations. The restriction on direct observations exclusively leads to a gap

of knowledge about the properties of the subsurface.

The application of geophysical methods, which fulfill the requirements of the demands of hydrogeologists might fill this gap. While addressing ground's electric resistivity, EM methods provide light weighted equipment with high resolution and fast measurement

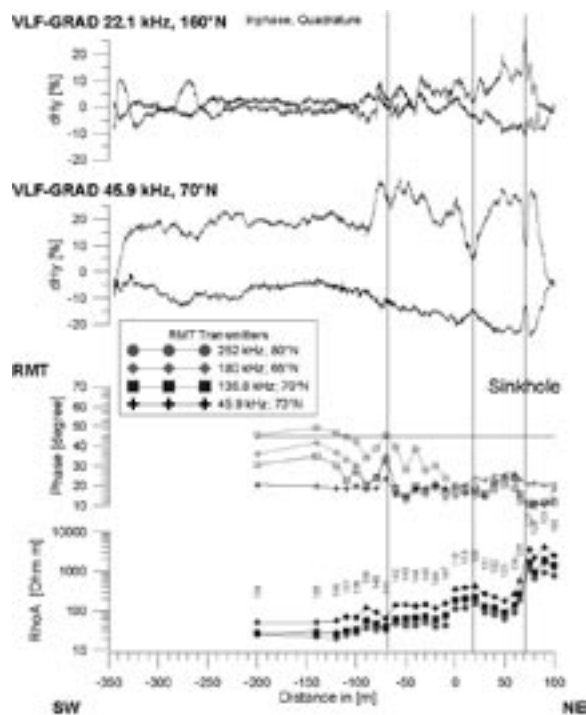


Figure 1: VLF-GRAD and RMT data on Profile S1.

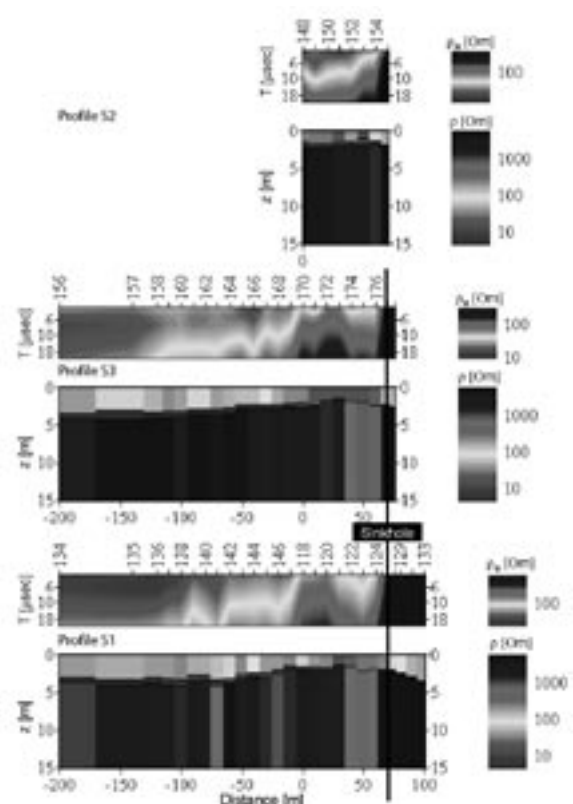


Figure 2: RMT pseudosections of app. resistivity and cross sections of 1D inversions of the three parallel profiles.

progress.

We present results from a survey in the vicinity of a recently reactivated karstic sinkhole, formerly buried and closed by sediments. Sinkholes are a prominent drainage mechanism of a part of the karstic/alluvial depression of Lousoi in the central part of the Peloponnese (Greece). We applied the passive remote radio transmitter methods Radio-Frequency EM (RF-EM), Very-Low-Frequency Gradient (VLF-GRAD) and Radiomagnetotellurics (RMT) in the frequency range from about 20 to 200 kHz, which are enhancements of the traditional VLF and VLF-R method. The used equipment are prototypes developed at the Centre of Hydrogeology Neuchatel, Switzerland (Bosch and Müller 2005).

The RF-EM and VLF-GRAD data were sampled continuously with a datalogger frequency of 4 Hz without ground contact along three NE oriented parallel profiles separated by 10 m. The inphase and quadrature data separate the survey area clearly into a homogeneous and a heterogeneous area regarding the resistivity of the ground (Fig. 1). Together with the resistivity information from the RMT data, the heterogeneous zone is interpreted as karstified limestone. The sinkhole itself is situated in this zone and its position coincides with the most prominent RF-EM and particular VLF-GRAD anomaly.

The RMT stations are separated by 10 m along the profiles. Four transmitters between 45.9 and 180 kHz broadcasting from NE directions were used. Obviously, the sinkhole lies at the contact between a zone of lower and higher apparent resistivities (30-100 Ohm m and ca. 1000 Ohm m respectively) (Fig. 1). 1D inversions with the program IPI2Win(MT) (Bobachev 2002) were calculated. Particu-

larly, a three-layer model featuring a thin conductive (5 Ohm m) middle layer (interpreted as impermeable clay) disappearing near to the sinkhole, explains well the possibility for the development of a sinkhole (Fig. 2).

The findings about layer thicknesses and the existence of clay and covered karstified limestone provide important parameters for the process of groundwater vulnerability assessment.

References:

- Bobachev, A.A., 2002. IPI2Win (MT), Moscow State University, Moscow.
- Bosch, F.P. and Müller, I., 2005. Improved karst exploration by VLF-EM-Gradient survey: comparison with other geophysical methods. *Near Surface Geophysics* 3: 299-310.
- Daly, D., Dassargues, A., Drew, D., Dunne, S., Goldscheider, N., Neale, S., Popescu, I.C. and Zwahlen, F., 2002. Main concepts of the European Approach to karst-groundwater-vulnerability assessment and mapping. *Hydrogeology Journal* 10: 340-345.

Lindhorst, S., Betzler, C. (Universität Hamburg), Hass, C. (AWI-Wattenmeerstation List), Feindt, S., Fürstenau, J. (Universität Hamburg)

Einsatz des Georadars im küstennahen Raum - Die holozäne Sedimentationsdynamik der Insel Sylt als Spiegel des letzten postglazialen Meeresspiegelanstiegs

E-Mail: lindhorst@geowiss.uni-hamburg.de

Ziel unserer Untersuchungen ist die Rekonstruktion der sedimentären Dynamik und Entwicklung des Nehrungshakens der Insel Sylt (Nordfriesische Inseln) unter den Bedingungen des letzten postglazialen Meeresspiegelanstiegs.

Die Arbeiten konzentrieren sich bislang auf die nördliche, dünen dominierte Nehrung der Insel Sylt, da hier die nur dünne Besiedlung eine geringe anthropogene Überprägung des Untergrundes erwarten läßt und ausgedehnte Süßwasseraquifere den Einsatz des Georadars mit befriedigender Durchdringungstiefe zulassen. Die Kombination der geophysikalischen Erkundung mit hochauflösenden sedimentologischen Daten (gekernte Flachbohrungen und granulometrische Analysen) ermöglicht es, ein neues Modell der genetischen Stratigraphie dieses Nehrungssystems aufzustellen. Ein durch Datierungen abgesicherter Altersrahmen wird darüber hinaus eine Auflösung der zeitlichen Dynamik des Systems erlauben. Die geophysikalischen Geländearbeiten werden unter Verwendung einer SIR-3000 von GSSI durchgeführt. Zum Einsatz kommen dabei in erster Linie Antennen mit Frequenzen von 100 und 200 MHz, wobei die höherfrequente Antenne bei den gegebenen Untergrundbedingungen einen optimalen Kompromiß zwischen Auflösung und Durchdringungstiefe darstellt. An ausgewählten Lokalitäten wurden darüber hinaus Messungen mit Frequenzen zwischen 15 und 60 MHz (GS-

SI MLF 3200) sowie 400 MHz durchgeführt. Die Erfahrungen im Gelände zeigen jedoch, daß Frequenzen unterhalb von 100 MHz keine wesentliche Erhöhung der Durchdringungstiefe ergeben. Wir vermuten, daß dies mit einer beginnenden Versalzung des Porenwassers in der gegebenen Tiefe zusammenhängt. Die Bedingungen auf dem Sylter Nehrungshaken erlauben die Aufnahme zweidimensionaler Profile mit Längen von bis zu 5000 m. Darüber hinaus konnten mehrere 3D- und pseudo-3D-Surveys gewonnen werden, die einen verbesserten Einblick in die Untergrundkonfiguration erlauben. Das Standard-Processing der Daten wird mit Hilfe der Software ReflexW durchgeführt und umfaßt die Entfernung niederfrequenter Störsignale (dewow), Migration und Verstärkung (gain) sowie Background-Removal. Je nach Erfordernis werden weitere Bearbeitungsschritte eingeführt: unter anderem Deconvolution zur Entfernung von störendem Ringing, welches insbesondere in Profilen auftritt, die im Winter bei gefrorenem Oberboden und im Sommer bei dichter Pflanzendecke gemessen werden. Die mit der SIR-3000 gewonnenen Daten zeichnen sich durch einen hohen Abstand von Nutzsignal und Rauschen aus, so daß wir versuchen, den Einsatz von Bandpass- oder ähnlichen Filtern im Anschluß an die Datenakquisition zu vermeiden, da nach unseren Erfahrungen die Datenqualität hierbei eher beeinträchtigt wird, als daß ein Gewinn an Auflösung oder Eindringtiefe zu

verzeichnen wäre. Die zur Korrektur der Geländetopographie verwendeten Daten werden mit Hilfe eines differentiellen GPS von Ashitekt Solutions gewonnen. Sie weisen eine vertikale Genauigkeit von besser 15 cm auf.

Bisher vorgelegte Arbeiten zur Entwicklung des Sylter Nehrungssystems stützen sich in erster Linie auf Bohrungen aus der 1. Hälfte des 20. Jahrhunderts. Bohrungen können jedoch aufgrund ihrer eindimensionalen Konfiguration nur bedingt zur Rekonstruktion hochdynamischer sedimentärer Systeme herangezogen werden, die sich insbesondere durch schnelle Fazieswechsel auf engstem Raum auszeichnen. Datensätze unter Verwendung moderner mehrdimensionaler Erkundungsverfahren wurden bislang nicht veröffentlicht.

Die hohe räumliche Auflösung der Georadar-daten, verbunden mit der bisher erreichten Eindringtiefe von 12 bis 18 m (entsprechend 400-600 ns TWT), ermöglicht uns nicht nur die Erfassung unterschiedlicher Entwicklungsstadien des Nehrungssystems, sondern enthüllt darüber hinaus einzelne Ereignisse wie Dünen durchbrüche bei Sturmfluten und die Verlagerungen der Strandlinie als Reaktion auf einen veränderten Meeresspiegelstand. Neben der Interpretation der Sedimentstrukturen über die Radarfazies sind vor allem Diskordanzen von großer Wichtigkeit für uns, um hieraus Hinweise auf veränderte Ablagerungsbedingungen zu erhalten. Flachbohrungen (bis 10 m) und granulometrische Analysen erlauben die Überführung der Radarstratigraphie in einen sedimentologischen Datensatz als Grundlage weiterer Interpretationen.

Der beschriebene Einsatz kombinierter geophysikalisch-sedimentologischer Untersuchungsmethoden ermöglicht uns über die Aufstellung einer neuen Stratigraphie des nördlichen Nehrungshaken der Insel Sylt auch die

Entwicklung eines Modells zur Genese, das sich von den bisherigen Vorstellungen deutlich unterscheidet und unter anderem die geläufige Annahme einer steten Rückverlagerung des nördlichen Nehrungshakens nach Osten in Frage stellt. Vielmehr zeigen unsere Daten deutlich voneinander differenzierte Entwicklungsstadien, zu denen auch eine holozäne Phase der Progradation nach Westen gehört.

Die hohe Qualität der Radardaten läßt weiterführende Aussagen zur Charakterisierung des Untergrundes zu: So zeigen unsere Daten nicht nur eine Fülle von Sedimentstrukturen, sondern ermöglichen auch die Kartierung der Süßwasseraquifere des Inselkörpers und Rückschlüsse auf die Porositäts- und Permeabilitätsverhältnisse der Sedimente anhand der Radarfazies.

Webseite: <http://www.geowiss.uni-hamburg.de/i-geolo/start.html>

Schünemann, J. (Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben, Hannover)

Geoelektrische Großauslagen über einer eiszeitlichen Rinne

E-Mail: j.schuenemann@gga-hannover.de

Eiszeitliche Rinnen sind im Nordseeraum weit verbreitet. Ein sehr interessantes und schon seit vielen Jahren untersuchtes Objekt ist die Cuxhavener Rinne. Sie ist bis ca. 350 m tief in das Tertiär eingeschnitten und mit quartären Sanden, Kiesen und Tonen verfüllt. Im oberen Bereich der Rinne treten die so genannten Lauenburger Tonschichten auf. Es werden verschiedene geophysikalische Verfahren angewandt, um dieses Areal genauer zu untersuchen, unter anderem auch Schlumberger Sondierungen mit AB/2 Längen bis etwa 500 m.

Mit den kurzen Auslagen konnten bisher nur die oberen Bereiche der Rinne untersucht werden. Die nun durchgeführten Messungen mit AB/2 Längen bis 4 km sollten die Basis der Rinne geoelektrisch bestimmen und zwar unter der Annahme eines Widerstands-contrastes zwischen Quartär und Tertiär. Eine weitere Aufgabe galt der Ermittlung der Widerstände in den tieferen Bereichen der Rinne, da vor allem hier die elektromagnetischen Verfahren HEM und TEM Schwierigkeiten hatten die Lauenburger Tonschicht weit genug zu durchdringen.

Schlumberger Messungen mit solch großen Auslagen erfordern einen erheblichen logistischen Aufwand. Im Vorfeld der Messungen sind großräumige Vorerkundungen notwendig, um möglichst unbeeinflusst von anthropogenen Störungen wie Straßen, Strom- und Wasserleitungen und Siedlungen messen zu können. Bei den hier durchgeführten Schlumberger Messungen wurden an ins-

gesamt vier Messpunkten zusätzlich zu den Vollaussagen noch Halb-Schlumberger Messungen gemacht, was den Einsatz einer weiteren, entfernt liegenden, Elektrode erforderte. Während der Messungen muss neben dem Messfahrzeug in der Mitte der Aufstellung auch je ein Fahrzeug an den Elektroden vorhanden sein, um weitere Kabel zu verlegen und so die Abstände entsprechend zu vergrößern. Für die Erdung wurden zu Beginn Stahlspieße und bei größeren Auslagen Profil- bzw. Flächenerder verwendet, um eine gute Ankopplung an den Untergrund zu gewährleisten. Hierfür wurden Ströme von maximal 3 A erzeugt und in den Boden eingespeist.

Schon während den Messungen ließ sich anhand charakteristischer Kurvenzüge feststellen, ob ein Messpunkt innerhalb oder außerhalb der Rinne lag. Die Inversion erfolgte mit dem 1D Inversionsprogramm gkf2 (Rode- mann & Reitmayr). Ohne Beachtung der Untergrundverhältnisse entstehen einfache meist dreischichtige Modelle ohne dünne Schichten. Werden aber die Parameter, die aus anderen geophysikalischen Verfahren und aus Bohrungen über die Lauenburger Tonschicht gewonnen werden können, bei der Inversion festgehalten, ergeben sich Sechs-Schicht-Modelle mit dünnen Schichten, die eine gute Anpassung zeigen (RMS Fehler: 6-10%). Hierbei wird allerdings deutlich, dass nur mit Hilfe bekannter Parameter die Tonschicht bestimmt werden kann, da es sich um eine dünne Schicht handelt. Da bei dünnen Schichten bei der Bestimmung von mindestens einem

der Parameter Mächtigkeit oder Widerstand Informationen fehlen, erscheinen hier deutlich mehr Äquivalenzfälle, als das bei Schichten der Fall wäre, bei denen die Parameter besser bestimmbar sind. Wenn aber die Tiefenlage und Mächtigkeit aus Bohrungen bekannt sind, ist es möglich die Äquivalenzfälle einzugrenzen.

Eine eindeutige Antwort, ob die Basis der Rinne geoelektrisch aufgelöst wurde, kann nicht gegeben werden. In großen Tiefen werden sehr niedrige Widerstände von $1 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ angetroffen, die durch Salzwasser hervorgerufen werden können. Das Salzwasser könnte die Grenze Tertiär/Quartär überdecken und so einen vorhandenen Widerstandscontrast zwischen Rinne und Umgebung geoelektrisch nicht erfassbar machen. Zweitens besteht die Möglichkeit, dass das Salzwasser die Grenze Tertiär/Quartär markiert und diese Grenze auch als solche mit der Geoelektrik gefunden wurde.

Gewöhnlich verlaufen die Messkurven der Halbmessungen (AC und BC) parallel zu der Kurve der Vollmessung (AB). An einem Beispiel wird gezeigt, dass das nicht immer der Fall ist. Eine solche Aufspaltung der Halbmessungen tritt an einem der Messpunkte auf, wobei der eine Ast der Halbmessungen ein ähnliches Verhalten zeigt, wie die Messungen an den anderen Punkten, nämlich eine starke Widerstandsabnahme mit der Tiefe, während bei dem anderen Ast eine starke Zunahme des Widerstandes in der Tiefe zu beobachten ist. Eine zufrieden stellende Erklärung konnte bisher nicht gefunden werden. Aus diesem Grund sollen weitere Messungen Aufschluss über die Ursache der Aufspaltung geben. Vorher werden hierzu Modellrechnungen angestellt, die eventuell bereits Hinweise liefern könnten, um welche Art Anomalie es sich handeln kann,

ob diese Anomalie oberflächennah oder tatsächlich in der Tiefe zu finden sein könnte. Da es bei der großen Ausdehnung der Auslagen nicht ausgeschlossen werden kann, dass mehrdimensionale Effekte auftreten, wird eine Auswertung in diese Richtung angestrebt.

Wiederhold, H., Binot, F., Gabriel, G., Grinat, M. (GGA-Institut), Kirsch, R. (LANU Schleswig-Holstein), Kröger, J. (GLA Hamburg), Rumpel, H.-M. (GGA-Institut), Scheer, W. (LANU Schleswig-Holstein), Schünemann, J. (GGA-Institut), Steuer, A. (BGR), Wonik, T. (GGA-Institut)

Eiszeitliche Rinnen in Norddeutschland: Neue Untersuchungen im Projekt BurVal

E-Mail: h.wiederhold@gga-hannover.de

Die für den norddeutschen Untergrund typischen glazialen Rinnenstrukturen erwecken seit ihrer Entdeckung Anfang des vergangenen Jahrhunderts das Interesse der Geowissenschaftler (z.B. Ehlers 1994). Zum einen weist ihre Entstehungsgeschichte immer noch Fragen auf und zum anderen haben sie aufgrund ihrer sandig-kiesigen Füllung eine erhebliche Bedeutung für die Trinkwasserversorgung (z.B. MUNF). In den letzten Jahren wurde bereits durch geophysikalische Untersuchungen eine Reihe neuer Erkenntnisse gewonnen über die Form der Strukturen, ihren Aufbau und ihren Verlauf (z.B. Gabriel et al. 2003). Die Rinnenstrukturen, im englischen auch als "buried valleys" bezeichnet, sind auch in Den Niederlanden und Dänemark von großer Bedeutung für die Grundwasserversorgung und den Grundwasserschutz. Im Rahmen einer internationalen Kooperation von verschiedenen staatlichen Geologischen Diensten und Forschungsinstituten werden von Januar 2004 bis Dezember 2006 gemeinsame Untersuchungen an insgesamt sechs Teststandorten durchgeführt werden. Projektgebiete in Norddeutschland sind dabei die Ellerbeker Rinne (südliches Schleswig-Holstein und Hamburg) und die Bremerhaven-Cuxhavener Rinne (südlich von Cuxhaven). Ziel des Projektes BurVal (www.burval.org) ist die Entwicklung von Untersuchungskonzepten zur Nutzung bzw. zum Schutz von Grundwasserreservoirs in eiszeit-

lichen Rinnen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf geophysikalischen Untersuchungsmethoden. Am Ende des Projektes sollen Erkenntnisse zur verbesserten länderübergreifenden Erkundung dieser wichtigen Grundwasserreservoirs stehen, die den betroffenen Institutionen helfen werden, den hohen Standard der Wasserversorgung langfristig zu sichern. Für die beiden deutschen Projektgebieten liegt inzwischen eine Vielzahl an Messungen vor und mit der Kompilation der Daten in ein 3-D Modell wurde begonnen.

Das Projekt BurVal wird durch den Europäischen Fond für regionale Entwicklung im Rahmen des Interreg IIIB Nordseeprogramms kofinanziert.

Literatur:

Ehlers, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. Ferdinand Enke Verlag; Stuttgart.

Gabriel, G., Kirsch, R., Siemon, B. & Wiederhold, H. (2003): Geophysical investigation of buried Pleistocene subglacial valleys in Northern Germany.- *Journal of Applied Geophysics*, 53, 159-180, Elsevier.

MUNF (1998): Gesamtplan Grundwasserschutz in Schleswig-Holstein. Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein, Kiel

Rumpel, H.-M., Wiederhold, H., BurVal-Arbeitsgruppe, X. (GGA-Institut)

Untersuchung Quartärer Rinnenfüllungen im Rahmen des BurVal Projektes

E-Mail: hm.rumpel@gga-hannover.de

Quartäre Rinnen (buried valleys), stellen eine bedeutende glaziale Struktur im nordeuropäischen Untergrund dar. Im Gegensatz zur eiszeitlichen Moränenlandschaft sind sie von der Oberfläche aus nicht erkennbar. Im Rahmen des BurVal Projektes werden quartäre Rinnen in Dänemark, Deutschland und den Niederlanden untersucht. Hierbei sind gute Erfahrungen unter anderem mit elektrischen, elektromagnetischen, seismischen und gravimetrischen Verfahren gemacht worden. Kombiniert man diese Methoden mit Bohrungsinformationen und -messungen ergeben sich neue Erkenntnisse über das System „buried valley“ in Struktur und Aufbau.

In diesem Poster wird näher auf die Besonderheiten der Rinnenfüllung eingegangen, die mit ihrer sandig-kiesige Füllung eine erhebliche Bedeutung in der Trinkwassergewinnung darstellt. Die Daten stammen zum einen aus dem BurVal Messgebiet Cuxhavener Rinne zwischen Cuxhaven und Bremerhaven. Die Rinne ist hier zwischen 2 km und 3 km breit und bis zu 300 m tief. Die sandige Füllung wird durch eine abschließende Tonschicht, den Lauenburger Ton, bedeckt, der gut durch die Hubschrauberelektromagnetik (HEM) kartiert ist (Siemon 2004). Zum anderen ist die Ellerbeker Rinne nördlich von Hamburg Ziel der geophysikalisch-geologischen Untersuchungen. Ähnlich breit wie die Cuxhavener Rinne, ist sie jedoch stellenweise tiefer (> 400 m). Sande, Schluffe und Geschiebemergel dominieren die Rinnenfüllung. Die Kartierung des Lauenburger Tons

durch HEM steht noch aus.

Zur weiteren Untersuchung der Rinnensedimente stehen neben den oben erwähnten Daten auch vertikale seismische Profile (VSP) und Bohrlochmessungen zur Verfügung, mit deren Hilfe das Verhältnis der seismischen Geschwindigkeiten v_p/v_s und der elastischen Parameter (E , K , μ) bestimmt wurden. Die Werte für v_p/v_s sind hoch in beiden Messgebieten und liegen damit im Bereich für wassergesättigte, unkonsolidierte Sedimente. Die elastischen Parameter zeichnen sich durch hohe Variabilität entlang der Ellerbeker Rinne aus. Das Fernziel der Auswertung ist eine Ableitung hydrologischer Kenngrößen wie Porosität und Speicherkapazität.

Literatur: Siemon, B., Eberle, D.G. & Binot, F. (2004): Helicopter-borne electromagnetic investigation of coastal aquifers in North-West Germany. Zeitschrift für Geologische Wissenschaften, 32(5/6), 385-395.

Webseite: <http://www.burval.org>

Strahser, M., Iwanowski, K., Klein, C., Werban, U., Rabbel, W. (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel), Schildknecht, F., Stadler, C. (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover)

Seismoelektrische Kartierung einer glazialen Dünenstruktur in Vorpommern

E-Mail: mstrahser@geophysik.uni-kiel.de

Unter dem seismoelektrischen Effekt versteht man die Erzeugung elektrischer bzw. elektromagnetischer Felder durch die Deformation geologischer Schichten beim Durchgang einer seismischen Welle. Da das Entstehen seismoelektrischer Signale eng mit der elektrischen Doppelschicht verknüpft ist, besteht die Hoffnung, mit Hilfe der Seismoelektrik Aussagen über Aquifereigenschaften und die Porenflüssigkeit treffen zu können. Informationen insbesondere über die hydraulische Durchlässigkeit bzw. den k_f -Wert sind bislang mit anderen geophysikalischen Methoden nur schwer oder nicht in der gewünschten Auflösung zu erlangen. Trotz des in den letzten Jahren deutlich vernehmbaren Aufschwungs des Interesses an der Seismoelektrik steht die Forschung

auf diesem Gebiet, insbesondere was die Praxis angeht, erst am Anfang.

Im Allgemeinen unterscheidet man folgende Arten seismoelektrischer Wellen:

1. *Seismoelektrische Wellen, die sich entlang des seismischen Strahlweges mit den Kompressionswellen ausbreiten.*

Die meisten Minerale weisen eine negative Nettoladung an der Oberfläche auf. In einem gesättigten porösen Medium bildet sich daher in der Porenflüssigkeit eine diffuse Gegenschicht, von der ein Teil bei einer relativen Bewegung zwischen Gesteinsmatrix und Porenflüssigkeit mitgerissen wird. Beim Durchgang einer seismischen P-Welle kommt es dadurch zu einer Ladungstrennung. Das elektrische Feld wird von der P-Welle mit seismi-

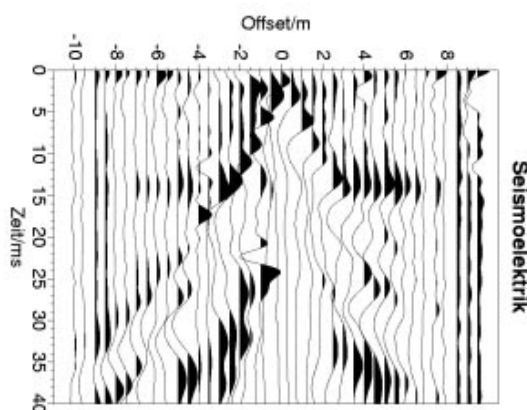


Abbildung 1: Beispiel seismoelektrischer Spuren, die in Menzlin aufgezeichnet wurden.

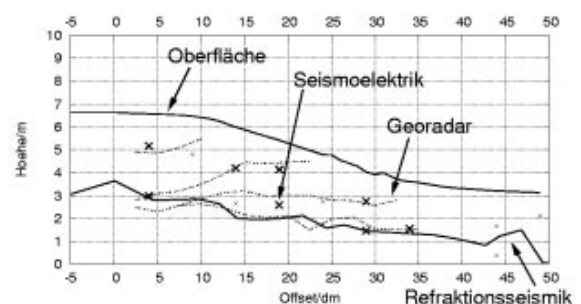


Abbildung 2: Ergebnisse der Seismoelektrikauswertung im Vergleich zu den Ergebnissen aus der Refraktionsseismik und den Radardaten.

scher Ausbreitungsgeschwindigkeit mitgeführt (z.B. Haartsen & Pride, 1997).

2. *Seismoelektrische Wellen mit einer annähernd unendlichen scheinbaren Geschwindigkeit, die ihren Ursprung an Schichtgrenzen im Untergrund haben.*

Solche Grenzen können durch den Grundwasserspiegel oder innerhalb eines Aquifers durch Grenzen zwischen Zonen verschiedener Porosität, Permeabilität oder auch Salinität gegeben sein. Aufgrund der unterschiedlichen hydraulischen Eigenschaften auf beiden Seiten der Grenzfläche kommt es zu dynamischen Ladungstrennungen, die ein elektromagnetisches Feld erzeugen (z.B. Haartsen & Pride, 1997). Dieses Feld ist das eigentliche Nutzsignal.

Seismoelektrische Signale können mit einem Messaufbau detektiert werden, der demjenigen flachseismischer Untersuchungen gleicht. Während für seismische Messungen jedoch Geophone zur Aufzeichnung der Bodenbewegung verwendet werden, erfordert das Aufnehmen elektrischer Signale die Nutzung von Dipolen, bestehend aus je zwei Elektroden, die jedoch wie ein Geophonprofil angeordnet und an einen Multikanalseismographen angeschlossen werden.

Obwohl die potenziellen Möglichkeiten, die die Seismoelektrik für die Hydrogeophysik bietet, bekannt sind, existiert bis heute nur eine relativ übersichtliche Anzahl an Veröffentlichungen erfolgreicher Detektion der konvertierten seismoelektrischen Welle.

Bei Menzlin in der Nähe von Anklam, Vorpommern, konnte mit seismoelektrischen Messungen eine glaziale Dünenstruktur kartiert werden. Die Datenqualität stellte sich als hervorragend heraus (siehe Abbildung 1).

Das anthropogene Hintergrundrauschen, d.h. 50 Hz und entsprechende Oberwellen, war in den Daten äußerst gering. An der Lokation Menzlin konnten an fast jedem Schusspunkt die aus seismischen Wellen an Schichtgrenzen konvertierten seismoelektrischen Wellen registriert werden, oft sogar von mehreren Schichtgrenzen. Vergleiche mit refraktionsseismischen und Radardaten (200 MHz-Antenne) zeigen, dass diese seismoelektrischen Konversionen an denselben Schichtgrenzen erfolgten, die auch für Reflexionen in den Radardaten bzw. Refraktionen in der Seismik verantwortlich sind (siehe Abbildung 2). Berechnungen der Amplitudenverteilung der konvertierten seismoelektrischen Signale zeigen eine gute Übereinstimmung mit den tatsächlich gemessenen seismoelektrischen Amplituden. Der Vergleich mit Radar- und Seismikdaten macht deutlich, dass mit der Seismoelektrik Schichten aufgelöst werden konnten, die in der Refraktionsseismik keine Einsätze lieferten. Dies deutet darauf hin, dass die seismoelektrische Methode dazu dienen könnte, sehr dünne Schichten zu kartieren, wie z.B. kontaminierten Fluss innerhalb eines Aquifers, bzw. dass die Seismoelektrik sensitiv auf Bodenparameterkontraste reagiert, die in der Seismik keine oder nur schwache Auswirkungen zeigten.

Webseite: <http://www.ifg.uni-kiel.de/Ingenieurgeophysik>

Literatur

Haartsen, M.W. & Pride, S.R., 1997, Electroseismic waves from point sources in layered media, *Journal of Geophysical Research*, **102** (B11) 745-769.

Jaksch, K., Giese, R., Lüth, S. (GFZ Potsdam)

High-resolution seismic measurements at loamy dikes

Within the BMBF Project "Failure of dikes and dams at and with loamy zones", investigations at models of dikes took place in collaboration with the Institute for Water Resources Management and Rural Engineering (IWG) and the Institute of Soil Mechanics and Rock Mechanics (IBF) at the University Karlsruhe. The aim of the project is to determine the mechanisms of dike failure. The behaviour of loamy zones in dikes under hydraulic influence was to be investigated in terms of moisture penetration and erosion.

The geophysical part of the project analyses the potential of seismic high-resolution measurements to monitor the moisture penetration of dikes during flood periods. An aim of the project is to identify the extent of moisture penetration using seismic measurements. Thus, the probability of collapse of the dike is to be determined. The purpose of the seismic measurements is to determine structural setting of the dike body and define its composition and soil parameters such as water content and porosity.

The poster gives a short overview of the seismic measurements at the dikes and first conclusions from the analysis of the seismic data.

Salat, C., Junge, A. (JWG-Universität Frankfurt am Main)

3D-Darstellung vulkanischer Strukturen in der Eifel mit Hilfe von Radarmessungen

E-Mail: salat@geophysik.uni-frankfurt.de

Im quartären Vulkanfeld bei Gerolstein und Daun in der Eifel sind 250 Vulkane bekannt, die unter anderem als Schlackenkegel, Tuffringe und Maare in geologischen Karten gekennzeichnet sind. Ziel der durchgeführten Bodenradar-Messungen war, zusätzliche Informationen zum Aufbau und damit zur Entstehung einiger dieser vulkanischen Strukturen zu erhalten. Zwei der Messgebiete werden in diesem Beitrag vorgestellt.

Der Rockeskyller Kopf besteht aus mehreren sich überlagernden Schlackenkegeln. Vor einer Wand im Steinbruch Rockeskyller Kopf wurden die Messungen durchgeführt. Mit einer GSSI SIR2000 und einer 200 MHz-Antenne wurden 12 je 100 Meter lange parallele Profile im Abstand von jeweils einem Meter aufgenommen. In den Radargrammen erkennt man deutliche Reflektoren. Je mehr man sich der Steinbruchwand nähert, desto tiefer tauchen die Schichten ab. Aus dem Einfallen der Schichten kann z.B. die Richtung bestimmt werden, in der das Vulkanzentrum liegt. Außerdem kann aus den Radargrammen der günstigste Standort für Bohrungen bestimmt werden. Damit liefern die Radarmessungen Informationen, die zur Rekonstruktion der Entstehungsgeschichte beitragen können. Das Bodenradar eignet sich gut, im Rockeskyller Kopf Strukturen vulkanischen Ursprungs abzubilden, und deren Verlauf im Untergrund zu verfolgen.

Das sogenannte „Maar am Römerhof“ liegt genau zwischen zwei Vulkanen. Ein „ideales“ Maar zeichnet sich durch einen kreisrun-

den Maarsee mit einem deutlichen Wall außen herum aus. Aufgrund seiner annähernd runden Form wird das Römerhof-Tal traditionell als „Maar“ bezeichnet, es ist aber nach einer Seite hin offen. Dies würde auch die Tatsache erklären, dass heutzutage kein Wasser mehr darin steht. Es ist aber fraglich, ob dort überhaupt jemals ein Maarsee vorhanden war, denn man hat keine typischen Seesedimente erbohrt. Und obwohl in dem Gebiet Tuffe zu finden sind, existiert kein richtiger Tuffwall. Damit stellt sich die Frage: Handelt es sich bei dem sogenannten „Maar am Römerhof“ überhaupt um ein Maar? Oder ist die heutige Form nur auf den Einfluss der beiden benachbarten Vulkane und auf Erosion zurückzuführen? Magnetikmessungen zeigen eine deutlich abgegrenzte kreisförmige Anomalie, die durchaus für einen Lavaschlott unter dem Kessel sprechen könnte. Die Gravimetrie hingegen zeigt keine klaren Schwere-Abweichungen. Die Radaruntersuchungen wurden, wieder mit der 200 MHz-Antenne, am Südhang des Tales durchgeführt. Dabei wurden 29 parallele Profile (je 50 Meter lang) im Abstand von 0,7 Meter abwechselnd bergauf und bergab vermessen. In den topographiekorrigierten Radargrammen findet man einige deutliche Reflektoren, die zumeist horizontal verlaufen. Die auffälligsten Reflektoren wurden gepickt und die Picks anschließend aneinander gesetzt und dreidimensional in einem Würfel dargestellt (siehe Abb. 1, links). Der Würfel gibt die Lage der markantesten Reflektoren im Raum wieder. Dreht man den Würfel und betrachtet

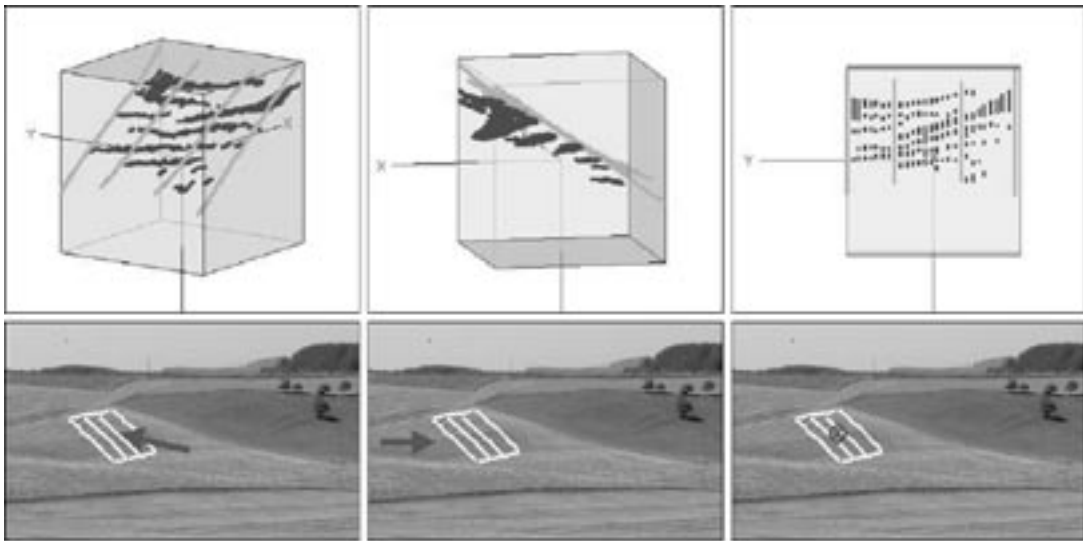


Abbildung 1: 3D-Picks mit jeweils entsprechender Blickrichtung auf das Radar-Messfeld (Kantenlänge des Würfels: ca. 50 m x 21 m x 15 m)

die Reflektoren von der Seite, so erkennt man, dass die meisten Schichten in etwa horizontal verlaufen, auf jeden Fall aber nicht hangparallel (siehe Abb. 1, Mitte). Am interessantesten ist jedoch der Blick direkt von vorne auf das Messfeld. Man kann die Reflektoren in zwei Bereiche aufteilen, die deutlich voneinander getrennt sind. Es scheint eine Diskordanz im Untergrund vorhanden zu sein (siehe Abb. 1, rechts). Diese Ergebnisse führen zu dem Schluss, dass der vermessene Hang nicht durch eine Maarexplosion gebildet worden sein kann, denn sonst müssten die Auswurfmaterialien eher hangparallel im Explosionskrater abgelagert sein. Außerdem können die beiden getrennten Bereiche der Reflektoren nur durch zwei unterschiedliche Ereignisse entstanden sein. Weder bestätigen noch ausschließen lässt sich aber die Möglichkeit, dass eine Maarexplosion später stattgefunden hat, also nach der Ablagerung der Schichten im untersuchten Gebiet. Insofern können die Ra-

darmessungen auf diesem Messfeld also keinen Beitrag liefern zu der Frage, ob es sich beim „Maar am Römerhof“ tatsächlich um ein Maar handelt.

Die Bodenradaruntersuchungen an den beiden vulkanischen Strukturen in der Eifel zeigen, dass das Radar den räumlichen Verlauf markanter Reflektoren gut wiedergibt. Es liefert damit wertvolle Informationen über den Aufbau des Untergrundes, der mit keiner anderen Methode so gut auflösbar ist. Damit trägt das Radar dazu bei, die Entstehungsgeschichte vulkanischer Strukturen in der Eifel besser zu verstehen.

Sehr wichtig dabei ist jedoch die „dreidimensionale“ Untersuchung, d.h. das Vermessen von mehreren nebeneinander liegenden Profilen. Der wahre Verlauf der geologischen Formationen kann nur durch das räumliche Aneinandersetzen paralleler Radargramme im Rahmen der Datenbearbeitung und dreidimensionale Visualisierung erkannt werden.

Kühn, D. (Hamburg), Ohrnberger, M. (Potsdam), Dahm, T., Dehghani, A. (Hamburg), Scherbaum, F. (Potsdam)

Vermessung des Othmarschen-Langenfelde-Diapirs mit Hilfe der natürlichen seismischen Bodenunruhe

E-Mail: daniela.kuehn@dkrz.de

Das Projekt

Das Projekt *Ambient Seismic Vibrations* ist Teil des Projekts **HADU: Hamburg - A dynamic underground** im Schwerpunkt „Geotechnologien: Erkundung, Nutzung und Schutz des unterirdischen Raums“ und wird vom BMBF gefördert. Beteiligte Arbeitsgruppen sind das Institut für Geophysik (Universität Hamburg), das Institut für Geowissenschaften (Universität Potsdam), das Geologisch-Paläontologische Institut (Universität Hamburg) und der Fachbereich Informatik (Universität Hamburg).

Motivation

Das Hauptziel des geophysikalischen Teilprojekts ist es, mittels Messungen der natürlichen seismischen Bodenunruhe die 3D-Geometrie der Oberfläche des Othmarschen-Langenfelde-Diapirs abzuleiten.

Die methodische Innovation besteht in der Entwicklung und Implementierung einer Strategie, um noch im Feld gemittelte Verhältnisse der Horizontal- zu Vertikalkomponente und Dispersionskurven zu bestimmen und eine kombinierte Inversion zur Herleitung der Scherwellengeschwindigkeiten durchzuführen. Anschließend wird die Konfiguration des seismischen Arrays an die Meßergebnisse angepaßt, um diese zu verbessern und einen breiteren Frequenzbereich abdecken zu können.

Sowohl die Art der seismischen Bodenunruhe

in Hamburg, die aus einer starken, mikroseismischen Komponente im Frequenzintervall zwischen 0.2 und 0.5 Hz besteht, als auch die zu erwartende Eindringtiefe zusammengenommen mit dem starken Impedanzkontrast zwischen Sediment und Salz bieten exzellente Voraussetzungen, um die angestrebte Zielsetzung zu erreichen.

Die Inversion der Geschwindigkeitsmodelle aus Dispersionskurven ist ein nicht-lineares und mehrdeutiges Problem. Jede weitere Information, die es erlaubt, den Wertebereich der Modellparameter für die Inversion einzuschränken, verbessert beträchtlich die Zuverlässigkeit der invertierten Scherwellengeschwindigkeiten. Die zusätzliche Anwendung anderer geophysikalischer und geologischer Methoden wie Schweremessungen, Flachseismik, Bodenradar oder Geoelektrik gestattet, die aus der Messung der seismischen Bodenunruhe erhaltene strukturelle Information zu verfeinern.

Eine kombinierte Interpretation von geophysikalischen Daten und geologischen Strukturinformationen ist in Kooperation mit den Projektpartnern vorgesehen, wobei die Visualisierungswerkzeuge, im Teilprojekt Information und Visualisierungstechnologie entwickelt, genutzt werden sollen.

Messungen

Es werden sowohl Array- als auch Einzelstations-Messungen (H/V) durch-

geführt, um die Dispersionscharakteristik des Untergrunds (Array-Messungen) und die Elliptizität der im Wellenfeld der seismischen Bodenunruhe enthaltenen Rayleighwellen (H/V-Messungen) abzuschätzen. Die Daten können genutzt werden, um mittels einer kombinierten Inversion in flachen bis mittleren Tiefen die Scherwellengeschwindigkeiten abzuleiten.

Hammerschlagseismik liefert P-Wellengeschwindigkeiten in den oberen Metern des Untergrunds und damit entscheidende a priori-Informationen für die Dispersionskurveninversion und die Interpretation der Strukturmodelle. Dichtemodelle helfen, Mehrdeutigkeiten in den Modellen zu reduzieren. Daher ist die Vermessung von Schwereprofilen über den Salzdom hinweg geplant, die neben den Dichte- auch eine erste Geometrieabschätzung des Diapirs erlauben sollen.

Ergebnisse

Es wird ein Überblick über die bisher erfolgten Messungen gegeben und erste Ergebnisse werden vorgestellt. Bisher wurden mehr als 180 Standorte in Hamburg gravimetrisch vermessen. Karten der Freiluft- und Bougueranomalie werden präsentiert. H/V-Einzelmessungen erfolgen in Profilschnitten quer zum und längs entlang des Salzstocks. Der Beginn der Arraymessungen ist für Mitte Februar vorgesehen. Begleitend hierzu soll Ende Januar die Vermessung eines oder mehrerer seismischer Profile an den geplanten Arraystandorten erfolgen.

Meßinger, J., Kurzmann, A. (Freiberg)

Vergleichende Transmissionsmessungen mittels Georadar und Ultraschall an hydraulisch gesteuerten Blockmodellen

E-Mail: messinger@geophysik.tu-freiberg.de

Im Rahmen des von der DFG geförderten Gemeinschaftsprojektes „Hydro-Proxies“ (DGFZ, TU Bergakademie Freiberg, Uni Heidelberg) wurde im Grundwasserforschungszentrum Dresden ein Blockmodell aufgebaut. Die Maße des Modellinneren (2 m Höhe, 1 m Breite, 30 cm Tiefe) ermöglichen die Realisierung wirklichkeitsnaher hydraulischer Zustände. Im vorliegenden Fall wurde das Blockmodell mit Quarzsand (gewaschen) gefüllt. Zusätzlich wurde der Wasserspiegel durch mehrmaliges Absenken und Anheben so eingestellt, dass sich mehrere Bereiche mit unterschiedlicher Wassersättigung ergeben.

An dem Blockmodell wurden Messungen mittels Georadar und Ultraschall durchgeführt. Bei dem verwendeten Georadar-Gerät handelt es sich um eine PulseEKKO 1000 Apparatur von Sensors & Software und zwei 900 MHz Antennen. Für die Ultraschall-Messungen kamen Geräte von Geotron zum Einsatz (P50 5570C, piezoelektrischer Geber der Nennfrequenz 30 kHz, piezoelektrischer Empfänger).

Die Messungen erfolgten synchron mit einer Schrittweite von 5 cm in vertikaler Richtung. Aus den bekannten Objektdimensionen konnten so die laterale Verteilungen der Ausbreitungsgeschwindigkeiten für die P- und die S-Welle sowie für die Radarwellen ermittelt werden.

Im Ergebnis zeigt sich, dass deutliche Änderungen der Ausbreitungsgeschwindigkeiten sehr gut mit Variationen des Wassergehaltes

korrelieren. Andererseits erweisen sich die jeweiligen Kennwerte als unterschiedlich sensitiv für die vorhandene Feuchtigkeitsverteilung.

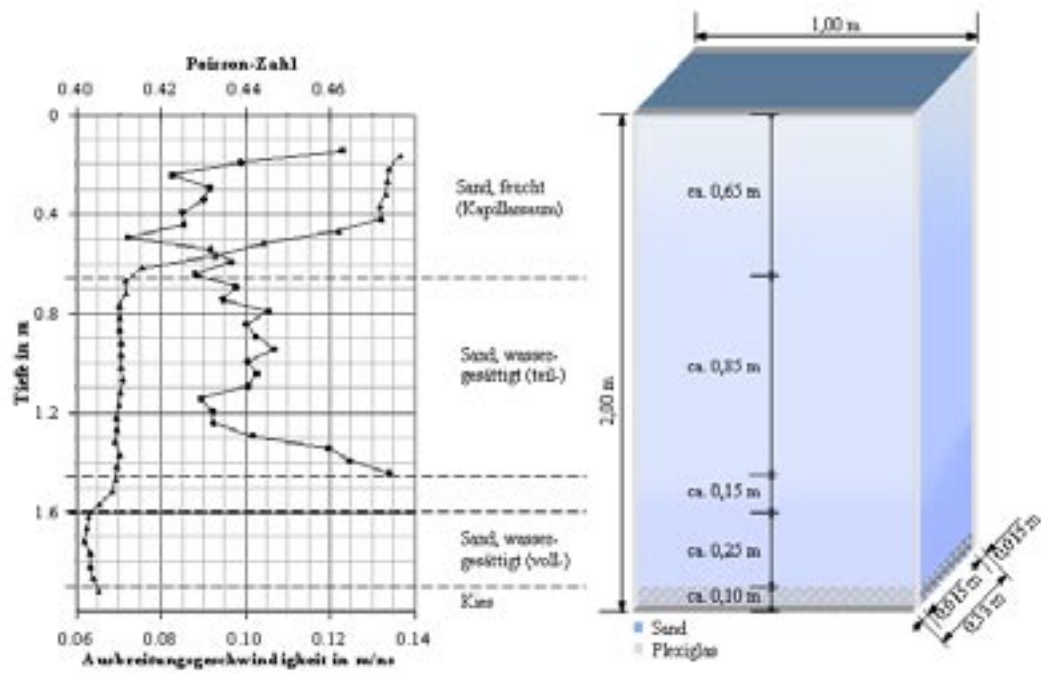


Abbildung 1: links: Geschwindigkeits-Tiefen-Funktion der Radarwellen (Dreiecke) sowie die aus der P- und S-Wellen-Geschwindigkeit berechneten Poisson-Zahlen (Kreise); rechts: Blockmodell

Gerst, A., Vöge, M., Hort, M., Scharff, L., Heimann, S. (Institut für Geophysik, Universität Hamburg, 20146 Hamburg), Müller, B. (Geotechnisches Sachverständigenbüro, Dr.-Ing. habil. B. Müller, 04159 Leipzig)

Quantitative Beobachtung von Steinbruchsprengungen mittels Dopplerradar

E-Mail: gerst@dkrz.de

Abbauprozesse in Steinbrüchen werden zum Großteil durch Sprengungen vorangetrieben, wobei beim eigentlichen Sprengvorgang mit einer möglichst geringen Ladungsmenge eine möglichst effiziente Fragmentierung des Gesteins bei gleichzeitiger Minimierung der Auswurfgeschwindigkeit und Bodenerschütterung angestrebt wird. Hierzu wird die eingesetzte Ladungsmenge über eine Vielzahl von Bohrlöchern verteilt, die zeitlich leicht gegeneinander versetzt gezündet werden. Zum großen Teil basiert die Ladung der Bohrlöcher und die Zündfolge auf Erfahrungswerten und eine quantitative Beobachtung des Sprengvorgangs zur Optimierung späterer Sprengungen ist eher selten. Wir stellen hier eine Methode vor, die durch den Einsatz dreier simultan betriebener Dopplerradargeräte die Erfassung des Ausbruchsgeschwindigkeitsvektors bei der Sprengung als Funktion der Zeit erlaubt. Die von uns eingesetzten Dopplerradargeräte sind über ein WLAN Netzwerk vernetzt und werden mittels eines GPS NTP Servers zeitsynchronisiert. Eine präzise Zeitsynchronisation der drei Geräte ist für die Auswertung der 3D Daten unerlässlich, da nur so Amplitude und Richtung genau bestimmt werden können. Die Synchronisation der Geräte untereinander ist i.A. besser als 0.01s. Die zeitliche Auflösung des gesamten Systems liegt bei 1Hz und die Daten werden zentral auf einem PC erfasst. Eines der eingesetzten Radargeräte dagegen hat eine zeitliche Auflösung von 10Hz

und erlaubt so eine detailgenaue Verfolgung der Massenbewegung.

Das neu entwickelte 3D-System kam während einer Sprengung im Steinbruch Koschenberg in der Lausitz zum Einsatz, bei der 13T Sprengstoff, verteilt auf ca. 60 Bohrlöcher, die in 3 parallelen Reihen angeordnet waren, gezündet wurden. In den 3D Radardaten lässt sich die Zündfolge der Bohrlöcher eindeutig wiedererkennen. Typischerweise beginnt die Sprengung immer auf einer Seite und läuft dann sowohl nach hinten als auch parallel zur Wand ab. Entsprechend findet die erste Bewegung des Materials auch nicht senkrecht zur Wand, also direkt nach vorne, sondern schräg dazu statt, was in den Radardaten eindeutig zu erkennen ist. Innerhalb der ersten 2s dreht der Geschwindigkeitsvektor dann immer mehr nach vorne, d.h. das Material bewegt sich nun senkrecht von der Wand weg, wobei initiale Geschwindigkeiten bei 7m/s liegen. Im weiteren Verlauf steigt die Vertikal-komponente der Geschwindigkeit an, da das ausgeworfenen Material nun zu Boden fällt. Das Zünden der verschiedenen Ladungen dauert ca. 1s. Nach ca. 7s ist keine Materialbewegung mit dem Messsystem mehr zu detektieren. Nach 4 Sekunden werden die höchsten Geschwindigkeiten von ca. 23m/s gemessen, wobei es sich hier fast ausschließlich um eine Fallgeschwindigkeit handelt. Durch gezielte Vermessung verschiedener Sprenggeometrien und eine deutlich erhöhte zeitliche Auflösung des Radarsystems soll in Zukunft versucht werden, eine weitere Optimierung der Ladungsverteilung zu erzielen.

Dedecek, P., Safanda, J., Kresl, M., Cermak, V. (Prague, Geophysical Institute)

Ground surface temperature monitoring under different types of surfaces

The results of a long-term ground surface temperature monitoring under different surface types represented by grass, barren soil, sand and asphalt are presented. The experimental plots are located on the grounds of Geophysical Institute Prague (50° 02.45' N, 14° 28.65'E, 274 m a.s.l.). The monitoring has been running since June 2002. The soil temperatures at depth of 2, 5, 10, 20 and 50 cm below and the air temperatures at 5 cm above each of the four different surfaces are recorded every 5 minutes together with air temperature of the site at 200 cm. The soil moisture is measured in the sand at the depth of 20 cm. The mean annual soil and air temperatures observed during the three year period 2003 through 2005 have demonstrated a large influence of a vegetation cover and a type of the surface both on the absolute values and on the soil - air temperature differences.

The three year temperature means indicate the soil warmer than the air for all 4 types of the surface, with the soil (at 2 cm below the surface) - air (at 5cm above the given surface) differences increasing with the absolute value of the soil temperature. The mean soil temperature under the grass is 10.7 °C and the soil - air difference amounts to +0.3 °C. Corresponding values for the barren soil, the sand and the asphalt are (11.2 °C, +1.5 °C), (11.9 °C, +1.8 °C) and (14.3 °C, +4.4 °C), respectively. The pattern is maintained also in the individual years. The interannual variability of the difference seems to be of the order of the first tenths of degree Celsius.

Kurz, G., Müller, M., Yaramanci, U. (TU Berlin, Institut für Angewandte Geowissenschaften)

Untersuchungen zum Wasserspeichervermögen durch geophysikalische Messungen

E-Mail: gerkur@gmx.de

Einleitung: Im Rahmen von Forschungsarbeiten zur Charakterisierung des Wasserrückhaltevermögens auf landwirtschaftlich genutzten Flächen soll ein geophysikalisches Verfahrenskonzept entwickelt werden. Nach Regenereignissen auftretendes Oberflächenwasser soll schnell vom Boden aufgenommen und zeitverzögert (gepuffert) abgegeben und damit der Bodenerosion, verursacht durch einen großen Oberflächenabfluss, vorgebeugt werden. Die gewonnenen Erfahrungen sollen u.a. in ein Hochwasserschutzkonzept einfließen. Als Versuchsfläche steht eine ca. 40 ha große Ackerfläche im sächsischen Lößhügelland (hoher Schluffanteil) in der Nähe von Dresden zur Verfügung. Die Versuchsfläche teilt sich in drei nebeneinander liegende Schläge auf, die unterschiedlich bearbeitet werden: gepflügt (bodenwendende Bearbeitung, Bearbeitungstiefe 0,3 m), pfluglos (ohne Bearbeitung) und gemulcht (nicht bodenwendende Bearbeitung, Bearbeitungstiefe 0,1 m). Durch die unterschiedliche Bearbeitung haben sich verschiedene Eigenschaften (z.B. bei der Bodenfauna und Flora) eingestellt, die wiederum das Wasserspeichervermögen und die Anfälligkeit für Erosion beeinflussen. Die Aufgabe besteht darin, die unterschiedlichen Eigenschaften und insbesondere das Wasserspeichervermögen der drei Schläge geophysikalisch zu erfassen und zu quantifizieren. In der Anwendung geophysikalischer Verfahren spielt Wasser eine große Rolle, aber bis auf das NMR-Verfahren kann Wasser nur indirekt im Boden gemessen werden, und eine Quantifi-

zierung ist schwierig. Durch die parallele Anwendung der Gleichstromgeoelektrik (DC), Spektralen Induzierten Polarisation (SIP), Georadar (GPR) und Time-Domain Reflectometry (TDR) soll deshalb eine große Verlässlichkeit und Genauigkeit erreicht werden (KURZ et al. 2005).

Messungen: Die Messungen wurden so aufeinander abgestimmt, dass sie bezüglich ihrer Auflösung, Messpunktastand und Eindringtiefe direkt vergleichbar waren. Um eine Beeinflussung durch das Wetter (Niederschlag) auszuschließen, wurden die Messungen (GPR, DC, TDR) jeweils am gleichen Tag über die gleichen Profile durchgeführt. Das Georadar wurde genutzt, um durch Auswertung der Bodenwelle einen Feuchtegehalt mit Hilfe von Mischungsformeln abzuleiten (TOPP et al. 1980). Mit dem Georadar (1 GHz-Antennen) wird nur der oberflächennahste Bereich erfasst. Da die elektrische Leitfähigkeit ebenfalls mit dem Wassergehalt korreliert, wurden an die Radareindringtiefe angepasste gleichstromgeoelektrische Messungen durchgeführt. Der Elektrodenabstand mit 0,05 m ist sehr gering, weshalb der Einfluss der Linienelektroden und der Topografie berücksichtigt wurde. Eine Korrelation mit dem Wassergehalt erfolgte mit parallel zur Geoelektrik durchgeführten TDR-Messungen (Sondenlänge 0,16 m). Eine Kalibration zwischen Wassergehalt und elektrischer Leitfähigkeit hatte die Archie-Gleichung als Grundlage (ARCHIE 1942). Zur Interpretation wurden an Bodenproben boden- und petrophysikalische

Untersuchungen im Labor durchgeführt: Wassergehalt, Innere Oberfläche, Porosität, Dichte, Hydraulische Leitfähigkeit, Spektrale Induzierte Polarisierung, Sieb- und Schwemm-analyse, Wasserretentionskurven und NMR-Abklingzeiten. Damit war es möglich, die Aussage, gerade der geoelektrischen Messungen zu verbessern und Parameter zur Charakterisierung von Wasserretentionskurven zu erhalten. Notwendige Parameter zur Charakterisierung des Wasserspeichervermögens sind die Porosität, der Haftwasseranteil (Anteil des gebundenen Wassers im Porenraum), der Sättigungsgrad und die hydraulische Leitfähigkeit. Eine wichtige Analysehilfe sind Wasserretentionskurven, über die u.a. eine Aussage bezüglich der Porenradialverteilung möglich ist.

Ergebnisse: Die einzelnen Felder (gepflügt, ohne Bearbeitung, gemulcht) zeigen unterschiedliche Wassergehalte. Die deutlichsten Unterschiede existieren zwischen dem ungepflügten und den anderen beiden Feldern (ohne Bearbeitung und gemulcht). Wie zu erwarten, korreliert eine größere elektrische Leitfähigkeit mit einem höheren Wassergehalt auf den Feldern. Die Ableitung des Wassergehaltes ist mit dem Georadar aber einfacher und zuverlässiger durchführbar. Die Schwierigkeit bei den Geoelektrik-Messungen besteht darin, dass im Untersuchungsgebiet ein großer Schluffanteil (70%) vorhanden ist und die NMR-Messungen bestätigten einen hohen Haftwasseranteil, so dass mit der modifizierten Archie-Gleichung gerechnet werden muss. Die Georadarmessungen haben den Vorteil, dass sie schnell durchgeführt werden konnten, eine aufwendige Installation war nicht nötig. Ein weiterer Vorteil ist, dass kontinuierliche Messungen durchgeführt werden können, wodurch ein hoher Messfortschritt er-

reicht wird. Allerdings ist die Aussage auf den oberflächennahen Bereich konzentriert, eine Erstellung eines Tiefenprofils ist nicht möglich. Demgegenüber bietet die Geoelektrik die Möglichkeit Aussagen aus tieferen Bereichen des Untergrundes zu gewinnen. Aber für hochauflösende Messungen ist die Methode an fest installierte Profile gebunden. Da die elektrische Leitfähigkeit nicht nur von der elektrischen Leitfähigkeit des Porenfluides abhängt, sind Messungen im Labor zur Kalibration unerlässlich. Eine tiefenabhängige Berechnung eines Wassergehaltes ist nur mit Kombination von Geoelektrik und Georadar möglich.

ARCHIE, G. E. (1942): The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Journal of Petroleum Technology*, 1, 55-62.

KURZ, G., MÜLLER, M. & YARAMANCI, U. (2005): Geophysical Investigations for Evaluating Water Storage Potential on Agricultural Soils.-EAGE Near Surface 2005 Meeting, 4p, B051, Palermo, Italy.

TOPP, G. C., DAVIS, J. L. & ANNAN, A. P. (1980): Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*, 16, 574-582.

Diese Arbeit wurde durch die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft unter dem Titel "Ermittlung des Wasserretentionsvermögens von Ackerflächen mit Hilfe der Kombination geophysikalischer Methoden" gefördert. Dank gebührt den stud. Hilfskräften für die Hilfe bei den Messungen: G. Baumann, X. Chen, V. Gebhardt, A. Herzog, T. Hiller, B. Kröger, J. Lehmann-Horn, C. Müller, K. Prokoph, A. Scholz, S. Siebrands, S. Strehl, T. Voß

Webseite: <http://www.geophysik.tu-berlin.de>

Rings, J., Hauck, C. (Institute for Meteorology and Climate Research, University of Karlsruhe, Forschungszentrum Karlsruhe), Scheuermann, A. (Institute for Soil Mechanics and Rock Mechanics, University of Karlsruhe), Preko, K. (Geophysical Institute, University of Karlsruhe)

Geophysical Monitoring Of Dike Water Content

The water content of flood-protection dikes is a critical parameter regarding their stability. To obtain the spatial distribution of the water content evolution, a monitoring system is being developed. Such a system will be able to quantify the water content at an initial stage, and then calculate the development of the water content in a numerical simulation taking into account forecasts of hydrological and meteorological conditions. A combination of geophysical methods has been used on a full-scale dike model to measure the water content without installation of instruments inside the structure, for that is often too expensive for the extensive length of existing dikes.

The dike model is located at the Federal Waterways and Research Institute in Karlsruhe. It is a full-scale model with a crest



Figure 1: Aerial view of the flooded model dike at the Federal Waterways and Research Institute in Karlsruhe

height of 3.6 m. It is built on a waterproof sealing and placed in a large basin to allow flooding experiments. Infiltrating water is retained in a drain at the foot of the land-side slope. Meteorological events are simulated using two sprinklers on the crest. The dike is equipped with 12 vertically installed STDR flat-ribbon cables. The spatial time-domain reflectometry (STDR) method allows for spatially resolving the water content distribution along the cable transmission lines. The water content distributions retrieved by the in-situ STDR method are used as ground truth for the indirect geophysical measurements.

Indirect geophysical measurements included electrical resistivity tomography (ERT) and ground-penetrating radar (GPR) surveys. ERT was applied along an 8 m long survey line down the land-side slope of the dike. Using vertically installed PVC tubes to lower a metallic reflector into the dike body, GPR measurements were taken.

Two resistivity tomograms can be combined and related to changes in water content by applying Archie's Law. If GPR is used to estimate an initial water content, 2-dimensional water content evolution can be obtained using consecutive ERT measurements.

The experiments comprised several rainfall scenarios (using sprinklings and real precipitation events) and a flooding experiment. The plot resulting from the flooding event (fig.2) shows a strong increase in water content in the dike body that matches the expected position of the stationary water line, as infiltrating

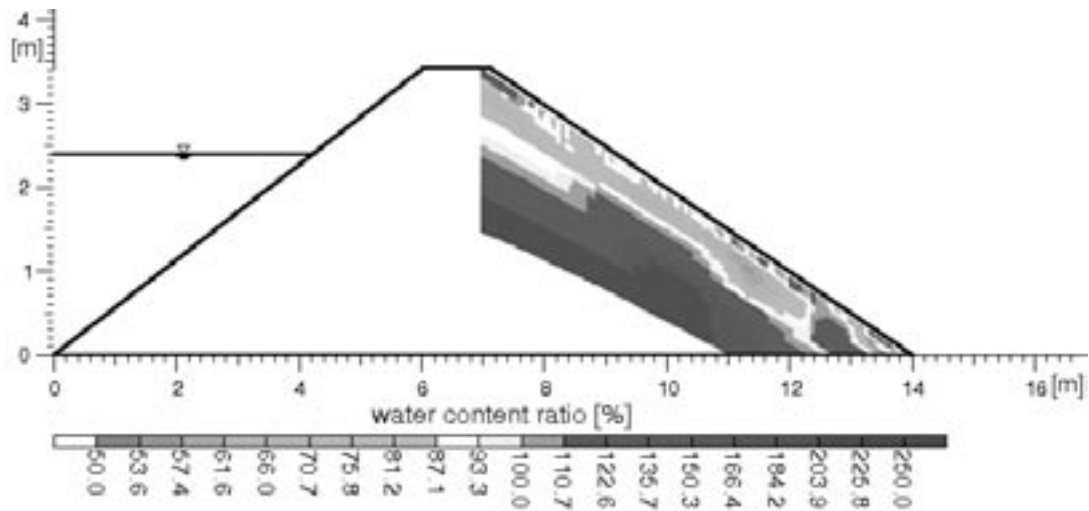


Figure 2: Changes in water content for the flooding experiment obtained by applying Archie's Law to ERT measurements

water is expected to flow towards the drain at the foot of the land-side slope.

Short rainfall events were simulated by sprinkling for 2 hours, while taking measurements before, during and after the sprinkling. The resulting plots show a decrease in resistivity in the soil layer above the dike body, but also an unexpected increase in resistivity within the dike body. By applying forward modelling methods, it is shown that this effect is probably an inversion artifact.

Presented are results from the various meteorological and hydrological scenarios and an analysis the performance of the ERT/GPR approach by quantitative comparison with the STD R measurements. Sensitivity studies concerning the influence of the parameters in Archie's Law as well as forward modelling experiments discussing the influence of the inversion will be shown.

References:

1. Scheuermann A.: Instationaere Durchfeuchtung quasi-homogener Erddeiche. *Veroeffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universitaet Fridericiana in Karlsruhe*, Heft 164, 2005
2. Schlaeger S.: A fast TDR-inversion technique for the reconstruction of spatial soil moisture content. *Hydrology and Earth System Sciences*, 9, 2005, p. 481-492
3. Schmalholz J., Stoffregen H., Kemna A., Yaramanci U.: Imaging of Water Content Distributions inside a Lysimeter using GPR Tomography. *Vadose Zone J.*, 3, 2004, p. 1106-1115

Furche, M., Grisseemann, Ch., Noell, U., Altfelder, S. (Hannover, BGR)

Goelektrische Beobachtung von Infiltrationsvorgängen im Labormaßstab

Die folgenden Messungen werden im Rahmen des BMBF-Projektes FKZ 0330523 durchgeführt, welches sich mit der Quantifizierung des Schadstoffrückhaltevermögens von Bergbau- und Erzaufbereitungsrückständen durch Krustenbildung am Kapillarsaum befasst. Um herauszufinden, ob Regen aus Bergbauhalden kontaminierende Stoffe auswäscht, werden Laborversuche im Technikumsmaßstab durchgeführt. Zylinder von 80cm Höhe und 30cm Durchmesser werden mit Material aus einer Schlackenhalde befüllt. Auf einen Teil der Oberfläche wird künstliches Regenwasser in definierten Mengen aufgebracht. Während und nach der Infiltration wird der spezifische elektrische Widerstand mit auf verschiedenen Ebenen des Zylinders ringförmig angeordneten Elektroden gemessen. Um den Effekt der Krustenbildung auf die Infiltrationsvorgänge zu studieren, werden die Zylinder sowohl mit Material aus dem Haldeninneren als auch mit Material von der Haldenoberfläche, an der sich bereits Krusten gebildet haben, befüllt.

Die Messungen in dem Zylinder, der mit Material aus dem Inneren der Halde befüllt ist, zeigen das Eindringen des Wassers durch eine deutliche Erniedrigung des spezifischen Widerstandes. Das langsame Eindringen des Wassers kann durch die Messungen verfolgt werden und es dauert etwa 3 Stunden, bis Wasser in 50cm Tiefe angekommen ist. In 10cm Tiefe unter der Infiltrationsfläche zeigen sich nach ca. drei Stunden erste Anzeichen eines Wiederanstiegs des spezifischen elektrischen Widerstandes. Diese Erhöhung wird mit weiterer Infiltration stärker und bleibt auch nach Beendigung der Infiltration bestehen. Es

wird vermutet, dass es durch die Bewässerung an der Oberfläche zu Lösungs- und Auswaschungsvorgängen und dadurch zu einer Verminderung des Ionengehaltes des Porenfluides kommt.

Die Messungen in dem Zylinder, der mit verkrustetem Material befüllt ist, zeigen vor der Infiltration eine deutliche Heterogenität des spezifischen elektrischen Widerstandes. Erste Messungen zeigen auch in dieser Säule das Eindringen des Wassers durch eine Erniedrigung des spezifischen elektrischen Widerstandes. Das Wasser dringt aber deutlich langsamer ein als in dem Zylinder, der mit Material aus dem Inneren der Halde befüllt ist. In einer Tiefe von 25cm können nach 3.5 Stunden nur sehr geringe Änderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes festgestellt werden. Nahe der Zylinderoberfläche, in 10cm Tiefe, verteilt sich das auf einer Teilfläche aufgebrachte Wasser gleichmäßig auf die gesamte Fläche und führt zu einer deutlichen Erniedrigung des spezifischen elektrischen Widerstandes.

Durch hydraulische Modellrechnungen werden die Wassergehaltsverteilungen in Abhängigkeit von der Zeit vorhergesagt. Im Anschluss an die Wasserhaushaltsmodellierungen sollen hydrogeochemische Modellierungen über Lösungs- und Ausfällungsvorgänge Auskunft geben. Diese Berechnungen dienen dazu, die Änderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes als Funktion des Wassergehaltes und der Leitfähigkeit des Porenfluides interpretieren zu können.

Buckup, P. (Magdeburg, Bohrlochservice), Buckup, M. (Magdeburg, Geophysikbüro)

Schadstoffbestimmung mit INN

E-Mail: mamunt@bohrlochmesser.de

Für den Schadstoffnachweis unter verschiedenen Bedingungen wurde ein autonomes INN-Gerät aufgebaut und unter unterschiedlichen praktischen Bedingungen eingesetzt. Eine spezielle Software erlaubt es, die grossen Datenmengen zu bearbeiten und die entsprechenden Parameter für qualitative und quantitative Aussagen aufzubereiten. Die ermittelten Parameter wurden für Messungen in der Maas, in Kontrollbohrungen und in Oberflächenwässern mit Werten chemischer Analysen korreliert. Es ergab sich dabei speziell für organische Substanzen eine gute Korrelation mit einem Regressionskoeffizienten über 0,9. Die gesammelten Erfahrungen ermöglichen eine Nutzung für ein kontinuierliches elementbezogenes Monitoring.

Webseite: <http://www.bohrlochmesser.de>

Perk, M., Tezkan, B. (Institut für Geophysik, Universität zu Köln), Sobisch, H.-G. (lithosphere, Köln)

Infield-Kalibrierung geophysikalischer Daten auf kontaminierten Flächen mit Hilfe der Visualisierungssoftware GSI3D

E-Mail: perk@geo.uni-koeln.de

Im Rahmen des 5. europäischen Rahmenprogramms, welches sich mit den Themen Energie, Umwelt und erhaltenswerten Entwicklungen beschäftigt, wurde im NORISC-Projekt (Network Oriented Risk assessment by In-situ Screening of Contaminated sites) die Altlastenerkundung in urbanen Gebieten bearbeitet.

Das Ziel dieses Projektes war es, die bisherigen standardmäßigen Untersuchungen durch eine Mischung von innovativen und interdisziplinären Methoden erheblich zu beschleunigen und durch eine Vor-Ort-Interpretation der Messergebnisse die Kosten zur Untersuchung der Fläche drastisch zu senken.

Eines der Entwicklungsschwerpunkte dieses Projektes war einerseits die Entwicklung einer Software zur Ausgabe der am besten geeigneten Methoden für das Untersuchungsgelände (Decision Support System) und die Erstellung eines Visualisierungswerkzeugs (GSI3D: Geological Surveying and Investigation in 3D), mit dem man alle im Feld gesammelten Daten (Biologie, Chemie, (Hydro-)Geologie, Geophysik) in einem gemeinsamen Kontext räumlich dargestellt werden können. So wurde gewährleistet, dass schon während der Untersuchung dank der kombinierten Darstellung aller Ergebnisse auf unerwartete Ereignisse schnell reagiert werden kann.

Ein großer Nachteil während des Projektes war, dass bei der Geophysik nur fertige

Inversions-Ergebnisse als Bilder oder Rasterdaten (Surfer) verwendet werden konnten. Daher bestand nicht die Möglichkeit, die verschiedenen Daten untereinander gezielt abzugleichen.

Dieses Programm wurde nun dahingehend geophysikalisch erweitert, dass eine Schnittstelle für 2D-Geoelektrik (Programm DC2DInvRes; Günther, 2004)- und 2D-RadioMagnetoTellurik(RMT)-Inversionsprogramme implementiert wurde. Weiterhin wurden Einleseroutinen für 1D - Widerstands-Geoelektrik-, TEM-, DirectPush-Daten und 3D-Datensätze erzeugt. Durch die Möglichkeit z.B. Bohrloch- oder geoelektrische 1D-Informationen auf vorhandene Profile/Ergebnisse zu projizieren, können so verbesserte Startmodelle, bestehend aus a-priori Informationen, erstellt werden, welche zu einem wirklichkeitsgetreuerem Untergrundmodell führen. Durch die Anpassung der Modelle an die Geologie können nun Anomalien in kontaminierten Profilen gegenüber nicht-kontaminierten Profilen besser abgeschätzt werden und so Hinweise auf die Lage und Ausbreitung von Kontaminanten geben.

Während des Projektes wurden Untersuchungen auf Testflächen durchgeführt, um den Fortschritt der entwickelten Softwaretools zu überprüfen:

- Im Falle der Untersuchung einer Kohlenwasserstoff-kontaminierten Test-

fläche in Köln zeigte sich, dass sich nach der Kalibrierung der geoelektrischen Sondierungsdaten an geologischen Bohrloch-Informationen ein Endmodell ergab, welches einen anomal hohen Widerstandsverlauf für hohe Kohlenwasserstoff-Werte in der vadosen Zone zeigt. Dies deutet auf einen Schwellenwert seitens der Kohlenwasserstoffe für mögliche geoelektrische Anomalien hin.

- Eine weitere Untersuchung des Projektes fand auf einem ehemaligen Öllager in Ungarn statt. In Trinkwasserbrunnen wurde im 2. Aquifer eine Kohlenwasserstoff-Kontamination lokalisiert. Auf Grund der räumlichen Darstellung von Multi-Elektroden-Widerstands-Messungen wurde ersichtlich, dass anstatt einer angenommenen horizontalen Schichtung ein Rinnensystem vorlag, welches so die gesuchte Diskontinuität zwischen 1. und 2. Aquifer und damit auch die Kontamination erklärte. Während des Projektes sollte der Einsatz von innovativen in-situ Methoden gefördert werden. Eine dieser Methoden ist die sogenannte Direct-Push-Methode, bei der während des Bohrens z.B. elektrische Widerstandsmessungen in einem sehr kleinen Tiefenintervall (cm-Bereich) vorgenommen werden. Zu Versuchszwecken wurde eine solche Widerstandsmessung an ausgewählten Punkten auf der Testfläche vorgenommen. Die visuellen Korrelationen zeigten gute Übereinstimmungen mit Bohrungsdaten, jedoch schlechte mit den Multi-Elektroden-Widerstands-Messungen für größere Tiefen (ab ca. 6m), was auf Grund der schlechten Ankopplung der Elektroden und der großen Trockenheit während der Messung zu vermuten war. Zusätzlich zu den DirectPush-Messungen und Bohrloch-Informationen sollen mit Hilfe von gemachten RMT-Messungen verbesserte Startmodelle für

die Multi-Elektroden-Widerstandsmessungen erzeugt werden, um dadurch genauere Widerstands-Modelle für größere Tiefen zu bekommen.

Fazit: Die Erweiterung des Programms GSI3D erlaubt nun eine Kalibrierung geophysikalischer Daten im Feld. Dadurch können Daten an wahre Untergrundstrukturen besser angepasst werden, welches zu genaueren Untergrundmodellen führt. Weiterhin werden auf diese Weise anomale Widerstandsverläufe in kontaminierten Bereichen gegenüber nicht-kontaminierten Bereichen erkennbar, welche so Hinweise auf eine räumliche Verteilung von Kontaminanten geben.

Referenzen:

- Günther, Thomas (Doktorarbeit, 2004); DC2dInvRes - Direct Current 2D Inversion and Resolution; <http://www.resistivity.net/dc2dinvres/>
- NORISC Homepage: www.norisc.com
- GSI3D-Projekt-Homepage: www.geosum3d.de

Kroner, C., Jahr, T. (Institut für Geowissenschaften, FSU Jena)

Wasserspiele in Moxa - Experimente zu hydrologischen Einflüssen auf kontinuierliche Schwerebeobachtungen

E-Mail: corinna.kroner@uni-jena.de

Hydrologische Schwankungen bewirken neben Luftdruckvariationen die stärksten umgebungsbedingten Störungen in kontinuierlichen Schwerebeobachtungen. Für viele geodynamische Untersuchungen muß dieser Einfluß, der sich über Zeiträume von wenigen Stunden bis in den Jahresbereich erstrecken und in der Größenordnung von bis zu mehreren 10er nm/s^2 liegen kann, in den Schwere-daten reduziert werden. Insbesondere Effekte aus der unmittelbaren Instrumentenumgebung müssen verstanden sein, da sie sich gemäß der $1/r^2$ -Abhängigkeit am stärksten auswirken. Bei Beobachtungsstandorten in hügeligem Gelände und mitgeklüftetem Untergrund wie z.B. beim Geodynamischen Observatorium Moxa werden häufig zusätzliche Einfluß-faktoren wirksam.

Zum besseren Verständnis hydrologischer Einflüsse, die in der Registrierung des supraleitenden Gravimeters im Observatorium Moxa vorhanden sind und als Grundlage für die Entwicklung von Reduktionsalgorithmen, wurden verschiedene Experimente durchgeführt. Unter anderem sollte anhand eines Berieselungsexperiments geklärt werden, welche Wasserwegsamkeiten zwischen dem oberen Hangbereich und dem Observatoriumsgrund existieren und welche Schwereeffekte sich daraus ergeben. In einem Injektionsexperiment wurde der Einfluß von Wasserstandsschwankungen in der unmittelbaren Gravimeterumgebung untersucht. Bei beiden Experimenten traten signifikante Schwereänderungen in der

Größenordnung mehrerer nm/s^2 auf. Die beobachteten Schwerevariationen konnten anhand zeit- und ortsabhängiger Variationen im Porenraum modelliert werden. So konnte für den Hangbereich gezeigt werden, daß das Fortschreiten einer Wasserfront nicht durchgängig oberflächennah, sondern partiell in einer größeren Tiefe erfolgen muß. Eine mittlere resultierende Ausbreitungsrichtung konnte abgeschätzt werden.

Jentzsch, G. (Jena), Ishii, H. (Mizunami City, Japan)

The new 4-component borehole strainmeter at the Geodynamic Observatory Moxa

Besides other geophysical instruments, in the Geodynamic Observatory Moxa also three strainmeters are operating: These are two quartz-tube strainmeters (each 26 meters long), oriented Northsouth and Eastwest, and one laser-strainmeter in a horizontal borehole (38 meters) which connects the end points of both quartz-tubes. In the junction of the two galleries containing the quartz-tubes we drilled a 10 meter deep borehole for the installation of the borehole strainmeter.

Co-author Ishii has a long record of experiences with borehole instruments combining different sensors to be installed in depths of up to more than 1000 meters (Ishii et al.,

2003; Okubo et al., 2004; Asai et al., 2005). For Moxa observatory he prepared a borehole sensor comprising 3 horizontal sensors at different orientations (0° , 120° , 240°), a vertical sensor and a temperature sensor. Fig. 1 gives an impression of the strainmeter. Since the diameter of the borehole instrument is only 0.1 meter, the resolution of the strain sensor has to be very high. According to calibration table we have the relations:

$$10^{-6}\text{m} = 449 \text{ mV} = 10^4 \text{ nstrain}$$

$$1 \text{ mV} = 2.23 \text{ nm} = 22.3 \text{ nstrain}$$

The deformation signal is first mechanically amplified by factor 40. Fig. 2 shows the device: Due to the lay-out of the hinges a strain between right and left amplifies the movement of the place of the magnets. These magnets are used to monitor the deformation with the help of a very small fluxgate magnetometer (Linear potentiometer FS-3791 by MACOME Corporation, Japan).



Figure 1: The strainmeter prior to installation.



Figure 2: Mechanical amplification device from both sides: The plate is strained between left and right, and the movement of the magnets is monitored.

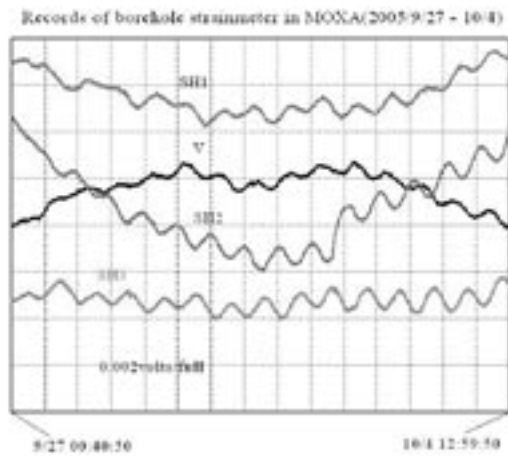


Figure 3: First records after installation: Sept. 27 to Oct. 4; tides are already visible.

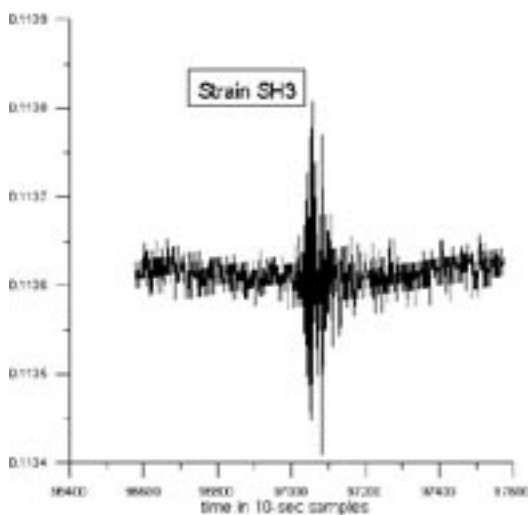


Figure 4: Record of the Pakistan earthquake, 08.10.2005; time interval is 03h 20min; note limited resolution due to monitoring device.

The installation was carried out on September 12, 2005, by cementing the strainmeter in the borehole. Due to the hardening of the cement the drift after installation is very strong. Therefore, the output signal was separated and only 10 percent were used for monitoring.

Fig. 3 contains these data from September 27 to October 4: The drift was eliminated, and the data show the tides already.

In this mode we also recorded the Pakistan earthquake. Fig. 4 shows the record of channel 3 which is oriented 330°E (about the azimuth towards the epicentre). The resolution of the record is still limited; possible is a resolution 10 times of this with the data logger attached during the first test phase.

In our poster we will describe the system and present first results. For more information about the sensor design of the strainmeter we refer to the references below as well as to the system information provided by MACOME Corporation.

References:

Ishii, H., T. Yamauchi, Y. Asai, M. Okubo, S. Matsumoto, and H. Aoki, 2003. Continuous multi-component monitoring of crustal activities by a newly developed instrument installed in a 1200 m deep borehole, the deepest multiple observation in the world consisting of stress, strain, tilt, seismic waves, geomagnetism, temperature. Paper presented at the XXII General Assembly of IUGG, Sapporo, Japan.

Okubo, M., Y. Asai, H. Aoki, and H. Ishii, 2004. The seismological and geodetical roles of strain seismogram suggested from the 2004 off the Kii peninsula earthquake. *Earth Planets Space*, 57, 303308.

Asai, Y., M. Okubo, H. Ishii, T. Yamauchi, Y. Kitigawa, and N. Koizumi, 2005. Co-seismic strain-steps associated with the 2004 off the Kii peninsula earthquakes, observed with Ishii-type borehole strainmeters and quartz-tube extensometers. *Earth Planets Space*, 57, 309314.

Jentzsch, G. (Jena), Kopaev, A. (Moscow)

The Burris Automated Gravity Meter - a new instrument for surveying and continuous operation

In the year 2003 the Sternberg Astronomical Observatory ordered two Automated Burris Gravity MetersTM (Fig. 1) produced by ZLS Corporation (Zero Length Spring), Austin, Texas, USA. The intention was to use the gravimeters for field surveys as well as for continuous recordings of gravity variations. In a joint co-operation the Earth tide stations were designed on the basis of these gravimeters and built up in Jena.

The Burris gravimeter is a new development on the basis of an old and well-known system: the zero-length spring. The incorporated feedback-system is fully digital. The UltraGravTM control system incorporates an inherently linear pulse-width modulated (PWM) electrostatic feedback system to automatically null the beam (range ± 25 mGal). It

takes the reading, applies the calibration factor, and optionally, corrects for earth tides and level position, then stores the data and displays the results. Data are protected in Flash RAM in the event of power loss. Using the stepping motor option the readings are taken always at specific, calibrated points of the dial, which avoids any periodic errors.

When new, ZLS springs typically have drifts of 1.0 to 2.0 mGals per month, decreasing to typically less than 0.5 mGal per month (prototype: approximately 0.030 mGal per month only). The dial is calibrated every 200 mGals over the entire 7,000 mGal meter range. Standard deviations of 0.003 mGal or better were obtained during routine field tests.

The UltraGrav control system allows to choose the level of accuracy needed for each application. Lower accuracy results in faster reading times, higher accuracy allows the gravimeter to be used for the most demand-



Figure 1: Fig.1. Burris Gravimeter with attached PDA (removable).

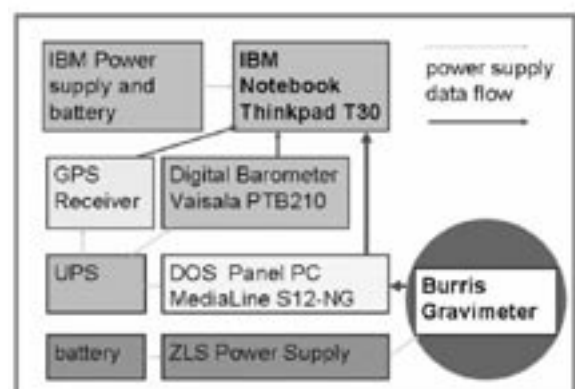


Figure 2: Fig. 2. Layout of the control and data acquisition around the Burris gravimeter.



Figure 3: Fig. 3. Both Burris gravimeters (left) and the panel PCs; in front Dr. Kopaev.

ing microgal surveys. Thus, the Burris Gravity Meter can be configured for all specific application needs, in geophysical and geotechnical exploration. UltraGrav runs on a hand-held PDA under MS-DOS (comp. Fig. 1). Because this computer does not provide enough ports we replaced it by a panel PC (MediaLine) to run the DOS-program. For data collection, filtering and storage as well

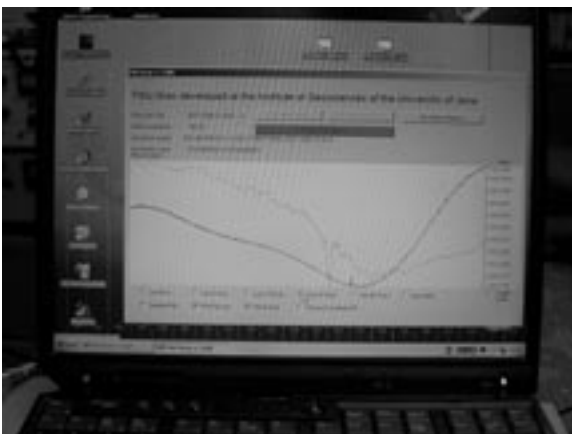


Figure 4: Fig. 4. Screen of the notebook computer for data acquisition and storage; the curves are the filtered tides and the air pressure.

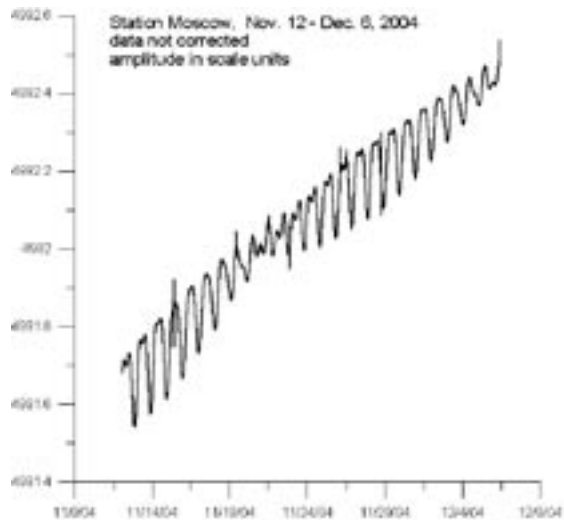


Figure 5: Fig. 5. Plot of raw data (Nov. 12 to Dec. 6, 2004); the drift is as expected for a new spring.

as for time control via GPS and airpressure recording we use an ordinary notebook computer (e.g. IBM Thinkpad). Fig. 2 gives the layout of the recording system, and Fig. 3 shows the two gravimeters with the panel PCs. Airpressure is monitored with a Vaisala PTB210 Digital Barometer (resolution of better than 1 hPa).

The data are sampled every second, transferred to the notebook and filtered to 10-second samples which are stored in daily files together with air pressure. The recording program is interactive, offering an inspection of the direct data prior to filtering as well as plots of the past 6, 12, 24, 48 hours and the last week, both gravity data and air pressure (comp. Fig 4).

Since the gravimeters are equipped with a dial motor one can choose the option of allowing to set the dial automatically in order to avoid the data to go off the feedback range in case of strong drift.

Bilgili, F., Götze, H.-J., Schmidt, S., Lippmann, A. (Kiel, Inst. für Geowiss., Abt. Geophysik)

Intrusion vs. Inversion at Southern Rim of Northwest German Basin: 3D- Gravity Modelling by the Aid of the Digital Geotectonic Atlas

E-Mail: bilgili@geophysik.uni-kiel.de

The study area is located in the southern part of the Northwest German Basin. The data set (provided by GGA, Hannover) contains 4909 gravity stations in an area of $150 \times 150 \text{ km}^2$. The Bouguer high of Bramsche has a maximum value of $+34.10 - 5 \text{ m/s}^2$, and corresponding with this gravity high is a magnetic high of 140 nT. Our three-dimensional (3D) density modelling is constrained by data presented in the geotectonic atlas of NW-Germany and density values from boreholes. In this study, we tested the existing 'intrusion model' against the new 'inversion model' of the Northwest German Basin. Modelling is focussed on the Bramsche region. The high Bouguer gravity and positive magnetic field anomalies are interpreted as a mafic intrusion (pluton) at depths of 6-10 (Giebeler-Degro, 1986). The high thermal maturity, the CO₂ risk and the lack of usual reservoir properties are regarded as the consequences of an intrusion. This earlier interpretation has been subsequently discussed on the basis of more recent findings (Brink, 2002). If, as suspected, this intrusion never existed in this form, the regional structural and thermal development of the southern rim of the northwest German Basin would need to be judged differently. We modelled the density structure of the Bouguer anomaly to a depth of 15 km using 3D forward modelling. We used the interactive modelling tool IGMAS, which includes a wide range of 3D GIS functions and can integrate other geophysical models, information and data

from both geophysics and geology (Götze & Lahmeyer, 1988). To achieve our goal, we have remodelled the earlier structural models of Giebeler-Degro (Giebeler-Model) and Brink (Brink-Model) using the data set from the 'Geotectonic Atlas' and density values from boreholes. Using the information about the geological layering and density values, the Giebeler-Model fits better than the Brink-Model, so we updated and adjusted the Giebeler-Model with the modern information and data. The final 3D density structure shows a very good fit between measured and modelled anomalies.

This study demonstrates the use of the atlas data set for evaluating models of basin rim evolution and for 3D modelling of geological processes and structures.

References

- Brink, H.-J., 2002: Die Anomalien von Bramsche - wieder eine offene Frage? Erdöl, Erdgas, Kohle, 118. Jahrgang, Heft 1, pp. 18-22
- Giebeler-Degro, M., 1986: Zur Tiefenerkundung des Niedersächsischen Tektogens durch dreidimensionale Simulationsrechnungen, Dissertation, Institut für Geophysik der TU-Clausthal
- Götze, H.-J. & Lahmeyer, B., 1988: Application of three-dimensional interactive modelling in gravity and magnetics. Geophysics, Vol. 53, No. 8, pp. 1096-1108

Meyer, U. (BGR Hannover)

Advantages of helicopter-borne gravimetry and its application in the GEO-DESIRE project covering the Dead Sea Rift

E-Mail: u.meyer@bgr.de

Airborne gravimetry has become a standard geophysical observation method over the last decade. Nevertheless, an observation gap occurs at local or small scale regional structures. Standard scalar gravity meters on board of fixed wing aircraft are well suited to map regional scale settings, whereas airborne gravity gradiometer systems cover only small scale local features at high costs. The combination of a vertical accelerometer system on an tri-axial platform used in a helicopter enables us to study e.g. localized regional structures as rift systems in a very flexible way. The gravity meter (GT-1A) allows terrain following flights at low speed, resulting in much higher anomaly resolution than gained with fixed wing aircraft on straight and level profiles.

The gravity meter system on board of a helicopter can easily be further combined with airborne magnetometry and radiometry or remote sensing tools as laser scanning systems or optical line scanners.

The proposed helicopter-borne gravity meter / magnetometer / gamma-ray spectrometer system will be used to map the Dead Sea Rift and Basin in Jordan, Israel and - if accessible - the Palestine land areas in fall 2006. This study is part of the DFG project GEO-DESIRE (GEOscientific DEad Sea Integrated REsearch project) covering GPS observations, seismic surveys, airborne gravimetry and seismological investigations including radon measurements.

The rift system itself is an elongated but very localized structure; the rift basin has sharp localized boundaries. Therefore, a dense terrain following airborne survey will be an ideal method to reveal the gravimetric and magnetic structure of this most prominent rift system.

Postersession E

AG, EP, PG

+ thematisch passende Beiträge aus GS, GÖ und MA

7.3. und 8.3., 16:00 - 18:00 Uhr in Raum 1030 im SFG

(alle Poster hängen während der gesamten Tagung aus)

Wölz, S., Müller, C., Jokisch, T. (Kiel, Institut für Geowissenschaften), Wendt, G. (Rostock, Inst. f. Nachrichtentechnik und Informationselektronik), Rabbel, W. (Kiel, Institut für Geowissenschaften)

SEAMAP-3D: Ein neues Werkzeug zur ultra-hochauflösenden 3D-Seismik im Flachwasser

E-Mail: swoelz@geophysik.uni-kiel.de

Das SEAMAP-3D Projekt (SEismo Akustische Marine Archäologische Prospektion in 3D) ist eine Kooperation zwischen dem Kieler Institut für Geowissenschaften, Abtl. Geophysik und dem Rostocker Institut für Nachrichtentechnik und Informationselektronik und wird vom BMBF (Neue Technologien für die Geisteswissenschaften) finanziert.

Der Inhalt des Projektes ist die Entwicklung eines marinen, seismo-akustischen Messsystems für die Archäologie, das Seismik und Sonartechnik kombiniert. Das System wird zur schnellen, großflächigen, dreidimensional hochauflösenden Exploration von einsedimentierten Siedlungsresten, sowie zur Ortung grabungs- bzw. bergungswürdiger archäologischer Objekte und zur Kartierung von Paläolandschaften im flachmarinen Bereich (0,5-10m Wassertiefe) eingesetzt.

Das System ist z.Z. folgendermaßen aufgebaut: Eine hochfrequente seismische Quelle (boomer) ist mit dem Datenerfassungssystem auf einem Katamaran installiert, der ein pseudo-starres Hydrophon-Array (8-32 Sensoren) schleppt und das Messgebiet flächendeckend erfasst. Zur cm-genauen Positionierung wird ein DGPS eingesetzt.

Sowohl die Entwicklung und der Test des Messsystems, als auch der Datenbearbei-

tungssoftware sind Gegenstand des Projektes. Die aufgezeichnete Daten werden mit Hilfe eines Linux-Clusters vor Ort automatisiert bearbeitet und visualisiert, um den weiteren Messverlauf zu planen und erste Ergebnisse mit den Kooperationspartnern aus der Archäologie zu diskutieren.

Das Gesamtsystem wird an archäologischen Stätten Mecklenburg-Vorpommerns, Schleswig-Holsteins, der Westtürkei und des Schwarzen Meeres eingesetzt. Ein Einsatzschwerpunkt ist die Bucht von Wismar, in der günstige Sedimentationsverhältnisse Siedlungsreste aus mehr als sieben Jahrtausenden konserviert haben.

In diesem Beitrag beschäftigen wir uns neben dem o.g. Systemaufbau mit den technischen Hürden, die es beim Einsatz eines starren Hydrophonarrays, geringen Wassertiefen (1-2fache Wellenlänge) und entsprechend geringen Offsets zu überwinden gilt.

Um Störmechanismen, wie Rumpf- und Arrayreverberationen besser verstehen zu können und den Datenbearbeitungsansatz zu testen, wurden zum Vergleich mit realen Daten Simulationsrechnungen durchgeführt. Diese Untersuchungen bestätigen folgendes einfaches Konvolutionsmodell:

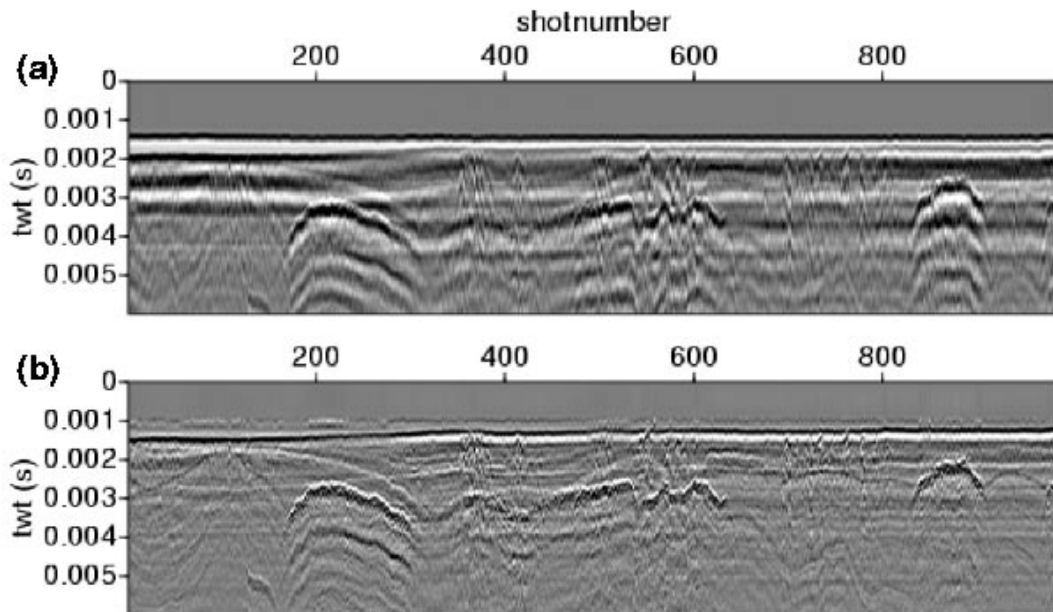


Abbildung 1: Beispielseismogramme vor (a) und nach (b) Entfernen der direkten Welle und Störsignale.

$$S_{ij}(t) = s(t) * H(t) * A(t) + s(t) * H(t) * r_{ij}(t) * A(t)$$

vorgegeben, die der mittleren Frequenz der verwendeten Quelle entspricht.

Dabei sind $S_{ij}(t)$ die seismische Spur zu Schuss i und Empfänger j ($i = 0, \dots, k_s, \dots, n_s$; $j = 0, \dots, k_r, \dots, n_r$), $s(t)$ das Quellsignal, $r_{ij}(t)$ die Reflektivität und $H(t)$ und $A(t)$ Rumpfbzw. Arrayreverberationen.

Der überzeugende Filtererfolg lässt sich zum Teil auf die hohe Dynamik (24 bit) und die hohe Abtastrate (100 kHz) des verwendeten Akquisitionssystems zurückführen, belegt gleichzeitig aber auch die hohe Wiederholbarkeit der verwendeten Quelle. Es bleibt unklar, ob die Störungen hauptsächlich vom Rumpf des Katarans stammen oder vom Array erzeugt werden.

Der erste Summand repräsentiert die direkte Welle. Diese lässt sich durch eine Mittelwertbildung einzelner Spuren $S_{ik_r}(t)$ aus dem Seismogramm annähernd bestimmen und wird dann vom Seismogramm subtrahiert. Die Reflektivität lässt sich durch Dekonvolution ermitteln. Angewandt wird eine Wiener-Shaping-Deko, wobei das zu filternde Signal als gemittelte Autokorrelationsfunktion aller Spuren $S_{ik_r}(t)$ angenommen wird. Das gewünschte Signal wird synthetisch als Ricker-Wavelet mit einer Zentralfrequenz

Webseite: <http://www.seamap-3d.de>

Fuchs, P., Lorenz, B., Plaumann, G. (Berlin)

Geophysikalische Untersuchungen zur Archäologie der frühen Geschichte Perus

E-Mail: plaumann@geophysik-lorenz.de

Im Tal des Rio Casma im peruanischen Bundesstaat Ancash gibt es mehrere Monumente aus der sog. Formativzeit (1200-200 v. Chr.). Die imposanten Bauten sind im Gelände weithin sichtbar.

Vorgängerbauten des Monuments gehören.

Im aktuellen Projekt des Lateinamerika-Instituts der FU Berlin wurden archäogeophysikalische, zerstörungsfreie Messungen auf einem Vorplatz des Sechín-Bajo-Monuments, einem der Hauptbauten in der Region, ausgeführt.

Das Ziel der Erkundung war die Detektion von geophysikalischen Anomalien, aus deren Lage und Struktur Rückschlüsse auf archäologisch relevante untertägige Objekte, wie z. B. Mauerreste oder Paläofeuerstellen gezogen werden. Hauptbaumaterial der Formativzeit waren Lehmziegel. Das Verfestigen erfolgte durch Lufttrocknung der Ziegel. Die Bauwerke aus diesem Material besitzen oft einen deutlichen Widerstandskontrast zu ihrer weniger leitfähigen Umgebung, so daß sie sich gut als Untersuchungsobjekte für eine kombinierte archäomagnetische und archäoelektromagnetische Erkundung eignen. Beide Methoden haben individuelle Vorteile, die sie dafür prädestinieren, die bestmögliche Aussage über mögliche Untergrundstrukturen zu erhalten. Die Interpretation wurde in enger Abstimmung mit den verantwortlichen Archäologen durchgeführt.

Die kürzlich beendeten archäologischen Grabungen, die gemäß der geophysikalischen Ergebnisse durchgeführt wurden, konnten Strukturen freilegen, die vermutlich zu

Nordsiek, S., Weller, A. (TU Clausthal)

Geophysikalische Messungen auf dem Gelände einer Burganlage aus der Eisenzeit

E-Mail: sven.nordsiek@tu-clausthal.de

Das Ausgrabungsgelände Schnippenburg bei Ostercappeln im Landkreis Osnabrück umfasst die Reste einer Befestigungsanlage aus dem 3./2. Jahrhundert vor Christus. Seit Ende des Jahres 2000 beschäftigt sich die Stadt- und Kreisarchäologie Osnabrück mit der auf einem Geländesporn im Wiehengebirge gelegenen, etwa 14600 m² großen Fläche. Umgeben war das Areal von einem Wall aus Steinen, der auf der Innenseite mit einer (später niedergebrannten) Holzbohlenwand stabilisiert wurde. Bei ihren Untersuchungen stoßen die Archäologen immer wieder auf zahlreiche sandgefüllte Gruben im Untergrund aus eisenzeitlichem Geschiebe. Die bis zu 2 m tiefen Gruben besitzen einen Durchmesser von 0,8 bis 1,4 m und wurden in der vorrömischen Eisenzeit vermutlich angelegt, um Opfergaben darzubringen. Sie beinhalten u.a. Schmuckgegenstände, Werkzeug- und Bewaffnungsteile aus der vorrömischen Eisenzeit (Möllers, 2004).

Im Mai des Jahres 2005 wurden vom Institut für Geophysik der TU Clausthal geoelektrische und magnetische Messungen auf dem Ausgrabungsgelände durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, Hinweise auf weitere Gruben zu finden. Neben Messungen mit einer Multielektrodenapparatur wurden magnetische Kartierungen mit einem Protonen- und einem Cäsiummagnetometer durchgeführt.

Die Messungen mit der Multielektrodenapparatur erfolgten entlang von drei zueinander parallelen Profilen, die mit einer Länge von 87 bis 137 m in Nord-Süd-Richtung fast das ge-

samte Schnippenburg-Gelände kreuzten. Neben der ehemaligen Burgbefestigung ließen sich weitere hochohmige Bereiche erkennen, bei denen es sich auf Grund ihrer Lage und der geringen Ausdehnung um die gesuchten Gruben handeln könnte. Eine Überprüfung von archäologischer Seite steht noch aus.

Die magnetischen Kartierungen deckten mit einem Raster von 0,5 m Punktabstand eine Fläche von insgesamt ca. 3000 m² ab. Untersucht wurden sowohl Bereiche des Burggeländes als auch Flächen an einem nördlich angrenzenden Bachlauf. Von archäologischer Seite besteht die Vermutung, dass im 3./2. Jahrhundert vor Christus an Bachläufen nördlich und südlich des Geländesporns Eisen verarbeitet wurde. Reste der Verarbeitungsplätze sollten sich heute als magnetische Anomalien widerspiegeln. Die Kartierung des Bereichs am nördlichen Bachlauf lieferte keine Hinweise auf solche Stellen. Eine ausgedehnte magnetische Kartierung beider Bereiche, nördlich und südlich der Schnippenburg, ist zur Klärung dieser Frage sinnvoll.

Die Ergebnisse der magnetischen Kartierungen auf dem Burggelände bestätigen den Verlauf des Burgwalls und zeigen zahlreiche Anomalien, die sich als Opfergruben interpretieren lassen und noch zu überprüfen sind.

Literatur

Möllers, S., 2004: Die Schnippenburg - Sagenhaftes aus der Eisenzeit. Volkshochschule und Kulturbüro Osnabrücker Lang gGmbH, Osnabrück

Salat, C., Junge, A. (JWG-Universität Frankfurt am Main)

Gemeinsame Interpretation von archäometrischen Magnetik- und Radardaten

E-Mail: salat@geophysik.uni-frankfurt.de

Im Herbst 2005 wurden auf Anregung und mit Unterstützung des Archäologen Dr. Felix Teichner (Uni Frankfurt) Archäomagnetik- und Radarmessungen auf einer ehemaligen römischen Ansiedlung vorgenommen. Aus Luftbildern, Scherbenfunden und früheren Grabungen war die Existenz römischer Strukturen im Untergrund bekannt. Von den geophysikalischen Messungen erhoffte man sich noch genauere Informationen über die verborgenen Bauwerke. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Untersuchungen an einem der Gebäude vorgestellt.

Die Magnetikmessungen wurden mit einem FEREX 4.032 mit Datenlogger und 3-Sonden-Trageanordnung der Firma Foerster über einer Fläche von 4,26 Hektar durchgeführt. Der Spurabstand lag bei 0,5 Meter, der Messpunktabstand betrug 0,25 Meter. Die Ergebnisse ergaben u.a. Hinweise auf ein einzelnes Gebäude, das mit dem Bodenradar genauer erkundet wurde. Verwendet wurde dabei ein SIR 2000 von GSSI mit einer 500 MHz-Antenne und einem Laufrad. Die 20 x 30 Meter große Fläche wurde mit 67 parallelen Profilen im Abstand von 0,3 Metern vermessen. Die Radargramme wurden in ReflexW (© K.J. Sandmeier) bearbeitet, zu einem 3D-Block zusammengesetzt und mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 0,07 m/ns migriert. Deutlich erkennbar in den Zeitschnitten sind Mauerstrukturen in ca. 0,25 bis 0,95 Meter Tiefe (vgl. Abb. 1).

Aus den Radardaten wurde ein Untergrundmodell der Mauerreste konstruiert, dem eine

von der Umgebung abweichende Suszeptibilität zugewiesen wurde. In einer Vorwärtsrechnung mit dem FEM-Programmpaket COMSOL Multiphysics 3.2 wurden die archäomagnetischen Beobachtungen simuliert und mit den tatsächlich gemessenen Magnetfelddaten verglichen. Deutliche Abweichungen weisen darauf hin, dass die Reflexionsmuster aus den Radarmessungen in der Regel nicht Suszeptibilitätseigenschaften abbilden.

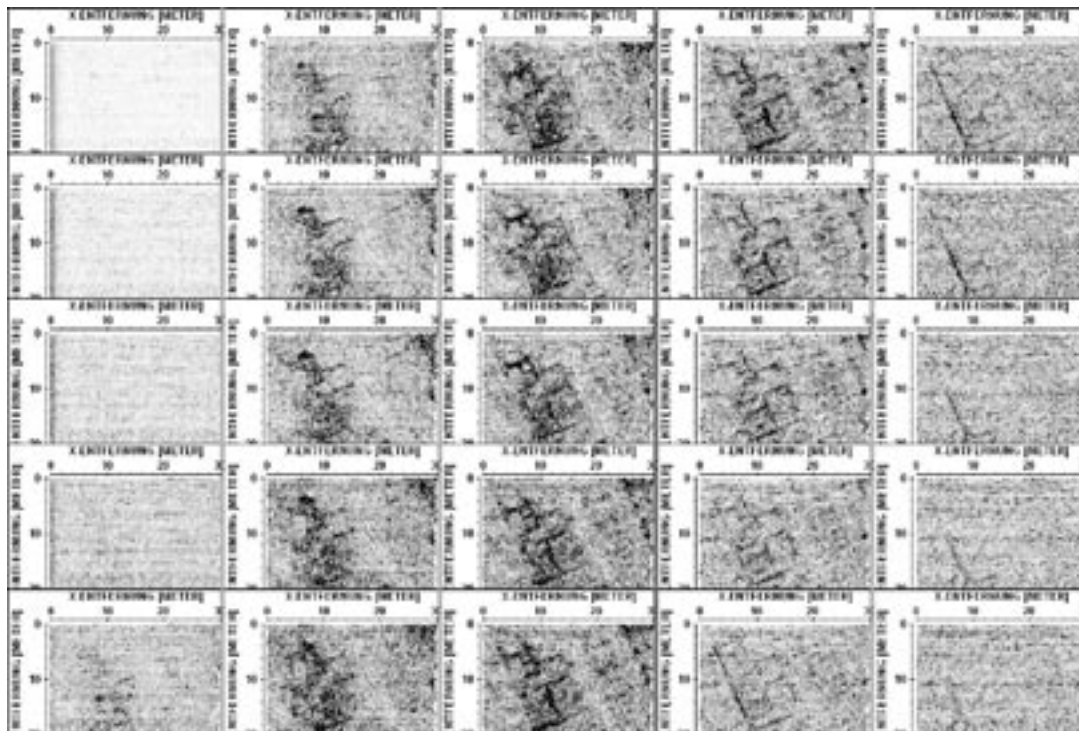


Abbildung 1: Zeitschnitte aus den Radarmessungen von oben nach unten und nach rechts. 0 ns bis 35 ns, entspricht einer Tiefendifferenz von etwa 5 cm pro Zeitschnitt.

Gronefeld von, G. (Bezirksregierung Düsseldorf), Sandhäger, H. (Bezirksregierung Arnsberg)

Einsatz der Geomagnetik bei den Kampfmittelbeseitigungsdiensten in Nordrhein-Westfalen

Auch heute noch liegen Kampfmittel, die aus den Zeiten der beiden Weltkriege stammen, in Böden und Gewässern in Deutschland. In Nordrhein-Westfalen waren insbesondere die Großstädte an der Rheinschiene und im Ruhrgebiet von Flächenbombardements betroffen, so dass dort vor allem Bombenblindgänger zu finden sind. Große Gebiete am Niederrhein und in der Eifel sind durch die Kampfhandlungen des 2. Weltkrieges ebenfalls mit Kampfmitteln belastet.

Eine Aufgabe der Gefahrenabwehr, für die die örtlichen Ordnungsbehörden in Nordrhein-Westfalen zuständig sind, ist der Schutz der Bevölkerung vor den Gefahren, die von diesen Kampfmitteln ausgehen. Da der Umgang mit Kampfmitteln eine besondere Fachkunde voraussetzt, unterhält das Land Nordrhein-Westfalen zur Unterstützung der Ordnungsbehörden bei der Bezirksregierung Düsseldorf den staatlichen Kampfmittelbeseitigungsdienst Rheinland und bei der Bezirksregierung Arnsberg den staatlichen Kampfmittelbeseitigungsdienst Westfalen-Lippe. Die Kampfmittelbeseitigungsdienste ermitteln und bewerten die von den Kampfmitteln ausgehenden Gefahren und legen daraus das staatliche Handlungserfordernis fest.

Die Kampfmittelbeseitigungsdienste bearbeiten und räumen Zufallsfunde von Kampfmitteln und überprüfen insbesondere im Vorfeld von Baumassnahmen die Kampfmittelbelastung und räumen gegebenenfalls diese Flächen.

Liegt ein hinreichender Verdacht – durch Auswertung alliierter Luftbilder des 2. Welt-

krieges und historischer Unterlagen – auf Kampfmittelbelastung vor, so überprüft der Kampfmittelbeseitigungsdienst diesen Verdacht durch Einsatz von geomagnetischen Messverfahren vor Ort. Abhängig von der Bodenbeschaffenheit, den örtlichen Begebenheiten sowie den geplanten Bauvorhaben wird entweder eine Oberflächendetektion oder eine Bohrlochdetektion mit Fluxgate-Gradiometern durchgeführt.

Bei der Oberflächendetektion auf kleineren Flächen erfolgt der Gradiometereinsatz in festen Profilständen. Auf größeren Flächen kommt ein Messarray mit mehreren Gradiometern und DGPS zum Einsatz. Wird eine Detektion in Bohrlöchern durchgeführt, so reichen die Bohrlöcher mindestens 8 m tief bezüglich der Geländeoberkante zu Kriegsbeginn in den Boden hinein. Wenn sich bei der Datenauswertung in einem Bombenabwurfgebiet Hinweise auf einen größeren Störkörper ergeben, so wird dieser Verdachtspunkt geöffnet und gegebenenfalls geräumt. In einem Kampfgebiet können auch kleinere Anomalien Hinweise auf Kampfmittel sein, und werden ebenfalls durch eine Aufgrabung überprüft.

Präsentiert werden ausgewählte Fallbeispiele der oben beschriebenen verschiedenen Anwendungen der Geomagnetik bei der Kampfmittelbeseitigung in Nordrhein-Westfalen.

Soffel, H. C. (Sektion Geophysik, LMU München)

Messerschmitt und seine zweite geomagnetische Landesaufnahme in Bayern vor hundert Jahren

Nach der ersten geomagnetischen Landesvermessung in Bayern, die auf 129 Messpunkten im Koenigreich Bayern und in ganz Sueddeutschland beruhte, erweiterte Lamont die Zahl der Stationen auf schliesslich 240, was einer durchschnittlichen Distanz von 17 km entsprach. In diesem Datensatz waren schon einige Gebiete mit lokalen magnetischen Anomalien erkennbar (Noerdlinger Ries, Serpentinite im Bayerischen Wald, die Vulkanite der Rhoen und des Spessarts), die von Lamont aber in den folgenden Jahren nicht weiter im Detail untersucht wurden. Nach dem Tod Lamonts im Jahre 1879 wurde die Landesvermessungen zur Bestimmung der regionalen Saekularvariation in Bayern zunaechst nicht weitergefuehrt. Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde dies durch J. B. Messerschmitt wieder aufgegriffen. Bei dieser Wiederholungsmessung des Koenigreichs Bayern der Jahre 1903 - 1906 waren die meisten der von Lamont etwa 50 Jahre zuvor angelegten Messpunkte durch die Ausdehnung der Siedlungen und durch die Industrialisierung unbrauchbar geworden. Messerschmitt setzte bei seiner zweiten Landesvermessung auch neuere und genauere Messgeraete ein, z.B. ein neues Inklinometer und einen neuen Reisetheodoliten von L. Tesdorpf zur Messung der Deklination, der Inklination und der Horizontalintensitaet. Die neue Karte, reduziert auf den Anfang des Jahres 1905, zeigt die Isolinien fuer D, I und H. Sie basiert nur noch auf 57 Messpunkten. Gegenueber der Landesvermessung von 1850 hatten sich die Werte fuer Muenchen von $D = 15,898$ Grad West, $I = 64,992$ Grad und $H = 19\,523$ nT zum Teil erheblich ver-

aendert und lauteten fuer 1905: $D = 10,122$ Grad West, $I = 63,175$ Grad und $H = 20\,653$ nT. Daraus konnte Messerschmitt die regionale und lokale Saekularvariation zwischen 1850 und 1905 fuer den sueddeutschen Raum ableiten. Der groesste Effekt war dabei die Aenderung der Deklination um fast 6 Grad in etwa 50 Jahren. Im gleichen Zeitraum nahm die Inklination um etwa 2 Grad ab und die Horizontalintensitaet um 1130 nT zu.

Schüler der Anna Schmidt Schule Frankfurt, X., Lewinsky, H.H. (Frankfurt), Schneider, S. (Potsdam, GFZ, Geotechnologien), Häuserer, M., Junge, A. (Frankfurt)

Angewandte Geophysik im Schulunterricht

E-Mail: simon@gfz-potsdam.de

Angewandte Geophysik weckt neues Interesse und motiviert Schülerinnen und Schüler, sich intensiver mit den Naturwissenschaften auseinander zu setzen. Der Arbeitsbereich Geophysik der Johann Wolfgang Goethe Universität Frankfurt am Main und Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 11 der Anna Schmidt Schule Frankfurt konnten bei Feldarbeiten mit den Methoden des Bodenradars, der Gleichstrom-Geoelektrik und der Geo-Magnetik zeigen, dass sich Siedlungsspuren unter bewirtschafteten Flächen südlich Ludwigshafen finden lassen.

Das Projekt „Angewandte Geophysik im Schulunterricht“ will Grundprinzipien der Physik aus ihrem üblichen Schulkontext heraus nehmen und in für Schülerinnen und Schüler neuen Anwendungsbereichen hinein bringen. Die angewandten Methoden der Geophysik (zum Beispiel: Gleichstrom-Geoelektrik, Geo-Magnetik, Bodenradar, Seismik) können die schulischen Schwerpunkte der Optik, Magnetik, Mechanik und die Begriffspaare Arbeit - Energie - Leistung sowie die Elektrizitätslehre und den Bereich der Elektrodynamik durch eigene Experimente und Messkampagnen in einem neuen Umfeld zeigen und so eine zusätzliche Motivation schaffen, sich mit den Prinzipien der Physik neu auseinander zu setzen.

Um die zahlreichen Methoden der Geophysik selbst anzuwenden, wurden in den vergangenen 3 Jahren Projektwochen durchgeführt, die sich mit archäologischen oder geo-

logischen Fragestellungen beschäftigten. Die bisherigen Pilotprojekte „Auf den Spuren der Römer in Hessen“, „EinBlick in die Erde“ und „Physik auf freiem Felde“ wurden an archäologisch Interessanten Objekten durchgeführt. Die Ergebnisse der Arbeiten der Schülerinnen und Schüler wurden anschließend von Archäologen der Universität Frankfurt weiter verwertet.

Bei den Messungen in der Nähe von Ludwigshafen wurde eine Fläche untersucht, die von Seiten des Landesamts für Denkmalschutz Rheinland Pfalz vorgeschlagen wurde. Luftbilder dieser Fläche zeigten, dass sich im Untergrund antropogene Strukturen abbilden. Funde in der Umgebung der Fläche lassen auf eine intensive Besiedlung in den Jahrzehnten um 70 n.Chr. schließen.

Die in der Projektwoche angewendeten Methoden wurden an einem Vorbereitungstag durch Mitarbeiter des Arbeitsbereichs Geophysik vorgestellt. Theoretische Kenntnisse wurden hierbei auf ein schülergerechtes Niveau übertragen und besonderer Wert auf die Begriffswelt der Schulphysik gelegt. So konnten die Schülerinnen und Schüler immer wieder aus dem Schulunterricht bekannte Ideen und Konzepte erkennen. Während des Vorbereitungstages wurde festgestellt, dass der anfängliche Abstand zur Angewandten Geophysik stetig verringert und eine neue Motivation erzeugt wurde.

Die auf den Postern dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Arbeit mit Schülerinnen

und Schülern interpretierbare Datensätze liefert, die von Seiten der Fragesteller genutzt werden. Dies ist nur möglich, da die Schülerinnen und Schüler die Feldmessungen motiviert und konzentriert durchführen. Ein Zeichen für das hohe Interesse an der Arbeit der Geophysik.

Die Arbeit mit Schulklassen hat an der Universität Frankfurt inzwischen Früchte gezeigt. Mitarbeiter des Fachbereichs Geowissenschaften/ Geographie werden zunehmend auf öffentliche Vorträge angesprochen und Schülerinnen und Schüler die an den ersten Projektwochen teilgenommen haben, sind nun als Studierende am Fachbereich zu finden.

Die vorgestellten Poster wurden von den Schülerinnen und Schülern der Anna Schmidt Schule Frankfurt im Rahmen der diesjährigen Projektwoche erstellt.

Webseite: <http://www.geotechnologien.de>

von Dobeneck, T., Schmieder, F., Frederichs, T., Hilgenfeldt, Ch., weitere Mitarbeiter des FG Marine Geophysik, X. (Bremen)

Black Box Magnetismus - Magnetische Informationen im Alltag und in der Erdgeschichte - ein Beitrag zur Stadt der Wissenschaft 2005

E-Mail: dobeneck@uni-bremen.de

Der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft hatte für das Jahr 2005 als Nachfolgeaktion der erfolgreichen Programme PUSCH, Wissenschaft im Dialog und des Wissenschaftssommers zum ersten mal den Titel „Stadt der Wissenschaft“ ausgeschrieben. Unter 37 Städten entschied sich die Jury des Wettbewerbs für den Städteverbund Bremen/Bremerhaven und kürte ihn zur „Stadt der Wissenschaft 2005“. Ein zentrales Projekt des umfangreichen Programms waren die „Black Boxes“, eine Ausstellung, mit der in Bremen Wissenschaft in die einzelnen Stadtteile transportiert wurde. In 16 Containern brachten Forscher jeweils ein Thema zum Greifen nahe

- anfassen, mitmachen und fragen war ausdrücklich erwünscht. Dabei ging es um so Unterschiedliches wie Genetik und Meeresforschung, Logistik und Wahrnehmungsforschung, Mikrobiologie, Physik, Kulturwissenschaften, Raumfahrt und Kunst. Nach einem gemeinsamen Start aller Black Boxes reisten die Container anschließend zwischen Mai und Oktober 2005 in Dreiergruppen durch zehn Bremer Stadtteile, wo sie jeweils etwa 14 Tage zu besichtigen waren - Wissenschaft bis vor die Haustür!



Abbildung 1: 16 Container voller Wissenschaft: Die Black Boxes starteten Ihre Reise gemeinsam vor dem Überseemuseum in Bremen.



Abbildung 2: Magnetismus erleben: Die seltsame Magnetomineral-Regatta in der Black Box „Magnetismus - Magnetische Informationen im Alltag und in der Erdgeschichte“.

In der Dreiergruppe „Verborgene Ordnung“ widmete sich eine Black Box dem Thema „Magnetismus - Magnetische Informationen im Alltag und in der Erdgeschichte“. Spielerische Experimente, geplant und angefertigt im Fachgebiet Marine Geophysik der Universität Bremen, laden ein zur Erkundung der faszinierenden Welt des Magnetismus. Die allgemeinverständlichen Experimente sind so konzipiert, dass sie auch einzeln durchführbar sind. Zusammengenommen führen sie den Besucher von der Veranschaulichung physikalischer Prinzipien an einem Atommodell über das spielerische Erleben magnetischer Eigenschaften von Gesteinen bei einer Magnetomineral-Regatta zur Demonstration magnetischer Verfahren in der Geophysik. Dabei wird fokussiert auf die magnetische Kodierung von Informationen. Beispiele aus dem alltäglichen Leben und ein Magnetbuchstaben-Spiel leiten über zur magnetischen Speicherung erdgeschichtlicher Informationen in Gesteinen und deren geophysikalischer Entschlüsselung. Der Besucher erfährt, wie mit Hilfe des Magnetismus nicht nur Polumkehrungen nachgewiesen, sondern auch Kontinentbewegungen, Sedimentalter und Klimawandel rekonstruiert werden können. Eine kleine Sonderausstellung auf der DGG-Tagung 2006 zeigt einige dieser Experimentierstände.

Die Black Box wurde im Internet von einer Webseite begleitet (www.geophysik.uni-bremen.de/blackbox). Damit sollte zum einen für einen Besuch der Ausstellung geworben werden, andererseits konnten dort nach einem Besuch Informationen zu allen Experimenten nachgelesen oder weiterführende Links zu detaillierten Hintergrundinformationen genutzt werden.

Panzner, M. (TU Bergakademie Freiberg), Sohl, F. (DLR, Berlin), Spitzer, K. (TU Bergakademie Freiberg)

Numerische Simulation einer Permittivitätssonde zur Messung der elektromagnetischen Eigenschaften planetarer Regolithe

E-Mail: klaus.spitzer@geophysik.tu-freiberg.de

Kürzlich wurde von der japanischen Raumsonde Hayabusa erstmals eine Bodenprobe an der Oberfläche eines nur wenige hundert Meter großen Kleinplaneten entnommen, die zur weiteren Analyse im Jahr 2007 unverseht an der Erdoberfläche abgesetzt werden soll. Währenddessen die oberflächennahen Schichten von Mars und Erdmond, welche hauptsächlich aus porösem, unverfestigtem Material (Regolith) bestehen, bereits in der Vergangenheit mit Hilfe stationärer und mobiler Landegeräte näher untersucht werden konnten, stehen derartige Erkundungen für den sonnennächsten Planeten Merkur noch aus. Nicht zuletzt aufgrund möglicher astrobiologischer Konsequenzen wird hierbei der Suche nach flüchtigen Bestandteilen (Wasser, Eis, Chlathraten) im Untergrund erhebliches Interesse beigemessen. Die vergleichende Betrachtung planetarer Regolithe, die von unterschiedlich beschaffenen Körpern stammen, trägt darüber hinaus zu einem besseren Verständnis der frühen Entwicklung des inneren Sonnensystems bei.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften planetarer Lockermaterialien wirken sich in besonders charakteristischer Weise auf Messungen der komplexen Permittivität im Frequenzbereich aus, die von der elektrischen Leitfähigkeit und dielektrischen Polarisierbarkeit des Materials kontrolliert wird. Von Trautner und Grard (2002) wurde eine Sonde zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit σ und

der relativen Permittivität ϵ_r vorgestellt, die durch einen Schlagmechanismus in den Boden getrieben wird (Mole). Numerische Simulationen sollen nun die Entwicklung begleiten und Experimente, die bisher maßgeblich im Labor ausgeführt wurden, synthetisch erweitern.

Die Messkonfiguration entspricht einer klassischen Wenner-Vierpolanordnung. Über das äußere Sendelektrodenpaar wird ein Wechselstrom kapazitiv in das die Sonde umgebende Medium eingespeist. Mit den beiden inneren Messelektroden wird das dann auftretende elektrische Potential in Betrag und Phase gemessen. Dabei wird die quasistatische Näherung vorausgesetzt.

Mit Hilfe der numerischen Simulation kann das Hardware- und Experimentaldesign optimiert und auftretende physikalische Phänomene im Bereich der Sonde untersucht werden. So ist es notwendig, den Gültigkeitsbereich des quasistatischen Ansatzes für die Auswertung der Messung zu überprüfen. Bei bestimmten Kombinationen von Frequenz- und Leitfähigkeit können induktive Effekte auftreten, die diese Voraussetzungen verletzen und das Messergebnis verfälschen. Ebenso gilt es, den Einfluss der extrem leitfähigen Sondenelektroden auf das elektrische/elektromagnetische Feld im Umfeld der Sonde zu untersuchen. Des Weiteren können hardwarespezifische Größen wie Auflösungsvermögen, Eindringtiefe, Sensitivität gegenüber Parameteränderungen und der Einfluss

der Ankopplung der Sonde an das umgebende Medium ermittelt und analysiert werden.

In einem ersten Ansatz haben wir ein kommerzielles Entwicklungspaket für Finite-Elemente-Formulierungen (Femlab/Matlab) verwendet und ein 2D-axialsymmetrisches Modell der Permittivitätssonde erstellt. Die der Finite-Elemente-Modellierung zu Grunde liegenden Differentialgleichungen wurden so gewählt, dass induktive Effekte berücksichtigt werden. So wurde eine Formulierung über das magnetische Vektorpotential \vec{A} und das elektrische Skalarpotential V genutzt:

$$-\nabla \cdot \left[(i\omega\sigma - \omega^2\epsilon_0\epsilon_r)\vec{A} + (\sigma + i\omega\epsilon_0\epsilon_r)\nabla V \right] = 0$$

$$(i\omega\sigma - \omega^2\epsilon_0\epsilon_r)\vec{A} + \nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0\mu_r} \nabla \times \vec{A} \right) + (\sigma + i\omega\epsilon_0\epsilon_r)\nabla V = 0,$$

wobei ϵ_0 die Dielektrizitätskonstante, μ_0 die Induktionskonstante, i die imaginäre Einheit, μ_r die relative magnetische Permeabilität und ω die Kreisfrequenz ist. Durch Verwendung von gemischten Randbedingungen am äußeren Rand wurde der Einfluss der Ränder auf das Modellierungsergebnis wesentlich reduziert. Im Kontaktbereich der Sondenelektroden existieren sehr starke Leitfähigkeitskontraste, die aufgrund der Stromeinspeisung dort große Gradienten im elektrischen Potential erzeugen. Deshalb wurde das Gitter in der Nähe der Elektroden adaptiv stark verfeinert.

Für einem Frequenzbereich von $10^2 \text{ Hz} < f < 10^6 \text{ Hz}$ konnte für eine beliebige heterogene Parameterverteilung eine stabile Modellantwort berechnet werden. Der quasistatische Ansatz für die Auswertung der Messung wurde für Leitfähigkeiten $\sigma < 10^{-2} \text{ S/m}$ validiert.

Über eine dynamische Parameterverteilung innerhalb des Modells wurde eine Sondenfahrt durch eine eingelagerte Schicht mit abweichenden Modellparametern simuliert und eine Auflösungsstudie durchgeführt. Die Wirtiefe bzw. der Modellbereich, der das Messergebnis maßgeblich beeinflusst, entspricht in etwa dem Abstand der Messelektroden ($< 2 \text{ cm}$). Die numerische Berechnung von Sensitivitäten über die Perturbationsmethode bestätigt dieses Ergebnis. Eine variierende räumliche Kluft zwischen Sonde und umgebendem Material ($d < 2 \text{ mm}$), die beim Einrammen der Sonde in heterogenes Material auftreten kann, stellt indes kein Problem dar, obwohl sich die Kluft im hochsensitiven Bereich der Messung befindet. Unsere Simulationsergebnisse zeigen, dass das Messergebnis dabei kaum beeinflusst wird.

Perspektivisch möchten wir Machbarkeitsstudien im Hinblick auf eine zwar eingeschränkte aber dennoch mögliche Dateninversion durchführen, die durch gezielte Positionierung von einer sehr kleinen Anzahl von Elektroden (z.B. am Landfahrzeug) möglich werden könnte. Diese grobe räumliche Rekonstruktion der elektrischen Parameter würde zusätzliche Informationen über die Heterogenität des Oberflächenmaterials terrestrischer Planeten liefern und Fragen im Zusammenhang der planetaren Entwicklungsgeschichte beantworten helfen.

Literatur

Trautner, R., & Grard, R. (2002). Measuring the electric properties of planetary environments with mutual impedance (MI) probes. *Proceedings of the 36th ESLAB Symposium*, 105-107.

Webseite: <http://www.geophysik.tu-freiberg.de/spitzer/>

Stadelmann, J., Weidelt, P. (Braunschweig)

Geomagnetic Mantle Diffusion Times

E-Mail: p.weidelt@tu-bs.de

Geomagnetic secular variation impulses diffuse from the Core-Mantle Boundary (CMB) upwards to the surface of the Earth. In the past, this diffusion process has received considerable attention, with main interest attributed to the radial magnetic component B_r , because the perfectly conducting core allows at the CMB only a core-fluid generated radial magnetic component without an induced contribution. Therefore the diffusion of B_r describes most directly the diffusion of a core signal through the mantle.

Assume at the CMB a radial magnetic source impulse with a 'soft' time variation [e.g. $\sim \sin^2(at)$]. This impulse induces in the conducting mantle currents, which modify the source signal, such that (apart from a geometric attenuation) B_r at the surface of the Earth is delayed, smoothed and skewed (i.e. with a longer tail in direction of increasing time). With B_r is associated a tangential magnetic component, which shows a quite different diffusion pattern. The source field B_r induces a bipolar tangential magnetic component, the ascending branch of B_r produces a positive tangential component with its maximum prior to the maximum of B_r and the descending branch generates a negative tangential component. At the surface of the Earth, the radial and tangential magnetic components show their maximum at the same time (because they are derived from the same scalar magnetic potential). As a consequence, the delay time (as time difference between the

maxima at the surface of the Earth and the CMB is greater for the tangential magnetic component than for the radial component. The same ordering holds for the smoothing times (\sim broadening of the impulse) and the skew. In the limit that the time constant of the impulse ($\sim 1/a$) is much greater than the delay times, delay, smoothing and skewing is easily expressed in terms of the mantle conductivity. Typical delay times for the radial component and tangential component are $\simeq 150$ days and $\simeq 850$ days, respectively. Whereas the radial component is insensitive to the electrical conductivity close to the CMB, the tangential component is heavily influenced by the conductivity distribution in this region.

The delay time, smoothing time and skewness are related to the first three moments of the impulse response function, respectively. They are functional of first, second and third order of the mantle conductivity with the iterated zero-frequency Green's function as kernels. Simple relations exist between the delay times of degree n and the corresponding decay times T_{nk} of freely decaying current systems of degree n and radial wavenumber k ,

$$\tau_n = \sum_{k=1}^{\infty} T_{nk}, \quad \sigma_n^2 = \sum_{k=1}^{\infty} T_{nk}^2, \quad \rho_n^3 = 2 \sum_{k=1}^{\infty} T_{nk}^3,$$

where τ_n are delay times and σ_n^2 and ρ_n^3 are the second and third central moments of the impulse response function.

Giesecke, A. (AIP)

Turbulent heat flux in anisotropic magnetoconvection

E-Mail: agiesecke@aip.de

The equations for magnetohydrodynamics in a thermal convecting Cartesian box are solved numerically. The turbulence intensity and the turbulent heat flux are computed in dependence of the imposed magnetic field strength, the rotation rate and the latitude angle.

For fast(er) rotation the radial heat flux shows a broad maximum around $\Lambda \approx 1 \dots 10$ and the azimuthal heat flux is always directed westwards with a maximum value around $\Lambda \approx 10$,

The meridional heat flux is (almost) always negative in the local coordinate system corresponding to a turbulent transport of heat to the north(south)-pole. Thus the poles should be warmer than the equator which in principle is a source for a meridional large scale flow.

The simulations indicate that the anisotropies of the turbulent flow in the fluid outer core due to rotation and the magnetic field might be important for the understanding of large scale processes and deliver a further argument for the development of subgrid-scale models that could improve upcoming global simulations of the geodynamo by including the effects of the unresolved turbulent motions.

Schachtschneider, R. (Universitaet Potsdam, GFZ Potsdam), Balasis, G., Rother, M., Manda, M. (GFZ Potsdam)

Data selection for geomagnetic field modeling using wavelet methods

The derivation of a comprehensive model of the Earth's magnetic field from the joint inversion of multiple satellite and observatory magnetic data constitutes a major scientific aim [1]. A crucial step to this task, which is needed to be taken prior to inversion and modeling of the observation, is data selection. The traditional method to select data is according to criteria based on geomagnetic activity indices. Here we present a new method that is based on wavelet transforms. The wavelet analysis technique is applied to vector and scalar magnetic data from the CHAMP satellite mission and provides us with a clean undisturbed data set suitable for the purposes of main field modeling. Additionally, this analysis results in another data set useful for the study of natural ionospheric (F-region instabilities) and magnetospheric (pulsations) signals.

Data analysis with wavelet techniques allows to obtain information about the temporal or spatial distribution of a signal's local frequency content. Signals can be studied locally with a detail matched to their scale [2,3]. The choice of the mother wavelet is determined by

the features of the signal that shall be identified. We use the continuous wavelet transform with the Morlet wavelet as the basis function since it gives information about the signal's oscillatory behaviour.

Traditionally geomagnetic data are chosen according to magnetic indices like K_p or D_{st} . Usually data are taken if $|D_{st}| \leq 10$ to 15 nT and $K_p \leq 1+$ to 2+, depending on study. However, the indices give an activity value for periods as long as one hour (D_{st}) or three hours (K_p). Due to the great length of these time intervals it seems likely that there are quiet periods with uncontaminated data within time intervals of high geomagnetic activity that are ignored and thus lost for inversion.

With our wavelet based technique many tracks can be found that, although being in a geomagnetically active time interval, have no power in the considered frequency interval (see Figure 1). In Figure 2 we show an example of natural signal noise in our data during a period that is quiet according to magnetic indices ($K_p = 2.0$ and $D_{st} = 2$ nT).

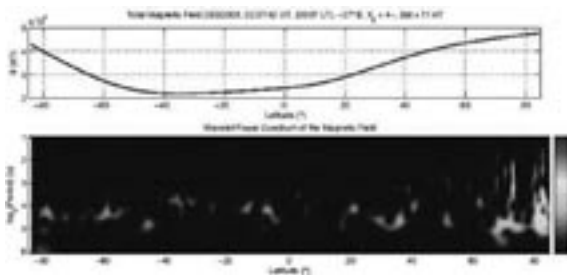


Figure 1: A quiet track within a period of high- K_p (4-) and low- D_{st} (11 nT) indices. The track seems to be free of disturbances for most parts.

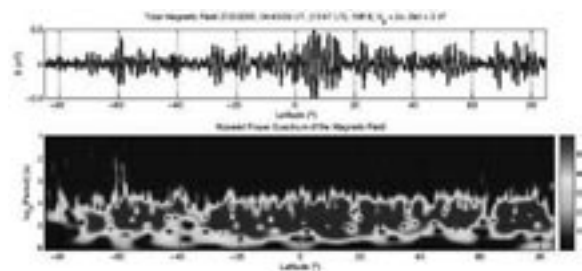


Figure 2: Pulsations detected and characterised using the wavelet technique during a period regarded as quiet by magnetic indices ($K_p=2.0$, $D_{st}=2$ nT).

A comparison between main field models derived with data selected according to our wavelet technique and the traditional indices will be given. Differences between the models as well as advantages and disadvantages will be discussed.

Our goal for future work is to compute magnetic field models using data sets from time intervals as short as possible to obtain snapshots of the core field at short time scales. These are needed to calculate secular variations for different epochs as a basis for flow models on a short time scale.

References

- [1] Maus S, Lühr H, Balasis G, Rother M, and Manda M (2005) Introducing POMME, the Potsdam Magnetic Model of the Earth: in (Reigber C, Lühr H, Schwintzer P, and Wickert J, ed.) *Earth Observation with CHAMP - Results from Three Years in Orbit*, pp 293–298, Springer Verlag Berlin Heidelberg
- [2] Kumar P and Foufoula-Georgiou E (1997) Wavelet analysis for geophysical applications. *Rev Geophys* 35(4):385–412
- [3] Balasis G, Maus S, Lühr H, and Rother M (2005) Wavelet Analysis of CHAMP Flux Gate Magnetometer Data: in (Reigber C, Lühr H, Schwintzer P, and Wickert J, ed.) *Earth Observation with CHAMP - Results from Three Years in Orbit*, pp 347–352, Springer Verlag Berlin Heidelberg

Dillon, M. (Universität Bremen)

Magnetic characteristics of marine sediments from the upwelling region off NW Africa

E-Mail: mdillon@uni-bremen.de

Rock magnetic investigations performed at low, high and room temperature are presented for marine sedimentary deposits from the lower Moroccan continental slope off Cape Ghir. The region is characterized by upwelling and high rates of marine organic productivity. The sediment sequences span the last 110 kyr. Lowest magnetizations are generally observed during deglaciation and glacial times with dry conditions in northern Africa and a predominant eolian transport of terrigenous material. Higher magnetizations are observed during interglacial periods, when more humid conditions prevailed in northwest Africa and enhanced river discharge provided additional lithogenic material to the Atlantic Ocean.

The primary detrital magnetic mineralogy is dominated by ferrimagnetic magnetite with variable degrees of oxidation as indicated by Curie temperatures of around 580°C and broad, blurred Verwey structural phase transitions from 95 to 120 K. ARM/IRM ratios hint at high amounts of fine-grained particles. The gradual convergence of the field cooling (FC) and zero field cooling (ZFC) warming curves between 5 and 300 K suggests an additional goethite component. The sediments confined to ~18 to ~59 kyr (predominantly glacial conditions) have been strongly affected by diagenetic alteration. They are characterized by a drastic reduction in magnetic mineral content, a marked overall coarsening of the grain-size spectrum and lower coercivities. Particularly the goethite and fine-grained ferrimagnetic fraction is almost completely removed.

PSD to MD magnetite of stoichiometric composition remains the predominant carrier of the magnetic signal as demonstrated by a single distinct Verwey transition at 120 K and about identical ZFC and FC warming curves.

This preservation of close to stoichiometric magnetite in the reduced sediments is clearly inconsistent with typical findings in environments of intensive diagenetic alteration. The mechanisms by which the minerals are preserved are not known in detail at this point. Changes in terrigenous influx, transport mechanism and/or hinterland climates could be of critical importance, in particular the fluvial input originating from river systems draining the Atlas Mountains. Also large-scale oceanic processes such as changes in oxygen content of the bottom water may control the sedimentary magnetic characteristics, since the diagenetic layer is regionally confined to a specific age period, independent of local sedimentation rates and deposition of organic matter.

The sediments below the diagenetic zone reveal similar, though not identical magnetic characteristics, as the surface layers. The most conspicuous difference is the presence of two distinct Verwey transitions, one at around 95 K and a second close to 120 K, suggesting discrete populations of magnetite and maghemite.

Itambi, A. C., von Dobeneck, T., Mulitza, S. (Bremen)

Records of millennial-scale NW African climate change from off-shore Senegal.

E-Mail: Itambi@uni-bremen.de

In this study, we combine colour reflectivity, magnetic and geochemical records to unravel the major mineralogical components, redox conditions and changes in the N African monsoon system during the Late Quaternary. Sediment cores recovered during Meteor cruise M65 along the NW African continental margin show a systematic sequence of alternating reddish brown and dark green layers (Fig 1a). Down-core signal of magnetic susceptibility and porosity show high frequency variations believed to be related to Heinrich Events (Fig 1b and 1c). Core GeoB 9516-5 located between tropical conditions in the south and arid conditions in the north (13° 40.40' N, 18° 25.14' W recovered at 3437 m water depth) is suitable for such study and is expected to strongly register changes in the N African monsoon.

Magnetic measurements include magnetic susceptibility, anhysteretic remanent magnetization (ARM), alternating field demagnetization of ARM, isothermal remanent magnetization (IRM), and magnetic hysteresis measurements at 5 and 300 K. X-ray fluorescence analyses were carried out to determine the elemental concentrations and the degree of diagenesis. Diffuse reflected light spectroscopy was used to determine the sediment mineral components.

Susceptibility values are high at glacial terminations 1 and 2, reaching values of about $600 \cdot 10^{-6}$ SI whilst $\kappa_{fd}\%$ reaches values of $\sim 12\%$ (Fig 1e). Opposing trends in ARM and IRM records suggest that the system is con-

trolled by two material types. The ARM/IRM ratio (Fig 1g) shows that SD particles are dominant during warm periods, corresponding to dark layers of marine clay. This record also shows cyclicity through climate history. The $S_{-0.3T}$ ratio ranges from 0.92 to 0.98 (Fig 1f) suggesting a contribution from high coercivity minerals. We suggest that the high $\kappa_{fd}\%$ is a result of high coercivity SP minerals which may have been formed in-situ. Formation of these minerals may also be associated with the low porosity observed in the marine clays. Two mineral end-member components were revealed by the color spectral data. C1 with first derivative peaks at positions typical of hematite and goethite, and C2 indicative of clay minerals (green marine clays). Most of the proxy-parameters suggest high coercivity minerals (hematite and goethite) as the main magnetic minerals at this site. This is further confirmed by the ratios of the two mixing coefficients C1 and C2 (Fig 1d) which strongly mirrors the magnetic susceptibility, $S_{-0.3T}$ ratio, $\kappa_{fd}\%$ and IRM records.

The GeoB 9516-05 core appears to record climate history spanning the last 160 ka, illustrating glacial and interglacial fluctuations in primary productivity, redox conditions, and terrigenous input. Glacial periods are marked by high coercivity minerals and increased terrigenous input while interglacials are controlled by fine-grained magnetite and clay minerals.

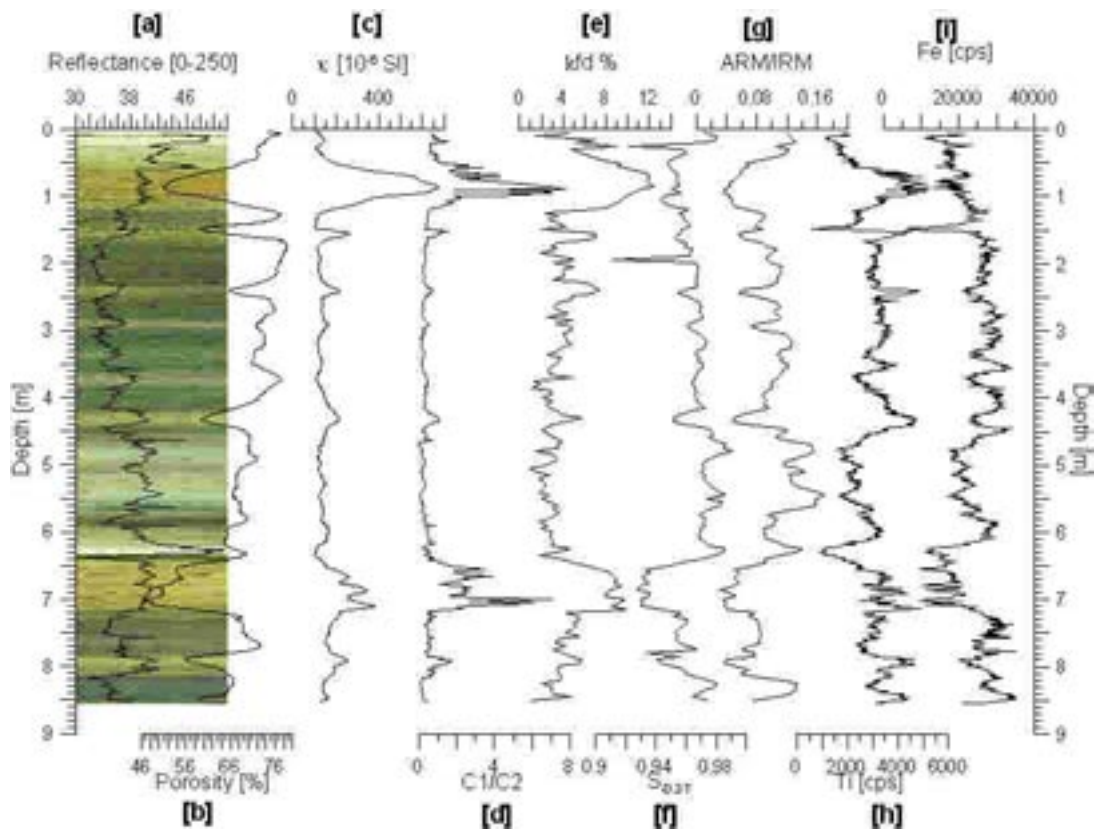


Figure 1: Colour, magnetic and elemental records of core GeoB 9516-05 from off-shore Senegal. (a)-(c) are shipboard results (Mulitza et al, in preparation). Note the opposing trends in the magnetic susceptibility and porosity records. (f) and (g) show variation in mineralogy and grain size. Interglacial periods are marked by high SD magnetite content depicted by high $S_{0.37}$ (f) and ARM/IRM (g) ratios. The elemental records show a negative correlation between Fe and Ti (h) and (i) during glacial intervals. The drop in Fe intensity is marked by peaks in the magnetic records (c) and (e) thus pointing to a highly magnetic Fe mineral deposited during these periods. The correlation of (d) with (c) and (e) leads us to suggest super-paramagnetic hematite/goethite as the dominant Fe minerals during the glacials

Höcker, M., Köhler, C., Heslop, D., v. Dobeneck, T. (Universität Bremen), Langereis, C. (Universität Utrecht)

Neogene Monsoon variability over North Africa: Saharan Dust Supply to the Mediterranean Sea reconstructed by rock magnetic, color spectrometric and voltammetric proxy records based on Hematite and Goethite content

E-Mail: mhoecker@uni-bremen.de

During the late Neogene a major reorganization of the global climate system occurred, resulting in the build up of large Early Pleistocene continental ice masses in the Northern Hemisphere. The alternation of organic C-enriched sediments (sapropels) and marls is a characteristic feature in many Neogene sedimentary successions in and around the Mediterranean Sea. These sedimentation patterns are controlled by North African paleomonsoon variability, which is in turn forced by orbital cyclicity, mainly by precession (LOURENS et al. 2001; LARRASOANA et al. 2003). Sapropels represent humid periods during insolation maxima when the African summer monsoon front extended into the north, accompanied by increased fluvial sediment supply by the river Nile and enhanced organic surface production. On the other hand, marls, which contain hematite and goethite from North African source regions in varying amounts, reflect periods of higher aridity and increased eolian input of Saharan dust into the deep basin during insolation minima. It is our intention to use hematite and goethite as proxies to identify their source regions and assess the monsoon strength during the time of deposition.

We present a combination of rock magnetic and nonmagnetic methods to characterize and to semi-quantify the hematite- and goethite content of Neogene sediments from ODP

Sites 967 and 969 which were drilled during Leg 160, and from the uplifted Punta Piccola Section (Sicily). Magnetic methods include standard rock magnetic laboratory procedures (e.g. acquisition of ARM and IRM) and, furthermore, thermomagnetic in-field measurements up to 7T and remanence measurements.

We clearly identified goethite in discrete samples from the Punta Piccola section using MPMS-technology (MPMS XL-7, Quantum Design). The samples were in-field (7T) heated and cooled in the temperature range between 300 and 400K, to induce a Thermoremanent Magnetization (TRM) in the goethite while cycling through its Neel-Temperature. At a second step, the samples were zero-field heated and cooled within the previously applied temperature interval. After cooling a decrease of the TRM intensity of up to 20% is recognized (Fig. 1), which is caused by thermal destruction of the acquired TRM. The percentage loss of remanence, provided by additional data, will enable us to express the goethite content of the samples.

Rock magnetic measurements are supported by spectrophotometric data in the range between 400 and 700nm, and by the highly sensitive electrochemical method of Abrasive Stripping Voltammetry. For ODP cores 967A and 969A we used the Shipboard colour reflectance data, the samples from the Punta

Piccola section are measured with a Minolta Spectrophotometer cm-2600d/2500d. The spectrophotometric data sets from ODP cores 967A and 969A were analyzed using the blind source separation cNMF-algorithm (SAJDA et al. 2003) to recover end member spectra and their mixing coefficients. We obtained four specific spectra, which represent hematite, goethite, clay and organic matter (sapropels). Based on these spectra, when plotted over the whole core or over parts of the core respectively, we determined relative concentrations of the different constituents. Furthermore, the specific spectra enable us to correlate ocean cores over a wide area in a very easy and efficient way. However, the data show a dramatic increase of hematite content around 2.5 Ma BP, both in ODP 967A and 969A. A diagenetic cause for this increasing

hematite content seems to be unlikely, but this has to be investigated at a more advanced stage of this study. For this time, we interpret the signal as a cause of increasing aridity in the North African lowlands, caused by a retraction of the African monsoon front to the south.

The first voltammetric measurements are in a good agreement with the rock magnetic results from the Punta Piccola section and show, for discrete samples, a more or less clear goethite peak that is slightly shifted from the position suggested for synthetic goethite. This may be a result of chemical substitution of the goethites, but further experimental studies are required.

For the near future it is also planned to investigate the elemental Ti/Al-ratio, which provides information about variations of eolian and fluvial sediment supply to the Mediterranean Sea, by using XRF-data. This will be another backbone to assess the monsoon strength during the investigated time interval.

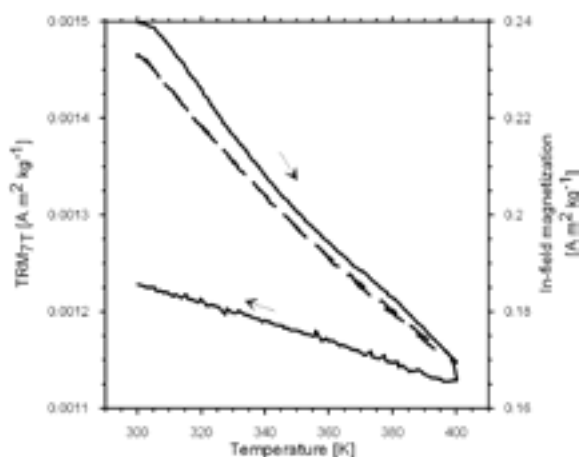


Figure 1: Figure 1: Thermomagnetic curves from sample PP20.2. During thermal in-field cycling at 7T (dashed line) a small TRM is induced to the goethite while cycling through its Neel-Temperature. After zero-field cycling (solid line) a remanence loss of 18% is recognized, caused by the destruction of a TRM acquired by goethite.

References

- LARRASOANA, J.C.; ROBERTS, A.P.; ROHLING, E.G.; WINKLHOFER, M. and WEHAUSEN, R. (2003): Three million years of monsoon variability over the northern Sahara.- *Climate Dynamics* 21, 689-698.
- LOURENS, L.J.; WEHAUSEN, R. and BRUMSACK, H.J. (2001): Geological constraints on tidal dissipation and dynamical ellipticity of the Earth over the past three million years.- *Nature* 409, 1029-1033.
- SAJDA, P.; SHUYAN, D. and PARRA, L. (2003) : Recovery of constituent spectra using non-negative matrix factorization.- *Proceedings of The International Society for Optical Engineering*, 2003.

Franke, C. (University of Bremen, Utrecht University), Frederichs, T. (University of Bremen), Dekkers, M.J. (Utrecht University)

The Advantage of Heavy Liquid Separates in Low-Temperature Magnetometry: Case Study of Pelagic Sediments from the Equatorial Atlantic

Low-temperature rock magnetic measurements can have distinct diagnostic value. However, in most bulk marine sediments the concentration of ferri- and antiferromagnetic minerals is that low, that even sensitive instrumentation senses just the paramagnetic contribution of the silicate matrix in the residual field of the magnetometer.

To raise magnetic concentrations, magnetic extraction is routinely applied, but the extracts cannot always be considered as representative of the entire magnetic inventory. Due to the extraction method (e.g. Petersen et al., 1986), they are biased to high spontaneous magnetic components, such as magnetite and titanomagnetite, which are soft magnetic minerals. We show that high coercivity components (e.g. goethite) are rather under-represented in such magnetic extracts. Therefore quantification is very difficult, if not impossible.

Here we test heavy liquid separation, using hydrophilic sodium polytungsten solution $\text{Na}_6[\text{H}_{24}\text{W}_{12}\text{O}_{40}]$ and show much more detailed and representative low-temperature remanence curves, than obtained on magnetic extracts from the same sediment material. Low-temperature cycling of zero-field-cooled (ZFC), field-cooled (FC) and saturation isothermal remanent magnetisation acquired at room temperature (RT-SIRM) were performed on bulk sediments, magnetic extracts, and heavy liquid separates, to demonstrate the advantage of the latter technique.

Several magnetic mineral phases in the high- and low-coercivity ranges could be identified and quantified using the heavy liquid method. Low-temperature cycling of the RT-SIRM in particular seems to be most powerful to this end.

References:

Petersen, H., von Dobeneck, T. and Vali, H., 1986. Fossil bacterial magnetite in deep-sea sediments from the South Atlantic Ocean, *Nature*, 320, 611-615

Autorenverzeichnis
Lage - und Gebäudepläne
Straßenbahn Fahrplan

Liste aller Autoren
mit Beitragsnummern
Beitragsnummer < 50: Vortrag
Beitragsnummer > 50: Poster

Albert, A. - E07
Almeev, R. - B74
Altfelder, S. - D78
Altmann, J. - A82
Alvarado, G.E. - A80
Anschütz, H. - C67
Anselmetti, F. - A41
Antobreh, A.A. - B64
Araneda, M. - B14, B82, B85
Arndt, S. - B22
Arroyo, I.G. - A80
Asch, G. - A54, B09, C22
Auster, H.-U. - D36

Balasis, G. - E10, E61
Baranwal, V. C. - C53
Barckhausen, U. - B03, B13, B24
Barruol, G. - A04
Bartels, T. - B29
Bartetzko, A. - C26
Barth, A. - A09, A76
Bartholomä, A. - B68
Bartlakowski, J. - A46
Bataille, K. - B07, B08, B14, B82, B85
Battaglia, J. - A23
Bayer, B. - A03
Baykulov, M. - B50
Becken, M. - B01, C50
Becker, D. - A15
Bedrosian, P.A. - B01
Behrmann, J.H. - A73, E25
Beilecke, T. - A27
Benn, N. - A77
Berens, R. - D57
Berger, D. - B12, B65
Bergers, R. - C16, C63
Betzler, C. - D65
Bialas, J. - B17, B72
Bieker, D. - D62
Bilgili, F. - D84
Binot, F. - D67
Birnstiel, H. - D53
Bischoff, M. - A30
Bock, G. - A60

Bock, M. - D56
Bode, T. - B34
Boebel, O. - B35
Bohlen, T. - A56, B36, B48, B52, B56, B57, B58, D11, D12, D13
Bohm, M. - B09
Böhnel, H. - E17, E18
Bohnhoff, M. - A15, A21, A59
Bohrmann, G. - B26
Bormann, P. - A40
Börner, F. - D20
Börner, R.-U. - C53, C58, C60, D62, D63
Bosch, F.P. - D64
Brajjanovski, M. - B43
Bram, K. - A27
Branch, T. - B81
Brandt, P. - B67
Brasse, H. - B15, B82, C51
Braun, M. - C01
Braun, T. - A23
Breede, K. - D59
Breitzke, M. - B17, B35
Breuer, M. - E12
Bribach, J. - B14, B85
Brink, H.-J. - B50
Brückmann, W. - B17
Brüning, M. - B19
Brunk, W. - A34
Brüstle, A. - A59, A81
Brüstle, W. - A36, A43, A73, A77
Buckup, K. - C08
Buckup, M. - D79
Buckup, P. - C08, D79
Buddensiek, M.L. - B60
Buness, H. - A52
Buske, M. - E05
Busse, S. - A27, B14, B45, B47, B83, B85
Bussat, S. - B36, B56, B57

Cailleau, B. - A53
Cande, S.C. - B03
Ceranna, L. - A24, A37
Cermak, V. - D75
Cesca, S. - A23
Chalikakis, K. - D64
Christensen, U. - E05
Ciz, R. - B41

Constable, C. - E14, E16
Contreras-Reyes, E. - B84
Cremers, A.B. - B34

Dahm, T. - A06, A23, A32, A42, A66, A67, B07, D72
Danckwardt, E. - D55
De Nil, D. - B56, B58
de Wit, M. - B81
Dedecek, P. - D75
Degutsch, M. - D24
Dehghani, A. - D72
Dekkers, M.J. - E23, E65
Demirbag, E. - B32
Demirel-Schlüter, F. - B32
Demory, F. - E19
Dennielou, B. - C25
Dickmann, T. - D11
Diebold, J. - B35
Diehl, T. - A45
Dietrich, R. - C67
Dillon, M. - E62
Ding, F. - B63, B68
Dinske, C. - C22
Döhler, M. - D16
Dörner, D. - A60
Dougherty, M. - E04
Dreibrodt, S. - D26
Dresen, G. - A21, B05
Druiventak, A. - D03
Drury, M.R. - E23
Dümmong, S. - B44, B50
Dunse, T. - C65

Echtler, H. - B82
Eckhardt, C. - A56
Edwards, R.N. - C17
Egbert, G.D. - E10
Eilers, G. - A72
Eisen, O. - C68
Eisenburger, D. - D27
El Naggar, S. - B35
Endrun, B. - A14, A59
Engels, M. - B03, B24
Erzinger, J. - C23
Essen, K. - D13
Eydam, D. - C51

Fabian, K. - E20
Fabian, M. - A51, B76
Feindt, S. - D65

- Fejes, I. - D19
Fekete, N. - B18, B79
Fertig, J. - C61
Fettig, A. - C61
Fiederich, W. - A65
Fischer, K.D. - A57, B04
Fisher, A.T. - C24
Flemings, P.B. - E25
Flüh, E.R. - A80, B13, B70,
B71, B73, B84
Forbriger, T. - A68, A75
Frank, U. - E19
Franke, A. - C53, C60, D63
Franke, C. - E23, E25, E65
Franke, D. - B25
Frederichs, T. - E25, E57, E65
Friederich, W. - A63, A81, D13
Friedrich, C. - A72
Frigola, J. - C25
Fu, Y. - E25
Fuchs, P. - E51
Funke, S. - A35
Furche, M. - C70, D23, D78
Fürstenau, J. - D65
- Gabriel, G. - A52, D67
Gajewski, D. - B20, B27, B44,
B50
Gaw, V. - B71
Gebauer, A. - A26, A50
Gebbers, R. - D06
Gebhardt, A.C. - B33
Gee, J.S. - B24
Geiling, P. - D53
Geissler, W.H. - A05, A10
Gelfort, R. - C25
Gennerich, H.-H. - B76
Gerner, A. - B37
Gerst, A. - A48, A84, D74
Gestermann, N. - A37
Giese, R. - D11, D12, D14, D70
Giesecke, A. - E60
Gläser, H.R. - C29
Glassmeier, K.-H. - D36, E09
Göbell, S. - C19
Gonzalez-Huici, M.A. - C04
Gorling, L. - D22
Goßler, J. - A80
Götze, H.-J. - B23, D84
Green, A.G. - D21
Grevemeyer, I. - B06, B18,
B79, B84
Griesbach, U. - D51
Grinat, M. - D08, D67
Grisseemann, Ch. - D23, D78
Gronefeld von, G. - E54
Groß, K. - B14, B85
Grosser, H. - A21
Grosser, J. - D36
Grützner, C. - C62
Gunawan, H. - B09
Gundelach, V. - D27
Günther, D. - B53
Günther, T. - D02, D04, D08,
D23, D52
Gurevich, B. - B41, B42, B43
Gurk, M. - D64
Gusev, E. - B31, B69
Güsgen, A. - D57
- Haapala, J. - C19
Haas, C. - C19
Haas, Ch. - C19
Haase, K. - B74
Haberland, Ch. - B07, B08
Hackney, R. - D34
Häge, M. - A29, A78
Hainzl, S. - A71
Hanebuth, T.J.J. - B19
Hanka, W. - A38
Hansen, U. - E11, E12, E13
Hanstein, T. - C06, C07, C16,
C59
Hanus, V. - A16
Harder, H. - E11, E12, E13
Harjes, H.-P. - A15
Hartantyo, E. - B09
Hartmann, G. - A24, A79
Hass, C. - D65
Hauck, C. - C20, C66, D77
Häuserer, M. - E56
Heesemann, M. - B06, C24
Hehmann, U. - D24
Heidbach, O. - A82
Heigel, M. - B47
Heikamp, S. - C69
Heimann, S. - A66, D74
Heincke, B. - B51
Heit, B. - A54
Helm, V. - C64
Helwig, S.L. - B55, C06, C07,
C15, C16, C59, D01
- Hendricks, S. - C19, C19
Henger, M. - A24, A37
Henk, A. - A77
Henrich, R. - B19
Hensch, M. - A25
Hensen, C. - B78
Herber, R. - A67
Hermosilla, G. - B07
Hertrich, M. - C03, C57
Hese, F. - B23
Heslop, D. - E21, E24, E25,
E64
Heuer, B. - A10
Heyde, I. - B25, D35
Hilbich, C. - C20
Hilgenfeldt, Ch. - E57
Hobbs, R.W. - B51
Höcker, M. - E24, E64
Hoelzle, M. - C20
Hoffmann, W. - A03
Hofmann, D. - E20
Hofmann, S.D. - B07, B08
Hofstetter, A. - A60
Hohlfeld, Th. - D53
Holliger, K. - D21
Holtz, F. - B74
Hoppe, M. - A78
Hördt, A. - C04, C12, D03, D57
Hort, M. - A48, A84, D74
Hübert, J. - C52
Hübscher, C. - B20, B27
Huhn, K. - B21, B61
Husen, S. - A80
- Igel, J. - D04
Imren, C. - B32
Ishii, H. - D82
Itambi, A. C. - E63
Ivanov, M. - B26
Iwanowski, K. - D69
- Jacobs, F. - D09, D28, D54
Jahnke, G. - A37
Jahr, T. - A26, A50, D32, D33,
D81
Jaksch, K. - D14, D70
Janik, M. - D18
Jaskolla, B. - A74
Jegen-Kulcsar, M. - B51, B80
Jentzsch, G. - A26, A50, D82,
D83

- Jetschny, S. - D63
 Jödicke, H. - E06
 John, C. - E25
 Jokat, Ch. - A03
 Jokat, W. - A18, B02, B10, B11, B12, B35, B65, C67
 Jokisch, T. - B54, E01, E50
 Jordan, M. - A09
 Joswig, M. - A29, A31, A78
 Jung, A. - B81
 Junge, A. - D71, E53, E56
 Just, A. - D09, D28, D54

 Kaden, H. - C29
 Kahnt, W. - D27
 Kallenrode, M.-B. - E09
 Kämpf, H. - A10, D32
 Kapinos, G. - B15
 Kappes, R. - C70
 Karpfinger, F. - B42
 Kassens, H. - B31, B69
 Kaufmann, G. - A08, D15
 Kaul, N. - B06, B84
 Keil, H. - B26, B68
 Kellner, A. - B05
 Kemna, A. - D05, D25
 Kessels, W. - D30
 Kewitsch, P. - D35
 Khurana, K. - E04
 Kind, R. - A01, A05, A10, A54, A55
 Kirsch, R. - D18, D67
 Kischkies, S. - C70
 Kläschen, D. - B17, B59, B67
 Klein, C. - D69
 Klein, G. - B59
 Klinge, K. - A42, A58
 Klippel, O. - A72
 Klitzsch, N. - D29, D58
 Klotz, J. - A53
 Kneib, G. - D10
 Kneisel, C. - C66
 Knut, R. - A67
 Koch, K. - A33
 Koch, M. - A61
 Koch, O. - C15
 Kock, I. - B21, B61
 Koelling, M. - B19
 Koepke, J. - B74
 Köhler, C.M. - E24, E64
 Köhler, N. - A32

 Köhn, D. - B48
 König, M. - B02
 Kopaev, A. - D83
 Kopf, A. - A41
 Kopf, A.J. - B61
 Kopinga, K. - C29
 Kopp, H. - B13, B70
 Kopsch, C. - B33
 Korn, M. - A35
 Korte, M. - E15, E16
 Koulakov, I. - B09
 Kozhevnikov, N. - C16
 Krahmann, G. - B67
 Kraml, M. - D31
 Krastel, S. - B19, B29, B32, B64, B66
 Krause, Y. - D09, D54
 Krawczyk, C.M. - B14, B60, B62, B82, B85
 Kreiter, S. - B68
 Kresl, M. - D75
 Kreutzmann, A. - C10
 Krijgsman, W. - E24
 Kröger, J. - D67
 Kroner, C. - D32, D33, D81
 Krüger, F. - A06, A11, A39
 Krüger, K. - D11
 Krüger, O.S. - B38
 Kruschwitz, S. - D60
 Krzikalla, F. - A13
 Kugler, S. - B36, B56, B57
 Kühn, D. - A06, D72
 Kuhn, G. - B35
 Kühn, N. - A71
 Kühnicke, H. - D28
 Kukowski, N. - A53, B05, B16, B60, B62
 Kummerow, J. - C22
 Kümpel, H.-J. - A51, C23
 Küperkoch, L. - A63, A65
 Kupfer, K. - C09
 Kurrle, D. - A22, A69
 Kurz, G. - D76
 Kurzmann, A. - D73
 Kyle, P. - A84

 Laaß, D. - D55
 Landes, M. - A02
 Lange, C.D. - B07, B08
 Lange, J. - C06, C07, C59
 Langereis, C. - E64

 Lebedev, S. - A14
 Legendre, C. - A04
 Lentes, F.-T. - D56
 Letz, H. - A26, A50
 Leven, M. - A34
 Levshin, A. - A62
 Lewinsky, H.H. - E56
 Li, X. - A01, A55
 Lindhorst, S. - D65
 Lindner, U. - D28
 Lippmann, A. - D84
 Löhken, I. - C63
 Lohrmann, J. - B62
 Lorang, U. - D12
 Lorenz, B. - E02, E51
 Loske, B. - D16
 Lotze, M. - D56
 Lübke, H. - E01
 Lück, E. - D06
 Lühr, B.-G. - B09
 Lüth, S. - B14, B47, B82, B85, D11, D12, D14, D70

 Maercklin, N. - A62
 Manda, M. - E61
 Manzanares, A. - B09
 Marquardt, M. - B78
 Martin, R. - C15
 Martin, T. - D61
 Masson, F. - A04
 Mechie, J. - B14, B82, B85
 Medvedev, S. - B05
 Meeldijk, H. - E23
 Meier, T. - A14, A15, A30, A59, A63, A65, A81
 Meissner, K. - B72
 Meqbel, N. - D01
 Mertens, C. - B75, B77
 Meßinger, J. - D73
 Meyer, U. - C55, D85
 Michalk, D.M. - E18
 Micksch, U. - B14, B85
 Mielitz, S. - D11
 Miensopust, M. - A67
 Miksat, J. - A20
 Miller, H. - A18
 Mir, R. - C17
 Mjelde, R. - B59
 Mohnke, O. - D04, D07
 Mohsen, A. - A60
 Mollidor, L. - C07

- Mora, M. - A80
 Morgan, J.V. - E06
 Mueller, M. - A03
 Muench, T.W. - A61
 Mulitza, S. - E63
 Müller, B. - D74
 Müller, C. - B10, B54, B78, D12, E01, E50
 Müller, H. - E22
 Müller, M. - C03, C28, C30, C57, D07, D76
 Müller, T.M. - A13, B42, B43, C27
 Münch, H.-M. - D05

 Naujoks, M. - D33
 Neben, S. - B25
 Negendank, J.F.W. - E17, E18
 Neska, A. - C10
 Netzeband, G.L. - B20, B27
 Neubauer, F.M. - E04
 Neumann, J. - C16
 Niessen, F. - B32, B33, B35
 Nix, B. - C11
 Noell, U. - D23, D78
 Norbert, Z. - D03
 Nordsiek, S. - E52
 Notholt, J. - E09
 Nover, G. - C69
 Nowaczyk, N.R. - E17, E18, E19
 Nüsch, A.-K. - D54
 Nyari, Z. - D19

 Ochmann, N. - D31
 Oerter, H. - C67
 Ohrnberger, M. - A39, D72
 Oncken, O. - B16, B60, B62
 Oth, A. - A19
 Otto, D. - D27
 Otto, P. - D11
 Oye, V. - A70

 Paasche, H. - D21
 Panzner, M. - E58
 Papenberg, G. - B67
 Perk, M. - D80
 Petzold, G. - D55
 Pinheiro, L.M. - B59
 Planert, L. - B72, B73
 Plaumann, G. - E02, E51

 Plenefisch, T. - A12, A42, A58
 Pohl, C. - A43, A73
 Preetz, H. - D04
 Preko, K. - D77

 Rabbel, W. - A56, B13, B22, B54, B70, D12, D69, E01, E50
 Rabenstein, L. - B45
 Radic, T. - C02
 Radulian, M. - A19, A46
 Rammlmair, D. - C70
 Ranero, C. - B03
 Regenauer-Lieb, K. - D56
 Rehli, H.-J. - C18, C55, C56
 Reicherter, K. - B39, C62
 Reinhardt, J. - A25
 Reiss, S. - D18
 Reitmayr, G. - C56
 Rekant, P. - B31, B69
 Reston, T.J. - B17, B18, B59, B67, B71, B72, B73, B79
 Rhein, M. - B75, B77
 Richter, G. - A83
 Riedel, C. - A25
 Rietbrock, A. - B07, B08
 Rifai, H. - C70
 Ringdal, F. - A07
 Rings, J. - D77
 Rische, M. - A59, A81
 Ritter, J.R.R. - A02, A09, A44, A45, A46, A74, A75
 Ritter, O. - B01, B81, C50, C52
 Ritzwoller, M. - A62
 Rodemann, H. - D50
 Rommel, I. - C01
 Rößler, D. - A11
 Rother, M. - E61
 Rothert, E. - A28
 Röttger, B. - C56
 Rücker, C. - D02, D09, D28, D52, D53, D54
 Rühaak, W. - D22
 Rumpel, H.-M. - D67, D68
 Rumpker, G. - A11, A60, A64
 Russell, C. - E04
 Rust, S. - D62
 Rüter, H. - B55

 Saenger, E.H. - B37, B38, B41
 Safanda, J. - D75
 Salat, C. - D71, E53

 Sandhäger, H. - C05, E54
 Saul, J. - A38, A40
 Saur, J. - E04
 Schaaf, P. - E17
 Schachtschneider, R. - E61
 Schaefers, M. - B34
 Schäfer, J. - A64
 Scharff, L. - D74
 Schaumann, G. - C56
 Scheer, W. - D67
 Schenke, H.W. - B35
 Scherbaum, F. - A71, B07, D72
 Scherler, M. - C20
 Scherwath, M. - B84
 Scheuermann, A. - D77
 Schicht, T. - D28
 Schick, A. - A37, A79
 Schikowsky, P. - B39, B53, C62
 Schildknecht, F. - D69
 Schlesinger, A. - B22
 Schlindwein, V. - B10
 Schlittenhardt, J. - A61
 Schmähling, F. - D51
 Schmalholz, J. - D07, D25
 Schmerle, J. - C70
 Schmidt, H. - C56
 Schmidt, S. - B23, D84
 Schmidt-Aursch, M.C. - A18
 Schmieder, F. - E57
 Schmucker, U. - C13
 Schneider, S. - E56
 Scholl, C. - C15, C17
 Schönfelder, W. - C29, D54
 Schoolmeester, T. - C25
 Schudel, L. - C20
 Schüler der Anna Schmidt
 Schule Frankfurt - E56
 Schulz, H.D. - B19
 Schulz, R. - D22
 Schulz, S. - A63
 Schulze, A. - A17, B14, B85
 Schulze, E. - D28
 Schulze, K. - E09
 Schünemann, J. - D66, D67
 Schwalenberg, K. - C17
 Schwandt, A. - D28
 Schwarzbach, C. - C14, D51
 Schweitzer, J. - A06, A07, A62
 Schwenk, T. - B31, B69
 Sèbe, O. - A75
 Serfling, U. - A47, D28

- Seyfried, R. - A48
 Shapiro, N. - A62
 Shapiro, S.A. - A28, B14, B37, B38, B41, B45, B83, B85, C22, C23
 Sharma, S.P. - C53
 Shevkunova, E. - B09
 Sick, C.M.A. - B83
 Siebert, I. - A34
 Siebert, M. - A34
 Siedow, N. - D56
 Siemon, B. - C18, C55
 Sinnhuber, M. - E09
 Sobisch, H.-G. - D80
 Soffel, H.C. - E03, E55
 Sohl, F. - E58
 Sokolov, V. - A20
 Spangenberg, U. - D06
 Spicak, A. - A16
 Spies, T. - A32
 Spieß, V. - B18, B29, B30, B31, B63, B66, B69, B79
 Spitzer, K. - C14, C53, C60, D51, D62, D63, E58
 Staackmann, M. - A57
 Stadelmann, J. - E59
 Stadtler, C. - D31, D69
 Stallmach, F. - C29
 Stammler, K. - A42
 Stange, St. - A36, A43, A73, A77
 Steffen, H. - A08, A34
 Stegmann, S. - A41
 Steinhage, D. - C67, C68
 Steinhilber, F. - E09
 Stemmer, K. - E11
 Steuer, A. - C18, C55, D67
 Stiller, M. - B14, B82, B85
 Stöber, U. - B75, B77
 Stoffregen, H. - D25
 Strahser, M. - D69
 Strasser, M. - A41
 Strehl, S. - C30
 Stribrny, B. - A73, A77
 Südekum, W. - D08
 Sudhaus, H. - A44
 Suhr, W. - B52
 Swoboda, U. - D16

 Talukder, A. - B17
 Tasárová, Z. - B82

 Temmler, T. - B25, B78
 Tezkan, B. - B55, C11, C15, C16, C54, C63, D01, D80
 Theilen, Fr. - B22
 Thiemer, M. - C12
 Thoelen, M. - A67
 Thomas, R. - B40
 Tillmann, A. - D19
 Tilmann, F. - B73
 Toker, M. - B32
 Trehu, A. - C24
 Triebe, H. - D58
 Trinks, E. - C09
 Tronicke, J. - D21

 Uchtmann, S. - D28
 Uenzelmann-Neben, G. - B28
 Ullmann, A. - D62
 Uschkerat, U. - C04

 Vanderborcht, J. - D19
 Vanek, J. - A16
 Vanelle, C. - B44, B46
 Vasterling, M. - D63
 Vereecken, H. - D05, D19
 Vergne, J. - A04
 Villinger, H. - B06, B76, C24
 Visbeck, M. - B67
 Vöge, M. - A48, A84, D74
 Vogt, J. - E07, E08, E09
 Vogt, T. - B19, B66
 Völsch, I. - C20
 von Dobeneck, T. - E22, E23, E24, E25, E57, E63, E64
 von Gronefeld, G. - C05
 von Steht, M. - A74
 Voß, M. - B11

 Wagner, D. - B13, B70
 Wagner, G. - B67, B71
 Wagner, N. - C09, D53
 Wagner-Friedrichs, M. - B26
 Wallmann, K. - B78
 Walter, M. - B75, B77, D17
 Walther, M. - A12
 Wang, R. - A01
 Wardinski, I. - E15
 Watkeys, M. - B02
 Wdowinski, S. - A53
 Weber, M. - A17
 Weckmann, U. - B01, B81

 Wedeken, U. - A34
 Weidelt, P. - E59
 Weidle, CH. - A62
 Weigelt, E. - B28
 Weihnacht, B. - D20
 Weihrauch, S. - D16
 Weinrebe, W. - B03, B73
 Weise, A. - D33
 Weller, A. - D59, E52
 Wendt, G. - E01, E50
 Wendt, S. - A35, A40
 Wenzel, F. - A19, A20, A46, A76
 Werban, U. - D26, D69
 Werner, B. - B35
 Wessling, S. - D30
 Westbrook, G. - B59
 Westerhaus, M. - A82
 Wetzig, E. - A42
 Wichert, S. - B55
 Wicht, J. - E14
 Widmer-Schnidrig, R. - A22, A69
 Wiebe, H. - C54
 Wiederhold, H. - D67, D68
 Wigger, P. - B14, B82, B85
 Wilhelms, F. - C68
 Wilhelms, W. - C50
 Wilke, T. - D56
 Willoughby, E.C. - C17
 Winkler, H. - E09
 Winter, S. - A67
 Wirth, W. - A46
 Witte, C. - D16
 Witte, S. - C24
 Wittwer, A. - B13, B70
 Wölbern, I. - A54, A64
 Wölz, S. - B54, E01, E50
 Wonik, T. - C25, D28, D67
 Wünnemann, K. - E06
 Wylegalla, K. - A40
 Wynn, R.B. - B19

 Yancheva, G. - E19
 Yaramanci, U. - C01, C03, C28, C30, C57, D07, D25, D76
 Yoon, M. - B50
 Yuan, J. - C17
 Yuan, X. - A01, A54, A55

Zanoth, S.R. - B38
Ziegenhagen, T. - B14, B85
Zieger, B. - E07, E08
Zimmermann, E. - D05
Zisser, N. - C69
Zöllner, H. - B39, B53
Zühlsdorff, L. - B19, B63



- SFG** Tagungsort der DGG 2006 (Seminar- und Forschungsverfügungsgebäude)
- HS** Großer Hörsaal (»Keksdose«)
- GEO** Fachbereich Geowissenschaften
- Marum** Sitz des Marum und des DFG-Forschungszentrums »Ozeanränder«
- SuUB** Staats- und Universitätsbibliothek (am Boulevard)
- GH** Glashalle (gegenüber SuUB; Straßenbahn-Haltestelle, Kiosk, Zeitschriften, Friseur, Geldautomat, Schreibwaren, Café, etc.)



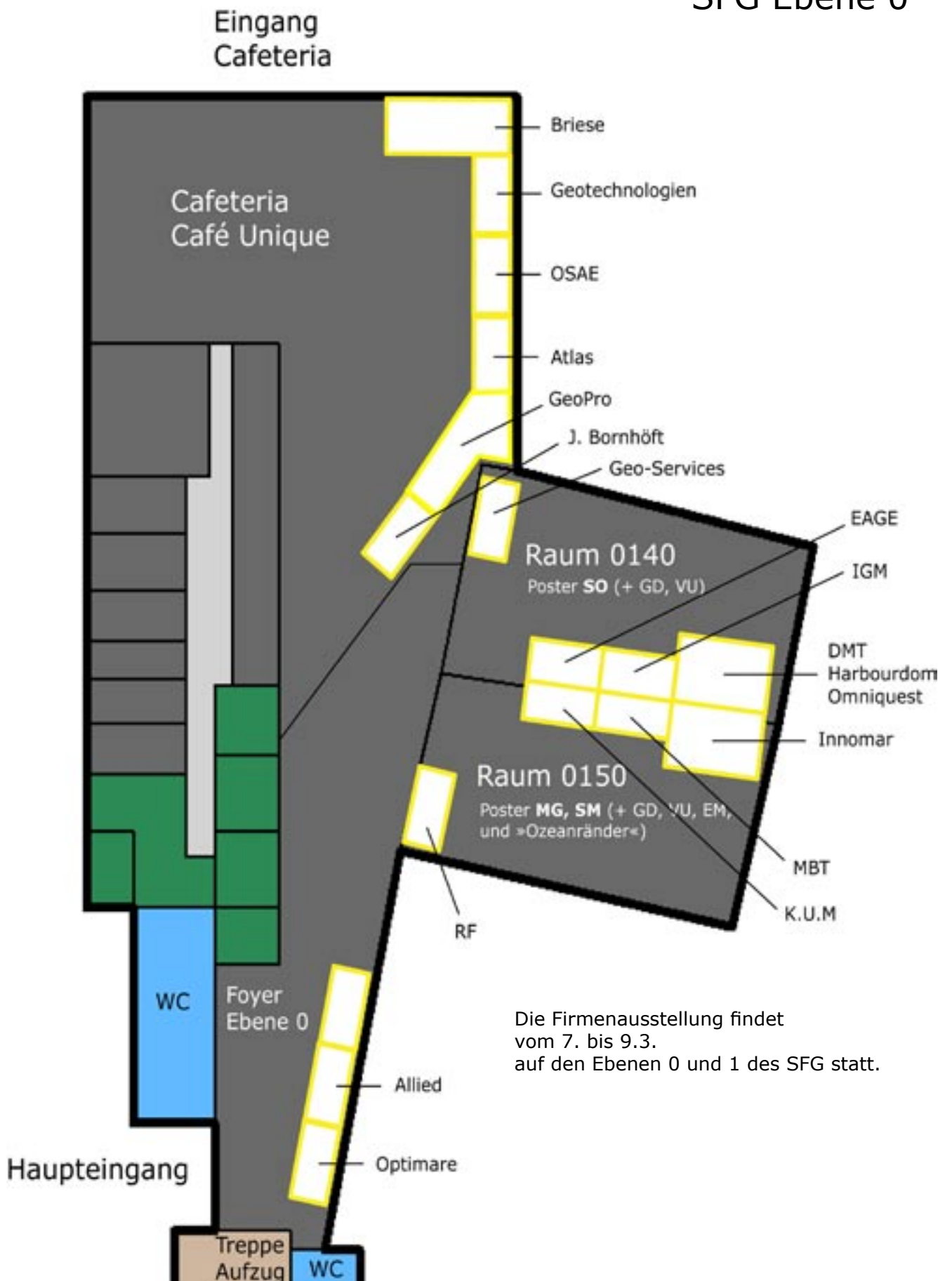
Vom Tagungsort (SFG) aus sind es nur wenige Gehminuten zum Fallturm (nördlich) oder zum Univer-sum Science Center (westlich). Es gibt gute Verbindungen mit öffentlichen Verkehrsmitteln in die Innenstadt. Mit der Straßenbahnlinie 6 von der Haltestelle Universität/Zentralbereich (an der Glashalle, GH) Richtung Flughafen dauert es etwa 15 Minuten bis zum Hauptbahnhof und 20 Minuten bis zum Zentrum (Haltestelle Domshof). Weiter hinten finden Sie die Fahrpläne der Linie 6.

Gastronomie in der Nähe des Tagungsortes

	Wo?	Wann?	Was?
Mensa der Universität www.studentenwerk-bremen.de	Zentralbereich der Uni, am Boulevard	Mo. - Fr. 11:30 - 14:00	Standard: Essen 1 und 2; Tagesangebote aus Wok & Pfanne, Vegetarisches, Pasta, Aufläufe, Suppen, Salatbuffet, Dessertauswahl. Gerade ausgezeichnet als beste Mensa Deutschlands!
Café Central www.studentenwerk-bremen.de	Zentralbereich der Uni, direkt neben der Mensa	Mo. - Fr. 8:00 - 17:00	Belegte Brötchen, Baguette, Kleingebäck, Kuchen, Torten, Süßwaren, Eis, Snacks, Salatbuffet und Dessertauswahl
GW2-Cafeteria www.studentenwerk-bremen.de	Zentralbereich der Uni, GW2-Gebäude (direkt neben dem Tagungsort SFG; Haupttresen auf der unteren, Boulevardtresen auf der oberen Ebene)	Haupttresen : Mo. - Do. 8:00 - 17:15 Fr. 8:00 - 14:30 Boulevardtresen: Mo. - Do. 9:30 - 15:30 Fr. 8:30 - 13:00	Belegte Brötchen, Baguette, Kleingebäck, Kuchen, Süßwaren und Eis, Salate, Suppen, Snacks; Wöchentlich wechselndes Angebot für den kleinen Geldbeutel.
Hoyer's Unikum www.studentenwerk-bremen.de	Zentralbereich der Uni, in der Glashalle	Mo. - Fr. 11:00 - 21:00	Verschiedene Tagesgerichte, Snacks
Café Unique	SFG Cafeteria, direkt im Tagungsgelände	Mo. - Do. 9:00 - 18:00 Fr. 9:00 - 16:00	Verschiedene Tagesgerichte, belegte Brötchen, Kuchen
BioBiss	GW1-Gebäude, Raum 0010	Mo. - Fr. 9:00 - 14:00	Vollwertküche. Drei Tagesgerichte, Salate, belegte Brötchen, etc.
Quarkstube	NW1-Gebäude, Erdgeschoß	Mo. - Fr. 9:00 - 17:00	Drei Tagesgerichte, Salate, belegte Brötchen, Gebäck
Kismet (Imbiss)	Zentralbereich, vor dem großem Hörsaal	Mo. - Fr. 12:00 - 18:00	Türkische Pizza, Rollo, Pita, etc.
Haus am Walde www.hausamwalde-bremen.de	Kuhgrabenweg 2; zwischen Universum, Unisee und Stadtwald	So. - Do. 10:00 - 2:00 Uhr Fr. - Sa. 10:00 - 3:00 Uhr	Frühstück, Mittagstisch, Restaurant, Biergarten
Restaurant Campus www.restaurant-campus.de	im Atlantik Hotel neben dem Universum	täglich 12:00 - 22:30 Uhr	Frühstück, Mittagstisch, Kuchen
del bosco www.hotel-munte.de	Parkallee 299 (im Hotel Munte)	täglich 12:00 - 14:30 Uhr 18:00 - 23:30 Uhr	Italienische Küche
visàvis www.hotel-munte.de	Parkallee 301 (am Hotel Munte)	Mo. - Fr. 9:00 - 20:00 Uhr	Eis, Snacks, Sandwiches
Café Rot www.caferot.de	Wiener Str. 5	Mo. - Fr. 7:00 - 14:30 Uhr	Frühstück bis 11:30 Mittagstisch ab 11:30

Raumpläne des Tagungsgebäudes SFG

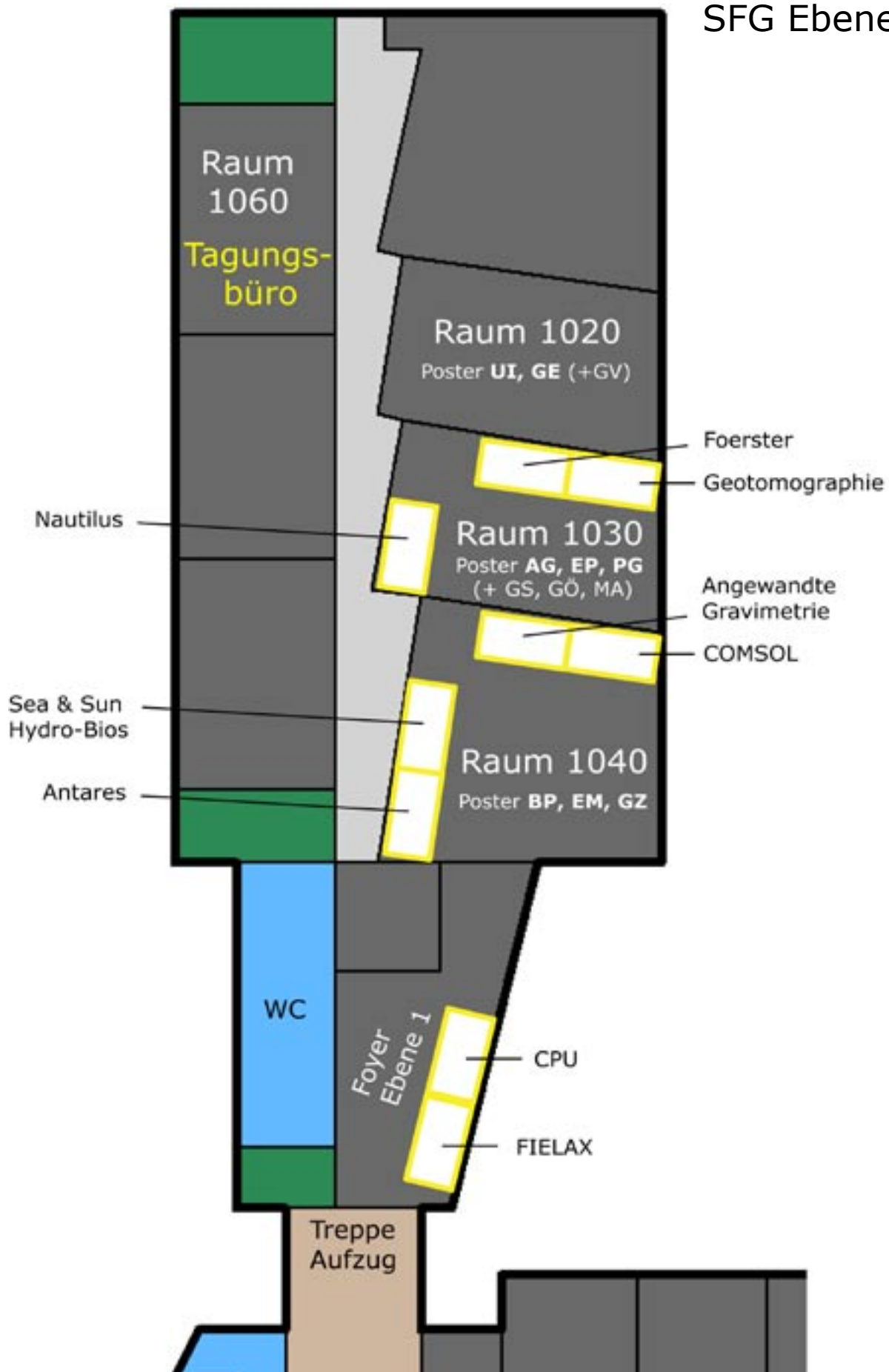
SFG Ebene 0



Die Firmenausstellung findet vom 7. bis 9.3. auf den Ebenen 0 und 1 des SFG statt.

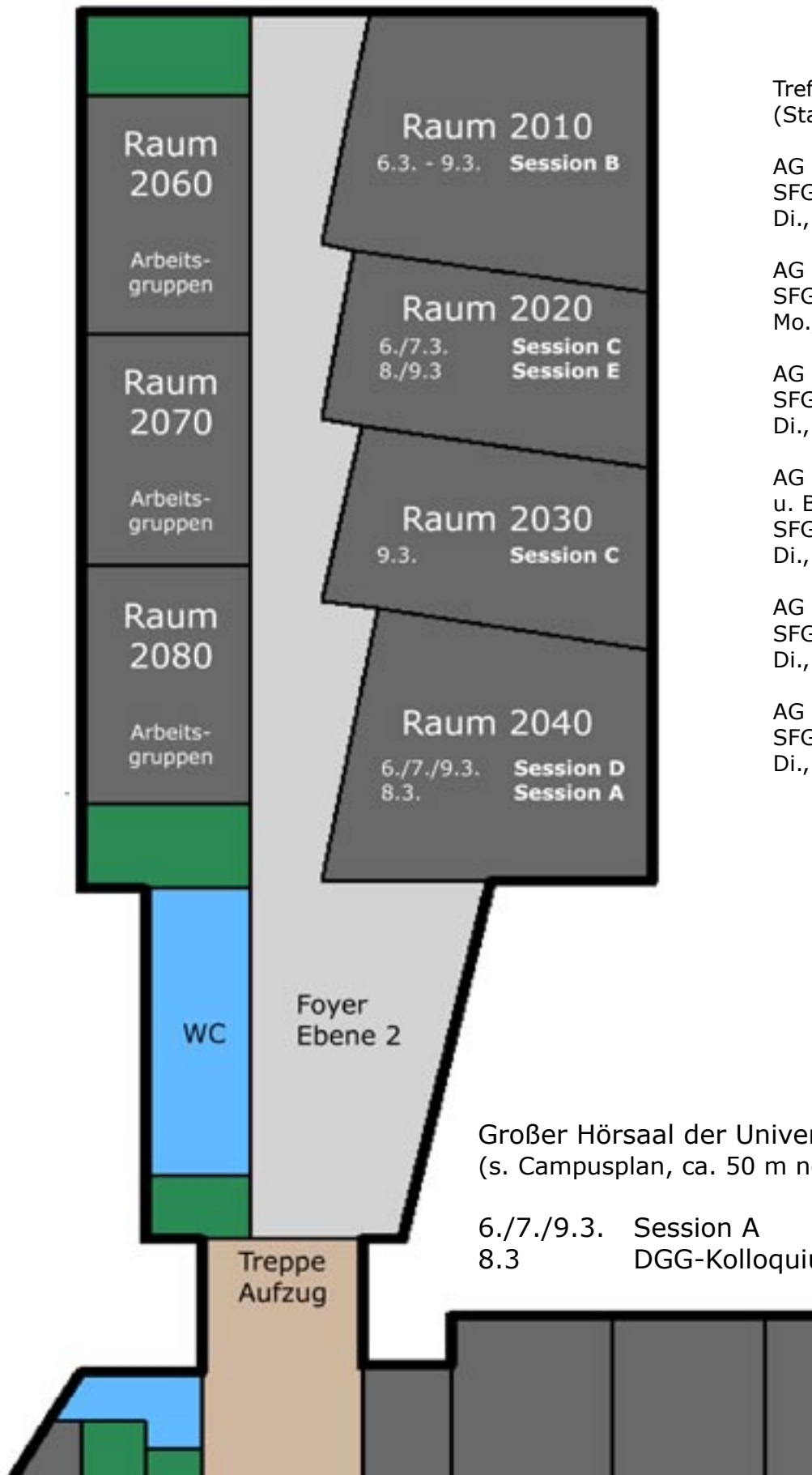
Raumpläne des Tagungsgebäudes SFG

SFG Ebene 1



Raumpläne des Tagungsgebäudes SFG

SFG Ebene 2



Treffen von Arbeitsgruppen
(Stand 16.2.2006)

AG Marine Geophysik
SFG 2060
Di., 7.3., 16:00 - 18:00

AG Seismologie
SFG 2060
Mo., 6.3., 18:00 - 19:00

AG ASFA
SFG 2060
Di., 7.3., 18:00 - 19:00

AG Geophysikalische Mess-
u. Beratungsunternehmen
SFG 2070
Di., 7.3., 15:00 - 17:00

AG Induzierte Polarisation
SFG 2070
Di., 7.3., 18:00 - 19:00

AG Publikationen
SFG 2080
Di., 7.3., 18:00 - 19:30

Großer Hörsaal der Universität
(s. Campusplan, ca. 50 m nördlich vom SFG)

6./7./9.3. Session A
8.3. DGG-Kolloquium »Georadar«

Straßenbahn Fahrplan

Straßenbahnlinie 6 - Haltestelle Universität / Zentralbereich (Glashalle),
Richtung Flughafen über Hauptbahnhof, Zentrum (Domsheide)

6
Bahn

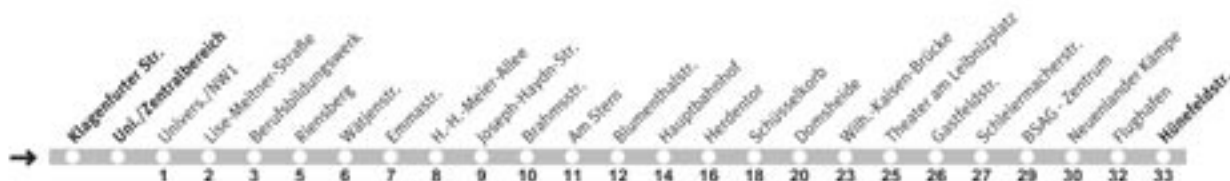
Abfahrt ab Uni./Zentralbereich
über Riensberg
Hauptbahnhof
Domsheide
Theater am Leibnizplatz
Richtung Hünefeldstr.

Gültig vom 08.10.2005 bis 31.03.2006



Uhr	Montag-Freitag	Samstag	Sonn-/Feiertag	Uhr
4				4
5	01 16 31 58			5
6	08 18 38 48 58			6
7	08 16 ^K 18 23 28 36 ^K 38 43 48 56 ^K 58	58		7
8	01 ^K 03 08 16 ^K 18 23 ^K 23 28 36 ^K 38 43 48 56 ^K 58	18 38 58	44	8
9	03 08 16 ^K 18 23 28 36 ^K 38 43 48 58	08 18 28 38 48 58	14 38 58	9
10	08 18 28 38 48 58	08 18 28 38 48 58	18 38 58	10
11	08 18 28 38 48 58	08 18 28 38 48 58	18 38 58	11
12	08 _a 08 18 28 38 48 58	08 18 28 38 48 58	18 38 58	12
13	08 16 _a 18 28 38 48 58	08 18 28 38 48 58	18 38 58	13
14	08 18 28 38 48 51 ^K 59 _a 58	08 18 28 38 48 58	18 38 58	14
15	03 08 16 ^K 18 23 28 36 ^K 38 43 48 56 ^K 58	08 18 28 38 48 58	18 38 58	15
16	03 08 16 ^K 18 23 28 36 ^K 38 43 48 51 ^K 59 ^K 58	08 18 28 38 48 58	18 38 58	16
17	03 08 16 ^K 18 23 _a 28 33 ^K 38 43 _a 48 53 _a 58	08 18 28 38 47 _a 58	18 38 58	17
18	03 _a 08 13 _a 18 23 _a 28 33 ^K 38 43 _a 48 53 ^K 58	07 _a 18 28 _a 38 58	18 38 58	18
19	03 _a 08 18 28 38 48 58	18 38 58	18 38 58	19
20	08 18 23 _a 38 43 _a 58	18 38 58	18 38 58	20
21	18 38 58	18 38 58	18 38 58	21
22	18 38 49	18 38 49	18 38 49	22
23	08 37 _a	08 37 _a	08 37 _a	23
0	07 _a 22 _a	07 _a 22 _a	07 _a 22 _a	0

K = Kein Niederflurfahrzeug
 ■ = bis Hauptbahnhof
 ■ = in der Zeit vom 10.10.05 - 16.12.05 und vom 09.01.06 - 10.02.2006/
 □ = nicht freitags
■ = als 6E bis Geschäftsstelle Neustadt
 a = bis Schleiermacherstr.



Straßenbahnlinie 6 - Haltestelle Domsheide (im Zentrum; ab Hauptbahnhof etwa 5 Minuten später), Richtung Universität / Zentralbereich (Glashalle)

6

Bahn

Abfahrt ab Domsheide
über Hauptbahnhof
Riensberg
Richtung Klagenfurter Str.

Gültig vom 01.04.2006 bis 14.10.2006



Uhr	Montag bis Freitag	Samstag	Sonn- und Feiertag	Uhr
4	24 _b 40 53	24 _b 40 _b		4
5	08 23 30 _b 38 53 54 _b	00 _b 20 _b 40 _b		5
6	08 10 _b 19 29 39 ^K ^{ac} 49 ^K 59	00 _b 20 _b 40 _b	24 _b 54 _b	6
7	^K 09 ^{ac} 19 ^K 29 ^{ac} 39 ^K 49 ^{ac} 59	00 _b 20 26 _b 40	24 _b 54	7
8	^K 09 ^{ac} 19 ^K 29 ^{ac} 39 ^K 49 ^{ac} 59	00 20 40 50	01 _b 24 54	8
9	^K 09 14 _a 19 24 _a 29 34 _a 39 ^{ac} 44 _a 49 59	00 09 19 29 39 49 59	24 40	9
10	09 19 29 39 49 59	09 19 29 39 49 59	00 20 40	10
11	09 19 29 34 _a 39 49 59	09 19 29 39 49 59	00 20 40	11
12	09 19 29 39 44 _a 49 59	09 19 29 39 49 59	00 20 40	12
13	09 19 29 39 49 59	09 19 29 39 49 59	00 20 40	13
14	09 19 24 29 39 49 54 59	09 19 29 39 49 59	00 20 40	14
15	04 _a 09 14 19 24 _a 29 34 39 44 _a 49 54 59	09 19 29 39 49 59	00 20 40	15
16	02 _a 06 _a 09 14 19 24 _a 29 34 39 44 _a 49 54 _d ^{ac} 59	09 19 29 39 49 59	00 20 40	16
17	04 _{de} 04 _{ac} 09 14 _d ^{ac} 19 24 _d 24 _{ce} 29 34 _{de} 39 44 _{de} 49 54 _{de} 59	09 19 29 39 49	00 20 40	17
18	04 _{de} 09 14 _{de} 19 24 _{de} 29 34 _{de} 39 49 59	00 20 40	00 20 40	18
19	09 19 29 39 49 59	00 20 40	00 20 40	19
20	09 19 29 40	00 20 40	00 20 40	20
21	00 20 40	00 20 40	00 20 40	21
22	00 20 40 54	00 20 40 54	00 20 40 54	22
23	24 54	24 54	24 54	23
0				0

- = Fahrten nach 23 Uhr RL. Kulenkampffallee/Riensberg finden Sie im Fahrplan der Nachtlinie N3
- K** = Kein Niederflerfahrzeug
- = bis Bürgerpark
- a** = bis Hauptbahnhof (Bstg I)
- ac** = bis Hauptbahnhof (Bstg F)
- = bis Hbf / weiter wie Linie 1 bis Geschäftsstelle Neue Vahr

- = bis Herdentor
- b** = bis Riensberg
- c** = freitags
- d** = nur montags bis donnerstags
- e** = nur vom 19.04.2006 bis 25.07.2006
- f** = nur von 19.04.2006 bis 25.07.2006 / weiter bis Bürgerpark!

