



62. Jahrestagung

der

**Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft
im Jahr der Geowissenschaften**

3.–8. März 2002 in Hannover

Recommended citation

Deutsche Geophysikalische Gesellschaft (Ed.) (2002): 62. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft im Jahr der Geowissenschaften: 3. März bis 8. März 2002 in Hannover, Hannover: Leibniz Universität, 312 p.
DOI: <http://doi.org/10.2312/dgg62>
ISSN: 0344-7251

Abstracts der DGG - Tagung Hannover, 3.3.-8.3 2002

Abu-Ayyash, K.	GD12
Abueladas, A.	GDP11
Agnon, A.	GDP12
Al-Amoush, H.	GDP11
Alheid, H.J.	UIP01
Alinaghi, A.	SO09
Alteköster, C.	SOP30
Andreescu, M.	GRP01
Asch, G.	SOP06 , SOP41 , SOP42
Aschmann, L.	BPP02
Atakan, K.	SO04
Böker, F.	VUP06 , VUP02
Bönnemann, C.	MG18 , MG19 , MG13
Börner, F.	BPP04 , HG07
Börner, R.-U.	GEP01 , GEP05 , GE06 , GEP03
Börngen, M.	GS02
Büttner, K.	UIP03
Bach, T.	GDP07
Bahloul, F.	GE12
Baisch, S.	BP04 , SO18
Barckhausen, U.	MGP06 , MGP05 , MG15
Bartels, J.	BPP05
Barth, A.	SO13
Bartov, Y.	GDP08
Bataille, K.	SOP41
Batzle, M.L.	BP01
Bauer, K.	MG11
Baumann, C.	GRP01
Baumbach, M.	SOP03
Beblo, M.	EMP01
Becken, M.	EMP04 , EMP03
Behain, D.	MGP06 , MG18 , MGP05
Beilecke, T.	SMP05
Ben-Avraham, Z.	GD12
Ben-Zion, Y.	SOP18 , SMP06
Berckhemer, H.	GDP02

Berhorst, A.	MGP07
Berndt, H.	SM02
Berthold, S.	BPP04
Bethmann, F.	SOP19
Bialas, J.	MGP01 , MGP09 , MGP08 , MG14 , MG15
Binot, F.	GE13
Björnsson, A.	EMP01
Blake, T.A.	GDP05
Blaschek, R.	EMP06
Boatwright, J.L.	SOP03
Bock, G.	SO09 , SO12 , SOP03 , GDP06 , GD13 , GDP04 , SO03
Bohlen, T.	SMP05 , MG03 , MGP02
Bohm, M.	SOP41 , SOP42
Bohnhoff, M.	BP05 , SO18
Bohrmann, G.	MG01
Bokelmann, G.	GDP04
Borm, G.	SMP05
Bormann, P.	SOP02 , SOP03 , SOP04 , SOP01 , SOP11 , SOP07 , SOP05
Brüstle, W.	SO15
Bram, K.	SMP05
Braunmiller, J.	SO04
Breitzke, M.	MGP01
Bribach, J.	SMP01 , SOP05
Brietzke, G.	SOP18
Broser, A.	MGP09
Bruhn, B.	SOP41
Bruhn, C.	SOP42
Buckup, K.	BP02
Buckup, M.	BP02
Buckup, P.	BP02
Budweg, M.	GDP06
Budzinski, D.	UIP01
Buness, H.	MS06
Burkhardt, H.	EMP04 , BPP03
Buske, M.	GD01
Buttkus, B.	VUP02
Byrdina, S.	VU01
Canty, M.	SOP28
Casten, U.	HG02
Ceranna, L.	SO18
Charvis, P.	MGP08

Choy, G.	SOP03
Christensen, U.	GD01 , MA01 , MA03
Clauser, C.	GR03 , BPP05 , GR01 , HG08
Collot, J. Y.	MGP08
Commer, M.	EM05 , VU04 , EMP07
Cooper, R.	SM07
Dahl-Jensen, T.	GDP07
Dahm, T.	SM12 , SOP43
Damm, V.	EM07
Danckwardt, E.	GE07 , GE08
Dannowski, A.	HG07
Danuor, S. K.	GDP02
Davis, E.E.	BP03
Dawes, G.	EMP02
DeNil, D.	UIP04
Deetjen, H.	GR01 , HG08
Demetrescu, C.	GRP01 , GR02
Deneke, E.	MG18
Dietrich, K.	SO19
Dietrich, P.	UI01 , GE01
Djajadihardja, Y.	MG17
Doan Van Tuyen	AGP03
Dobrica, V.	GRP01 , GR02
Dole, J.	MGP07
Dost, B.	SOP10
Drozdowski, G.	SOP30
Druivenga, G.	SMP05
Duennebier, F.	GDP05
Durst, H.	SMP10
Eagles, G.	MGP12
Ebbing, J.	GG02
Eberle, D.	GR04 , HGP04
Edeler, H.	EM11
Edwards, N.	EM10 , EM12
Einarsson, P.	SO16
Eisenblätter, J.	UIP01 , UIP02 , UIP03 , SM12
Eisenburger, D.	EM07 , EM08
Eisenreich, M.	AGP02 , UI04
El-Kelani, R.	GDP12 , GDP10 , GDP09 , GD12
Endrun, B.	SOP15 , SO18
Ene, M.	GRP01

Engdahl, E.R.	SOP02
Engelhard, L.	BPP03
Enns, A.	GD08
Ewald, M.	SOP32
Exß, J.	SOP17 , SOP16
Füllekrug, M.	MA10
Faber, E.	VUP03 , VUP02
Fedorova, T.	GD05
Fekete, N.	MGP08
Fieberg, F.C.	MA06 , MA11
Fiedler-Volmer, R.	EMP04
Fischer, D.	SMP05
Fischer, K. D.	SOP16 , SOP17
Fischer, T.	SO06
Flüh, E.R.	MGP07 , MGP08 , SM03 , MGP13 , MGP14 , MG13
Flechsigt, C.	VUP01 , VU06
Fleige, H.	UIP09
Fohrmann, M.	SMP06
Forbriger, T.	SM13 , GD04
Frank, A.	SMP05
Franke, A.	GEP01
Franke, D.	MGP06 , MGP05 , MG11 , MG12
Fraser-Smith, A. C.	MA10
Friborg, R.	HG01
Friedel, S.	GEP02 , GE05 , VU01
Friederich, W.	SO10
Friedlein, V.	SOP30
Frieslander, U.	GDP08
Fruehn, J.	SM05
Fuis, G. S.	SMP08
Funke, S.	SO10
Furche, M.	BPP06
Futterer, B.	GEP05
Fyen, J.	SOP09
Gómez, D.	VUP02
Götze, H.-J.	GG03 , GG01
Günther, Th.	GEP04
Gabriel, G.	HGP03 , HG03
Gaedicke, Ch.	MG17
Gaensicke, H.	SOP22
Garcon, G.	VUP03

Gardei, A.	UI07
Garfunkel, Z.	GDP09
Gaw, V.	MGP03
Gebrande, H.	SMP05
Gemail, Kh.	UI03
Geschwinde, M.	AGP01
Gestermann, N.	SOP24
Gierse, G.	SM01
Giese, R.	SMP05
Goertz, A.	SMP07
Gohl, K.	MGP12
Goldbeck, J.	HGP05
Golden, S.	EMP01
Grünthal, G.	SO03
Graupner, S.	VU09
Gregersen, S.	GDP07
Greinwald, S.	VUP05 , VUP02
Grevemeyer, I.	GD07 , MG13
Grinat, M.	GE13
Grosfeld, K.	MG02
Grosser, H.	SOP03
Gundelach, V.	EM08
Gutdeutsch, R.	SOP14
Höhne, F.	GR01 , HG08
Hölz, S.	EMP04
Hördt, A.	EMP06 , VU04
Haak, V.	GDP11
Haas, C.	EM13 , EM11
Haberland, C.	GDP12 , GDP10 , MGP10 , SOP40
Hainzl, S.	SO06
Hampel, A.	MGP09 , MG14 , MG15
Han, D.-H.	BP01
Hanka, W.	GD13 , SOP07 , GDP07
Hanstein, T.	EMP05
Haris, A.	SM03
Harjes, H.-P.	BP04 , BP05 , SOP15 , SO19 , SO18
Harms, F.-J.	MS01
Hartmann, A.	GR03 , GR01 , HG08
Hartmann, G.	SO25 , SOP25
Hasenclever, J.	SMP05
Hauck, C.	UIP05 , GE10

Hauksson, E.	SMP08
Havskov, J.	SOP10 , SOP08
Heesemann, M.	BP03
Heinse, R	GE07
Helbig, K.	VU01
Hellweg, M.	VUP04 , VU09 , VUP02
Helwig, S.	VU03 , EMP05 , VU04 , EMP07 , EM06
Hemmann, A.	SO05
Henger, M.	SOP24 , SO25
Henke, C.H.	KO04
Hergarten, S.	UI08
Hertrich, M.	HGP05
Hertweck, Th.	SM04
Hese, F.	GG01
Hesser, J.	UIP03
Heuer, B.	SOP36
Hildenbrand, T. G.	SMP08
Hinz, K.	MGP05 , MG11 , MGP04
Hinzen, K.-G.	SOP32 , SO01 , SOP31
Hoffmann, N.	EM02 , EM01
Hoffmann, R.	GE01
Hofmann, R.	BP01
Hofstetter, A.	SO12 , GD13
Hoinkis, H.	AGP01
Holcomb, L.G.	SOP07
Holme, R.	MA09 , MA05
Horejschi, L.	EM02 , EM01
Horn, F.	GDP07
Hort, M.	VU02 , GD09 , VU07
Huebscher, C.	MG15
Hunfeld, U.	SOP24
Ibrahim, Sh.	UI03
Iffland, J.	BPP05
Igel, H.	SOP18 , SOP32 , SMP06 , SOP23 , SOP20 , SOP19 , SOP21 , SOP39
Ismail-Zadeh, A.	GD11
Jäckel, K.-H.	SMP01
Jäger, Ch.	SM04
Jödicke, H.	EM02 , EM01 , MG07
Jacob, A.W.B.	GDP05
Jacobs, F	GE08
Jacobs, F.	GS02 , BPP02 , UIP07 , VUP01

Jacoby, W.R.	GD05 , GD10 , GS07 , MS07 , MS05
Jahnke, G.	SMP06 , SOP20
Jahr, T.	UIP06
Janle, P.	GDP02
Jansen, D.	GE09
Jaya, M.	UIP05
Jegen, M.	EM10 , EM12
Jenett, M.	EM07
Jensen, S. L.	SO04
Jokat, W.	MG08 , MGP04 , MG09 , MG10
Jones, I.F.	SM05
Jordan, M.	SO13
Joswig, M.	SO20
Jung, A.	GDP11
Junge, A.	EMP01 , EMP02 , GE14 , EM03
Just, A.	GE07 , BPP02
Kück, J.	SMP05
Kühn, M.	BPP05
Kürschner, D.	GE07
Kaiser, D.	SOP14 , UIP06
Kampke, A.	AGP01
Kapinos, G.	MG07
Karp, T.	GDP02
Kaselow, A.	SMP07
Kaufmann, G.	GD06
Kendall, J.-M.	SMP04
Kesten, D.	GDP08
Kiesl, C.	KO02
Kind, R.	SO09 , SOP02 , SO22 , SO11 , GD13 , GDP05 , GDP07 , SO21 , SO24
Kirsch, R.	GR04 , HG01 , HG03
Kito, T.	SO23
Klaeschen, D.	SM03 , MGP13 , MGP14
Klaucke, I.	MG01
Klein, G.	MG03 , MGP02
Klemann, V.	GDP01
Klemperer, S.	GDP04
Klinge, K.	SOP36 , SOP25 , SOP11 , SO08
Knabenbauer, O.	SO18
Knieß, R.	GE08
Koch, K.	SO26 , SOP27 , SO14 , SOP26
Koch, M.	HG06 , SO26

Koch, O.	VU03
Koelle, A.	SM05
Kopera, J.R.	SO27
Korn, M.	GS02
Kosim	BP08
Kottke, B.	BP09 , MG04
Krüger, F.	SOP42 , SO23 , SO08
Krüger, O. H.	SM08 , SMP03
Krüger, U.	BPP01
Krüger-Reimer, B.	HG06
Kradolfer, U.	SOP27
Krajewski, P.	KO01
Krause, M.	UI07
Krawczyk, C.	GDP13
Kreutzmann, A.	EMP02 , GD03
Krieger, M.H.	KO04
Kruschwitz, S.	UIP10
Kruspe, T.	KO02
Kugler, S.	MG03 , MGP02
Kukowski, N.	MGP09 , MG14 , MG15
Kulenkampff, J.	BPP02 , UIP07
Kummerow, J.	SO11
Kurz, G	UIP07
Kutzner, C.	MA01
Kvaerna, T.	SOP09
Lück, E.	AGP02 , UI04
Lühr, H.	MA08 , MA09
Lüschen, E.	SMP05
Lahrman, B.	MG07
Lange, G. ,	HGP02 , HGP05
Lange, M. A.	MG02
Larsen, T.B.	GDP07
Lee, W.H.K.	GS01
Lehmann, K.	SOP30
Leitchenkov, G.	MGP04
Lentz, H.	EM07
Leven, M.	BP07 , BP06
Leydecker, G.	SO27
Li, X.	GDP05
Li, Y.	GE02 , GE03
Lindner, H.	BP08

Lobach, J.	EM11
Lorenzani, S.	GD02
Lowe, C.	GD10
Lutter, W. J.	SMP08
Müller, B.	GD11
Müller, C.	MS07 , MG19
Müller, K.	SM02 , MG20
Müller, M.	BPP01 , UIP13 , UI02
Maercklin, N.	GDP12 , GDP10
Maierhofer, Ch.	UI07
Manthei, G.	UIP02 , SM12
Marquart, G.	GD04 , GDP03
Martin, R.	EMP07
Martin, S.	MGP10
Maus, S.	MA08
Mayer, P.	MGP15
McIntosh, K.	MGP07
Meßinger, J.	EM09
Meier, T.	SO19 , SO18
Meister, J. Dr.	SM02
Meyer, H.	MGP06 , MG18 , MGP05 , MG17
Meyer, H.G.	MGP15
Meyer, U.	GDP02
Milkereit, B.	GDP02
Mittag, R.	SOP35
Mohnke, O.	HGP02 , UIP13
Mohsen, A.	SO12 , GD13
Moise, E.	UIP07
Moran, C.	VUP03
Morgan, J. P.	GD09 , SOP21
Mosegaard, K.	GDP07
Murphy, J. M.	SMP08
Musson, R.M.W.	SOP12
Mykkeltveit, S.	SOP09
Neben, S.	MG18 , MG17 , MG19 , MG11 , MG12
Neunhöfer, H.	GS04
Newman, G. A.	EM05
Nicolaus, M.	MG02
Niederleithinger, E.	UIP11 , UI07
Niehuus, K.	GD04
Nigbor, R.L.	SOP07

Nipp, H.K.	UIP03
Nissen-Meyer, T.	SOP20
Noppel, H.	UIP05
Oelsner, Chr.	UI03
Oeser, J.	GE06
Ogunade, S.O.	MA06
Ohrnberger, M.	SOP31 , VU05
Ojeda, A.	SO04
Okaya, D. A.	SMP08 , SMP05
Olejniczak, R.	MA03
Oncken, O.	GDP13
Ortega, A.	VUP05 , VUP02
Ottmöller, L.	SO04 , SOP08
Oye, V.	SMP02
Pape, H.	BPP04 , BPP05
Papenberg, C.	MGP13 , MGP14
Pedersen, J.M.	SM06
Pelzing, R.	SOP29
Petersen, H.	UIP09
Petersen, J.	MGP13 , MGP14
Petzold, G.	GE08
Pfaffhuber, A.	EMP04
Pfender, M.	GE09
Pielawa, J.	HGP04
Plenefisch, T.	SOP36 , SO08
Poggenburg, J.	VUP03
Pohl, J.	GDP02
Polom, U.	SMP10
Polonic, G.	GRP01
Prüfert, J.	SOP30
Pretzschner, C.	BP08
Preuße, S.	AGP03
Priestley, K.	GDP05
Prodehl, C.	SMP08
Pruessmann, J.	SM01
Pucher, R.	MS04 , MS03
Pujol, J.	SMP05
Pulz, E.	EMP08
Purcaru, G.	SO17
Qabbani, I.	GDP12 , GDP08 , GDP10 , GDP09
Rössler, D.	SOP34

Röttger, B.	GR04 , HG01 , HGP04
Rücker, C.	GE05
Rühaak, W.	GR01 , HG08
Rümpker, G.	SO12 , GDP12 , SMP04
Rüpke, L. H.	GD09
Rabbel, W.	SMP05 , UIP09
Radic, T.	EMP03 , GE15
Ranero, C.R.	MGP07
Raschick, A.	UIP13
Rath, V.	GR03 , GR01 , HG08
Reamer, S.K.	SOP31 , UI06
Reese, I.	AGP01
Rehli, H.-J.	HGP04
Reichardt, M.	SOP19
Reichert, C.	MG17 , MGP11 , MG16 , MG13
Reinhardt, J.	SO07
Reitmayr, G.	GG05
Reston, T.	MGP03
Rietbrock, A.	SOP41 , SOP42 , MGP10 , SOP40
Rische, M.	SO18
Ritter, J.	SO13
Ritter, J.R.R.	GSP02 , GS03 , GSP01
Ritter, O.	GDP11
Ritzmann, O.	MG08
Roßberg, R.	EMP02
Roeser, H.A.	MGP06 , MG12
Ropenhagen, J.	MGP04
Rolf, C.	MS04 , MS03
Roth, M.	SMP02
Rothert, E.	SM10
Ruedas, T.	GD03 , GDP03
Rybarczyk, G.	SM07 , SM06
Ryberg, T.	GDP12 , GDP08 , GDP10 , GDP09 , SMP08 , SM14
Sabra, H.	SM06 , SM07
Saenger, E. H.	SMP03 , SM08
Salah El-Dean, Mousa	UI03
Salamon, M.	SOP30
Salat, C.	EMP01
Sallarés, V.	MGP08
Samir, A.	UI03
Sauer, J.	UI05

Schürmann, M.	EM11
Schütze, C.	VUP01 , VU06
Scheer, W.	HG01
Schellschmidt, R.	GR01 , HG08
Schenk, A.	EMP04
Scherbaum, F.	SOP42 , SOP32 , GDP12 , SO06 , GDP10 , SOP31
Schikowsky, P.	MGP15
Schlüter, H.U.	MG17
Schlegel, K.	MA10
Schleifer, N.	GE14
Sch lindwein, V.	SOP26 , MG13
Schlittenhardt, J.	SOP28 , SO26 , SO02
Schmalholz, J.	UIP13 , HGP01
Schmedes, E.	SO08
Schmeling, H.	GD08 , MG20 , GD04 , GDP03
Schmidt, J.	GDP11
Schmidt, S.	GG03 , GG01
Schmidt-Aursch, M.C.	MG09
Schmitz, T.	MG10
Schmucker, U.	EM04
Schneider, S.	GE14
Schnepp, E.	MA04
Scholl, C.	VU04 , VU03 , EMP07
Schollmayer, G.	SOP30
Scholz, C. A.	GDP02
Schröer, K.	UIP12
Schreckenberger, B.	MG17 , MG11 , MG12
Schubarth-Engelschall, J.	SM09
Schuck, A.	UIP08
Schulz, G.	GS05
Schulz, R.	UIP07 , MS03 , MS01
Schulze, A.	SMP01 , GDP08
Schurr, B.	SOP02 , MGP10
Schwarte, J.	MA09
Schwarzbach, C.	GEP03 , GE04
Schweitzer, C.	AGP01
Schweitzer, J.	GSP02 , GS03 , GSP01 , SOP09 , GS01
Sebazungu, E.	MS07 , MS05
Seidel, K.	UIP08
Seidl, D.	SOP36 , SO08 , VUP04 , VU09 , VUP02
Seiferlin, K.	UIP12

Sengpiel, K.-P.	EM11
Sens-Schönfelder, C.	SO16
Serban, D.Z.	GRP01
Serfling, U.	VUP01 , VU01
Seyfried, R.	VU02 , VU07
Shapiro, S. A.	SMP03 , SM10 , SM08
Siemon, B.	GR04 , HGP04 , HG04 , HG03
Silver, E.A.	MGP07
Skupin, K.	SOP30
Smithson, S.	SMP05
Sobolev, S.V.	GDP05 , SO24
Song, L.P.	SO26
Spangenberg, U.	AGP02
Spies, T.	UIP01 , UIP02 , UIP03
Spiess, V.	MG06
Spitzer, K.	GEP01 , GEP05 , GE02 , GE03
Spohn, T.	UIP12
Stadtler, C.	HG02
Stammler, K.	SO14 , SOP38
Stange, St.	SOP37 , SO15
Steuer, A.	EM06
Steveling, E.	BP07 , BP06
Stiller, M.	GDP08 , SM14
Stoll, J.B.	BP07 , BP06
Strasser, M.	SOP21
Strauch, W.	MGP07
Strehlau, J.	SOP37 , GS06
Stubenrauch, A.	MGP03
Sugrue, M.	SM05
Sule, R.	SMP07
Tanner, D.	GDP13
Tarits, P.	EM10 , EM12
Tasarova, Z.	GG04
Teschner, M.	VUP03
Tetzlaff, M.	GD08
Tezkan, B.	VU04 , VU03 , EM06 , GE11
Theilen, F.	MGP02
Thern, H.F.	KO02
Thierner, M.	GE11
Thierer, P. O.	MGP08
Thierry, B.	GE14

Thomsen, S.	HG01 , HG02
Thorwart, M.	SOP43
Thoss, H.	GDP11
Tilgner, A.	GD02
Tilmann, F.	SOP21
Tittel, B.	SOP33
Torres, R.	VUP05 , VUP02
Tran Ngoc Nam	AGP03
Trappe, H	SM01
Trappe, H.	KO01 , SM09 , SM11
Treml, M.	SOP21
Trnkoczy, A.	SOP08 , SOP07
Uenzelmann-Neben, G.	MG06 , MG05
Vöge, M.	VU07
Villinger, H.	BP03 , GE09
Voß, W.	GR04 , HG01 , HGP04 , HG03
Voigt, R.	GE08
Voppel, D.	GS05
Vy Thi Hong Lien	AGP03
Vye, E.	SOP23
Wölbern, I.	GDP05 , GDP07
Wagenschein, D.	GE13
Wagner, D.	SMP07
Wagner, R.	BPP05
Walker, K.T.	GDP04
Wallner, H.	GD05 , MS07 , MS05
Walther, C.H.E.	MGP07 , MGP08
Wang, G.	SOP23 , SOP39
Wang, K.	GD10
Wang, P.	SOP38
Wardinski, I.	MA05
Wassermann, J.	VU05 , SOP13
Weber, B.	SOP31
Weber, M.	GDP06 , GDP12 , SMP01 , GDP10 , GD12 , GDP05 , SM14
Webers, W.	MA07
Weckmann, U.	GDP11
Wegler, U.	VU08
Weigelt, E.	MG06
Weihermüller, C.	SOP26 , SO02
Weihnacht, B.	HG07
Weinrebe, W.	MG01

Weller, A.	BPP06 , UIP11 , AGP03 , GE14
Wendt, S.	SOP11 , SOP33
Wenzel, F.	GD11 , SMP07
Weritz, F.	UI07
Wicht, J.	MA02
Wiederhold, H.	HGP03 , HG03
Wielandt, E.	SOP05
Wildeboer Schut, E.	MG05
Wilhelm, H.	GRP01 , GR02
Winter, H.	EM03
Woldetinsae, G.	GG06
Wolf, D.	GDP01
Wonik, T.	MS03 , MS02
Wrede, V.	SOP30
Wu, P.	GD06 , GDP01
Wulff, A.M.	KO03
Wylegalla, K.	SO03
Xiaohui Yuan	SO21
Xueqing Li	SO21
Yakovlev, K.	BP02
Yaramanci, U.	HGP05 , UIP10 , BPP01 , HGP02 , UIP13 , UI02 , HGP01
Yuan, X.	SO24
Zöller, G.	SO06
Zöllner, H.	MGP15
Zürn, W.	SOP17
Zednik, J.	SOP10
Zetsche, F.	SM14
Zimmermann, G.	BPP03
Zschocke, A.	GR01 , HG08
de Groot, P.	KO01
van Riel, P.	KO03

Weber, M. (Potsdam), Ben-Avraham, Z. (Tel Aviv, Israel), Abu-Ayyash, K. (Amman, Jordan), El-Kelani, K. (Nablus, Palestine), DESERT (Potsdam)

DESERT - A multi-scale study of a large active shear zone, the Dead Sea Transform

How do shear zones work and what controls them? To be able to address this central question of plate tectonics, the DEAd SEa Rift Transect (DESERT) group performed an interdisciplinary and multi-scale study of the Dead Sea Rift. DESERT consists of several coincident geophysical sub-projects performed by partners from Germany, Israel, Jordan and Palestine Territories.

The Dead Sea Rift / Dead Sea Transform acts as the hinge between the Alpine-Himalayan mountain belt and the Afro-Arabian rift system and has a left-lateral motion of about 105 km as of today. The nearly linear structure of this world geological site provides a natural laboratory to study large active faults. The key to understanding the geodynamics and plate tectonics in this region, is a detailed knowledge of the crustal and upper mantle structure on scales from plate tectonics to meters.

This presentation will give an overview of the results of the seismic/seismological and magnetotelluric sub-projects of DESERT: (a) Wide-angle reflection/refraction; (b) Near-vertical reflection; (c) Controlled source array; (d) Passive seismological array; (e) Magnetotelluric studies.

One result on the plate tectonic scale is that the Moho depth gradually increases from 28 to 38 km along the profile, but that no Moho updoming is observed under the rift. High resolution seismic tomography of the top 3 kilometers along the DESERT profile shows several high velocity bodies. The structure imaged and the large asymmetric topography left and right of the Arava Valley is due to the left-lateral movement of 105 km accompanied by a few km of transform-perpendicular tension and isostatic equilibration along this large shear zone. To explain these features the shear zone has to cut through the entire lithosphere. On the meter scale it was possible to excite fault guided waves which indicate that the low-velocity zone associated with the fault zone shows a velocity reduction of 10 to 25 %, but only a width of 10 to 20 meters.

Schmidt, J. (Potsdam); A. Abueladas (Amman); A. Jung (Heidelberg); H. Thoss (Berlin); H. Al-Amoush; V. Haak; O. Ritter; U. Weckmann (Potsdam); DESERT- Research group

janschmi@gfz-potsdam.de

Flächenhafte magnetotellurische Messungen an der Dead Sea Transform in Jordanien

Die Präsentation zeigt Ergebnisse magnetotellurischer Messungen des DESERT (DEad SEA Rift Transect)-Projektes. Ziel dieses internationalen und interdisziplinären Großprojektes ist die Untersuchung der Struktur und Dynamik der Dead Sea Transformstörung, die sich vom Roten Meer bis hin zum Alpen-Himalaja-Gebirgsgürtel erstreckt. Die Messkampagne, die im Frühjahr 2001 durchgeführt wurde, bildet die Fortsetzung einer magnetotellurischen Pilotstudie aus dem Jahr 2000. Das Messgebiet liegt im Arava-Tal, im Zentralteil der Dead Sea Transformstörung. Das 10 Kilometer lange Profil der Pilotstudie wurde nach Norden hin durch 9 weitere Profile ergänzt. Die Registrierung der Daten an insgesamt 101 Stationen erfolgte mit Hilfe von GPS-synchronisierten SPAM Mk III-Instrumenten in einem Frequenzbereich von 0.001 Hz bis 1000 Hz. Durch die flächenhafte Abdeckung ist eine dreidimensionale Interpretation des Untergrundes möglich. Die im Poster vorgestellten 2-D Inversionsmodelle wurden im Rahmen meiner Diplomarbeit am GeoForschungsZentrum Potsdam erstellt und auf den Einfluss verschiedener Parameter bei der Inversionsrechnung untersucht. Die Modelle zeigen einen deutlichen lateralen Leitfähigkeitskontrast, dessen östlicher Rand bei fast allen Modellen mit dem Verlauf der Transformstörung an der Oberfläche übereinstimmt. Die gut leitende Schicht liegt beim südlichsten Modell in etwa 1,5 Kilometern Tiefe und beginnt nach Norden hin, mit gut leitenden oberflächennahen Schichten zu verschmelzen.

Haberland, Ch., Maercklin, N., Ryberg, T., Ruempker, G., Weber, M. (Potsdam), Agnon, A. (Jerusalem), El-Kelani, R. (Nablus), Qabbani, I. (Amman), Scherbaum, F. (Potsdam), DESERT Group

haber@gfz-potsdam.de

Observation of guided waves at the Dead Sea Transform

As part of the Dead Sea Rift Transect Project (DESERT 2000) we conducted an active seismic experiment to study the small-scale structure of the Wadi Arava fault zone (WAF). This fault is considered the principal active fault in the southern part of the Dead Sea Transform system, which extends over a length of about 1000 km and which is characterized by a sinistral movement of 105 km within the last 18 Ma. One of the aims of the project was to generate and observe seismic guided waves in the fault zone. Guided waves are multiple-reflected waves propagating in narrow low-velocity channels. They provide information on properties and geometry of the fault zones itself which are often not obtained by conventional seismic experiments. In April 2000 we placed 12 detonations within or very close to the surface trace of the WAF. The charges consisted of 45 kg of chemical explosives placed in 20 m boreholes. Seismic signals were recorded at 5 densely-spaced linear geophone arrays crossing the fault. The recordings show prominent wave trains emerging from 2 in-fault explosions. We interpret these phases as waves being guided by a fault-zone related low-velocity layer. Observations of these wave trains are confined to certain segments of the receiver lines and occur only for certain shot locations, matching the surface trace of the WAF. They show high energy and monochromatic behaviour. We model the guided waves by using an analytical solution for the wavefield (Ben-Zion and Aki, 1990). The model is characterized by a vertical low-velocity layer embedded in two quarter spaces. Results of the analysis will be presented. Although strong trade-offs between the free parameters are present, preliminary calculations suggest that the observations are adequately fit by models with a narrow (10 to 30 m) vertical layer with a reduced S wave velocity (15 to 25 %). We relate the vertical low-velocity layer to the damage zone of the WAF. Compared to other major continental shear zones, the damage zone of the shallow! part of the WAF at this location seems to be rather narrow.

Budzinski, D., Spies, T., Alheid, H.J. (Hannover), Eisenblätter, J. (Ober-Mörlen)

Thomas.Spies@bgr.de

Detailed investigation of fracturing at the boundary of rock salt and anhydrite using engineering geology methods and ultrasonic measurements

Salt deposits, owing to their good barrier properties, are suitable as repositories for hazardous waste and storage of fluids. Deformation of large rock salt formations occurs for the most part without the formation of fractures. Fracturing can occur, however, near cavities and at rock boundaries. A typical problem in salt and potash mining for the stability of drifts, caverns, etc. and the hydraulic integrity of the rock mass is the succession of layers with very different mechanical properties. The cavities are mined mostly in ductile rock salt and potash salts, which have a high tendency to creep. It is not always possible to avoid excavating cavities near anhydrite beds. Anhydrite is much more rigid and has a higher strength than rock salt and is brittle. The redistribution of stresses around the cavity includes the nearby anhydrite beds, leading to deviatoric stresses, especially at the boundary between the ductile and the rigid rocks. If these stresses exceed a certain level, microcracks form.

Acoustic emission measurements providing the locations of microcracks were performed in a mine segment near anhydrite beds. Often clustering of acoustic emission events was found in the rock but could not be attributed to certain geological features as the locations of geological boundaries were not known precisely. So the results of acoustic emission measurements were verified by the drilling of two boreholes into a region of the rock in which a prominent cluster of events was observed. The investigated cluster consisted of about 800 single acoustic emission events which occurred in a time span of a few days. The spatial arrangement of the events is a ring of about 8 m diameter. Evidence of fracturing should be found by careful inspection of the rock cores in the laboratory. Furthermore the borehole walls were inspected using a video camera to detect geological boundaries as well as joints or cracks. The latter investigation was very important as the core may be cracked because of loading during drilling. Ultrasonic measurements were conducted in and between the boreholes to detect joints and the possible connection of the boreholes by single joints.

Drilling confirmed that the cluster of acoustic emission events was located at the boundary of rock salt and anhydrite. Combining the results of the various methods it is concluded that the appearance of the cluster marked the shape of a roughly circular macroscopic fracture plane of 8 m diameter. Acoustic emission indicated the intermittent growth of the fracture. The fracture lies within a thin clay layer in a zone of weakness directly behind the boundary of rock salt and anhydrite. The lack of acoustic emission within the ring of events is interpreted as being due to complete fissuring there before the cluster appeared.

References

Spies, T., Eisenblätter, J. (2001): Acoustic emission investigation of microcrack generation at geological boundaries. *Engineering Geology* 61 (2001), p 181 – 188.

Eisenblätter, J., Spies, T., Manthei, G. (2002): Statistische Analyse zweier Cluster der akustischen Emission in einem Salzbergwerk. 62nd Annual Meeting of the Deutsche Geophysikalische Gesellschaft, March 2002, Hanover, Germany.

Alinaghi, A., Bock, G., Kind, R. (Potsdam), TOR-Working-Group, The. (Kopenhagen), SVEKALAPKO-Seismic-Group (Upsala)

Receiver function images of crust and upper mantle: Evidence for deep-seated differences between Precambrian and Paleozoic Provinces in northern Europe

The crust-mantle boundary and upper mantle discontinuities underneath the North German Basin, the Tornquist Zone and the Baltic Shield have been investigated by receiver functions. Teleseismic earthquakes recorded by the TOR seismic profile and the SVEKALAPKO seismic network in Finland have been used to calculate distance and source equalized receiver functions. To enhance converted P-to-S amplitudes and to enable a consistent mapping of discontinuities, receiver functions were stacked and the arrival times of P_s were measured and plotted over the study area. The resulting delay time map of the Moho is accompanied by crustal thickness measurements based on the method by Zhu & Kanamori (JGR, Vol. 105, 2969–2980, 2000). Both maps show considerable crustal thickening across the TESZ from 30 km in the German Basin to over 50 km in the Scandinavian Shield. In the Archean Baltic Shield covered by the SVEKALAPKO seismic network large variations in Moho depth ranging from 40 to 60 km are indicated in an area characterized by flat surface topography. The 410 km and 660 km mantle discontinuities are clearly observed both under the TOR profile and beneath the SVEKALAPKO network. Maps depicting the arrival times of P_s phases from the 410-km and 660-km discontinuities are presented along with a map of the time difference between the arrival times of these mantle conversions. While the arrival times of P_s from 410 km and 660 km discontinuities undergo changes across the TESZ, the difference between the arrival times of P_{410s} and P_{660s} phases, being a measure of the thickness of the transition zone, increases systematically towards the Scandinavian Shield. This suggests that temperatures in the upper mantle down to the transition zone are cooler underneath the Baltic Shield (Precambrian) than beneath Phanerozoic central Europe.

Lehmann, K. (Krefeld), Alteköster, C. (Bonn), Drozdowski, G., Friedlein, V., Prüfert, J., Salamon, M., Schollmayer, G., Skupin, K., Wrede, V. (Krefeld)

klaus.lehmann@gd.nrw.de

Anwendung von Bodenradar zur Erkundung oberflächennaher Verwerfungsstrukturen für paläoseismologische Untersuchungen in der Niederrheinischen Bucht

Die im Erdbebenkatalog erfassten instrumentellen und historischen Aufzeichnungen decken nur ein relativ kleines Zeitfenster ab, z. B. für die Niederrheinische Bucht etwa 1200 a. Um die Datenbasis zu vergrößern, werden seit einigen Jahren verstärkt paläoseismologische Studien als Untersuchungsmethode eingesetzt. Grundgedanke dabei ist, dass sich Verwerfungsdislokationen von Starkbeben bis an die Oberfläche durchpausen und noch nach Jahrtausenden als coseismisch induzierte Lagerungsstörungen nachweisbar sind. Oberflächennahe Strukturen an tektonisch aktiven Verwerfungen werden daraufhin in Schürfen detailliert analysiert (McCalpin, 1996).

Die Anlage eines Paläoseismik-Schurfes ist wegen des relativ großen bautechnischen Aufwandes (vgl. Abb. 1b) mit hohen Kosten verbunden. Die Auswahl geeigneter Schurflokationen ist daher mit großer Sorgfalt zu treffen. Einen wichtigen Beitrag zur Vorerkundung oberflächennaher Verwerfungsstrukturen und zur Abbildung der sie begleitenden Lagerungsstörungen kann die Angewandte Geophysik leisten. Besonders in Sedimentationsbecken mit Lockergesteinen ist die Verwerfungsstruktur nahe der Oberfläche oft komplex und kann laterale Bereiche von Zehner Metern umfassen, so dass eine detaillierte Erkundung der Verwerfungszone notwendig ist. In dieser Fragestellung wurden im Bereich der Niederrheinischen Bucht geophysikalische Methoden bereits mehrfach erfolgreich eingesetzt (z. B. Camelbeeck & Meghraoui, 1998; Pelzing et al., 2000; Demanet et al., 2001; Dost & Evers, 2001; Verbeeck et al., 2001). Bodenradar-Messungen ermöglichten dabei eine detaillierte Strukturerrfassung.

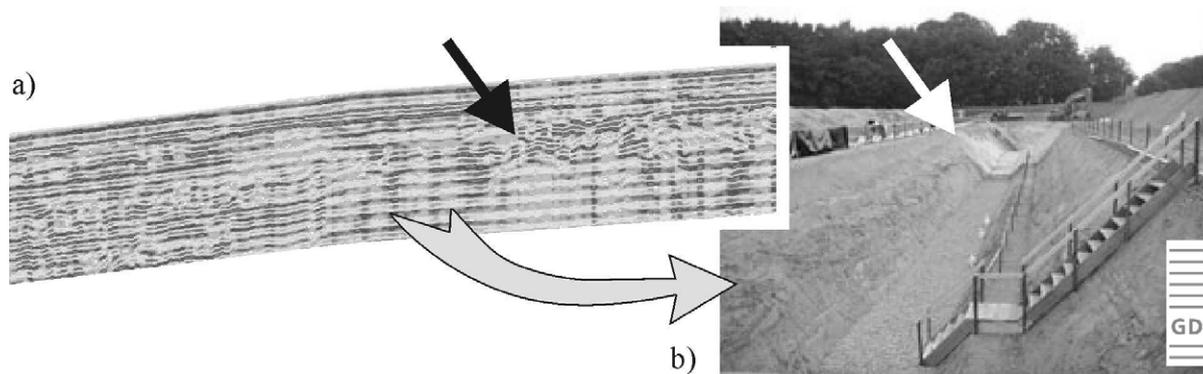


Abb.1: Radargramm (a) und geologischer Aufschluss (b) am Viersener Sprung (Pfeil), Schurf Holthausen (Tiefe: 4 m, Länge: 60 m).

Nach Erfahrungen an der Rurrand-Verwerfung bei Jülich (Lehmann et al., im Druck) führt der Geologische Dienst NRW zurzeit paläoseismologische Studien an weiteren tektonisch aktiven Hauptverwerfungen der Niederrheinischen Bucht durch. Im April und Mai 2001 wurden an ausgewählten Segmenten des Viersener Sprungs, des Feldbiss und des Heerlerheide-Sprungs Bodenradarmessungen auf jeweils mehreren Profilen über die Verwerfungen durchgeführt. Dabei wurde eine Apparatur der Fa. GSSI, Typ SIR 10A+, unter Verwendung von 100, 200 und 400 MHz – Antennen eingesetzt. Zusätzlich wurden auf denselben Profilen im Abstand von wenigen bis Zehner Metern Flachbohrungen abgeteuft. Die hierbei erzielten punktuellen Erkenntnisse über die Gesteinsausbildung der durchbohrten Schichten erlaubte die Kalibrierung der (quasi-) kontinuierlichen Radargramme, so dass eine Interpretation der oberflächennahen Untergrundsstruktur möglich war. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden im Herbst 2001 gezielt Schürfe zur weiteren tektonischen Auswertung angelegt (Viersener Sprung: Schurf Holthausen, Abb. 1; Feldbiss: Schurf Hillensberg).

Der geologische Aufschluss entlang der Bodenradarprofile bietet eine einzigartige Möglichkeit zur detaillierten Evaluierung der Vorerkundungsergebnisse. Mit den am Viersener Sprung und am Feldbiss bzw. Heerlerheide-Sprung angetroffenen, stark unterschiedlichen Lithologiemustern wurden Extremfälle für die Anwendung von Bodenradar in Lockersedimenten untersucht. Die am Viersener Sprung unter einer geringmächtigen Schluffschicht anstehenden sandigen und kiesigen Einheiten ließen eine klare Strukturabbildung bis in eine Tiefe von ca. 3 bzw. 1,5 m mit 200 und 400 MHz – Antennen zu (Abb. 1a). Am Feldbiss und am Heerlerheide-Sprung wiesen die bis zu

5 m mächtigen Kolluvisole von umgelagertem Löss, die sich in Erosionsrinnen gebildet haben, nur graduelle Übergänge auf. Tatsächlich waren hier innerhalb einer Erkundungstiefe von etwa 3 m nur in wenigen der mit Frequenzen von 100 und 200 MHz aufgenommenen Radarprofile Verwerfungsstrukturen evident.

Wegen der außergewöhnlich starken Durchfeuchtung des oberflächennahen Untergrunds infolge ergiebiger Regenfälle vor und während der Messkampagnen im Frühjahr 2001 wurde die angestrebte Erkundungstiefe von 4 m nicht erreicht. Innerhalb der tatsächlichen Eindringtiefe von etwa 3 m bilden die Ergebnisse der Vorerkundung mit Bodenradar die aufgeschlossenen Lagerungsstrukturen des Untergrunds jedoch zufriedenstellend ab. In den behandelten Fallbeispielen erwies sich Bodenradar damit als geeignetes Tool zur Auffindung von tektonischen Störungen und Erfassung ihrer oberflächennahen Strukturen.

Die Untersuchungen im Schurf zeigten entlang einzelner Verwerfungslinien Versätze stratigrafischer Einheiten in der Größenordnung von einigen Dezimetern. Ein tektonisches Modell, das die Dynamik der Versatzstrukturen erschließt, wird derzeit u. a. anhand von Datierungen erarbeitet.

Weitere Informationen zum aktuellen Forschungsprojekt unter: www.gd.nrw.de.

Literatur

Camelbeeck, T. & Meghraoui, M., 1998. Geological and geophysical evidence for large paleo-earthquakes with surface faulting in the Roer Graben. *Geophys. J. Int.* 132, 347-362.

Demagnet, D., Renardy, F., Vanneste, K., Jongmans, D., Camelbeeck, T. & Meghraoui, M., 2001. The use of geophysical prospecting for imaging active faults in the Roer Graben, Belgium. *Geophysics* 66, 78-89.

Dost, B. & Evers, L., 2001. Site selection and interpretation of trenching results along the Peel boundary fault. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie* 18, 53-56.

Lehmann, K., Klostermann, J. & Pelzing, R., im Druck. Paleoseismological investigations at the Rurand Fault, Lower Rhine Embayment. *Geologie en Mijnbouw / Netherlands Journal of Geosciences*.

McCalpin, J.P., 1996. *Paleoseismology*. Academic Press, San Diego, 583 S.

Pelzing, R., Lehmann, K. & Klostermann, J., 2000. Paläoseismologische Untersuchungen an der Rurand-Verwerfung, Niederrheinische Bucht. *D-A-CH-Mitteilungsblatt* 19 (3), 8-10.

Verbeeck, K., Beatse, H., Vanneste, K., Renardy, F., van der Meer, H., Roy-Chowdhury, K. & Camelbeeck, T., 2001. Geomorphic and geophysical reconnaissance of the Reppel and Bocholt faults, NE Belgium. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie* 18, 167-170.

Demetrescu, C. (IGRA, Bucharest), Wilhelm, H. (U Karlsruhe), Ene, M. (IGRA, Bucharest), Andreescu, M. (IGRA, Bucharest), Polonic, G. (IGRA, Bucharest), Baumann, C. (U Karlsruhe), Dobrica, V. (IGRA, Bucharest), Serban, D.Z. (IGRA, Bucharest)

On the geothermal regime of the foreland of the Eastern Carpathians bend

Within the frame of a joint co-operation between the Institute of Geodynamics (Bucharest) and the Geophysical Institute (Karlsruhe University) on heat flow and lithosphere evolution in the East Carpathians bending area and its foreland, in four field campaigns in 1997 - 1999 high resolution temperature (HRT) logs were performed in 41 thermally stabilized boreholes in the area of interest. The investigated depth ranges from 0-500 m to 0-2500 m. In this poster we present the new data and propose an analysis of the temperature measurements from the point of view of heat transfer mechanisms.

The vertical temperature profiles obtained by continuous logging indicate (a) a large range of the lateral variation of temperature gradients and (b) a second-order feature, namely a curvature indicating a general increase of the gradient with depth. The gradient values vary between 23 mK m^{-1} in the area of maximum thickness of the foredeep to 37 mK m^{-1} and 53 mK m^{-1} at its margins and on the Moesian Platform, in close relation to the thickness of the sediment deposits. These data confirm previous information on the thermal regime of the foreland in the Eastern Carpathians bend, namely the very low surface heat flux ($20\text{-}30 \text{ mW m}^{-2}$) characteristic to the deepest part of the foredeep, the Focsani Depression (Demetrescu et al., 1991/1992; Demetrescu and Andreescu, 1994). Also, these measurements clearly indicate an increase of the temperature gradient with depth.

Generally the heat transfer in sedimentary basins is dominated by two mechanisms: pure conduction and fluid convection. Consequently, the temperature field of the basin reflects the history of the heat flux coming from mantle (which is in turn the result of the tectonic history of the lithosphere under the basin), the pattern of crustal heat production and the thermal effects of the " internal factors " like the variations of conductivity and heat production of sediments and/or the convective heat transfer by fluid flow (Allen and Allen, 1990). In the study area the characteristics of the vertical temperature profiles cannot be simply explained by a steady-state pure conductive regime because in such a case the temperature gradients would generally decrease with depth because of sediment compaction resulting in the increase of conductivity with burial depth.

The new temperature data are discussed in terms of thermal effects of sedimentation, palaeoclimate changes of the Earth's surface temperature, and fluid flow, which contribute to the observed curvature of temperature profiles in the investigated depth interval. The discussion is illustrated with data concerning two of the deepest logged boreholes and a profile through the center of the foredeep basin.

Demetrescu, C., Veliciu, S. and Burst, A.D. (1991/1992). Heat flow map of Romania. In *Geothermal Atlas of Europe*, eds. E. Hurtig, V. Vermak, R. Haenel and V. Zui, pp. 72-74, VEB Herrmann Haack, Gotha.

Demetrescu, C. and Andreescu, M. (1994) On the thermal regime of some tectonic units in a continental collision environment in Romania. *Tectonophysics* 230, 265-271.

Allen P. A. and Allen, J. R. (1990) *Basin Analysis: principles and applications*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Asch, G. (GeoForschungsZentrum Potsdam)

asch@gfz-potsdam.de

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 6: Seismic Recording Systems

During the last ten years, recording devices based on digital technology have completely replaced their old analog predecessor. The technological progress in digital signal processing, data storage techniques and highly integrated digital circuits leads nowadays to several instruments available on the market, that all fulfill the basic requirements of a seismic recording instrument and offer several more advanced features as well. The manual chapter gives a short introduction to the principal components of seismic recording systems. Inasmuch applied in these recorders, to the theory of digital time series processing and commonly used AD techniques are presented. The chapter also outlines the requirements and technical realization of a proper time base, introduces the common data storage media, data formats and compression algorithms used. The chapter is complemented by key references and a glossary of technical terms. Its web version provides additionally direct Internet links to relevant programs, institutions and system manufacturers. The poster presents a structured summary of the main contents, illustrations and links given in chapter 6.

Bohm, M., Asch, G. (GFZ Potsdam), Bataille, K. (Universidad de Concepcion), Bruhn, B., Rietbrock, A. (Universität Potsdam)

mirjam@gfz-potsdam.de

The Southern Andes Between 36° and 40°S Latitude: Seismicity and Average Velocities

A temporary seismological network was installed as part of the project ISSA 2000 (Integrated Seismological experiment in the Southern Andes) between 36° and 40°S above the active continental margin in the Southern Andes reaching from the Chilean Pacific coast to 68°W in Argentina. This project took place within the framework of the Special Research Program SFB 267 "Deformation Processes in the Andes" and in cooperation with partners from Germany (FU Berlin, Univ. Potsdam, GFZ Potsdam, GEOMAR Kiel, TU Berlin) and Chile (Univ. de Concepcion, Univ. de Antofagasta). The network consisted of 62 seismographs recording continuously from November 1999 to April 2000.

We recorded on average 3 to 4 local earthquakes per day, mainly concentrated in the northwestern part of the network, resulting in a data set of 300 seismic events. High quality P and S arrival times of 120 earthquakes were inverted simultaneously for 1-D velocity structure and hypocentral coordinates. Precise hypocenter locations of local earthquakes are determined resulting in the first accurate image of the Wadati-Benioff zone south of Concepcion. The 1-D velocity model serves as initial reference model of seismic velocity tomographic studies, preliminary results of which will be presented.

A further research interest of this seismological experiment is the determination of source mechanisms. Moment tensor inversions provide important information on the current stress field. It is postulated by several authors that dehydration processes are the cause of intermediate depth earthquakes while the focal mechanisms in the seismic coupling zone will be controlled by the deformation processes of the continental crust. A distinct non double couple part of the moment tensor will be expected in the zones of dehydration processes. The recorded data base allows a detailed investigation of local events in a higher frequency range. Instead of using the seismograms directly, the inversion for the moment tensor can also be performed on amplitude spectra. This method has the advantage that slight misalignments between seismograms and Greens functions do not bias the outcome, because the phase spectrum is not used at all.

Bruhn, C. (Uni Potsdam), Asch, G. (GFZ), Bohm, M. (GFZ), Krüger, F. (Uni P.), Rietbock, A. (Uni P.), Scherbaum, F. (Uni P.)

cbruhn@geo.uni-potsdam.de

Momententensoren lokaler Erdbeben in den südlichen chilenischen Anden (36° S bis 40° S)

Die Struktur unter den zentralen und südlichen Anden wurde in den letzten Jahren durch zahlreiche aktive und passive seismologische Experimente im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 267 (SFB 267) untersucht (Pisco'94, Cinca'95, Ancorp'96, Puna'97 und ISSA 2000).

Eines der Hauptuntersuchungsmerkmale der passiven Experimente in den südlichen Anden (ISSA 2000) waren die Herdmechanismen. Die Inversion der Momententensoren sowie deren Verteilung lieferten wichtige Hinweise auf das Spannungsfeld der subduzierten ozeanischen Platte. Green und Houston (1995) postulierten, daß Dehydrationsprozesse der abtauchenden Lithosphäre für intermediäre Erdbeben verantwortlich sind, während die Herdmechanismen der seismischen Kopplungszone durch Deformationsprozesse in der kontinentalen Kruste gesteuert werden.

Der Nachweis für Entwässerungsbeben kann über die Betrachtung des isotropen Anteils und/oder des Compensated-Linear-Vector-Dipols (CLVD) des Momententensors erfolgen. Hierfür wird deren Auflösbarkeit im Zusammenhang mit Stations-Site-Effekten, der Stationsnetzgeometrie und des benutzten Geschwindigkeitsmodells (Stichwort: Green'sche Funktionen) untersucht. Die Source-Time-Function liefert gleichzeitig den Hinweis auf die Komplexität der Bruchgeometrie, die einen nicht unerheblichen Einfluß auf den CLVD-Anteil hat.

Laboruntersuchungen zur Interpretation von In-situ-Messungen im Salinar

Problemzonen im Salinar, insbesondere Kluft- und Feuchtezonen (infolge von Laugenvorkommen) stellen im Zusammenhang mit Untertagedeponien zur Endlagerung von chemisch-toxischen und radioaktiven Abfällen potentielle Risikofaktoren dar. Deshalb ist es von enormer Bedeutung, solche Zonen zu erkennen und zu charakterisieren. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt der GGA Hannover, der Fraunhofer Einrichtung (EADQ) Dresden, der Universität Leipzig sowie den Firmen Geophysik GGD Leipzig und K-UTEC Sondershausen wurde ein komplexes Meß- und Auswerteinstrumentarium für die untertägige Erkundung von Problemzonen der geologischen Barriere von Endlagern und UTD im Salinar entwickelt und in einer aufgegebenen Kaligrube in Bischofferode eingesetzt. Von der Universität Leipzig wurde dabei die Geoelektrik angewendet und den speziellen Bedingungen im Salinar angepaßt. Zur Kalibration der geoelektrischen Messergebnisse wurden Labormessungen an Proben aus der Grube durchgeführt.

Die Auswertung der in der Grube gemessenen Daten ergab spezifische elektrische Widerstände zwischen 1 und 10^7 Wm. Diese deutlichen Kontraste ergeben zwar ein klares Bild der Anomalien, die Interpretation der Werte ist aber zunächst nicht klar.

Zwar gibt es in der Literatur Messergebnisse zum Zusammenhang zwischen spezifischem elektrischen Widerstand und Wassergehalt, diese Werte sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet, da keine geeigneten Messverfahren zur Verfügung standen. Im Rahmen des Projektes wurden Verfahren entwickelt, die diesem Missstand abhelfen sollen. Zum einen wurde für die Wassergehaltsbestimmung das Karl-Fischer Titrationsverfahren verwendet, mit dessen Hilfe absolute Wassermengen im Mikrogramm-Bereich gemessen werden können. Zum anderen wurden geeignetere Verfahren als bisher für die elektrische Widerstandsmessung eingesetzt, nämlich 4-Elektrodenanordnungen und sehr hochohmige Spannungsmessungen.

In Salzen kann Wasser auf unterschiedliche Weise gebunden sein:

- äußerlich anhaftendes Wasser,
- mobiles Porenwasser,
- an die Kristalloberfläche gebundenes Haftwasser und
- chemisch gebundenes Kristallwasser.

Die Bindungstypen unterscheiden sich durch ihre Bindungsenergien und damit auch durch ihre Wasserabgaberaten (siehe Abb. 1). Zunächst wird mit hoher Abgaberate oberflächlich anhaftendes Wasser abgegeben, anschließend kapillar gebundenes Wasser (mobiles Porenwasser und Haftwasser) und zum Schluss mit der geringsten Abgaberate chemisch gebundenes Kristallwasser. Somit kann aus dem zeitlichen Verlauf der Wasserabgabekurven auf den Anteil der unterschiedlichen Bindungstypen am Gesamtwassergehalt geschlossen werden. Diese Unterscheidung ist notwendig, weil nur kapillar gebundenes Wasser signifikant zur in-situ Leitfähigkeit beitragen kann, während äußerlich haftendes Wasser nur im Streckenbereich vorkommen kann und Kristallwasser keinen Beitrag zur elektrischen Leitfähigkeit liefert.

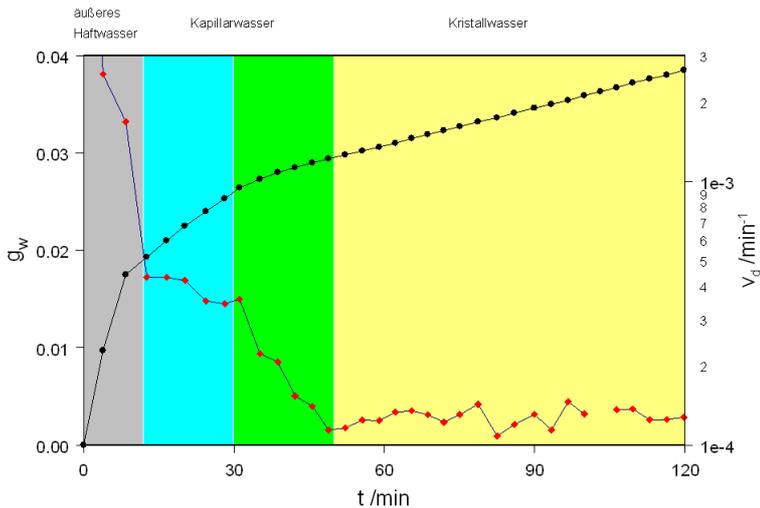


Abb. 1: Unterscheidung der Bindungstypen von Wasser mit Hilfe des zeitlichen Verlaufs der Wasserabgabe

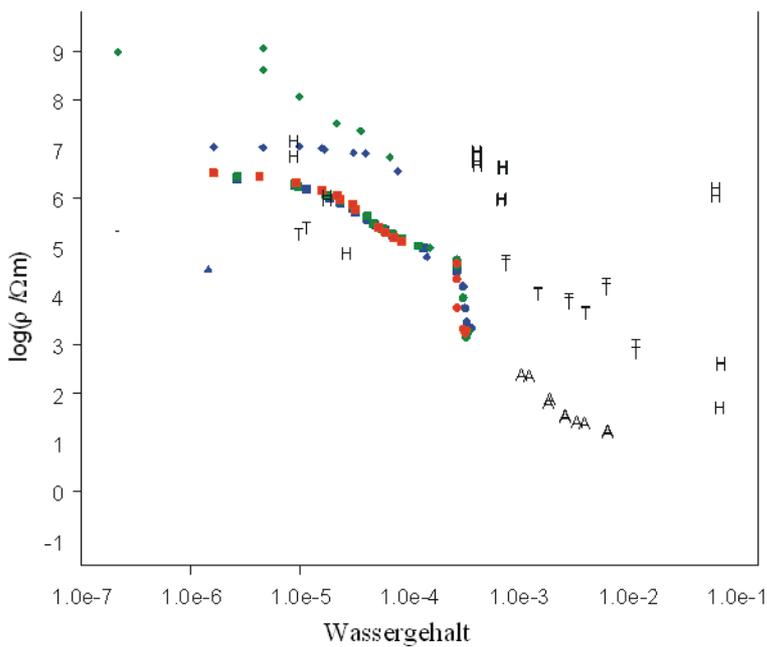


Abb. 2: Ergebnisse der simultanen Messungen von Wassergehalt und elektrischem Widerstand

Die elektrischen Eigenschaften der untersuchten Miniprobe sind aufgrund der geringen Probengröße nicht repräsentativ für die Interpretation der Felddaten. Als Bindeglied zwischen Feld- und mikroskopischen Parametern eignet sich die elektrische Bohrkerntomographie besser. Die Tomogramme zeigen in ungestörten Bereichen sehr hohe Widerstandswerte, die in der Größenordnung mit den Messungen an Mini-Proben vergleichbar sind. Gleichzeitig zeigen sich sehr starke Widerstandsvariationen über Bereiche von etwa 1 cm, die mit den Variationen im Inversionsergebnis der geoelektrischen Felddaten vergleichbar sind, bei denen die Auflösung aber im Meter-Bereich liegt. So kann die Bohrkerntomographie dazu beitragen, das Skalierungsproblem zwischen Feld- und Labormessungen zu lösen.

Braunmiller, J. (Zürich), Ottemöller, L. (Edinburgh, UK), Jensen, S. L. (Bergen, Norway), Ojeda, A. (Bergen, Norway), Atakan, K. (Bergen, Norway)

jochen@seismo.ifg.ethz.ch

The May 7, 2001 Ekofisk Earthquake, North Sea

A moderate seismic event ($m_b=4.4$, $M_S=4.6$, $M_w=5.0$) occurred on May 7, 2001 within the Central Graben in the southern part of the Norwegian North Sea. The coincidence of a seismic event near ongoing hydrocarbon extraction raised the question whether the event was natural or induced. To discuss such a possibility requires a high precision earthquake location and depth estimate. Initial earthquake locations placed the event near the Ekofisk oil field where it was also strongly felt (intensities up to VI-VII). However, initial locations were only moderately accurate and hypocenter depth was not constrained at all, because the event occurred in the middle of the North Sea far from any national network. Seismic sensors were not installed on the Ekofisk platforms. Without local data, well constrained location and depth estimates requires combining data from several networks.

We collected short-period and broadband data from more than 150 stations in the distance range from 300 to 2500 km. Our larger data set reduced the azimuthal gap to 83° . Seismogram onsets were very emergent and we could pick only 51 P- and S-wave arrivals. Our final location ($56.565^\circ \pm 4$ km, $3.182^\circ \pm 7$ km, 09:43:33.8 UTC) is at the northwestern corner of the Ekofisk oil field.

The hypocenter depth is not determined from our location. With 2-D ray-tracing, we could not constrain the depth either, because we lack clear secondary, depth dependent arrivals. The emergent onset and long-period character of the seismograms, unusual compared to other events in the area, suggests a source depth above the basement within the thick sediments of the Central Graben. Preliminary broadband waveform modeling favours shallow source depths (less than 6-7 km). However, the depth estimate depends strongly on the crustal model. For some structures (like PREM), a 15 km deep source depth cannot be excluded.

Moment tensor inversion of complete, three component regional seismograms at long periods ($T \approx 30$ s) results in a normal faulting mechanism with north-south trending nodal planes independent of the exact choice of crustal structure. Non-faulting components (CLVD and isotropic) are very small in the moment tensor solutions indicating a shear dislocation can explain the data.

Induced seismicity related to hydrocarbon recovery has previously been observed inside the Ekofisk oil field. With our limited location accuracy, we cannot determine whether the event occurred inside or close to the reservoir. The lack of disturbances due to the event appears to exclude a location inside the reservoir. An induced normal faulting event at reservoir flanks is expected due to stress changes inside a poroelastic medium undergoing fluid extraction. Our location and source mechanism are consistent with this theory and we suggest the Ekofisk earthquake was induced. However, natural earthquakes do occur in the North Sea and a non-induced tectonic origin cannot be excluded entirely.

Böker, F. (Hannover):

Fernerkundungsmethoden am Vulkan Galeras

Die Thermographie dient der Registrierung von Temperaturveränderungen an Vulkanen, womit man Schlüsse auf die jeweilige Wärmeverteilung im Untergrund ziehen kann. Neue technische Entwicklungen machen es möglich, mit vertretbarem Aufwand Thermographie mit hoher Auflösung auch vom Flugzeug aus zu betreiben. Mit der Thermalkamera FLIR 595 wurde der Vulkan Galeras vom Hubschrauber aus aufgenommen. Die Thermographie wird mit einem digitalen Geländemodell verknüpft, das mit Hilfe von Luftaufnahmen mit einer Rolleimetric-Kamera erstellt wurde.

Seidl, D. (Erlangen), Böker, F., Buttkus, B., Faber, E. (Hannover), Gómez, D. (Pasto), Greinwald, S. (Hannover), Hellweg, M. (Berkeley), Ortega, A. (Pasto), Torres, R. (Pasto)

seidl@szgrf.bgr.de

The Multiparameter-Station at Galeras Volcano (Colombia)

In a joint project, the Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) and the Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS) have developed a multiparameter monitoring station and installed it in the crater region of the IDNDR volcano, Galeras in Colombia. The basic concept for the design of this station is the investigation of the correlation between various volcano-related geophysical and geochemical signals and their significance in the sequence leading to explosions and eruptions.

The instruments of the multiparameter station complement a network of short period stations operated by the Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVP). The well-developed infrastructure at the OVP and its experience in data management and analysis are an ideal basis for the support of the multiparameter project. The multiparameter station consists of four broadband, three-component seismometer stations along with continuous fumarole gas chemistry sensors, electromagnetic stations, an infrasound sensor and weather observations. The data are digitized at each site and telemetered continuously to the OVP using FreeWave spread-spectrum radios. The continuous recordings of the multiparameter station are supplemented by regular thermographic measurements using an infrared thermocamera.

Behain, D., Meyer, H., Neben, S., Deneke, E., Boennemann, C.

d.behain@bgr.de

Heat-flow off Indonesia derived from gas-hydrate depths

In 1998-1999, during scientific surveys SO-137, SO-138, SO139, BGR acquired more than 5000 km of seismic, magnetic, gravimetric data, undertook geothermal measurements and acquired geological and biological samples off Indonesia in the Mentawai and Java fore-arc basins. One of the targets was the study of gas-hydrates off Indonesia. Gas-hydrates have been recognized in several parts of these fore-arc basins in seismic sections based on the occurrence of the so called " Bottom Simulating Reflector" (BSR).

Gas-hydrates belong to the family of inclusion compounds, in which two kind of molecules, without any chemical bonding, are physically combined. Gas-hydrates trap gas molecules inside cages that are built up of water molecules (Sloan, 1990). The gases can be CO₂, H₂S, Cl₂, Methane, Ethane and other hydrocarbons (Kvenvolden, 1993), which could be the result of bacterial and thermal generation. More than 90% of gas-hydrates are methane hydrates (Sloan, 1990). The gas-hydrates off Indonesia are the result of biogenic generation.

The BSR marks the base of the stability zone of gas-hydrates and runs nearly parallel to the sea bottom. A BSR is in fact a phase boundary whose location is determined by temperature, pressure, gas composition and pore water salinity (Hyndman and Davis, 1992; Kvenvolden, 1993). Gas-hydrates become unstable beneath the BSR due to increased temperature.

The main properties of BSRs in the seismic sections are as follow:

- high signal intensity
- phase reversal compared to the seafloor reflector
- usually runs parallel to the sea floor and often cross-cuts reflectors which are caused by lithological differences (this makes the BSR the best indicator for identifying gas-hydrates)

Gas-hydrates are stable under a range of pressure and temperature conditions (Kvenvolden, 1993, Sloan, 1990). Combining the gas-hydrate stability curve, the hydrothermal curve and the measured BSR-depth beneath the seafloor, the geothermal gradient can be estimated. Using the 2 methods of MacLeod (1982) and Golmstock et al. (2000) the geothermal gradient off Indonesia was determined.

Most of the calculations resulted in relatively low heat flow values, which are typically for fore-arc basins. But two locations showed anomalies:

- The NE sector of the Java fore-arc basin
- The SW sector of the Mentawai fore-arc basin

These high values, that agree with the geothermal measurements during the SO-139 survey (Delisle, 1999), may be caused by fluid circulations.

Müller, C., Bönnemann, C., Neben, S. (Hannover)

C.Mueller@bgr.de

Detailed seismic study of a gas hydrate deposit offshore Costa Rica

Gas hydrates are solid substances composed of water and gas molecules, mainly methane, which form under conditions of low temperature and high pressure usually found in the upper few hundred meters of sediment in continental margins and permafrost regions. In the context of energy resources, climate change and seafloor stability, gas hydrates have recently gained increasing scientific and industrial interest. Anyhow, estimates of the global amount of carbon in gas hydrates, about 10 teratonnes following recent estimates (Kvenvolden, 2001), are based on sparse direct observations from drilling. Therefore, enhanced evaluation of remote sensing methods (e.g. seismic techniques) to quantify gas hydrate and free gas content has the potential to improve global quantification.

In seismic sections the base of the gas hydrate stability zone is often associated with bottom simulating reflectors (BSRs). Imaging of BSRs along the Pacific continental margin of Costa Rica shows a dispersed rather than even distribution of gas hydrates in the area southeast of Nicoya Peninsula. Within a 450 km² 3-D reflection seismic survey area (Hinz et al., 1992), which is located about 10 km landward of the Middle America Trench, BSRs are imaged in an area of about 20 km². First results from a detailed seismic study to investigate the patchy occurrence of BSRs in this region and to detect and quantify the amount of gas hydrate and free gas present in the sediment are presented. Analysis of the variation of pre-stack reflection amplitude versus angle of incidence (AVA) and waveform inversion are implemented. For this purpose eight 2-D high resolution long offset (5250 m) reflection seismic lines have been acquired in 1999 across the 3-D survey area to provide continuous wide angle data (Fig. 1).

In the seismic sections BSRs are imaged at about 300 m below seafloor at water depths of 1000-3000 m. Faults are observed at and below BSR depths providing pathways for vertical migration and accumulation of methane-rich fluids. Prominent variations of post-stack and pre-stack zero-offset reflection amplitudes are observed along the seismic lines, which presumably reflect varying concentrations of gas hydrate and/or free gas. BSR reflections show a clear phase reversal against the seafloor reflection, and source-receiver offsets that are five times the target depth provide incidence angles up to 70°. Due to the lack of any well control in the immediate vicinity of the main study area, high resolution semblance-based velocity analyses constrained AVA modeling. To restore amplitudes at the BSR, source and receiver directivities have explicitly been considered. Amplitude analyses performed at selected points with high S/N ratio BSR reflections show pronounced class III AVA anomalies with strong negative zero-offset reflection coefficients that increase with offset. In combination with forward modeling (full Zoeppritz) a differentiation between locations characterized by the solely presence of hydrate (Fig. 2) and locations characterized by the solely presence of free gas or free gas associated with gas hydrate (Fig. 3) is indicated. Differentiation is based on the AVA behavior at intermediate angles of incidence (~30°-60°), while curves are hardly distinguishable at lower angles and S/N ratio rapidly decreases at far offsets, due to interference at the BSR reflection.

References

Kvenvolden, K.A. and Lorenson, T.D., The Global Occurrence of Natural Gas Hydrate, in *Natural Gas Hydrates: Occurrence, Distribution, and Detection*, edited by C.K. Paull and W.P. Dillon, pp. 3-18, AGU monograph series, **124**, 2001.

Hinz, K., and Scientific Crew: Geoscientific investigation off Costa Rica, Pacomar II, Archiv-Nr. 110148, BGR internal report, 1992.

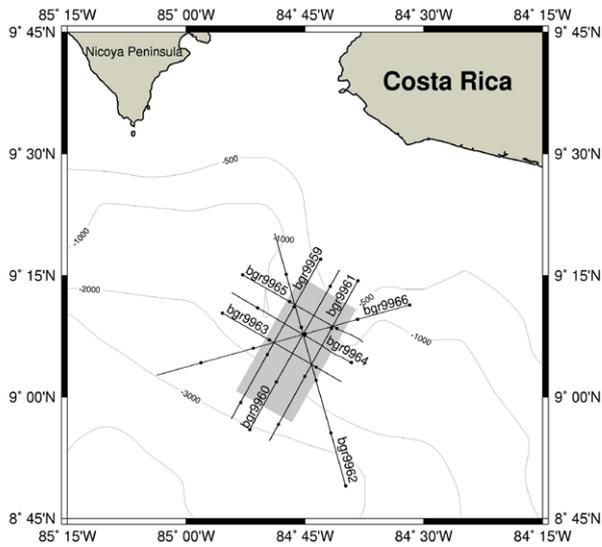


Fig. 1: Wide-angle reflection seismic lines are located across the 3-D survey area offshore Costa Rica to determine gas hydrate and free gas acoustic properties from AVA analyses and waveform inversion.

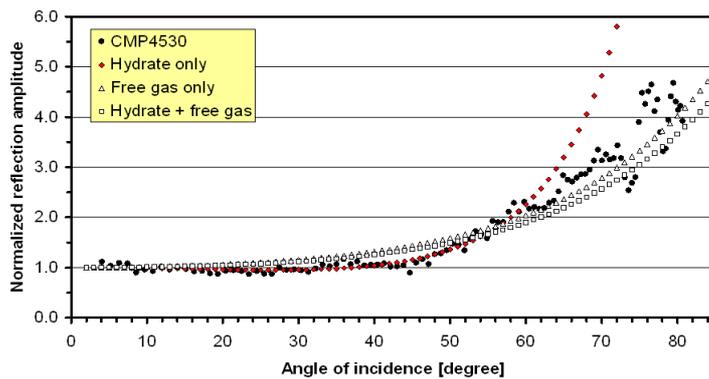


Fig. 2: BSR AVA curve extracted from CMP4530, line BGR99-60, indicates the solely presence of hydrate (constant Poisson's ratio model). Data are corrected for spherical divergence, and source and receiver directivity.

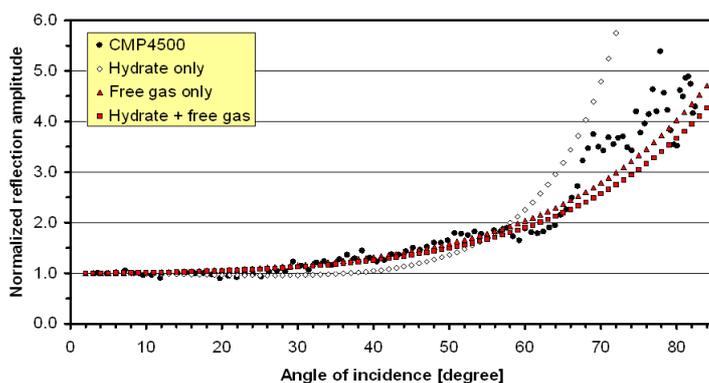


Fig. 3: BSR AVA curve extracted from CMP 4500, line BGR99-60, indicates the presence of free gas (reduced

Poisson's ratio model).

Schlindwein, V., Bönemann, C., Reichert, C. (Hannover), Grevemeyer, I. (Bremen), Flüh, E. (Kiel)

v.schlindwein@bgr.de

Three-dimensional seismic refraction tomography of the crustal structure at the ION site on the Ninetyeast Ridge, Indian Ocean

We performed a 3-D seismic refraction tomography of a data set covering a 48 km x 48 km large area with the ODP site 757 in its centre, and compared the results with other geophysical data at coincident positions. This site is planned to host an International Ocean Network (ION) permanent seismological observatory, called Ninetyeast Ridge Observatory (NERO). The study area is located in the southern part of the Ninetyeast Ridge that represents the trail of the Kerguelen hotspot on the Indian plate. The GEOMAR Research Centre for Marine Geosciences and the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources acquired 18 wide angle profiles recorded by 23 ocean bottom hydrophones within a broader programme during cruise SO131 of R/V SONNE in late spring 1998 that included two-dimensional wide-angle/seismic refraction profiling in the oceanic basins adjacent to the Ninetyeast Ridge. In addition, high-resolution seismic data, bathymetric data and total field magnetic data were recorded along all track lines. We applied a first arrival tomography technique in 3-D developed by Zelt and Barton (1998). This method is based on regularized inversion to recover the 3-D velocity structure relative to a 1-D background model which in our case was constructed from a priori information and averaged travel time data. The final velocity model revealed the crustal properties down to about 8 km depth. Resolution tests showed that features with about 6 km horizontal extent could be resolved. The 3-D tomography of the extrusive upper crust around the NERO site filled an important gap regarding the seismic properties of that area. A comprehensive seismic model of the crust beneath the NERO site can now be presented: An about 160 m thick layer of pelagic sediments with velocities of 1.5-1.6 km/s is underlain by a layer of volcanoclastic material with 2.2-3.0 km/s (Flueh and Reichert 1998). The transition to the volcanic basement occurs at 400-700 m depth below sea floor (Flueh and Reichert 1998). Velocities rapidly increase from about 3.5 to 6.2 km/s at 5-6 km depth. Our study revealed in detail the heterogeneous structure and varying thickness of this layer interpreted as extrusive material forming the upper crust. A prominent decrease of the vertical velocity gradient marks the transition from mainly extrusive to intrusive rocks at about 5-6 km depth or 3-4 km below sea floor in agreement with the results of the 550 km long refraction profile interpreted by Grevemeyer et al. (2001) which crosses the NERO site. In the extrusive layer of the crust, three types of volcanic features could be identified by their distinct seismic, magnetic and bathymetric nature: 1) A fossil volcanic centre characterized by a narrow seismic high velocity anomaly, a positive magnetic anomaly, but no particular bathymetric expression. The depth extent of the structure is difficult to constrain with the existing data. 2) A thick lava flow expressed by increased seismic velocities down to 4 km depth and a pronounced magnetic low. This feature forms the northeastern elongation of an elevated plateau. Outcropping basement and the pronounced magnetic anomaly might indicate the source of the lava sequence. 3) Small volcanic cones, manifesting late stage volcanism (Kopf et al. 2001), which do not produce detectable seismic nor magnetic anomalies. In addition, a pronounced low velocity anomaly was identified underneath a thick sedimentary cover in a bathymetric depression. It shows no specific magnetic anomalies. The seismic anomaly may indicate a deep trough filled with an accumulation of extrusives of different ages and magnetic polarities. Poor ray coverage within the shallow crust in this area resulted in artificial elongation of the shallow structure towards larger depth. Tests, however, that explicitly included the shallow low velocity layer in the modelling validated the conceived model. Apart from insights into the volcanic structure of the upper crust, the velocity model resulting from our 3-D seismic refraction tomography around the NERO site will enable a more precise analysis of earthquake signals to be recorded by NERO and will guarantee that full advantage of this remote observatory can be taken.

References: Flueh, E. R., and C. Reichert, eds., Cruise Report SO131, SINUS - Seismic investigations at the Ninetyeast Ridge observatory using SONNE and JOIDES RESOLUTION during ODP Leg 179, GEOMAR report, 72, 337 pp., 1998. Grevemeyer, I., E. R. Flueh, C. Reichert, J. Bialas, D. Klageschen and C. Kopp, Crustal architecture and deep structure of the Ninetyeast Ridge hotspot trail from active-source ocean bottom seismology, *Geophys. J. Int.*, 144, 414-431, 2001. Kopf, A., D. Klageschen, W. Weinrebe, E. R. Flueh, and I. Grevemeyer, Geophysical evidence for late stage magmatism at the central Ninetyeast Ridge, Eastern Indian Ocean, *Mar. Geophys. Res.*, 22, 225-234, 2001. Zelt, C. A., and P. J. Barton, Three-dimensional seismic refraction tomography: a comparison of two methods applied to data from the Faeroe Basin, *J. Geophys. Res.*, 103, 7187-7210, 1998.

Berthold, S. (Freiberg), Börner, F. (Dresden), Pape, H. (Aachen)

fboerner@dgfz.de

Gesteinsphysikalische Untersuchungen an anhydrit-zementierten geothermischen Aquifern

Die geothermische Nutzung von Aquiferen setzt eine hohe Permeabilität der Gesteine voraus, um die Injektion von kaltem und die anschließende Gewinnung von heißem Wasser mit vertretbarem Aufwand zu ermöglichen. Die ursprünglich hohe Permeabilität wird in einigen Aquiferen durch Anhydrit-Zementation im Porenraum stark herabgesetzt, wodurch eine geothermische Nutzung erheblich eingeschränkt wird.

Im Rahmen eines an der RWTH Aachen laufenden FuE-Vorhabens wurden am Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. gesteinsphysikalische Messungen an Kernmaterial aus der südlich von Hamburg gelegenen geothermischen Bohrung Allermöhe 1 durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen ist die Schaffung von Grundlagen, um mittels Bohrlochmessung Zonen signifikanter Anhydritzementation identifizieren zu können.

Das aus Rhätsandstein bestehende Probenmaterial stammt aus Teufen zwischen 3221,5 und 3259,6 Metern. Die Laboruntersuchungen wurden an zylinderförmigen Plugs mit einem Durchmesser von 20 mm und einer Länge von 30 mm durchgeführt.

Neben gefügecharakterisierenden Parametern wurden an wassergesättigten Proben die elektrische und dielektrische Übertragungsfunktion, deren Zustandsabhängigkeit sowie die Schallwellengeschwindigkeit bestimmt. Die Herauslösung des Anhydrites infolge der Lagerung der Proben im Wasser und der wechselnden Druckbedingungen beim Aufsättigen unter Vakuum wurden mit wiederholten Dichte- und Porositätsmessungen kontrolliert.

Das elektrische und dielektrische Übertragungsverhalten wurde im Frequenzbereich von ca. 10 mHz bis 20 kHz und von 300 kHz bis ca. 3 GHz bei variabler Wasserbeschaffenheit mit zwei unterschiedlichen Messapparaturen ermittelt. Die experimentell gewonnenen Daten ermöglichten die Bestimmung einer breitbandigen Übertragungsfunktion zwischen ca. 10 mHz und 3 GHz und deren Zustandsabhängigkeit. Für die Analyse der elektrischen Zustandsfunktion wurden zunächst vereinfacht in klassischer Weise die Komponenten der komplexen Leitfähigkeit bei 1 Hz in Abhängigkeit der Wassersalinität dargestellt.

Ein Beispiel für ein breitbandiges Spektrum der komplexen Leitfähigkeit einer Sandsteinprobe mit dem Fit der Übertragungsfunktion zeigt Bild 1. Die elektrischen Zustandsfunktionen für den Realteil und den Imaginärteil der spezifischen Leitfähigkeit bei 1 Hz für die Probe PR12 zeigen Bild 2 und 3. Während der Realteil das für silikatische Gesteine typische Verhalten, charakterisiert durch die Dominanz der geringsalinitätsabhängigen Grenzflächenleitung bei niedrigen Salinitäten und die Dominanz der elektrolytischen Leitung bei hohen Salinitäten, zeigt, konnte für den Imaginärteil das einer flach ansteigenden logarithmischen Funktion ähnelnde Verhalten nicht gefunden werden. Ein Zusammenhang des abweichenden Verhaltens mit dem Anhydritgehalt wird im Rahmen der noch ausstehenden komplexen Auswertung geprüft.

Bild 1:

Beispiel für das
Breitbandspektrum
einer Gesteinsprobe.
Die unterbrochene
Kurve zeigt den Fit der
komplexen
Transferfunktion.

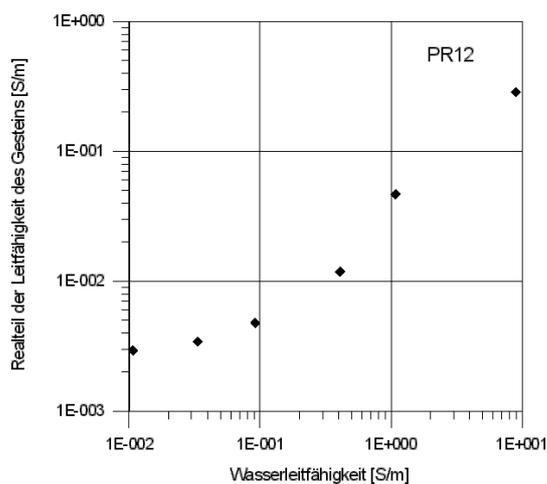
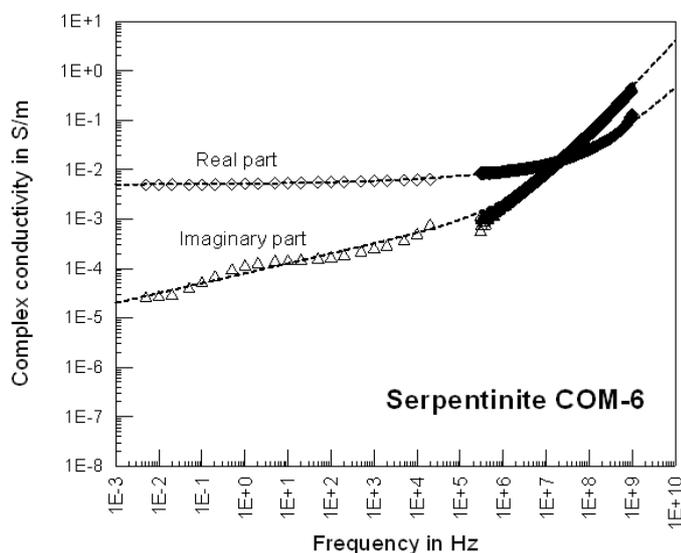


Bild 2: Elektrische Zustandsfunktion: Abhängigkeit des Realteils der komplexen Leitfähigkeit von der Salinität.

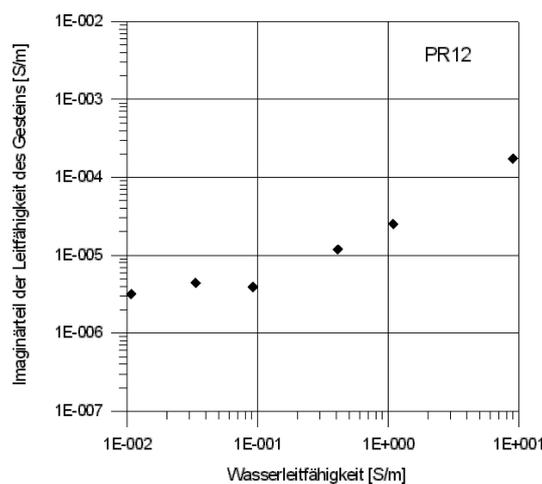


Bild 3: Elektrische Zustandsfunktion: Abhängigkeit des Imaginärteils der komplexen Leitfähigkeit von der Salinität.

Literatur

Baermann, A., Kröger, J., Zarth, M., "Anhydritzemente im Rhätsandstein Hamburgs - Röntgen- und Kernspintomographische Untersuchungen und Lösungsversuche", Z. angew. Geologie, (2000) **46**, 3, 144-152.

Pape, H., Clauser, C., Iffland, J., Bartels, R., Wagner, R., Kühn, M., "Petrophysical Studies on Anhydrite Cementation", Proceedings 62. DGG-Jahrestagung, 2001

Die Mittel für die hier vorgestellten Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Bildung, Forschung und Technologie der RWTH Aachen unter dem Kennzeichen 032 70 95 zur Verfügung gestellt. Dem Institut für Geophysik der TU Bergakademie Freiberg wird für die Unterstützung bei der Durchführung der experimentellen Untersuchungen am Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. gedankt.

Durchstrahlungsmessungen zur Ermittlung geohydraulischer Zustandsfunktionen

Die Aufnahme der hydraulischen Zustandsfunktion $\Theta_w = f(p_c)$ poröser Gesteine erfordert die Messung des Kapillardruckes p_c und des Wassergehaltes Θ_w . Die Kapillardruckmessung erfolgte mittels Tensiometer, die in einem Versuchskörper aus Sand installiert wurden. Der integrale Wassergehalt wurde über die Zufluss-Abfluss-Bilanzierung ermittelt. Der hier neue Einsatz der Radartechnik (Fechner, 2000) ermöglichte darüber hinaus eine repräsentative Θ_w -Bestimmung in der Ebene der Druckmessung. Die Radarantennen wurden hierzu auf halber Höhe seitlich an einem quadratischen Trog in Höhe des Filterbereiches eines Tensiometers fest installiert. Dadurch konnte während der Sättigungs- und Entsättigungsprozesse eine kontinuierliche Messung von Durchstrahlungen durchgeführt werden. Gemessen wurden simultan im 10s-Takt die Laufzeit der Radarwelle und die am Tensiometer registrierten Kapillardrucke.

Ergebnisse

Aus der Signallaufzeit ließen sich die relativen Dielektrizitätszahlen $\epsilon_{r, \text{mess}}$ und anschließend mit folgender empirischer Formel die Wassersättigung bzw. die Wassergehalte Θ_w errechnen (Börner et al., 2000):

$$\Theta_w = \left(\frac{\epsilon_{r, \text{mess}} - \epsilon_{r, \Theta_w = 0}}{b} \right)^{\frac{1}{n^{**}}} \quad \text{Gl. (1)}$$

Die von Porenstruktur und Wasserbeschaffenheit abhängigen Parameter b und n^{**} wurden mit einer unabhängigen Versuchsreihe bestimmt. Da während der Entwässerung nur Druckdifferenzen von maximal 50 cm WS angelegt wurden, konnten der Wendepunkt der geohydraulischen Zustandsfunktion nur bei Grobsand erreicht werden. Bei Mittel- und Feinsand riss der Wasserfluss vor Erreichen des minimalen Wassergehaltes ab. Auf Grund des großen Kapillarsaums von Fein- und Mittelsand wurden die Restwassergehalte deshalb separat ermittelt.

Die Restwassergehalte dienen der Anpassung der geohydraulischen Zustandsfunktion und der Ermittlung des Wassergehaltes Θ_w mit Hilfe der Gleichung (Busch et al., 1993, Gl. 1.69b):

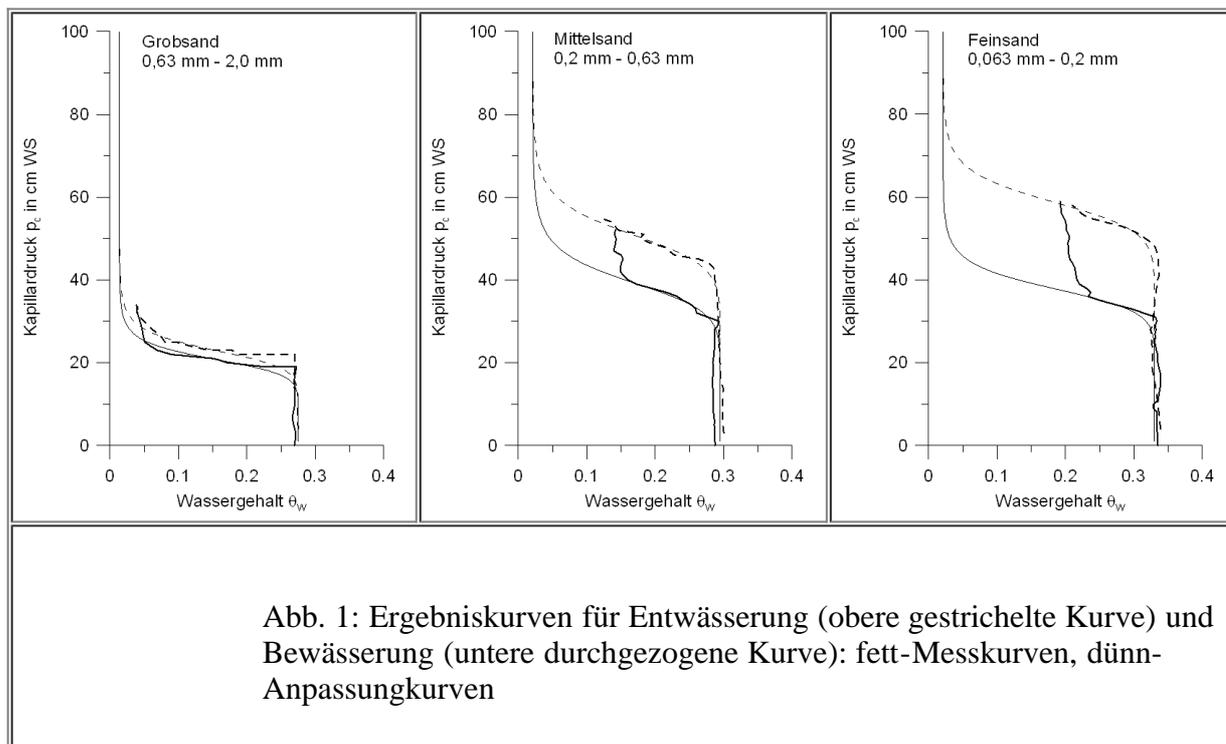
$$\Theta_w = \Theta_{w,r} + \frac{\phi - \Theta_{w,r} - \Theta_{L,r}}{\left[1 + (a \cdot p_c)^n \right]^{1 - \frac{1}{n}}} \quad \text{Gl. (2)}$$

Notwendig waren dafür insgesamt 5 Parameter: Restwassergehalt $\Theta_{w,r}$, Restluftgehalt $\Theta_{L,r}$ aus Bilanz mit $\Theta_{w,r}$ und eingebautem Volumen Sand, Porosität ϕ aus eingebautem Volumen Sand, Anstiegsparameter n und Maßstabsfaktor a als frei wählbare Anpassungsparameter.

Die Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt. Es wurden die Mittelwerte der beiden durchgeführten Messungen verwendet.

Erwartungsgemäß ergeben sich mit abnehmender Korngröße größere Restwassergehalte bzw. geringere Restluftgehalte. Mit der Korngröße nimmt n ab und a steigt an. Bedingt durch die Hysterese ergeben sich für die Sättigung größere Werte als für die Entsättigung. Eine Zusammenstellung aller Parameter findet sich in Tab. 1.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Eignung des verwendeten Verfahren und Versuchsaufbaus zur Erfassung geohydraulischer Zustandsfunktionen an großen und damit repräsentativen Gesteinsvolumina bestätigt werden konnte. Es soll weiterhin darauf hingewiesen werden, dass die für die Anpassung verwendete Gleichung der geohydraulischen Zustandsfunktion streng genommen nur für eine statische Versuchsdurchführung verwendet werden kann. In Zusammenhang mit der Übertragung der Methodik in den Feldmaßstab ist eine dynamische Modellierung vorgesehen.



Tab. 1: Übersicht der Anpassungsparameter für die verschiedenen Sande

	Feinsand		Mittelsand		Grobsand	
	Entsättigung	Sättigung	Entsättigung	Sättigung	Entsättigung	Sättigung
Restwassergehalt $q_{W,r}$	0,021	0,021	0,021	0,021	0,014	0,014
Restluftgehalt $q_{L,r}$	0,041	0,041	0,042	0,042	0,141	0,141
Porosität F	0,371	0,371	0,337	0,337	0,416	0,416
Anstiegsparameter n	16,35	13,15	12,9	10,7	10,2	10,5
Maßstabsfaktor a	0,0170	0,0264	0,0196	0,0254	0,0435	0,0480

Danksagung

Die Autoren bedanken sich ganz herzlich bei den Mitarbeitern des Forschungslabors des DGFZ e.V. für ihre freundliche Unterstützung. Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen des DFG-Forschungsvorhabens BO 1082/6-1,2.

Literatur:

Th. Fechner: *Entwicklung eines spektralen Auswerteverfahrens zur Bestimmung von Qualitätsparametern in Kalksteinlagerstätten auf der Basis von Bohrlochradarmessungen*. Dissertation, Proc. des DGFZ e.V, ISSN 1430-0176, 2000

F. Börner., S. Berthold., Th. Fechner: *Investigation of hydraulic state functions with the help of geoelectric and radar measurements*. Proc. of the 4th EEGS conference, Bochum 2000, 4 S., 2000.

K.-F. Busch, L. Luckner, K. Tiemer.: *Geohydraulik*. Gebrüder Borntraeger, Berlin Stuttgart, 1993.

Franke, A., Spitzer, K., Börner, R.-U. (Freiberg)

frankeant@web.de

Numerische Modellierung von Eigenpotentialanomalien

Die Eigenpotentialmethode gehört zu den einfachsten geophysikalischen Messverfahren. Man beobachtet von der Erdoberfläche aus natürliche lokale elektrische Felder im Untergrund. Messgröße ist ein Potentialunterschied zwischen zwei unpolarisierbaren Sonden ohne Einspeisung eines künstlichen Stroms. Damit zählt das Verfahren zu den einfachsten denkbaren Anwendungen der Geoelektrik. Trotz diesem leicht verständlichen Messprinzip bereiten Eigenpotentialmessungen noch große Probleme. So sind zum einen die vielfältigen Vorgänge, die zur Entstehung von solchen Anomalien führen, noch nicht bis ins Detail aufgeklärt und zum anderen ist das Verfahren sehr stör anfällig. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, Redoxpotentiale, die durch elektrochemische Prozesse hervorgerufen werden, näher zu beleuchten. Fließ- und Strömungspotentiale, die auch elektrokinetische Potentiale genannt werden, sollen vorerst unbeachtet bleiben. Die Ursachen der Entstehung sind noch umstritten. Der einfachste Versuch der Erklärung stützt sich auf einen im Boden von oben nach unten sinkenden Sauerstoffgehalt. Der daraus resultierende Gradient im elektrochemischen Redoxpotential ruft am oberflächennahen Ende der Einlagerung vorwiegend Oxidationen hervor, an ihrem unteren Ende verstärkt Reduktionen. Damit entstehen entgegengesetzte Ladungsschwerpunkte. Es werden in und um die Einlagerung Elektronen- bzw. Ionenströme generiert. Es ist aber anzunehmen, dass auch die Beschaffenheit der am Ionentransport beteiligten Flüssigkeiten die Stärke der entstehenden Felder beeinflusst. So bezieht eine andere Hypothese zur Entstehung von Redoxpotentialen den pH-Wert des Bodens ein. Diese Theorie legt nahe, Leitfähigkeitsunterschiede im Bereich einer Eigenpotentialanomalie für deren Berechnung ebenfalls nicht zu vernachlässigen. Den elektrochemischen Vorgängen wird ein Modell angepasst, das eine charakteristische Verteilung von Stromquellen und -senken im Untergrund enthält. Grundlage bildet das Modellierungsprogramm *3ddcxh* aus der 3D-Geoelektrik. Im Bereich der Eigenpotentialanomalie erhält der Quellvektor Einträge, die verschieden sind von Null. Bestätigung findet diese Vorgehensweise in der numerischen Berechnung des Pol- und Dipolpotentials im homogenen Halbraum. Bis auf einen Diskretisierungsfehler, der abhängig ist vom angewandten Gitter, lassen sich die analytisch berechneten Potentialverläufe nachbilden. Es zeigt sich, dass eine flächenhafte Ladungsverteilung einer volumenhaften Belegung vorzuziehen ist. In analytischen Rechnungen werden Eigenpotentiale oft als Dipole betrachtet. Dieser Dipolcharakter verdeutlicht sich in der numerischen Modellierung ebenfalls. Der obere Teil des eingelagerten Körpers ist mit Senken, der untere mit Quellen belegt. Nur so lässt sich auch der typische Potentialverlauf über einer Eigenpotentialanomalie modellieren. Von großem Interesse ist weiterhin der Einfluss verschiedener Leitfähigkeiten auf den Potentialverlauf im Bereich der Eigenpotentialanomalie. Da die Einlagerungen nach vielen Theorien zur Entstehung solcher Redoxpotentiale als Elektronenleiter fungieren, sind sie als gutleitende Bereiche anzusehen. Die vorliegende Arbeit soll zum einen bei der Auswertung gemessener Potentialverläufe über Eigenpotentialanomalien von Nutzen sein und zum anderen zum Verständnis der Prozesse zur Entstehung von Redoxpotentialen beitragen.

Futterer, B., Börner, R.-U., Spitzer, K. (Freiberg)

futterer@geophysik.tu-freiberg.de

Minimierung von Diskretisierungsfehlern bei gitterunabhängiger Elektrodenpositionierung

Der Einsatz der Sekundärfeldlösung bei der Widerstandsmodellierung nach der Methode der finiten Differenzen ermöglicht die Beseitigung der Quellensingularitäten. Ein zusätzlicher Vorteil dieser Methode ist die gitterunabhängige Positionierung der Quellen.

Die Genauigkeit dieser freien Positionswahl wird für das Modell einer vertikalen Platte und halber Wenner-Anordnung mit fester Quelle A und wanderndem Empfänger M untersucht. Der globale Diskretisierungsfehler berechnet sich als Abweichung der numerischen von der analytischen Lösung. Man erhält gute Ergebnisse für Quellpositionen auf und in der Nähe von Gitterpunkten. Betrachtet man entsprechende Positionen in der Nähe und direkt auf den Leitfähigkeitskontrasten kommt es zu starken Abweichungen von der analytischen Lösung. Wenn die Primärquellen dort positioniert werden, entstehen sehr starke Sekundärquellen.

Der globale Diskretisierungsfehler hängt u.a. von der Gittergröße und den Gitterpunktständen ab. Ein logarithmisches Gitter verringert den Fehler erheblich. Eine sinnvolle Maßnahme zur Erhöhung der Genauigkeit ist die Verwendung eines in Gebieten rascher Lösungsänderung lokal verfeinerten Gitters. Das bei den oben beschriebenen Genauigkeitsuntersuchungen eingesetzte äquidistante Gitter wird dabei in Gebieten hoher Leitfähigkeitsgradienten verfeinert. Es stellt sich die Frage, wie die Minimierung des Diskretisierungsfehlers bei gitterunabhängiger Elektrodenpositionierung mit Hilfe höher auflösender Netze quantifiziert werden kann.

Prinzip für die Auswahl eines Netzes ist die Rechnung auf einem äquidistanten Grobnetz. Damit erhält man zunächst Informationen über das allgemeine Verhalten der Lösung. Anschließend werden dann die Rechnungen mit einem in entsprechenden Gebieten lokal verfeinerten Netz wiederholt. Eine Effizienz dieser Arbeitsschritte wird durch die Verwendung eines adaptiven Gitters erreicht. Diese wird im Verlauf des Lösungsprozesses in Abhängigkeit des Lösungsverhaltens konstruiert.

Als Kriterium für die Netzverfeinerung, d.h. für das lokale Einfügen von neuen Gitterpunkten in Gebieten rascher Lösungsänderung, wird die Differenz des anomalen Potentials zwischen benachbarten Knoten ausgewertet:

$$\Delta V = |V_a(x_i) - V_a(x_{i-1})| \quad \text{Konstante.}$$

Liegt die Differenz über dem Wert von $K = 0.1 \text{ V}$ wird der Knotenabstand in diesem Teil des Gitters halbiert.

Als Kriterium für die Qualität der Verfeinerung wird der lokale Diskretisierungsfehler über den Vergleich zweier mit unterschiedlichen Diskretisierungsschrittweiten $2h$ und h auflösenden Gittern ermittelten Lösung abgeschätzt:

$$\varepsilon^l(h) = V_a(2h) - V_a(h) / 1 - 2p.$$

Das diskrete Modell ist dabei bezüglich des verwendeten Diskretisierungsverfahren und der eingesetzten Randbedingungen mit der Ordnung $p=1$ konsistent. Es zeigt sich, dass bereits mit nur einem Verfeinerungsschritt die Genauigkeit der Näherungslösung für den Fall kontrastnaher Einspeisung am Beispiel des Dike-Modells wesentlich verbessert werden kann. Weiter werden Vorzeichenwechsel und eine Art Oszillieren des Fehlers beobachtet.

Die Funktionalität des adaptiven Algorithmus zeigt sich auch für ein beliebiges 3-dimensionales Modell.

Oeser, J., Börner, R.-U. (Freiberg)

oeser@student.tu-freiberg.de

Parallele Lösung großer Gleichungssysteme in der 3D-Geolektrik

Will man in Zukunft feiner diskretisierte dreidimensionale Modelle des Untergrundes erstellen, werden immer leistungsfähigere Computer mit großem Arbeitsspeicher benötigt. Der erhöhte Bedarf an Rechenpower kann schon heute durch den Einsatz von Parallelrechnern befriedigt werden, nur sind mit Parallelrechnern immense Kosten in der Anschaffung und Unterhaltung verbunden. Im Gegensatz dazu empfiehlt sich der Einsatz eines Linux-Clusters aus handelsüblichen PC's durch geringe Kosten und hohe Flexibilität. Bevor die parallele Rechentechnik in der Vorwärts- und Inversionsrechnung der 3D Geolektrik eingesetzt werden kann, muss der Nachweis erbracht werden, dass der zu erreichende Laufzeitgewinn den erhöhten Implementierungsaufwand rechtfertigt. Dazu sind auf einem Linux-Cluster verschiedene Skalierungstests durchgeführt worden, in deren Ergebnis sich die Kombination aus konjugierten Gradienten als Gleichungslöser und Block Jacobi mit SSOR als Vorkonditionierer als effizient herauskristallisiert hat. Beim Einsatz von 7 Rechnern ist es möglich das Gleichungssystem in einem fünftel der Laufzeit für den Einzelprozessorfall zu lösen. Unter diesem Aspekt rechtfertigt sich der gesteigerte Aufwand bei der Entwicklung geophysikalischer Programme.

Schwarzbach, C., Börner, R.-U. (Freiberg)

cschwarz@student.tu-freiberg.de

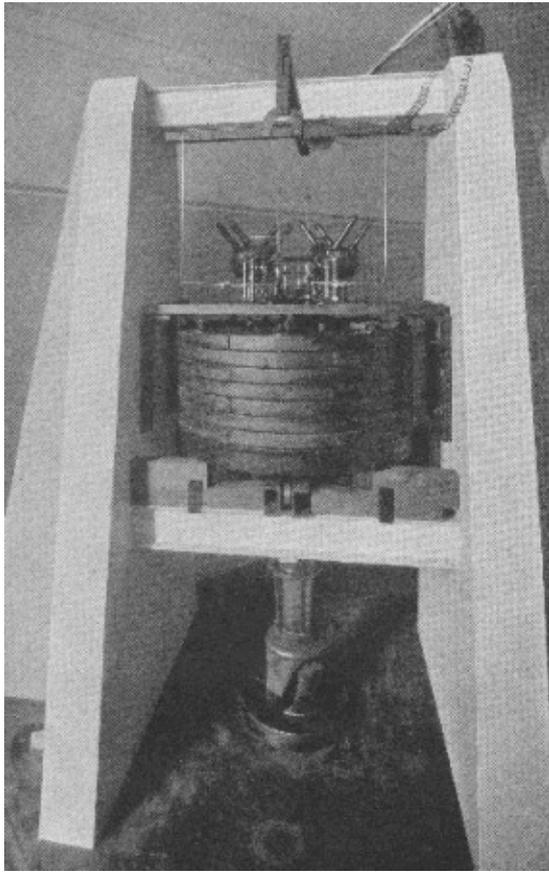
Genetische Algorithmen und Simulated Annealing – Nichtlineare Optimierung in der Widerstandsgeoelektrik

Bei der inversen Aufgabe der Widerstandsgeoelektrik wird ein Satz von Modellparametern gesucht, der ein Fehlerfunktional, den Abstand zwischen Daten und Modellantwort, minimiert. Das Fehlerfunktional hängt im Allgemeinen nichtlinear von den Parametern ab. Die klassischen Verfahren zur Minimierung erfordern geeignete Startmodelle, die Berechnung von Ableitungen oder sind bei großen Modellräumen mit vielen Nebenminima praktisch nicht mehr durchführbar. Genetische Algorithmen und Simulated Annealing sind nichtlineare Optimierungsalgorithmen, die Analogien natürlicher Prozesse nutzen, um das globale Minimum zu lokalisieren. Genetische Algorithmen adaptieren Evolutionsstrategien, die Anpassung von Lebewesen an ihre Umwelt, das Überleben des Stärkeren. Simulated Annealing basiert auf der Analogie zum Verhalten von kristallisierenden Flüssigkeiten oder erstarrenden Schmelzen, das bei langsamem Abkühlen zum Zustand minimaler Energie im Kristallgitter führt. Genetische Algorithmen und Simulated Annealing werden auf Beispiele der Inversion von widerstandsgeoelektrischen Daten angewandt.

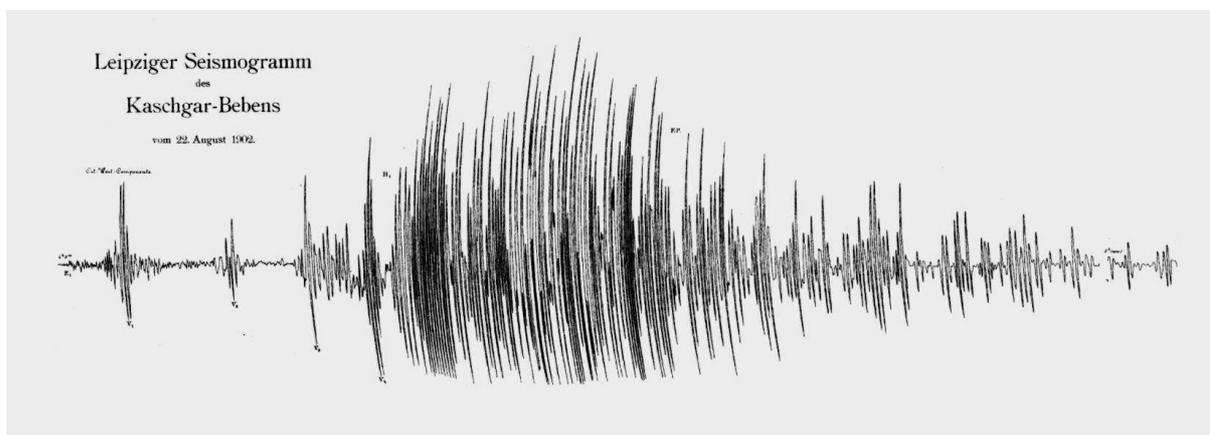
Jacobs, F., Börngen, M., Korn, M. (Leipzig)

jacobs@rz.uni-leipzig.de

100 Jahre Erdbebenwarte Leipzig/Collm



Der sächsische Raum weist eine schwache Erdbebenaktivität auf. Hier wurden in der Vergangenheit hin und wieder seismische Ereignisse beobachtet, deren Intensität nach heutigen Maßstäben oberhalb von 6,5 auf der MSK-Skala lag. Spürbare Erdbeben um 1875 veranlassten den Leipziger Paläontologen und Geologen Hermann Credner (1841-1913), genaue Informationen über solche Ereignisse zu sammeln und auszuwerten. Bis 1897 wurden 38 Beben bemerkt, von denen allein 22 im Vogtland Aufsehen erregten. 1898 gründete Credner für Sachsen eine Erdbebenkommission, der 55 Personen aus dem ganzen Land angehörten, die als "Erdbebenreferenten" eigene und über Fragebogen eingezogene Beobachtungen zu Erderschütterungen sammelten. Eisenbahnstationen wurden von ihrer Direktion angewiesen, von eventuellen Erderschütterungen sofort telegraphisch Meldung zu machen.



Da die alleinige phänomenologische Beobachtung nicht ausreichte und die technische Entwicklung der Seismographen beachtliche Fortschritte gemacht hatte, richtete Credner im Jahre 1902 im Keller des Hauses Talstraße 35 eine Erdbebenwarte ein. Ihr genauer Standort ist noch heute an einem verblassten Hinweis an der hofseitigen Hauswand des Institutsgebäudes zu erkennen. Im von Credner geleiteten Paläontologischen Institut betreute Franz Etzold (1859-1928) die Warte. Das installierte Pendelseismometer (Masse 1,1 Tonnen) war von Emil Wiechert (1861-1928) entwickelt und von der Firma Spindler & Hoyer, Göttingen, gebaut worden. 250fache Vergrößerung machte Signale

nicht nur von Beben aus dem sächsisch-vogtländischen Raum sondern auch aus fernen Gebieten der Erde in überraschend guter Qualität sichtbar. Schon kurz nach Inbetriebnahme der Station konnte am 28. März 1902 ein Fernbeben aus dem Raum der Molukken registriert werden, wenige Wochen später ein Nahbeben, und zwar das Greizer Beben vom 1. Mai 1902. Ein weiteres markantes Erdbeben aus dieser Zeit war das abgebildete Kaschgar-Beben vom 22. August 1902. Die Errichtung der Erdbebenwarte und die Publikation der Messergebnisse gelang durch finanzielle Unterstützung insbesondere der Sächsischen Gesellschaft (ab 1919: Akademie) der Wissenschaften zu Leipzig.

Nach dem Ersten Weltkrieg wurde die Verwaltung der Erdbebenwarte durch das 1913 gegründete Geophysikalische Institut übernommen. Der Seismograph befand sich allerdings mittlerweile in einem schlechten Zustand. Ludwig Weickmann stellte deshalb bei seiner Berufung auf den Lehrstuhl für Geophysik im Jahre 1923 zur Bedingung, dass der Seismograph einer gründlichen Überholung unterzogen werden müsste. Dies geschah: seine Registrierteile wurden vollkommen erneuert, nur die stationäre Masse blieb unverändert. Zu Beginn des Jahres 1925 konnte der Apparat wieder an seinem alten Platz aufgestellt werden.

Der zunehmende Verkehr und die wachsende Industrialisierung in der Stadt Leipzig mit den damit verbundenen Störungen setzten jedoch den wissenschaftlichen Wert der Registrierungen immer mehr herab. Dies war - neben weiteren aus geophysikalischer Forschung und akademischer Lehre resultierenden Motiven - ein wesentlicher Grund, die Schaffung eines Außenobservatoriums ins Auge zu fassen. Es wurde Weickmann 1927 vom Sächsischen Ministerium für Volksbildung zugestanden, nachdem er eine Berufung an die Universität Hamburg abgelehnt hatte.

Am Collm bei Oschatz, genügend weitab von Störungen durch Erderschütterungen infolge Verkehr oder Steinbruchsprengungen, frei von Beeinflussungen des erdmagnetischen Feldes durch Gleichstromanlagen und entfernt von Quellen atmosphärischer Trübung durch Rauchentwicklung aus Industrieanlagen., wurde ein geeigneter Platz für das Geophysikalische Observatorium gefunden. Die ordovizische Grauwacke am Standort bot günstige Bedingungen für rauscharmen seismologischen Dauerbetrieb. Nach mehrjähriger, aus wirtschaftlichen Gründen immer wieder unterbrochener Bautätigkeit, wurde das Hauptgebäude des Observatoriums im Oktober des Jahres 1932 eingeweiht. Nach Errichtung der erforderlichen Nebengebäude konnte 1935 auch der Seismograph zum Collm gebracht werden, wo er bis heute einwandfrei arbeitet. Kriegsbedingte Wirren führten nur zu unbedeutenden Registrierausfällen.

Bemühungen um die Modernisierung der Erdbebenwarte sind trotz Schwierigkeiten immer wieder erfolgreich gewesen. In Jena entwickelte und gebaute fotografisch registrierende elektrodynamische Seismometer (horizontal, vertikal) prägen insbesondere seit 1950 den hohen Qualitätsstandard der Erdbebenstation Collm.

Mit der 1965 erfolgten Einstellung des Seismologen Bernd Tittel als Nachfolger von Christoph Junge am Observatorium unter der Leitung von Rudolf Schminder und mit einer 1993 geschaffenen Professur (M. Korn) haben seismologische Forschung und Lehre an der Universität Leipzig eine stetige Entwicklung erfahren.

Seit April 1993 ist die Collmer Erdbebenwarte (CLL) Teil des German Regional Seismological Network (GRSN).

Weitere Informationen unter: <http://www.uni-leipzig.de/collm/>

Hesser, J., Spies, T., Büttner, K., Nipp, H.K. (Hannover), Eisenblätter, J. (Ober-Mörlen)

Thomas.Spies@bgr.de

Acoustic emission measurements between closely spaced excavations and comparison with the results of geomechanical model calculations

Deformation of rock is accompanied by microcrack generation if a certain stress level has been reached. With many rocks, this level is well below the stress conditions of short-term failure. Only acoustic emission measurements can detect microcracking directly and can provide its spatial and temporal variations around underground excavations. This is an important contribution for the evaluation of stability and hydraulic integrity in mining.

In this presentation results of acoustic emission monitoring in a German underground repository for low level radioactive waste in rock salt shall be presented. In a drift of one segment of the mine fissures and floor heave are observed. The drift is located below and above large rooms. Acoustic emission monitoring and deformation measurements were performed in the drift. Apart from minor exceptions, the acoustic emission activity was confined to the rock between the excavations. There it showed dense accumulations in form of bands indicating high shear stresses in the rock between the excavations. The exact location of a small drift connecting two rooms in the level of their roofs could be reconstructed by the acoustic emission activity around its contour.

Comparison of the results of geomechanical model calculations with the observed acoustic emission data showed a close correlation. The calculations were performed using the finite element method. In addition to the elastic and the creep deformation of rock salt, the effects of microfracturing were taken into account using a viscoplastic material law. Zones of high calculated stresses and deformations between the excavations (shear bands) coincide well with the zones of dense accumulations of acoustic emission. A detailed analysis of the calculated stresses and deformations provided first evidence of the mechanism of microcrack formation in the rock identified by the acoustic emission measurements. Shear mechanisms as well as tensile mechanism were found.

References

Spies, T., Viola, S. (1998): Untersuchung der Auflockerung des Salzgebirges mit mikroakustischen Messungen und geomechanischen Modellberechnungen, *Geotechnik* (21) 1998, p 243 - 247.

Spies, T., Eisenblätter, J. (2001): Monitoring of microcrack generation around closely spaced excavations in an underground repository, *Journal of Acoustic Emission* (19) 2001, in press.

Langer, M. Heusermann, S. (2001): Geomechanical stability and integrity of waste disposal mines in salt structures. *Engineering Geology* 61, p 155-161.

Wölbern, I. (Potsdam), Dahl-Jensen, T., Bach, T. (Kopenhagen), Hanka, W. (Potsdam), Larsen, T.B., Gregersen, S., Mosegaard, K. (Kopenhagen), Kind, R. (Potsdam), Horn, F. (Kopenhagen)

woelbern@gfz-potsdam.de

Mantle discontinuities under Greenland: a first glimpse

Variations in depth to the mantle discontinuities at approximately 410 km and 660 km have been investigated under the Greenland shield using Receiver Function (RF) analysis. The aim of the analysis is to investigate whether or not disturbances caused by a possible passage of the Iceland plume can be discerned. The RF analysis includes data from 16 temporary broadband seismic stations in addition to the 4 permanent broadband stations in Greenland. The temporary stations were deployed und project GLATIS with the main field period ranging from May to September 2000. Currently 9 of the temporary stations are still in operation including one on the ice sheet (Summit Camp), and there are plans to maintain those remaining stations for at least another year. The data analysis reveals some differences in the travel time delay to the mantle discontinuities. Both in the individual raw RF's for all stations and in two migrated depth profiles along the west and east coast, the 660 km discontinuity stands out clearly, but the 410 km discontinuity is harder to pick. Therefore it is not yet clear, if and how much the thickness of the transition zone varies along these profiles and across Greenland. As more data becomes available over the next year, we should be able to return with a more firm conclusion.

Bahloul, F.

fathy-bahloul@web.de

Kombinierte Auswertung von EMR und Gleichstromgeoelektrik zur Bestimmung eines einheitlichen geologischen Modells

Die Aufgabe geophysikalischer Messungen im oberflächennahen Bereich besteht darin, den Aufbau des Untergrunds und seine physikalische bzw. petrophysikalische Zusammensetzung zu untersuchen. Dazu werden verschiedene Meßverfahren eingesetzt, unter denen die elektrischen bzw. elektromagnetischen Methoden an Bedeutung gewinnen. Entscheidend für das mit den geophysikalischen Methoden aufgestellte geologische Modell des Untergrundes ist der Kontrast der physikalischen Eigenschaften. So ist das extrahierte Modell von der angewendeten Methode abhängig.

Für alle elektrischen und elektromagnetischen Verfahren sind die elektrischen Parameter (vor allem der spezifische elektrische Widerstand bzw. die elektrische Leitfähigkeit und die Dielektrizitätszahl) die maßgebenden stofflichen Eigenschaften. Sie sind hauptsächlich von dem Wassergehalt und dessen Verteilung in Boden abhängig. Demzufolge eignen sich die elektrischen und die elektromagnetischen Verfahren prinzipiell, um diese hydrogeologischen Parameter zu bestimmen. Dazu braucht man aber ein genaues Modell, das die geologischen Strukturen im Untergrund beschreibt.

Um die elektrischen Parameter und die Untergrundstrukturen zu bestimmen wurden EMR- als auch Gleichstromgeoelektrik-Messungen durchgeführt und kombiniert ausgewertet. Dabei zeigen sich Gemeinsamkeiten aber auch Unterschiede, die genau erfaßt und in geeigneter Weise interpretiert werden müssen. Unter der kombinierten Auswertung versteht man, daß bei diesem Prozeß nach einem einheitlichen Modell gesucht wird, das für beide Messungen angewendet werden kann und die geologischen Strukturen im Hinblick auf die elektrischen Parametern beschreiben soll.

Aus EMR-Messungen lassen sich wegen der dielektrischen Kontraste Strukturen und Schichtungen des Untergrunds abbilden. Mittels der Gleichstromgeoelektrik werden Strukturen und Schichten kartiert, die unterschiedliche spezifische Widerstände zeigen. So kann man die Widerstandsverteilung im Untergrund bestimmen. Durch die kombinierte Auswertung erhält man ein einheitliches Modell, das die geologischen Strukturen im Hinblick auf elektrische Parameter beschreibt.

Aus den aus beiden Verfahren resultierenden Parametern (spezifischer elektrischer Widerstand und der Realteil der Dielektrizitätszahl) werden der Imaginärteil der Dielektrizitätszahl, der Absorptionskoeffizient sowie die Porosität ermittelt.

Baisch, S., Harjes, H.-P. (Bochum)

baisch@geophysik.ruhr-uni-bochum.de

On the mechanics of fluid-injection induced seismicity at KTB

Commonly, fluid-injection into deeper parts of the granitic crust is accompanied by the occurrence of seismicity. The identification of this phenomena goes back to the 1960s and to date several conceptual models have been suggested to explain the hydromechanical coupling which leads to seismic failure. However, it has been proven extremely difficult to test the assumptions underlying these different models. In most cases, other than seismic observations are required to give additional constraints which can be tested against competing models. Such additional data exist for the 9.1 km deep KTB (Kontinentale Tiefbohrung, Germany) drilling hole which is one of the best investigated deep-drilling sites in the world. Among other parameters, in situ measurements revealed continuous profiles of principal stresses, pore fluid pressure, and fracture geometry in the vicinity of the borehole. The present study combines these parameters with hydraulic- and seismicity-data obtained during a fluid injection experiment conducted at KTB to discuss existing models and finally to derive a new conceptual model for fluid injection induced seismicity at KTB. Basically, this model rests on the well constrained assumptions that a) the crust is highly fractured with a permeable fracture network between 9 km depth and the earth's surface, b) the crust is in near-failure equilibrium resulting in a large number of fracture planes under near-critical condition.

During the injection experiment, elevated pore fluid pressure remained well below the least principal stress and thus was too small to cause hydraulic opening on existing fractures. Consequently, it is assumed that the geometry of the fracture network was not changed during fluid injection and induced seismicity solely occurs due to effective normal stress lowering consistent with observed source mechanisms. The key parameter in the present model is the fracture permeability, which exhibits large spatial and directional variations. It is suggested, that these variations primarily control fluid migration paths and associated propagation of elevated fluid pressure during fluid injection. In contrast to common models based on isotropic fluid diffusion or spatially averaged permeability, high permeable branches of the fracture network strongly affect the propagation of fluid pressure and prohibit the concept of a smooth 'pressure front'. We find evidence that major fluid flow exists at comparable low pore pressure (below the critical pressure required to cause seismic failure) without being seismically detected. This might also explain the large difference between 10^{11} J of hydraulic energy inserted into the system during fluid injection and 10^6 J of energy radiated seismically: A major part of hydraulic energy might be converted to potential energy of the ground water level due to upward migrating fluid. Importantly, the suggested model also accounts for the occurrence! of repeating earthquakes (multiplets) of which a large number was observed during the injection experiment. The present model also suggests that changes of the stress field due to tectonic shear stress release are very local and of small magnitude. This is consistent with the observation that none of the larger induced events is followed by aftershock series which would be expected if coseismic processes had noticeably perturbed the local stress field.

Rische, M., Baisch, S., Bohnhoff, M., Ceranna, L., Endrun, B., Knabenbauer, O., Meier, T., Harjes, H.-P. (Ruhr-Universität Bochum)

Interpretation der Seismizität im Bereich Kretas

Mit Hilfe passiver seismischer Registrierungen an temporären Netzwerken auf Westkreta (1996/ 97), Gavdos (1999) und Messara (2000/01) konnte ein Erdbebenkatalog erstellt werden, der etwa 4000 lokale Ereignisse im Bereich Kretas umfaßt. Dieser Datensatz wird zusammen mit dem relokalierten ISC-Katalog von Engdahl et al. (1998, BSSA Vol.83) für eine Interpretation der Seismizität im Bereich Kretas verwendet. Ferner werden für ausgewählte lokale Ereignisse Herdflächenlösungen bestimmt und zusammen mit existierenden Katalogen verwendet.

Unter Verwendung von Ergebnissen aus Oberflächenwellenanalysen, Receiver Functions und seismischen Weitwinkelprofilen werden 2-dimensionale Strukturmodelle in südwest-nordöstlicher Profilrichtung erstellt. Diese sind senkrecht zum Streichen der Subduktionszone orientiert und verdeutlichen die strukturellen Unterschiede zwischen West- und Zentralkreta. Diese Unterschiede zeigen sich auch in der Entwicklung 1-dimensionaler Geschwindigkeitsmodelle für West- und Zentralkreta mit dem VELEST-Programmpaket (z. B. Kissling et al. 1994, JGR Vol.99). Die Verteilung der Hypozentren wird innerhalb dieser Profilschnitte mit der Geometrie der Subduktionszone verknüpft. Daraus abgeleitet, können die seismisch aktiven Gebiete der Subduktionszone identifiziert und untergliedert werden.

Die Interplattenseismizität befindet sich südlich von Kreta in einem Tiefenbereich von 20 bis 40 km zwischen 34.5° und 35° nördl. Breite und umfaßt so vor Westkreta den gesamten Bereich der kretischen Kruste, während vor Zentralkreta der südliche Teil des kontinentalen Kretas nicht seismisch aktiv ist.

Oberhalb der Interplattenseismizität erstreckt sich vor der Südküste Kretas eine Zone erhöhter Seismizität bis in den oberflächennahen Bereich. Im Bereich des Kreta-Meeres zeichnen sich nordwärts einfallende Störungszonen in der Seismizitätsverteilung ab. Diese sind bei Westkreta besonders ausgeprägt und spiegeln zusammen mit südwärts einfallenden Störungszonen an der Südküste Kretas die Horststruktur der Insel wider. Interessant im Zusammenhang mit der Horststruktur ist ein aseismischer Bereich, der unterhalb West- und Zentralkretas ab einer Tiefe von 20 km zu finden ist und möglicherweise auf lokale Unterschiede im rheologischen Verhalten der dortigen Kruste hindeutet.

Mittels einiger Beben in der ozeanischen Lithosphäre läßt sich die abtauchende afrikanische Platte verfolgen.

Vor der Südküste Zentralkretas dominiert eine steilstehende Zone erhöhter Seismizität im Bereich der südwärts einfallenden Störungszonen. Eine solche "Aufstiegsstruktur" läßt sich nicht alleine über bisher bekannte lithologische Strukturen und Störungen erklären. Hingegen bieten aufsteigende Fluide, die im Zuge des Entwässerungsprozesses der abtauchenden Platte freigesetzt werden, ein mögliches Erklärungsmodell für die dort beobachtete erhöhte Seismizität. Dieses Modell wird gestützt durch ein gehäuftes Auftreten von seismischen Multiplets in dieser Zone.

Franke, D., Barckhausen, U., Behain, D., Hinz, K., Meyer, H. (Hannover)

d.franke@bgr.de

Der Krustenaufbau des Kontinentrandes vor NW Sabah/Borneo ermittelt aus seismischen Daten

Der Kontinentrand vor NW Sabah bildet die südöstliche Begrenzung des Südchinesischen Meeres und nimmt damit eine zentrale Position im komplexen Gefüge der eurasischen, indo-australischen, pazifischen und philippinischen Lithosphärenplatten im Gebiet Südostasiens ein.

Üblicherweise wird angenommen, dass sich zwischen Borneo und dem Spreizungszentrum des Südchinesischen Meeres das Proto-Südchinesische Meer befand, dessen ozeanische Kruste während des Paläogen unter NW Sabah subduzierte (z.B. Hamilton, 1979; Holloway, 1981). Ein NW-SO verlaufender Bergzug Sabahs (Rajang Group Fold-Thrust Belt) wird in diesem Zusammenhang als Akkretionsprisma und der Borneo-Palawan Trog als Subduktionsgraben angesehen. Hinz et al. (1989) haben dagegen gezeigt, dass der Borneo-Palawan Trog von gedehnter kontinentaler Kruste des Gebietes der Dangerous Grounds (NW Sabah Platform) unterlagert wird. Auch die Entstehung des äusseren Kontinenthangs wird noch diskutiert. So werden die südöstlich des Troges aufgeschobenen Sedimente (Toe Thrust Zone) mit bis zu 8 charakteristischen Schuppen einerseits als Überbleibsel der angenommenen Subduktion/Kollision (Level, 1987, Tan & Lamy, 1990) oder als überschobene Antiklinalstrukturen, verursacht durch Rutschungen infolge der Sedimentauflast (Gravity Sliding) interpretiert (Hazebroek & Tan, 1993). Im nördlichen Untersuchungsgebiet wird eine von Hinz et al. (1989) interpretierte allochthone Überschiebungsdecke in der Literatur allgemein akzeptiert, obwohl unterschiedliche Entstehungsmechanismen diskutiert werden.

Eine im November 2001 durchgeführte Messfahrt der BGR vor NW Sabah ergänzt die schon 1986 gewonnenen reflexionsseismischen Daten und zusätzlich wurde ein refraktionsseismisches Profil über den Kontinenthang vermessen.

Wir finden im NW des Untersuchungsgebietes die gedehnte kontinentale Kruste der NW Sabah Plattform vor. Das charakteristische Reflexionsmuster der Karbonatplattform (Oligozän/Miozän), welche die gedehnte, in Blöcke rotierte und mit Halbgräben durchzogene Kruste bedeckt, lässt sich unter dem Borneo-Palawan Trog bis über das Gebiet der Toe Thrust Zone landwärts verfolgen. Extensionsstrukturen in der unteren Platte, die sich noch weit südwestlich des Borneo-Palawan Troges zeigen, lassen die Vermutung hier handelte es sich um eine Subduktionszone sehr unwahrscheinlich erscheinen. Die Toe Thrust Zone kann damit einerseits als Sedimentpaket (post-Mitte Miozän), das fortschreitend auf die langsam absinkende gedehnte kontinentale Kruste der NW Sabah Plattform aufgeschoben wird angesehen werden, oder, wie oben angeführt, als Resultat einer Delta Tektonik durch Rutschungen interpretiert werden. Das relativ junge Alter (?Pliozän) der Störungen in diesem Gebiet lassen uns die treibenden Kräfte für eine bis ins Ende Miozän/Pliozän reichende Kollision vermissen, nachdem die Meeresbodenspreizung im Südchinesischen Meer vor etwa 17 Ma endete (Briais et al., 1993). Die Rutschungen dagegen sollten sich in einem seewärts geneigten Abschiebungshorizont widerspiegeln, der in den Daten nicht präsent ist. Die Störungen scheinen im Gegenteil bis zur unteren Platte zu reichen.

Die Interpretation einer allochthonen Überschiebungsdecke im nördlichen Untersuchungsgebiet erklärt recht gut die begrenzte Ausdehnung der Toe Thrust Zone in nördlicher Richtung. Das Alter der Oberkante der angenommenen Überschiebungsdecke haben wir durch Korrelation mit Bohrungsdaten dem Obermiozän zuordnen können, also etwa 10 Ma jünger als bisher vermutet. Damit haben wir aber auch ein gänzlich anderes plattentektonisches Entstehungsumfeld. Die Verlagerung der allochthonen Masse wäre denkbar einerseits als Rutschung während der im späten Miozän stattgefundenen grossräumigen Hebungen (Tan & Lamy, 1990; Hazebroek & Tan, 1993) und der zeitgleichen Intrusion des Mt. Kinabalu oder sie könnte im Zusammenhang mit der weitgehend akzeptierten Rotation der Borneo Mikroplatte (Fuller et al., 1993; Hall, 1996) auf die Kollisionszone aufgeschoben worden sein. Nach Hall (1996) fand die Drehung Borneos um 45 Grad gegen den Uhrzeigersinn vom Untermiozän bis zum Beginn des Obermiozän statt.

Referenzen:

Briais, A., Patriat, P., & Trapponier, P., 1993. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia. *Journal of Geophysical Research*, 98. 6299-6328.

Fuller, M., Haston, R., Lin, J-L., Richter, B., Schmidtke, E., & Almasco, J., 1991. Tertiary paleomagnetism of regions around the South China Sea. *Journal of SE Asian Earth Sciences*, 6, 161-184.

Hall, R., 1996. Reconstructing Cenozoic SE Asia. In R. Hall & D. Blundell (eds.). *Tectonic evolution of Southeast Asia*, Geological Society Special publication, 106, 153-184.

Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian Region*. USGS Professional Paper, 1.078, 345p.

Hazebroek, H.P., & Tan, D.N.K., 1993. Tertiary tectonic evolution of the NW Sarawak continental margin. In: G.H. Geh (Ed.), *Proceedings of the Symposium on Tectonic Framework and Energy Resources of the Western Margin of Pacific Basin*. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 33, 195-210.

Hinz, K., Fritsch, J., Kempter, E.H.K., Mohammad, A.M., Meyer, H., Mohamed, D., Vosberg, H., Weber, J., & Benavidez, J., 1989. Thrust tectonics along the north-western continental margin of Sabah/Borneo. *Geol. Rundschau*, 78/3, 705-730.

Holloway, N.H., 1981. The North Palawan Block, Philippines: Its Relation to the Asian Mainland and its Role in the Evolution of the South China Sea. *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin 14*, 19-58.

Levell, B.K., 1987. The nature and significance of regional unconformities in the hydrocarbon-bearing Neogene sequence offshore West Sabah. *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin 21*, 55-90.

Tan, D.N.K., & Lamy, J.M., 1990. Tectonic evolution of the NW Sabah continental margin since the late Eocene. *Geol. Soc. Malaysia, Bulletin 27*, 241-260.

Kukowski, N. (GFZ Potsdam), Hampel, A. (GEOMAR Kiel), Bialas, J. (GEOMAR Kiel), Huebscher, C. (Uni Hamburg), Barckhausen, U. (BGR Hannover)

nina@gfz-potsdam.de

The role of the Nazca plate in controlling mass transfer and mechanics at the Peruvian margin: combined interpretation of marine geophysical data and 3D analogue experiments

Bathymetric and reflection seismic data acquired during RV Sonne cruise 146 GEOPECO in spring 2000 reveal that the surface of the oceanic Nazca plate approaching the Peru margin is of variable, however, large roughness due to no or only very thin sediment coverage. At about 9°S, a fracture zone not known before, was identified from the swath data. About 80 km west of the trench, thin sediment coverage and a smoother seafloor are observed indicating that the Peruvian margin undergoes various phases of sediment supply. The linear structures forming this very rough relief have a SSW-NNE strike in the northern part of the surveyed area, and strike almost N-S in its southern part. Therefore, they are oblique, both to the direction of convergence and also to the strike of the trench, inferring they are inherited structures and not due to the bending of the plate when beginning to be subducted.

Surface deformation found at the very steep lower slope at 8°S to 9°S occurs at a very small local scale, which infers mass wasting and the slope being at failure throughout. Observed linear trends may result from oblique convergence. The transition to the upper slope is marked by numerous steep gullies.

Further to the south, in the Lima Basin area, the lower slope dips more gentle and has a smoother surface. However, compared to other margins, also here, the lower slope is still extraordinarily steep and rough.

To quantify roughness, local slope angles, distance ratios, magnitudes of relative elevation, and void ratios have been computed for several transects across the margin.

Transferring these observations to the results of scaled 3D sandbox analogue experiments implies that the Peruvian margins need to undergo phases of different mass transfer modes resulting from a temporal and along-strike variation in sediment supply as well as the nature of the basal interface. At least at the northern part of the margin, all conditions necessary long-term basal tectonic erosion, i.e. no sediment supply, a steeply dipping plate and a rough basal interface, are met.

Pape, H. (Aachen) , Clauser, C. (Aachen), Iffland, J. (Güstrow), Bartels, J. (Neubrandenburg), Wagner (Aachen), Kühn, M. (Hamburg-Harburg)

h.pape@geophysik.rwth-aachen.de

Petrophysical Studies on Anhydrite Cementation

Direct use of geothermal heat based on producing hot water in one borehole and injecting cool water in a second one requires an aquifer which meets as a minimum requirement a permeability of 250 mD. In northern Germany, a few sandstone formations, come into question as hydrothermal aquifers, among them the Upper Keuper Rhaetian sandstone. In one particular borehole (Allermoehe 1, south of Hamburg) the Rhaetian aquifer was cemented by anhydrite resulting in porosities as low as 2%.

A classification of the rock type with respect to free fluid porosity, capillary bound porosity and clay bound porosity was based on a NMR log (CMR measured by Schlumberger). The Rhaetian sandstone was cored from 3221.5 to 3259.6 m. The comparison of the NMR porosity-log with the anhydrite volume content (Figure 1) shows that the section of sandstone with very low porosities (Pr 7, Pr 8, and Pr 10) experienced mainly chemical compaction by anhydrite cementation starting with an initial porosity of up to 27%. The anhydrite concentration was measured by chemical analysis of sulphur content combined with x-ray diffraction. For more information on pore structure depending on anhydrite cementation, induced polarization measurements were performed by F. Börner (Dresdner Grundwasserzentrum) and PFG-NMR (pulsed field gradient-nuclear magnetic resonance) measurements by J. Tillich and M. Holz (University of Karlsruhe).

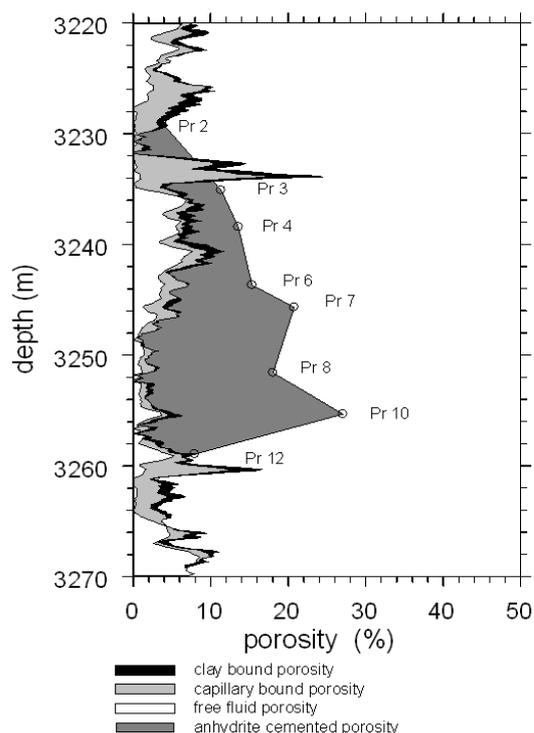


Fig. 1. NMR log of the Contorta sandstone in the well Hamburg-Allermoehe 1 (northwest Germany) and anhydrite cemented porosity measured on cores.

With respect to the permeability-porosity relationship, the studied Allermoehe Rhaetian sandstone samples clearly belong to different types of diagenesis. This could be proved by the petrophysical investigations. In order to characterize the compaction mechanism of our samples, the fractal dimension D was calculated from the specific surface measured with two methods of different resolution.

The samples are plotted into the permeability-porosity plot of Figure 2 assuming diagenetic paths according to their position with respect to the curve of average sandstones and the curve of quartz cemented Fontainebleau sandstone. The compaction by anhydrite cementation is represented by thick lines in Figure 2. Three groups of samples can be distinguished:

- Pr 2 and Pr 12 are not cemented and lay on the permeability-porosity curve of average sandstones. Pr 2 is a siltstone with large specific surface and large negative phase angle.
- Pr 4 and Pr 6 are cemented by anhydrite to a minor extend. They are probably quartz cemented.
- Pr 7, Pr 8, and Pr 10 are strongly cemented by anhydrite.

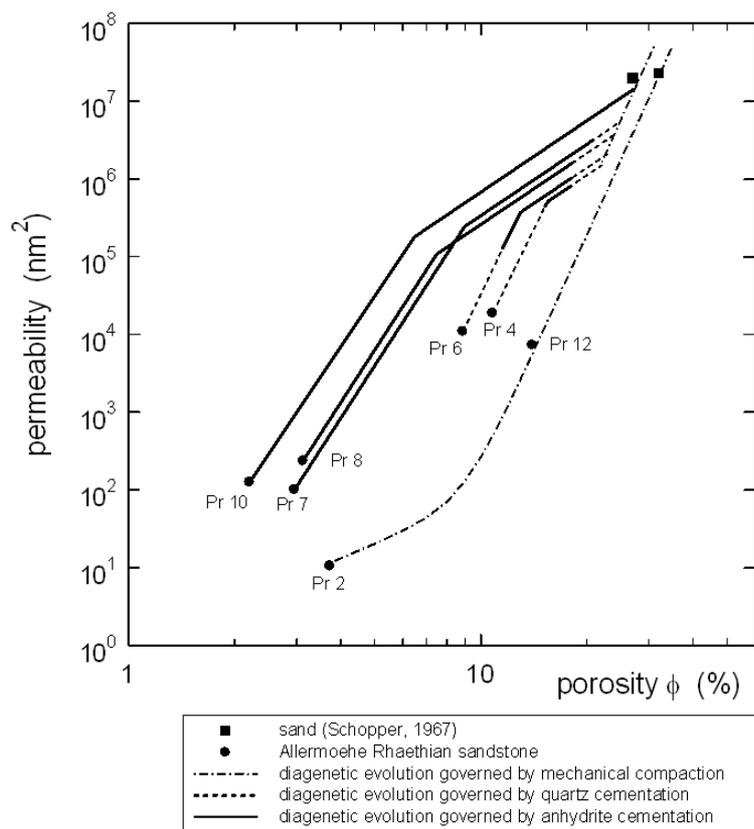


Fig. 2. Diagenetic evolution of different types of Allermoehe Rhaethian sandstone represented in a log-log plot of permeability versus porosity.

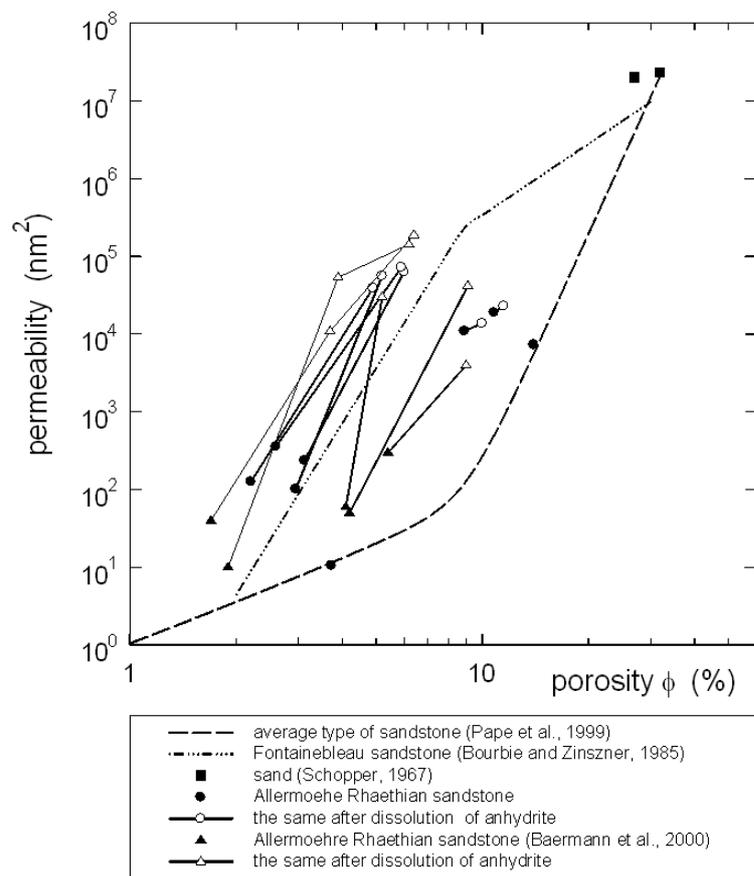


Fig. 3. Changes by dissolution of anhydrite in Allermoehe Rhaethian sandstone represented in a log-log plot of permeability versus porosity.

This coincides with small fractal dimensions and small negative phase angles. The median pore radius, which is a measure of the radius of pore necks is reduced, while the radius of the pores themselves, calculated from PFG-NMR measurements, is the same as in the less cemented sandstones.

Anhydrite dissolved when the samples equilibrated with the saturating fluid for electrical measurements. At the end of these experiments, porosity and permeability were measured anew. The changes by anhydrite dissolution are shown in Figure 3 together with the results from flooding experiments by Baermann et al. (2000). Comparison of cementation (Figure 2) and dissolution (Figure 3) shows that the paths in the permeability-porosity diagram of the group of strongly cemented samples are the same, but in the opposite direction. This can be explained by the structural changes caused by the growth and solution of anhydrite crystals. They filled the pore space in optical continuity surrounding the quartz grains. At low porosities the cemented patches come into touch and percolation pathways are closed. Subsequent dissolution opens preferential pathways which leads to a steep increase of permeability.

References

- Baermann, A., Kröger, J., and Zarth, M.: *Z. angew. Geol.*, (2000) **46**, 3, 144-152
- Bourbie, T., and Zinszner, B.: *J. geophys. Res.*, (1985) **90**, B13, 11524-11532.
- Pape, H., Clauser, C., & Iffland, J.: *Geophysics*, (1999) **64**, 5, 1447-1460.
- Pape, H., Clauser, C., and Iffland, J.: *Pure appl. geophys.*, (2000) **157**, 603-619.
- Schopper, J. R.: *Geophys. Prospecting*, (1967), **15**, 4, 651-701.

Barth, A., Jordan, M. (Göttingen), Ritter, J. (Karlsruhe)

abarth@uni-geophys.gwdg.de

Teleseismische P-Wellen-Tomographie zwischen Eifel und Zentralmassiv

Motiviert von den Plumestrukturen, die unter der Eifel und dem Zentralmassiv mit seismischer Tomographie gefunden wurden, soll hier eine gemeinsame Inversion der Daten von drei teleseismischen Experimenten vorgestellt werden. Neben Daten aus dem Eifel-Plume Projekt 97/98 wurden Wellenformen aus dem Limagne Projekt 91/92 und dem Rheingraben Projekt 88/89 neu ausgewertet. Unter zusätzlicher Verwendung permanenter Messstationen ergibt sich ein Datensatz von mehr als 13.000 Residuen für über 200 ausgewertete Fernbeben. Die große horizontale Ausdehnung dieses kombinierten Messnetzes von ca. 1000 km ermöglicht jetzt eine Modellerstellung bis in die Übergangszone (> 660 km Tiefe). Da die Erdkrümmung bei derartigen Ausmaßen des Modellraumes nicht mehr zu vernachlässigen ist, wird eine flache Erde Transformation verwendet. Die geringe Auflösung teleseismischer Tomographie in der Kruste wird durch Krustenkorrekturen der über 400 verwendeten mobilen und permanenten Stationen verbessert. Diese basieren auf Informationen über Krustendicke, Sedimentmächtigkeit und Stationshöhe. Die aus der Literatur extrahierten Werte werden dann in Abhängigkeit des Strahlparameters und gegenüber dem IASPEI91-Erdmodell in die Residuen eingerechnet. Die quantitativen Auswirkungen belaufen sich auf -0.1 s bis 0.2 s Korrektur der theoretischen Laufzeit. Die aufgefundenen Geschwindigkeitsperturbationen im Erdmantel werden vorgestellt und diskutiert.

Kesten, D., Stiller, M., Ryberg, T., Schulze, A. (Potsdam), Frieslander, U., Bartov, Y. (Lod), Qabbani, I. (Amman), DESERT-Team, (international)

dagmar@gfz-potsdam.de

Crustal Structures Related to the Dead Sea Transform – Results from the Near-Vertical Seismic Reflection Study within Project DESERT 2000

During March 2000 a combined vibroseis/explosives near-vertical incidence seismic reflection transect of 100 km length was carried out between Ma'an/Jordan and Sede Boqer/Israel crossing the Dead Sea Transform Fault System almost perpendicular. This experiment acts as the backbone of the integrated seismic study DESERT 2000 performed by German, Israeli, Jordanian, and Palestinian scientists and is closely related to a wide-angle as well as a small-scale source and receiver array seismic experiment. The near-vertical reflection component (NVR) aims to image the crustal architecture down to the Moho and to resolve the geometry of the main fault, the Dead Sea-Arava Fault, which represents the transform plate boundary between Africa (Sinai) and the Arabian microplate and shows a left-lateral offset of more than 100 km. A depth-migrated seismic CDP section will be presented together with first geological interpretations. Where possible, the results will be discussed in comparison to results of the other subprojects of DESERT 2000. Generally, in the NVR section the reflectivity of the crust appears rather diffuse, and continuous geological structures can only poorly be found. However, some distinct features exist. Whereas to the west of the Arava Fault rather strong sedimentary reflections in the upper 3 km of the crust can be recognised, there is no consistent reflectivity in the upper 6 km of the crust in an area 6 km west and east of the fault which might be due to intense deformation of the rocks. Although the Arava Fault itself is not sharply imaged, there are hints that it is nearly vertically cutting through the crust, possibly reaching down to the Moho. Below the shoulders of the Arava Valley reflection bands from the lower crust from 28 to 35 km depth with a horizontal extension of several kilometers are conspicuous. In comparison to the results of the wide-angle seismic experiment (WRR), a rough correlation can be made between the general reflectivity break-off in the NVR section and the WRR Moho discontinuity. Altogether it becomes clear, that an integrated approach of the various geophysical and geological disciplines is necessary to get a better understanding of the mechanisms and crustal structures related to large shear zones.

Hofmann, R. (Colorado School of Mines, Golden, USA), Batzle, M.L. (Colorado School of Mines, Golden, USA), and Han, D.-h. (HARC, Houston, USA)

rhofmann@mines.edu

Fluid Sensitivity of Seismic Velocities – Experimental Investigation Beyond Ultrasonic

Significant velocity dispersion from the seismic to ultrasonic frequencies was observed in porous reservoir rocks. Dynamic elastic properties between 5 and 500000 Hz have been measured to investigate the behavior for high porosity and permeability sediments. The magnitude and frequency range of dispersion is dependent on the permeability of the rock and on the viscosity and modulus of the fluid.

Fluid effects on seismic velocities are commonly observed and discussed in the literature. Wood's equation, Gassmann's equation (1951), and Brown & Korringa (1975) describe a frequency independent (low frequency limit) behavior. In comparison, numerous models describe frequency dependent effects including Biot's (1956) inertial model, the crack model of O'Connell and Budiansky (1977) and the squirt model of Mavko and Nur (1978). These models are sometimes contradictory and the conditions of their validity have not yet been established. Viscosity of the fluid and the permeability of the rock have an important influence on the magnitude of the velocity dispersion in the rock / fluid system and over what frequency range the maximum dispersion (or critical frequency) occurs.

We used a stress-strain measurement technique, similar to that of Spencer (1982), along with ultrasonic transducers to measure both seismic and high frequency properties simultaneously. Figures 1 and 2 show the change of P- and S-wave velocities as a function of brine saturation, from 0 to 100 percent. Measured data for two different frequency ranges are plotted along with a simple velocity average and the response based on Gassmann's equation. This is a clastic rock, from the North Sea with a high porosity of 35 % and a permeability of 8.8 Darcy. The low frequency measurements (5 –50 Hz) show a similar behavior to the Gassmann prediction for P- and S-wave velocities. In contrast, at ultrasonic frequencies (500 kHz) the behavior is more like patchy saturation. This result is characteristic for rocks with high permeability. In Figure 3 and 4 the shear and compressional wave velocities are plotted for different fluids as a function of frequencies (3 – 2000 Hz). Butane and carbon dioxide at various fluid pressures have been injected to investigate the influence from fluid moduli on the elastic properties of the rock / fluid system. A high compressibility "soft" liquid like CO₂ retains low compressional velocities (V_p), stiffer liquids such as butane are required to increase V_p .

Fluid mobility, which controls the frequency behavior, will depend not only on the properties of the fluid (primarily viscosity) but also on the transport properties of the rock. The interconnectivity or tortuosity and the geometry of the "flow channels" in the rock control the permeability. Low permeability rocks, such as shales, preclude pore pressure equilibrium even at low frequencies. In this case, seismic frequencies would be equivalent to ultrasonics.

The results show that dispersion effects cannot be neglected: they can be significant even in the seismic band. Comparison between velocities acquired with seismic, logging and ultrasonic techniques can show large differences, especially if the rock has a high permeability and the fluid has a high modulus. In such cases, theoretical models, particularly those presuming low frequencies, can fail. More work has to be done to verify these concepts and quantify the mechanics of the rock / fluid system and the influence of surface tension and other coupled processes.

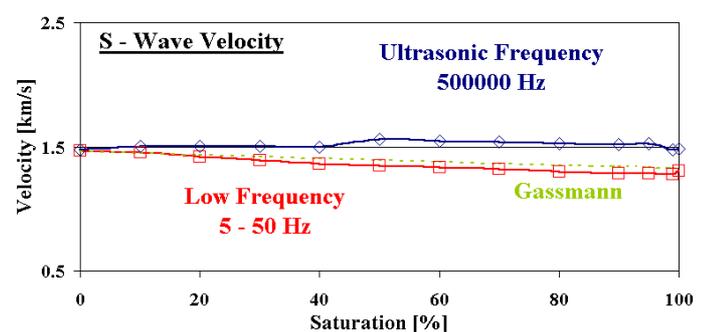
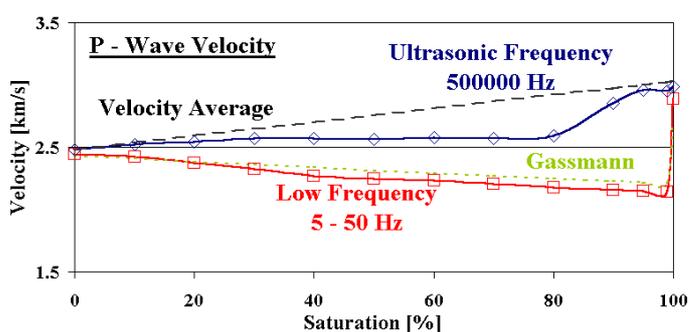


Figure 1: P-wave velocity in a North Sea sandstone at a differential Pressure of 6.9 MPa as a function of brine saturation. Data are shown for low frequencies (squares) and ultrasonic frequencies (diamonds). Dashed line is a velocity average and the dotted line is a Gassmann substitution model.

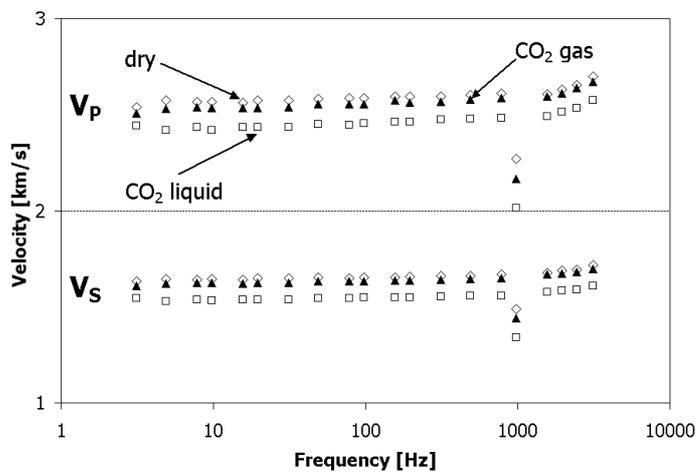


Figure 3: P- and S-wave velocity for Sample X #2 saturated with CO2 for different pore pressures (dry - diamonds, 3.5 MPa pore pressure (gas) - triangles, 13.8 MPa pore pressure (liquid) - squares)

Figure: 2 S-wave velocity in a North Sea sandstone at a differential Pressure of 6.9 MPa as a function of brine saturation. Data are shown for low frequencies (squares) and ultrasonic frequencies (diamonds). The dotted line is a Gassmann substitution model.

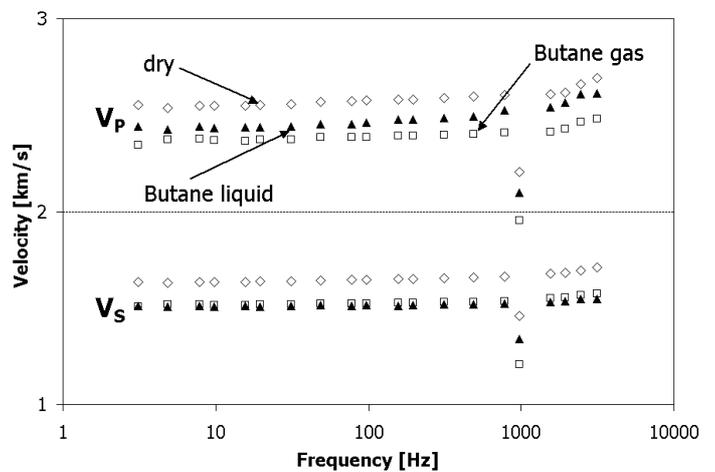


Figure 4: P- and S-wave velocity for Sample X #2 saturated with Butane for different pore pressures (dry - diamonds, 0.1 MPa pore pressure (gas) - triangles, 6.9 MPa pore pressure (liquid) - squares)

Neben, S., Franke, D., Schreckenberger, B., Bauer, K. & Hinz, K. (Hannover)

s.neben@bgr.de

Seegeophysikalische Untersuchungen an den konjugierenden Kontinenträndern vor Namibia und Argentinien - Mehrphasiger extensiver Vulkanismus während der Öffnung des Südatlantiks

Im Rahmen einer Reihe von seegeophysikalischen Expeditionen der BGR wurden die konjugierenden Kontinentränder und die Tiefsee-Becken des Südatlantiks nördlich und südlich der Rio-Grande-Rise/Walvis-Rücken Schwelle untersucht. Dabei wurden ca. 45.000 km mehrkanaliger reflexionsseismischer (MCS) und ca. 2.000 km weitwinkel-/refraktionsseismischer Daten gesammelt. Parallel dazu wurden magnetische und gravimetrische Vermessungen durchgeführt. Zusätzlich standen für den Bereich vor Argentinien und Namibia ca. 5.000 km MCS-Daten und die Ergebnisse von fünf Bohrungen der Erdöl-Industrie zur Verfügung. Früh deuteten die Daten und die Ergebnisse des DSDP legs 40 (Bolli et al., 1978) vom Walvis-Rücken daraufhin, daß es sich bei diesen passiven Kontinenträndern um solche des sogenannten 'vulkanischen Typs' handelt.

Diese Ränder sind geprägt durch seismische Reflektorfolgen in der Oberkruste mit einem charakteristischen seewärts einfallenden Muster. Bohrungen an entsprechenden Strukturen vor allem im Nordatlantik (u.a. DSDP leg 81, (Roberts, Schnitker, et al., 1984), ODP legs 104 & 152, (Eldholm, Thiede, Taylor, et al., 1989; Larsen, Saunders, Clift, et al., 1994)), führten zum Ergebnis, daß diese sogenannten 'seaward dipping reflector sequences (SDRS)' aus subaerisch abgelagerten tholeiitischen Basalten bestehen. Diese Basalte können eine Mächtigkeit von mehreren Kilometern erreichen.

Ein weiteres Merkmal dieser Kontinentränder ist, daß der mächtigste Bereich der SDRS von speziellen Unterkrusteneinheiten unterlagert ist. Diese Unterkruste zeigt nach weitwinkel-/refraktionsseismischen Messungen typische Schichtgeschwindigkeiten zwischen 6.7 km^{-1} und 7.4 km^{-1} (Bauer et al., 2000). Auch diese Unterkrustensequenzen weisen Mächtigkeiten von einigen Kilometern auf und werden als aus mafischem bis ultramafischem Material bestehend interpretiert. Die Anlage erfolgte durch sogenanntes 'Underplating'. Somit erreicht der gesamte Anteil magmatischen Krustenmaterials an passiven, vulkanischen Kontinenträndern nicht selten Mächtigkeiten zwischen 8 und 15 km. Der landwärtigste Teil der SDRS, der sogenannte 'feather edge' ist meist von ausgedünnter kontinentaler Kruste unterlagert.

Für die Entstehung dieser Kontinentränder werden eine Reihe verschiedener Modelle diskutiert. Alle gehen von einer Phase eines extensiven Vulkanismus während der initialen Öffnung des betreffenden Ozeanbeckens aus. Beim Riftprozess kam es danach zuerst zur Anlage ausgedehnter Flutbasalt-Provinzen an Land, wie sie bei vielen passiven, vulkanischen Kontinenträndern zu finden sind. Im Fall des Südatlantik sind es die Paraná-Etendeka-Flutbasalt-Provinz. Danach erfolgte dann die Anlage der langgestreckten SDRS- und Unterkrusteneinheiten. Ursachen bzw. Quellen für den starken Vulkanismus sind bei den jeweiligen Modellen verschieden. Ein Modell geht von einer Interaktion zwischen einem Hot-Spot bzw. Plume und der Rückenachse aus. Die Quellen bei den anderen Modellen liegen deutlich flacher: in der Asthenosphäre bzw. an der Krusten-Mantel-Grenze.

Unsere engmaschigen, ausgedehnten reflexionsseismischen Vermessungen zeigen, daß die Einheiten der SDRS aber wesentlich komplexer aufgebaut sind. Teilweise lassen sich bis zu fünf Einzelfolgen unterscheiden. Die Platznahme während eines einzigen Schubes scheint daher sehr unwahrscheinlich. Weiterhin weisen die internen Reflexionscharakteristika deutlich daraufhin, daß das Ablagerungsmilieu senkrecht zur Streichrichtung, d.h. vom Kontinenthang in die Tiefsee, von subaerisch zu subaquatisch wechselte.

Zudem ist die Gesamteinheit der SDRS, die größtenteils am landwärtigen Ende mit der magnetischen Anomalie 'G' zusammenfällt (s. a. Vortrag von Schreckenberger et al.), offensichtlich diachron, d.h. sie wird nach Norden hin jünger. Nach unserer Interpretation kann die Platznahme daher nicht während eines grossen Ereignisses stattgefunden haben, sondern war episodisch bzw. schubweise.

Literatur:

Bauer, K., Neben, S., Schreckenberger, B., Emmermann, R., Hinz, K., Fechner, N., Gohl, Schulze, A., Trumbull, R.B. & Weber, K. (2000): Deep Structure of the Namibia Continental Margin as derived from integrated Geophysical Studies. *J. Geophys. Res.*, **105**, pp. 25.892-25.853.

Bolli, H.M. et al. (1978): Cape Basin Continental Rise - Sites 360 and 361. Init. Repts. DSDP, **40**: Washington (*U.S. Govt. Printing Office*), pp. 29-175.

Cande, S.C., LaBrecque, J.L. & Haxby, W.F. (1988): Plate Kinematics of the South Atlantic: Chron 34 to Present. *J. Geophys. Res.*, **93**, pp. 13.479-13.492.

Eldholm, O., Thiede, J., Taylor, E. et al. (1989): Proc. ODP, Sci. Res., *Ocean Drilling Program*, **104**, College Station, TX.

Larsen, H.C., Saunders, A.D., Clift, P.D. et al. (1994) Proceedings of the Ocean Drilling Program, *Initial Reports*, **152** College, Station TX (Ocean Drilling Program).

Roberts, D.G., Backman, D., Morton, A.C., Murray, J.W. & Keene, J.B. (1984): Evolution of Volcanic Rifted Margins: Synthesis of Leg 81 Results on the west Margin of Rockall Plateau. Init. Repts. DSDP, **81**: Washington (*U.S. Govt. Printing Office*), pp. 883-911.

Roberts, D.G., Schnitker, D. et al. (1984): Init. Repts. DSDP, **81**: Washington (*U.S. Govt. Printing Office*).

Baumbach, M., Bormann P., Grosser, H., Bock, G. (GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany, email: course@gfz-potsdam.de), Choy, G. (U.S.G.S., Denver, Colorado, USA), Boatwright, J.L. (USGS, Menlo Park, California, USA)

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 3: Seismic sources and source parameters

The first essential component in the seismological information system is the seismic source which generates the seismic signals. Manual chapter 3 describes in its introduction the basic types and peculiarities of seismic sources, the causes and geographical distribution of tectonic earthquakes, their differences as compared to explosions and other sources generating seismic waves. Further the first section introduces the key parameters used in seismological routine practice for quantifying the size, strength and geometry of seismic sources. Their inherent limitations to characterize the kinematic, dynamic and geometric complexity of real geological rupture processes are discussed. The second section outlines the assumptions, relations, data and procedures for the determination of earthquake fault-plane solutions and how these are related to the basic types of fault rupture. The third section introduces the basic relationships and inversion schemes for seismic moment tensor solutions which give a more comprehensive description of source geometry, kinematics and strength. The fourth section outlines the magnitude concept and all the various scales and procedures used in routine practice, including non-saturating moment and energy magnitudes, macroseismic magnitudes, tsunami magnitudes and the correlation relations between various magnitude scales. The fifth section focuses on modern procedures of direct determination of seismic energy and discusses the complementary relationship between energy and moment magnitudes. The final section deals with the definition and use of seismic scaling relations and summarizes the most frequently used relationships between seismic energy, moment and magnitude as well as between those and various geometrical and kinematic source parameters. The chapter is complemented by several complementary Annexes such as an Information Sheet on theoretical source representation (19 pp.), by a Data Sheet on magnitude calibration functions and several Exercises (with solutions) on magnitude determination, determination of fault plane solutions, calculation of take-off angles, reconstruction of nodal planes from parameters of fault-plane solutions, determination of source parameters from seismic spectra and moment tensor determination and decomposition.

Golden, S. (Frankfurt am Main), Salat, C., Beblo, M. (München), Björnsson, A. (Akureyri), Junge, A. (Frankfurt am Main)

golden@geophysik.uni-frankfurt.de

Statistische Untersuchungen an Übertragungsfunktionen aus langperiodischen MT-Messungen auf Island

Seit zwei Jahren werden an drei Stationen auf Island langperiodische magnetotellurische (MT) Messungen durchgeführt. Dabei werden jeweils zwei horizontale elektrische sowie drei magnetische Feldkomponenten im Periodenbereich von 16 s bis DC aufgezeichnet. Die Zeitreihen werden in Segmente unterteilt und für jedes Segment im Periodenbereich von 64 s bis 1 Tag Übertragungsfunktionen zwischen den verschiedenen Feldkomponenten gebildet. Diese Übertragungsfunktionen hängen sowohl von der elektrischen Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund, als auch von der zeitlich variablen Geometrie des Quellfeldes ab. Beim Versuch, mittels einer MT-Auswertung auf die Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund zu schließen, führen inhomogene Quellfelder damit zu systematischen Fehlern, sog. Quellfeldeffekten. Aufgrund der geographischen Lage von Island innerhalb der Polarlichtzone muss mit starken Quellfeldeffekten gerechnet werden. Statistische Untersuchungen dieser zeitlichen Veränderungen sollen helfen, Kriterien zur Selektion von Zeitfenstern mit möglichst schwachen Quellfeldeffekten für eine spätere MT-Auswertung zu finden. Es werden erste Ergebnisse dieser Untersuchungen vorgestellt.

Hölz, S., Becken., M., Pfaffhuber, A., Schenk, A., Fiedler-Volmer, R., Burkhardt, H.

hoelz@geophysik.tu-berlin.de

AMT- und TEM-Untersuchungen zur Beckencharakterisierung in der Wüste Gobi, NW-China

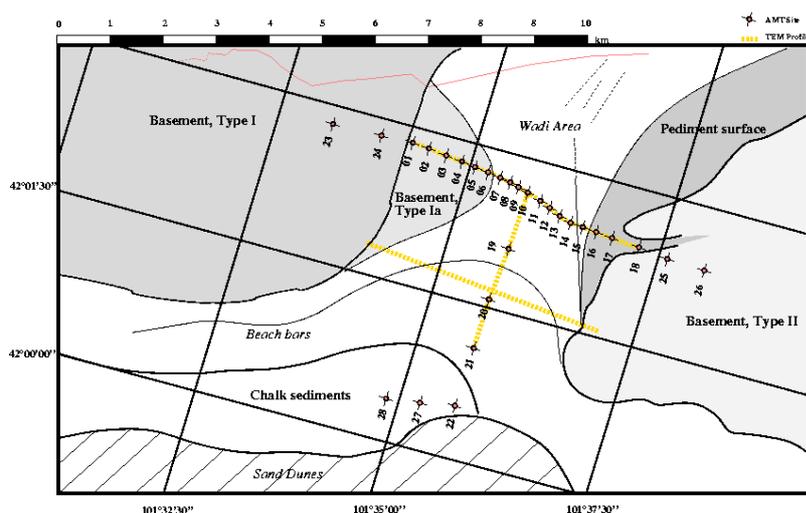
Einleitung

Im Rahmen eines internationalen, interdisziplinären DFG-Bündels mit dem Titel "*Rekonstruktion des spätpleistozänen und holozänen Environments in der westlichen Inneren Mongolei Chinas*" werden geowissenschaftliche Untersuchungen im Raum Ejina Qi (Wüste Gobi, Innere Mongolei, NW-China) durchgeführt. Im Vordergrund der geophysikalischen Arbeiten steht die multimethodische Erkundung von geologisch-tektonischen Strukturen in und am Rand einer Beckenstruktur mit elektrischen und elektromagnetischen Verfahren. Aus der Synthese aller in dem Bündel verankerten Arbeiten soll ein Verständnis über die lokale Paläoklimaentwicklung und deren geologisch-geomorphologische Auswirkungen gewonnen werden. Relevant sind dabei insbesondere die Vorkommen und Verbreitung von endorheischen Paläoseen im Beckengebiet, deren Entwicklung sowohl durch klimatische Einflüsse als auch durch Neotektonik gesteuert wird. Von besonderem Interesse sind auch die Zuflüsse der Paläoseen, die im wesentlichen aus dem südlichen Qilian-Gebirge (Nordrand des Tibet-Plateaus) aber auch aus dem nördlichen Gobi-Altai Sedimente liefern.

Im Mittelpunkt der geophysikalischen Arbeiten im Jahr 2001 stand die Erkundung eines Wadis, das als potentieller Zufluss aus Norden in den Yuanze-See in Betracht kommt. Eingesetzt wurden elektromagnetische Verfahren, dabei insbesondere Audiomagnetotellurik (AMT) und transiente Elektromagnetik (TEM).

Messgebiet und Profillage

Das nach Süden in den Yuanze-Sees sich öffnende ca. 5 km breite Wadi (Abb. 1) wird im Westen und Osten von jeweils unterschiedlichen präkambrischen Basementblöcken begrenzt. Aufgrund der Satellitenbilddauswertung und der geologischen Geländeaufnahme wird am Westrand des Wadis eine NS-streichende Randstörung vermutet. Innerhalb des Wadis sind quartäre Schotter zur Ablagerung gekommen, die zum Teil anstehende präquartäre Sandsteine und Konglomerate überlagern. Schichtig eingelagerte Gipse in den Sandsteinen geben den Hinweis auf eine erhöhte Evaporation und eine zu erwartenden hohe Salinität des Grundwassers. Zur Erkundung des Randbereichs und des Sedimentinhaltes des Wadis wurden auf zwei dichten Profilen vom westlichen in den östlichen Basementbereich durchgeführt (Abb.1). Zusätzlich wurde ein senkrechtes Verbindungsprofil gemessen.



Daten und Ergebnisse

Aufgrund der großen Entfernung der Meßlokation von möglichen Störquellen sind die Meßdaten für beide Methoden generell von guter Qualität.

Bei den Messungen der AMT wurde ein Frequenzbereich von 1 kHz –100 s abgedeckt. Beispieldaten aus dem Zentrum des Wadis zeigen

eine starke Aufspaltung der Nebendiagonalelemente für Frequenzen ab 10 Hz. Verbunden damit ist ein Skew über 0.5, der dreidimensionale Effekte anzeigt (Abb.2). Die bisher durchgeführte zweidimensionale Bearbeitung der Daten wurde deswegen auf den Bereich bis 10 Hz beschränkt.

Mit den für die TEM gewählten koinzidenten Auslagen von 100x100 m konnten nutzbare Signale im Zeitbereich von 100 ms bis maximal 200 ms gemessen werden, wodurch sich eine gute Überlappung der Aussagetiefen von AMT und TEM ergibt. Eine Auswertung der Daten für die TEM wurde bisher mit einer 1D-Inversion durchgeführt, die in weiten Bereichen eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen der 2D-AMT-Inversion zeigt und nur in den Randbereichen des Wadis und an Einzelpunkten im Wadi-Inneren problematisch ist.

Die Auswertung der Daten beider Methoden legt eine strukturelle Dreiteilung des Wadis nahe:

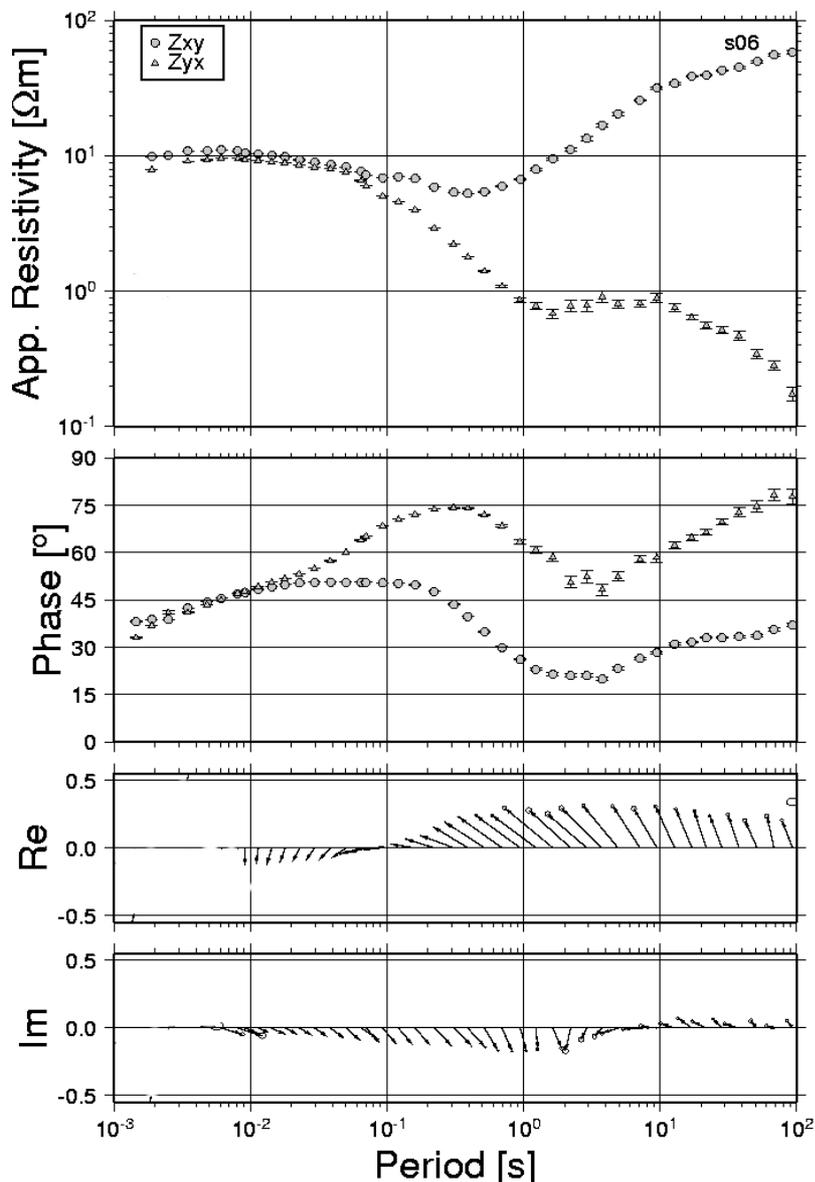
1. *Westlicher Wadirand*: Hier zeigt sich eine scharfe laterale Abgrenzung vom westlich liegenden Basement ($r_{spez} > 2000 \text{ W m}$) und den Sedimenten im Wadi-Inneren ($r_{spez} < 10 \text{ W m}$). Der extreme Kontrast bestätigt das Vorhandensein einer Randstörung.
2. *Wadi-Inneres*: Die generell vorherrschenden guten Leitfähigkeiten werden dominiert von einem mit ca. 20° nach Westen einfallenden sehr guten Leiter ($r_{spez} \sim 1 \text{ W m}$). Die Lage des Leiters könnte eine Verkippung von Sedimentpaketen im Rahmen einer Grabenbildung anzeigen.
3. *Östlicher Wadirand*: Im Gegensatz zum westlichen Wadirand zeigt das östlich liegende Basement wesentlich geringere spezifische Widerstände ($r_{spez} \sim 200 \text{ W m}$) und keinen vergleichbar ausgeprägten lateralen Kontrast zwischen Basement und Sedimenten im Wadi-Inneren.

Die Auswertung der Daten deutet an, daß das untersuchte Wadi eng an ein Graben- oder Halbgrabensystem gebunden ist. Die extrem hohen Leitfähigkeiten können plausibel durch saline Flüssigkeiten erklärt werden, die eng an die tektonischen Gegebenheiten gebunden sind.

Ausblick

Inwieweit das untersuchte Gebiet tektonisch mit anderen Elementen im Beckengebiet zusammenhängt, wird in zukünftigen Messeinsätzen geklärt werden.

Für die weiterführende Auswertung ist eine Joint-Inversion der AMT- und TEM-Daten vorgesehen. Für das bessere Verständnis der tiefreichenden Strukturen ist eine dreidimensionale Auswertung der AMT-Daten notwendig.



Radic, T. und Becken, M. (Berlin)

тино.radic@t-online.de und becken@geophysik.tu-berlin.de

Neuartige HMD-Quelle für AMT-Messungen oberhalb von 1 kHz

Die ungenügende magnetische Anregung bei Frequenzen zwischen 1 kHz und 10 kHz erschwert den Einsatz der Audiomagnetotellurik bei Flacherkundungen. Zudem ist die Kenntnis über die oberflächennahe Leitfähigkeitsverteilung für die Interpretation einer Sondierung wünschenswert aber oft nicht verfügbar. Dieses Problem kann überwunden werden, wenn eine künstliche Quelle zum Einsatz kommt.

Viele AMT Anwender schrecken jedoch vor dem personellen, logistischen und technischen Aufwand zurück, den der Einsatz der meisten verfügbaren CSAMT-Quellen erfordert. Dieser kann jedoch erheblich verringert werden, wenn nur im "Anregungsloch" angeregt werden soll und das Anregungssignal quasi kontinuierlich bereitgestellt wird, also ohne Kontrolle seitens des AMT-Messgerätes.

Eine von uns neu entwickelte magnetische Quelle verwendet zwei senkrecht und orthogonal zueinander stehende Antennen-Loops. Um hiermit eine hinreichend homogene Anregung zu erzielen, sollte die Quelle mindestens 5 Skintiefen, bezogen auf die niedrigste verwendete Frequenz (hier 1 kHz), vom Messort entfernt positioniert sein. Bei einem Halbraumwiderstand von beispielsweise 100 W m beträgt der Mindestabstand ~750 m. Ein Dipolmoment von 2500 Am² gewährleistet eine ausreichende Anregungsstärke (>1 pT) am Messpunkt. Der hierfür erforderliche Energiebedarf (300 W) kann aus Batterien oder einem kleinen Generator gedeckt werden.

Wie in der AMT üblich, sollten die Übertragungsfunktionen auch bei künstlicher Anregung bei 4-8 Frequenzen je Frequenzdekade bestimmt werden können. Die von uns gewählten Frequenzen (1, 2, 4, 8 kHz) unterliegen auch in Deutschland keinen Beschränkungen. Damit aus den Signalen der Impedanztensor auch mit dem Standard-Prozessing der passiven AMT berechnet werden kann, müssen in beiden Anregungsrichtungen die gleichen Frequenzen verwendet werden und die künstlichen Magnetfelder trotzdem unkorreliert sein. Dies kann gewährleistet werden, indem die beiden Signale auf unterschiedliche Weise phasenmoduliert werden.

Beilecke, T., Bohlen, T. (Kiel), Borm, G. (Potsdam), Bram, K., Druivenga, G. (Hannover), Frank, A., Fischer, D. (Kiel), Gebrande, H. (München), Giese, R. (Potsdam), Hasenclever, J. (Kiel), Kück, J. (Potsdam), Lüschen, E. (München), Okaya, D. (Los Angeles), Pujol, J. (Memphis), Rabbel, W. (Kiel), Smithson, S. (Laramie)

tbeilecke@geophysik.uni-kiel.de

Quantifying seismic scattering by investigation of PS conversion in the main hole of the Continental Deep Drilling KTB

In 1999 a vertical seismic profile (VSP) was carried out in the deepest part of the main hole of the Continental Deep Drilling site in Bavaria, Germany. The explosive experiment yielded high quality data. One of the main observations in this crystalline crustal segment is the strong forward scattering by compressional wave (P) to shear wave (S) conversion of seismic energy along the borehole. The reason for this conversion is the superposition of lithologic and structural variations, i.e. isotropic and anisotropic velocity and density contrasts, but also fissures and cracks induced by the regional tectonic regime. We show means to not only quantify this conversion but also to discriminate between lithology induced conversion and crack induced conversion. A localized slant stack is used to sum up the shear wave energy emerging from each conversion point close to the borehole wall. This is done separately for both S-wave polarization azimuths. The result as a function of depth can be used as an additional borehole "log". The detailed information available for the KTB holes allows the comparison of the seismic field measurements with model seismograms. A seismic section of an existing simple structural model with homogeneous rock units of the KTB vicinity was computed by finite difference to explain noticeable features in the field data. To refine the results two additional models were calculated. The basis for the first one are velocity and density informations derived from the existing mineral composition along the borehole. This results in a more realistic image. The basis for the second one are the velocity and density informations derived from the field data. Since the sole mineral composition lacks fissures and cracks as opposed to the field data, the resulting difference represents the actual influence of fissures and cracks on the conversion strength.

Brietzke, G., Igel, H. (München), Ben-Zion, Y. (USC, Los Angeles)

3D Modeling of dynamic rupture : the effects of crack-induced anisotropy in the fault zone

The dynamic behaviour of seismic rupture processes is controlled by a complex interaction between pre-stress, rate- and state-dependent friction, and the interaction with local material heterogeneities. Phenomenological studies using numerical methods play an increasingly important role to quantify the contributions of the various factors. Several numerical methods are being used. The boundary integral methods have the advantage that only the fault plane has to be discretised. However, the interaction of the radiated wavefield with material heterogeneities around the fault cannot be taken into account. Recently, 3D finite difference methods were applied to the dynamic rupture problem. The rupture zone is planar (which is a disadvantage) and is implemented by appropriate boundary conditions and friction laws. Using this method an interaction of the dynamic rupture process with the emanating wave-field can be investigated. Fault zones are thought to consist of a narrow zone of reduced seismic velocities and considerable material anisotropy due to aligned cracks and fractures. In this study we focus on the question how material anisotropy in the vicinity of the fault zone interacts with the dynamic rupture compared to isotropic models. We investigate how the anisotropic parameters affect the velocity and shape of the rupture and the radiated wave field.

Fohrmann, M., Jahnke, G., Igel, H. (München), Ben-Zion, Y. (Los Angeles)

miko.fohrmann@gmx.net

Guided Waves Generated by Sources Outside a Low Velocity Fault Zone Layer

In the last decade fault zone (FZ) guided head and trapped waves have been observed along several earthquake faults with receivers close to the FZ. There is hope that analysis of such phases may be used to provide a higher resolution imaging of FZ structure at depth than is possible with standard ray tomographic methods. Such imaging can provide important input for mechanical models of faults before, during, and after earthquake ruptures. In addition, low-velocity FZ layers can produce considerable amplification of ground motion that may increase the shaking hazard in populated areas close to faults. Several previous studies argued that FZ guided waves are only generated when the sources are close to or inside the low-velocity FZ layer. It is thought that only a small percentage of earthquakes in an active fault occurs inside this region. Here we discuss numerical simulations of 3D wave propagation which show that sources at considerable distance from the FZ are able to generate high amplitude trapped waves. We focus on a structure consisting of a shallow low velocity FZ layer (e.g., depth = 5 km) in a half space, and perform an extensive parameter study quantifying the amplification of ground motion for sources outside and below the FZ layer. In general, the trapping efficiency strongly depends on the source mechanism and orientation of the source with respect to the FZ layer. The generation of guided waves by sources in a volume outside the FZ has implications for evaluation of seismic hazard close to faults as well as for imaging structural properties at depth using FZ guided waves.

Karp, T., Janle, P. (Kiel), Danuor, S. K. (Kumasi, Ghana), Pohl, J. (München), Berckhemer, H. (Frankfurt a. M.), Milkereit, B. (Toronto, Canada), Scholz, C. A. (Syracuse, NY, USA), Meyer, U. (Potsdam)

Geophysical Signature of the Lake Bosumtwi Impact Crater, Ghana

The Bosumtwi impact structure in Ghana has an age of 1.07 Ma, a rim-to-rim diameter of 10.5 km, and is the youngest large impact crater on earth. It is the source crater of the Ivory Coast tectites (Koeberl et al., *Geoch. Cosmoch. Acta* 61, 1997). The central part of the structure is filled by Lake Bosumtwi with a diameter of ca. 8 km. In order to determine the subsurface structure of the crater (thickness of post-impact sediments, topography of the crater floor, depth and shape of central uplift) seismic and gravity surveys were conducted between 1999 and 2001. Marine seismic studies included refraction seismic experiments with Ocean-Bottom-Hydrophones (OBH) from GEOMAR Research Center and PDAS seismometer from GFZ Potsdam as well as multichannel seismic (MCS) data acquisition. Velocity information from the wide angle/refraction surveys and the structural image from the MCS data (scaled in traveltimes) were used for an integrated modelling by ray-tracing and for a final inversion. The results are low P-wave velocities in the young post-impact sediments (less than 1.8 km/s) and a prominent central uplift structure with a diameter of 1.9 km and about 120 m high. The total thickness of the sediments does not exceed 350 m. The underlying layer has a velocity of 3.0 km/s and is interpreted to consist of (fallback) breccia. Gravity data from 160 stations on land around the lake show a minimum (preliminary Bouguer reduction) resulting from the sedimentary filling of the lake, low density impact formations, brecciated and fragmented basement. In October 2001 the LaCoste-Romberg air-sea gravity meter of the GFZ Potsdam was used for a gravity survey. This survey was carried out on a grid of 18 profiles completely covering the lake and also included water depth measurements by echosounding. Bathymetric data and a digital elevation model are used for the correction of the gravity data which is in process. Gravity modelling will help to refine density estimations of the subsurface. Density, seismic velocities and the seismic quality Q are input parameters for the visco-elastic FD-modelling of seismic data. Therefore, comparison with the real seismic data provides information on shear wave velocities and Q . Additional magnetic surveys will complement regional airborne geophysical data across the structure (Plado et al., *Meteor. & Planet. Sc.*, 35, 2000). The magnetic anomalies are attributed to remanent magnetization of melt or breccias. Integrated evaluation of different geophysical data sets will help to develop a detailed lithological model of the crater's subsurface structure. This model is desirable for further investigation of this unique crater and provides important information for the proposed scientific drilling of a young and large impact crater.

Berhorst, A., Flueh, E.R. (Kiel), McIntosh, K. (Austin, Texas), Ranero, C.R. (Kiel), Silver, E.A. (Santa Cruz), Walther, C.H. (Kiel), Dole, J. (Austin, Texas), Strauch, W. (Managua)

aberhors@geomar.de

The crustal structure of the convergent Nicaraguan margin from a combined MCS and refraction study

We present seismic profiles from an extensive multi-channel-seismic and wide-angle survey acquired in June 2000 during R/V Maurice Ewing (cruise EW 00-05). The seismic measurements were carried out using a 6 km long streamer, 14 ocean bottom hydrophones (OBH) and 9 landstations recording marine airgun shots from an 136 l airgun-array. The objective of this study is to improve the knowledge about the structure of the convergent Nicaraguan margin, which is located between the intensively studied margins of Guatemala to the north and Costa Rica to the south.

The Cocos Plate, which is formed by the fast East Pacific Rise to the East and the Cocos Nazca Spreading Center to the South subducts beneath Nicaragua nearly orthogonal to the trench. Here, the Cocos Plate was formed at the East Pacific Rise about 24 Myr ago. The nearly 100 km wide continental shelf of Nicaragua includes the more than 10 km deep Sandino Basin. The seismic data yield detailed images of the subducting oceanic plate and the tectonic structure of the continental plate.

A more than 250 km long transect from the outer rise to the volcanic arc and a 180 km long strike line along the upper slope of the margin are presented. The wide-angle data were interpreted using forward modeling techniques. The MCS data are processed up to a time migration and integrated into the refraction model. At the outer rise the oceanic crust is only 5 km thick and some deep reflections cut through the Moho into the upper mantle. Towards the trench the seafloor is strongly faulted in response to the plate flexure. The frontal sediments in the continental plate are less than 1.5 km wide. The slope sediments are divided by a basement high into a shallower (< 3 km thick) part to the southwest and the deep Sandino basin with 7 km of sediments close to the coastline. This basement high is situated in the projection of the Santa Elena Peninsula in northern Costa Rica. The underlying basement shows a high velocity and a high landward velocity gradient from 3.5 km/s at the tip of the margin wedge up to 6 km/s below the Sandino basin. These velocities suggest that the margin wedge is composed of ophiolitic rock similar to the Nicoya complex in Costa Rica. Beneath this basement we find an enigmatic high velocity material that trends parallel to the subduction slab.

Berndt, H., Meister, J. Dr., Müller, K. (Hannover)

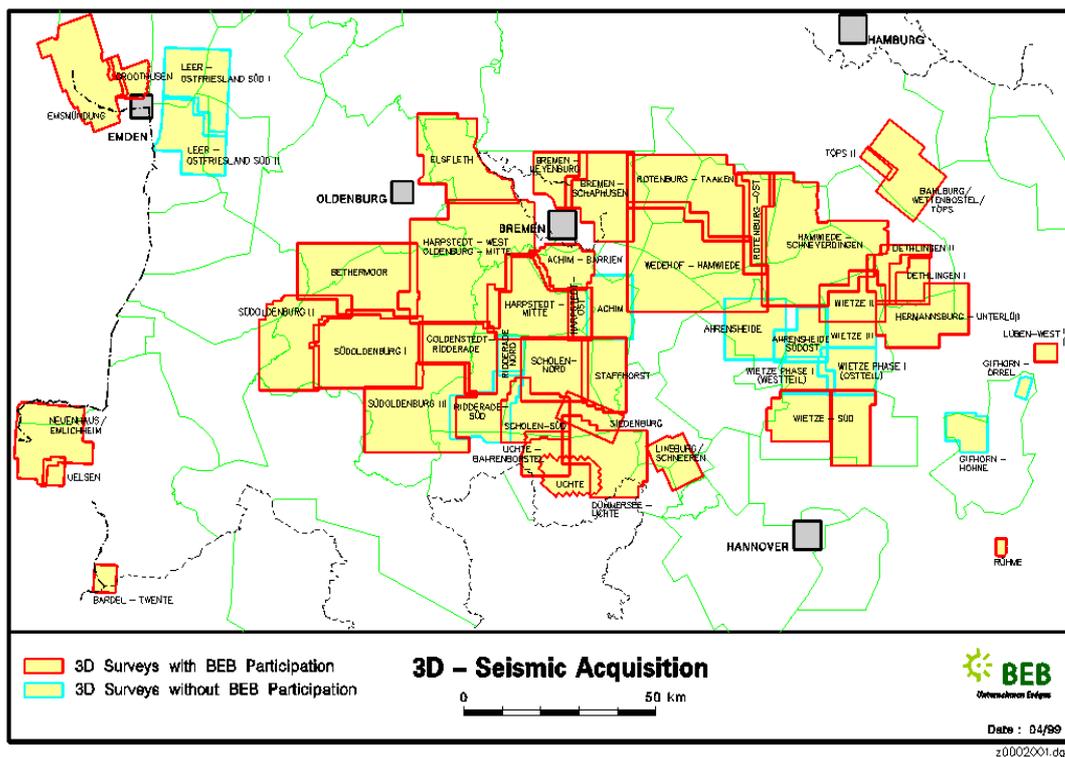
Harald.Berndt@BEB.de

Tiefenmigrationen in der deutschen Erdgasindustrie

In der deutschen Erdgasindustrie kommen immer modernere Methoden zur Aufsuchung und Entwicklung von Lagerstätten zur Anwendung. Im seismischen Processing bilden dabei das 3D Velocity Model Building und die 3D Pre- und Post Stack Tiefenmigration die Schwerpunkte. Die schnelle Entwicklung im EDV-Bereich erlaubt heutzutage rechenintensive Operationen mit großen Datenmengen.

In dem Vortrag soll ein Überblick über die bei BEB verwendete Vorgehensweise bei der Tiefenmigration gegeben werden. Bedingt durch den langen Acquisitionszeitraum und nicht immer einheitliche Aufnahmeparameter war ein erheblicher Aufwand notwendig, um die einzelnen 3D-Surveys aneinander anzupassen. Dieses war die Grundvoraussetzung, um flächendeckende, überregionale Geschwindigkeits- Tiefenmodelle zu generieren. Hiermit wurden anschließend Post Stack Tiefenmigrationen gerechnet, die mittlerweile ca. 80% der in Nordwestdeutschland gemessenen 3D-Flächen abdecken. Die vereinheitlichten Pre Stack Daten dienen als Grundlage für selektive Pre Stack Tiefenmigrationsprojekte. Während bei dem Geschwindigkeitsmodell für die Post Stack Tiefenmigration lediglich die NMO-Geschwindigkeiten aus dem Standardprocessing berücksichtigt werden, nutzt man bei der Pre Stack Tiefenmigration zur Aufdatierung des Geschwindigkeitsmodells noch zusätzliche Laufzeitinformationen aus der Seismik (RMO-Korrektur).

Tiefenmigrationen bilden bei BEB zunehmend die Grundlage für die unternehmensweite Planung der Erdgasförderbohrungen.



Reichardt, M., Bethmann, F., Igel, H. (München)

Freie Oberflächenbedingungen auf 2D unstrukturierten Gittern

Die Bedingungen an der freien Oberfläche fordern, dass dort keine Spannungen vorliegen. Numerische Verfahren, die die Wellengleichung mittels der Geschwindigkeits-Spannungs-Formulierung (Virieux, 1986) auf diskreten Gittern lösen, müssen die Spannungsbedingungen an der Oberfläche einschließen. Verschiedene Ansätze dazu (e.g. Graves, 1996; Magnier et al., 1994), wurden bei Finiten-Differenzen-Verfahren (FD) auf regelmäßigen Rechteck- und Dreiecksgittern erfolgreich getestet und angewandt. Für Verfahren auf unstrukturierten Gittern (NN), die eine unregelmäßige Gittergeometrie haben, gibt es bisher noch keine zufriedenstellenden Lösungen für dieses Problem.

Unter unstrukturierten Gittern verstehen wir Gitter, die aus Dreiecken aufgebaut sind, wobei die Dreiecke in Form und Größe variieren. Dadurch sind unstrukturierte Gitter flexibel in der Anpassung an komplexe Modellgeometrien. Sich verjüngende Schichtgrenzen oder starke Topographie können durch solche Gitter realisiert werden. Damit können z. B. Streuphänomene lokaler Erdbeben an steilen Vulkanflanken untersucht werden – eine Implementierung der freien Oberflächenbedingungen vorausgesetzt. Methoden, die auf einer rechteckigen Raumdiskretisierung basieren, sind dazu nur mittels Gitterverfeinerung oder Gittertransformation in der Lage. Beide Verfahren führen entweder zu einem erhöhten Rechenaufwand oder zu numerischer Instabilität, wenn die Topographie zu steil wird und sind daher nur bedingt für solche Anwendungen geeignet.

Räumliche Ableitungen bei NN werden mittels gewichteter Summationen über geeignete Nachbarknoten eines gewünschten Gitterpunktes berechnet. Die Anzahl und Wahl der Nachbarknoten sowie die Berechnung der Gewichte kann über verschiedene Ansätze erfolgen (Sambridge et al., 1995; Zhang et al., 1999). Um die Ordnung der Ableitungen zu erhöhen werden wie bei FD Verfahren staggered grids verwendet, d.h. die zu berechnenden Spannungen und Geschwindigkeiten werden an verschiedenen Gitterpunkten berechnet. Im Gegensatz zu FD sind bei unstrukturierten Gittern alle Geschwindigkeiten und alle Spannungskomponenten an jeweils einem Gitterknoten definiert.

Zur Implementierung der freien Oberflächenbedingungen verfolgen wir zwei Ansätze: (1) die Spannungen sind an der Oberfläche definiert und werden aufgrund geometrischer Betrachtungen an der Oberfläche neu berechnet. (2) die Geschwindigkeiten sind an der Oberfläche definiert und werden mittels eines Finiten-Volumen-Ansatzes (Zhang et al., 1999) berechnet, der die freien Oberflächenbedingungen implizit einschließt. Die Genauigkeit beider Implementierungen wird mit Hilfe des Lamb's Testes quantitativ untersucht. Dabei werden Modelle mit horizontaler Oberfläche und einfacher Topographie mit bekannten Lösungen verglichen. Erste Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung.

Wir werden in unserer Präsentation die verschiedenen Ansätze vorstellen und die Testergebnisse sowie erste Anwendungsbeispiele zeigen.

Referenzen

- Graves, R. W. , 1996, BSSA , 86(4), 1091–1106.
- Magnier, S.-A. et al., 1994, Geophysics , 59(9), 1435–1443.
- Sambridge, M. et al. , 1995, Geophys. J. Int., 122 , 837–857.
- Virieux, J. , 1986, Geophysics , 51(4), 889–901.
- Zhang, J. et al. , 1999, Geophys. J. Int., 136 , 431–438.

Breitzke, M., Bialas, J. (Kiel) and INGGAS Working Group @ GEOMAR/Kiel, University of Hamburg, University of Bremen and University of Kiel

mbreitzke@geomar.de

Development of a Multichannel Digital Deep Tow Seismic Streamer System

The vertical and lateral resolution of marine subsurface structures in reflection seismic images strongly depends on the marine seismic source and streamer system used for signal generation and data acquisition. The vertical resolution is controlled by the dominant frequency and bandwidth of the reflected signals and can be improved by using high(er)-frequency sources like GI- or waterguns in deep and boomers or sparkers in shallow water. Deconvolution tries to improve the vertical resolution by increasing the bandwidth. The lateral resolution is determined by the size of the Fresnel zone whose radius depends on the source and streamer depth and on the depth of the reflector, respectively, on the velocity above the reflector and on the dominant frequency. Migration decreases the in-line resolution and radius of the fresnel zone to minimum a quarter wavelength but has no influence on the cross-line resolution. The latter can only be improved by lowering the streamer and - in the ideal case - the source towards to the sea floor. This is the main objective of INGGAS subproject 3, supported within the gas hydrate initiative of the BMBF GEOTECHNOLOGIEN program.

In detail, a hybrid multichannel digital deep tow streamer system is developed within INGGAS subproject 3 in order to collect marine seismic data with an improved lateral in- and cross-line resolution particularly in regions of special interest for gas hydrate research. In this context, hybrid system means that conventional marine seismic sources like air-, GI or waterguns shot close to the surface will still be used, whereas the streamer is lowered to the sea floor and - combined with a side scan sonar system acquired within the OMEGA project of the gas hydrate initiative of the GEOTECHNOLOGIEN program - forms a deep-towed device. A depressor of about 700 kg weight completes the deep tow system and ensures the slightly buoyant side scan sonar and streamer to keep in depth.

The streamer is a modular digital system which can be operated in water depths up to 6000 m. It consists of a 50 m lead-in cable towed behind the side scan sonar fish and single nodes for each channel. Each node houses a single hydrophone, low- and high-cut filter, preamplifier and 24-bit AD converter. Special engineering nodes additionally include a pressure sensor and compass which provide information on the depth of the node below sea surface and on its geographical position relative to the ship. Nodes are interchangeable and can arbitrarily be connected by cables of 1 or 6 m length. Up to 96 channels can be combined. A minimum sample interval of 0.25 ms allows to use sufficiently high-frequency seismic sources to guarantee both a very high vertical and lateral resolution. At this stage of development the streamer consists of 26 nodes including three engineering nodes.

Data storage is performed both underwater on a linux-based PC with 120 GByte storage capacity installed in a pressure-proofed housing mounted on the side scan sonar fish, and onboard of the research vessel on a PC running a data acquisition program and on a connected DLT device. Data transfer between underwater and onboard systems is carried out via telemetry controlled onboard by a second linux-based PC using conventional coax cable (e.g. onboard RV Meteor) or light wave conductor technology (e.g. onboard RV Sonne). First laboratory tests with a 5 and 11 km long coax cable have yielded sufficiently high data transfer rates so that complete shot gathers can probably be transferred online from the underwater to the onboard system during seismic profiling allowing an online quality control of the complete data set.

For determination of the exact position of the side scan sonar fish the ultra-short base line (USBL) system POSIDONIA will be used. It mainly consists of a specially hull-mounted acoustic unit and a beacon or responder mounted on the side scan sonar fish. Engineering nodes of the streamer will then measure the depth and heading of the streamer node positions relative to the side scan sonar fish.

Synchronization of all deep towed underwater and onboard laboratory components will be done by (D)GPS time based trigger signals. Additionally, all components controlling the deep-towed device will be linked via ethernet and will form a small PC cluster onboard the research vessel during each cruise.

A first test of the deep tow system will be carried out during INGGAS test cruise SO162 with RV Sonne from 21.2. - 12.3.2002 off Peru and Ecuador along profile lines where conventional multichannel seismic reflection data were already collected during a former GEOPECO cruise. Different towing depths and/or velocities are planned to

be tested in order to gather experience with deep-towed devices and to find an optimum towing depth and towing velocity which allows to achieve the best signal-to-noise ratio and lateral resolution of subsurface structures. Additionally, different seismic sources (conventional airgun array, GI gun, watergun) are planned to be used in order to compare the vertical and lateral resolution achieved by combinations of different marine seismic sources and the deep tow streamer system.

For further information on gas hydrate research at GEOMAR and on the INGGAS project please visit:

<http://www.gashydrate.de>

<http://www.geomar.de/~mbreitzk/inggas/index.html>

Broser, A., Bialas, J. (Kiel), Hampel, A., Kukowski, N. (Potsdam)

abroser@geomar.de

Crustal structure along the Peruvian Margin from wide angle seismic data

Within the GEOPECO project (Geophysical Experiments at the Peruvian Continental Margin - investigations of tectonics, mechanics, gas hydrates and fluid transport) seismic refraction and reflection data were acquired during RV 'Sonne' cruise SO 146 along with bathymetric and gravimetric mapping, sea-floor sampling, observation of the ocean floor and heat flow measurements. The objectives were a quantitative characterization of the structures and geodynamics of the Peruvian section of the Andean subduction zone and the associated gas hydrate systems in regions with differing tectonic development.

The oceanic Nazca Plate, which is approximately 28 to 38 million years new at the Peruvian trench, is subducting under the South American Plate. The Peruvian Continental Margin has been influenced over the last 8 million years by collision with the Nazca Ridge, a 400 km long and 50 km wide basement high. Collision migrated progressively from north to south, is presently in the area of 15°S and has influenced the area to the north in several ways.

Six wide angle seismic profiles, each approximately 100nm long, were shot with three 32 liter Bolt-airguns over 9 to 14 OBH/S instruments at the Peruvian Margin. During the cruise a total amount of 127 OBH/S were successfully deployed showing high quality data.

Forward modeling was performed to characterize the structure and the velocities of the different stages of the evolution of the margin after collision with the Nazca Ridge. The coincident reflection seismic profiles were used to constrain the structure and thickness of the upper layers.

The resulting crustal cross sections reveal a rough surface and a thin sediment layer of the subducting oceanic Nazca Plate. The crust thickens beneath the Nazca Ridge. Its thickness also varies north and south of Mendana Fracture Zone (MFZ), which separates younger (~25 Ma old) from older (~35 Ma old) oceanic crust at about 11°S.

There is no accretionary wedge where Nazca Ridge currently subducts. 3 Ma after the ridge has passed, a new accretionary prism is already set up with a width of 20 to 30 km and 4 to 5 km thickness which does not further increase in size as revealed by the profiles recorded further north of Nazca Ridge.

This indicates that current subduction along the Peruvian Margin is non-accreting. The slope angle of the accretionary prism increases south of MFZ, whereas the profile north of MFZ shows a smaller slope angle. As the subducting Nazca Plate dips at about 6° on all profiles north of Nazca Ridge, the resulting taper is 12° to 17°, indicative of high basal friction and non-accretionary subduction.

The horst and graben like structure and rough topography of the oceanic plate also substantiates non-accretionary even erosional subduction for the graben structures are filled with sediment before subduction.

Two cross profiles from Lima Basin reveal the crustal structure of the continental slope. Lima Basin is some 80 km wide (along dip) and its thickness varies from 1 to 3 km below sea floor. Furthermore it shows an asymmetric shape and is divided into two parts by a basement high at the landward termination.

Flüh, E. R., Bialas, J. Walther, C.H.E., Fekete, N., Thierer, P. O. (Kiel), Charvis, P., Collot, J. Y., Sallarés, V. (Villefranche)

eflueh@geomar.de

SO159 - SALIERI: Krustenstruktur des Carnegie Rückens und des ecuadorianischen Kontinentalrandes

Im Rahmen der deutsch-französischen Kooperation standen auf der SONNE Fahrt SO159 vom 21.08. bis 17.09.2001 seismische Weitwinkelmessungen auf dem Carnegie Rücken und am ecuadorianischen Kontinentalrand im Vordergrund. Über erste Ergebnisse wird berichtet.

Der Carnegie Rücken wurde auf zwei nahezu Nord-Süd verlaufenden Profilen untersucht. Das westliche Profil quert den Rücken an einer Lokation, wo dieser morphologisch wenig ausgeprägt ist. Das östliche Profil liegt unmittelbar vor der Grabenachse, hier ragt der Rücken bis auf 800 m Wassertiefe empor. Auf beiden Profilen wurden Ozeanbodenseismometer (OBS) und –hydrophone (OBH) im Abstand von 8 bis 9 km ausgelegt, die Airgunschüsse können bis in Entfernungen von über 100 km beobachtet werden und erlauben es, die Krustenstruktur und den obersten Mantel abzubilden. Auf beiden Profilen wird der Übergang von normaler Ozeankruste zu der verdickten Kruste des aseismischen Rückens deutlich. Die interne Struktur des Carnegie Rückens wird maßgeblich durch eine verdickte Unterkruste bestimmt. Die Krustenmächtigkeit beträgt 16 km auf dem westlichen Profil und 28 km im Osten. Die bathymetrischen Vermessungen des Carnegie Rückens mit dem neuen SIMRAD Fächerecholot zeigen den Rücken als stark asymmetrische Aufwölbung mit einer steil einfallenden nördlichen und einer leicht geneigten südlichen Flanke, die von lokalen Seamounts durchdrungen wird.

Im Golf von Guayaquil wurden entlang existierender Reflexionsprofile Weitwinkeldaten gewonnen. Hier ist die flach abtauchende ozeanische Kruste der Nazca Platte zu erkennen. Bis zu 6 km mächtige Sedimente werden im Forearc Becken angetroffen. Das Basement des erodierten früheren Kontinentalrandes reicht bis dicht an die Grabenachse, eine Zone erniedrigter Geschwindigkeiten oberhalb der abtauchenden ozeanischen Platte kann als Hinweis auf subduzierte Sedimente angesehen werden.

Hampel, A. (Kiel), Kukowski, N. (Potsdam), Bialas, J. (Kiel)

andrea@gfz-potsdam.de

Effects of the Oblique Subduction of the Nazca Ridge on the Peruvian Convergent Margin: Insights From Bathymetric and Wide-Angle Seismic Data

Bathymetric and wide-angle seismic data were acquired during the RV Sonne cruise SO146–GEOPECO off southern Peru in spring 2000 to image the Nazca Ridge and its intersection with the Peru Trench. Bathymetric mapping reveals that the southeastern flank of the ridge, which marks its leading edge entering the Peru Trench, has a rather smooth topography compared to the rough relief of the surrounding Nazca Plate and shows volcanic structures of different size and elevation. A seamount of about 600-700 m height and a diameter of about 20km, another seamount with a pronounced caldera and conical peaks near the crest of the ridge as well as several elongated ridges with no preferred orientation have been identified. An increasing number of trenchparallel normal faults can be found towards the trench which is characterized by a rugged surface and little to no sediment fill. The lower continental slope shows a steep topography with an angle of 8° and indications for erosion. There is no evidence for the presence of a former or recent accretionary prism

Refraction seismic profiles across of the ridge and along the crest of the ridge continuing further on the continental slope show that the Nazca Ridge is covered by only several hundred meters of sediment and has a topographical high at the ridge crest. The cross-sectional model of the ridge indicates a thickened crust, with seismic velocities typical of oceanic crust. The Moho is located at a maximum depth of about 20km below sea level beneath the ridge crest and at about 19km and 17km depth below sea level beneath the northwestern and southeastern ends of the profile across the ridge, respectively. Thus, the ridge seems to have an asymmetrical crustal root. The profile perpendicular to the continental slope shows thickening of the incoming sediments towards the trench, but as there is no accretionary wedge, we assume that they are completely subducted. The angle of lower slope is larger than on other profiles acquired during the GEOPECO cruise. Thus, erosion of the continental slope in consequence of ridge subduction is suspected. The Nazca plate, which can be traced to a depth of about 27 km, subducts at an angle of about 9° .

The data set throws light on the topography, geometry and crustal structure of the Nazca Ridge and the collision zone with the Peru Trench. This information is used for preliminary finite element modelling and 3D-sandbox modelling to achieve a better understanding of the deformation processes related to the subduction of the Nazca Ridge.

Wagenschein, D. (Bremen), Grinat, M. & Binot, F. (Hannover)

m.grinat@gga-hannover.de

Zur Unterscheidung von Tonen und salzwasserführenden Aquiferen mit dem Verfahren der Induzierten Polarisation

Tone und versalzene Grundwasserleiter weisen häufig vergleichbare spezifische elektrische Widerstände auf und sind daher mit herkömmlichen geoelektrischen Verfahren von der Erdoberfläche aus ohne Zusatzkenntnisse nicht eindeutig zu unterscheiden. Zusatzinformationen ergeben sich u.a. aus der Bestimmung ergänzender Parameter, beispielsweise aus der Methode der Induzierten Polarisation (Radic 1997; Hartmann 2000).

Im Rahmen einer Diplomarbeit, die von der Arbeitsgruppe "Geochemie und Hydrogeologie" an der Universität Bremen sowie dem Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA-Institut) betreut wird, wurden an verschiedenen Lokationen im Bereich der Bremerhaven-Cuxhavener Rinne Messungen der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) in Schlumberger-Elektrodenanordnung durchgeführt.

Die Lokationen sind nach geologischen Kriterien, nach vorhandenen Bohrprofilen aus der Bohrdatenbank des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (NLfB) und nach der vorliegenden elektromagnetischen Befliegung des Gebietes (Siemon et al. 2001) ausgewählt worden. Ziel war, ton- und schluffdominierte sowie sanddominierte Standorte ausfindig zu machen, und zwar sowohl in Bereichen mit "normalen" als auch mit deutlich erhöhten Grundwassersalinitäten. Betrachtet wird nur der oberflächennahe Bereich bis maximal 25 Meter Tiefe.

An diesen Typlokalationen werden im Rahmen der auf sechs Monate begrenzten Diplomarbeit die Spektren des scheinbaren spezifischen Widerstandes in Abhängigkeit von der jeweiligen geologischen Situation und den hydrochemischen Gegebenheiten untersucht. Dazu wurden nach Abschluß der SIP-Messungen Schneckenbohrungen mit dem Bohrgerät des NLfB abgeteuft, so dass Proben für Korngrößenanalysen und ggf. mineralogische Untersuchungen sowie weitere Labormessungen zur Verfügung stehen. Außerdem wurden, so weit möglich, Grundwasserproben zur Charakterisierung des Aquifers genommen bzw. Leitfähigkeitsmessungen durchgeführt.

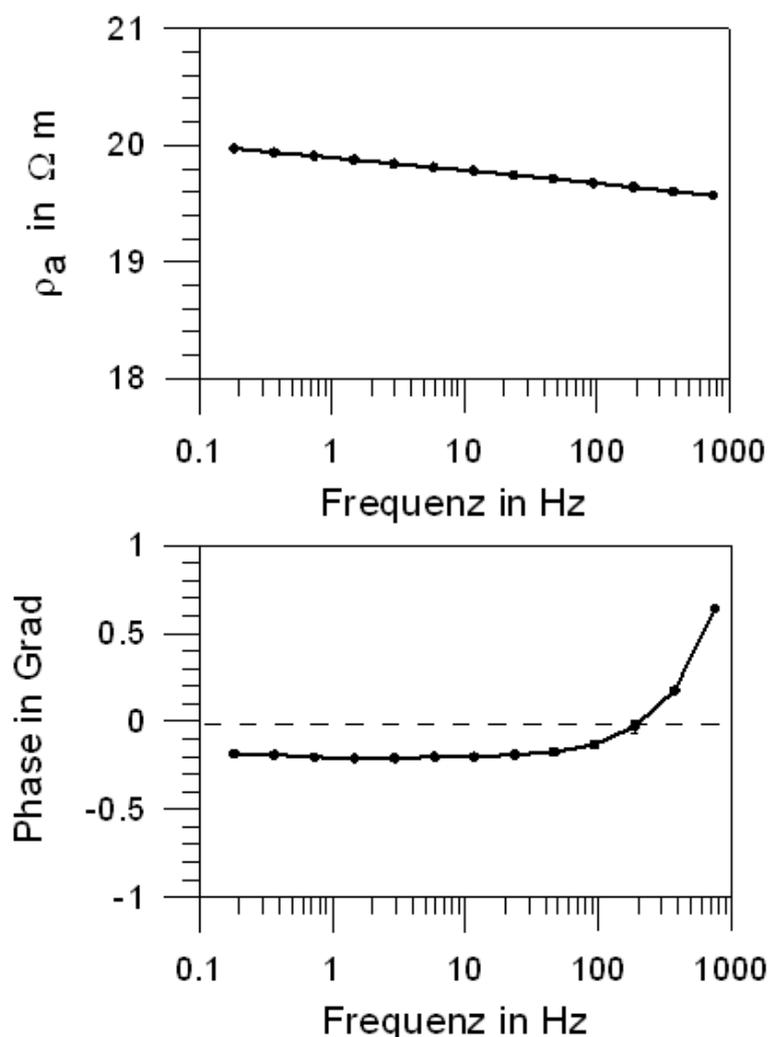


Abb. 1: Scheinbarer spezifischer Widerstand und Phase in Abhängigkeit von der Frequenz für $L/2 = 10 \text{ m}$ am Sondierungspunkt "Forschungs-bohrung Cuxhaven" (Schlumberger-Elektrodenauslage, Messgerät SIP-Fuchs)

Abbildung 1 zeigt als Beispiel den scheinbaren spezifischen Widerstand ρ_a und den Verlauf der Phase im Frequenzbereich 0,183 – 750 Hz für den halben Stromelektrodenabstand $L/2 = 10 \text{ m}$ an der Forschungsbohrung Cuxhaven des GGA-Instituts. Wie erwartet nimmt der scheinbare spezifische Widerstand mit zunehmender Frequenz ab. Die obersten sieben Meter dieses Sondierungspunktes sind durch Schluffe und Tone geprägt.

Hartmann, S. (2000): Geophysikalische Untersuchungen an Tonen unter besonderer Berücksichtigung von IP-Effekten. – Diplomarbeit Universität Leipzig.

Radic, T. (1997): Induzierte Polarisation. – In: Knödel, K., Krummel, H. & Lange, G. (Hrsg.): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3: Geophysik: 166-206; Berlin (Springer-Verlag).

Siemon, B., Röttger, B. & Eberle, D. (2001): Airborne geophysical investigation of saltwater intrusions and coastal aquifers in NW Germany. – Proceedings 7th Meeting Environmental and Engineering Geophysics: 228-229; Birmingham.

Wölbern, I. (Potsdam, GFZ), Jacob, A.W.B., Blake, T.A. (Dublin, DIAS), Kind, R., Li, X., Sobolev, S.V. (Potsdam, GFZ), Duennebier, F. (Honolulu, SOEST), Priestley, K. (Cambridge, UC), Weber, M. (Potsdam, GFZ)

A detailed Receiver Function Study of the Hawaiian Plume Conduit

In summer 1999 eleven Guralp 40T seismic stations have been set up by the DIAS, Dublin, in cooperation with the University of Hawaii, Honolulu, on four Hawaiian islands with concentration on the Big Island. Seismic data have been recorded until May 2001. A further STS-2 instrument has been installed on the island of Maui by the GFZ, Potsdam, in 1999, which is still operated. In addition, data from two IRIS stations and three stations of the USGS are available. The aim of this project is to map in greater detail than in an earlier study (Li et al., 2000) effects and influences of the Hawaii Plume on the upper mantle discontinuities, and to verify an asthenospheric zone of strongly reduced velocity, also observed by Li et al. (2000). Yet, at this stage of the project indications are found for a thinning of the mantle transition zone as well as a general temperature increase in the area under investigation. The above mentioned low velocity zone can clearly be identified. It is found to be a quasi circular area of about 35 km radius beneath Big Island in the region of the Mauna Loa volcano.

Li, X., R. Kind, K. Priestley, S. V. Sobolev, F. Tilman, X. Yuan and M. Weber, 2000. Mapping the Hawaii Plume conduit with Receiver Functions. *Nature* 405, 938-941

Blaschek, R. (Köln), Hördt, A. (Bonn)

Der scheinbare Widerstandstensor und sein Einsatz bei LOTEM-Konfigurationen

Im 3D-Fall gibt es für LOTEM-Daten bisher noch keine schnelle Interpretationsmöglichkeit, sodass entsprechend der Wunsch besteht, direkt aus den Daten zumindest einen groben Überblick über die Untergrundstruktur zu erhalten. Die Methode des scheinbaren Widerstandstensors kann dies nun erreichen.

Die Methode arbeitet mit zwei Sendern unterschiedlicher Orientierung pro Sendeort und benötigt die Messung beider Horizontalkomponenten des elektrischen Feldes.

Den Tensor im Gleichstromfall erhält man, indem man eine lineare Beziehung aufstellt zwischen den gemessenen elektrischen Feldern und den analytisch berechneten Stromdichten unter der Annahme eines homogenen Halbraumes. Im Übergang zum LOTEM-Fall werden die elektrischen Felder zeitabhängig, die Stromdichten hingegen werden wieder zeitlich konstant gehalten.

Aus dem Tensor lassen sich nun Rotationsinvarianten ableiten, die eine Unabhängigkeit von der Orientierung des Senders erreichen und als Mittelwerte des scheinbaren Widerstandes angesehen werden können. Weiterhin erhält man durch Auftragen des scheinbaren Widerstandes in Richtung des elektrischen Feldes (im allgemeinen nicht parallel zur Stromdichte) für jede Richtung eine Ellipse, die sogenannte Ellipse des scheinbaren Widerstandes. Deren Halbachsen und Drehung lassen sich nun wiederum direkt aus den Rotationsinvarianten errechnen und geben Aufschluss über die Untergrundstruktur. So richten sich z. B. bei lateralem Leitfähigkeitskontrast die Hauptachsen parallel bzw. senkrecht zur Grenzlinie aus. Die Darstellung der Invarianten und Ellipsen ermöglicht den gewünschten schnellen Überblick. Durch den Zusammenhang zwischen Zeit und Diffusionstiefe ist es auch möglich, Aussagen zum vertikalen Verlauf zu erhalten.

In diesem Beitrag werden synthetische Daten für 1D-Modelle z. T. mit eingelagerten Störkörpern gezeigt und die Unterschiede zwischen den einzelnen Tensorinvarianten dargestellt sowie ein Vergleich zum scheinbaren Widerstand des Totalfeldes gezogen. Des Weiteren werden Auswirkungen bei Abweichen von der optimalen Senderkonfiguration betrachtet, da in der Praxis oftmals eine Auslage gewählt wird, in der sich die Sender nicht mittig kreuzen, sondern sogar eine V-Form bilden, wodurch eine Elektrode eingespart werden kann. Erste Ergebnisse bei Anwendung auf Messdaten vom Vulkan Merapi (Indonesien) veranschaulichen den praktischen Nutzen.

Bock, G. (GFZ Potsdam), Hofstetter, A. (GII Lod, Israel), Mohsen, A., Rumpker, G., DESERT-Group (GFZ Potsdam)

bock@gfz-potsdam.de

Mantle Anisotropy beneath the Dead Sea Transform from Splitting Analysis of SKS Waves

A temporary network of 29 broadband and 30 short-period seismic stations was operated from April 2000 till June 2001 in Israel, Jordan and Palestine crossing the Dead Sea Transform (DST) between the Dead Sea and the Red Sea. One of the aims of the project is to investigate azimuthal anisotropy in crust and upper mantle from shear wave splitting at long periods. We have been analyzing the splitting of *SKS* and *SKKS* waves for both the temporary stations and permanent broadband stations in the area. Many of the splitting observations are of high quality with estimated errors often as small as 5circ in polarization direction and 0.1 s in delay times. The results reveal a consistent direction of the fast *S* wave velocity approximately parallel to the DST. Delay times between fast and slow split waves range from 1.0 s to 1.5 s. Delay times are high, up to 1.5 s, over the DST itself and areas extending about 50 km both to the east and west of the DST, while they tend to be smaller (about 1.0 s) at greater distances from the DST. Our results are consistent with a model where asthenospheric flow is parallel to the DST, and lithospheric olivine alignment is parallel to the shear zone of the DST enhancing the asthenospheric contribution of mantle anisotropy over the DST.

Budweg, M. (Potsdam, Göttingen), Weber, M., Bock, G. (Potsdam), Eifel-Plume-Team

martin@gfz-potsdam

The Upper Mantle in the region of the Eifel, Germany

The Eifel is the youngest volcanic area of Central Europe. The last eruption occurred approximately 11000 years ago. Little is known about the deep origin and the mechanism responsible for the Eifel volcanic activity. Earthquake activity indicates that the Eifel is one of the most geodynamically active areas of Central Europe. We use the receiver function method (RF) to investigate lithospheric-asthenospheric structure beneath the Eifel. We analysed data from 125 teleseismic events ($m_b > 5.5$) that were recorded both by permanent stations and by temporary network of 33 broad-band and 129 short-period stations. The temporary network was operating from November 1997 till June 1998 and covered an area of approximately 400x250 km centered on the Eifel volcanic fields. RF analysis reveals a clear image of the Moho and the mantle discontinuities at 410 km and 660 km depth. Average Moho depth of approximately 30 km shows little variation over the extent of the network, but appearance of converted waveforms is variable possibly caused by lateral variations in crustal structure. First inversions of data from stations of the central Eifel array suggest that a low velocity zone is present at about 60 to 80 km depth. The results suggest that P-to-S conversions from the 410-km discontinuity arrive later than in the IASP91 reference model. This could indicate higher than normal temperatures in the transition zone from upper to lower mantle. It also seems that the 410-km discontinuity is not as continuous as the 660-km discontinuity in the Eifel region.

Mohsen, A., Bock, G., Kind, R. (Potsdam), Hofstetter, A. (GII Lod, Israel), Hanka, W., DESERT-Group (Potsdam)

Receiver function images from crust and upper mantle beneath the Dead Sea Transform

Beginning in April 2000, a temporary network of 29 broadband and 30 shortperiod seismic stations had been set up in Israel, Palestine and Jordan crossing the Dead Sea Transform (DST) between the Dead Sea and the Red Sea as part of the multidisciplinary DESERT project. The aperture of the network is approximately 250 km in NW-SE direction and 150 km in SW-NE direction. After more than one year of successful operation the network was dismantled in May/June 2001. Data were continuously recorded in the field at 50 Hz sample frequency. The raw field data were converted to Miniseed format and archived as full seed volumes in the public GEOFON data centre. The unique DESERT dataset is currently for exclusive usage only by the institutions that have taken part in the DESERT field project. In a first receiver function analysis, we selected 53 teleseismic earthquakes, with epicentral distances ranging from 30^{circ} to 90^{circ} and magnitudes (m_b) > 5.5 . As we deployed different seismographs (short period and broadband), the instrument responses have to be deconvolved from the original records. This step makes it possible to broaden the response of short-period instruments into a more useful teleseismic frequency band. After bandpass-filtering to remove high-frequency and long-period noise, the ZNE traces were rotated into the LQT ray coordinate system in which the L component is in the direction of the direct P phase, and the Q component is parallel to the SV wave and points positively away from the source. The T component is the third component in the right hand coordinate system of LQT parallel to the SH direction. We calculated source-equalized receiver functions by deconvolving the Q component seismograms with the P signal on the L component. Finally, a distance moveout correction for P_s converted phases was applied, which aligns the travel time curves of P_s parallel to that of P . First preliminary results show at most stations strong P_s signals from within the crust at about 1 s delay time relative to P which is interpreted as a P_s conversion from the top of basement. P_s phases from the Moho are observed at about 4 s delay time. There is a clear indication for the presence of a low velocity layer in the upper mantle beginning at about 60–70 km depth, but it not clear yet whether this is present everywhere under the array because of interference of inner crustal multiples with the primary P_s phases.

Walker, K.T. (Stanford), Bock, G. (Potsdam), Bokelmann, G. (Stanford), Klemperer, S. (Stanford)

ktwalker@pangea.Stanford.EDU

Shear-wave splitting around hotspots: Does it resolve plume-related flow?

There are a number of unresolved yet fundamental questions about the nature of mantle plumes. Specifically, can we distinguish whether the flow results from true plumes, i.e. upwellings from parts of the deeper mantle, or from alternative hotspot models such as propagating fractures? We propose that if plumes exist, asthenospheric flow that is approximately parabolic in map view occurs if the ascending plume material is deflected by a moving plate. The specific geometry of this flow would be controlled by the volumetric plume flux, the plate velocity with respect to the hotspot, and the basal lithospheric topography. If the shear strain associated with this flow occurs via dislocation creep, which one might expect due to elevated mantle temperatures or high water fugacity in plume material, a preferred orientation of olivine can develop with the fast a-axes approximately parallel to flow direction. Depending on the location in the asthenosphere with respect to the plume conduit and regions of dislocation creep, this can result in horizontal to vertical alignments of olivine. Therefore, measurements and modeling of teleseismic shear-wave splitting can help test this hypothesis, and perhaps provide direct evidence for the existence of plumes.

Comparison of different plume regions may help better define the hypothesis to test, and also help understand anomalous differences between predicted and observed anisotropy. We are specifically focusing on Hawaii, the Snake River Plain, and the Eifel, all of which occur within distinct tectonic settings. a) Hawaii resides on a fast moving oceanic plate, b) the Snake River plain on an intermediate-velocity continental plate, and c) the Eifel on a slow-moving continental plate. Associated volumetric plume fluxes are a) very large, b) intermediate, and c) small. We review the anisotropy data obtained in these regions, and show that recent shear-wave splitting measurements from around Hawaii are consistent with subhorizontal parabolic asthenospheric flow. In addition, some measurements across the Snake River Plain are also consistent with such flow, while others are more complicated and await a more comprehensive analysis.

A cylindrical low-velocity zone was imaged beneath the Eifel by tomography, and is suggestive of a plume. We therefore inspect Eifel shear-wave splitting results in this context. If there is only a single-layer of anisotropy beneath the greater Eifel region, one might attempt to reconcile the apparent splitting measurements (which directly characterize single-layer anisotropy) with any simple parabolic asthenospheric flow model. On the other hand, if the upwelling is weak and only inducing significant shear strain around the plume conduit, one might try to reconcile the measurements with a model dominated by vertically aligned fast axes. What we observe beneath the Eifel array is a change from a regional trend of roughly E-W in the apparent fast polarization direction to NNE-SSW in the eastern Eifel region. In addition, several anomalously low and high delay times, and many null measurements have been observed in the western Eifel volcanic field. High-quality splitting data collected over many years suggests that at least two layers of anisotropy exist beneath some parts of Europe. Therefore, more comprehensive analyzes must be made before one can confidently interpret the pattern of mantle anisotropy with Eifel shear-wave splitting data.

Wylegalla, K., Bock, G., Grünthal, G. (Potsdam, GFZ)

Untersuchung der Erdbeben bei Wittenburg und Rostock (Mecklenburg)

Aus historischer Zeit ist nicht bekannt, dass auf mecklenburgischem Gebiet jemals ein Erdbeben vorkam. Am 19. Mai 2000 wurde ein lokales seismisches Ereignis vom GRSN (German Regional Seismological Network) registriert, dessen Lokalisierung ergab, dass das Epizentrum ca. 30 km südwestlich von Schwerin war und die Magnitude $ML=3.2$ betrug. Makroseismisch ist dieses Beben nicht wahrgenommen worden, was auf eine Herdtiefe von mehr als 8 km hindeutet. Dagegen wurden die Erschütterungen eines Erdbebens am 21. Juli 2001 um 16:35 UT, dessen Epizentrum etwa 25 km östlich von Rostock lag, noch im Umkreis von 50 km verspürt, obgleich es nur wenig stärker war ($ML=3.4$). Zur Klärung der Natur dieser in Mecklenburg bisher seltenen Ereignisse wurden mittels Laufzeitanalysen und dem Vergleich beobachteter und synthetischer Seismogramme die Epizentren und Herdtiefen abgeschätzt. Aus den Polaritäten der beobachteten P-Wellen sowie den Amplitudenverhältnissen der P- und S-Wellen sind die Herdmechanismen bestimmt worden. Entsprechend diesen Untersuchungen lagen beide Hypozentren im Grundgebirge unterhalb der Sedimentbedeckung und deuten auf einen tektonischen Scherbruch hin, dessen Orientierung mit dem tektonischen Spannungsfeld im Norddeutschen Becken übereinstimmt.

Bohlen, T., Kugler, S., Klein, G. (Kiel)

tbohlen@geophysik.uni-kiel.de

Bestimmung lateraler Variation der Scherwellengeschwindigkeit flacher mariner Sedimente aus der Dispersion von Scholtewellen

Die Kartierung der Schereigenschaften von flachmarinen Sedimenten ist für geotechnische Fragestellungen von großer Bedeutung. Ein Ansatz zur Bestimmung der Scherwellen-geschwindigkeit in diesem Bereich ist die Untersuchung von Grenzflächenwellen zwischen Wasser und Meeresboden, den sogenannten Scholtewellen. Bei einem variablen Sediment zeigt die Phasengeschwindigkeit dieser Welle eine für den Untergrund charakteristische Dispersion. Sensitivitätsuntersuchungen ergaben, daß die Geschwindigkeit der Scholtewelle hauptsächlich von der Scherwellengeschwindigkeit abhängt. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die frequenzabhängige Geschwindigkeit der Grenzflächenwelle mit dem Ergebnis eines Untergrundmodells der Scherwellengeschwindigkeit zu invertieren.

Im Rahmen einer Seemessung in der Kieler Bucht wurden Scholtewellen guter Qualität mit

4-Komponenten-Ozeanbodenseismometern über anstehendem Geschiebemergel registriert. Als seismische Quelle diente eine drei Meter unter der Meeresoberfläche geschleppte 0,6 l Airgun. In Abbildung 1c ist ein typisches Common-Receiver-Gather dargestellt. Man erkennt deutlich die Scholtewelle und deren dispersives Verhalten. Durch ein slant-stack wurde das Common-receiver-gather in den Frequenz- Phasenlangsamkeits-Bereich überführt. Dabei konnte die Dispersion der Fundamentalmode, sowie der ersten höheren Mode aus OBS-Daten, sowie aus OBH-Daten mit guter Auflösung bestimmt werden. Diese Dispersion spiegelt die mittlere Dispersion entlang des seismischen Profils (Länge 800m) wieder. Die Inversion der Form der zwei Moden lieferte 1-D Modelle der Scherwellengeschwindigkeit, welche grob dem Profilmittelpunkt zugeordnet wurden. Der Vergleich dieser Modelle für benachbarte Profile deutet auf starke laterale Variationen hin.

Zur Bestimmung von kleinräumigeren Variationen erbrachte die Durchführung von lokalen Dispersionsanalysen entlang eines seismischen Profils mit Hilfe sukzessiver f-k-Filterungen gute Ergebnisse. Abbildungen 1a und 1b zeigen zwei "lokale" Frequenz-Langsamkeits-spektren, die deutlich die laterale Variation der Dispersion, insbesondere der Fundamentalmode, zeigen. Die Maxima der Spektren sind aufgrund der Unschärferelation etwas breiter als bei der Radon-Fourier-Transformation des gesamten Profils, lassen aber eine Interpretation noch sehr gut zu. Die kontinuierliche Berechnung lokaler Spektren ergibt glatte Veränderungen der Dispersionskurven mit dem Offset. Die Qualität der lokalen Spektren nimmt jedoch in der Regel für Offsets größer als 500m aufgrund der Verringerung des Signal-Stör-Verhältnisses ab.

Die Dispersion der Fundamentalmode und der ersten höheren Mode wurde in den lokalen Spektren gepickt und jeweils in ein lokales 1-D Untergrundmodell der Scherwellen-geschwindigkeit invertiert. Unter der Voraussetzung, dass (a) Quelle (Airgun) und Empfänger (OBS/OBH) vertauschbar sind und (b) die Scholtewelle lateral wie ein seismischer Strahl über die slowness entlang des Stahlweges mittelt, können die 1-D Modelle der Quellposition zugeordnet werden. Sind diese Voraussetzungen aber in diesem Fall ausreichend erfüllt ? Problematisch sind u.a. geringe Offsets sowie die unterschiedliche Tiefenlage von Quelle (an Meeresoberfläche) und Empfänger (am Meeresboden).

Zur Klärung dieser Frage wurden vergleichend seismische Modellierung mit der viskoelastischen Finite-Differenzen Methode für ein lateral variierendes Sedimentmodell durchgeführt. Bei den Modellrechnungen wurde die gleiche Akquisitionsgeometrie simuliert wie sie auch im Experiment verwendet wurde. Die Berechnung lokaler Spektren und Inversion der synthetischen Daten mit dem Ergebnis lokaler 1-D Modelle und deren Vergleich mit dem simulierten Modell geben Aufschluss über die Mittelung der Scholtewelle bei geringen Offsets sowie über die Frage der Vertauschbarkeit von Schuss- und Empfänger.

Weitere Info: <http://www.geophysik.uni-kiel.de/~tbohlen/scherseis>

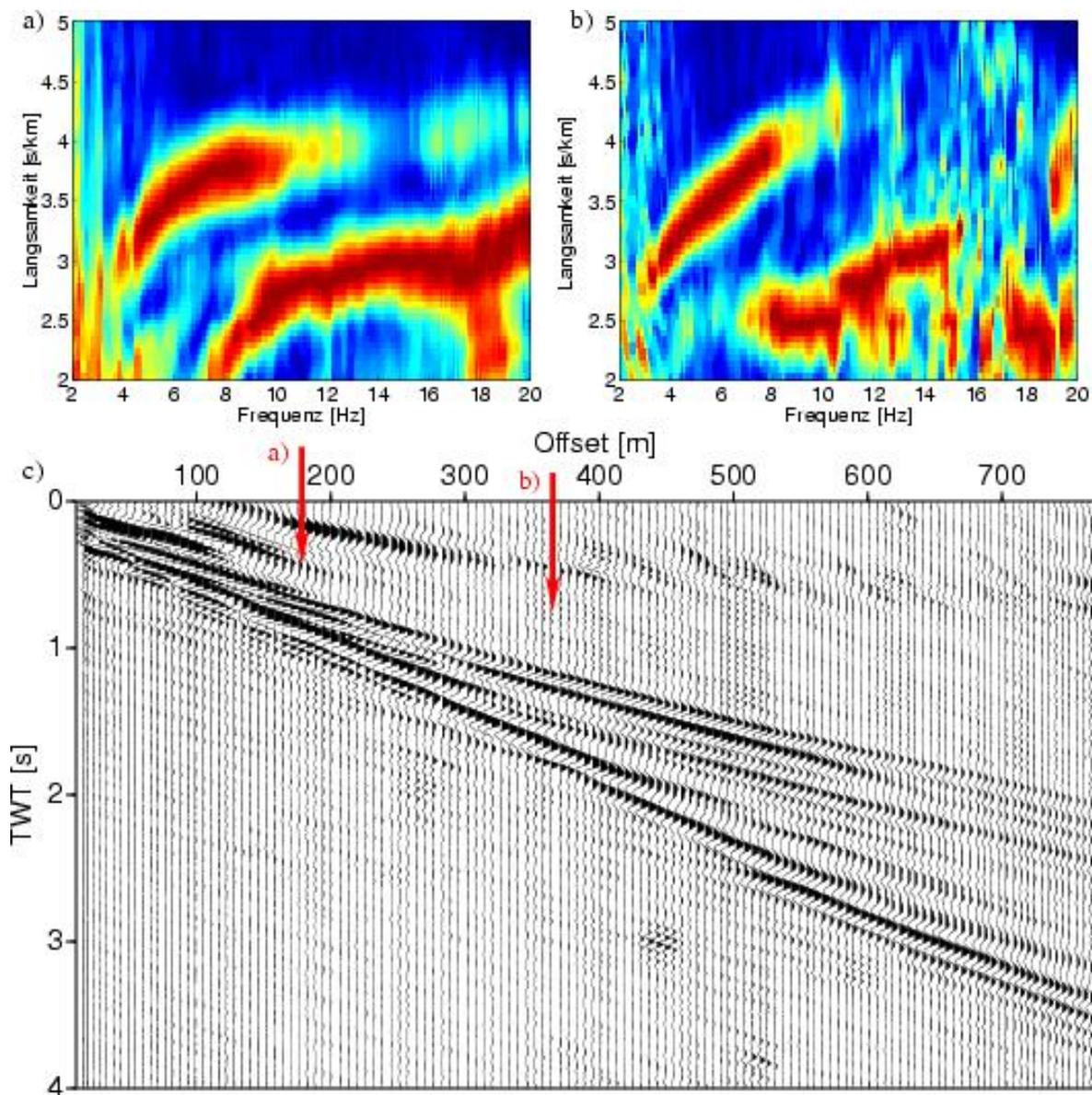


Abbildung 1. a) und b) Durch sukzessive f-k-Filterung berechnete lokale Frequenz-Langsamkeitsspektren, die die lokale Dispersion bei Offsets 182m (a) und 371m (b) widerspiegeln. c) Über Geschiebemergel durch ein OBH aufgezeichnetes Common-Receiver-Gather. Das Wellenfeld der Scholtewelle zeigt zwei Moden. Seismogramme sind f-k-gefiltert und spurnormiert.

Klein, G., Theilen, F., Kugler, S., Bohlen, T. (Kiel)

gklein@geophysik.uni-kiel.de

Scherwellengeschwindigkeitsmessung in der Wassersäule

In den letzten Jahren konnte gezeigt werden, daß aus den Dispersionseigenschaften seismischer Wellen, insbesondere der Scholte-Grenzflächenwelle, die Tiefenverteilung der Scherwellengeschwindigkeit im Meeresboden rekonstruiert werden kann. Dadurch sind Abschätzungen der Schermoduli möglich, die mit der Scherfestigkeit und der Stabilität des Meeresbodens korrelieren.

Während bei bisherigen Experimenten meist die Registrierung und/oder Anregung der dispersiven Wellen direkt am Meeresboden erfolgte, wird nun in dem im Forschungs-schwerpunkt Geotechnologien des BMB+F angesiedelten Forschungsvorhaben NATLAB (Natürliches Labor Ostsee) untersucht, ob die Scholte-Wellen auch mit einem mehrkanaligen, tiefgeschleppten Meßsystem ohne Meeresbodenkontakt erfassbar sind. Dies wäre für eine flächenhafte und effiziente Messung zur Abschätzung der Meeresbodenfestigkeit von großem Vorteil.

Untersuchungen zur Relevanz der Akquisitionsparameter (z.B. Quell- und Empfängertiefen) sowie zum Einfluß des zu untersuchenden Mediums auf die Dispersionseigenschaften wurden anhand von Modellierungen und Meßexperimenten durchgeführt. Modellierungen zeigen, daß die Registrierung von Scholte-Wellen prinzipiell auch mit tiefgeschleppten Systemen möglich ist. Dabei hängt die Qualität u.a. deutlich von dem Abstand der Empfänger zum Meeresboden sowie der räumlichen Abtastung des Wellenfeldes ab.

Der Verlauf der normierten Tiefenfunktion der Amplitude der Scholte-Welle (Abb. 1) zeigt unterhalb der Grenzfläche ($z=0$) den Auflösungsbereich, während oberhalb der Grenzfläche deutlich wird, in welcher Tiefe die Scholte Welle noch angeregt und registriert werden kann.

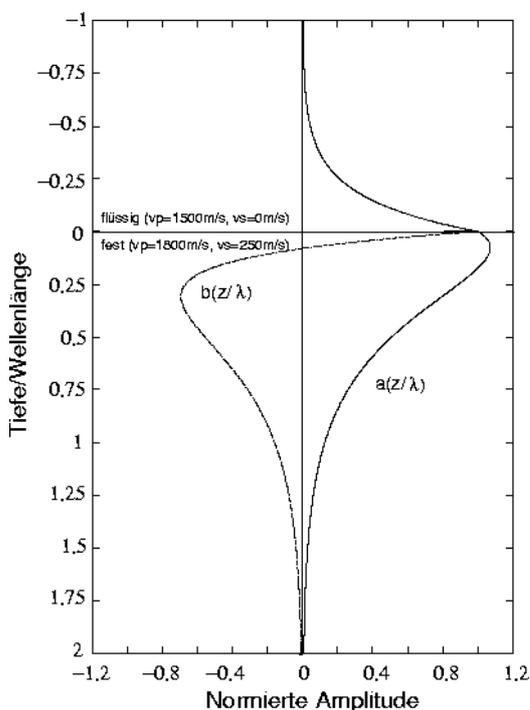


Abb. 1: Normierte Tiefenverteilung der Amplitude von Scholte-Wellen.

In marin-seismischen Messungen in der Ostsee konnten nun an einigen Lokationen mit relativ festem Meeresboden Scholte-Wellen registriert werden (Abb. 2). Dazu wurden sowohl Quelle als auch Empfänger in einem Bereich von 10m oberhalb des Meeresbodens geschleppt. Bei weichen Meeresböden (z.B. Schlick) ist dagegen eine Registrierung mit effizienten Akquisitionsparametern bislang nicht gelungen. Auch in einem von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zur Verfügung gestellten Datensatz aus der Laptevsee konnten im Bereich geringer Wassertiefen und festem Meeresboden (submariner Permafrost) Scholte-Wellen

identifiziert werden.

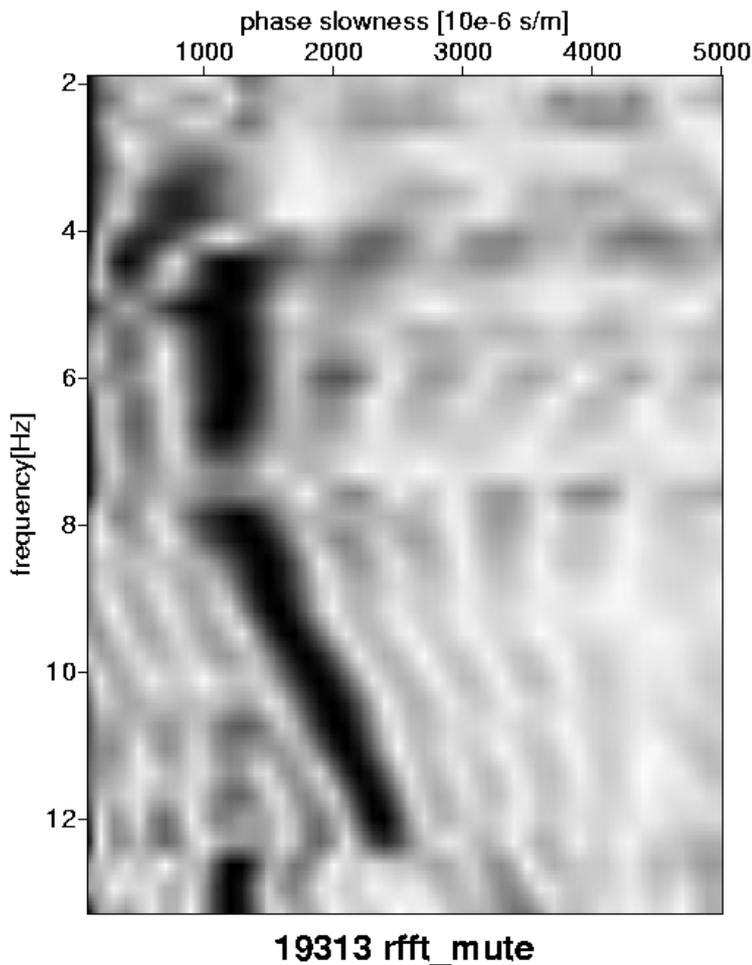


Abb 2: Die im Frequenz-Phasenlangsamkeits-Bereich dargestellte Schußsektion aus der Ostsee zeigt eine dispersive Welle mit Phasengeschwindigkeitsänderungen von 400 - 1200 m/s.

Im Fall von komplexen modalen Eigenschaften des Wellenfeldes, wie sie in flachmarinen Sedimenten zumeist vorkommen, muß ein Inversionsverfahren zur Bestimmung der Tiefenfunktion der Scherwellengeschwindigkeit verwendet werden, das modenidentifikationsunabhängig ist und eine multimodale Auswertung berücksichtigt. Die Transformation des gemessenen Wellenfeldes in den Phasenlangsamkeits-Frequenz-Bereich erlaubt eine multimodale Auswertung des Spektrums im direktem Vergleich mit Modellierungen.

Die untersuchten Meß- und Auswertemethoden könnten zur Charakterisierung fester Meeresböden ($V_s > 200\text{m/s}$) z.B. für geotechnisch relevante Fragestellungen oder im Bereich der Gashydraterkundung von Bedeutung sein.

Bohnhoff, M., Harjes, H.-P. (Bochum):

Analysis of Fault Mechanisms Deduced From Induced Seismic Events at KTB

During a long-term injection experiment at the 9.1 km deep KTB mainhole located in south-eastern Germany about 2800 induced seismic events were detected by a borehole sonde installed at 3.8 km depth in the nearby pilot hole. Of these, 237 were strong enough to be recorded at the 40-station temporary surface network allowing to determine their hypocenters with an accuracy better than 70 m in each direction.

Fault plane solutions were determined based on P wave polarities and P/SV ratios assuming a pure double-couple model. We were able to determine 125 fault plane solutions of which 82% have a standard deviation better than 12deg for strike, dip and rake; 98 are single event solutions whereas 27 were compound solutions for similar events (correlation coefficient 0.85). The majority of fault plane solutions shows a predominant strike-slip mechanism with varying components of normal but also reverse faulting. A smaller number of events indicate a near vertical dip-slip movement. The orientation of fault and auxiliary plane is WNW-ESE and NNE-SSW in most cases. The majority (80%) of B axis plunges are larger than 45deg. That is, in most cases pre-existing faults with a preferable vertical orientation of the B axes were reactivated. This indicates a strike-slip regime at KTB confirming results of Brudy et al. (1997) who determined the intermediate principal stress to be vertical over the entire length of the deep drill hole. Based on the fault plane solutions, a stress tensor inversion was performed in order to determine the three axes of principal stress and the relative stress magnitude R. The deduced stress field shows a N-S orientation of the largest principal stress, σ_1 , being nearly horizontal (plunge 7deg) and the intermediate principal stress, σ_2 , being near vertical (trend 160deg, plunge 82deg). Results for the relative stress magnitude of 0.5 indicate that σ_2 is represented by the mean of σ_1 and σ_3 . Subdivision of the data set in depth intervals above 6 km (102 events) and below 6 km (23 events) revealed only minor differences from the result found for the entire data set.

Based on the reliability of the fault plane solutions four subsets were formed. Between these, the variability of fault plane orientations remarkably decreases with increasing event weights. In order to confirm or reject the hypothesis that 'variability of fault mechanisms becomes smaller the larger the events are' we analysed this effect replacing the weighting by the local magnitude M_l of the events. We find that the decrease of the variability of fault mechanisms towards increasing magnitudes is not an artefact of the uncertainties of the individual events leading us to the conclusion that the larger events represent the local stress field more uniformly than the smaller events.

Weinrebe, W., Klauke, I., Bohrmann, G., Arbeitsgruppe, O. (Kiel)

wweinrebe@geomar.de

DTS-1: ein tief-geschlepptes Side-Scan-Sonar System für hochauflösende Kartierungen des Meeresbodens. Erfahrungen vom ersten Einsatz während der Fahrt M52/1 mit FS METEOR im Schwarzen Meer.

Oberflächennah am Meeresboden vorkommende Gashydrate finden sich im allgemeinen an Orten mit ausgeprägten Austrittsstellen von Fluiden oder Volatilen. Diese Prozesse erzeugen morphologische Strukturen wie Schlammvulkane, Mud Domes oder Pockmarks; Bereiche, die oft charakterisiert sind durch Karbonatkrusten und Ausprägungen spezifischer biologischer Aktivitäten wie Bakterienmatten oder Muschelfelder. Zur Quantifizierung oberflächennah anstehender Gashydrate müssen derartige Strukturen erfasst werden können. Dafür sind Kartierungstechniken mit hoher Auflösung erforderlich.

Schiffsgestützte Fächerecholote wie das Hydrosweep-DS2- (FS METEOR) oder das Simrad-EM120-System (FS SONNE) können mit ihren ca. 2° Öffnungswinkeln nur besonders große derartige Strukturen erfassen. Die tief-geschleppten Video-Systeme (OFOS) dagegen erreichen Auflösungen im Millimeter-Bereich, können aber aufgrund ihrer Aufnahmebreite von 2 bis 3 m bei einer Operationsgeschwindigkeit von ca. 0.5 kn mit hohem Zeitaufwand nur sehr geringe Flächen abdecken. Im Rahmen des Schwerpunktes Gashydrate im Geotechnologie-Programm wurde im Verbundprojekt OMEGA die Beschaffung des tief-geschleppten Side-Scan-Sonar Systems DTS-1 vom BMBF gefördert. Dieses System soll die Lücke in Bezug auf Auflösung und Kartierungsleistung zwischen schiffsgebundenen hydroakustischen Systemen und tief-geschleppten Video-Geräten füllen.

Basis des DTS-1 ist das "Full-Spectrum" Dual-Frequenz CHIRP-Side-Scan-Sonar System der Firma EdgeTech. Mit den Frequenzen 75 kHz und 410 kHz können Auflösungen bis in den Dezimeter- und Zentimeter-Bereich bei Vermessungsbreiten von 100 m bis 2000 m erreicht werden. Die maximale Einsatztiefe beträgt 6.000 m. Zusätzlich ist ein CHIRP-Sediment-Echolot (2 bis 16 kHz) eingebaut. Da das DTS-1 gleichzeitig auch einen tief-geschleppten seismischen Streamer betreiben soll, dessen Beschaffung im Rahmen des Verbundprojektes INGGAS vom BMBF gefördert wurde (siehe Poster Breitzke, Bialas et al.), konnte keine Standard-Lösung für Schleppfisch und Telemetrie gewählt werden. Umfangreiche Konstruktions- und Anpassungsarbeiten waren erforderlich, die in Zusammenarbeit mit mehreren Firmen gelöst werden konnten.

Der erste Einsatz erfolgt auf der Fahrt M52/1 von FS METEOR im Januar 2002 im Schwarzen Meer. Erste Erfahrungen im Betrieb des DTS-1 sowie erste Ergebnisse der Kartierungsarbeiten sollen vorgestellt werden.

Kind, R., Bormann, P., Schurr, B. (GeoForschungsZentrum Potsdam), Engdahl, E.R. (University of Colorado, Boulder, USA.)

course@gfz-potsdam.de

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 2: seismic Wave Propagation and Earth models

The first section basic types of seismic body and surface waves are introduced in a phenomenological way. It is explained how their existence and propagation velocity is related to the elastic and structural properties of the medium, how these waves are oscillating in space, why surface waves show dispersion and how these basic types of body and surface waves can be discriminated in seismic records according to their differences in arrival time and polarization. In this context the terms of travel-time, slowness and dispersion curves are introduced. In the second section the complexity of wave propagation phenomena in real media, which would require a full wave theoretical description, is shortly sketched by way of analogy to optics. It is then explained why it is sufficient for most applications in seismological routine practice to describe the propagation of body waves by ray theory. The third section outlines the essential principles and laws governing the propagation of seismic rays (Fermat's principle, Snell's law) for both flat layering and the spherical Earth. It is shown how the velocity-depth distribution in the Earth influences the key features of travel-time, slowness- and amplitude-distance curves. The fourth section deals with critical refraction, reflection and mode conversion of seismic waves at discontinuities and the resulting multitude of seismic onsets and complexity of seismic records which vary with distance and depth of the source. The fifth section summarizes the main features observed in global travel-time curves of body waves and regional dispersion curves of surface wave and draws inferences with respect to the related P- and S-wave velocity structure as well as basic physical properties of the Earth. Complementary Information Sheets present IASP91 and other widely used velocity-depth model in global seismological practice, define standard phase codes in respect to the propagation paths of their waves, give typical record examples and comment on the detectability of phases depending on distance and record type.

Bormann, P., (GeoForschungsZentrum Potsdam)

course@gfz-potsdam.de

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 4: Seismic Signals and Noise

The chapter introduces the basic differences between seismic signals and noise and how to treat them in seismic data analysis. It is shown how the signal radiated from the source is distorted by the wave propagation in the real Earth and by the response function of the seismograph. The latter has a significant bearing on the appearance of seismic signals in the records and thus on the detectability and discrimination of seismic onsets. The second section introduces into the main sources of seismic noise, its basic characteristics (frequency spectrum, randomness, coherence, polarization, depth dependence, variability in time). Based on these features possibilities for noise suppression and signal-to-noise improvement by frequency, velocity, polarization or prediction error filtering or by placing seismic sensors underground into tunnels, mines or borehole are discussed. The final section looks into classical and modern spectral representations of seismic noise in different kinematic units, presents the currently used global low and high noise reference models and outlines the relationships for the conversion of power spectral densities into bandwidth dependent RMS record amplitudes and vice versa. The chapter is complemented by an exercise worksheet on the transformation of noise spectra into various kinematic units and the calculation of RMS and average peak noise amplitudes in seismic records of different bandwidth. Additionally an information sheet on available computer programs for noise conversion is provided.

Bormann, P. (GeoForschungsZentrum Potsdam)

course@gfz-potsdam.de

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 1: Aim and Scope of the IASPEI Project

The last edition of the Manual of Seismological Observatory Practice dates back to 1979. It covered analog techniques only and is out of print. Since that time, computer and communication technologies as well as the availability of modern broadband sensors have revolutionized seismological observatory practice. Related know-how is chiefly available in industrial countries only. Besides this, classical university curricula do not provide suitable education and training of observatory personnel. Therefore, the IASPEI Commission on Practice (CoP) proposed in 1994 to elaborate a new version of the Manual of Seismological Observatory Practice and established a related international working group. The poster reviews the history and aims of this project, outlines the scope and philosophy of the new manual, lists the manual chapters and highlights some of the key issues such as the need for broadband high-resolution digital recordings and for comprehensive routine data processing and analysis aimed at the identification and parameter reporting of secondary seismic phases as a precondition for improved event localization and other parameter calculations at the international data centers. The New Manual will be developed both as an affordably cheap printed version and as a more comprehensive electronic data base. The latter is easy to up-date and complement and freely accessible via Internet (<http://www.seismo.com>) together with the old manual edition of 1979. The first new edition is scheduled for printing in mid 2002. Most of its parts will then also be available on the Web.

Klinge, K. (BGR/Seismological Central Observatory), Bormann, P. (GeoForschungsZentrum Potsdam), Wendt, S. (University of Leipzig, Observatory Collm)

klinge@szgrf.bgr.de

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 11: Routine Seismogram Interpretation and Data Analysis

Both the traditional analysis of analog seismograms and the processing and analysis of respective digital data is concerned with the detection of earthquakes on seismic records, the description of different phases, the determination of onset times and polarities, the measurement of the maximum ground displacements and related periods of body and surface waves, the determination of magnitudes and hypocenter locations. Nowadays, seismological data analysis at single stations is replaced more and more by network and array data analysis at local, regional or national seismic data centers. Contrary to single stations, networks and arrays enable a better source location and the possibility of slowness and azimuth estimation allows more reliable phase identification. Additionally, by averaging single station magnitudes, more stable magnitude values can be obtained. Moreover, for distant events, the signal coherency can be used for a better onset time determination. Chapter 11 of the new manual contains the following sections:

- Aim and scope of routine data analysis and reporting at seismological observatories;
- General approach to routine seismogram interpretation;
- Routine signal processing and analysis of digital seismograms;
- Software for routine analysis;
- Examples of seismogram analysis in the local, regional and teleseismic distance range;
- Special problems: Late and very late core phases, depth determination etc.

Chapter 11 is complemented by Datasheets on additional seismogram examples from earthquakes in different distance and depth ranges as well as by record examples from underground nuclear explosions. Also annexed are Exercises on the manual localization of both teleseismic events by means of 3-component records and of local and regional events by means of seismic network recordings. A complementary Information Sheet gives the new IASPEI authorized standard nomenclature of seismic phases to be used in international data exchange.

Trnkoczy, A. (Kinematics SA), Bormann, P., Hanka, W. (GeoForschungsZentrum Potsdam) Holcomb, L.G. (USGS, Albuquerque), Nigbor, R.L. (University of Southern California, Los Angeles)

amadej.trnkoczy@quantum.si

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 7: Site Selection, Preparation and Installation of Seismic Stations

The first section outlines factors affecting seismic site quality and site selection as well as procedures of offsite studies, field studies and computer modelling to determine network layout capabilities. The second sections deals with a) noise reconnaissance studies prior to station site selection, b) with the comparison of noise and signal conditions at existing stations and c) with the search for alternative station sites for improved network detectability. Section 3 looks into the problem of radio-link frequency and feasibility survey for telemetered seismic network stations. The main section is dedicated to seismic station site preparation, instrument installation and shielding. The general requirements are outlined (placement and orientation of sensors, thermal, barometric and magnetic shielding) and installations in seismic vaults, tunnels and mines described. Emphasis is laid on the controlling environmental conditions, the sensor contact with bedrock, vault construction and electrical grounding. The parameters which influence the very long-period performance of a seismological station are discussed by way of examples from the very broad-band GEOFON network. Two major sub-sections of chapter 7 deal with borehole installations of seismic sensors. They gain growing importance a) for high-fidelity and high resolution broadband sensors and b) for special strong-motion arrays to investigate local site effects on ground motions and soil-structure interaction. Chapter 7 is complemented by several Information Sheets on special issues.

Wielandt, E. (University of Stuttgart) Bormann, P., Bribach, J. (GeoForschungsZentrum Potsdam)

ew@geophys.uni-stuttgart.de

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 5: Seismic Sensors and their Calibration

The purpose of this text is twofold: to give some understanding of the design and the mathematical description of seismic sensors, and to suggest proven methods for their installation and calibration. Besides the references and a list of free software, the text contains eight sections: 1 – overview, 2 - basic theory; 3 - design of seismic sensors; 4 - force-balance accelerometers and seismometers; 5 - seismic noise, site selection, installation; 6 - instrumental self-noise; 7 - calibration; 8 - procedures for the mechanical calibration. The author has tried to include only those informations that are of interest to the operator and users of a modern seismic station; instruments and methods of historical interest have almost totally been omitted since they are dealt with in detail in the last edition of the Manual of Seismological Observatory Practice (Willmore, 1979). Special emphasis is on the calibration of short-period electrodynamic seismometers (geophones) and modern broadband sensors. Using digital recording and analysis, these sensors can be calibrated precisely with little effort. With a newly developed method, the absolute gain can be obtained without a shake table, by moving the sensor manually on the table of a machine tool or a mechanical balance. Computer programs for instrument calibration can be downloaded from the authors' FTP sites. Short Program Descriptions are given, complemented by Exercises on various methods of sensor calibration as well as complementary Information sheets on strain seismometers and the constructions of response curves by means of Bode-diagrams. A postscript version of the manual chapter (55 pages with 29 figures) can be downloaded by anonymous ftp from: [ftp.geophys.uni-stuttgart.de](ftp://ftp.geophys.uni-stuttgart.de), pub/ew/texts/manual.ps(.Z).

Stange, St., Brüstle, W. (LGRB Freiburg)

stange@lgrb.uni-freiburg.de, bruestle@lgrb.uni-freiburg.de

Erdbebenserie Bad Saulgau, 2001: Reaktivierung des Herdes von 1935?

Ab dem 4. Oktober 2001 ereigneten sich im oberschwäbischen Bad Saulgau im Landkreis Sigmaringen, Baden-Württemberg, einige Erdbeben, die zum Teil verspürt wurden. Das stärkste Ereignis der Sequenz fand am 7.10. um 13:53 (UT) statt und erreichte die Lokalmagnitude von $ML=3.1$ (LGRB, 2002). Bereits am nächsten Tag konnte eine Mobilstation (MARSlite) nur zwei Kilometer südlich des vorläufigen Epizentrums die Registrierung aufnehmen. Innerhalb von fünf Tagen wurden 50 Nachbeben mit Magnituden zwischen -0.5 und 1.9 aufgezeichnet, bevor die Aktivität zum Erliegen kam. Die Häufigkeitsverteilung zeigt Charakteristiken einer Nachbebenfolge, im Gegensatz zur Serie von Jungingen (1999) oder dem Beben von Lorch (21.10.1997, $ML=3.7$), bei dem überhaupt keine Nachbeben nachweisbar waren.

Dank der epizentrumsnahen Station konnte eine verlässliche Hypozentrumstiefe von sechs bis sieben Kilometern angegeben werden, die sich deutlich von der Tiefe der Standardauswertung mit dem Überwachungsnetz in Baden-Württemberg unterschied.

Die Herdflächenlösung aus Erstausschlagsrichtungen ergab einen horizontalen oder leicht geneigten Strike-Slip-Mechanismus, der im Bereich der Unsicherheit mit der von Hiller (1936) für das 1935er-Beben (27.6.1935, $ML=5.4$) angegebenen Lösung übereinstimmt. Die Herdflächenlösung für das Beben vom 30.3.1965 ($ML=3.5$) weicht nach Kunze (1982) im Streichen um $10^\circ-15^\circ$ von der jetzigen Lösung ab.

Mit Hilfe einer Relativlokalisierung (Master-Event-Technik) konnten die sechs stärksten Vor- und Nachbeben 2001 auf einer SW-NE streichenden Linie angeordnet werden. Damit ist die Frage nach der tatsächlichen Bruchfläche recht gut geklärt, allerdings im Widerspruch zur makroseismischen Interpretation von Kunze (1982) für das 1935er-Beben.

An der Erdoberfläche lassen sich tektonische Strukturen mit etwa 45° Streichrichtung wegen der Quartärüberdeckung leider nicht nachweisen. Auch aus der Erdölseismik gibt es keine passenden Hinweise.

Mit den Erdbeben seit 1935 wurden vermutlich zwei Tiefenstockwerke beleuchtet, eventuell auch zwei Epizentralgebiete. Die älteren Lokalisierungen sind aber zum Teil so unsicher, dass definitive Aussagen bis jetzt nicht möglich sind. Fest steht, dass die Makroseismik des Bebens von 1935 mit einem flachen Herd wie dem von 2001 nicht vereinbar ist. Sogar ein Bruchvorgang in der Unterkruste kann nicht ausgeschlossen werden. Dies wiederum passt zu der Beobachtung, dass im gesamten nordalpinen Molassebecken Erdbeben mit Herd in der Unterkruste beobachtet werden. Andererseits existiert die Nähe und Ähnlichkeit der Bruchtektonik zu den Beben im Zollernalbgebiet.

Das Gebiet um Bad Saulgau muss also auch in Zukunft seismisch genauer beobachtet werden.

Hiller, W., 1936. *Das Oberschwäbische Erdbeben am 27. Juni 1935*, Württembergisches Jahrbuch für Statistik und Landeskunde, Jahrgang 1934/35, Stuttgart.

Kunze, Th., 1982. *Seismotektonische Bewegungen im Alpenbereich*, Dissertation Universität Stuttgart.

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau [Hrsg.], 2002. *Erdbeben in Baden- Württemberg, Jahresbericht 2001*, Bearbeiter: W. Brüstle und St. Stange, Freiburg i. Brsg., in Vorbereitung.

Jäckel, K.-H., Bribach, J., Schulze, A., Weber, M. (Potsdam)

jaeckl@gfz-potsdam.de

The Geophysical Instrument Pool Potsdam (GIPP) - state and future

For eight years the Geophysical Instrument Pool Potsdam (GIPP) provides geophysical instruments mainly for seismological/seismic and magnetotelluric experiments for groups from GFZ as well as from universities. Due to the existence of the GIPP a lot of geophysical experiments were carried out worldwide yielding important new results. The range of the experiments varies from a 2 year deployment using broadband seismometers to multichannel seismics recording vibrator signals. Presently we are going to introduce a new generation of field data logger. This new data logger was developed by Earth Data Ltd (UK) according to GFZ specifications and design goals. It is characterized by a true 24 bit digitizer, low power consumption, flexible communication interfaces and Linux operation system. We will report the most interesting features of this new data logger of which 50 units are present already as well as the quantity and specifications of sensors available.

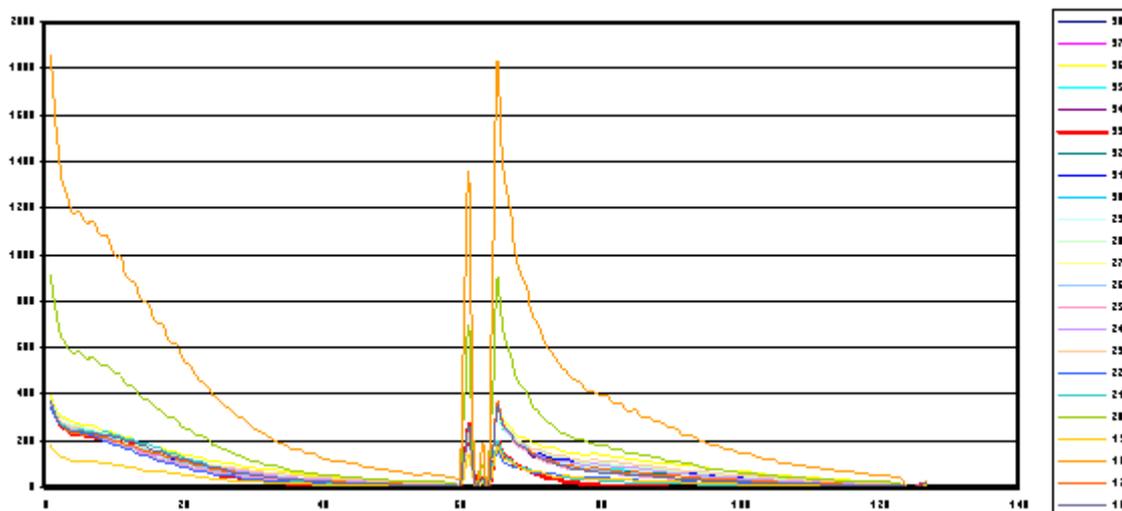
Buckup, K. (Magdeburg), Buckup, P.

drbuckup@bohrlochmesser.de

Neue Anwendungen der Impuls-Neutronen-Messungen

Die technische Entwicklung einer Impuls-Neutronen-Verfahren wurde vor ca. 2 Jahren abgeschlossen.

Nachdem umfangreiche methodische Untersuchungen durchgeführt wurden, werden nun neue Einsatzmöglichkeiten erschlossen. Neben den traditionellen Anwendungen im Erdölsektor



Abklingkurven im kurzen (links) und langen (rechts) Kanal und korrespondierenden Fenstern

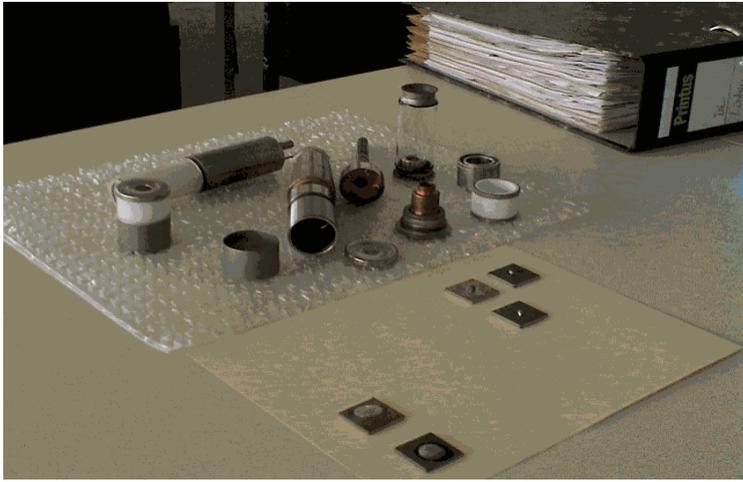
wurde unter Analyse von Abklingkurven auf die Nutzung der Impulsraten und die zeitliche Zuordnung von Anomalitäten in der Abklingkurve als Informationsquelle orientiert, folgende neue Möglichkeiten zeichneten sich ab:

1. Grundwassermonitoring
2. Munitionsnachweis
3. Zementdickenbestimmung
4. Komplexeinsatz zum stofflichen Nachweis

Das Verfahren und die entsprechende Technik gewannen damit an Attraktivität und werden als universelle Methode bei speziellen geologisch-technologischen Aufgaben angesehen.

Ionenstrahlmodellierung am PC

Mit der technischen Entwicklung einer Impuls-Neutronen-Sonde wurden parallel umfangreiche Modellierungen zur Optimierung der Beschleunigerrohrenparameter vorgenommen. Ziel der Untersuchungen war der Einfluss verschiedenster konstruktiver Faktoren auf den Ionenstrahl innerhalb der Beschleunigerrohre. Im Rahmen der Arbeiten wurde das Programmpaket "Simion 7" des Idaho National Laboratory verwendet.



Einzelteile der Beschleunigerröhre

Als Optimierungsfaktoren wurden dabei u.a. untersucht:

- Korpuseinfluss und Target potential
- Masse der Beschleunigungszone
- Parameter des ionenoptischen Systems

Buckup, M. (Magdeburg), Yakovlev, K.

mamunt@bohrlochmesser.de

Ionenstrahlmodellierung am PC

Mit der technische Entwicklung einer Impuls-Neutronen-Sonde wurden parallel umfangreiche Modellierungen zur Optimierung der Beschleunigerrohrenparameter vorgenommen.



Einzelteile der Beschleunigerroehre

Ziel der Untersuchungen war der Einfluss verschiedenster konstruktiver Faktoren auf den Ionenstrahl innerhalb der Beschleunigerroehre. Im Rahmen der Arbeiten wurde das Programmpaket "Simion 7" des Idaho National Laboratory verwendet.

Als Optimierungsfaktoren wurden dabei u.a. untersucht:

- Korpuseinfluss und Targetpotential
- Masse der Beschleunigungszone
- Parameter des ionenoptischen Systems

An ersten Mustern einer Neutronenroehre mit einem Durchmesser von 27 mm zum Einsatz in der Bohrlochmessung wurde Tests realisiert. Die Tests zeigten, dass Roehrenparameter erreicht wurden, die eine Verwendung zum Aufbau von Impuls-Neutronen-Sonden bieten.

Buness, H.(Hannover)

h.buness@gga-hannover.de, www.gga-hannover.de

Existiert eine "Messel-Störungszone" ? - Ergebnisse der Seismik

Die geophysikalischen Untersuchungen und die Forschungsbohrung Messel 2001 ergaben eindeutig eine vulkanische Genese der Struktur Grube Messel. Sie liegt mit drei weiteren Eozän-Vorkommen auf einer SW-NE verlaufenden Linie, die parallel zu einem starken Gradienten der Bouguer-Schwere verläuft. Daher wurde eine "Messel-Störungszone" (MSZ) postuliert, entlang derer Aufstiegswege für Lava und gute Wegsamkeiten für Grundwasser denkbar sind (Jakoby 1997), die eine Voraussetzung für das Entstehen von Maar-Vulkanen darstellen. Aufgrund der Aufschlussverhältnisse (\pm einheitlich Rotliegendes) kann die MSZ geologisch nicht kartiert werden.

Ein hochauflösendes reflexionsseismisches Profil mit ca. 3 km Länge zwischen den Eozän-Vorkommen Grube Messel und Prinz von Hessen (PvH) zeigt einen Reflektor in 50 - 100 m Tiefe, der der Rotliegend/Kristallin-Grenze zugeordnet wird. Eine mit einer größeren Absenkung verbundene Störungszone wird damit sehr unwahrscheinlich. Einzelne Reflektoren in größerer Tiefe können wegen mangelnder Kontrolle durch Bohrungen nicht interpretiert werden.

Ein Refraktor, der durch die Auswertung der Ersteinsätze nach der "Delay Time" (DLT)-Methode berechnet wurde, stimmt weitgehend mit der Tiefenlage der Rotliegend/Kristallin-Grenze überein und weist eindeutig auf eine Aufwölbung direkt NE des Vorkommens PvH hin, die bis dicht an die Oberfläche reicht. Durch Ersteinsatz-Tomographie wird deutlich, dass diese Aufwölbung mit hohen P-Wellengeschwindigkeiten (v_p) verbunden ist. Ein weiterer Körper mit sehr hohen v_p kann in etwas mehr als 100 m Tiefe direkt E von PvH nachgewiesen werden.

SW von PvH zeigt ein refraktionsseismisches Profil ähnliche Strukturen, eine Aufwölbung von Material mit hoher v_p bis dicht unter die Geländeoberfläche. Diese Aufwölbung kann wiederum auch mit der Reflexionsseismik abgebildet werden. Die Strukturen NE und SW von PvH lassen sich jedoch nicht miteinander verbinden, wie ein weiteres Profil nahelegt.

Die tomographische Inversion der Ersteinsatzlaufzeiten liefert gegenüber den 'klassischen' refraktionsseismischen Verfahren wie DLT/DRM oder der Wellenfrontinversion eine weitaus bessere horizontale und vor allem vertikale Auflösung. Die tomographischen Ergebnisse werden durch die Reflexionsseismik unterstützt.

Die seismischen Untersuchungen zeigen, dass der oberflächennahe Untergrund in der Umgebung der Eozänvorkommen sehr heterogen aufgebaut ist. Mangels geeigneter geologischer Informationen bleibt die Ursache der hohen v_p zunächst spekulativ. Es könnte sich dabei einerseits um massive Basaltkörper oder aber um steilstehende Amphibolitschollen handeln. Mit der seismischen Lokalisierung der Strukturen ist die Möglichkeit gegeben, zum einen gezielte Bohrungen niederzubringen, zum anderen können aber auch Potentialverfahren (Gravimetrie / Magnetik) darauf angewendet werden und eventuell zu einer flächenhaften Bestimmung der Strukturen führen.

Jakoby, W. (1997): Tektonik und eozäner Vulkanismus des Sprendlinger Horstes, NE-Flanke des Oberrheingrabens.- Schr.-R. dt. Geol. Ges., 2:66-67; Jena.

Zimmermann, G. (Berlin), Burkhardt, H. (Berlin), Engelhard, L. (Braunschweig)

Skalenvarianz hydraulischer und struktureller Parameter geklüfteter Gesteine aus Bohrlochmessungen (KTB und HSDP)

Untersuchung und Kenntnis von Kluftsystemen, der Wegsamkeit von Fluiden und deren Ursache, Ausdehnung und Skalenvarianz bilden die Grundvoraussetzungen für das Verständnis der dynamischen Prozesse, der Temperatur und des Spannungsfeldes in der oberen Kruste. Im Rahmen des KTB wurde ein Konzept entwickelt, die hydraulischen Eigenschaften von Kluftsystemen zu beschreiben und den Skaleneffekt zu untersuchen. Dieses Konzept für kristalline Gesteine wurde nun auf die vulkanischen Gesteine der Forschungsbohrung Hawaii im Rahmen des Hawaii Scientific Drilling Projects (HSDP) erfolgreich übertragen. Es wurden Kluftnetzwerke untersucht, die unterschiedliche Skalen abdecken, um Zusammenhänge und Unterschiede der hydraulischen und geometrischen Parameter zu quantifizieren. Als Datenbasis dienen im mikroskopischen Skalenbereich fluoreszierende Dünnschliffe und in der makroskopischen Skala strukturelle Bohrlochmessungen (Borehole Televiwer (BHTV)).

Der untersuchte HSDP-Bohrkern aus 1088 m besitzt eine geringe Gas-Permeabilität (10μ Darcy) bei einer gleichzeitig hohen vesikularen Porosität (16.6 %). Dieser Zusammenhang läßt sich durch die Mikrorisse erklären, die die Vesikel verbinden und den hydraulischen Transport dominieren. In dem zugehörigen fluoreszierenden Dünnschliff wurden diese Mikrorisse sichtbar gemacht und ein Netzwerk zur Finite-Elemente Modellierung des hydraulischen Flusses erzeugt. Die Modellierung ergab eine Permeabilität von 12.3μ Darcy in guter Übereinstimmung mit dem experimentellen Ergebnis. In diesem Dünnschliff wurden 109 Klüfte bestimmt, die eine mittlere Kluftlänge von $269.2 \mu\text{m}$ besitzen. Dieser Mittelwert wurde unter Berücksichtigung der Log-Normal-Verteilung der Kluftlänge berechnet. Eine quantitative Größe zur Beschreibung der Vernetzung (Konnektivität) eines Netzwerkes stellt der Perkulationsparameter p dar. Dieser berechnet sich aus der 2-D Kluftdichte λ_A und der mittleren Kluftlänge l zu $p = \lambda_A l^2$. Mit der 2-D Kluftdichte von $2.18 \times 10^7 \text{ 1/m}^2$ ergibt sich ein Perkulationsparameter von $p = 1.58$. Die Untersuchung von KTB Dünnschliffen ergab einen kritischen Perkulationsparameter von $p_{\text{kritisch}} = 1.3$, der den Übergang von vernetzten zu nicht vernetzten Kluftnetzwerken darstellt. Daher sollte das Netzwerk des HSDP Dünnschliffs im Vergleich mit den KTB Daten oberhalb der Perkulationsschwelle liegen. Ein weiterer Parameter zur Beschreibung der Vernetzung ist die mittlere Anzahl von Schnittpunkten pro Kluft. Die Auswertung ergibt einen Wert von 3.18 und liegt im Rahmen der theoretischen kritischen Werte an der Perkulationsschwelle; diese liegen zwischen 3.1 und 3.6, setzen aber konstante Kluftlängen und stochastische Orientierungen voraus.

Im makroskopischen Skalenbereich konnten mit Hilfe der BHTV Messungen 337 Klüfte im Teufenintervall von 783.5 m bis 1147.5 m identifiziert werden. Daraus folgt eine mittlere lineare Klufthäufigkeit λ_L von 0.927 1/m . Unter der vereinfachenden Annahme horizontaler Schichtung und einer konstanten Kluftöffnungsweite (Apertur) von $100 \mu\text{m}$ ergibt sich eine Abschätzung der Permeabilität von 77 m Darcy für diesen Teufenbereich. Die lineare Häufigkeit kann verwendet werden, um die kritische Kluftlänge l_{kritisch} zu bestimmen. Diese gibt an, welche Kluftlänge notwendig ist, um ein hydraulisch durchlässiges Netzwerk zu erzeugen. Aus dem kritischen Perkulationsparameter für zufallsverteilte Klüfte konstanter Länge von $p_{\text{kritisch}} = 5.6$ ergibt sich aus $l = p / \lambda_L$ eine kritische Länge von $l_{\text{kritisch}} = 6.0 \text{ m}$. Daraus folgt, daß unter den gemachten Voraussetzungen zumindest eine mittlere Kluftlänge von 6 m notwendig ist, um ein makroskopisch durchlässiges Netzwerk zu konstruieren. Damit ist mit dieser unteren Schranke die Anzahl der plausiblen stochastischen Netzwerke zur Beschreibung der hydraulischen Situation eingeschränkt, wenn man eine makroskopische Durchlässigkeit postuliert.

Für die Daten des KTB konnte gezeigt werden, daß die Kluftdichte der hydraulisch verbundenen Netzwerke als Funktion der Kluftlänge über alle gemessenen Skalen einem Potenzgesetz mit dem Exponenten -1.9 folgt. Da sich die Kluftnetzwerke des KTB an der Perkulationsschwelle befinden, stellt dieses Potenzgesetz eine skalenübergreifende kritische Eigenschaft dar; sie beschreibt den Übergang von isolierten oder nur lokal zusammenhängenden Klüften zu einem makroskopisch durchlässigen Netzwerk. Folglich läßt sich schon aus der Kenntnis der Kluftdichte und der Kluftlänge auf die Durchlässigkeit des zugehörigen Netzes schließen. Die Ergebnisse der HSDP Daten zeigen im Vergleich, daß sich trotz der Unterschiede zwischen vulkanischen und kristallinen Gesteinen ein ähnlicher Zusammenhang ergibt.

Buske, M., Christensen, U. (Göttingen)

mbuske@uni-geophys.gwdg.de

Dreidimensionale Evolutionsmodelle der Konvektion im Marsmantel

Auf dem Mars sind Vulkanismus, tektonische Aktivitäten und Anomalien im Schwerfeld weitgehend auf einen Bereich, die Tharsis Region, beschränkt, was auf besondere, sich von der Erde unterscheidende Konvektionsformen im tiefen Marsmantel schließen lässt.

Im 3-D Modellen wird die zeitliche Evolution des Marsmantels bzw. seiner Konvektionsströmung unter Einbeziehung der säkulären Abkühlung untersucht. Innerhalb der Modelle werden der endotherme Phasenübergang zum Perowskit, der im Mars knapp über der Kern-Mantelgrenze stattfinden könnte, sowie eine tiefenabhängige Viskosität, die mit der horizontal gemittelten Temperatur variiert, berücksichtigt. Diese tiefen- bzw. temperaturabhängige Viskosität ermöglicht Aussagen über die wachsende Lithosphärendicke.

Es wird untersucht, wieweit die durch die Beobachtungen nahe gelegte Entwicklung zu einem Konvektionsmuster mit nur einem Plume numerisch simuliert werden kann.

Serfling, U., Byrdina, S., Helbig, K., Friedel, S. (Leipzig)

Untersuchung von Zeitreihen natürlicher elektrischer Felder am Vulkan Merapi, Indonesien

Der 3000 m hohe Vulkan Merapi befindet sich Indonesien im zentralen Teil der Insel Java. In unmittelbarer Nähe liegt die Stadt Yogyakarta, in deren Großraum 3 Millionen Menschen leben. Häufige vulkanische Krisen mit eruptiven Ereignissen und partiellem Kollaps des Magmendoms stellen eine permanente Gefahr dar. Das jüngste Ereignis dieser Art fand im Januar 2001 statt.

Zur Strukturuntersuchung dieses Hochrisikovulkans sind mehrere internationale Forschergruppen am Merapi vertreten. Neben der seismologischen Datenerfassung werden auch Magnetometer-, Tilt- und Gaschromatographiemessungen als Monitoring durchgeführt. Ferner wurden und werden aktive Experimente (Seismik, Geochemie, elektrische Leitfähigkeit, Dopplerradar) durchgeführt.

Das Hauptaugenmerk der geophysikalischen Untersuchungen durch die Universität Leipzig am Merapi liegt jetzt – nach unter anderem aktiven gleichstrom-geoelektrischen Großexperimenten zur Strukturerkundung – auf dem Monitoring von Eigenpotentialen (SP). Die Wechselwirkungen von magmatischem System mit dem System der strömenden Fluide im Vulkangebäude haben maßgeblichen Einfluß auf die Aktivität und Stabilität eines Vulkans. Diese Eigenpotentiale werden in ihrer Entstehung elektrokinetischen Effekten zugeordnet, die durch das hydraulische Strömungssystem hervorgerufen werden. Eigenpotentiale und deren Zusammenhänge mit vulkanischen Ereignissen und Krisen wurden schon weltweit beobachtet, aber die Messparameter und Messlokation stellen ein Novum dar. Es handelt sich hierbei um ein Dauermonitoring in unmittelbarer Nähe einer Solfatarenregion mit einer sehr hohen zeitlichen Auflösung (siehe unten).

Ziel ist es, mit den Messungen der Eigenpotentiale Voraussagen vulkanischer Ereignisse zu verbessern.

Seit August 2000 betreibt die Universität Leipzig eine permanente Monitoringstation unterhalb des Gipfels des Merapi im Solfatarengebiet Woro. Diese dient zur Aufzeichnung von Eigenpotentialen an drei Dipolen unterschiedlicher Länge (25 m bis 75 m). Die Samplingrate beträgt für diese Kanäle 20 Hz. Parallel dazu werden die Temperaturen an den Ag/AgCl-Elektroden (ungefähr einen halben Meter im Boden versenkt) und die Lufttemperatur registriert (mit 4 Hz). Die Basiseinheit der Station ist ein primär für die seismologische Datenerfassung konzipierter Datenlogger der Firma Guralp, UK, der aus einem Digitizer und einer Speichereinheit besteht. Die anfallenden Daten (circa 10 MByte/Tag) werden vor Ort komprimiert und per Funk in die Stadt Yogyakarta übertragen, dort archiviert und (nach einem Downsampling) per E-mail nach Deutschland geschickt. Wegen der exponierten Lage der Station und der dadurch gegebenen Gefahr durch Blitzschlag machte eine mehrfache Absicherung jedes Kanals mit Blitzschutzschaltungen notwendig. Die Spannungsversorgung erfolgt über eine Solaranlage. Für den Einsatz in der unmittelbaren Umgebung der Solfataren war es unerlässlich, alle empfindlichen Geräte von schädlichen Umwelteinflüssen (hier vor allem: Schwefelverbindungen, Witterung) fernzuhalten. Aus diesem Grund wurden die Geräte in einer Mehrfachkapselung aus Plastik und Aluminium installiert. Die Messleitungen sind mit Neopren ummantelt.

Die Hauptaufgabe (neben dem laufenden Betrieb einer Monitoringstation) besteht darin, die aufgezeichneten Zeitreihen auszuwerten. Für die Analyse der eigenen Zeitreihen konnten Referenzdaten der Seismologie (Universität Potsdam), sowie die Ergebnisse eines 6-wöchigen SP-Monitorings an der Solfatare Woro 1999 mit den auf der 100 km entfernten Insel Menji (in der Javasee nördlich von Java) registrierten Daten der Magnetotellurik (Geoforschungszentrum Potsdam) benutzt werden. Dabei wurden folgende Methoden herangezogen:

- Untersuchung des induzierten Anteils (Magnetotellurik) der E-Feldmessungen,
- Untersuchung des Einflusses der Elektrodentemperatur,
- Laborversuche zum Temperaturverhalten der Elektroden,
- visuelle Analyse der Zeitreihen vor einer bekannten vulkanischen Krise (Januar 2001),
- Analyse von Korrelationen mit automatisch klassifizierten Seismologiedaten und

- Waveletanalyse.

Eine Korrelationsanalyse von Zeitreihen elektrischer Felder vom Merapi und von der Insel Menji wurde durchgeführt. Diese ergab, daß – trotz der signifikanten Unterschiede im Spektralverhalten der Daten aller Stationen am Merapi von den Daten der Insel Menji – ein Einfluß der Magnetotellurik auf die SP-Daten erkennbar ist. Relativ hohe Korrelationskoeffizienten sind ein Hinweis darauf, daß die Referenzdaten der Magnetotellurik eine wichtige Ergänzung zum SP-Monitoring darstellen.

Ein deutlicher Zusammenhang zwischen Bodentemperatur und SP ist erkennbar (Korrelationskoeffizient über 0.8 und Kopplungskoeffizient 1.6 mV/Grad). Die Temperaturabhängigkeit der Elektroden sowie die thermoelektrische Kopplung einer Bodenprobe vom Merapi wurden im Labor bestimmt (0.1 mV/Grad und 0.5 mV/Grad) und tragen nur zu einem geringen Anteil zu dieser Korrelation bei. Daraus wird geschlossen, daß bei der Potentialanregung unterirdische Fluidströmungen eine Rolle spielen.

Im Messzeitraum ereignete sich eine Eruption des Merapi mit einhergehendem Teilkollaps des Doms im Januar 2001 (siehe oben). Die Zeitreihen wurden nach möglichen Vorboten dieser Eruption durchsucht. Die visuelle Analyse läßt keine eindeutigen Anzeichen dafür erkennen. Deswegen wurden die SP-Zeitreihen mit Hilfe der Waveletanalyse auf unterschiedlichen Zeitskalen untersucht. Dabei wurde mit unterschiedlichen Waveletfamilien experimentiert, um das für die Problemstellung am besten geeignete Wavelet zu finden. Anhaltspunkte für eine vermutete Korrelation zwischen den SP-Daten und VLP-Ereignissen (i. e. very long period) der Seismologie aus der Analyse der Daten von 1999 (4 Tage zeitliche Überdeckung von Seismologie- und SP-Daten) können erhärtet werden, bedürfen jedoch einer weitergehenden Überprüfung.

Der Vortrag wird sich unter anderem mit der Vorstellung der stabil arbeitenden Monitoringstation und der gewonnenen Datenbasis (Umfang von einem Jahr mit zwei Monaten Unterbrechung nach einer vulkanischen Krise) beschäftigen. Vor allem aber sollen verschiedene Ansätze präsentiert werden, um unterschiedliche Quellmechanismen der registrierten Felder zu separieren. Am Ende steht dabei das Ziel, einen Nachweis und gegebenenfalls eine Klassifikation vulkano-elektrischer Ereignisse (ähnlich der Unterscheidung seismologischer Events) zu ermöglichen.

Canty, M. (Jülich), Schlittenhardt, J. (Hannover)
schlittenhardt@sdac.hannover.bgr.de

Locating underground nuclear explosions using combined seismic and satellite imagery analysis

Providing accurate locations of presumed underground nuclear explosions to monitor compliance with the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) is one of the classic tasks of applied seismology. To supplement the traditional seismic location method a newly developed satellite image processing method has been applied (Canty & Schlittenhardt, 2001). With the aid of commercially available LANDSAT satellite images taken over the Pokaran test area in the Rajasthan Desert, India, and a recently developed and particularly sensitive statistical change detection method, we have obtained an accurate location for the May 11, 1998, Indian nuclear test site without using seismic data. Its separation from the seismic determination of the epicenter of the nuclear tests on May 11, 1998, as provided by the seismological monitoring stations of the prototype International Data Center (pIDC), is 4.1 km. This distance points to a remarkably good location capability of the IMS (International Monitoring System), considering the limited deployment in 1998. The separation falls well within the area of the quoted error ellipse, whose size is only about one fourth of the maximum permitted area for an on-site inspection (1000 km²) as stated in the protocol of the CTBT. Hence, the observation of a possibly significant change via satellite imagery, in conjunction with a seismic signal, can be used to initiate and guide on-site inspections by the CTBT control authority in difficult terrain. The seismic record of India's single test of 1974 as obtained, for example, with the analogue station in Gräfenberg, Germany, is very similar to the May 11, 1998 record and the inferred magnitudes are of comparable size. This indicates that the May 11 tests were nearly simultaneous, within a fraction of a second. Thus, the individual explosions could not be distinguished, or one test was much larger and completely dominated the others.

The conclusion from this promising pilot study that LANDSAT imagery with a spatial ground resolution of 30 m is ideally suited to locate signals of the typical dimension of a spall zone in very large areas is now subject to a validity check using data from nuclear test sites in Eastern Kazakhstan, China and Nevada (USA). This has the advantage that the results obtained can be checked independently with published ground truth data of the nuclear weapon states. Change detection analyses for selected tests at these sites will be presented together with above mentioned results from the Indian test site.

Reference: Canty & Schlittenhardt, 2001, *Eos Trans. AGU*, **82**(3), 25-29

Stadtler, C. (Bochum), Thomsen, S. (Tønder) & Casten, U. (Bochum)

chriss@geophysik.ruhr-uni-bochum.de

Lokalisierung von "buried valleys" in Jütland (Dänemark) durch gravimetrische Untersuchungen

Buried valleys (glaziale Rinnen) sind durch eiszeitliche Erosionsvorgänge entstanden und können bis zu 500 m tief in die unterlagernden Schichten eingeschnitten sein. Die Rinnen sind an der Erdoberfläche nicht zu erkennen, da sie mit Material verfüllt worden sind. Sie spielen bei der Grundwasserversorgung eine wichtige Rolle. Je nach Art der Verfüllung können sie ergiebige Grundwasserspeicher sein, eine Verbindung zu tiefer liegenden Wasserleitern herstellen und somit einen hydraulischen Durchlass von Schadstoffen ermöglichen oder als Grundwassernichtleiter eine hydrogeologische Barriere in wasserführenden Schichten darstellen.

Buried valleys lassen sich durch gravimetrische Messungen erfassen, wenn zwischen dem eingelagerten Material und der umgebenden Schichtung ein Dichtekontrast besteht und daher eine Schwereanomalie hervorgerufen wird. Je nach Vorzeichen des Dichtekontrasts kann die Anomalie positiv oder negativ sein. Erfahrungen haben gezeigt, dass in Jütland (Dänemark) die Verfüllung häufig eine größere Dichte als die Umgebung hat und somit eine positive Anomalie verursacht. Dafür werden bekannte Beispiele von buried valleys in Jütland gezeigt, die durch gravimetrische Messungen, unterstützt durch Reflexionsseismik, lokalisiert wurden.

Im Rahmen des dänisch-deutschen Projekts INTERREG 2 wurde eine mikrogravimetrische Profilmessung im Grenzgebiet bei Tinglev durchgeführt. Aufgrund des starken Regionalfeldes im Bereich des Profils musste eine Feldertrennung vorgenommen werden. Zusätzlich wurden die Schwereanomalien der oberflächennahen geologischen Strukturen durch die Schweresignale des Tønder Grabens überlagert, einem Grabensystem, das sich von Rømø über Tinglev bis Flensburg erstreckt. Erst über ein Dichtemodell dieser Grabenstruktur konnten die Signale getrennt und so eine in der Seismik erkennbare Struktur als ein buried valley identifiziert werden, das auch in diesem Fall mit einem Material höherer Dichte verfüllt ist. Es hat eine Breite von 1 km und liegt in einer Tiefe zwischen 40 und 100 m unter Meeresspiegel.

Kutzner, C., Christensen, U.R. (Göttingen)

carsten@uni-geophys.gwdg.de

Polumkehrungen in einem erdähnlichen Dynamo-Modell

Aus paläomagnetischen Untersuchungen wissen wir, daß das geomagnetische Innenfeld einige Male pro Million Jahre seine Polarität wechselt. Der felderzeugende Dynamo-Mechanismus im äußeren Kern kann numerisch simuliert werden, allerdings mit der Einschränkung, daß einige Kontrollparameter, wie z. B. die Ekman-Zahl, noch weit vom wahren Wert abweichen. Die bisher veröffentlichten Modelle teilen sich grob in 3 Gruppen: (i) Modelle, die dipol-dominierte, nicht-umkehrende Felder erzeugen; (ii) Modelle, die dipol-dominierte, chaotisch umkehrende Felder erzeugen, und (iii) Modelle mit Feldern, die dem Erdfeld sehr unähnlich sind. Für den Vergleich mit der Erde sind die Modelle (ii) die geeignetsten. Aus numerischen Gründen verwendeten diese bisher immer Hyperdiffusivitäten, auf die wir aber verzichten, weil sie zu artifiziellen Polumkehrungen führen könnten. Wir benutzen ein 3D numerisches Modell, welches die Gleichungen für Konvektion und Magnetfelderzeugung in einer rotierenden Kugelschale löst, um folgende Frage zu beantworten: Welche Eigenschaften muß ein Dynamo-Modell aufweisen, damit sein Feld gelegentlich die Polarität wechselt? Wir variieren dazu Ekman-, Rayleigh- und Roberts-Zahl, sowie die Antriebsart der Konvektion, z. B. thermisch oder chemisch. Wir finden, daß chaotische Umkehrungen des Dipolanteils für alle Antriebsarten oberhalb einer bestimmten kritischen Rayleigh-Zahl auftreten. Aus den ca. 50 gerechneten Modellen soll eines genauer betrachtet werden, welches dem Geodynamo in verschiedenen Punkten ähnlich ist. Das mittlere Dipolmoment, die Häufigkeit und mittlere Dauer der Polumkehrungen stimmen recht gut mit paläomagnetischen Daten überein. In einem kurzen Film kann schließlich die Evolution des Magnetfeldes während einer simulierten Umkehr betrachtet werden.

Olejniczak, R., Christensen, U. (Göttingen)

Einfluß von Trägheitseffekten in numerischen Dynamolösungen

Wir benutzen ein dreidimensionales Modell, welches die Gleichungen für Konvektion und Magnetfelderzeugung in einer Kugelschale mit der Geometrie des äußeren Erdkerns löst. Damit untersuchen wir den Einfluß der Trägheitsterme in der Navier-Stokes-Gleichung auf Dynamolösungen.

Bei nicht magnetischer Konvektion, mit free-slip Randbedingungen, bilden sich oft starke zonale Winde, die durch Reynoldsspannungen (Trägheitseffekte) angetrieben werden. Diese zonalen Winde machen einen wesentlichen Teil der kinetischen Energie des Systems aus, und stellen die Basis für den w -Effekt dar, welcher poloidales magnetisches Feld, durch differentielle Rotation, in toroidales magnetisches Feld umwandelt.

Wir untersuchen den Einfluß der Prandl-Zahl, als Kontrollparameter für den relativen Einfluß der Trägheit, auf diese Dynamos. Dabei finden wir zwei Arten von Dynamolösungen, solche mit starken zonalen Winden und quadrupolarer Symmetrie des Magnetfeldes und solche mit dominantem axialem Dipolfeld, bei denen das starke Magnetfeld die differentielle Rotation unterdrückt. Beim zweiten Typ spielt der w -Effekt keine wesentliche Rolle.

Für gegebene Parameterkombinationen können beide Typen von Lösungen koexistieren und es hängt von den Anfangsbedingungen ab, welche Lösung sich einstellt. Mit no-slip Randbedingungen erhalten wir nur den dipolaren Lösungstyp.

Hartmann, A. (Aachen), Rath, V. (Aachen), Clauser, C. (Aachen)

Andreas@geophysik.rwth-aachen.de

Rekonstruktion der Erdbodentemperatur des Holozäns aus geothermischen Temperaturmessungen in der Molasse

Im Rahmen eines Projektes zur Identifizierung von Grundwasserströmungen mittels Geothermischer Methoden haben wir die transiente Störung von Bohrlochtemperaturen in Folge des Paläoklimas untersucht. Arbeitsgebiet war die Westliche Molasse, in der mehrere ungestörte Logs mit Tiefen bis zu 2000 m zur Verfügung standen. Aus den Temperaturlogs wurden der Verlauf der Temperatur an der Erdoberfläche und die transiente Störung im Bohrloch berechnet. Wir untersuchten den Einfluss der maximalen Teufe der Bohrung auf die Ergebnisse und stellten eine starke Abhängigkeit der Inversionsergebnisse fest. Dies führte zur Entwicklung eines neuen Inversionsalgorithmus. Die Studie wurde durch Berechnungen zur Sensitivität der Rekonstruktion gegenüber den thermophysikalischen Parametern des Untergrundes komplettiert.

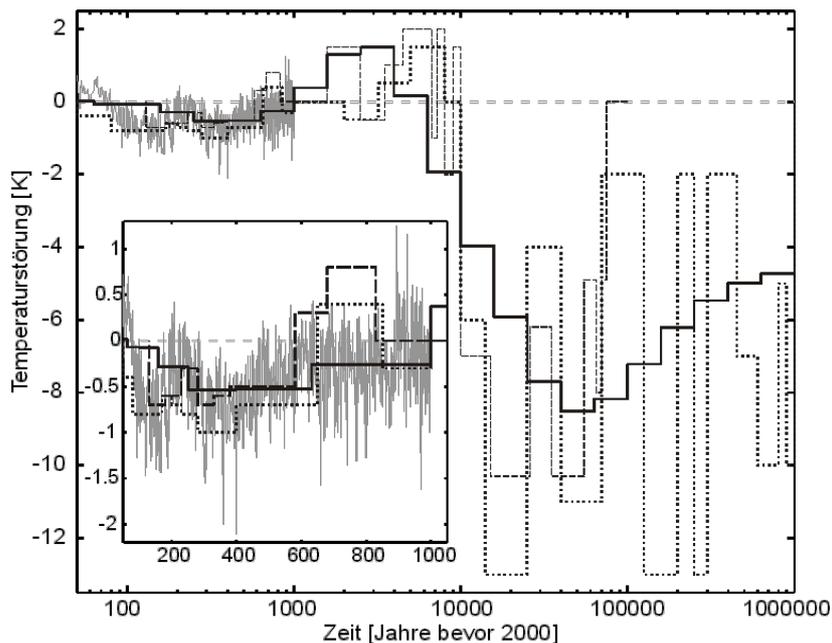


Abb. 1: Vergleich der Inversionsergebnisse (durchgezogene Linie) mit drei Multiproxy-Rekonstruktionen: Gestrichelt: Zwei Rekonstruktionen für die Schweiz und Deutschland (Hänel, 1988). Grau unterlegt für die letzten 1.000 Jahre: Rekonstruktion für die Nördliche Hemisphäre (Jones et al. 1999).

Für die Rekonstruktion haben wir einen Algorithmus von Beltrami & Mareschal (1992) verwendet. Diese auf einer SVD beruhende Methode erlaubt es, gleichzeitig mehrere Temperaturlogs zu invertieren, um einen gemeinsamen Temperaturverlauf zu erhalten. Dies Vorgehen ist bei einer Korrelationslänge des Klimas von etwa 500 km sicher gerechtfertigt, und verbessert das Signal/Rauschverhältnis gegenüber einer Einzelinversion deutlich. Acht Temperaturlogs mit bis zu 1800 m Tiefe in der Molasse waren geeignet, um die Inversion durchzuführen. Die Logs stammen aus Geothermie- und Erdölbohrungen und decken verschiedene Tiefenbereiche und somit unterschiedliche Epochen ab.

Die Ergebnisse zeigen den erwarteten Anstieg nach dem Ende der Weichseiszeit um etwa 10°C. Nach einem Klimaoptimum vor etwa 5.000 Jahren ist eine leichte Abkühlung um etwa 2°C erfolgt. Andeutungsweise lässt sich eine Erwärmung in den letzten 200 Jahren erkennen, die Datenbasis ist für diese Zeiten allerdings noch relativ ungesichert und soll in folgenden Analysen verbessert werden. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt eine gute Übereinstimmung mit Multiproxy-Rekonstruktionen anderer Autoren. Hierbei ist allerdings die extreme Tiefpassfilterung des Verlaufs zu beachten. Auch handelt es sich bei unserer Rekonstruktion um einen Verlauf der Erdbodentemperatur im Gegensatz zur Lufttemperatur. Die Ergebnisse bestätigen die Resultate anderer Gruppen, die eine konstante Differenz zwischen Erdboden- und Lufttemperatur postulieren.

Problematisch ist die benötigte maximale Tiefe der Logs. Untersuchungen an synthetischen Datensätzen haben gezeigt, dass eine Tiefe von mindestens 2500 m nötig ist, um das Signal der letzten Eiszeit vollständig zu erhalten. Insbesondere führt eine zu kleine Tiefe zu falschen Amplituden und zeitlichen Verschiebungen im Verlauf der

rekonstruierten Erdbodentemperatur. Dieses Verhalten ist dadurch zu erklären, dass die transiente Störung im betrachteten Tiefenbereich immer noch eine signifikante Amplitude besitzt. Dadurch ist die Bestimmung des ungestörten Temperaturgradienten erschwert. Zur Lösung des Problems wurde einerseits der regionale Datensatz durch das 4000 m tiefe Log der KTB-VB erweitert, welches schon in Einzelinversionen untersucht wurde und sich aufgrund der großen Tiefe sehr gut für eine Inversion eignet. Weiter wurde ein neuer Inversionsalgorithmus (Tikhonov-Regularisierung) entwickelt. Erste Ergebnisse mit synthetischen Datensätzen zeigen, dass hierdurch die maximal benötigte Teufe auf 1200 – 1500 m reduziert werden kann.

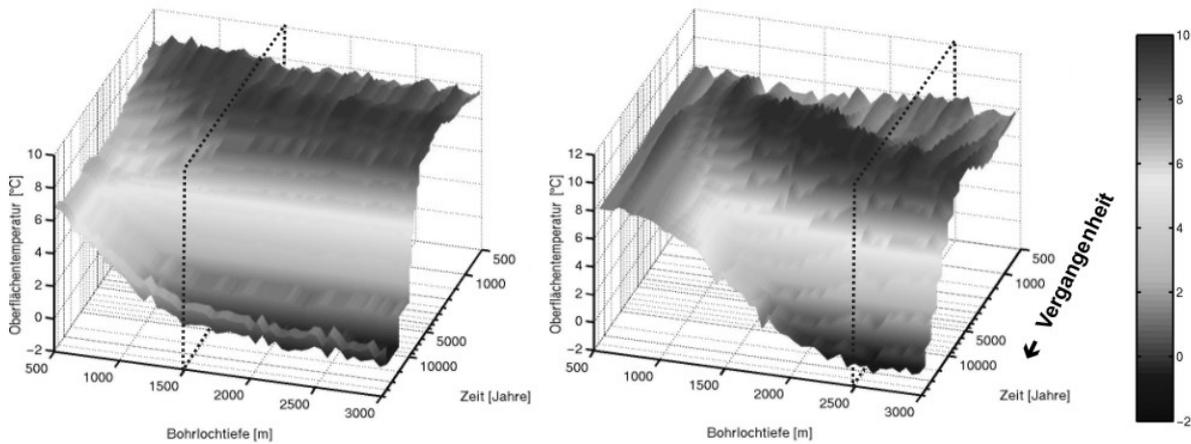


Abb. 2: Inversionsergebnisse für den SVD- (rechts) und den Tikhonov-Algorithmus (links). Für den SVD-Algorithmus ist eine Phasenverschiebung des Temperaturanstiegs vor 10.000 in Abhängigkeit von der Tiefe des Logs erkennbar. Die Tikhonov-Inversion verhält sich bis etwa 1200-1500 m gutartig.

Zur Untersuchung der Sensitivität der Rekonstruktion im Hinblick auf eine Änderung petrophysikalischer Parameter haben wir diese systematisch variiert. Der Einfluss wächst, je weiter die Rekonstruktion in die Vergangenheit reicht. Änderungen der Wärmeproduktionsrate verursachen Änderungen in der Amplitude der paläoklimatischen Ereignisse, wohingegen die Temperaturleitfähigkeit sich nur auf die Phase der Ereignisse auswirkt. Für Rekonstruktionen bis zu einer Zeitdauer von ca. 5.000 Jahren können diese Größen approximiert werden. Längere Rekonstruktionen bedürfen jedoch einer genaueren Kenntnis dieser Parameter.

<http://www.rwth-aachen.de/geop/Ww/geothermik/geothermik.htm>

http://www.gga-hannover.de/gga_sp/geotherm/projekte/raster.htm

Rühaak, W. (Hannover), Rath, V., Hartmann, A. (Aachen), Zschocke, A., Schellschmidt, R., Deetjen, H. (Hannover), Höhne, F., Clauser, C. (Aachen)
w.ruehaak@gga-hannover.de

Erkennen und quantifizieren von Störungen: Entwicklung eines konduktiven 3D-Modells für die westliche Molasse

Vorgestellt werden erste Ergebnisse eines gemeinsamen Forschungsprojekts des Instituts für Geophysik der RWTH-Aachen und des Instituts für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben Hannover (GGA). Im ersten Jahr des Projekts wurde auf Grundlage der umfangreichen Temperatur-Datenbank des GGA-Instituts eine Methode entwickelt, die es ermöglicht, anhand von Störungen im unterirdischen Temperaturfeld Rückschlüsse auf von Grundwasser durchströmte Bereiche zu ziehen. Zu diesem Zweck wurde ein konduktives dreidimensionales Referenzmodell entwickelt, um anschließend paläoklimakorrigierte Residual-Temperaturen zu berechnen. Diese Differenzen geben – eine gute Abbildung der Natur vorausgesetzt - Auskunft über das Fließregime.

Es wurde ein dreidimensionales Strukturmodell in einem 137 km mal 77 km großen Gebiet nordöstlich des Bodensees im Bereich des westlichen Molassebeckens zu Grunde gelegt. Die betrachtete Tiefe erstreckt sich von 1000m über NN bis 3000m unter NN, wobei der Bereich von 500m bis 1200m unter Geländeoberfläche von besonderem Interesse ist (ca. 400m unter NN). Die horizontale Gitterweite beträgt 1km (136 ´ 76 Knoten) und die vertikale 50m (80 Knoten).

Das zugrundeliegende Strukturmodell basiert auf geologischen Ansprachen aus einer Bohr-Datenbank. Durch erweiterte Datenbankabfragen wurden die ausgewiesenen Stratigraphien auf 14 Grundeinheiten aufgeteilt. Die Basistiefen der Einheiten wurden lateral zwischen den Bohrpunkten interpoliert, wobei Suchradien und Interpolationsweiten jeweils an die geologischen Gegebenheiten angepasst wurden. Anschließend wurde aus diesen im Raum liegenden Flächen ein dreidimensionaler Körper gebildet. Den 14 stratigraphischen Grundeinheiten wurden, basierend auf Literaturwerten und Messungen der Wärmeleitfähigkeit und spezifischen Wärmekapazität an Bohrkernen, thermische Parameter zugewiesen. Dabei wurde idealisierend eine direkte Korrelation der Petrophysik mit der Stratigraphie vorausgesetzt.

Die stationäre Modellierung des rein konduktiven Wärmefflusses erfolgte mit dem Finite-Differenzen-Modell SHEMAT (Clauser,1988; <http://www.rwth-aachen.de/geop/shemat/>).

In den Temperatur-Residuen (Abb. 1) ist eine sehr gute Korrelation der Temperaturanomalien mit der bekannten großen Fröhofen-Verwerfung im westlichen Molassebecken (von Laimbach nach Jordanbad/Biberach in NE-Richtung streichend) zu erkennen. Auch andere Störungen zeigen, wenn auch in geringerem Maße, Temperaturanomalien.

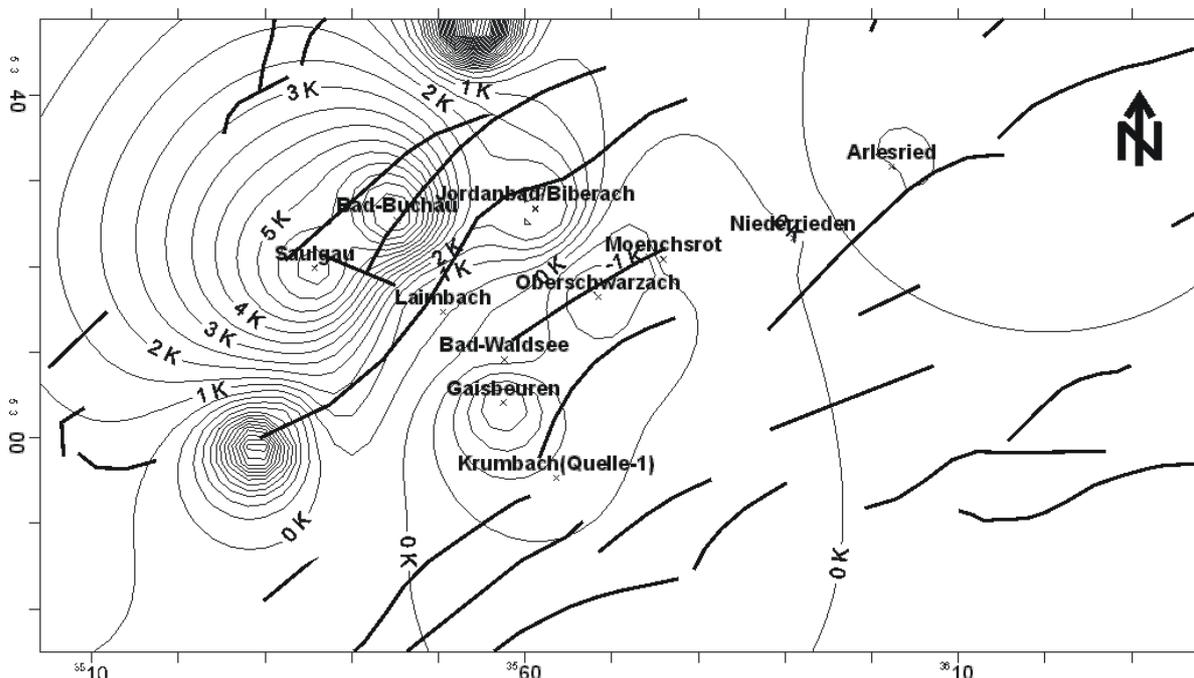


Abb. 1: Korrelation zwischen den berechneten Temperatur-Residuen (250m unter NN) und Verwerfungen (Tektonische Karte des Bayerischen Geologischen Landesamtes).

Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, mit einem solchen Ansatz durch Grundwasserströmung erzeugte Temperatur-Anomalien zu erkennen. In der nächsten Projektphase soll das Modell weiter verbessert und der vermutete advective Anteil des Wärmetransports quantitativ behandelt werden.

Clauser, C.: Untersuchungen zur Trennung der konduktiven und konvektiven Anteile im Wärmetransport in einem Sedimentbecken am Beispiel des Oberrheintalgrabens, Diss. TU Berlin, Fortschritts-Berichte VDI, 19(28), VDI-Verlag, Düsseldorf, 1988.

http://www.gga-hannover.de/gga_sp/geotherm/projekte/raster.htm

<http://www.rwth-aachen.de/geop/Ww/geothermik/geothermik.htm>

Zschocke, A. (Hannover), Rath, V. (Aachen), Schellschmidt, R. (Hannover), Deetjen, H. (Hannover), Höhne, F. (Aachen), Hartmann, A. (Aachen), Rühaak, W. (Hannover), Clauser, C. (Aachen)

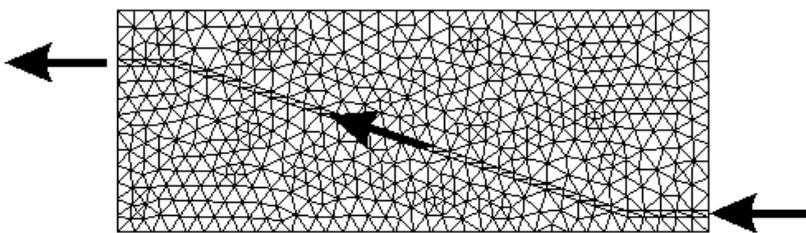
Quantifizierung schichtfolgender Grundwasserströmung anhand von korrelierten Sprüngen im vertikalen Wärmestrom

Um Grundwasserströmung mit geothermischen Methoden zu quantifizieren, ist es notwendig, alle wesentlichen physikalischen Effekte, die das Temperaturfeld beeinflussen zu erfassen. Hierzu gehören die meist dominante, stationäre Wärmeleitung, das Eindringen von zeitabhängigen Änderungen der Oberflächentemperatur (Paläoklima) und der Transport von Wärme durch Strömung selbst. Ist die Verteilung der Wärmeleitfähigkeit, der basale Wärmestrom, sowie das paläoklimatische Signal bekannt, kann von den gemessenen Temperaturen der Einfluss der Grundwasserströmung isoliert werden.

Dieser methodische Ansatz wurde im Gebiet der westlichen Molasse auf seine Leistungsfähigkeit hin untersucht. Für die Untersuchung lagen im Testgebiet zahlreiche technisch ungestörte Temperaturlogs vor, die Teufen bis zu 2000 m unter Geländeoberkante erreichen.

Neben der 3D-Modellierung des Wärmetransportes, Paläoklimakorrektur und Pécletzahlanalyse wird auch ein Ansatz zur Quantifizierung schichtfolgender Grundwasserströmung entwickelt. Grundwasserströmung entlang eines dünnen diskreten Horizonts transportiert Wärme und verändert so den vertikalen Wärmestrom. An der in Abb. 1 dargestellten numerischen 2D-Rechnung kann dieser Effekt veranschaulicht werden.

Ansatz



Ergebnis

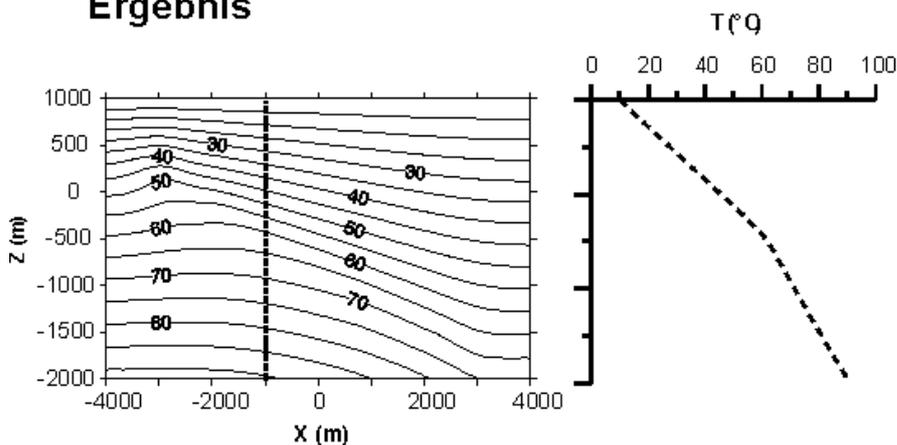


Abb. 1: Effekt einer schichtfolgenden Strömung in einem einfallenden Grundwasserleiter auf das Temperaturfeld (unten links, °C)

Das gezeigte Beispiel wurde durch ein zweidimensionales Finite-Elemente-Programm gerechnet. An den seitlichen Rändern wurden unterschiedliche konstante Druckhöhen angesetzt, so dass sich ein horizontales hydraulisches Potentialgefälle ausbildet. Um eine begrenzte Strömung entlang einer einfallenden Schicht zu simulieren ist der Schicht (Abb. 1, oben) eine vergleichsweise hohe Durchlässigkeit zugewiesen worden. Das bei $X = -1000$ m extrahierte Temperaturlog zeigt, dass sich oberhalb der durchströmten Schicht ein höherer Gradient ausbildet als unterhalb. Nach der Fourier-Gleichung $\mathbf{q} = \lambda \cdot \nabla T$ führt das zu einem Sprung im vertikalen Wärmestrom.

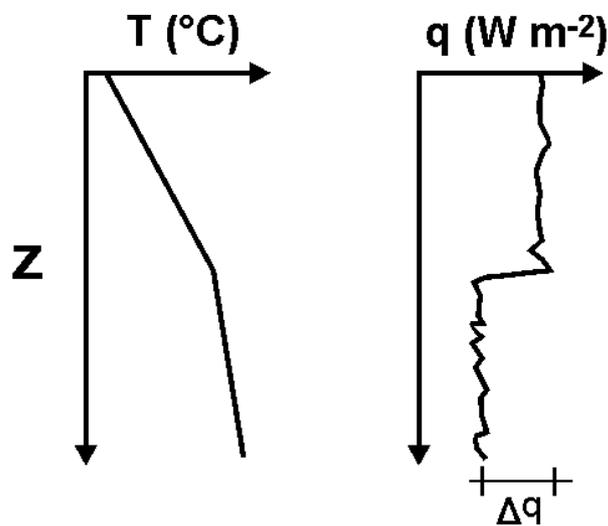


Abb.2: Aus dem Modell extrahiertes Temperaturlog (links) und der resultierende Wärmestrom (rechts).

Die schichtfolgende Darcygeschwindigkeit berechnet sich:

$$v_i = \frac{1}{(\rho c)_f} \left[\frac{\partial T}{\partial l} \right]^{-1} \frac{\Delta q}{h},$$

mit

l für schichtparallel, v Darcygeschwindigkeit (m s^{-1}),

ρ_f Dicht von Wasser (kg m^{-3}), c_f Wärmekapazität von Wasser ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$),

q Wärmestroms (W m^{-2}), h Höhe des Grundwasserleiters (m).

Sind in mindestens drei Bohrungen Sprünge miteinander korrelierbar, kann auch die Strömungsrichtung bestimmt werden. Aus den Temperaturdifferenzen zwischen den Bohrungen werden mehrere Projektionen des Temperaturgradienten und damit auch der Strömungsgeschwindigkeit ermittelt. Aus mehreren dieser Schätzwerte wird dann beispielsweise durch ein Ausgleichsverfahren Betrag und Richtung der Strömung einschließlich ihres Fehlers berechnet.

Die mit diesem Verfahren im Testgebiet gewonnenen Ergebnisse stimmen mit bekannten Strömungen überein. Derartige Untersuchungen sind daher zur Bestimmung von Grundwasserströmung im tiefen Untergrund geeignet.

http://www.gga-hannover.de/gga_sp/geotherm/projekte/raster.htm

<http://www.rwth-aachen.de/geop/Ww/geothermik/geothermik.htm>

Commer, M. (Köln), Dr. Newman, G. A. (Albuquerque)

A parallel finite-difference modeling and inversion scheme for three-dimensional TEM problems

We have developed a parallel finite difference time domain (FDTD) algorithm for the solution of diffusive, three-dimensional transient electromagnetic (TEM) modeling problems. Versions of the algorithm exist for two different source types, including inductive and grounded sources. For inductive sources, such as loops, the TEM response, comprising both electric and magnetic fields, is computed by switching off a steady current in the loop which is located either on the surface of a discretized earth model or at depth (as in borehole applications). In the case of a grounded source, such as a surface-located horizontal electric dipole, only electric fields and time derivatives of magnetic fields are required in the computation. This avoids the more numerically cumbersome calculation of the static magnetic fields before switchoff. This source type is typically deployed in the Long Offset TEM method. Using a staggered grid and a modified Du Fort-Frankel method, the solution steps Maxwells equations in time. An upward continuation involving a two-dimensional parallel FFT has been applied, circumventing the requirement of very small timesteps needed for a stable solution in air. The condition, required for the upward continuation, is that the magnetic field or its time derivative in free space satisfy a vector Laplacian equation. The relatively significant time consumption of the upward field continuation can be reduced by decreasing the FFT grid size as high frequency components of the EM-field attenuate with time. A divergence-free condition is also applied in our FDTD scheme for either the magnetic field or its time derivative, depending upon the source type. This provides accurate results for magnetic fields or voltages at late times. Parallelization of field updates and upward continuation is implemented using the Message Passing Interface Standard. Comparisons with analytical and spectral difference solutions of one-dimensional and more complex! three-dimensional models provide accurate results. Test runs on a (Pentium 400 MHz) 27 node Linux cluster give an estimated gain of computation speed by a factor of 10 compared with a serial run on a 1 GHz DEC Alpha platform. Using faster shared memory parallel platforms gives the prospect of an overall decrease in computation time of over a 100 fold.

An efficient parallel and stable forward modeling scheme is needed for imaging complex three-dimensional geological environments. Once implemented such a scheme can be employed in an imaging method originally developed for migration of seismic wavefields. Minimization of the cost functional, which is governed by the weighted differences between observed and predicted data and a model smoothing constraint, is solved by a nonlinear conjugate gradient method. Computation of the gradients requires both electric and magnetic fields including their corresponding time derivatives as well as their backpropagated counterparts. The backpropagated fields are sourced by the corresponding data residuals and satisfy the adjoint Maxwell equations, which are stable in reverse time. Hence the described forward modeling algorithm with a reversal in sign in the space-time coordinates can be used for backpropagation. Correlating the fields from the actual sources with the backpropagated fields in the model leads to the wavefield imaging condition similar to that observed in seismic implementations of the inversion scheme.

Helwig, St. L., Commer, M. (Köln), Hördt, A. (Bonn), Tezkan, B., Scholl, C. (Köln)

LOTEM Messungen am Vulkan Merapi, Indonesien

Der Vulkan Merapi auf Zentral Java wird seit mehreren Jahren intensiv mit verschiedenen geophysikalischen Verfahren untersucht. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden elektromagnetische Messungen durchgeführt, deren vorrangiges Ziel es war, den strukturellen Aufbau des Vulkans besser verstehen zu lernen. Dabei wurden die großräumige Struktur durch Magnetotellurik (MT) und oberflächennahe Strukturen mittels Geoelektrik erkundet. Die long-offset transient electromagnetics (LOTEM) Messungen fungieren in diesem Zusammenhang gewissermaßen als Bindeglied. Mit Ihnen wird der Bereich von ca. 100m bis zu einigen km unterhalb der Geländeoberkante aufgelöst.

In einer ersten LOTEM Kampagne wurden 1998 Messungen an der West- und Südflanke des Vulkans durchgeführt. Zusätzlich gelangen erste Messungen mit einem Sender im Norden und einem Empfänger im Gipfelbereich. Auswertungen dieser Gipfelstation zeigten deutlich einen guten Leiter in ca. 2km Tiefe, konnten aber keinen Aufschluß darüber geben, wie ausgedehnt dieser Leiter ist.

Ziel der zweiten Messung 2000 war es daher detailliertere Informationen über die Leitfähigkeitsverteilung im Gipfelbereich zu erhalten. Mit Sendern nördlich und südlich des Gipfels wurden Empfängerprofile entlang der Flanken bis in den Gipfelbereich durchgeführt. Mittels Inversionsrechnungen unter Berücksichtigung der Topographie konnten die Stationen im Gipfelbereich ausgewertet werden. Die bereits aus den Messungen von 1998 bekannte Zone guter Leitfähigkeit in 2 km Tiefe wurde bestätigt. Mit dem bisherigen Modell können die Daten bis etwa 0.1 s gut angepaßt werden. Um auch den späteren Bereich zwischen 0.1 und 3s anzupassen muß zusätzlich eine weitere leitfähige Struktur in die Modelle eingefügt werden. Untersuchungen zur Leitfähigkeit und Geometrie dieser Struktur werden zur Zeit durchgeführt.

Ziel der dritten LOTEM Messung 2001 war die genaue Untersuchung der Südflanke des Vulkans. Bereits nach den Messungen von 1998 wurde hier eine Leitfähigkeitsanomalie vermutet. Die MT und CSAMT Messungen zeigen in diesem Gebiet anomale Phasen bzw. eine Umkehr der Induktionspfeile. Beides deutet auf eine laterale Änderung der Leitfähigkeit hin. Die Anomalie ist sehr interessant, da sie in einem Gebiet liegt in dem die Bildung eines neuen Vulkans wahrscheinlich scheint.

Zur besseren Erkundung wurde ein Sender ca. 12 km südlich vom Gipfel aufgebaut und ein Empfängerprofil in nördlicher Richtung bis ca. 2 km vor dem Gipfel mit diesem Sender betrieben. In Kombination mit dem 1998 aufgenommenen Daten ergab sich ein Datensatz, der für 2D-Auswertungen geeignet ist. Dieses war angestrebt worden, da Daten der Messung von 1998 alle in der z Komponente mehrere Vorzeichenwechsel enthielten was im 1D-Fall nicht vorkommen kann.

Interessanterweise zeigen die neu gewonnenen Daten keine Vorzeichenwechsel in der z Komponente, lassen sich aber auch nicht mit 1D-Modellen anpassen. Aktuell werden diese Daten mit 2D-Vorwärtsrechnungen und Inversionen ausgewertet.

Scholl, C., Commer, M., Helwig, S. L., Martin, R. (Köln)

scholl@geo.uni-koeln.de

LOTEM-3D-Inversionen auf kleinen Linux-Clustern

Die "Long-Offset Transient ElectroMagnetics" Methode ist ein aktives elektromagnetisches Verfahren. Ergebnis einer erfolgreichen Interpretation von LOTEM-Daten ist ein Modell einer Leitfähigkeitsverteilung im Untergrund, dass die bei der Kampagne gemessenen Daten für die elektrischen oder die Ableitung der magnetischen Felder erklärt.

Für Daten, die über einem Untergrund gewonnen wurden, bei dem die Leitfähigkeit lediglich von der Tiefe abhängt (1D-Modell), existieren seit Jahren Inversionsalgorithmen, die in der Lage sind, automatisch ein die Daten erklärendes Erdmodell zu finden. In den 80er Jahren dauerte ein entsprechender Programmlauf noch viele Stunden. Mittlerweile lassen sich diese eindimensionalen Inversionsrechnungen selbst auf einfachen PCs in wenigen Minuten durchführen.

Seit Anfang der 90er Jahre wird am Institut für Geophysik und Meteorologie (IGM) LOTEM verstärkt in geologisch komplexeren Gebieten eingesetzt, in denen sich der Untergrund nicht mit einem 1D-Modell erklären läßt. So wurden beispielsweise Messungen über einem Gasspeicher, einer Suturezone und an Vulkanen durchgeführt, allesamt Untersuchungsobjekte, die eine Mehrdimensionalität des Untergrundes nahelegen.

Mehrdimensionale Inversionen waren bisher nicht möglich, da der Rechenaufwand bei den für eine Inversion benötigten Vorwärtsrechnungen zu groß war. Selbst mit den in den letzten Jahren enorm gestiegenen Rechnerkapazitäten ist eine 3D-Inversion immer noch extrem aufwendig. Speziell die Berechnung der Sensitivitätsmatrix stellt im mehrdimensionalen Fall einen enormen Zeitaufwand dar.

Um dennoch mehrdimensionale Inversionsrechnungen von LOTEM-Daten auch auf Kleinrechnern durchführen zu können, wurden am IGM verschiedene Strategien zur Verringerung des Rechen- und damit auch Zeitaufwandes verfolgt:

- Parallelisierung der einzelnen Vorwärtsrechnungen
- Starke Reduzierung des Parameterraums
- Berechnung der Sensitivitätsmatrix durch alternative Verfahren wie der Konvolutionsmethode

Durch Zusammenführung dieser Strategien ist jüngst ein Programm entstanden, dass erstmals eine mehrdimensionale Inversion von LOTEM-Daten ermöglicht. Der Rechenaufwand lässt sich dabei leicht an die Komplexität des jeweils vorliegenden Problems anpassen. Die Inversion eines grundsätzlich eindimensionalen Untergrundes, in den ein Störkörper eingebettet ist, bewältigt ein Cluster von wenigen Bürorechnern in etwa einer Stunde. Andererseits lassen sich mit dem Programm ebenso aufwendige Rechnungen mit einer Vielzahl an Parametern durchführen, die dann einen entsprechend längeren Zeitaufwand erfordern.

Neben einer Darstellung der Methoden werden auf dem Poster die ersten Inversionsrechnungen zu verschiedenen Fragestellungen mit synthetischen und bei Feldmessungen gewonnen LOTEM-Daten präsentiert.

Sabra, H. (Copenhagen), Cooper, R. (Houston), Rybarczyk, G. (Hanover)

Petrologic@aol.com

Rock and Fluid Properties Volume by Calculation, Classification and Calibration of Accurate Seismic Attributes

A systematic seismic reservoir characterization workflow that integrates well log and AVO seismic data, estimating unique attributes, using global seismic inversion and artificial neural networks is presented.

The workflow consists of calculation, classification and calibration of accurately derived seismic attributes. The aim is to extract rock and fluid properties based on what is directly resolved in the seismic data and which is consistent with the well log data.

Through a very thorough well log and seismic data preparation optimal results are produced.

SEISMIC DATA AND WELL LOG PREPARATION

A complete geophysical well log analysis is performed for the well log suite to ensure that the well log data have been optimised not just for the reservoir interval, but also for the complete well log run. High quality well log data are very important to the seismic inversion process as well as to the well log analysis to predict lithology and fluids from the seismic inversion results.

The seismic data are prepared in relation to defining the optimum number of angle/offset stacks to ensure that the AVO effects are correctly preserved. Emphasis will furthermore be on preserving the relative amplitudes. Finally a detailed velocity analysis should be performed. This will ensure a correct prediction of lithology and fluids from the seismic inversion and a correct stratigraphical classification from using the artificial neural network.

ATTRIBUTE CALCULATION

It is possible to calculate two broad classes of seismic attributes: Physical Attributes and Geometric Attributes.

In general the physical attributes respond to variations in rock properties such as acoustic impedance, Poisson's ratio, and attenuation. The first two attributes are estimated through global seismic inversion of angle/offset seismic data. The last attribute attenuation is derived through estimation of the seismic mean frequency using a spectral decomposition method.

Geometric attributes respond to variations in reservoir morphology. Especially coherence is derived within this class.

ATTRIBUTE CLASSIFICATION

Acoustic impedance, Poisson's ratio, attenuation and coherence attributes are the primary data, which are derived and used for a multi-dimensional classification by applying Kohonen Self Organizing maps using artificial neural networks. The Kohonen pattern recognition technology allows a segmentation of the seismic data into a relatively small number of constituent classes. The volumetric distribution of these classes relates closely to the seismic facies type and hence any underlying geologic macro-model.

ATTRIBUTE CALIBRATION

By using the results of the attribute classification a multi-dimensional well log cross-plot study is performed to determine the distinct lithologies and fluids within each of the constituent classes.

From the calculated attributes; acoustic impedance, Poisson's ratio, attenuation and coherence and the multi-dimensional cross-plots a Lithology Cube is derived representing the distribution of lithologies and fluids.

CASE STUDIES

The calculation, classification and calibration workflow will be illustrated through case stories.

Manthei, G., Eisenbätter, J. (Ober-Mörlen), Dahm, T. (Hamburg)

Spannungsinversion von mikroakustischen Ereignissen aus Spannungsmessungen in Salzgestein

Die Methode der Spannungsinversion (Verfahren Dahm & Plenefisch) wurde auf mikroakustische Ereignisse angewendet, die bei Spannungsmessungen (Methode: hydraulic fracturing) in einer 10 m langen, horizontalen Bohrung im Salzgestein registriert wurden. Die Modellierung (nach Salzer) des Spannungsfeldes im Grubengebäude zeigt, dass die Lage der erzeugten Rissflächen durch die minimale Hauptspannung bestimmt wird. Für jeden Fracturing und Refracturing Versuch - also jede erzeugte Makrorissfläche - traten Cluster mit bis zu ca. 100 mikroakustischen Ereignissen auf, für die Momententensoren bestimmt werden konnten.

Der Datensatz ist insofern eine extreme Anwendung für jede Spannungsinversion, da die Nodalflächen der mikroakustischen Ereignisse stark von den Flächen maximaler Scherspannung im Salz abweichen. Für die Spannungsinversion wurden die subhorizontal liegende Nodalfläche des Scherbruchanteils der Momententensorlösungen verwendet; diese Auswahl wurde durch andere Untersuchungen und durch die Horizontalschichtung des Salzes nahe gelegt. Die Spannungsinversion zeigt, dass in den meisten Fällen ein relativ konsistentes Spannungsfeld gefunden wurde. Das wichtigste Resultat ist, dass danach σ_3 (minimale Hauptspannung) subhorizontal und in Richtung der Bohrlochachse zeigt, und σ_1 (maximale Hauptspannung) quer dazu. Die Beträge der maximalen und mittleren Hauptspannung sind fast gleich groß. Es sind Trends in der Orientierung der Spannungen zu erkennen, die in den Spannungsmodellierungen von Salzer wesentlich stärker ausgeprägt sind. Die Hauptspannungen im stoßnahen Bereich bis etwa 2 m Bohrlochteufe sind fast horizontal bzw. vertikal orientiert. In größerer Entfernung vom Stoß dreht sich das Spannungsdreibein so, dass σ_3 leicht zur Horizontalen geneigt ist.

Thorwart, M., Dahm, T. (Hamburg)

thorwart@dkrz.de

Ozeanboden Site-Strukturen abgeleitet aus P- und PwP-Phasen von Tiefherdbeben in der Tyrrhenis

Im Rahmen des DFG-Projekt Tyrrhenian Sea wurde ein seismisches Netz aus 7 Ozeanbodenseismometern mit Hydrophon (OBS) und 7 Ozeanbodenhydrophonen(OBH) im Tyrrhenischen Meer für 5 1/2 Monate installiert. In dem Zeitraum wurden 10 Tiefbeben registriert. Typisch für OBS Seismogramme sind multiple *PwP*-Phasen in der Coda der P-Welle durch Mehrfachreflexionen in der Wasserschicht. Die Echos treten je nach Wassertiefe in regelmäßigen Abständen von 2 bis 4 Sekunden auf. Die Amplituden und Wellenformen der *PwP*-Phasen hängen vom Impedanzkontrast zwischen Wasser und Meeresbodensedimenten ab, aber auch von dem Aufbau des Meeresbodens und der Sedimentschichtdicke. Die Einsätze zeigen für die vertikale Bodenverschiebung und den Wasserdruck ein unterschiedliches Amplitudenverhalten. Wir haben die beobachteten Tiefherdbebendaten benutzt, um Untergrundsinformation zu invertieren.

Damm, V., Eisenburger, D. (Hannover), Jenett, M. (Hamburg) and Lentz, H. (St. Gallen)
volkmar.damm@bgr.de

A Comparison between Pulse Radar and Stepped Frequency Radar for Airborne Surveying of Shallow Structures

Pulse radar has already become a classical technique in applied geophysics and glaciology. Several systems covering a wide frequency spectrum are now in use for ground surveys. Large areas and inaccessible regions are surveyed with higher efficiency from the air. A remarkable progress in airborne radar surveys was possible after the introduction of fast digital data acquisition and high precision DGPS navigation for positioning the field data. The advantage of using high energy pulses makes the classical pulse radar system (PRS) to the favourite system to survey very thick glaciers compared to other radar techniques.

In recent years, as there was significant progress in affordable synthesiser technology, radar systems with more complex frequency schemes have been realised. The stepped frequency radar (SFR) concept is a promising candidate offering advantages for a variety of applications.

There are still limitations using both radar technologies in airborne system for near surface structural investigations with target depth between 5 and 50 m. In this contribution, the radar instrumentation will be described, pointing out the basic differences between both instrument concepts..From theoretical and practical considerations the performances of both concepts will be compared. Examples of data sets will be presented and results discussed.

PRS-equipped aircrafts are used mainly for surveying large areas or long extended profiles. The main problem using PRS as an airborne method is the high rate of data acquisition necessary to get a reliable low spacing of data points. For deep penetration purposes mostly the envelope of the high frequency signal is used for detection of signal reflections. This procedure reduces the data amount, but do not provide a vertical resolution necessary for near surface investigations.

Since several years the BGR Hannover is operating a 150 MHz helicopter-borne pulse radar for measuring ice thickness up to 3000 m mostly in Antarctica. This PRS installed in a helicopter is an effective way to survey medium large areas with higher data density within a short time and even with limited logistic demands. Therefore, this technology is of high interest for surveying near surface geological structures under low conductivity sediment coverage.

The recently used version of the BGR radar system operates with a variable pulse width of 12, 60 and 600 ns and a peak power of 1.6 kW. The maximum pulse repetition frequency is 20 kHz. The pulse length can be selected to enhance the penetration depth in case of longer pulses, or to enhance the depth resolution in case of shorter pulses. A high-speed A/D 1 GS/s digitizer allows even to detect the full waveform of the reflected pulses.

Ongoing developments are focussed on the improvement of vertical resolution for near surface investigations. Using the new short pulse length option the system may be used for surveying near surface structures in a depth range down to 50 m – 500 m with a vertical resolution of subsequent layers down to 1m.

Advantages of a PRS as an airborne method are: high pulse repetition frequency, which offers the potential to enhance the signal/noise ratio by stacking and to reduce the spacing of survey point by an increase of data acquisition rate. Limiting factors are the vertical resolution (depending on the pulse length), the required large antenna bandwidth and the HF-sensitivity caused by high power pulse transmission.

In contrast to classical pulse radar systems, SFR systems operate with amplitude-continuous radar signals. The signal bandwidth being required for the desired radar resolution is generated sequentially instead of providing the instantaneous complete spectrum of the pulse radar case. The radar transmitter sequentially provides signals stepping through the desired frequency range. Depending on the application this could be done, for instance, in linear steps as depicted in the figure. In the receiver section both, phase and amplitude measurement of the echo signals is performed. The results are fed into a data processing, the well-known IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), for example. The outcome is a pulse that can be compared to that of a pulse radar. It contains the range information of the target, while its pulse width, the radar range resolution, is related to the bandwidth of the applied radar spectrum.

The advantages of the SFR can briefly be summarised as follows: low instantaneous bandwidth, high sensitivity, high penetration depth, low sensitivity to RF-interferences, low power consumption, high vertical resolution, low output data rate (saves memory, allows for high dynamic range AD-converters), reduced wideband antenna problems. Most of the advantages are directly related to the continuous wave operation and the low instantaneous bandwidth of the SFR. The second key factor resulting from the sequential operation principle, is the unique possibility for powerful instrument calibration in both, the frequency as well as in the time domain. The influence of the overall calibration is finally reflected by the achieved radar range resolution performance that is close to theory. There are still limitations caused by the very low data acquisition rate related to the time for signal stepping through the desired frequency spectrum.

From October 8th to 23rd, 2000, a helicopter-borne radar measurement campaign has been carried out at the Careser Glacier in the Italian Alps. The expected ice thickness was in the range 20 to 80 m. Main objectives were to provide radar profiles of the glacier and to obtain a comparison of the performances of a pulsed radar system and a novel stepped frequency radar. While the pulsed radar system was optimised for airborne applications and the flight characteristics of the helicopter, the SFR was designed primarily for ground measurements and not specified for airborne application. As expected, the pulsed system provided images of better performance. Nevertheless, weak signals of bedrock reflections could be achieved even with the low power SFR. Since there was no way for a quantitative comparison, it is intended to have a further helicopter-borne campaign in the near future. Since the SFR has been modified for considerably higher speed of data acquisition and since directional antennas are now available, a more realistic comparison between the systems should be possible.

Heinse, R., Just, A., Kürschner, D., Danckwardt, E. (Leipzig)

robert.heinse@debitel.net

Modelluntersuchungen zur elektrischen Vertikaltomographie in Gewässern.

In einem vom BMBF geförderten Projekt ELISA (Entwicklung und Erprobung einer Elektrischen In Situ Apparatur zur Untersuchung von Meeresböden) wurde in Zusammenarbeit der Universität Leipzig mit dem Institut für Ostseeforschung Warnemünde ein Gerät zur räumlich hochauflösenden In-situ Messung der elektrischen Leitfähigkeit in Weichsedimenten entwickelt und in der Ostsee erfolgreich erprobt.

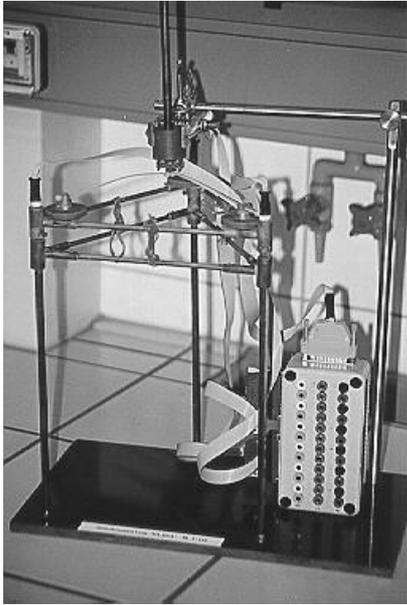


Abb. (1): Das Sondenmodell ELISA

Mit einer experimentellen physikalischen Modellierung an exakt vorgebbaren Verteilungen spezifischer Widerstände sollten Möglichkeiten und Grenzen der tomographischen Informationsgewinnung mit der In-Situ-Apparatur abgeschätzt werden. Das dafür entwickelte Sondenmodell der elektrischen In Situ Apparatur (ELISA) (Maßstab 1:10) zeigt die Abb.1.

Das Elisa-Modell besteht aus drei 30 cm langen Vertikalträgern, an denen 12 Platinelektroden (Kontaktfläche ~ 1mm²) im Abstand von je 2cm angebracht sind. Über mehradrige Kabel können die Elektroden an eine Verteilerbox angeschlossen und wahlweise als Strom- oder Spannungselektroden geschaltet werden.

Die Vertikalträger haben untereinander einen horizontalen Abstand von 21 cm. Zwei vertikal verschiebbare Rahmen sorgen für die mechanische Stabilität. Für die Messungen stand ein Wasserbecken (1.5m x 1.0m x 0.5m) mit Messplatz - bestehend aus Lock-In-Verstärkern und Zusatzelektronik - zur Verfügung.

Aus der Vielzahl möglicher geoelektrischer Elektrodenanordnungen wurden für die tomographischen Untersuchungen Dipol-Dipol-Anordnungen ausgewählt. Deren Vorteil ist eine enge Abgrenzung der Sensitivitätsbereiche. Nachteilig ist dabei, dass große Geometriefaktoren zu sehr kleinen und – bedingt durch die Übergangswiderstände der Grenzflächen Elektrode/Wasser – stark verrauschten Potentialspannungen ($S/N < 1$) führen können.

Wegen der begrenzten Belastbarkeit dieser Übergänge ist der Effekt nicht beliebig durch Erhöhung der Sendestromstärke zu kompensieren. Deshalb wurden zu der von D. Kürschner entwickelten Messanordnung zwei hochwertige digitale Lock-In-Verstärker (LIA) für die Erfassung von Sendestrom und Potentialdifferenzen integriert. Das von den Elektroden des Spannungsdipoles erfasste Signal wird in einem Differenzverstärker mit extrem hoher Eingangsimpedanz verlustfrei eingekoppelt. Dessen Ausgang ist mit dem LIA für die Potentialerfassung verbunden. Der Sendeteil erzeugt zwei exakt 180° zueinander phasenverschobene frequenzgleiche Signale für die Stromeinspeisung (Gegentaktbetrieb). Ein hochwertiger Stromkonverter ermöglicht in Verbindung mit dem zweiten Lock-In-Verstärker die exakte Erfassung der Stromamplitude. Zwei in die

Gesamtanordnung integrierte Regelsysteme sorgen für eine Konstanzhaltung des Sendestromes auf vorgegebenem Niveau und über die Steuerung des Amplitudenverhältnisses der beiden 180° verschobenen Sendersignale für eine vollständige Kompensation der Gleichtaktspannung im Messgebiet.

Dadurch wird eine dem Problem angepasste Messgenauigkeit gewährleistet. In Grenzfällen war aus einem Vergleich des Signalphasenwinkels von Sendestrom und Potentialsignal die kritische Einschätzung der Messwerte möglich. Gemessen wurden Dipol-Dipol-Vertikalpseudosektionen sowie Quer-messungen (ähnlich einer cross-hole-Messung) mit bis zu vierfachen Dipolweiten.



Abb. (2): Messaufbau für Messungen im Wasserbecken mit Lock-In-Verstärkern und Zusatzelektronik

Die für die Auswertung benötigten Geometriefaktoren der einzelnen Elektrodenanordnungen wurden durch Messung der scheinbaren spezifischen Widerstände in Wasser bekannter homogener Leitfähigkeit bestimmt.

Vorteil der experimentellen Bestimmung der Geometriefaktoren ist die Reduktion von Störeffekten und systematischen Fehlern. Theoretisch sind dadurch Geometrieabweichungen, störende Effekte des Metallrahmens, der Sonden sowie die Randbedingungen in den experimentellen Geometriefaktoren enthalten. Messungen, die auf den experimentellen Geometriefaktoren beruhen, sollten also frei von der Beeinflussung derartiger Effekte sein.

Unter Verwendung verschiedener Störkörper konnten zahlreiche Datensätze gewonnen werden. Zusätzlich wurden Messungen an definierten Sedimentmodellen durchgeführt.

Die Inversion der gewonnenen Daten erfolgte mit dem an der Universität Leipzig von E. Danckwardt entwickelten ELTOMO-3D.

In den durch die Messungen schlecht überdeckten Bereichen (d.h. Bereichen kleiner Summensensitivität) kam es zur Ausbildung von Artefakten, die keine reale Entsprechung haben.

Weiterhin zeigte sich, dass die Bedingung eines unendlich ausgedehnten Vollraumes, als Grundlage der Inversion, ebenfalls zu Artefakten führte. Eine Möglichkeit der Reduktion derartiger Effekte besteht in der Berücksichtigung der Wasseroberfläche und des Beckenbodens unter Verwendung der Methode der Spiegelladungen.

Fazit der physikalischen Modellierung ist, dass eine sinnvolle Informationsgewinnung aus Bereichen hinreichender Summensensitivitäten möglich ist.

Dazu werden neben sinnvollen Modellbedingungen vor allem hohe Anforderungen an die Messtechnik gestellt.

Jacobs, F., Danckwardt, E., Petzold, G., Voigt, R., Knieß, R. (Leipzig)

jacobs@rz.uni-leipzig.de

4D - Geoelektrik an der Vorbohrung der KTB mittels eines kombinierten Oberflächen- / Vertikalelektrodensystems

Tiefengeoelektrische Untersuchungen im Bereich von Bohrlokationen des ICDP können dazu beitragen, über die Kenntnis der räumlichen und zeitlichen Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit Informationen zu den geologischen Situationen im Umfeld der Bohrungen zu gewinnen (Strukturmuster, Bruchsysteme, Fluidbewegungen, Temperatureinflüsse).

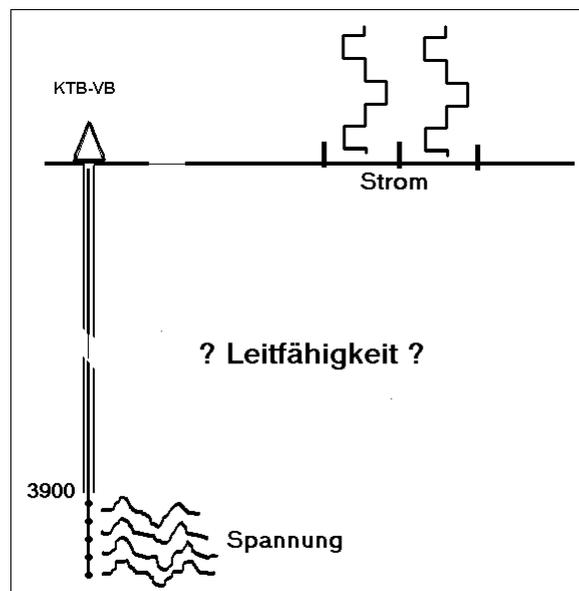
Tiefbohrungen bieten darüber hinaus Möglichkeiten, dynamische Prozesse zu initiieren (z. B. Fluidbewegungen durch Einbringen großer Flüssigkeitsmengen). Durch tiefengeoelektrische Untersuchungen wird eine räumliche und zeitliche Beobachtung der damit verbundenen Leitfähigkeitsveränderungen möglich. Der Einsatz von Vertikalelektrodensystemen im Bohrloch liefert zusätzliche Meßdaten für die Interpretation und Inversion. Auf diesem Weg können der Grad der Mehrdeutigkeit herabgesetzt und die vertikale Auflösung verbessert werden.

Zur Entwicklung des 4D-DC-Verfahrens unter Verwendung von kombinierten **Oberflächen-/Vertikal-Elektrodensystemen** wurden zunächst numerische Modellierungen sowie mesoskalige Modellmessungen durchgeführt. Dadurch konnten die Nachweisgrenzen des Verfahrens und optimale Aufstellungsgeometrien der Sende- und Empfangsstationen bestimmt werden.

Durch die Adaption vorhandener Inversionsalgorithmen wurden die Voraussetzungen geschaffen, die räumliche und zeitliche Verteilung der Leitfähigkeit in der näheren Umgebung der Bohrlokation besser zu beschreiben.

Schwerpunkte der Untersuchungen:

- Entwicklung eines Vertikalelektrodensystems mit 5 Elektroden im Abstand von 25m auf Grundlage eines Bridle-Kabels mit Anschluß über ein "Torpedo" an ein Bohrlochmesskabel (Einsatzteufe bis max. 5000 m).
- Versuchsmessungen mit dem Vertikal-elektrodensystem in der Vorbohrung der KTB im unverrohrten Teil (Lage der Elektroden zwischen 3854m und 3954m Teufe).
- Oberflächenmessungen auf einem 5 km langen Profil von der KTB im nordöstliche Richtung..



Heesemann, M. (Bremen), Villinger, H. (Bremen), Davis, E.E. (Sidney, Canada)

heesema@uni-bremen.de

In-situ Bestimmung des Porendruckes in ODP-Bohrungen

Modellierung und Analyse transienter Druckmessungen

Seit Anfang der neunziger Jahre wird die Davis-Villinger-Temperature-Probe (DVTP) erfolgreich eingesetzt, um vertikale ungestörte Temperaturprofile in ODP-Bohrlöchern zu bestimmen. Dazu wird die Sonde, in deren Spitze sich zwei Temperaturfühler befinden, zwischen den Kernentnahmen am Draht zur Bohrlochsohle herabgelassen und ca. 1 m in das noch ungestörte, teilweise konsolidierte Sediment gepresst.

In einer neuen, bisher nur als Prototyp existierenden Version, ist die DVTP um einen hochauflösenden Absolutdrucksensor der Firma Paroscientific zur DVTP&P erweitert worden. Mit dieser Sonde ist es möglich, ein Porendruckprofil parallel zum Temperaturprofil zu erstellen, ohne zusätzliche Messzeit zu beanspruchen.

Bei dem Eindringen der Sonde in das Sediment wird sowohl eine Temperaturstörung durch Reibungswärme, als auch eine Druckstörung durch die Verdrängung des Sedimentes erzeugt. Insbesondere im Fall der Druckstörung ist es nicht möglich, solange zu warten, bis sich diese vollständig abgebaut hat, da ein vollständiges Abklingen der Störung in der Regel viele Stunden beansprucht.

Um aus den transienten Druckmessungen den ungestörten Porendruck abzuleiten, werden die Messdaten an ein auf der Finite Elemente Methode basierendes Modell angepasst, um mit dessen Hilfe die Abklingkurve bis zu unendlich langen Zeiten zu extrapolieren. Die Implementierung des Modells wurde mit dem auf Matlab[®] aufsetzenden Softwarepaket Femlab[®] durchgeführt.

Die Untersuchung erster Messungen hat ergeben, dass sich die Daten im Bereich der Messgenauigkeit sehr gut durch das Modell beschreiben lassen. Der Rauschpegel der im Bohrloch gewonnenen Daten ist allerdings deutlich höher, als aufgrund der Meßgenauigkeit des Sensors zu erwarten ist. Dies führen wir auf unvermeidliche Störungen, wie zum Beispiel die während der Messung anhaltende Zirkulation von Bohrflüssigkeit, zurück. Außerdem zeigten sich systematische Fehler in den Meßdaten, die auf technische Unzulänglichkeiten des Prototypes der neuen Sonde zurückzuführen sind.

Mit einer auf Grund der ersten Erfahrungen technisch verbesserten DVTP&P und dem entwickelten Analyseverfahren wird es möglich sein, Porendruckprofile direkt zu messen, die bisher nur empirisch aus verschiedenen Sedimentparametern abgeschätzt werden können.

Junge, A. (Frankfurt/Main), Dawes G. (Edinburgh), Roßberg R., Kreutzmann A. (Frankfurt/Main)

junge@geophysik.uni-frankfurt.de

Magnetotellurische Untersuchung einer geothermischen Anomalie in SW-Island

In einem von isländischer Seite organisierten internationalen Meßprojekt wurden verschiedene aktive und passive Verfahren der Elektromagnetik in einer geothermisch aktiven Region auf der Reykjanes-Halbinsel getestet. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Magnetotellurik vorgestellt.

Bisherige Untersuchungen der elektrischen Leitfähigkeitsverteilung in geothermisch aktiven Gebieten Islands haben für den Tiefenbereich von bis zu 1 km ein einheitliches Muster ergeben: Zwischen der schlecht leitenden, kalten ($< 50\text{ °C}$) Deckschicht und dem darunterliegenden, ebenfalls schlecht leitenden geothermischen Reservoir liegt eine hoch leitfähige ($0.1 - 1\text{ S/m}$) Zone, für die im wesentlichen Tonminerale verantwortlich sind, die bei Übergangstemperaturen von $100\text{-}230\text{ °C}$ stabil sind. Höhere Temperaturen führen zu einer wiederum niedrigeren Leitfähigkeit. Über die elektrische Leitfähigkeitsverteilung können damit u.U. Ausdehnung und Tiefenlage geothermischer Reservoirs erfaßt werden.

Das Meßgebiet befand sich in der jung-vulkanischen Zone im Südwesten Islands, zwischen dem vulkanischen Hengill-Olkelduhals Komplex und dem geothermischen Brennisteinsfjöll System. Auf einem etwa 10 km langen Meßprofil zwischen diesen beiden Gebieten, die sich durch oberflächennahe hoch leitende Zonen auszeichnen, sollte eine mögliche geothermische Verbindung anhand höherer Leitfähigkeiten in größerer Tiefe detektiert werden.

Die MT Untersuchung wurde vom Frankfurter und Edinburgher Institut gemeinsam durchgeführt. Die zeitlichen magnetischen Variationen wurden mit Induktionsspulen der Fa. Metronix und Datenloggern vom Typ SPAM MkIII z.T. zeitgleich an insgesamt 21 verschiedenen Stationen aufgezeichnet. Die tellurischen Felder wurden mit Ag/AgCl – Elektroden und Pb/PbCl – Elektroden und Auslagen der Größenordnung 50 m erfaßt. Die Registrierung natürlicher Feldvariationen erfolgte nachts, da tagsüber die aktiven Experimente stattfanden.

Die Datenqualität ist sehr unterschiedlich, in der Regel konnte der Frequenzbereich zwischen $0.1 - 100\text{ Hz}$ ausgewertet werden. Alle Stationen zeigen eine hoch leitende Schicht in mehreren 100 m Tiefe, allerdings ergeben sich deutliche Hinweise auf laterale Änderungen der Leitfähigkeit. So drehen sich die Induktionspfeile etwa in der Mitte des Profils um 90° , was dreidimensionalen Strukturen in der Umgebung des Meßprofils vermuten läßt.

Die Ergebnisse der aktiven Experimente stehen noch aus. Die MT liefert zumindest in diesem Test offenbar hilfreiche Informationen, wobei anhand einer Modellstudie versucht wird, die Interpretationsvielfalt der Meßdaten weiter einzuschränken.

DeNil, D. (Kiel)

denised@geophysik.uni-kiel.de

Theoretische und numerische Studien seismischer Oberflächenwellen

Die Aussagekraft verschiedener oberflächenwellenseismischer Untersuchungen, die in der Ingenieurgeophysik insbesondere zur Bestimmung von Scherwellengeschwindigkeiten durchgeführt werden, ist offenbar recht unterschiedlich. Dies wird möglicher Weise durch die sehr unterschiedlichen elastodynamischen Eigenschaften von Material in Oberflächennähe mitverursacht.

Mittels theoretischer Dispersionskurven und Amplitudentiefenverteilungen wird gezeigt, daß aufgrund zum Teil hochgradig nichtlinearer Abhängigkeit der Charakteristika freier Oberflächenwellen von Untergrundeigenschaften bereits für sehr einfache, nicht unrealistische Modelle eine Vielzahl verschiedener, in der Praxis u. U. problematischer Parameterkonstellationen existiert. Einige Effekte wie die Annäherung von Phasengeschwindigkeitsdispersionskurven verschiedener Moden aneinander und der "Tauschrdblquote charakteristischer Eigenschaften wird mit Beispielen dargestellt. Das Auftreten von Wellen, die nicht Oberflächenwellen im eigentlichen Sinne, aber gleichfalls Lösungen der Wellengleichung mit den selben Randbedingungen sind, wird ebenfalls veranschaulicht.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen Seismologie und Flachseismik liegt eben nicht nur im Betrachtungsmaßstab, sondern auch in den typischer Weise auftretenden elastodynamischen Eigenschaften, was sich offenbar bei der Betrachtung von "Oberflächenwellen" besonders bemerkbar machen kann. Erkenntnisse, die an deutlich anderen Modellen gewonnen wurden, sind i.a. nicht ohne weiteres übertragbar.

Wilhelm, H. (Karlsruhe), Demetrescu, C., Dobrica, V. (Bukarest)

helmut.wilhelm@gpi.uni-karlsruhe.de

Thermische Hinweise auf Fluidtransport im Sedimentbecken des Vorlandes der östlichen Karpaten

Im Rahmen einer langjährigen Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Geodynamik der Rumänischen Akademie in Bukarest und dem Geophysikalischen Institut der Universität Karlsruhe wurden von 1997 bis 1999 hochauflösende Temperaturmessungen in 41 Bohrlöchern im Vorland der östlichen Karpaten durchgeführt. Die Temperaturprofile (Abb. 1) zeigen starke laterale und vertikale Änderungen des Temperaturgradienten. Im Bereich der größten Sedimentdicke im Zentrum des Vorlandbeckens beträgt der oberflächennahe Temperaturgradient etwa 23 mK/m, während an den Rändern 37 mK/m und auf der Moesischen Plattform sogar 53 mK/m erreicht werden. Fast alle Profile zeigen eine kontinuierliche Zunahme des Gradienten mit der Tiefe, im Gegensatz zur erwarteten Variation, die sich aufgrund zunehmender Kompaktion mit der Tiefe einstellen sollte.

Generell ist der Wärmetransport in Sedimentbecken durch Wärmeleitung und Konvektion (Advektion) bestimmt. Weitere Einflüsse auf den Temperaturgradienten ergeben durch die Absenkungsgeschichte, durch die Wärmeproduktion der Sedimente und durch die Wärmezufuhr aus der Unterkruste. Im oberflächennahen Bereich können außerdem paläoklimatische Einflüsse und antropogene Aktivitäten die Temperatur im Boden verändern.

Die drei tiefreichendsten Messungen (Abb. 1) wurden zunächst im Hinblick auf mögliche Einflüsse der Wärmeproduktion, des Paläoklimas und eines konvektiven Beitrages zum Wärmefluss untersucht. Die Untersuchungen wurden dann auf ein NW – SE verlaufendes Profil durch das Vorlandbecken erweitert, wobei neben den gemessenen Temperaturprofilen auch Messungen des elektrischen Eigenpotentials in den entsprechenden Bohrungen in die Betrachtungen einbezogen wurden. Durch FE-Modellierung des nichtlinear gekoppelten Wärme- und Fluidtransports gelingt es, die in den in der Nähe des 2D-Profil in Bohrungen gemessenen Temperaturdaten gemeinsam zu interpretieren. Dabei zeigt sich, dass die Ursache eines lokal deutlich erhöhten Wärmeflusses vorzugsweise in einem lokalen konvektiven Beitrag zum Wärmefluss zu suchen ist, während eine beckenweite Zirkulation des Grund-wassers aus thermischer Sicht nicht zwingend notwendig zur Erklärung des Temperatur-regimes im Sedimentbecken des Karpatenvorlandes ist.

Cooperation
 Institute of Geodynamics - Bucharest
 Geophysical Institute - Karlsruhe
 Temperature profiles acquired in 1997 - 1999

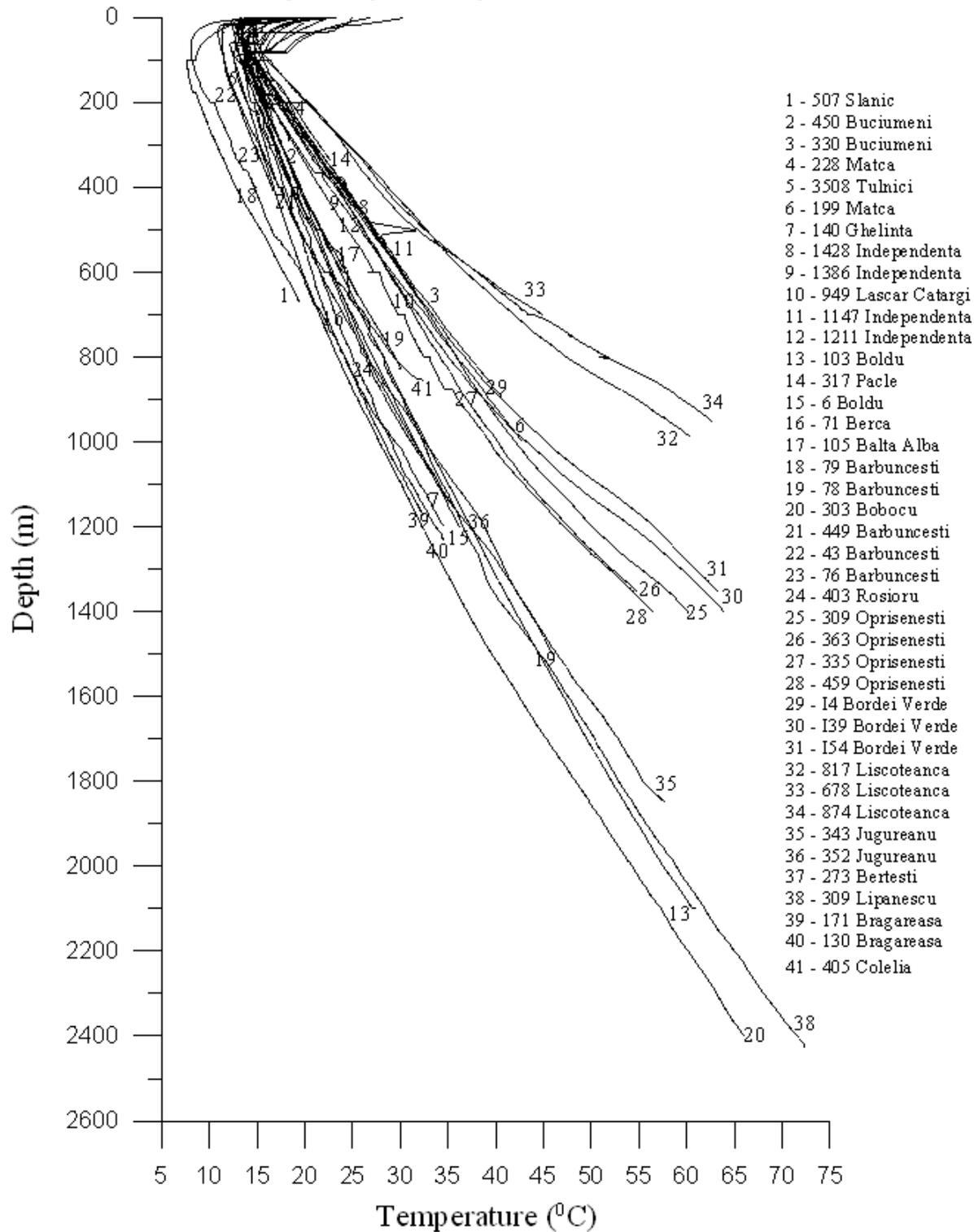


Abb. 1

Abb. 1: Hochauflösende Temperaturlogs in 41 Bohrungen im Vorland der östlichen Karpaten. Numerierung der Bohrungen: die linke Zahl bezieht sich auf die Kennzeichnung der Bohrungen in Kartendarstellungen, die rechte ist die offizielle Bezeichnung der Bohrung mit dem dahinter stehenden Namen für die betreffende Region

Meier, T., Dietrich, K., Harjes, H.-P. (Bochum)

1D-Modelle der Scherwellengeschwindigkeit für das östliche Mittelmeer und tektonische Schlußfolgerungen

Für ausgewählte Stationskombinationen im Bereich des östlichen Mittelmeeres werden mit der Zwei-Stationen-Methode Phasengeschwindigkeiten für die Rayleighgrundmode berechnet. Die Inversion der Phasengeschwindigkeitskurven ergibt 1D-Modelle der Scherwellengeschwindigkeit, die als mittlere Modelle für den Laufweg zwischen den Stationen interpretiert werden können. Für ein Profil vom Levantinischen Meer, über Kreta, die Kykladen bis in die Zentraltürkei werden 1D-Modelle verglichen. Unter Kreta und dem Kretameer ist die subduzierte ozeanische Lithosphäre erkennbar. Die mittlere Tiefe der ozeanischen Moho unter Kreta beträgt ca. 50 km. Darüber werden in einem Tiefenbereich von 50 bis 20 km geringe, durchschnittliche S-Wellengeschwindigkeiten von ca. 3.7 km/s gefunden. Im Levantinischen Meer weist die Lithosphäre geringe Mächtigkeiten von ca. 70 km auf. In der Zentraltürkei ist der oberste Mantel bis ca. 130 km Tiefe durch geringe Scherwellengeschwindigkeiten gekennzeichnet. Um die Struktur zu interpretieren, wird entlang des Profils ein tektonisches Modell der Lithosphäre aufgestellt. Die Länge der subduzierten ozeanischen Lithosphäre wird abgeschätzt.

Dietrich, P. (Tübingen)

peter.dietrich@uni-tuebingen.de

Geophysikalische Messungen in Kombination mit 'Direct Push' -Technologien

Eine wissenschaftlich und ökonomisch interessante Alternative bzw. Ergänzung zu den bisherigen Erkundungskonzepten für den Nahbereich ist der Einsatz von 'Direct Push' -Technologien. Der Einsatz der 'Direct Push' -Technologien basiert auf der Verwendung von Rammgeräten. Mit diesen Rammgeräten können mittels spezieller Sonden u.a. hochauflösende Tiefenprofile geophysikalischer Parametern (z. B. elektrische Leitfähigkeit und seismische Geschwindigkeit) und hydrogeologischer Parameter (z. B. hydraulische Durchlässigkeiten) ermittelt werden. Dadurch ist es möglich mit relativ geringem Aufwand eine umfangreiche Datengrundlage für die Ableitung standortspezifischer petrophysikalischer Beziehungen zu schaffen. Des Weiteren ermöglicht die Einbeziehung der mit 'Direct Push' -Technologien gewonnenen geophysikalischen Informationen eine zuverlässigere Interpretation geophysikalischer Oberflächenmessungen.

Hoffmann, R., Dietrich, P. (Tübingen, Universität)

ruth.hoffmann@uni-tuebingen.de

Berücksichtigung äquivalenter Lösungen für ein zweidimensionales Inversionsproblem der Geoelektrik

Moderne Messverfahren in der Gleichstromgeoelektrik erlauben die Erfassung und Auswertung immer umfangreicherer Datenmengen. Die Verarbeitung und Interpretation dieser Messdaten geschieht weitgehend über rechnergestützte, automatisierte Verfahren. Während die Vieldeutigkeit der Ergebnisse eindimensionaler Datensätze, verursacht durch eine ungenügende Datendichte und fehlerbehaftete Messungen, im Auswerteprozess berücksichtigt werden kann, wird bisher die Mehrdeutigkeit für 2d Datensätze meist vernachlässigt. Eine Möglichkeit, dieses Äquivalenzproblem durch kombinierte Inversion von Sondierung und Kartierung auch in die zweidimensionale Auswertung eines Datensatzes einzubeziehen, soll hier vorgestellt werden.

Gaedicke, Ch., Schreckenberger, B., Meyer, H., Schlüter, H.U., Neben, S., Reichert, Ch. (Hannover), Djajadihardja, Y. (Jakarta)

gaedicke@bgr.de

Zur Entstehung der Sunda-Forearc-Provinz: Geophysikalische Ergebnisse der SONNE-Fahrt 137, GINCO I

Während der Forschungsfahrt SO137 mit FS SONNE wurden 1998 "Geowissenschaftliche Untersuchungen an der aktiven Konvergenzzone zwischen der ost-eurasischen und indisch-australischen Platte im Bereich Indonesiens" (GINCO) am Sunda Inselbogen, vor Sumatra, Java und in der Sunda Straße durchgeführt. Die von der BGR geleiteten Arbeiten wurden in enger Zusammenarbeit mit deutschen (GEOMAR) und indonesischen (BPPT) Forschungseinrichtungen vorgenommen. Es sind Profile mit einer Gesamtlänge von 5.500 km mit magnetischen, gravimetrischen und bathymetrischen Methoden vermessen worden, wovon >4.100 km Mehrkanal-seismische Registrierungen sind.

Am Sundabogen wird ozeanische Lithosphäre der indisch-australischen Platte unter kontinentale Lithosphäre der eurasischen Sundaplatte subduziert, wodurch sich ein bis zu 10 km mächtiger Akkretionskeil bildete.

Die Ergebnisse des GINCO Projektes weisen auf zwei Akkretionskeile entlang des Sunda Inselbogens hin. Akkretionskeil I besitzt vermutlich ein paläogenes und Akkretionskeil II ein neogenes bis rezentes Alter. Der innere Akkretionskeil I besteht aus tektonischen Schuppen, die von SE Sumatra über die südliche Sunda Straße bis NW Java korrelierbar sind. Das deutet auf eine sehr ähnliche plattentektonische Situation zur Zeit der Schuppenentstehung zwischen Oberoligozän und Untermiozän hin, ohne größere Winkelunterschiede in der Konvergenzrichtung von Java bis Sumatra. Im Akkretionskeil I existieren Rücküberschiebungen im Übergang zur Inselbogenvortiefe. Akkretionskeil I bildet heute das äußere Hoch des Inselbogens und gleichzeitig das Widerlager für den jüngeren, äußeren Akkretionskeil II. Magnetische, gravimetrische und seismische Ergebnisse liefern keine Hinweise auf ozeanische Krustensplitter, die bisher in den Akkretionskeilen vermutet worden sind.

Beide Akkretionskeile werden von ozeanischer Kruste der subduzierenden indisch-australischen Platte unterlagert, die sich vom Tiefseegraben vor Sumatra über eine Entfernung von 135 km und vom Tiefseegraben vor Java über 65 km nach Nordosten bzw. Norden verfolgen lässt. Die Oberfläche der ozeanischen Kruste unterscheidet sich in ihrer Reflektivität und im Relief beträchtlich, so dass zwei Krustentypen ausgehalten wurden. Ein Typ ist durch kräftige Topreflexionen und flache Lagerung gekennzeichnet und tritt bevorzugt unter Akkretionskeil II sowie unter dem seewärtigen Teil von Akkretionskeil I (äußeres Hoch) vor Sumatra und Java auf. Der zweite Typ ist durch geringe Reflektivität und ein raues Relief charakterisiert und unterlagert die tektonischen Schuppen von Akkretionskeil I (äußeres Hoch) zwischen SE Sumatra, der Sunda Straße und NW Java.

In der südlichen Sunda Straße existiert das äußere Hoch morphologisch nicht. Als Erklärung dienen neogene Transpressionsprozesse in Verbindung mit Seitenverschiebungen parallel zum Inselbogen. Die NW-SE streichende transpressionale Mentawai Störungszone (MFZ) konnte von SE Sumatra bis in die Vortiefe von NW Java korreliert werden. In der Sunda Straße zweigen Ausläufer der MFZ nach Norden ab und sind mit der Sumatra Störungszone (SFZ) verbunden. Wir spekulieren, dass die SFZ ursprünglich mit der Cimandiri-Pelabuhan Ratu Seitenverschiebung von Java verbunden war. Durch die Rotation von Sumatra im Uhrzeigersinn gegenüber Java sowie durch zunehmende schräge Subduktion vor Sumatra seit dem späten Untermiozän wanderte die Hauptseitenverschiebung vom vulkanischen Inselbogen von Sumatra nach Süden, bis in die Vortiefen. Die Transtension der westlichen Sunda Straße (Semangka Graben) sowie die Transpression der östlichen Sunda Straße mit Inversionstektonik im neu gefundenen Krakatau Becken lassen sich mit dieser Rotation erklären.

Die seismostratigraphische Interpretation ergab 5 Hauptsequenzen (A - E), mit einer vorläufigen Alterseinstufung von Paläogen bis Rezent. Die älteste seismische Sequenz A besitzt vermutlich ein eoazänes bis oligozänes Alter und wird am Top von einer überregionalen Erosionsdiskordanz begrenzt. Sequenz A zeigt seewärts divergierende, interne Reflexionsmuster, die als Äquivalente der vor Zentral- und Nordsumatra erbohrten, progradierenden, deltaischen Sedimente des Paläogen gedeutet werden. In früheren Interpretationen wurden die seewärts divergierenden Reflexionsmuster als Basaltflüsse gedeutet, die am früheren mesozoischen passiven Kontinentrand von Sumatra entstanden sind. Aus den konstruierten Mächtigkeitskarten sind in den Vortiefen mehrere Sedimentbecken erkennbar, die parallel zum Inselbogen verlaufen und mit mächtigen post-paläogenen Sedimenten von >3 s (TWT) vor Sumatra und >5 s (TWT) vor Java gefüllt sind. Die Hauptbecken des Semangka Grabens und

des Krakatau Beckens in der Sunda Straße streichen Nord-Süd und weisen Sedimentmächtigkeiten von 2 s - 5 s (TWT) auf.

Preuße, S. (Clausthal), Vy Thi Hong Lien (Hanoi), Doan Van Tuyen (Hanoi), Tran Ngoc Nam (Hué), Weller, A. (Clausthal)

andreas.weller@tu-clausthal.de

3D Gleichstromgeoelektrik im Hué Monuments Complex (Vietnam)

Im November 2001 wurden im Rahmen einer methodischen Studie Widerstandsmessungen innerhalb der Forbidden Purple City im Hué Monuments Complex durchgeführt. Mit diesen Messungen sollte geklärt werden, ob die Säulengründungen im Fundament des Can Chanh Palastes, der 1947 zerstört wurde, lokalisiert werden können. Im Vorfeld einer geplanten Rekonstruktion des Palastes besteht Interesse an der Fragestellung, ob alle Säulenfundamente noch vorhanden sind und ob diese mit der Lage im verfügbaren Bauschema hinreichend übereinstimmen.

Der Can Chanh Palast bestand aus einer Holzkonstruktion, die von einem Säulensystem getragen wurde. Heute noch sichtbar ist das sich mit bis zu 1 m Höhe von der Umgebung abhebende Fundament der Gesamtkonstruktion. Es besteht aus einem Hauptteil, dem Fundament des eigentlichen Palastes, mit einer Erstreckung von knapp 43 m von Westen nach Osten und ca. 32 m von Norden nach Süden. Dieses wird erweitert durch je ein schmaleres Fundament in Richtung Westen bzw. Osten am Süd- wie auch am Nordende. Das Hauptfundament ist vollständig von einer dünnen Zementschicht unbekannter Dicke überzogen, die schmalere Fundamente sind stellenweise mit Fliesen bedeckt. Eingelassen in die Zementschicht des Hauptfundamentes sind Indikationen der Säulenfundamente. Sie sind quadratisch mit einer Kantenlänge von 0,53 m und einem zusätzlichen Rand mit einer Dicke von 0,08 m.

Gemessen wurden acht parallele Profile von Westen nach Osten, sowie zwei dazu senkrechte Profile von Norden nach Süden. Sechs der West-Ost-Profile und die beiden Nord-Süd-Profile wurden auf dem Fundament so platziert, dass die Säulenfundamente mittig gekreuzt wurden. Zur Vervollständigung der Messungen dienen ein West-Ost-Profil südlich vor dem Fundament und ein weiteres nördlich davon.

Jedes Profil besteht aus 50 Elektroden mit einem Abstand von 1 m. Der Anfangspunkt ($x = 0$ m) der West-Ost-Profile liegt 6,45 m westlich des Fundamentes, der Anfangspunkt der Nord-Süd-Profile 3,32 m nördlich von der Nordkante. Damit sind die Lokationen der 50. Elektrode ($x = 49$ m) jeweils vor dem östlichen Randstein des Hauptfundamentes bzw. ca. 18,40 m südlich vom Fundament.

Auf jedem Profil wurde mit einer Vorwärts- und einer Rückwärtskonfiguration der 3-Elektroden-Anordnung in 14 Aufstellungsweiten gemessen. Die abgeschätzte maximale Eindringtiefe beträgt ca. 7 m. Die unendliche Elektrode wurde in 150 m Entfernung in Richtung Norden platziert.

Obwohl keine zweidimensionalen Strukturen zu erwarten sind, wurde als Vorauswertung eine 2D-Inversion mit DC2DSIRT (Autor: Axel Kampke) durchgeführt, wobei die beiden Datensätze (Vorwärts- und Rückwärtsmessung) eines Profils gemeinsam bearbeitet wurden. Die Inversionsergebnisse der Profile werden am Beispiel vom West-Ost-Profil p5, das in Abb. 1 dargestellt ist, erläutert.

Bis zu einer Tiefe von zwei Metern variieren die spezifischen elektrischen Widerstände für dieses Profil von 176 W m bis 398 W m. Daran schließt sich eine dünne Übergangszone zu niedrigen Widerständen von 45 W m bis 102 W m an. Aufgrund von Inhomogenitäten sind die Bereiche geringer Widerstände von Profil zu Profil unterschiedlich ausgeprägt. Das oberflächennahe hochohmige Band zeigt den Einfluss der Zementschicht, die das Fundament des Palastes bedeckt.

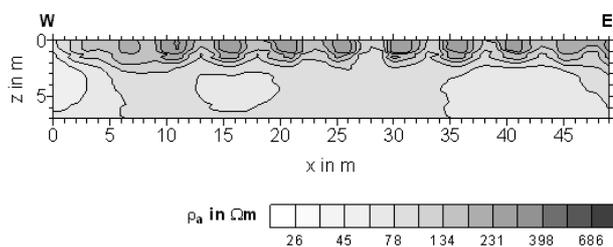


Abb. 1: Inversionsergebnis der geoelektrischen Messungen auf Profil p5 am Can Chanh Palast in Hué

Das Profil p5 weist eine charakteristische, nahezu äquidistante Abfolge hochohmiger Anomalien auf. Die Bereiche mit den höchsten spezifischen Widerständen sind durch ein schmales Übergangsband klar voneinander abgegrenzt. Die Positionen der Anomalien fallen mit den sichtbaren Säulenplatten zusammen. Die Anzahl der Anomalien entspricht der Anzahl der im Bauschema vorhandenen Säulen.

Die Parallelprofile zeigen ähnliche Ergebnisse, wobei die Anzahl der Indikationen nicht in allen Fällen mit dem Bauschema übereinstimmt. Es gibt Hinweise, dass einige Säulenplatten (Plinthe) und eventuell auch Fundamente entfernt wurden.

Eine nachfolgende dreidimensionale Inversion des Datensatzes, in die auch die Nord-Süd-Profile einbezogen werden, soll zeigen, ob mit der verwendeten Profilanlage weitere Indikationen zur Struktur der Fundamente abgeleitet werden können.

Die Ergebnisse der Messungen auf dem Fundament des Can Chanh Palastes zeigen, dass die Gleichstromgeoelektrik für analoge Fragestellungen eine geeignete Untersuchungsmethode ist. Trotz der erschwerten Ankopplungsbedingungen durch die dünne Zementdecke auf dem Fundament konnten mit der Apparatur GMS 150 der Firma GeoSys Leipzig Daten in guter Qualität gewonnen werden. Die Ergebnisse der Inversion zeigen eine gute Übereinstimmung mit den vorhandenen Informationen über die Positionen der Säulenfundamente.

Wir danken dem Hué Monument Complex Conservation Centre für die Möglichkeit, am Can Chanh Palast die geoelektrischen Messungen durchführen zu können. Die Feldmessungen wurden durch die University of Science Hué unterstützt. Die Messungen und die damit verbundenen methodischen Untersuchungen sind Bestandteil eines Projektes, das von der Volkswagenstiftung gefördert wird.

Dost, B. (ORFEUS Data Center, De Bilt, The Netherlands), Zednik, J. (Geophysical Institute AS CR), Havskov, J. (University of Bergen)

NEW MANUAL OF SEISMOLOGICAL OBSERVATORY PRACTICE (NMSOP). CHAPTER 10: SEISMIC DATA FORMATS, ARCHIVAL AND EXCHANGE

Seismology entirely depends on international co-operation. Only the accumulation of large sets of compatible high quality data in standardized formats from many stations and networks

around the globe and over long periods of time will yield sufficiently reliable long-term results. For almost a century, only parameter readings taken from seismograms were exchanged with other stations and regularly transferred to national or international data centers for further processing. Several format are in existence, however a new IASPEI approved format is now being proposed. By far the largest volume of seismic data stored and exchanged are digital waveform data. The number of formats in existence and their complexity far exceeds the variability for parameter data. With the wide availability of continuous digital waveform data and unique communication technologies for world-wide transfer of such complete original data, their reliable exchange and archival has gained tremendous importance. Standards for exchange and archival have been made, however a large number of formats are in daily use. The purpose of this section of the manual is to describe the international standards of both parameter and waveform data, methods of exchange and archival and make a summary of the most used formats. In addition, there will be a description of some of the most common format conversion programs. Links are given to the ISC web page where the recently adopted IASPEI Seismic Format (ISF), based on an extension of the IMS format, is explained in detail. This manual chapter is complemented by Information Sheets which give examples of data-type bulletin IMS1.0 and or station parameter reports grouped according to IMS1.0 with ISF1.0 extensions, respectively.

Durst, H., Polom, U. (Hannover)

Helmut.Durst@BEB.de, U.Polom@gga-hannover.de

Neubearbeitung eines 2D-seismischen Transversalwellen-Experiments im Stavelot Venn Massif - almost unsatisfying results using shear waves?

Im Jahr 1987 wurde von der Explorationsindustrie in einem Joint Venture mit dem DEKORP-1-Projekt im Raum Aachen ein experimentell angelegtes reflexionsseismisches 2D-Transversalwellenprofil im Trassenverlauf eines 2D-Kompressionswellenprofils aus dem Jahr 1984 vermessen. Für die Signalanregung wurden in beiden Fällen Vibratoren verwendet, wobei die Akquisitionsparameter auf eine Zielteufe von ca. 4 km ausgelegt waren. Das primäre Zielobjekt war eine stark reflektive Struktur in der Kompressionswellen-Sektion, die als Fortsetzung der Aachener Überschiebung im Untergrund interpretiert wird. Die Transversalwellen-Sektion sollte weitere Erkenntnisse über potentielle Fluid- und Gasakkumulationen im Verlauf dieser Struktur liefern. Die Bearbeitung und Auswertung des experimentellen Datensatzes wurde damals aufgrund unbefriedigender Reflexionsqualität eingestellt.

Die Ziele der erneuten Datenanalyse im GGA-Institut waren zum einen Untersuchungen zur Signalcharakteristik und der Tiefenreichweite des damals verwendeten Vibrator-Prototyps VVCS (SH-Vibrator) der Fa. Prakla-Seismos. Zum anderen erlauben die Akquisitionsparameter und der Umfang des Datensatzes exemplarische Aussagen über die Transversalwellen-Vibrationseismik in explorationsseismischen Größenordnungen unter praxisbezogenen Randbedingungen. Im Verlauf der Analysen konnten qualitätsmindernde Signalartefakte verifiziert werden, die erheblich zu den unbefriedigenden Ergebnissen der Erstbearbeitungen beigetragen haben. Auch waren die angewendeten Verfahren zur Kompensation der sowohl quellen- als auch empfängerseitig variierenden Horizontalorientierungen offenbar nicht ausreichend an die spezielle Problematik dieses Datenmaterials angepasst.

Als wesentliche Ursachen für die Signalartefakte konnten harmonische Verzerrungen im Vibratorsignal sowie externe Störquellen identifiziert werden. Durch eine gezielte Korrektur der Artefakte und Reduzierung der Signalstörungen wurde in Verbindung mit einer anschließenden 2K-Rotationsoperation auf der Grundlage des eingemessenen Profilverlaufs eine erfolgreiche Neubearbeitung des Transversalwellen-Profiles durchgeführt.

Nach einer anschließenden Neubearbeitung des älteren Kompressionswellen-Profiles unter besonderer Berücksichtigung der Signalamplituden konnte eine erste Abschätzung des V_p/V_s -Verhältnisses (ca. 3.16) aus Laufzeiten durchgeführt werden. Damit eröffnen sich in diesem Fall Vergleichsmöglichkeiten der seismischen Sektionen unterschiedlicher Wellentypen in Hinblick auf reflektive Strukturen, scheinbare Teufen, Eindringtiefen und Auflösungsvermögen. Mangels fehlender Bohrungsinformationen im Untersuchungsgebiet bzw. weiterführender seismischer Untersuchungen (AVO) bleiben diese allerdings zunächst noch weitgehend spekulativ.

Das Datenmaterial und viele weitere Unterlagen für die Forschungsarbeiten wurden freundlicherweise von der Fa. BEB Erdgas Erdöl GmbH, Hannover, zur Verfügung gestellt.

Eagles, G., Gohl, K. (Bremerhaven)

geagles@awi-bremerhaven.de

Initial work on a high-resolution plate tectonic reconstruction of the southeast Pacific

Initial stages of progress in work on the plate dynamics of the southeast Pacific Ocean are presented here. Existing plate tectonic reconstructions show that the region, which is presently characterised by the simple divergence of two plates at the Pacific–Antarctic Ridge (the Antarctic and Pacific plates), has evolved through a series of more complicated settings since the mid Cretaceous. Some of the earlier manifestations of the Pacific–Antarctic circuit are still poorly known, but involved the active presence of at least two, and possibly three, mostly- or wholly-oceanic plates and their interactions with one another and with the active margin of West Antarctica. At the northern end of this margin the Phoenix plate simultaneously accreted at a ridge at its northwestern margin whilst being actively subducted at its southeastern one beneath the Antarctic Peninsula. In the earliest Cenozoic the Bellingshausen plate, on the opposite flank of the Phoenix Ridge, was tectonically captured by the Antarctic plate. This was followed by progressive collisions, from southwest to northeast, of segments of the Phoenix Ridge with the subduction zone, except at the northernmost parts of the Peninsula where spreading ceased prior to collision, resulting in capture of part of the Phoenix plate by the Antarctic plate. The result is a collage of captured oceanic crustal elements, now all part of the Antarctic plate, juxtaposed with the Antarctic Peninsula margin. Further south the Bellingshausen plate occupied a position between the Antarctic margin and the ridge that later became the Pacific–Antarctic ridge. The position and ages of the margins of the Bellingshausen plate with both the oceanic and continental parts of West Antarctica remain poorly known. Its northeastern boundary, facing the Phoenix plate, is short and may be complicated both by the possible early intervention of a further, oceanic plate termed the Charcot plate, of which only very small enigmatic fragments may persist, and by relative movements between Marie Byrd Land and the Antarctic Peninsula. We present initial progress in addressing some of the problems of this region by the construction of a high-resolution animation of plate kinematics, using published and unpublished reconstruction poles, and illustrated by satellite-derived free-air gravity anomalies. These problems include the timing of the onset of independent Bellingshausen plate motion, and the position, age and evolution of its boundaries, as well as the extent and age of Charcot plate crust. The reconstruction features the fastest-known seafloor spreading of any ocean on earth, as well as a spectacular ridge jump, by which the Antarctic plate captured the Bellingshausen plate.

Ebbing, J. (Berlin)

jebbing@geophysik.fu-berlin.de

Die Lithosphäre der Ostalpen - Dichteverteilung, Isostasie und flexurelle Rigidität

Die Lithosphäre der Ostalpen befindet sich nicht im isostatischen Gleichgewicht im Sinne einer Airy-Isostasie. Vielmehr zeigen sich starke isostatische Restfeldanomalien, die mit der Oberflächengeologie korrelieren und eine Unterscheidung zwischen europäischer und adriatischer Kruste ermöglichen. Unter der Annahme eines regionalen isostatischen Ausgleichs nach Vening-Meinesz wurde im Anschluss die flexurelle Rigidität der Lithosphäre berechnet. Diese Berechnung ist stark von den topographischen und krusteninternen Auflasten abhängig. Um diese zu bestimmen, wurde ein 3D-Modell der Dichteverteilung der Ostalpen verwendet, das unter Berücksichtigung der neuesten Ergebnisse des TRANSALP-Experiments erstellt wurde. Das Dichtemodell wurde an die Bouguerschwere und das Geoid angepasst, unter gleichzeitiger Berücksichtigung der verfügbaren Ergebnisse aus anderen geowissenschaftlichen Disziplinen (Reflexionsseismik, Tomographie, Geologie), die als Randbedingungen des Modells dienten. Dieses Modell liefert nun die Dichtestruktur und darüber hinaus dann die Verteilung der krusteninternen Lasten relativ zu einem Hintergrundmodell. Insbesondere im Übergangsbereich europäischer zu adriatischer Kruste treten große Werte auf, die einen starken Einfluss bei der Berechnung der flexurellen Rigidität besitzen. Diese Berechnung wurde mit Hilfe der Dekonvolutionsmethode durchgeführt, welche eine Auflösung der flexurellen Rigidität in kleinräumige Blöcke (90x90 km) ermöglicht. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Dreiteilung von Nord nach Süd in die Bereiche des alpinen Vorlandes, des Zentralteils der Alpen und den Südalpen, mit erhöhter flexureller Rigidität der Lithosphärenplatte in den Übergangsbereichen sowie im Zentralteil.

Kirsch, R. (Flintbek), Eberle, D., Röttger, B., Siemon, B., Voß, W. (Hannover)

Geothermische Planungskarten durch aeroelektromagnetische Messungen

Geothermische Nutzung des oberflächennahen Untergrundes

Der Einsatz geothermischer Energie für die Bereitstellung von Raum- und Prozesswärme kann einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten. In Deutschland werden etwa 50 % der Primärenergie für diese Zwecke eingesetzt. Im Gegensatz zur hydrothermalen Geothermie, bei der ein tiefelegener Grundwasserleiter zur Wärmegegewinnung eingesetzt wird und daher erheblichen geologischen Einschränkungen unterliegt, ist die oberflächennahe Geothermie nahezu überall und ohne große Investitionen nutzbar. Hierbei wird dem oberflächennahen Untergrund mit Erdwärmesonden Wärmeenergie auf niedrigem Temperaturniveau unter Einsatz von Wärmepumpen entzogen (Abb. 1). Die Länge der Erdwärmesonden beträgt meistens 30 – 50 m, im Einzelfall können aber auch mehr als 100 m erforderlich sein.

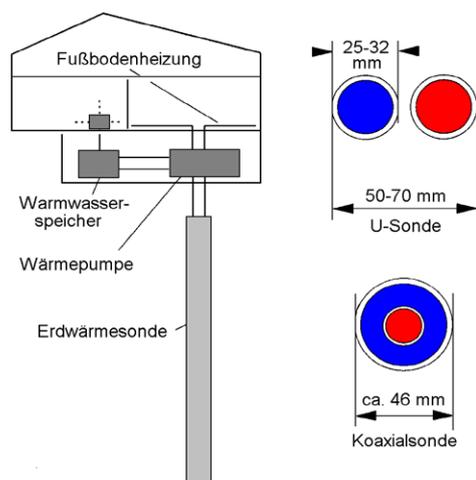


Abb. 1: Prinzip Erdwärmesonde nach Kaltschmitt, Huenges & Wolf (1999).

Die spezifische Entzugsleistung einer Erdwärmesonde ist umso größer, je höher die Wärmeleitfähigkeit λ des Untergrundes ist (Abb. 2). Bei porösen Lockersedimenten unterhalb des Grundwasserspiegels wird λ durch die Wärmeleitfähigkeiten der Gesteinsmatrix und des Porenwassers bestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsmatrix ist etwa zehnmals so hoch anzusetzen wie die des Porenwassers. Daher haben tonige Sedimente aufgrund ihrer hohen Porosität (bei gleichzeitig geringer Permeabilität) eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Wasser führende Sande. Ein bis in große Tiefen sandiger Untergrund bietet also bessere geologische Voraussetzungen für den Einsatz von Erdwärmesonden als ein tonhaltiger Untergrund. Umgekehrt könnte ein bis in größere Teufen toniger Untergrund als Medium zur Speicherung von überschüssiger Wärme (z. B. Solarthermie, industrieller Prozesswärme, Müllverbrennung) dienen. Da sich tonhaltige und tonfreie Sedimente i. A. deutlich im elektrischen Widerstand unterscheiden, bieten sich geoelektrische oder elektromagnetische Verfahren zur geophysikalischen Vorerkundung von Standorten für geothermische Bohrungen an.

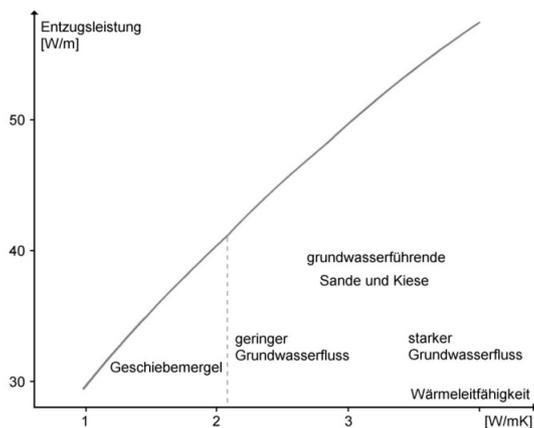


Abb. 2: Entzugsleistung einer Erdwärmesonde in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes (Sanner 1999).

Geothermische Planungskarten auf geophysikalischer Basis

Es ist die Aufgabe der Geologischen Dienste, geowissenschaftliche Planungskarten für gesellschaftlich relevante Fragestellungen zu erstellen. Eine Planungskarte für den Einsatz oberflächennaher geothermischer Energie könnte die mittlere Wärmeleitfähigkeit bis zu einer Referenztiefe (z. B. 50 m) zum Inhalt haben. Eine mögliche Datenbasis für geothermische Planungskarten ist die dreidimensionale Verteilung des spezifischen Widerstandes (Kehrwert der elektrischen Leitfähigkeit), wie sie als Ergebnis aeroelektromagnetischer Befliegungen vorliegt. Das Messsystem des BGR-Hubschraubers liefert eine Widerstands-Tiefenverteilung bis zu einer Tiefe von 100 m, woraus sich eine integrierte Karte zur geothermischen Planung erstellen ließe. Interpretiert man das Untergrundmaterial (Lockergestein) mit spezifischen Widerständen von mehr als 60 $\Omega\cdot\text{m}$ als sandigen Grundwasserleiter (ohne Versalzung) und mit geringeren spezifischen Widerständen als tonhaltig (Geschiebemergel, Beckenton), so ergeben sich unterschiedliche Möglichkeiten der Darstellung in einer geothermischen Planungskarte:

- Darstellung der Gesamtmächtigkeit von Sanden bis zur Referenztiefe
- Darstellung der geschätzten mittleren Wärmeleitfähigkeit bis zur Referenztiefe, hierbei würde man für Sande und tonhaltige Sedimente Literaturwerte annehmen (z.B. $\lambda_{\text{Sand}} = 2.4 \text{ W/mK}$, $\lambda_{\text{Ton}} = 1.7 \text{ W/mK}$ nach VDI 1998)
- Darstellung der geschätzten mittleren Wärmeleitfähigkeit bis zur Referenztiefe mit Interpretation der spezifischen Widerstände in Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit.

Da sowohl die Wärmeleitfähigkeit als auch die elektrische Leitfähigkeit stark von der Porosität abhängen, ergibt sich für sandiges Material ein nahezu linearer Zusammenhang beider Größen (Abb. 3). Für tonhaltiges Material kann auch hier von einer mittleren Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{\text{Ton}} = 1.7 \text{ W/mK}$ ausgegangen werden.

Die unterschiedlichen Konzepte für geothermische Planungskarten werden anhand praktischer Beispiele diskutiert.

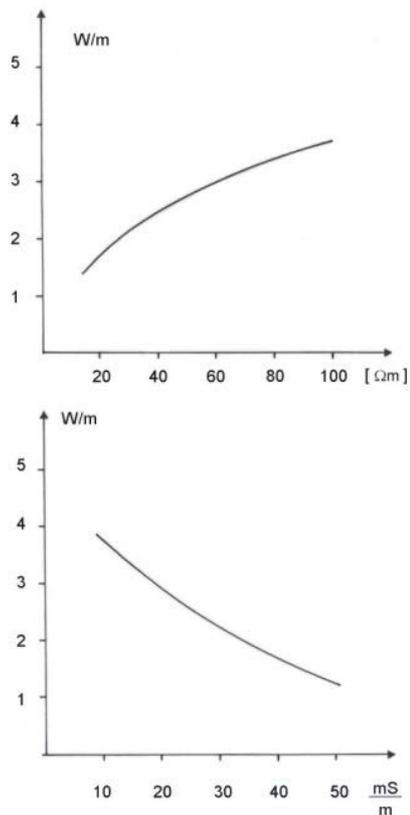


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Wärmeleitfähigkeit und spezifischem Widerstand (oben) bzw. elektrischer Leitfähigkeit (unten).

Literatur

Kaltschmitt, M., Huenges, E. & Wolf, H. eds. (1999): Energie aus Erdwärme. – Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Stuttgart.

Sanner, B. (1999): Kann man Erdwärmesonden mit Hilfe von spezifischen Entzugsleistungen auslegen? – Geothermische Energie, 26/27, 1-4.

Verein Deutscher Ingenieure VDI (1998): Thermische Nutzung des Untergrundes: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. – Fachausschuss Regenerative Energien VDI/4640-2.

Siemon, B., Voss, W., Röttger, B., Rehli, H.-J., Pielawa, J., Eberle, D. (Hannover)

heli@bgr.de; <http://www.bgr.de/b314/>

Aeroelektromagnetische Erkundung von Küstenaquiferen im Bereich Cuxhaven – Bremerhaven

Im Zusammenarbeit mit dem Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) und dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLFb) wurde von der BGR die Küstenregion zwischen Weser- und Elbemündung aerogeophysikalisch untersucht. Die Erkundung fand in zwei Abschnitten statt: Die Befliegung des etwa 530 km² großen Messgebietes Cuxhaven (ca. 2500 Profil-km) erfolgte im Mai 2000; ein Jahr später wurde das südlich anschließende, etwa 400 km² große Messgebiet Bremerhaven (ca. 2000 Profil-km) befliegen. Die Ergebnisse der Aerogeophysik sollten den Kenntnisstand bezüglich der Salzwasserintrusion und des Verlaufs von glazialen Rinnen in diesem Gebiet verbessern helfen und in eine Grundwassermodellierung für das gesamte Messgebiet einfließen (Kessels et al., 2001).

Das hierfür eingesetzte Hubschrauber-Messsystem der BGR ermöglicht die gleichzeitige Durchführung elektromagnetischer, magnetischer und radiometrischer Messungen. Während die geologischen Strukturen an der Erdoberfläche durch die Ergebnisse der Radiometrie und die in größerer Tiefe (>> 100m) durch die Magnetik abgebildet werden, liefert die Elektromagnetik in diesem Gebiet vielfältige Informationen über die Hydrogeologie und Geologie von der Erdoberfläche bis in etwa 150 m Tiefe. Eine Kurzbeschreibung des Messsystems und der AEM-Auswertung ist in diesem Band bei Siemon (2002) zu finden.

Aus der Verteilung des spezifischen Widerstandes ließen sich Informationen über die Lithologie im gesamten Messgebiet gewinnen. Insbesondere konnte der Verlauf von Rinnenstrukturen kartiert werden (siehe Abb.). Zu den wesentlichen hydrogeologischen Ergebnissen zählen die Kartierung des Grundwasserspiegels, die Bestimmung der Salz-/Süßwassergrenze bis in etwa 80 m Tiefe, die Kartierung der Salzwasserintrusion von der Nordsee bis 10 km landeinwärts und die Erfassung von Süßwasseraustritten im Watt (Siemon et al., 2001).

Literatur

Kessels, W., Fulda, C., Binot, F., Dörhöfer, G. & Fritz, J. (2001): Monitoring and modeling in the Coastal Aquifer Test Field (CAT-Field) between Bremerhaven and Cuxhaven in the northern part of Germany. – In: Proceedings of SWICA-M³, Essaouira, Morocco.

Siemon, B. (2002): Aeroelektromagnetische Erfassung von Salzwasseraufstiegszonen. – Vortragszusammenfassung, 62. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft in Hannover.

Siemon, B., Sengpiel, K.-P., Rehli, H.-J., Röttger, B. & Eberle, D. (2001): Identification of saltwater intrusions and coastal aquifers using the BGR helicopter-borne geophysical system. – In: Proceedings of SWICA-M³, Essaouira, Morocco.

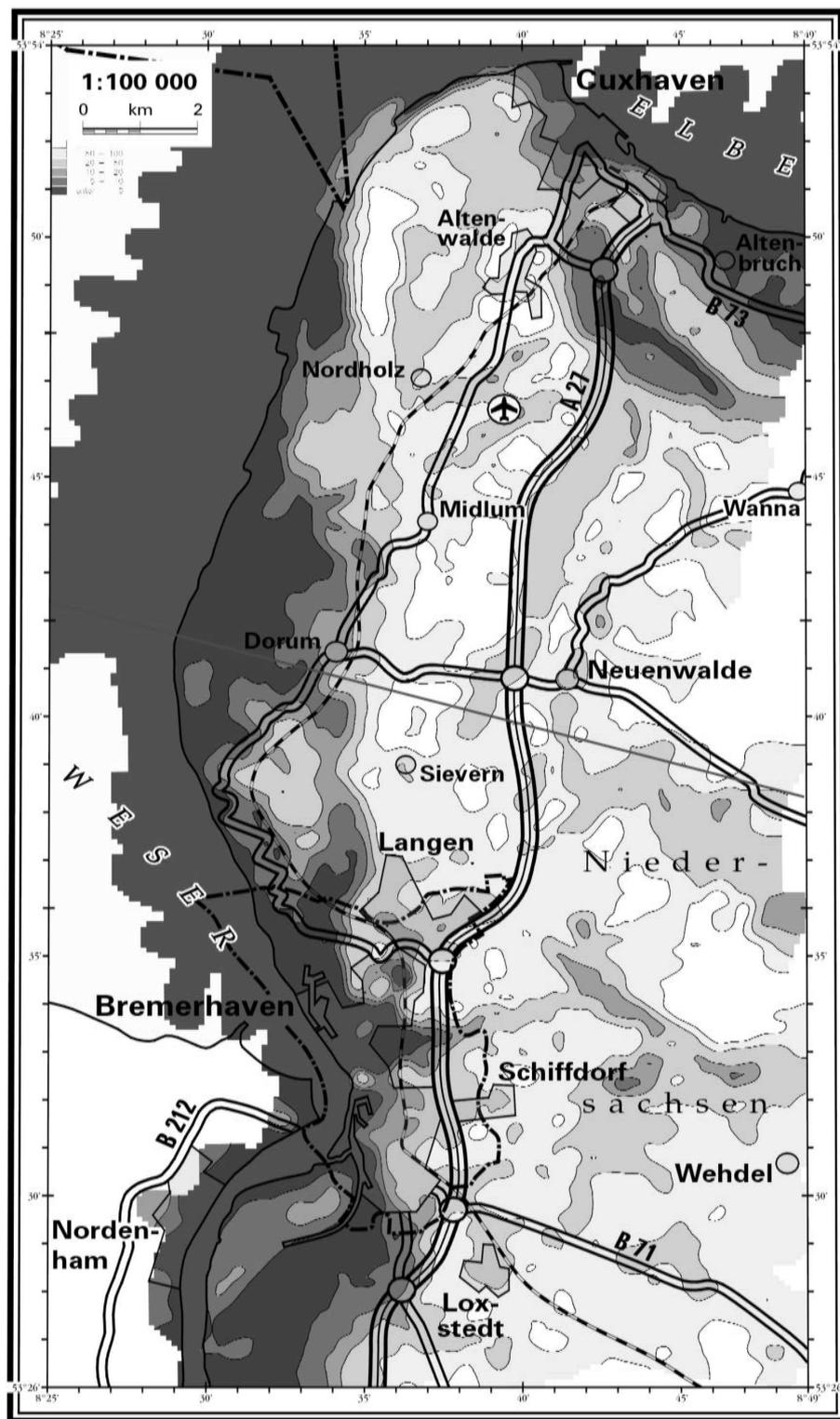


Abb.:

Karte des scheinbaren spezifischen Widerstandes r_a zur Frequenz $f = 8,6$ kHz. Die Grenze der beiden Messgebiete Cuxhaven (oben) und Bremerhaven (unten) ist durch eine WNW-ESE verlaufende Linie südlich von Dorum und Neuenwalde gekennzeichnet. Auffallend ist die Übereinstimmung der r_a -Werte an dieser Grenze der unabhängig voneinander erstellten r_a -Karten. Salzwasser (Elbe- und Wesermündung, Watt), Salzwasserintrusion (im Westen und Nordosten) und oberflächennahe Tonablagerungen (wie z. B. östlich von Altenwalde) erscheinen sehr dunkel ($r_a < 10$ Wm), Süßwasser erfüllte Sande hell ($r_a > 50$ Wm). Die Bremerhaven- Cuxhavener Rinne (im Nordteil

östlich der A27) und die Ränder der Oxstedt Rinne (westlich von Altenwalde) wie auch der unterirdische Süßwasseraustritt ins Watt (im Nordwesten) sind durch mittlere r_a -Werte (20-50 Wm) belegt.

Haas, C. (Bremerhaven), Edeler, H., and Schürmann, M. (Braunschweig), Lobach, J. (Toronto), Sengpiel, K.-P. (Consultant)
chaas@AWI-Bremerhaven.de

First operation of AWI HEM-bird for sea-ice thickness sounding

A new, extremely small helicopter-borne frequency-domain electromagnetic induction sensor (HEM bird) has been developed by Alfred-Wegener-Institute (AWI), Aerodata Systems GmbH, Ferra Dynamics Inc., and K.-P. Sengpiel for extensive surveys of sea-ice thickness. In the summer of 2001 it has been successfully operated for the first time from the German research icebreaker Polarstern over sea ice in the central Arctic. This paper describes the system and shows some results of the first deployment.



Figure 1: Operation of AWI HEM bird over Arctic sea ice

In the first phase of development, the bird is operated by helicopters based on icebreakers taking-off and landing from small helicopter-decks. Therefore, certain size and weight limitations had to be addressed during system design. The main parameters of the two-frequency system are summarized in the table below.

Table 1: Main characteristics of AWI frequency-domain HEM bird.

Length	3.4 m
Weight	103 kg
Frequency	3.68 kHz (f1) 112 kHz (f2)
Coil separation	2.77 m (f1) 2.05 m (f2)
Sampling frequency	10 Hz (100 Hz for laser altimeter)
Towing cable length	20 m
Operation speed	60-80 knots (30-40 m/s)
Operation altitude	10-15 m above ice surface

The bird shell with towing interface and tail unit is mechanically separated from a rigid tray inside the bird, carrying all coils and electronics. This gives the freedom to optimize design for best aerodynamic behavior and to reduce noise and drift for the coil system at the same time, both responsible for the overall performance of the small instrument.

As traditional HEM systems, the AWI bird consists of four coils per frequency, i.e. transmitting, receiving, bucking and calibration coils. All coils are rectangular, to take full advantage of the small space available and to enable exact calculation of magnetic flux through the coils.

A laser altimeter to measure bird altitude and a standard GPS system add to the EM components in the bird. The laser data are shown in real-time on an analog display in the cockpit as a navigational aid to the pilot, enabling to maintain bird heights of 10 to 15 m for profile lengths of 20 km without any problems.

Signal generation, acquisition, and processing are performed digitally within the bird, by means of a Windows-based PC. The bird computer is completely controllable through an Ethernet radio link from the main notebook computer operated in the helicopter. This notebook also stores the data in ASCII files. The fully digital system as well as the radio data transmission reduce noise to an absolute minimum. Thus, the 20 m long towing cable only serves as a power transmission line for the 350 W, 150 VDC supply which is transformed from the helicopter 28 V generator. This design actually makes the system completely platform-independent, enabling operation from different helicopters as well.

Take-off and landing proved to be unproblematic from the 15 by 15 m helicopter deck of RV Polarstern. Profiles were flown along equal-sided triangles, with 20 km long legs. While bird height on the legs was 10 to 15 m, heights of >50 m were chosen for the turns between legs. During those high altitude sections where the conductive ocean was no more visible to the system, nulling as well as phasing and calibration procedures were carried out with the internal calibration coils.

The paper addresses noise and drift properties of the system, which are shown to be sufficiently low to enable ice thickness to be determined with an accuracy of about 0.1 m. The EM response of the system depends on the bird height above the water surface under the ice. We will show examples of ice thickness profiles obtained by subtracting laser and EM derived distances to the water and ice surfaces. The half-space inversion of the measured secondary field strength (ppm's) into bird altitude above the conductive sea water is fairly simple, as en-route traverses of open water leads between ice floes provide extra calibration possibilities.

Overall, the system accuracy was evaluated by means of comparing coincident airborne and ground- or ship-based ice thickness profiles, as well as by comparing the general ice thickness distribution of the Transpolar Drift. In summary, operation of the HEM bird could clearly resolve all main thickness classes represented in the validation data sets, i.e. open water (thickness zero), first-year (1.2–1.5 m), and multiyear ice (2 m), see Figure 2.

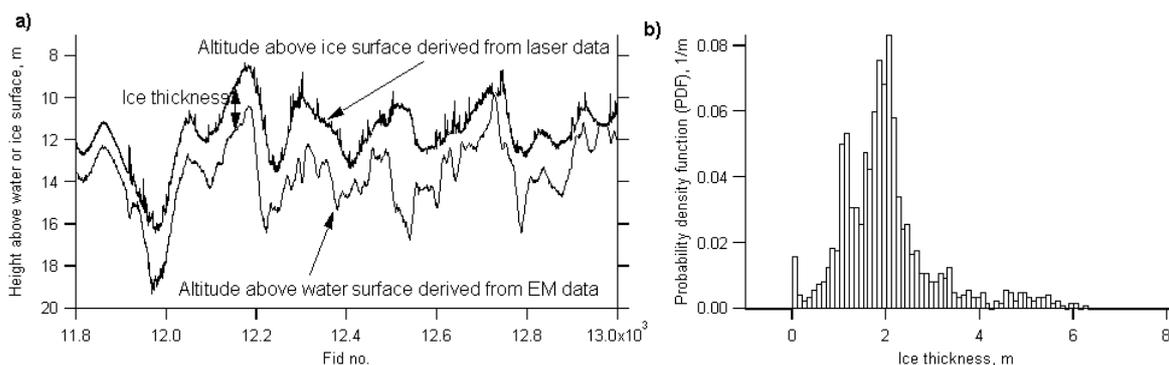


Figure 2: a) 6 km long profile of bird height above ice and sea-water surface (note that changes in bird altitude are generating the low frequency variations). b) Corresponding thickness distribution.

Jegen, M., Tarits, P. (Universite de Bretagne Occ., France), Edwards, N. (University of Toronto, Canada)

On Marine Natural Source Electromagnetics for 2D and 3D Earth Models

The marine and land magnetotelluric methods (MT) use the same natural sources and similar measuring techniques. However, there are some fundamental differences in the physics of the transfer functions which go beyond the trivial fact that the ocean layer in marine MT attenuates high frequency signals.

In an earlier paper we showed that the field which contains information about the subsurface changes from the electric field in the land case to the magnetic field in the marine case. In a 1D earth, this swap in information content is silent as the transfer function values measured are identical for both applications. However, for a 2D and 3D earth, the marine and land MT transfer functions can be quite different. We will look at the transfer functions analytically and numerically for the two cases. We show that the lateral extent of the anomalous signal as well as the sensitivity to the anomaly with depth is different and offer an explanation in terms of physics.

Other interesting effects occur when the ocean layer has not a uniform but varying thickness, i.e. the seafloor has a varying topography. We will show that topography causes a bias in the seafloor fields which could be misinterpreted as a deeper anomaly. The topographic effect can be simulated as a system of equivalent currents. Such currents can be included into the data interpretation process and a first order correction for the topographic effect can be obtained.

Jegen, M., Tarits, P. (Universite de Bretagne Occ., France), Edwards, N. (University of Toronto, Canada)

Results of Natural Source EM Experiments on Mid-Ocean Ridges

On mid-ocean ridges, as adjacent plates move apart, the mantle material rises to fill the void created. During its ascent the solidus of the material is crossed and melting occurs. The melt itself is eventually emplaced at the ridge axis producing new oceanic crust. The understanding of the flow of the solid and molten material is hampered by the lack of knowledge of vital model parameters such as the connectivity of the partial melt. Connectivity is related to the permeability in the upwelling region. It therefore controls the migration pattern of the buoyant melt, the flow of the solid phase material, and the mantle upwelling mechanism.

Changes in the geometry of the distribution of melt in the solid material have a large impact on the electrical conductivity. Therefore natural source EM data have been measured on several mid-ocean ridges. I will present interpretations of EM data we measured as part of the Canadian Ridge Experiment on the Juan de Fuca Ridge system and of data that were collected during the MELT campaign on the East Pacific Rise.

Sens-Schönfelder, C. (Leipzig), Einarsson, P. (Reykjavík)

pge97cec@studserv.uni-leipzig.de

Die Verteilung von b – Werten in der Südisländischen Seismizitätszone

Die zwei Erdbeben mit Magnituden um 6,5 (Mw) die im Süden Islands am 17. und 21. Juni 2000 auftraten, waren von Oberflächenverwerfungen und starker Nachbebenaktivität begleitet. Aus der Magnituden – Häufigkeitsverteilung werden die b – Werte bestimmt und deren räumliche Verteilung im Gebiet der Südisländischen Seismizitätszone (SISZ) sowie in Vertikalschnitten durch die Herde der beiden Beben dargestellt.

b – Werte im Bereich von 0,7 bis 1,4 treten in verschiedenen Bereichen der SISZ und zwischen 0,9 und 1,6 in den Vertikalschnitten auf. In den Umgebungen der beiden Verwerfungen zeigen sich ähnliche Verteilungen. Die Werte verändern sich in den zentralen und südlichen Bereichen beim Überqueren der Verwerfungen von hohen Werten im Osten zu niedrigeren Werten im Westen. In anbetracht der speziellen als "bookshelf faulting" bekannten Mechanik der SISZ (die sinistrale E-W Plattenbewegung wird durch dextrale Verschiebung auf mehreren N-S verlaufenden Verwerfungen aufgenommen) könnte dieses Merkmal der b – Wert Verteilung mit der Spannungssituation korreliert werden. Auf den Vertikalschnitten existieren Regionen mit hohen b – Werten in den zentralen Bereichen der Nachbebenzonen unterhalb der Hypozentren die eine Verbindung zu den Gebieten mit hohen Verschiebungsraten suggerieren.

Ferner wird der Effekt von systematischen magnitudenabhängigen Lokalisierungsfehlern auf die b – Wert Verteilung untersucht und gezeigt, dass ein Teil der beobachteten b – Wert Verteilung durch solche künstlichen Effekte erzeugt werden kann.

Eisenblätter, J. (Ober-Mörlen), Spies, T. (Hannover), Manthei, G. (Ober-Mörlen)

GmuGmbH@t-online.de

Thomas.Spies@bgr.de

Statistische Analyse zweier Cluster der akustischen Emission in einem Salzbergwerk

Seit 1995 wird ein größerer Bereich mit einem Volumen von ca. 100 m ´ 150 m ´ 100 m in einem Salzbergwerk mit Messungen der akustischen Emission überwacht. Im Vergleich zu den häufiger zur Bergwerksüberwachung herangezogenen mikroseismischen Messungen werden hierbei relativ hohe Frequenzen im Bereich zwischen wenigen kHz und 100 kHz benutzt, mit dem Vorteil größerer Empfindlichkeit auch für relativ schwache Ereignisse. Die zahlreichen Ereignisse der Mikrorissbildung werden in situ geortet, zur Charakterisierung ihrer Größe wird eine 'Magnitude' bestimmt. An einer Grenzfläche zwischen Steinsalz und Hauptanhydrit sind zwei große Cluster mit jeweils mehreren hundert Ereignissen gefunden worden, die zwar sehr große Ähnlichkeit im äußeren Erscheinungsbild, aber deutlich unterschiedliches Zeitverhalten aufweisen: Während Cluster I nur in einem Zeitraum von wenigen Tagen aktiv war, treten im Bereich des anderen Clusters die Ereignisse über den gesamten Überwachungszeitraum von Anfang 1995 bis heute verteilt auf.

Die zur Untersuchung der Dimension (Fläche oder nicht?), der räumlichen Lage sowie der zeitlichen und räumlichen Korrelation der Ereignisse herangezogenen statistischen Methoden werden am Beispiel der beiden Cluster beschrieben. Zur Detailanalyse werden mehrere Verfahren, nämlich Drehung in eine extreme Lage, Angabe der fraktalen Dimension, Darstellung der Orientierung der Abstandsvektoren zwischen den Ereignissen und Feststellung der Korrelationslänge, angewendet. Voraussetzung ist, dass die Ereignisse hinreichend genau geortet sind. Die kombinierte Anwendung dieser Methoden auf die beiden Cluster führt zu der Aussage, dass beide Cluster im Mittel gut auf einer Fläche liegen, die aber in beiden Fällen keineswegs ideal glatt ist, sondern durchaus etwas unterschiedlich orientierte Teilflächen enthält. Die räumliche Orientierung beider Cluster ist ähnlich.

Die räumliche Lage von Cluster I an der Grenzfläche zwischen Steinsalz und Hauptanhydrit wurde durch zwei Erkundungsbohrungen nachgewiesen. Die Ähnlichkeit von Cluster II mit Cluster I hinsichtlich gesamter Erscheinung, Geometrie und räumlicher Lage macht wahrscheinlich, dass es sich bei Cluster II um einen sogar noch etwas größeren Rissbereich handelt als bei Cluster I. Im äußerem Bereich von Cluster I gehen noch Veränderungen vor sich (z.B. Aufbrechen noch vorhandener Stege), während im Innern schon größere durchgehende und deshalb mikroakustisch inaktive Rissbereiche vorliegen. Bemerkenswert scheint weiterhin die Tatsache, dass auch Cluster II räumlich und zeitlich korrelierte Ereignisse aufweist, obwohl es sich hierbei um ein Cluster handelt, dessen (hier dargestellte) Ereignisse aus einem langen Zeitraum, nämlich aus 1,5 Jahren, stammen. Die Erklärung hierfür sind die zahlreichen Teilcluster mit kurzer Zeitdauer, die zu diesem Cluster gehören. Die gefundene Korrelationslänge ist aber, wie zu erwarten, bei Cluster II mit 2,5 m deutlich geringer als die bei Cluster I festgestellten 5,5 m.

Literatur

Spies, T., Eisenblätter, J. (2001): Acoustic emission investigation of microcrack generation at geological boundaries. Engineering Geology 61 (2001), p 181 – 188.

Budzinski, D., Spies, T., Alheid, H.J., Eisenblätter, J.: Detailed investigation of fracturing at the boundary of rock salt and anhydrite using engineering geology methods and ultrasonic measurements. 62nd Annual Meeting of the Deutsche Geophysikalische Gesellschaft, March 2002, Hanover, Germany.

Eisenburger, D. (Hannover) , Gundelach, V. (Hannover)
eisenburger@bgr.de

Räumliche Auswertung von untertägigen Radarmessungen

Elektromagnetische Reflexionsmessungen (EMR) im Salz und Kristallin sind für die untertägige geologische Erkundung ein wichtiges Messverfahren. Im Vorfeld bergmännischer Arbeiten können kostengünstig und zerstörungsfrei räumliche Strukturinformationen gewonnen werden.

Da die Messungen im Vollraum erfolgen, muss für eine räumliche Auswertung neben der Laufzeit des Radarsignals auch die Richtungsinformation ermittelt werden. Zu diesem Zweck werden in Schächten und Strecken Rundum-Messungen bzw. Peilmessungen durchgeführt. In Bohrungen kann die Richtungsinformation aus einem orthogonalen Antennensystem errechnet werden das in einer Bohrlochsonde integriert ist. Die vorrangig gewählte Messfrequenz in der untertägigen Erkundung beträgt 50 MHz. Hiermit kann bei möglichst grosser Eindringtiefe eine noch ausreichende Auflösung erreicht werden. Mit EMR-Messungen können diejenigen Teilelemente reflektierender Gesteinsschichten erfasst werden die den Reflexionsbedingungen genügen. Diese sogenannten Reflektoren sind Spuren im Raum die unter Verwendung von CAD Programmen in einer dreidimensionalen Interpretation betrachtet werden müssen. Anhand einiger Beispiele werden in diesem Vortrag das Messprinzip und die räumliche Interpretation erläutert. Zur Konstruktion dreidimensionaler geologischer Modelle ist diese Methode ein wichtiges Hilfsmittel.

Lück, E. (Potsdam), Spangenberg, U., Eisenreich, M. (Potsdam)
elueck@geo.uni-potsdam.de

Geophysikalische Untersuchung am Grabhügel von Seddin

Das "König Hinze Grab" bei Seddin in der Jungmoränenlandschaft der Westprignitz gilt als die größte Anlage dieser Art im nördlichen Mitteleuropa. Mitte des 19. Jahrhunderts fanden hier große Grabungen statt, die der Gewinnung von Steinmaterial für den Chausseebau dienten. 1899 wurde während dieser Arbeiten die dezentral gelegene Grabkammer entdeckt. Die Bergung des reichen Fundmaterials führte zur Datierung des Hügels in das 8. Jahrhundert vor Christus (jüngere Bronzezeit). Der noch zu etwa $\frac{3}{4}$ erhaltene Hügel gilt heute als national bedeutendes Denkmal.

Die 100-jährige Wiederkehr der Entdeckung des Königsgrabes und die Bestrebungen nach einer Forschungs-, Schutz- und Erhaltungskonzeption haben dazu geführt, geophysikalische Methoden auf der Suche nach konstruktiven Merkmalen des Hügels, evtl. vorhandenen weiteren Grabkammern usw. einzusetzen.

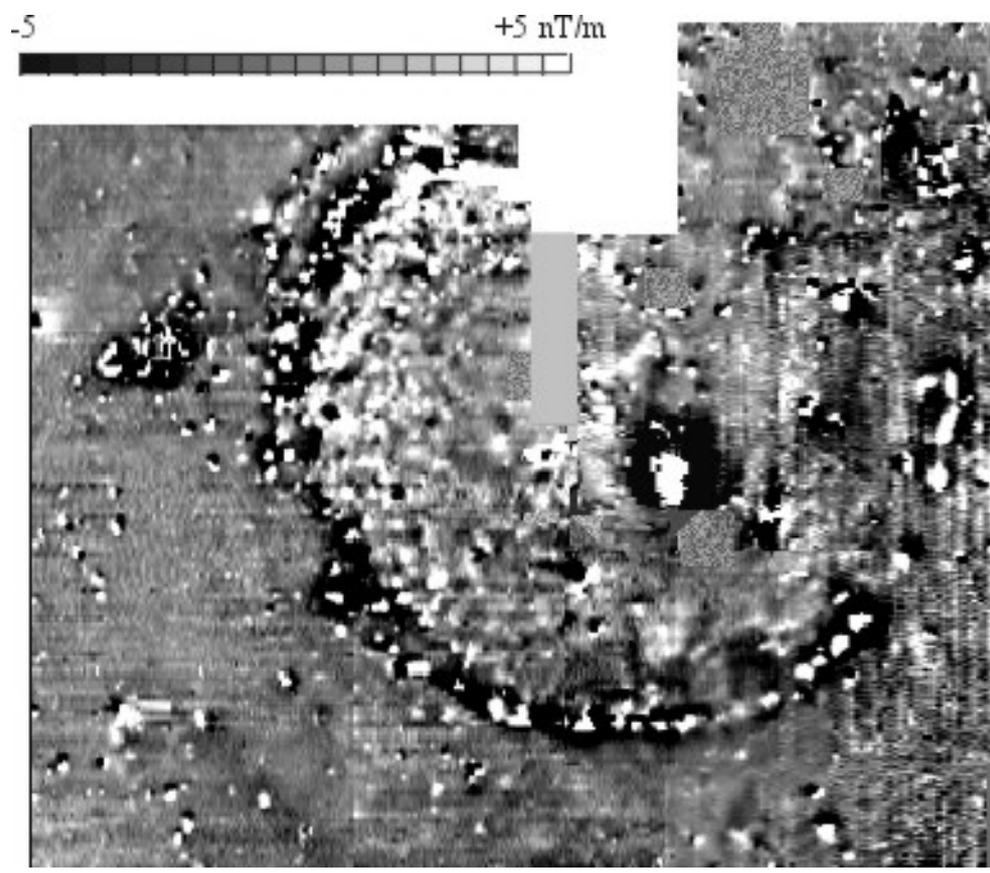
Der "Hinze Berg" stellt mit seinem rund 64 m großen Durchmesser, einer Höhe von etwa 9 m und den im Norden großräumigen Eingrabungen kein leichtes Messgebiet dar. Die Georeferenzierung der magnetischen und elektromagnetischen Daten basiert auf einer Geländeeinmessung von Th. Hauptmann. Im Vorfeld der geophysikalischen Messungen wurde von ihm die topographische Neuvermessung des Bodendenkmals durchgeführt und darauf aufbauend das Messraster im Gelände abgesteckt. Ungünstigerweise wurden einige Vermarkungen über Eisenstangen realisiert, die die geophysikalischen Messungen teilweise stören. Aus den Daten wurden in einer Nachbearbeitung die Strukturen, die bekannte Ursachen haben und in neuzeitlichen menschlichen Eingriffen begründet sind, entfernt.

Insgesamt wurde eine Fläche von 80 x 90 m mit einem Messpunktabstand von 0.25 m und einem Profilabstand von 0.5 m geomagnetisch vermessen (siehe Abbildung). Auf Grund des Hügelreliefs wurden Ost- und Westteil der Anlage mit unterschiedlichen Profilrichtungen erkundet und im Inneren der Anlage Teilabschnitte wegen zu starker Hangneigungen ausgelassen.

Die Geomagnetik erbrachte Hinweise auf den umlaufenden Steinkreis am Hügelfuß. An einigen Stellen im Osten der Anlage ist der Steinkranz magnetisch nicht erkennbar. Der heutige Eingang zu dem Königsgrab im Inneren der Anlage bildet sich auf Grund der Eisengeländers deutlich ab. Die sich in südlicher Verlängerung der Grabkammer mit geringen Amplituden abbildende Anomalie scheint keineswegs zufällig, zumal eine gewissen Symmetrie erkennbar ist, die in unbedingtem Zusammenhang mit der Grabkammer gesehen werden muss. Die Geophysik ist allerdings ohne Archäologen nicht in der Lage, die Ursache für diese Struktur zu klären. Ob es sich um das "Durchscheinen" der Grabkammer, um Spuren von Suchgrabungen oder um archäologisch relevante Strukturen handelt, ist bis heute noch nicht geklärt.

Die im Westteil begonnenen elektromagnetischen Untersuchungen wurden eingestellt. Eine Leitfähigkeitskartierung des oberflächennahen Bereiches mit Hilfe eines EM38 von GEONICS auf einer Fläche von 50 x 50 m haben keine zusätzlichen Strukturinformationen geliefert, wohl aber die Grenzen des Gerätes an einem Hang gezeigt.

Der Einsatz der Geoelektrik gestaltet sich in dem Gelände ebenfalls als schwierig, da der Grabhügel heute dicht bewachsen ist. Inwieweit die sich in Pseudosektionen abbildenden hochohmigen Gebiete Austrocknungszonen in der Umgebung von Baumwurzeln oder Steinstrukturen zuzuordnen sind, ist schwer zu klären. Auffallend ist am Fuße des Hügels außerhalb des Steinkranzes ein niederohmiges Gebiet, welches bis in Tiefen von etwa 2.5 m verfolgt wurde. Es bleibt zu klären, ob hier Hinweise auf einen früheren Graben um das Hügelgrab vorliegen.



Geomagnetisches Abbild des Hügelgrabes bei Seddin

Lück, E., Eisenreich, M. (Potsdam)

elueck@geo.uni-potsdam.de

Der Einsatz geophysikalischer Methoden in der Landwirtschaft

Die Philosophie der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung geht davon aus, dass nur dort ein landwirtschaftlicher Arbeitgang durchgeführt und Material eingesetzt wird, wo es sich lohnt. Gesät wird nur soviel, wie der Standort Ertrag bringen kann; gedüngt wird nur dort, wo die Pflanzen die Nährstoffe aufnehmen können und die Bodenbearbeitung soll nur dort erfolgen, wo sie notwendig ist. Für die Umsetzung dieses Konzeptes ist u.a. das Wissen über die räumliche Verteilung entsprechender Bodeneigenschaften notwendig. Die konventionellen Methoden zur Erfassung der Heterogenitätsverteilungen sind zeitaufwendig, zu teuer und nicht in allen Merkmalen befriedigend einsetzbar. Momentan werden in der Landwirtschaft als wichtigste Datengrundlagen die Reichsbodenschätzung, Luftbilder und Ertragskarten, Geländemodelle sowie punktuell gewonnene Bodenanalysen verwendet. Mehr und mehr werden zur Beschreibung der Böden Karten der elektrischen Leitfähigkeiten hinzugezogen.

In einigen landwirtschaftlich orientierten Projekten wird die Methode bereits im Betriebsmaßstab eingesetzt. Um den Vergleich mit anderen Informationsebenen der Teilflächenspezifik herstellen zu können, bieten sich hierbei insbesondere Betriebe an, die mit dieser Bewirtschaftungsform bereits begonnen haben und somit über mehrjährige Ertragskartierungen und Bodenanalysen verfügen. Unterschiede in den Bodenstrukturen (Bodenarten, räumliche Verteilungsmuster, Schichtungsverhältnisse, Stärke in der Differenzierung der Bodeneigenschaften) erfordern die Erprobung der Verfahren unter verschiedenen Bedingungen. So sind z.B. im Oderbruch deutliche Differenzierungen in Form von reinen Sandstrukturen eingebettet in stark tonige Böden zu finden, in Mecklenburg-Vorpommern dagegen sind die Unterschiede geringer – sandige Lehme und lehmige Sande lösen sich auf kleinsten Flächen ab.

Die elektrische Leitfähigkeit landwirtschaftlich genutzter Böden wird im wesentlichen durch die Bodenart in Form der Korngrößenzusammensetzung bestimmt. Hinzu kommt der Einfluss der organischen Bodensubstanz und der des Wassergehaltes. Im geringen Maße haben auch Bodenverdichtungen und Düngemittelkonzentrationen einen Einfluss. Da die elektrischen Kenngrößen von mehreren Faktoren abhängen, werden an einigen ausgewählten Punkten Bodenproben gezogen und im Labor hinsichtlich Textur (Korngrößenzusammensetzung), Anteil an organischer Bodensubstanz (OBS), Bodenfeuchte und Nährstoffgehalt untersucht.

Während im Oderbruch die Differenzierungen in den unterschiedlichen Bodeneigenschaften sich immer wieder auf Unterschiede in der Bodenart zurückführen lassen, müssen in Mecklenburg-Vorpommern die Gehalte an organischer Bodensubstanz eingerechnet werden. Für Norddeutschland wurden teilweise nur ungenügende Korrelationen zwischen der elektrischen Leitfähigkeit der Böden und der Textur gefunden, eine Einbeziehung der OBS in Form der Kationen-Austausch-Kapazität verbessert die Korrelationen deutlich.

Die elektrische Leitfähigkeitskartierung wird momentan größtenteils über eine elektromagnetisch arbeitende Technik, das sogenannte EM38 von GEONICS realisiert. Dieses Gerät arbeitet mit einer festen Spulenkonfiguration und einer konstanten Frequenz, so dass die Eindringtiefe kaum variiert werden kann. Sie liegt für eine Kartierung im vertikalen Dipolmodus bei etwa 1.5 m und für den horizontalen Dipolmodus bei etwa 0.75 m. Dies ist auch in etwa der Tiefenbereich, der bei landwirtschaftlichen Fragestellungen von Interesse ist. Häufig finden wir für den oberflächennahen Bereich eine Schichtung vor, die entweder Sand über Lehm oder Lehm über Sand enthält. Es gibt aber auch Beispiele, für die die Schichtungsverhältnisse weit komplizierter sind. Der Vergleich der bis etwa 1.5 m Tiefe reichenden Leitfähigkeitskarten mit den bis 1m Tiefe reichenden Daten der Reichsbodenschätzung führt deshalb für komplizierte Schichtungen teilweise auch zu Widersprüchen. In den bisher durchgeführten Vergleichen von Reichsbodenschätzung und Leitfähigkeitskartierungen konnte gezeigt werden, dass sich die Methoden sehr gut ergänzen.

Die Abbildung zeigt beispielhaft rechts das Ergebnis einer Leitfähigkeitskartierung und links im Vergleich dazu die digitalisierte Karte der Reichsbodenschätzung. Während die Leitfähigkeitskartierungen mit Profilabständen von 18 m und Messpunktabständen von 4-5 m realisiert werden, liegt der Bodenschätzung ein Raster von 50 x 50m zugrunde. Dies erklärt die Unterschiede in der räumlichen Genauigkeit erfasster Muster. Häufig korrelieren geringe Ackerzahlen (leichte Böden) mit Regionen geringer Leitfähigkeiten (sandige Strukturen), Gebiete mit hohen

Ackerzahlen lassen sich mit Flächen höherer Leitfähigkeiten verknüpfen.

Es handelt sich bei diesem Beispielschlag um eine Fläche in Mecklenburg-Vorpommern. Die Dynamik in den Leitfähigkeitswerten von insgesamt 15 mS/m deutet auf nur geringe Unterschiede in den Tongehalten hin. Das Vorhandensein von sandigen und tonreichen Böden auf einer Fläche bewirkt, dass Leitfähigkeitsunterschiede von etwa 50 mS/m beobachtet werden.

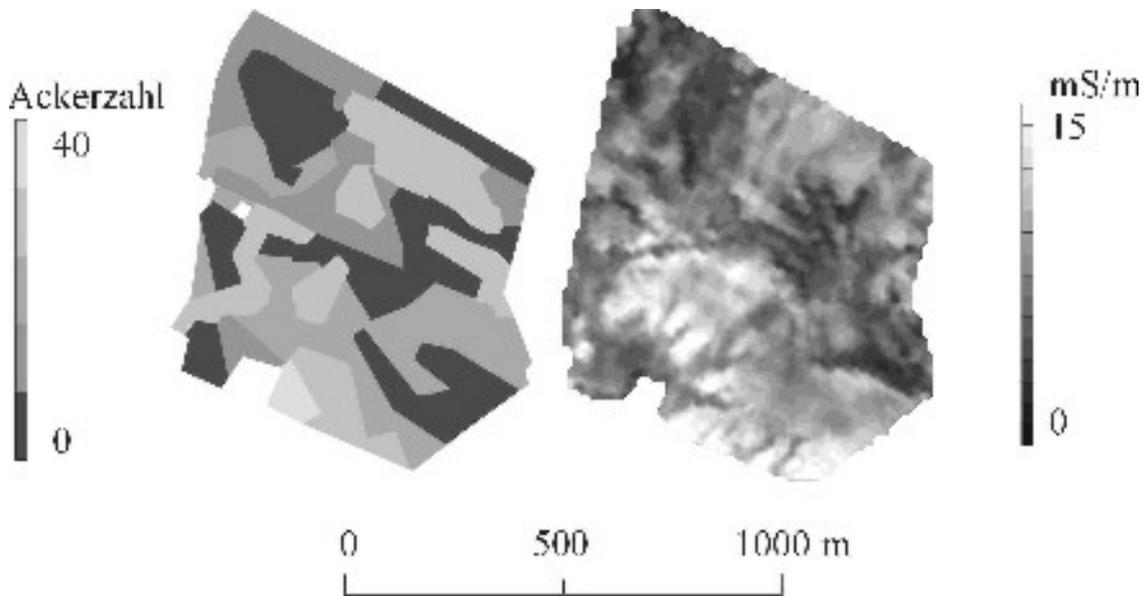


Abb. 1 Vergleich von Reichsbodenschätzung und heute eingesetzten elektromagnetischen Leitfähigkeitskartierungen zur Erkennung der Heterogenitätsverteilung der Böden an einem Beispielschlag in Mecklenburg-Vorpommern

Maercklin, N., Haberland, Ch., Ryberg, T., Weber, M. (Potsdam), Qabbani, I. (Amman), El-Kelani, R. (Nablus), Scherbaum, F. (Potsdam), DESERT Gruppe

nils@gfz-potsdam.de

Oberflächennahe 3-D Geschwindigkeitsstruktur im Wadi Arava, Jordanien

Mit einer Länge von mehr als 1100 km gehört die *Dead Sea Rift Transform* (DST) zu den größten Scherzonen der Erde. Sie verläuft vom Golf von Aqaba am Roten Meer über das Tote Meer bis in die Süd-Türkei und hat in den vergangenen 18 Ma eine linkslaterale Verschiebung von ca. 105 km erfahren. Eine der wichtigsten aktiven Störungen der DST ist die Arava-Störung (*Wadi Arava Fault*, WAF) südlich des Toten Meeres. Ergänzend zu großräumigen seismischen 2-D Weit- und Steilwinkelmessungen in dieser Region sind im Rahmen des Projekts DESERT 2000 im näheren Umfeld um die Arava-Störung (WAF) mehrere kleinskalige, flächenhafte seismische Experimente durchgeführt worden (*Controlled Source Array*, CSA). Diese Experimente sollen die seismische Geschwindigkeitsstruktur in diesem Gebiet und die dreidimensionale Geometrie der Störung liefern. Dazu werden verschiedene Wellentypen betrachtet, wie beispielsweise direkte, refraktierte und im Bereich der Störung reflektierte Wellen, sowie geführte Wellen (*fault zone guided waves*). Im April 2000 wurden 53 Schüsse mit Ladungen zwischen 45 und 60 kg auf drei jeweils etwa 10 km langen Profilen mit einem Geophonabstand von 100 m registriert. Die Profile waren ungefähr senkrecht zur WAF angeordnet und hatten einen Abstand von 4–5 km. Zur detaillierten Untersuchung späterer Phasen dienten zusätzlich 9 Arrays und 2 Kurzprofile bestehend aus kurzperiodischen und breitbandigen Dreikomponenten-Seismometern. Aus P-Ersteinsätzen konnte mittels tomographischer Inversion ein dreidimensionales Geschwindigkeitsmodell bestimmt werden. Der gut aufgelöste Bereich erreicht etwa 12 mal 12 km und eine Tiefe von rund 3 km im Zentrum des Modells. Auffällig ist ein starker Geschwindigkeitskontrast an der WAF mit höheren Geschwindigkeiten östlich der Störung. Im Norden zeigt sich ein komplizierteres Bild, das mit teilweise schon bekannten geologischen Strukturen korreliert. Für ein detailliertes Abbild der WAF in Oberflächennähe sind im Oktober 2001 jeweils rund 50 Schüsse (300 g) auf acht 1 km langen Profilen senkrecht zur WAF mit einem Geophonabstand von 5 m aufgenommen worden. Die gewonnenen Daten werden reflexionsseismisch und mittels zweidimensionaler Tomographie ausgewertet. Von diesem Teil des Experiments werden erste CMP-Stapelsektionen und Ergebnisse der Inversion für P-Geschwindigkeiten gezeigt.

Ryberg, T. (Potsdam), Garfunkel, Z. (Jerusalem), Qabbani, I. (Amman), El-Kelani, R. (Nablus), DESERT-Team, G.

trond@gfz-potsdam.de

Shallow, high-resolution velocity structure across the Dead Sea transform fault Dead Sea rift valley, from Vibroseis data - project DESERT 2000

To study the shallowest part of the crust spanning the Dead Sea transform fault (DSF), in the Dead Sea rift valley, tomographic inversion techniques were applied to first-arrival travel times of direct P-waves generated by vibrating trucks. The line was 100 km long, was oriented approximately perpendicular to the DSF (WNW-ESE), and was centered on the DSF. Vibroseis spread length was 18 km. Travel times (>250,000) were picked manually for 1700 shots and 180 receivers. The 2-D version of FAST by Zelt and Bartov (1998) was used for the tomographic inversion. Since the inversion is non-unique, extensive testing of model and inversion parameters was carried out. By varying model parameters (block size and shape) and inversion parameters (number of iterations, vertical and horizontal smoothing parameters, choice of reasonable starting models), a stable final velocity model was found. Checkerboard tests indicate that P-wave velocity structure is well resolved down! to a depth of several kilometers. A 3D version of the tomographic inversion resulted in a similar velocity structure.

The final velocity model shows features that correlate with surface geology and also some buried features. The Dead Sea rift valley is approximately 27 km wide, bounded by inward-facing normal faults at kilometers 40 and 67 on our line. The DSF is located in the center of the rift valley, at kilometer 54, and the east-dipping, normal Zofar fault (ZF) is located on the west side of the valley at kilometer 42. Iso-velocity lines are seen to do the following from west to east across the rift valley. At the western boundary fault, lines <2.5 km/s, corresponding to young sediments, step downward ~ 200-300 m. At the ZF, lines <3.5 km/s step downward 1 km along a gently east-dipping ramp. Given this iso-velocity line configuration, the block between the western bounding fault and the ZF may be a slump block. At the DSF, iso-velocity lines <2.5 km/s step downward ~ 100 meters on the edge of the rift valley, but deeper lines, <3.5 km/s, step upward ~ 100 m, suggesting that there are different formation thicknesses on either side of this fault. Deeper lines yet, >5 km/s, probably corresponding to "basement" (Precambrian rocks), step upward more than 1 km across the DSF. A few km east of the DSF, all iso-velocity lines (>5 km/s) step down ~ 1 km into a buried basin not expressed at the surface. Near the eastern bounding fault, all iso-velocity lines step upward 2-3 km in 2 steps, with one step buried a few km east of the fault and one step at the fault. The buried step looks like a buried slump block along the eastern bounding fault. In summary, a preliminary interpretation of the shallow structure of the rift valley includes slump blocks along the eastern and western bounding normal faults and differing geological structure across the DSF, with a buried basement high on the east side.

Endrun, B., Harjes, H.-P. (Ruhr-Universität Bochum)

endrun@geophysik.ruhr-uni-bochum.de

Receiver Functions für Kreta und Gavdos aus kurzperiodischen Daten

Die Ergebnisse von Receiver Function Analysen mit mehreren temporären Messnetzen in Westkreta (s.a. Knapmeyer, 2000) und Zentralkreta sowie auf der südlich gelegenen griechischen Insel Gavdos (s.a. Endrun et al., 2000) werden hier erstmals synoptisch vorgestellt. Verwendet werden teleseismische Daten aus Beobachtungszeiträumen von bis zu einem Jahr, die mit diesen kurzperiodischen Instrumenten (Eigenperiode 1 s) registriert wurden. Eine Interpretation erfolgt hauptsächlich durch eine räumliche Darstellung des Verlaufs der Lithosphärendiskontinuitäten.

Diese Daten können nun direkt mit den bei Untersuchungen an den in der südlichen Ägäis installierten GEOFON-Breitbandstationen (ausgerüstet mit STS-2 Seismometern, Eigenperiode 120 s) erzielten Resultaten verglichen werden (s.a. Li et al., 2001). Es zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung in den Ergebnissen, wobei bemerkenswert ist, dass sich Resultate in diesem Rahmen auch mit temporären, kurzperiodischen Installationen erzielen lassen.

Auch ein Vergleich mit den aus Erdbebenlokalisierungen (vgl. Rische, 2002) bzw. aktiver Seismik (vgl. Bohnhoff, 2000) gewonnenen Geschwindigkeitsmodellen ist über synthetische Receiver Functions möglich. Hierbei zeigen sich auch Modifikationen, die benötigt werden, um die gemessenen Receiver Functions nachzubilden.

Enns, A., Schmeling, H., Tetzlaff, M. (Frankfurt/M)

enns@geophysik.uni-frankfurt.de

Thermische Struktur von Subduktionszonen für variable thermodynamische Parameter und tiefe Erdbeben

Das Konzept des thermischen Parameters von McKenzie (1969) wird oft zur Beschreibung der thermischen Struktur der abtauchenden tektonischen Platten herangezogen. In diesem Konzept wird ein Näherungsausdruck für die maximale Eindringtiefe von Isothermen gegeben. Es wird versucht, einen Zusammenhang zwischen dem thermischen Parameter, der maximalen Eindringtiefe von Isothermen und der maximalen Erdbeben tiefe festzustellen. Es stellt sich hierbei die Frage, inwieweit der Näherungsausdruck auf realistische Subduktionszonen anwendbar ist.

Es werden daher einige realistischere thermische Modelle für die abtauchenden Platten als bei McKenzie vorgestellt. Die Modelle sind mit dem Programm FDCON von Schmeling berechnet. In den Modellen ist der Abtauchwinkel und die Abtauchgeschwindigkeit vorgegeben, die Strömung im umgebenden Mantel wird konvektiv berechnet. Als initiales Temperaturprofil ist in der Lithosphäre die Errorfunktion nach Turcotte und Schubert (1982) und im Mantel ein adiabatischer Temperaturgradient mit den Temperatursprüngen an den Phasengrenzen angenommen. Die Modelle sind für konstante und für variable Wärmeleitfähigkeit nach Hofmeister (1999) und Wärmekapazität nach Navrotsky (1995) gerechnet. Es sind einige Parameter wie Dicke der abtauchenden und überschiebenden Lithosphäre, Abtauchwinkel und -geschwindigkeit variiert worden, von denen die maximale Eindringtiefe der Isothermen abhängt.

Bei niedrigen Abtauchgeschwindigkeiten und für Tiefen kleiner als 600 km hat es sich gezeigt, dass bei der Annahme der variablen Wärmeleitfähigkeit k und konstanten Wärmekapazität C die Eindringtiefe der 650°C Isotherme größer war als in den Modellen mit den konstanten k und C (vgl. Hauck et. al (1999)). Bei der gleichzeitigen Variation der Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität vermindert sich dieser Effekt, und die thermischen Modelle ähneln mehr den Modellen mit den konstanten k und C .

Die Variationen eines der vier Parameter - des Abtauchwinkels, der Abtauchgeschwindigkeit, des Alters der abtauchenden und überschiebenden Lithosphären - haben, wie vom Näherungsausdruck von McKenzie vorhergesagt, annähernd lineare Zusammenhänge zwischen jeweils einer dieser Größen und den Eindringtiefen der 600°C , 650°C und 700°C Isothermen ergeben. Die Eindringtiefen werden stark von der Abtauchgeschwindigkeit und dem Alter der abtauchenden Platte beeinflusst, was McKenzie analytisch berechnet hat. Die Ergebnisse zeigen, dass die McKenzie Formel für Tiefen kleiner als 200 km nicht anwendbar ist. Ab etwa 200 km Tiefe haben die Kurven nach McKenzie unter der Berücksichtigung der Manteladiabate ähnliche Steigungen und kleinere Tiefen wie die entsprechenden Kurven in unseren Modellen, was der Effekt der überschiebenden Lithosphäre sein kann. Ein Vergleich der Tiefenlage der Isothermen mit der Erdbebenverteilung zeigt, dass die seismogene Zone nach unten etwa durch die 600°C - 650°C Isotherme begrenzt ist.

Ewald, M., Igel, H. (München), Scherbaum, F. (Potsdam), Hinzen, K.-G. (Köln)

Visco-elastic modeling of earthquake ground motion in the Cologne Basin

Amplification of earthquake ground motion by sedimentary basins is an important issue in seismic hazard analysis. Knowledge about average amplification and intrinsic variability of site response with respect to earthquake location and magnitude, local structure, rupture mechanism, etc. is needed for probabilistic seismic hazard analysis. Due to the dearth of ground-motion observations theoretical simulations may be used as a tool to address this issue. Visco-elastic finite-difference simulations in a dominant frequency range of < 1.0 Hertz are used to estimate the site response of the Cologne Basin in north-western Germany for likely earthquake scenarios. This basin was chosen as study area because (1) it is one of the regions with elevated seismic hazard in Europe, (2) we have fairly good knowledge about the tectonic and geological situation, and (3) data of recent earthquakes are available. We study the effects of near surface structure and vertical gradients compared to previously calculated simpler 3D models on the observed peak-ground velocities, amplification and waveforms. Where possible, we compare the simulation results with observed data. We examine the effects of attenuation in the soft sediments of the basin by comparing the results of visco-elastic simulations with full-elastic solutions .

Exß, J., Zürn, W. (Karlsruhe), Fischer, K. (Jena)

jan.exss@gpi.uni-karlsruhe.de

Reduktion von Störsignalen langperiodischer Horizontalseismogramme mit Hilfe des lokalen Barometerdruckes

Der Störpegel der Horizontalkomponenten moderner Breitbandstationen liegt im Allgemeinen weit über dem der vertikalen Aufnehmer und dem Low Noise Model von Peterson. Seit langem werden Neigungen durch Luftdruckschwankungen dafür verantwortlich gemacht, vor allem im Frequenzbereich unterhalb von 10 mHz. Um das Signal-Rausch-Verhältnis weiter verbessern zu können, müssen lokale meteorologische Einflüsse auf die Geräte und auf die Station selbst verstärkt untersucht und verstanden werden. Korrelationen des seismischen Rauschens mit aus lokalem Luftdruckmessungen an Hand physikalischer Vorstellungen hergeleiteten Seismogrammen und numerische Modellierungen sind Gegenstand eines Forschungsprojektes der Universitäten Jena und Karlsruhe in Zusammenarbeit mit dem Seismologischen Zentralobservatorium Gräfenberg (SZGRF). Dabei werden Seismometer- und meteorologische Aufzeichnungen der Observatorien Moxa bei Jena (MOX) und Schiltach im Schwarzwald (BFO) herangezogen. Mit einfachen Modellen der atmosphärischen Einwirkung auf Station bzw. Sockel lassen sich Varianzreduktionen des Rauschens von 50% und mehr erreichen. Wir berichten über die zeitliche Stabilität der Effizienz dieser Modelle an Hand langer Zeitreihen der Stationen MOX und BFO.

Fischer, K. D. (Jena), Exß, J. (Karlsruhe)

kfischer@geo.uni-jena.de

Quellen und Übertragungsmechanismen seismischen Rauschens: FEM Modelle

Registrierungen mit Breitbandseismometern liefern einen wichtigen Beitrag zur Erforschung des Erdkörpers. Die Untersuchung des seismischen Signals wird durch meteorologisch verursachtes Rauschen limitiert. Eine Hauptquelle des meteorologisch verursachten Rauschens liegt in Luftdruckschwankungen. Durch eine Identifizierung der unterschiedlichen Übertragungsmechanismen und der Entwicklung von Korrekturverfahren kann das Rauschen im Frequenzband 0,01 bis 10 mHz signifikant verringert und somit das Signal-Rausch-Verhältnis wesentlich verbessert werden. In die verschiedenen Korrekturverfahren fließen unterschiedliche Übertragungsmodelle ein. Diese Übertragungsmodelle werden durch Korrelationsanalyse basierend auf physikalischen Modellen getestet. Durch begleitende numerische Modellierungen wird ein Zusammenhang von Rauschquelle und instrumenteller Aufzeichnung über die ursächlichen physikalischen Zusammenhänge ermöglicht. Im Vordergrund stehen dabei Untersuchungen am Geodynamischen Observatorium Moxa und dem Schwarzwaldobservatorium in Schiltach (BFO) innerhalb eines Forschungsprojektes der Universitäten Jena und Karlsruhe sowie dem Seismologischen Zentralobservatorium Gräfenberg (SZGRF). Für die Untersuchungen werden Messwerte aus den Observatorien Moxa und BFO herangezogen, die arm an Umgebungsrauschen sind. Aufgrund von Korrelationsbetrachtungen mit Registrierungen von Instrumenten für eine Vielzahl geophysikalischer Parameter (Seismometer, Neigungsmesser, Gravimeter, Klima, Grundwasser, Strain) und den daraus resultierenden Separationsmöglichkeiten werden Ergebnisse erwartet, die für seismologische Stationen weltweit Relevanz haben. Die numerische Modellierung erfolgt mit der Finite-Elemente-Methode. Dabei geht es um die lokale, elastische oder thermo-elastische Deformation am Seismometerstandort. Die Ursachen solcher Deformationen liegen in Temperaturänderungen der Umgebung oder in Auflasten, die durch variierenden Luftdruck entstehen (z. B. Durchzug eines Tiefdruckgebietes). Die dreidimensionalen Modelle reichen von kleinräumigen Modellen (einzelne Instrumentenpfeiler) über mittlere Modelle (Observatorium) bis hin zu großräumigen Modellen (10 bis 20 km horizontale Ausdehnung). Das Modell des Messpfeilers dient der Untersuchung von Temperatureinflüssen auf die Deformation der Pfeileroberfläche, die sich als Neigung im Messsignal ausdrücken. Dadurch werden geodynamische Signale vorgetäuscht und fehlinterpretiert. Die Neigungssignale können dabei deutlich über dem Rauschpegel des Instrumentes liegen. Da nicht alle Störquellen vermieden werden können, ist eine Quantifizierung der auftretenden Störsignale von großer Bedeutung für die Datenanalyse. Am Beispiel des Pfeilers des supraleitenden Gravimeters GWR CD-034 im Geodynamischen Observatorium Moxa wird der Einfluss von eintretendem kaltem Grundwasser in den Spalt zwischen Fußboden und Pfeiler untersucht. Darüber hinaus erlaubt die verwendete Software (Abaqus der Firma HKS Inc.) die Berechnung von Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsmoden des Pfeilers. Das großräumige Modell mit einer lateralen Ausdehnung von 10 km mal 10 km dient zur Untersuchung des Spannungs-Deformations-Musters im Bereich des Geodynamischen Observatoriums Moxa. Dabei wird die lokale Geologie bis in eine Tiefe von 5 km und die Topografie (aus einem hochaufgelösten DGM) berücksichtigt. Im Vordergrund der Untersuchung steht die Wechselwirkung zwischen dem Wind- bzw. Luftdruckfeld und dem seismischen Rauschen an der Station. Verschiedene Übertragungsmechanismen sollen betrachtet werden. Dieses Modell liefert ferner die Deformations- und Spannungs-Randbedingungen für ein kleineres Modell des untertägigen Bereiches (Stollen und Seismometerkammer) des Observatoriums. Hier stehen die Auswirkungen der Deformation des umgebenen Gesteins auf die Deformation des Sockels (in Form von Neigungen) im Vordergrund. Zu erwartende Effekte sind zum Beispiel Hohlräumeffekte (*cavity-effect*) und Deformationen durch das Luftdruckfeld aufgrund der räumlichen Asymmetrie im Umfeld der Station (z. B. Tallage). Diese Modelle werden zunächst für das Observatorium in Moxa und später auch für das Observatorium in Schiltach erstellt. Erste Ergebnisse dieser Modellierungen zeigen zum einen, dass verschiedene Ursachen für Störungen in den Messungen ausgeschlossen werden können, zum anderen aber ursächliche Zusammenhänge zwischen Umwelteinflüssen und dem Rauschpegel der seismischen Aufzeichnungen. Somit können diese ersten Ergebnisse bereits in diesem frühen Stadium einen kleinen Beitrag zur Identifizierung von Rauschquellen liefern. Es wird davon ausgegangen, dass weitere Ergebnisse wichtige Erkenntnisse über die Übertragungsmechanismen aufzeigen.

Füllekrug, M. (Frankfurt/M.), Schlegel, K. (Katlenburg-Lindau), Fraser-Smith, A. C. (Stanford, USA)

Die Variabilität eines mittleren globalen ionosphärischen Leitfähigkeitsprofils mit der kurzwelligen solaren Strahlung

Zwölfjährige Beobachtungen der natürlichen Magnetfeldschwankungen im Frequenzbereich von 5 - 50 Hz in Arrival Heights, Antarktis, werden in mittleren Tagesspektren zusammengefasst. Die beobachteten Zentralfrequenzen der Schumannresonanzen werden nach der kurzwelligen solaren Strahlung klassifiziert, die durch die Radiostrahlung der Sonne bei 2.8 GHz in Ottawa, Kanada charakterisiert wird. Die aus den Zentralfrequenzen abgeleitete Wellenausbreitungsgeschwindigkeit weist eine Variabilität von rund 1 % zwischen ruhigen und gestörten Tagen auf. Der Anstieg der Wellenausbreitungsgeschwindigkeit an gestörten Tagen wird durch eine Absenkung der Reflektionshöhe eines mittleren globalen ionosphärischen Leitfähigkeitsprofils in der Atmosphäre um rund 2.5 km verursacht.

Faber, E. (Hannover), Moran, C. (Pasto), Poggenburg, J. (Hannover), Garcon, G. (Manizales), Teschner, M. (Hannover)

Gas-Geochemical Monitoring at the Volcano Galeras, Colombia

Processes and reactions in volcanoes are up to now only rarely understood. The current knowledge is insufficient to develop methods to estimate on future volcanic activities. To improve the understanding for the volcanic processes a multi-parameter station has been installed on the volcano GALERAS in co-operation between the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) and the Instituto de Investigación en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS). The station monitors various seismic, geoelectric, aerophotographic- and gas-geochemical data. All the data are combined for common interpretation.

The volcanic fumaroles directly connect the magmatic system with the surface of the volcano. Variations in temperature, pressure and gas composition at depth are submitted rapidly to the surface where, theoretically, they can be measured at the mouth of the fumaroles. Therefore, it was decided to connect the analytical gas system directly to the fumarolic exhalations and to develop a design which allows to monitor various gas-geochemical and physical parameters automatically.

Two different types of the system have been installed and tested: remote- and on-site design. The remote system connects the fumarole mouth and the analytical instruments through a tube, the maximum tube length tested was more than 1000 m. At the instrument's site the available electrical power permits to run a sophisticated equipment like a mass spectrometer and/or gas chromatograph in addition to other sensors. If only limited electrical power is available and the residence time of gases in the tube can not be tolerated and if other physical parameters have to be measured then the on-site design has to be installed. Such a system is operating on the Galeras since nearly two years. The basic system is shown in Fig. 1.

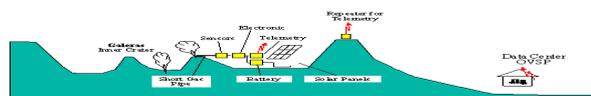


Fig. 1: Schematic diagram of the on-site gas monitoring system at the fumarole

Gases are extracted from the fumarolic vapour through a short pipe. After condensing the water the gas passes along several sensors (optical and other design). Presently gas sensors for carbon dioxide, sulphur dioxide and radon are installed. Other parameters measured are temperature of the fumarolic vapour, vapour pressure, temperature of the ambient air and the ambient atmospheric pressure. The signals (generally voltage) of the sensors are digitised in the electronics. The digital data are transmitted every ca. 6 seconds by a telemetry system through a repeater station at the rim of the Galeras to the volcanological observatory (OVSP) down in the city of Pasto. The system at the volcano is powered by solar panels backed by batteries. Data are stored in the OVSP, they are plotted and compared with all the other information of the multi-parameter station. Although the various compounds of the system are well preserved for the very aggressive environment close to the fumarole some problems still remain: Sulphur often plugs the pipe to the sensors and requires maintenance more often than desired; also, as the volcano is most of the time in the clouds the time of bright sunshine during many days is short and the installed solar power system (> 400 Watts maximum power) does not enable to run the system at the fumarole (consumption ca. 15 Watts) continuously for all the nights.

Despite these still existing problems some results have been obtained encouraging to continue the operation of the system, to further develop the technical quality and to increase the number of fumaroles incorporated into a growing monitoring network.

In March 2000 seismic activity in the crater increased accompanied by a small eruption. Several hours before the

eruption the usually high CO₂-concentration level of the fumarolic gases was no longer constant as before but started to oscillate. It continued to oscillate until the seismic events started. Then the CO₂-concentration as well as the radon counts decreased and the pressure of the fumarolic vapour increased.

Decreasing temperatures of fumaroles have been observed over the two years monitoring period as well as short term changes within hours/days. Correlation of these data and relationships to seismic activity is ongoing.

From other observations it is suggested that meteorological parameters like wind direction and/or wind speed at the volcano do influence the pressure/flow-regime in the conduits of the fumarole.

The observations made so far are important to improve the understanding of processes within the volcano. However, many more "events" have to be waited for during the coming years before processes in the volcano can be modelled or even predictive assumptions can be made.

Fedorova, T., Jacoby, W.R., Wallner, H. (Mainz)

jacoby@mail.uni-mainz.de

Was ist "Kruste" in Island? Seismische, topographische und gravimetrische Daten.

Die Kontroverse zwischen zwei Krustenmodellen – dünn-warm (Pálmason, RRISP77) und dick-kühl (SIST, FIRE, ICEMELT, HOTSPOT) – folgt aus unterschiedlichen Interpretationen fast identischer Geschwindigkeits-Tiefenprofile. Die üblichen Definitionen von "Kruste" bzw. "Moho" wurden aus kontinentalen Beobachtungen von p_n und Weitwinkel-Reflexionen entwickelt. In Island fehlen eindeutige p_n -Beobachtungen; nur Weitwinkel-, *receiver function*- und Oberflächenwellen-Dispersions-Daten stehen heute für die Moho-Definition zur Verfügung, erfassen aber die absoluten Geschwindigkeiten nicht sehr zuverlässig und detailliert. Wir unterziehen die seismischen, topographischen, gravimetrischen und weitere Daten oder Interpretationen einer statistischen Analyse (Korrelation, Regression) und schätzen Dichtekontraste an der "Moho" und zwischen "Ober- und Unterkruste" ab. Modellvorstellungen, welche mit den gefundenen Beziehungen kompatibel sind, werden diskutiert und mit 2-d und 3-d Inversionsrechnungen überprüft.

Als wichtigstes Ergebnis findet man einen ungewöhnlich kleinen Dichtekontrast an der "Reflexions-Moho". Die "Unterkruste" wird daher eher als eine Mantel-Kruste-Übergangsschicht interpretiert, die der kontinentalen Kruste nicht äquivalent ist. Eine Schicht *in statu nascendi*, im Zustand des sich Differenzierens aus aufsteigendem, partiell geschmolzenen Plume-Material kann die Struktur, inkl. der Asymmetrie Islands, zwanglos erklären; der Prozess dürfte einige Millionen Jahre dauern. Eine Rolle spielen die Relativbewegung Rücken-Plume und/oder zeitliche Variationen der Plume-"Aktivität".

Fieberg, F.C., Ogunade, S.O., (Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria)

Magnetic variations in the year 2000 at Ile-Ife, Nigeria

Geomagnetic observations in Ile-Ife, S-W Nigeria, for the year 2000 are presented. The observatory is located on the campus of the Obafemi Awolowo University at 7°31'41.7"N and 4°32'40.6"E. The station is already south of the magnetic equator with I&I 9°.

The instruments used are: A vector proton precession magnetometer with one reading every minute for X, Z and D and a 3-axis fluxgate magnetometer that stores one- or two second- means (while 20 readings per second are taken). For synchronizing the clocks a GPS is used.

A main problem for the measurements are power failures in the university electrical system. Therefore only a coverage of ca. 60% of the year 2000 was achieved.

Nevertheless, by identifying the undisturbed days and stacking them for every month, it was possible to observe the SQ daily variations and examine typical changes over the year for site. The seasonal changes in the SQ are discussed. For a qualitative interpretation a model based on the sun's position relative to the geomagnetic dip equator and the EEJ is presented.

Using hourly means for the midnight- and the midday-hour the drift of the geomagnetic elements over the year was analyzed. Annual, semiannual and higher mode variations were identified.

For some disturbed days the data measured at Ile-Ife were compared with registrations from Braunschweig. Different high pass filters were used to extract pulsations and other fluctuations. The two stations show a very good correlation esp. in the X-component with a time lag of approx. 20 minutes.

The observations are still continuing and the data also for the year 2001 will soon be available. We hope to get response from interested scientists, please contact: ffieberg@oauife.edu.ng.

Fieberg, F.C. (Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria)

Groundmagnetic investigations for gold prospecting in South-Western Nigeria

In mineral exploration the ground magnetic method is one of the most used geophysical methods. Although most minerals - and especially gold - are not responding directly to the magnetic method, it is most useful in delineating general structures in a wider area. This forms the information base on which other (more expensive) methods like geochemical investigations or drilling activities are planned and done.

This presentation shows results from three different sites in south-west Nigeria. All sites are south of the magnetic equator with small inclinations of the magnetic field, $|I| < 10^\circ$. At low magnetic latitudes there are specific problems for magnetic measurements:

Close to the magnetic dip equator the magnetic anomalies are basically of dipolar nature. Standard methods for interpretation like the reduction to the pole are less meaningful. The form of the anomalies even for completely symmetric source bodies depends strongly on the direction of the used traverse. Simple models were calculated to study basic features of the magnetic anomalies for (induced) magnetized source bodies in the region. The main result is, that the magnetic lows in the total field are indicating magnetized bodies in the underground, positive anomalies indicate source bodies north or south of the position.

Close to the magnetic (dip-)equator time variations in the natural magnetic field are amplified by the equatorial electrojet (EEJ). It is therefore important to correct for these effects, best using an observatory not too far away from the field sites. It is also necessary to correct for offsets taking repeated measurements with all instruments in use at a fixed basepoint.

In the tropical rain forest, where the case studies were carried out, the major restriction is the accessibility of the area. Only few traverses usually can be cut for taking the measurements. It is then a great advantage to measure different magnetic components at the same stations. The combination of a proton precession magnetometer (PPM) - measuring the total field -- together with a fluxgate magnetometer (FGM) -- measuring the vertical component -- was found to be useful. A truth table for a qualitative interpretation of the combined PPM/FGM measurements on west-east traverses was created and used.

Based on these general notes, three case studies are presented.

The investigated sites are all situated within the basement complex of south-western Nigeria. Generally the rocks are metamorphic, the soil cover is thin. There is a tendency for N-S strikes of geologic structures in the region. Targets for the geophysical surveys are solid mineral resources, especially gold.

In a first step promising areas are identified. The occurrence of gold is usually well known from local mining activities (ancient to recent). No sophisticated techniques are involved in this type of mining. The targets are gold soaps and other concentrations of gold in the soil and fluvial deposits.

For the industrial mining these rather small deposits with high concentration are of minor interest. The main targets are the primary gold deposits which have a smaller gold concentration, but a large volume of processable rocks.

The primary gold deposits are often structurally controlled and therefore a structural mapping is the first step in exploration. Faults and contacts are often mineralized, therefore magnetic and electromagnetic methods can be used to delineate their structure. In the presented cases, the groundmagnetic methods proved to give the best results in a minimum of time. Additionally VLF and geoelectrical profiling methods were tested.

Traverses perpendicular to the expected strike (approx. N-S) were chosen. The station separation was 5m or 10 m, the distance between the traverses was 50m to 100m. For a better control of the positions GPS data were taken at a number of stations.

The data were processed and plotted for the traverses. The magnetic sourcebodies were identified and interpreted by fitting models to the data. Additional information from geological observations was used where possible.

Then 3-D and contour plots were drawn. Using appropriate filters the maps delineate a number of structures with

magnetic impregnation. Since it is not the magnetic mineralization that is searched for, the next step is to find a correlation between the magnetized zones and the target mineral, in this case gold. For this purpose, a geochemical investigation on selected traverses was done.

On site one the main gold-mineralization was found between two strong, isolated minima in the total magnetic field. The two identified magnetic structures form the boundaries for the target. By identifying these two anomalies on adjacent traverses it is possible to trace the gold mineralization also into the surrounding.

On site two a number of weaker magnetic anomalies and one prominent magnetized source body were found. Along the structures traces of old mining activities can be found. Unfortunately until now no geochemical results are available.

On site three the groundmagnetic map has shown two distinct bands of magnetic anomalies. Based on the magnetic data a structural map of the area was produced. The geochemical analysis proved that the gold mineralization is strongly correlated with the magnetized structures: Gold is found at the western flank of the magnetized bands. A quantitative interpretation of the magnetic anomalies with appropriate models allows also to estimate the dip of the structures. With this information the position and the orientation of future drillholes are chosen to successfully meet the source body.

At all sites the investigations are still going on. The fast (and cheap) groundmagnetic survey was used to cover the area with a dense net of stations. The much slower and more expensive detailed investigations on samples were then done only for some distinct traverses. The correlation between magnetic and geochemical anomalies is used to identify the most promising sites for drilling into the mineralized zones. This allows to minimize the costs of the complete survey.

Hainzl, S., Zöller, G., Scherbaum, F. (Potsdam), Fischer, T. (Prag)

hainzl@geo.uni-potsdam.de

Seismizitätsmuster des Vogtland Erdbebenschwarms 2000

Die Vogtland Region ist bekannt für ihre episodisch auftretenden Erdbebenschwärme. Schwarmaktivität unterscheidet sich hinsichtlich ihrer Seismizitätsmuster deutlich von den bekannten Nachbebensequenzen, die besonders an tektonischen Plattengrenzen in Folge großer Erdbeben zu beobachten sind. Während das Abklingen der Nachbebenaktivität im allgemeinen gut durch das Omori-Gesetz beschreibbar ist, sind bisher keine vergleichbaren Gesetzmäßigkeiten für Erdbebenschwärme bekannt. Die Energiefreisetzung findet im Falle der Erdbebenschwärme in vielen kleinen Erdbeben - ohne das Auftreten eines dominanten Erdbebens (Hauptbeben)- statt. Die Gründe dafür sind noch weitestgehend unbekannt. Da Erdbebenschwärme häufig in vulkanischen Gebieten auftreten, werden Mantelfluide als mögliche Ursache vermutet. Wenn diese in die seismogene Zone eindringen und dadurch den Porendruck erhöhen bzw. die Reißfestigkeit erniedrigen, können Erdbeben ausgelöst werden. Wir haben die Seismizitätsmuster der zwischen August und Dezember 2000 im Vogtland/West Böhmen auftretenden Schwarmaktivität anhand eines Katalogs relokalisierter Erdbeben untersucht. Die Magnitudenverteilung der Erdbeben ist durch das Gutenberg-Richter Gesetz gut beschreibbar, wobei sich der *b*-Wert im Verlauf der Schwarmaktivität verkleinert. Dies deutet auf eine zunehmende Spannungskonzentration hin. Ferner ist das zeitliche Auftreten fraktal, d.h. die Wartezeiten sind entsprechend eines Potenzgesetzes verteilt. Räumlich beschränkt sich die Erdbebenaktivität näherungsweise auf eine Verwerfungsebene. In dieser Ebene lässt sich eine Migration der Erdbebenaktivität beobachten. Mit Hilfe der die Epizentren umschließenden konvexen Einhüllenden haben wir die mit Schwarmaktivität belegte Fläche berechnet. Es zeigt sich, dass die Ausdehnung der Erdbebenaktivität nicht als Funktion der Zeit beschrieben werden kann, wie dies für eine durch Fluiddiffusion getriggerte Erdbebenaktivität erwartet wird, sondern eine Funktion des freigesetzten seismischen Moments ist. Die beobachtete Beziehung zwischen dem kumulativen freigesetzten seismischen Moment und der räumlichen Ausbreitung der Schwarmtätigkeit ist in guter Übereinstimmung sowohl mit den empirischen Daten für die Bruchflächen von tektonischen Einzelerdbeben wie auch mit theoretischen Bruchmodellen. Somit scheint die Schwarmtätigkeit einem einzelnen Erdbeben zu gleichen, welches das Verwerfungssegment im Ganzen bricht. Das zeit-verzögerte Brechen in Form vieler kleiner Erdbeben kann durch das Wechselspiel von dynamisch erzeugten oder strukturellen Heterogenitäten und den durch die Erdbeben selbst verursachten Spannungsumlagerungen und Fluidflüssen erklärt werden. Dies wird durch Simulationen von visko-elastisch gekoppelten Blocksystemen bestätigt, die alle wesentlichen Eigenschaften der Schwarmaktivität reproduzieren können. Während also eine Selbstorganisation der Erdbeben die Entwicklung der Schwarmaktivität in ihrem Hauptteil zu beschreiben scheint, deuten einige Anzeichen darauf hin, dass während der Startphase eine Fluidintrusion stattgefunden haben könnte.

Haris, A., Klaeschen, D., Flueh, E. R. (Kiel)

aharis@geomar.de

Amplitude-Preserving Migration Using Seismogram Operators

Amplitude-preserving (AP) migration, which is a modified Common Focus Point (CFP) algorithm, has been developed as a separated program from modeling algorithm. It can be implemented using any existing modeling programs. The method is based on two complex cross-correlation steps instead of move-out processes and directly uses the migration operators in the form of seismograms as so-called seismogram operators. Thus, no explicit wave propagation knowledge is needed. The parameters of the weight function (e.g. traveltime, amplitude, phase and angle), which are used to preserve the amplitudes, are obtained from the seismogram operator itself. In this work, the migration operators are calculated using a modified band limited Green's function for generating multi-valued seismogram operators. The AP migration method has been successfully applied to a complex synthetic data set (the Marmousi data set) recovering angle-dependent reflectivity and allowing structural imaging as well.

Papenberg, C., Petersen, J., Klaeschen, D., Flueh, E.R. (Kiel)

cpapenberg@geomar.de

Multi system acquisition of a BSR signature on Hydrate Ridge off the Oregon Continental Margin

During cruise SO-150 on the German RV SONNE geophysical data were acquired aiming at quantitative estimates of free gas and gas hydrate within the sediments across Hydrate Ridge. Hydrate Ridge is the second highest topographic elevation landward of the deformation front of the Cascadia accretionary complex, off the Oregon continental margin and is known for the occurrence of massive gas hydrates causing a prominent BSR (Bottom Simulating Reflector) reflection in marine seismic records. To map the spatial distribution of the BSR several seismic in- and crosslines were shot across the ridge, registered with a set of eleven narrow spaced Ocean Bottom Hydrophones and Seismometers (OBH/S), a deep tow streamer and a single channel surface streamer. The usage of different sources during acquisition allows us to investigate the frequency response of the BSR's signature. This multi acquisition system gives us more insight into the BSR's behaviour in seismic experiments yielding a better quantification of gas hydrates within sediments in such margin environments.

Petersen, J., Papenberg, C., Klaeschen, D., Flueh, E. R. (Kiel)

jpetersen@geomar.de

Gas Hydrate Occurrence at Hydrate Ridge off the Continental Margin - A well-log calibrated Ocean Bottom Seismometer (OBS) study

In September 2000 a detailed seismic study of the gas hydrate occurrence at Hydrate Ridge, off the Oregon continental margin, was carried out during research cruise SO150 on the German R/V Sonne. The main research focus was put on the quantification of gas hydrates using wide-angle OBS measurements as well as two streamer systems (surface and deep tow). Using five different seismic sources, a broad frequency range for analysing the BSR (Bottom Simulating Reflector) signatures was available. The presented area is located at the ODP drilling site 892 and has been previously investigated by a multi-channel seismic (MCS) survey yielding a detailed velocity model (OR89 survey; MacKay et al., 1995; Trehu et al., 1999). Thus, synthetic seismic sections can be generated by forward modeling using the in situ well-log measurements. The calibration of the wide-angle OBS data with the borehole informations enables us to analyse changes in the seismic parameters at the BSR as a function of the varying angles and amplitudes.

Schütze, C., Flehsig, C., Jacobs, F., Serfling, U. (Leipzig)

DC-goelektrische Strukturerkundung eines aktiven Hydrothermalsystems in der Long Valley Caldera, Kalifornien

Die Long Valley Caldera, Kalifornien, ist aufgrund ihrer seismischen und geothermalen Aktivität von beispielhafter wissenschaftlicher Bedeutung bei der Erkundung magmatisch beeinflusster Prozesse. Mit einer Ausdehnung von 30 x 17 km gehört sie zu den größten tertiären Calderen der Erde. Das Gebiet der Long Valley Caldera wurde bisher intensiv mit geophysikalischen, geochemischen und geologischen Erkundungsmethoden zur Erfassung der seismischen Ereignisse, der Deformation im Bereich eines Resurgent Domes, der CO₂-Entgasung, der Fumarolenaktivität und der Mineralisation in heißen Quellen untersucht. Der spezifische elektrische Widerstand von Gestein reagiert signifikant auf Veränderungen in der Porosität, im Fluidgehalt, in der Ionenkonzentration und -mobilität im Fluid sowie auf Änderungen in der Temperatur. Daher eignen sich geoelektrische Erkundungsverfahren bei der Untersuchung vulkanaktiver Gebiete, da sich die hydrothermalen Zirkulationssysteme und Störungszonen durch erhöhte Porosität, hoch mineralisierte, thermische Wässer und Mineralumbildungen im Vergleich zur unbeeinflussten Umgebung auszeichnen.

In der Long Valley Caldera wurden geoelektrische Standardverfahren (1-D Sondierungen, MT) zur Erkundung der geothermischen Energiereservoire genutzt (Stanley et al., 1976; Hoover et al., 1976; Park & Torres-Verdin, 1988; Wannemaker et al., 1991). Die Ergebnisse dieser Arbeiten zeigen u.a. deutliche Widerstandsstrukturierungen im Bereich vermuteter hydrothermalaktiver Zonen und initiierte ein DFG-gefördertes Forschungsprojekt, mit dem Ziel, ein detailliertes 2-D Widerstandsmodell der Long Valley Caldera zu erstellen. In der ersten Phase des Projektes wurde eine bestehende tiefegeoelektrische DC-Imaging Technik (Brunner, 1999; Storz, 2000) zur Untersuchung auf einem 21 km langen Ost-West Profils angewendet und ein Modell zur Verteilung der spezifischen elektrischen Widerstände unterhalb der Long Valley Caldera bis zu einer Tiefe von 6 km berechnet. In der Pilotphase mußte ein Kompromiß zwischen der Auflösung kleinräumiger Strukturen und der Anforderung an einen möglichst großen Überblick über das Meßgebiet gefunden werden. Für Receiver- und Transmitterdipole wurde deshalb ein Elektrodenabstand von 1000 m gewählt. Spezielle autarke Registriereinrichtungen erlaubten die Aufzeichnung der gesamten Spannungssignale als Zeitreihen mit der Möglichkeit einer statistischen Datenbearbeitung zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses. Zusätzlich zu den aktiven DC-Experimenten wurden Eigenpotentialkartierungen vorgenommen, da sich von den Variationen natürlicher Potentiale weitere Informationen zu den hydrothermal aktiven Zonen ableiten lassen (Corwin & Hoover, 1979).

Die tomographische Inversion der DC-Daten entwirft ein Modell mit deutlicher Strukturierung des spezifischen elektrischen Widerstandes über mehrere Größenordnungen. Im Westteil dominiert ein System hochleitfähiger, steilstehender Störungszonen bereits in geringer Tiefe. Die Bereiche geringer Widerstände werden auf die Präsenz eines flachen Hydrothermalsystems mit temperierten Wässern und/oder Mineralalteration zurückgeführt. Der Zentralteil im Bereich des Resurgent Domes ist charakterisiert durch hohe Widerstände bis in eine Tiefe von ca. 2 km. Es existieren in diesem Bereich keine Hinweise auf leitfähige Fluide bzw. Widerstandsabnahmen durch Temperaturerhöhung oder Tonmineralumbildungen. Im Vergleich zum Westteil scheint der Resurgent Dome nicht an das hydrothermale Zirkulationssystem angeschlossen zu sein. Die geringen Widerstände in größerer Tiefe werden durch hydrothermal veränderte Metasedimente erklärt. Der Ostteil ist durch oberflächliche hydrothermalen Störungszonen (Hot Creek) und gutleitfähige Schichten lakustriner Sedimente geprägt. Als beeinflussende Parameter für die Realitätstreue des 2-D Widerstandsmodell müssen Lateraleffekte und die Abnahme der Auflösungsgenauigkeit mit der Tiefe in Betracht gezogen werden. 2-D Vorwärtsmodellierungen bestätigten das gefundene Widerstandsmodell, welches die wesentlichen Strukturen bisheriger geoelektrischer Untersuchungen zur Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes in sich vereinigt.

Literatur

Brunner, I.; Friedel, S.; Jacobs, F., Danckwardt, E. (1999): Investigation of a tertiary maar structure using three-dimensional resistivity imaging. - *Geophys. J. Int.* 136, 771-780.

Corwin, R. F.; Hoover, D. B. (1979): The self-potential method in geothermal exploration. - *Geophysics* 44, 226-245.

Hoover, D. B.; Frischknecht, F. C.; Tippens, C. L. (1976): Audio-magnetotelluric sounding as a reconnaissance exploration technique in Long Valley, California. - *Journ. of Geophys. Res.* 81 (5), 801-809.

Park, S. K. ; Torres-Verdin, C. (1988): A systematic approach to the interpretation of magnetotelluric data in volcanic environments with applications to the quest for magma in Long Valley, California. - Journ. of Geophys. Res. B11, 13265-13283.

Stanley, W. D.; Jackson, D. B.; Zohdy, A. A. R. (1976): Deep electrical investigations in the Long Valley geothermal area, California. - J. of Geoph. Res., 81 (5), 810-820.

Storz, H.; Storz, W.; Jacobs, F. (2000): Electrical Resistivity Tomography to investigate geological structures of the earth's upper crust. - Geophys. Pros. 48 (3), 455-470.

Wannamaker, P. E.; Wright, P. M.; Xing, Z.; Xing-Bin, L.; Jing-Xiang, Z. (1991): Magnetotelluric transect of Long Valley Caldera: Resistivity cross-section, structural implications, and the limits of a 2-D analysis. - Geophysics 56 (7), 926-940.

Schütze, C., Flehsig, C. (Leipzig)

Untersuchung des Eigenpotentials - Erkenntnisgewinn für ein rezentes Strömungsmodell in der Long Valley Caldera, Kalifornien?

In der Nähe von heißen Quelle, Fumarolen, Geysiren und Vulkanen beobachtet man oft räumliche Variationen im natürlichen Potentialfeld. Diese Veränderungen im natürlichen elektrischen Feld nutzt man bereits sehr lange zur Lokalisierung und Verifizierung geothermisch aktiver Regionen (Corwin & Hoover, 1979). Die SP-Anomalien an Vulkanen und hydrothermal aktiven Gebieten lassen sich meist auf hydrothermale Konvektion zurückführen. Verursacht werden diese Potentiale durch elektrochemische Effekte, thermoelektrische und elektrokinetische Kopplungsprozesse. Analytische Untersuchungen und Laborversuche haben gezeigt, daß die durch elektrokinetische Kopplung erzeugten Potentiale in ihrer Amplitude wesentlich stärkere SP-Anomalien (bis zu 2 V) verursachen, als elektrochemische und thermoelektrische Prozesse (Corwin & Hoover, 1979; Michel & Zlotnicki, 1998). Als Hauptursache für die starken SP-Anomalien in geothermisch aktiven Gebieten werden Strömungspotentiale angesehen, welche durch die Strömung eines Fluids durch ein poröses Medium entstehen.

Im Zentralteil der 30 x 15 km großen Long Valley Caldera, Kalifornien, wurden bereits von Anderson und Johnson (1976) SP-Kartierungen durchgeführt. Die Autoren fanden im Bereich des Resurgent Dome eine dipolare Anomalie mit jeweils 400 mV Amplitude, allerdings wurden mögliche Topographieeffekte nicht berücksichtigt.

Im Mai 2000 wurden im Rahmen eines DFG-geförderten Forschungsprojektes tomographische Gleichstromuntersuchungen durchgeführt, um ein 2-D Modell zur Verteilung der spezifischen elektrischen Widerstände auf einer 21 km langen Ost-West Traverse zu erstellen. Die Signale an den Potentialelektroden sind in Form von Zeitreihen aufgezeichnet worden, neben den DC-Transmittersignalen liegen auch Informationen über die natürlichen elektrischen Potentiale vor.

Eine gemeinsame Interpretation des gemessenen SP-Profiles und dem Widerstandsmodell der Gleichstromgeoelektrik zeigt deutliche Korrelationen zwischen SP-Anomalien und den Bereichen sehr hoher Leitfähigkeiten, die als hydrothermal aktive Störungszonen interpretiert werden. Daraus wurde der Ansatz für detaillierte SP-Kartierungen in Regionen mit markanten elektrischen Strukturen der Long Valley Caldera, also hauptsächlich im Westteil mit einem flachen hydrothermalen Zirkulationssystem im Juli 2001, entwickelt. Unterhalb des Westteils wird die rezente Quelle des hydrothermalen Systems der gesamten Caldera vermutet.

Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen verdeutlichen die Schwierigkeiten von SP-Messungen in vulkanaktiven Gebieten, die große Liste der Einflussfaktoren auf die Messwerte, die Notwendigkeit der Datenbearbeitung in topographisch anspruchsvollen Regionen und den Informationsgehalt über die Quellen der Eigenpotentiale in den gewonnenen Daten.

Literatur

L. A. Anderson, G. R. Johnson (1976); Application of self-potential methods to geothermal exploration in Long Valley, California. Journ. of Geophys. Res. 81, 1527-1532

Corwin, R. F.; Hoover, D. B. (1979): The self-potential method in geothermal exploration. Geophysics 44, 226-245.

S. Michel & J. Zlotnicki (1998); Self-potential and magnetic surveying of La Fornaise volcano (Reunion Island): Correlation with faulting, fluid circulation, and eruption. Journ. of Geophys. Res. 103, 17,845-17,857

Petersen, H., Rabbel, W., Fleige, H. (Kiel)

hpetersen@geophysik.uni-kiel.de

Anwendbarkeit geophysikalischer Prospektionsmethoden zur Bestimmung von Bodenverdichtungen landwirtschaftlich genutzter Flächen

Die enorme Zunahme des Mechanisierungsgrades in der Landwirtschaft bei der Bewirtschaftung von Acker- und Grünlandflächen und die Konzentration zu immer größeren Betriebseinheiten in den letzten Jahrzehnten hat dazu geführt, daß immer leistungsstärkere und damit auch schwerere Schlepper und Maschinen zur Bearbeitung eingesetzt werden. Demzufolge werden die Böden mit immer größeren Radlasten befahren, die nicht nur zu einer Verdichtung des Oberbodens ($z < 0.3$ m), sondern auch zu einer nachhaltig wirkenden Verdichtung des Unterbodens in einer Tiefe zwischen 0.3 und 1.0 Meter führen können, wobei die Gefahr einer Bodenverdichtung abhängig ist von verschiedenen Parametern wie Häufigkeit der Befahrung, vom Bodenmaterial und dessen Vorbelastung und auch insbesondere von der bei der Bearbeitung herrschenden Bodenfeuchte. Bodenverdichtungen äußern sich vor allem in einer erhöhten mechanischen Festigkeit des Bodens und in einer eingeschränkten Wasser- und Lufttransportfähigkeit, die Mindererträge (besonders in feuchten Jahren) und erhöhte Aufwendungen für Zugkraft, Kraftstoff und Düngemittel zur Folge haben können. Leider kann man von diesen Auswirkungen nicht zwangsläufig rückwirkend auf eine Bodenverdichtung schließen, da der Boden als komplexes System von vielen Parametern beeinflusst wird. Um andere Ursachen auszuschließen und eventuell Gegenmaßnahmen ergreifen zu können, ist also die Kenntnis des Verdichtungszustandes im Boden notwendig. Da eine flächenhafte in situ Bestimmung des Verdichtungszustandes bisher nur aufwändig über punktuelle Messungen des Eindringwiderstands möglich ist, stellt sich die Frage nach einem leistungsfähigeren flächenhaften Kartierverfahren. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) wird nun die Anwendbarkeit verschiedener geophysikalischer Kartierverfahren auf diese bodenkundliche Fragestellung untersucht. Als Meßfläche wurde dazu eine konventionell bewirtschaftete Ackerfläche auf dem Versuchsgut der CAU, Gut Lindhof, ausgewählt. Dort wurden auf charakteristischen Teilflächen wie dem sogenannten Vorgewende, welches durch extrem häufiges Befahren als besonders gefährdet für Bodenverdichtung angesehen werden kann, und Teilflächen auf dem Acker, die sich durch unterschiedliche Bodenarten (von sandig bis lehmig) auszeichneten, vergleichende geophysikalische und bodenkundliche Messungen durchgeführt. Alle drei Teilflächen wurden dazu auf festgelegten Profillinien mit drei verschiedenen geophysikalischen Kartierverfahren untersucht: Zum Einsatz kamen die Elektromagnetik mit dem Gerät EM 38 der Firma GEONICS, das Georadarsystem SIR-10A der Firma GSSI zusammen mit Antennen mit Hauptfrequenzen von 500 MHz bzw. 900 MHz, also Verfahren, welche bei anderen Fragestellungen schon routinemäßig zur flächenhaften Kartierung eingesetzt werden, sowie hochauflösende P- und Scherwellenseismik.

Die Auswertung der gewonnenen Daten sollte mit Hinblick auf eine spätere Anwendbarkeit als großflächiges Kartierverfahren relativ einfach und überschaubar bleiben. Erste Ergebnisse zeigen, daß sich mit allen Verfahren die unterschiedlichen Bodenarten im Untergrund nachweisen lassen. Sowohl die scheinbare Leitfähigkeiten der EM als auch die Reflektivität der Radardaten weisen dementsprechende Signifikanz auf. Weiterhin lassen sich in den Radardaten, vor allem bei feuchten Bodenverhältnissen, horizontale Strukturen in Tiefen von ca. 30cm erkennen, die sich als Stauwasserhorizont über verdichtetem Boden interpretieren lassen.

Bei der Auswertung der seismischen Daten wurden einfache Verfahren der makroskopischen Seismik wie Laufzeitbetrachtungen der Ersteinsätze und Dispersionsanalyse der Oberflächenwellen auf die hier durchgeführte mikroskopische Seismik (Auslagenlänge < 12 m, Geophonabstand 20cm, Zielbereichstiefe < 0.5 m) angewandt. Während sich auch in den seismischen Geschwindigkeiten der Raumwellen die unterschiedlichen Untergrundmaterialien abbilden, scheint die Interpretation der Dispersionskurven nicht so offensichtlich, so daß hier noch weiterer Informationsbedarf besteht. Insgesamt scheint also durch die kombinierte Kenntnis der Existenz von Stauwasserhorizonten und von der Bodenart ein zumindest mittelbarer Nachweis von Bodenverdichtung möglich.

Zusammen mit den begleitenden bodenkundlichen Messungen wie der Bestimmung von Lagerungsdichte und Eindringwiderstand, sowie einer chemischen Analyse der vorhandenen Horizonte sollen hier erste Ergebnisse diskutiert werden, welche geophysikalischen Verfahren in welcher Weise auf (Unter-)Bodenverdichtungen ansprechen und geeignet erscheinen, zur Entwicklung eines Kartierverfahrens beitragen zu können.

Forbriger, T. (Frankfurt)

forbriger@geophysik.uni-frankfurt.de

Oskulation von Dispersionskurven

Abhängig vom Ausbreitungsmedium können sich die Dispersionskurven verschiedener Rayleigh-Moden sehr nahe kommen, sich fast berühren. Diese Berührungspunkte sind in der englischsprachigen Literatur als osculation points bekannt. Geläufig sind sie im Zusammenhang mit der Stoneley-Mode an der Kern-Mantel-Grenze. Deren Dispersionskurve wird aus Teilen der Dispersionskurven mehrerer Normalmoden aufgebaut. Jeweils an einer Oskulation wechselt die Stoneley-Mode zur nächsthöheren Normalmode.

Im Gegensatz zur globalen Erde ist der Verlauf der Dispersionskurven für flachseismische Medien vor einer Inversion unbekannt und kann von einem Untersuchungsgebiet zum anderen stark variieren. Oskulationen können dann problematisch werden, wenn sie nicht als solche erkannt werden, weil jeweils nur ein Teilstück der beteiligten Moden angeregt ist. Das ist ein typisches Erscheinungsbild. Andererseits können Oskulationen Informationen über tiefer liegende Materialeigenschaften enthalten, die von den angeregten Oberflächenwellen nicht voll erfasst werden. Dies wird anhand von Feldbeispielen erläutert.

In extremen Fällen kann man den Eindruck gewinnen, Dispersionskurven würden sich kreuzen. Dann läge Entartung zweier Normalmoden vor. Bei genauer Betrachtung wechseln an Oskulationen tatsächlich meistens die physikalischen Eigenschaften der Wellenausbreitung von einem Modenast zum anderen. Dazu gehören die Gruppengeschwindigkeit, die Anregungskoeffizienten und die Form der Eigenfunktionen.

Niehuus, K., Schmeling, H., Marquart, G., Forbriger, T. (Frankfurt a.M.)

niehuus@geophysik.uni-frankfurt.de

Dynamisch konsistente Inversion von Geoid und Topographie nach dynamischen Parametern für die Region des Island-Plateaus

Mantel-Plumes, von denen der Island-Plume einer der markantesten ist, erzeugen signifikante Schwere- und Geoidanomalien. In dieser Arbeit wird untersucht, inwieweit eine Eingrenzung der geometrischen Dichtestruktur des Plumes und insbesondere seiner Tiefenlage durch Inversion des Geoids unter Einbeziehung der Topographie möglich ist. Im Unterschied zur klassischen Schwereinversion wird bei dieser dynamisch konsistenten Inversion eine Dichteverteilung berechnet, die sowohl das Geoid als auch die dynamische (einschließlich isostatische) Topographie erklärt.

Die Sensitivität von Oberflächensignalen wie Potentialfeldanomalien und dynamische Topographie auf Variation dynamischer Parameter (Dichteverteilung) wird numerisch berechnet. Genutzt wird hierzu ein 3D Programm, welches das System der gekoppelten Differentialgleichungen für Strömung, Temperatur und Massenerhaltung mit einer spektralen Methode auf horizontalen Gittern, die durch Finite Differenzen vertikal gekoppelt sind, löst. Für die Dichteverteilung eines Startmodells wird ein instantanes Strömungsfeld berechnet. Aus der vorgegebenen Dichteverteilung resultieren Auftriebskräfte. Diese liefern ein Spannungsfeld, das eine dynamische Topographie an der Modellober- und Unterseite hervorruft. Aus diesen Topographien und der inneren Dichteverteilung wird die Schwere an der Modelloberseite berechnet. Zur Wahrung der Linearität wurden die dynamischen Modelle mit konstanter Viskosität erstellt.

Die gleichzeitige Inversion beider dynamisch modellierter Beobachtungsgrößen soll die grundsätzliche Vieldeutigkeit der Interpretation von Potentialanomalien einschränken. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Tiefenlage der invertierten Dichteanomalie als auch der Frage, inwieweit die Interpretation der Beobachtungsdaten eine Plumestruktur erfordert.

Ergebnisse weisen darauf hin, daß eine generalisierte Inversion der Jacobimatrix des kombinierten Beobachtungssatzes die inherente Vieldeutigkeit ohne zusätzliche Einführung von Nebenbedingungen zumindest nicht wesentlich einzuschränken vermag. Unter Formulierung entsprechender Strafterme ist jedoch eine deutliche Verbesserung des Auflösungsvermögens durch den kombinierten Datensatz zu erwarten.

Schreckenberger, B., Roeser, H.A., Neben, S., Franke, D. (Hannover)

b.schreckenberger@bgr.de

Modellierung des Alters und der Symmetrie vulkanischer Strukturen an den konjugierten Kontinenträndern des Südatlantiks anhand von magnetischen Anomalien

Das Aufbrechen des Südatlantiks in der frühen Kreide begann nördlich des Falklandplateaus und propagierte schnell nach Norden. Serien seewärts einfallender seismischer Reflektoren (seaward-dipping reflector sequences, SDRS) zeigen, daß sich dabei typische vulkanische passive Kontinentränder gebildet haben. Ganz allgemein scheint es zuzutreffen, daß sich SDRS immer an beiden Seiten neu entstandener Kontinentränder bilden. Unsere Untersuchung konzentriert sich auf die magnetischen Anomalien und ihre Relation zu den reflexionsseismisch sichtbaren SDRS sowie die Symmetrien bzw. Asymmetrien wie sie in den magnetischen Anomalien sichtbar werden.

Umfangreiche marine geophysikalische Messungen der BGR (Reflexions- und Refraktionsseismik, Gravimetrie und Magnetik) zeigen am südamerikanischen Kontinentalrand gut entwickelte SDRS zwischen 35°S (vor Uruguay) und 44°S (vor Argentinien). Ganz ähnliche Strukturen werden im plattentektonisch konjugierten Gebiet vor dem südlichen Afrika sichtbar. Südlich von 43°S vor Argentinien ändert sich dann das interne Reflexionsmuster der SDRS. Kürzere Reflektoren verteilen sich über mehrere getrennte Reflektorsequenzen, die durch besonders kräftige Reflexionshorizonte voneinander getrennt sind. Diese Beobachtung wird von uns dahingehend interpretiert, daß der Vulkanismus hier möglicherweise schwächer war und längere Pausen einlegte. Dabei konnten sich unter subaerischen Bedingungen oder in flachem Wasser Sedimenthorizonte innerhalb der SDRS bilden. Wir haben auch Hinweise darauf, daß südlich dieses Gebiets die SDRS ganz verschwinden.

Offensichtlich eng verbunden mit dem Vorkommen von SDRS, wird eine teilweise auffällige magnetische Anomalie (Anomalie G) über dem Kontinentalabhang beobachtet, die nach Rabinowitz und LaBrecque (1979) mit einer isostatischen Schwereanomalie zu korrelieren scheint. Diese magnetische Anomalie kann mit unterschiedlichen Formen und Amplituden entlang sowohl der östlichen als auch der westlichen Ränder des Südatlantiks beobachtet werden. Bohrungen des DSDP/ODP in SDRS an anderen Kontinenträndern zeigen, daß die SDRS immer aus subaerisch oder in flachem Wasser abgelagerten Basaltflüssen mit einer relativ hohen remanenten Magnetisierung bestehen. Da die vermutlich ebenfalls aus Basalten bestehenden SDRS vor Argentinien bisher nicht erbohrt wurden, benutzten wir die Magnetisierungswerte aus vorhandenen Bohrungen in SDRS und aus anderen subaerischen Basaltvorkommen für die magnetische Modellierung. Wir konnten so die ursächliche Beziehung zwischen SDRS und der Anomalie G auf verschiedenen Profilen vor Argentinien und auf einem Profil vor Namibia modellieren und nachweisen.

Aus eigenen Daten und aus der öffentlich zugänglichen marinen Datenbasis GEODAS (National Geophysical Data Center, Boulder/USA) haben wir für die zwei plattentektonisch konjugierten Gebiete vor Kapstadt und Argentinien magnetische Karten kompiliert. Sie zeigen, daß die Anomalien auf der westlichen Seite des Südatlantik ganz allgemein um etwa den Faktor zwei schwächer sind als die Anomalien im östlichen Atlantik. Dies gilt sowohl für die mesozoischen Seafloor-Spreading-Anomalien als auch für die Anomalie G. Unterschiede in solchen Parametern, die die Amplituden beeinflussen, wie der Richtung des Erdmagnetfeldes, der Streichrichtung der Anomalien und der unterschiedlichen Tiefenlage der Quellkörper, können aber nur eine Amplitudenreduzierung um höchstens 25% für den westlichen Atlantik erklären. Der Grund für die darüber hinausgehenden Amplitudenunterschiede ist bisher nicht bekannt.

Vor der südafrikanischen Küste in der Höhe von Kapstadt war es möglich, die Lineationen M0 (124 Ma) bis M9 (133 Ma) zu identifizieren und damit die früheren Ergebnisse von Rabinowitz und LaBrecque (1979) im Wesentlichen zu bestätigen. Landwärts von M9 überwiegt die positive Anomalie G, die hier vermutlich ebenfalls von SDRS verursacht wird, die aber auch von kleinen Amplitudenvariationen überlagert ist. Möglicherweise deutet dies auf magnetische Umkehrungen innerhalb der SDRS hin. Ein entsprechendes Anomalienmuster bis zu M9 oder M10, bei deutlich reduzierter Amplitude, konnte in unserem neuen Datensatz erstmals auch vor Argentinien beobachtet und modelliert werden. Der Übergang der magnetischen Lineationen in die von SDRS verursachten Anomalien läßt auch eine Datierung der verschiedenen Eruptionsphasen der SDRS anhand der magnetischen Modellierung zu.

Die Anomalie G ist mehr oder weniger deutlich fast überall nördlich von Kapstadt am östlichen Kontinentalrand und

nördlich von 43°S oder 44°S am westlichen Kontinentrand des Atlantiks sichtbar. Südlich dieser Gebiete verschwindet sie dagegen fast vollständig. Vor Argentinien können wir nachweisen, daß dieses Verhalten mit den Änderungen im Reflexionsmuster und dem Verschwinden der SDRS nach Süden hin korreliert. Für das Gebiet vor Kapstadt schließen wir aus dem Fehlen der Anomalie G, daß hier ein äquivalenter Übergang stattfindet. Unsere Beobachtungen bedeuten, daß an plattentektonisch konjugierten Stellen an beiden Seiten des Südatlantiks, d.h. in diesem Sinne symmetrisch, nach Süden hin ein Übergang von vulkanischen zu nichtvulkanischen oder höchstens schwachvulkanischen Kontinenträndern vorliegt.

Ein ähnliches Phänomen kann im Nordatlantik beobachtet werden, wo vor Nova Scotia die 'East Coast Magnetic Anomaly (ECMA)' nach Norden hin verschwindet und wo außerdem ein Übergang von einem vulkanischen zu einem nichtvulkanischen Kontinentrand beobachtet wird (Keen und Potter, 1995). Einen entsprechenden Wechsel scheint es auch am nordwestafrikanischen Kontinentrand zu geben. Hier verschwindet die magnetische Anomalie S1, die das Gegenstück zur ECMA zu sein scheint, und die von schwachen Andeutungen auf SDRS unterlagert ist, ebenfalls nach Norden hin (Roeser et al., JGR, im Druck). Beide Situationen, sowohl im Nord- wie im Südatlantik, sind dadurch gekennzeichnet, daß ein kontinentales Rift mitten in kontinentaler Kruste, hier nördlich des Falklandplateaus bzw. südlich der Grand Banks, endete und in eine große Transformstörung überging. Diese in hohem Maße dreidimensionale Struktur, die in Modellrechnungen zur Bildung von Magmen in kontinentalen Rifts berücksichtigt werden müßte, könnte der Grund dafür gewesen sein, daß sich unter Bedingungen, die zwar grundsätzlich für die Bildung vulkanischer Kontinentränder sprachen, weniger oder kein exzessiver Vulkanismus in der Nähe des Endes des Rifts ausbildete.

Kirsch, R. (Flintbek), Friborg, R. (Tønder), Röttger, B. (Hannover), Scheer, W. (Flintbek), Thomsen, S. (Tønder) & Voss, W. (Hannover)

rkirsch@lanu.landsh.de

Geophysikalische Untersuchungen zur Bestimmung der Grundwassersituation im dänisch-deutschen Grenzgebiet – ein INTERREG-Projekt

Die dänisch-deutsche Grenzregion im Raum Padborg/Flensburg ist durch zunehmende Industrialisierung und damit steigenden Wasserbedarf gekennzeichnet. Die Grundwasserleiter in diesem Gebiet werden von Wasserwerken beiderseits der Grenze genutzt, eventuelle Kontaminationen können sich ebenfalls grenzüberschreitend ausbreiten.

Vor diesem Hintergrund wurden vom Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein (Flintbek) und der dänischen Nachbarbehörde Sønderjyllands Amt (Tønder) ein grenzüberschreitendes Untersuchungsprogramm zur Erfassung der Grundwassersituation in der Grenzregion durchgeführt. Dieses Projekt wurde von der EG im Rahmen des INTERREG II Programms gefördert. Neben einer Neuinterpretation der in der Region vorhandenen Bohrungen und dem Abteufen neuer Bohrungen wurden insbesondere reflexionsseismischen Messungen durch die Universitäten Kiel und Aarhus und die Fa. THOR Geophysical (Kiel), gravimetrische Messungen durch die Universität Bochum sowie eine aereomagnetische Vermessung durch den Messhubschrauber der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover) durchgeführt.

Durch die Reflexionsseismik konnten Tiefenlage und Verlauf der wichtigsten Grundwasserleiter und ihrer Trennschichten erfasst und mit Bohrerergebnissen korreliert werden. Die Ergebnisse der aereomagnetischen Vermessung ergaben flächendeckend für die obersten 50 m den geologischen Schichtaufbau (grundwasserführende Sande sowie Geschiebemergel als Grundwassernichtleiter) des Projektgebietes. Diese Ergebnisse wurden in eine "vulnerability map" umgesetzt, aus der sich potentiell kontaminationsgefährdete Gebiete für das Grundwasser abzeichnen.

Die Ergebnisse des Projektes werden den Wasserversorgern und –behörden der Region als Datenbasis für weitere wasserwirtschaftliche Planungen zur Verfügung gestellt.

Friedel, S. (Leipzig)

friedel@physik.uni-leipzig.de

Wege zu optimalen Datensets in der Gleichstromgeoelektrik

Optimale Datenerfassungsstrategien, die in möglichst kurzer Messzeit ein Maximum an Information über das untersuchte Objekt liefern, stellen eine Herausforderung für alle bildgebenden Verfahren dar.

Für die Geoelektrik wird diese Frage schon seit Jahrzehnten auf weitgehend empirischer Grundlage diskutiert, gewinnt aber heute zunehmend an Aktualität. Neue Anwendungsgebiete wie die Erkundung zeitabhängiger Leitfähigkeitsverteilungen (z. B. bei Tracerversuchen) oder der Wunsch nach einer Echtzeitauswertung (Inversion) im Feld, aber auch die Verfügbarkeit von Geräten mit hundert und mehr Elektroden lassen die Frage nach optimalen Messstrategien wieder aufleben.

Mit dem Poster möchte ich die Diskussion zwischen Theoretikern und Geräteentwicklern um Grundlagen und technische Realisierung optimaler Messkonfigurationen neu beleben. Dazu werden einige numerische Ergebnisse präsentiert, bei denen verschiedene, realistisch verrauschte Datensets simuliert und nach ihrem Informationsgehalt ausgewertet wurden.

Die Frage nach der Existenz eines optimalen Datensatzes zur Rekonstruktion einer Leitfähigkeitsverteilung in einem beschränkten Gebiet durch Strom- und Spannungsmessungen auf dessen Rand ist durch den Beweis der Eindeutigkeit des inversen Impedanzproblems aus theoretischer Sicht beantwortet. Notwendig dafür ist eine unendlich dichte Bedeckung der Oberfläche mit Elektroden, deren Ausdehnung und Abstand im Grenzwert gegen Null und deren Anzahl folglich gegen unendlich geht. Gefordert wird weiterhin eine gleichzeitige Messung von Strom und Spannung an allen Elektroden und zwar mit unendlicher Messgenauigkeit. Diese Optimalforderungen sind offensichtlich technisch nicht realisierbar und können auch aus praktischer Sicht kaum als optimal gelten, da sie nicht in endlicher Zeit bewerkstelligt werden können.

Aus der Beschränktheit realer Meßsysteme in Anzahl von Elektroden und Messgenauigkeit ergibt sich die praktische Mehrdeutigkeit des inversen geoelektrischen Problems. Eine Suche nach optimalen Datensets kann immer nur innerhalb dieser Randbedingungen erfolgen, d.h. es existieren immer Systeme mit einer größeren Anzahl von Elektroden und einer höheren Genauigkeit, die eine bessere Abbildung ermöglichen. Eine wichtige Aussage kann jedoch aus theoretischen Betrachtungen abgeleitet werden: es lohnt sich nicht Elektrodenzahl und Messgenauigkeit im Unverhältnis zu verändern.

Fixiert man als erste Randbedingung die Anzahl der Elektroden auf L , lassen sich folgende Aussagen treffen: Durch Analogie zu passiven Widerstandsnetzwerken kann gezeigt werden, dass im Modell der Leitfähigkeit maximal $F_{max} = L(L-1)/2$ Freiheitsgrade unterschieden werden können. Dies entspricht genau der maximalen Zahl linear unabhängiger (Pol-Pol-) Messungen auf einem L -Elektroden-System. Der Pol-Pol-Datensatz stellt eine Basis dar, aus der sich bei unendlich kleinem Messfehler durch Linearkombination Messwerte für alle anderen Konfigurationen berechnen lassen. Eine solche Superposition ist bei realen Messfehlern der Basismessungen jedoch nicht empfehlenswert, da diese sich extrem fortpflanzen. Es ist in jedem Fall besser, sehr kleine Messspannungen direkt zu erfassen, als sie durch Differenzbildung aus mehreren großen Werten zu berechnen. Doch welche Konfigurationen soll man nun tatsächlich messen: Pol-Pol-, Pol-Dipol-, Dipol-Dipol-, Wenner-, Schlumberger-, oder gar Tensor- und fokussierende Anordnungen?

Fixiert man als zweite Randbedingung für jeden möglichen Messwert einen zu erwartenden Fehler, so kann diese Frage bereits vor der Messung durch eine *a priori* Abschätzung beantwortet werden. Im Poster wird am Beispiel einer linearen Elektrodenanordnung gezeigt, wie dies mit den Methoden der Inversionstheorie, speziell durch eine quasilineare Approximation des inversen geoelektrischen Impedanzproblems und der SVD-Analyse der Sensitivitätsmatrix geschehen kann. Diese Analyse liefert die Anzahl der effektiv bestimmbaren Freiheitsgrade $F_{eff} < F_{max}$ im Modell. Aus ihr ergeben sich nicht nur Aussagen über systematische und statistische Abbildungsfehler im Inversionsergebnis (Auflösungsvermögen und Bildrauschen als Funktion des Ortes), sondern auch ein Maß für den Beitrag jeder einzelnen Messung zur Gesamtinformation über den Untergrund. Eine Sortierung der Konfigurationen nach diesem Maß (bei Berücksichtigung einer gewissen Redundanz) ergibt das optimale Datenset.

Eine *a-priori* Definition des optimalen Sets von Konfigurationen scheint für viele Anwendungen ausreichend, da die Messspannungen (und damit auch die maßgeblichen Fehler) durch die geometrischen Verhältnisse bedeutend stärker beeinflusst werden als durch Inhomogenitäten der Leitfähigkeit im Boden. Dennoch scheint auch die Frage nach *adaptiven* Meßsystemen interessant, die während der Messung auf der Grundlage der vorhandenen Daten und aktuellen Fehler selbständig und intelligent weitere Konfigurationen auswählen. So könnten ggf. bereits erkannte Anomalien durch zusätzliche Messungen noch schärfer herausgearbeitet werden. Die adaptive Fokussierung könnte sich sowohl auf vorher definierte 4-Punkt-Messungen beschränken als auch das Konzept der Stromfokussierung verwenden.

In der medizinischen Impedanztomographie werden aus verschiedenen messtechnischen Gründen Impedanzmessungen anders als in der Geoelektrik nicht vornehmlich durch Vierpunkt-Messungen realisiert. Üblich sind hingegen Einspeisungen sogenannter Strommuster (über mehrere Elektroden) bei gleichzeitiger Abtastung der Potentiale. In der Geoelektrik scheinen gleichzeitige Strom- und Spannungsmessungen an den Erdern wegen der sehr instabilen (u.a. stromabhängigen) Übergangswiderstände nicht ratsam. Die Idee der Mehrfacherdung und Stromfokussierung jedoch fand jedoch u.a. im Laterolog erfolgreiche Anwendung. Das Poster beleuchtet aus theoretischer Sicht Vorteile von und Nachteile von Mehrfacherdungen die den Dialog mit Geräteentwicklern über die technische Realisierbarkeit solcher Systeme anregen sollen.

Rücker, C., Friedel, S. (Leipzig)

Singularity Removal und adaptive Netzgenerierung in der Finiten-Elemente Methode zur DC Widerstandsmodellierung

Die Methode der Finiten Elemente (FEM) ist ein mächtiges Werkzeug bei der Lösung von partiellen Differentialgleichungen. Das Leistungsvermögen der FEM, also das Verhältnis von Lösungsgenauigkeit zur Menge der eingesetzten Rechenressourcen, hängt im wesentlichen von zwei Faktoren ab: a) der Wahl einer geeigneten Modelldiskretisierung (FE-Netz) und b) die Lösung eines großen, symmetrischen und schwach besetzten Gleichungssystems. Die bei der Lösung des gleichstromgeoelektrischen Widerstandsproblems auftretenden Besonderheiten wie z. B. Singularitäten des Einspeisestroms an beliebig positionierten Elektroden, Unregelmäßigkeiten von Störkörpern im Modellgebiet oder auch beliebige Topographien können ohne größere Probleme berücksichtigt werden. Dennoch ist die Methode der Finiten Elemente in der Geoelektrik noch nicht so verbreitet wie die Methode der Finiten Differenzen (FDM) und die meisten Anwendungen sind noch beschränkt auf vordefinierte Standardnetze.

Dieser Vortrag setzt sich mit einem FE-Algorithmus zur DC-Widerstandsmodellierung auseinander, welcher die Strategie der selbstadaptiven Netzgenerierung verfolgt. Diese Technik stellt einen guten Kompromiss zwischen zu erreichender Lösungsgenauigkeit und benötigten Rechenressourcen dar. In einem iterativen Prozess wird dabei das FE-Netz automatisch generiert und ist somit speziell an das zu modellierende Problem angepaßt. Das so entstehende FE-Netz besitzt im Gegensatz zu klassischen, äquidistanten Diskretisierungen im allgemeinen eine deutlich verringerte Anzahl von Gitterknoten, so daß sich der benötigte Rechenaufwand bei vergleichbarer Lösungsgenauigkeit deutlich verringert. Ein Charakteristikum dieser in der DC-Widerstandsmodellierung adaptiv generierten Gitter ist eine extrem erhöhte Knotendichte in der Nähe der Quellelektroden, um die Approximationsfehler durch diese Stromsingularitäten zu minimieren.

Beim Verfahren des Singularity Removal, welches vor allem in der FD-Widerstandsmodellierung große Verbreitung findet, wird die zu berechnende Potentialverteilung in einen primären und einen sekundären Anteil zerlegt. Das Primärfeld stellt dabei den analytisch berechenbaren Beitrag des Potentials dar und kann somit vom Gesamtproblem abgezogen werden. Das Potential von Punktelektroden im homogenen Halbraum ist leicht zu finden, weshalb das noch zu berechnende Sekundärfeld nicht mehr von den Singularitäten der Einspeisung abhängt. Durch die Integration dieser Strategie in die adaptive Netzerzeugung ist es möglich die Effektivität des automatischen FE-Gitteraufbaus deutlich zu erhöhen. Bei einer erfolgreichen Anwendung dieser Vorgehensweise ist eine Verdichtung der Gitterpunkte nur noch an topographischen Unregelmäßigkeiten und Materialübergängen zu erwarten, d.h. durch die zusätzliche Einsparung von Diskretisierungsknoten ist eine weitere Verringerung der Rechenzeit gewährleistet.

Funke, S., Friederich, W., Svekalapko Seismic Tomography Working Group (Stuttgart)

funke@geophys.uni-stuttgart.de

Rayleigh Wave Dispersion and a 1D S-velocity Model of the Mantle Beneath Southern Finland

We derive a Rayleigh wave dispersion curve from surface wave data recorded at the SVEKA-LAPKO tomographic array deployed in Southern Finland from September 1998 to March 1999. After a suite of processing steps, complex spectral amplitudes of the Rayleigh wave train are determined for each available seismogram. The processing includes low-pass filtering, instrument correction, deconvolution using a standard earth model to compress the Rayleigh wave train, computation of Gabor matrices (sonograms) to pick group travel times, and finally estimation of complex spectral amplitudes in a Gaussian time window of frequency-dependent width centered on the group travel time. Spectral amplitude values are only accepted if the signal-to-noise ratio in the considered frequency interval is above a pre-chosen threshold and if the picked group travel time does not deviate too strongly from that predicted by a standard earth model. The final dataset contains spectral amplitude values at 34 selected periods from 52 earthquakes observed at on average 25 stations.

For each selected frequency, we determine a phase velocity by fitting plane waves propagating across the array with this velocity to the complex spectral amplitudes of all earthquakes and stations. Errors are estimated with a bootstrap method. We obtain reliable phase velocities in the frequency band from 8 mHz to 50 mHz. Phase velocities for lower frequencies exhibit large errors due to the lack of big earthquakes during the time of deployment. The phase velocities are substantially higher than predicted by standard earth model ak135 below 20 mHz and slightly lower above 25 mHz.

We have inverted the dispersion curve for a 1D shear wave velocity model down to about 400 km depth and obtain a 47 km thick crust and a fast upper mantle with a sub-Moho velocity of 4.7 km/s. Our data do not require a low-velocity zone in the upper mantle. Indeed, the dispersion curve can be explained by a straight velocity profile from the Moho to the 410 km discontinuity.

Jones, I.F., Fruehn, J., Sugrue, M. (Houston), Koelle, A. (Hannover)

Factors Affecting Frequency Content in preSDM imaging

It is sometimes remarked that pre-stack Kirchhoff depth migrated images have a lower frequency content than their time-domain counterparts. Here we assess the various factors that influence frequency content during migration, with the object of assessing the reasons for potential loss of bandwidth in migrated data.

We demonstrate that there is no inherent reason for the bandwidth of Kirchhoff (or depth) migrated data to be worse than other migrated data, and offer recommendations for ensuring optimal frequency content in the processed output image.

Introduction

'The depth migration has lower bandwidth': this complaint has often been heard, and examples can be found where it appears to be true. Is this observation an indication of some inherent limitation of Kirchhoff 3D preSDM or simply of 'bad practice' or economic 'expediency'?

In the following work, we outline the nature and cause of various factors that have an impact on the frequency content of a migration, and try to assess if these factors affect depth migration more than time migration, or Kirchhoff migration more than alternative schemes.

The analysis covers the following topics:

- **Spurious Differences**
- **Aliasing:** Temporal; Spatial
- **Wavelet Changes During Migration:** Frequency, Velocity & Offset Dependent
- **Kirchhoff Migration as a Stacking Process:** Travel-Time Sampling Errors; Sensitivity to Velocity Error; Acquisition Footprints

Spurious Differences

Some aspects of this work deal with 'statements of the obvious': but it could be instructive to re-state them anyway. For example, a common element of confusion in time versus depth comparisons is the degree of post processing. A final time product (with its associated deconvolution and spectral balancing) will naturally look better in terms of signal content, than a raw preSDM result. Consequently, it is important to perform the appropriate post-processing on the output from the preSDM before drawing conclusions. In the case of designing spectral balancing operators, we must ensure that the preSDM output spectrum extends well beyond the signal spectrum.

In addition, whereas a frequency domain finite-difference algorithm explicitly limits the frequency range (FMIN & FMAX parameters), a Kirchhoff scheme (which is usually time domain) does not inherently limit the frequency range. However, in preparation for anti-alias filtering, or variable depth step, some Kirchhoff schemes may also select a frequency bandwidth. Thus, in comparisons, we must first ensure that we have migrated that same frequency content

Temporal Aliasing

For time-sampled data, we have a Nyquist frequency, and if we resample the data say from 2 to 4 ms, then we must first pre-filter the time data in order to avoid aliasing the signal with energy beyond the new Nyquist.

Likewise, during depth migration, we resample data to depth, and must take care that we do not alias temporal frequencies that are not adequately sampled by the output depth step.

This is not usually a problem for finite difference depth migration, as we band-limit the data explicitly during. However, for Kirchhoff migration, we have no explicit time-frequency cut-off so must ensure that upon output we do not permit aliased energy to survive.

To accomplish this, we must pre-filter the input time data: to calculate the frequencies permissible in the output depth data, we need to know: DZ (the output depth sample rate) for the migration, and $V_i(t)$ the interval velocity

function. The maximum temporal frequency that can be imaged for a given dz is:

$$F_{nyq} = v/(4 * DZ)$$

For example, for typical marine data, imaged with a 10m depth step, we would need to pre-filter the input data to about 35Hz in the shallow.

This problem of not having pre-filtered the data to guard against temporal aliasing is only important when we image at a 10m depth step (or greater) or in the very shallow parts of a marine section, where we have low velocities. Deeper in the data, or with a 5m (or variable) depth step, the problem is not as severe. For land data, the problem does not usually occur, as we have high near-surface velocities. However, in dune areas, we can have very low surface velocities, so the problem can be even worse.

Recommendations

Estimate the global minimum 1D velocity function that is representative of the 3D velocity field. Compute the corresponding F_{max} for the depth step to be used in the migration. Pre-filter the data with the appropriate low-pass filter.

Parameter testing (design of aperture, spatial anti-alias filter, etc) must be performed only on data that have been appropriately pre-filtered.

Spatial Aliasing

During migration, data is moved out along the impulse response to increasingly higher dips, prior to summation to form the output image. For a given inter-trace distance, a given frequency will become aliased for a given dip. In order to prevent the aliased frequencies from being summed into the output image, we apply an anti-alias filter during migration.

This will limit the frequency content of dipping reflectors. This observation is true for all migrations, but is more pronounced in Kirchhoff migration, where we explicitly apply an anti-alias filter.

For finite difference schemes (as usually applied in time migration) we do not usually have explicit control of the operator, but aliased frequencies will be rejected as evanescent energy.

Sometimes the design of the anti-alias operator is sub-optimal, as the effect of tapers is not properly taken into account, and the filter kills too much high frequency energy. Thus, omitting the anti-alias filter can sometimes give a better result, especially deeper in the section where high frequency aliased energy is less of a problem.

Recommendations

Produce a test line with the anti-aliasing turned-off, so as to be able to assess any potential damage done to steep dips by the choice of anti-alias parameters. Adjust the anti-alias parameters accordingly.

Wavelet Changes During Migration:

Frequency Dependent Changes

In general, migrating an event of a given dip will lower the frequency content of that event. This lowering of frequency on dipping events is common to both time and depth migrations, but care must be taken to choose the low-cut of display filters so as to preserve the post-migration frequency content of the data.

This also has a corresponding effect on the design of deconvolution operators. It can be observed that using a deconvolution whose parameters have been chosen by testing on a time migrated image, will give a sub-optimal result when used on a depth migrated image.

Recommendations

Deconvolution tests and parameter selection should preferably be done on the depth migrated data (converted back

to time) rather than applying deconvolution operators with parameters selected from previously existing time migrated data.

Velocity Dependent Changes

On a time migrated section, the wavelet is seen in its domain of measurement: namely time. So, ignoring the effects of dispersion and attenuation, the wavelet will appear stationary down the trace. That is to say, its phase and frequency content should not change.

On a depth migrated image however, the wavelet is seen in depth, and its wavelength changes in accordance with the velocity contrasts it sees. The wavelet is stretched as it passes through an interface with a high velocity contrast.

Consequently, the wavelets appear to be of lower frequency in the deeper parts of the section in the depth image. This stretch effect can be removed by a vertical stretch back to time, and if we do this, the frequency content of the wavelet should be similar to that of a time image.

Although we have stated that converting back to time will 'back out' the vertical wavelet stretch, on real data, life is not so simple. Due to the persistence of RMO, the depth domain wavelets are not perfectly aligned in the CRP gathers. Thus upon stacking, we degrade the wavelet character. This distorted wavelet is then converted back to time with a model whose velocity interface sits 'somewhere' within the distorted wavelet. Thus a residual low frequency element remains in the wavelet after conversion back to time. If the input data are in minimum phase, then this effect can be lessened somewhat, as the energy of the wavelet is front-loaded. There is also the interplay with where the horizon boundary sits within the wavelet.

Recommendations

Strive towards a good wavelet compression sequence prior to migration.

Offset Dependent Changes

A more problematic, and fundamental problem related to depth imaging, is the offset dependent stretch of the wavelet in depth (Tygel, et al, 1994, 1995). This is analogous to the NMO stretch in time processing (Barnes, 1995).

In the depth domain, the severity of the stretch is proportional to the incidence angle, reflector dip, and to the velocity. Hence the effect is very noticeable for the farther offsets. In addition, the effect stands out at high velocity contrast layers, especially after a velocity inversion, as in this case, the down going rays refract back to the vertical, thus reducing the angle of incidence of subsequent reflections. Consequently the stretch at the base of the high velocity layer appears more pronounced in comparison to deeper events. Hence the effect is most noticeable at unconformities, carbonate, and salt interfaces.

Because the stretch can both increase and decrease with depth, such events are difficult to mute out with a standard processing mute, as the mute functions often must be simply monotonic. To deal with depth stretched wavelets, we need to design an automatic stretch dependent mute.

Recommendations

Stacking mutes should be selected after preSDM. Consequently the pre-migration mute should be left quite wide. Ideally, an automatic stretch mute, with a parameter to select the stretch threshold could be implemented.

This recommendation is only valid for offset Kirchhoff migration. In a shot migration (as used in a full wave equation scheme) energy is mixed between offsets during the migration, Thus, the mutes must be applied prior to migration.

Kirchhoff Migration as a Stacking Process.

If we think of the migration as a sum over hyperbolic trajectories (in time migration) or over more complex asymmetric trajectories (in depth migration), then we can see that summing over an incorrect trajectory will lead to mis-stacking, which translates into a lack of frequency content.

Assuming we have the correct model, there will be 3 main influencing factors on image quality:

- correct sampling of the velocity field (ergo – travel times)
- correct sampling of the input data on the acquisition surface
- adequate sampling within the Fresnel zone at the image point

Travel-Time Sampling Errors

There are various theoretical approximations made in ray-tracing or other travel time computation schemes (such as how we treat the curvature of a ray in a velocity gradient). However, a more mundane and damaging effect relates to how we sub-sample the travel times for storage.

In practice the travel time calculation is performed by considering a five-dimensional problem:

- the 2D surface acquisition grid sampled at say 125m * 125m, representing both the source and receiver positions, and
- the 3D subsurface volume sampled at say 100m * 100m * 50m.

For each surface location on the 2D grid, we compute the one-way travel time to each of the nodes in the 3D subsurface volume. In general the cost of computation increases as the cube of the depth (solving to a depth of 2km costs 8 times more than solving for a depth of 1km). Given that in general an input trace will not lie on the surface nodes used for calculation, we must read the travel time tables associated with the four nearest neighbours and then interpolate. Also, given that the desired output points will not lie on the 3D volume nodes, we must also interpolate those values between nearest neighbours.

These interpolations introduce some error. To avoid them, ideally we should compute travel times for the true surface locations of all shots and receivers, and do so for all desired output depth samples (i.e. at the seismic sampling, typically 25m * 25m * 5m). However, the volume of space required to store all travel times is very large (e.g. For a 10km * 10km * 10km volume, this would typically be 400 terabytes).

In the near surface, the travel time isochrons tend to have greater curvature, as the wavefield has not spread-out too much. If we sample the travel times on a surface grid of say 200*200m, and then interpolate these values down to 25*25m during the migration, we will have some interpolation error. If we use a simple linear interpolator to resample the travel times to the migration output grid spacing, then we will usually see a grid pattern artifact in depth slices through the resulting images. (N.B. In practice it is the slownesses that are interpolated).

Recommendations

QC the degree of artifact by inspecting 3D depth slices through the final image. The artifact is usually strongest at shallower depths. If necessary, use a non-linear interpolation and/or use the smallest 'affordable' grid;

Sensitivity to Velocity Error

As we have noted, an error in the travel times, due to whatever cause, results in mis-stacking in the Kirchhoff summation. This not only leads to a loss of stack power, but also to a loss of frequency content (Jones, et al, 1998). Both time migration and depth migration will suffer from loss of amplitude and frequency due to this mis-stacking.

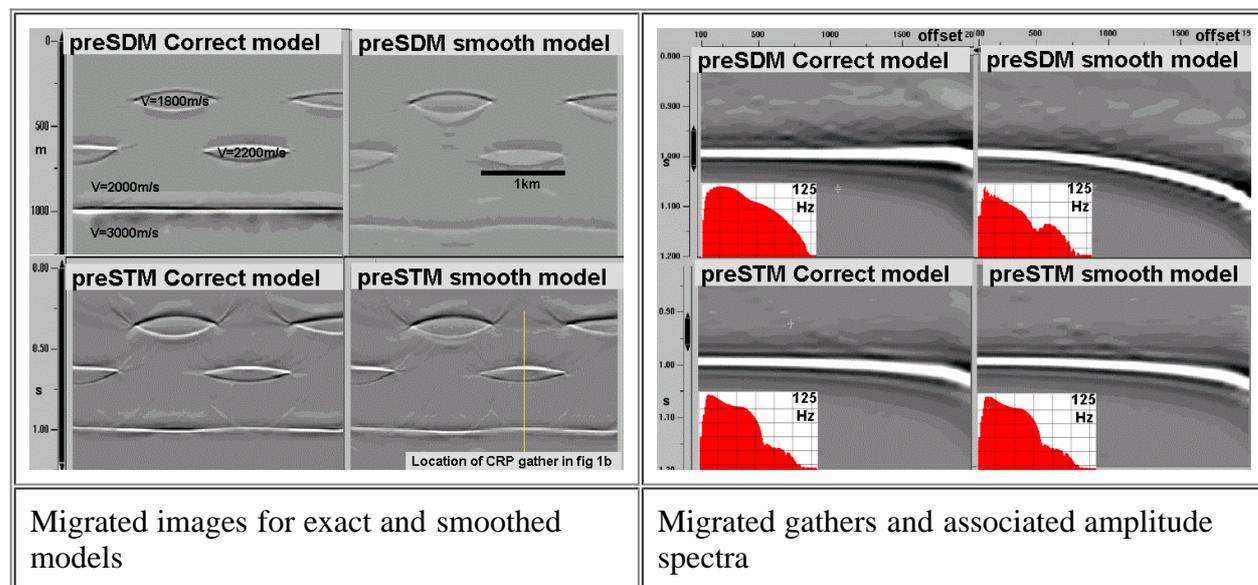
However, depth migration is more sensitive to lateral velocity change (in fact, time migration ignores it to the extent that time migration operators are symmetric) Due to this greater sensitivity to velocity, a depth migration will suffer more than a time migration for a given velocity error (see fig 1.)

Recommendations

Output all CRP gathers from the 3D preSDM final run. Then obtain a dense RMO velocity correction field - eg use an automatic velocity analysis tool to continuously analyse velocity along lines spaced at 200m: gathers can be converted back to time for this. Velocities can be output every 100 or 200m along the lines, to yield a 200m *

200m RMO correction grid, after appropriate editing and smoothing.

Fig 1: Synthetic data with small-scale length velocity anomalies are migrated first with the exact model, then with a smoothed model using both preSTM and preSDM algorithms. The preSTM result is similar with both models. PreSDM is worse with the smoothed model. The preSDM loses more frequency content than preSTM for small velocity errors.



Acquisition Footprints

A Kirchhoff migration assumes that the input data are regularly sampled in x , y , and offset, so that the resulting wavefield can be adequately reconstructed during imaging. If we have a gap in the input, there will be an amplitude anomaly in the output, as the corresponding Huygen's 'secondary wavelets' will not sum appropriately.

In the case of acquisition footprints, time processing is helped by bin-centred DMO and subsequent interpolation prior to migration. Finite Difference preSDM requires regular bin-centred input, so we avoid the problem as with time imaging

Recommendations

Perform regularization/interpolation prior to Kirchhoff preSDM.

Conclusions

3D preSDM is still considered an 'expensive' process, consequently pressure is always on to 'save money'. However, if money is 'saved' by not outputting full bandwidth gathers, then more money will be lost by having to work with sub-optimal images.

All gathers should be output from a preSDM: these gathers should be subjected to the full conventional processing expected for any high-fidelity time-processing sequence (e.g. careful mute selection, wavelet deconvolution, signal spectral balancing, residual anti-multiple, etc).

A series of recommendations have been given in the body of the text. Following the majority of these recommendations should safeguard against most of the factors that act to degrade depth image quality.

Acknowledgements

Thanks to TFE & bp, for kind permission to use their data, and to Mike Bridson and Mike Goodwin for producing some of the data examples.

References

Barnes, A. E., 1995, Discussion on 'Pulse distortion in depth migration', by M. Tygel, J. Schleicher, and P. Hubral

(GEO-59-10-1561-1569): Geophysics, **60**, no. 06, 1942-1947.

Jones, I.F., Ibbotson, K., Henry, B., Strachan, A., Baud, H., 1998, Enhancements to 3D preSDM salt-flank imaging, Journal of Seismic Exploration, v7, No.3/4, pp329-346..

Tygel, M., Schleicher, J., Hubral, P., 1994, Pulse distortion in depth migration: 64th Ann, Internat. Mtg. Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1359-1362.

Tygel, M., Schleicher, J. and Hubral, P., 1994, Pulse distortion in depth migration : Geophysics, **59**, no. 10, 1561-1569. (* Discussion in GEO-60-6-1942-1949)

Ryberg, T. (Potsdam), Fuis, G. S. (Menlo Park), Prodehl, C. (Karlsruhe), Lutter, W. J. (Madison), Murphy, J. M. (Menlo Park), Okaya, D. A. (Los Angeles), Hauksson, E. (Pasadena), Hildenbrand, T. G. (Menlo Park)

trond@gfz-potsdam.de

Basin structure of the San Fernando and Santa Clarita Valleys and geometry of the Northridge and San Fernando faults as determined from the Los Angeles Region Seismic Experiment, Phase II (LARSE II)

We acquired combined refraction and low-fold reflection data along a north-south-trending profile through the epicentral regions of the 1994 M 6.7 Northridge and 1971 M 6.7 San Fernando earthquakes as part of the Los Angeles Region Seismic Experiment, Phase II (LARSE II). The chief goal of LARSE is to image sedimentary basins and faults in the Los Angeles region to better understand and mitigate earthquake hazards associated with sedimentary basins and hidden faults. The LARSE II profile crossed the San Fernando and Santa Clarita Valleys, locations of the Northridge and San Fernando earthquakes, respectively. Refraction and reflection data show asymmetric basins beneath both valleys. Stacked wide-angle basin-bottom reflections and iso-velocity lines dip gently northward from the Santa Monica Mts, on the south margin of the San Fernando Valley, to 5-6 km below sea level in the northern part of the San Fernando Valley. Similar reflections and iso-velocity lines dip southward from the Sierra Pelona, on the north margin of the Santa Clarita Valley, to 4.5-5.5 km below sea level at the San Gabriel fault, in the central part of the Santa Clarita Valley. In both valleys, the basin-bottom reflections are generally slightly below the 5 km/s iso-velocity line, indicating that "basement" beneath these two valleys has velocities generally upwards of 5 km/s. In the San Fernando Valley, the basin-bottom reflections are truncated on the north by what we interpret to be the Northridge Hills blind thrust fault. In the Santa Clarita Valley, these reflections are truncated on the south at the steeply north-dipping San Gabriel fault. The region between these two faults, including the Santa Susana Mts and the southern part of the Santa Clarita Valley is characterized by complexity in both the velocity model and reflectivity.

Below ~ 10-km depth, reflectivity is higher in the hanging walls of the Northridge and San Fernando faults than in the footwalls. The Northridge fault dips ~ 35° southward. The San Fernando fault is seen as a broad north-dipping zone containing reflections dipping 25-35° northward that intersects a broad south-dipping zone of reflectivity from the Mojave Desert approximately beneath the surface trace of the San Andreas fault.

The depth, seismic-velocity structure, and geometry of the San Fernando and Santa Clarita Valleys will be useful in predicting strong motion in these valleys from future earthquakes. The connection of the San Fernando fault to the San Andreas fault in the lower crust will help in understanding of tectonics and crustal deformation in the Los Angeles region.

Furche, M., Weller, A. (Clausthal)

2D Inversion von Daten einer Multi-Elektroden-Sonde im Bohrloch

Die Kenntnis einer realistischen räumlichen Verteilung der elektrischen Leitfähigkeiten in der Umgebung von Bohrungen lässt weiterreichende Aussagen über gesteinspezifische Parameter wie Porosität oder Wassersättigung zu. Wir verwenden Daten einer Multi-Elektroden-Sonde, die mit 8 äquidistant angeordneten Potentialelektroden ausgestattet ist. Durch die Messung der verschiedenen Potentiale erreicht man in Abhängigkeit vom Abstand zur Stromelektrode unterschiedliche Eindringtiefen in die Formation. Um den in den Daten enthaltenen Informationsgehalt auszuschöpfen und eine Leitfähigkeitsverteilung sowohl in vertikaler als auch radialer Richtung zu bestimmen ist es notwendig, eine Inversion der Daten durchzuführen. Da das inverse Problem *inkorrekt* oder *schlecht gestellt* ist, führt es nicht zu einer eindeutigen Lösung. Der Ansatz zu einer Näherungslösung ist die Linearisierung des diskreten nicht-linearen Problems. Das verbleibende Gleichungssystem stellt sich wie folgt:

$$\Delta \mathbf{m} = \mathbf{S} \Delta \mathbf{d} \quad (1)$$

Dabei ist

$$\mathbf{S} = \{s_{i,j}\}_{i=1,\dots,M, j=1,\dots,N} \quad (2)$$

die Sensitivitäts- oder Jacobi-Matrix mit den Koeffizienten

$$s_{i,j} = \delta p_i / \delta p_j \quad (3)$$

p_i sind die gemessenen scheinbaren spezifischen Widerstände, p_j die Modellparameter, $\Delta \mathbf{m}$ der Vektor der Modelländerungen und $\Delta \mathbf{d}$ der Vektor der Datenresiduen. Die Sensitivitätsmatrix selbst ist immer eine Funktion des gerade verwendeten Modells \mathbf{m} . Die Modelländerungen ergeben sich aus den Datenresiduen nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$\Delta \mathbf{m} = (\mathbf{S}^T \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^T \Delta \mathbf{d} \quad (4)$$

Ausgehend von einem Startmodell werden durch Änderungen des Modellvektors die Datenresiduen iterativ verringert. Unter Annahme eines senkrechten Bohrlochs und einer horizontalen Schichtung des Gebirges wird das Problem in Zylinderkoordinaten unabhängig vom Azimutwinkel, es reicht aus, die Berechnung zweidimensional auszuführen. Die im Algorithmus verwendete Vorwärtsmodellierung basiert auf der Methode der Finiten Differenzen (FD) und wird mit einem vorkonditionierten konjugierten Gradientenverfahren (CG) gelöst. Der erste Ansatz des Algorithmus erfolgte mit der Simultanen Iterativen Rekonstruktionstechnik (SIRT). Für dieses Verfahren wurden keine Vorinformationen verwendet, der Algorithmus arbeitete mit einer maximalen Anzahl von Freiheitsgraden. Der Vorteil von Verfahren wie der SIRT liegt darin, dass die inverse Matrix von $\mathbf{S}^T \mathbf{S}$ nicht direkt gebildet wird, so dass man auch mit einer großen Anzahl von Modellparametern umgehen kann. Der Algorithmus zeigt gute Ergebnisse bei homogenen Schichten bis zu einer gewissen Dicke. Bei dünnen Schichten und inhomogenen Schichten allerdings führte die Eigenschaft der SIRT, Strukturen stark zu glätten, zu größeren Anpassungsfehlern. In einigen Fällen war der Algorithmus nicht in der Lage, die Tendenz des Widerstandsverlaufs in inhomogenen Schichten des Modells wiederzugeben. Aufgrund des Äquivalenzprinzips ergeben sich trotzdem Lösungen mit vertretbaren Anpassungsfehlern. Aus diesen Gründen wurde dazu übergegangen, die Anzahl der Freiheitsgrade zu verringern. Der erste Schritt war die Bestimmung von Schichtgrenzen anhand der Kurve des logarithmierten Quotienten der Stromverhältnisse eines synthetischen Laterolog-7. Diese Schichtgrenzen wurden dem Algorithmus vorgegeben und während der Inversion festgehalten. In jedem Iterationsschritt wurden in den Schichten die spezifischen Widerstände spaltenweise gemittelt. Diese Maßnahme führte zu einer leichten Verbesserung in der Rekonstruktion des vorgegebenen Modells. Um die Anzahl der Freiheitsgrade noch einmal deutlich zu verringern, wurde jede Schicht in drei Blöcke unterteilt. Dies entspricht einem bohrlochnahen Bereich (z. B. einer Infiltrationszone), einer Übergangszone und einem bohrlochfernen Bereich (der möglichst ungestörten Formation). Die radialen Entfernungen der Blockgrenzen werden vor der Inversion festgelegt und nicht mehr verändert. Da nun die Anzahl der Parameter, verglichen zur ursprünglichen Anzahl, wesentlich geringer ist, können Verfahren verwendet werden, die die Gleichung (4) direkt lösen, d.h. die die inverse Matrix von $\mathbf{S}^T \mathbf{S}$ direkt bestimmen. Dazu wurde ein Algorithmus entwickelt, der auf der Methode von Marquard und Levenberg basiert. Insbesondere für dünne Schichten und inhomogene Schichten konnten die Anpassungsfehler deutlich verringert werden. Neben der

Weiterentwicklung des Algorithmus an sich wurde auch an einer Verbesserung der verwendeten Sensitivitätsverteilungen gearbeitet. Ausgangspunkt war hier die Berechnung der Sensitivitätskoeffizienten für einen homogenen Raum. Unter Verwendung eines Modells mit einer zylindrischen coaxialen Grenzfläche konnte der Widerstandskontrast zwischen Spülung und einem Mittelwert des Gebirges berücksichtigt werden. Im letzten Entwicklungsstadium des Algorithmus geht die Berechnung der Sensitivitätskoeffizienten direkt auf die Potentialverteilung zurück, die bei der Vorwärtsmodellierung berechnet wird. Auch diese Maßnahmen haben einen positiven Effekt auf die Ergebnisse. Auf dem Poster werden an ausgewählten synthetischen Beispielen anhand der angepassten Modelle die Verbesserungen der einzelnen Entwicklungsstadien des Inversionsalgorithmus dargestellt und erläutert.

Schweitzer, J., Fyen, J., Mykkeltveit, S., Kvaerna, T. (NORSAR)

johannes@norsar.no

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 9: Seismic Arrays

During the last decades, detection and analysis of signals recorded at seismic arrays have become more and more important. After the first signatures of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty in 1996 the number of installed and planned arrays has increased worldwide.

Consequently, the new Manual of Seismological Observatory Practice (MSOP) also contains a chapter on the seismological principles of seismic arrays and how array data can be used in the daily analysis.

In this chapter a general description of existing seismic arrays and their design can be found. In addition, we have included a section about design considerations and array geometry optimization for new arrays. In other sections, we explain and discuss the principles and application of beamforming, the array transfer function, and how seismic arrays can be used to estimate the apparent velocity and the azimuth of a seismic wave. Finally, as an example, a description of the automatic data analysis for small aperture arrays as implemented at NORSAR is included. The different sections of this chapter of the MSOP will be shortly sketched in the poster and examples of representative figures will be given.

Götze, H.-J., Schmidt, S. (Berlin)

Potential Field Modeling in High Mountains by the Aid of an Interoperable 3D GIS (Andes).

hajo@geophysik.fu-berlin.de

On the base of some 15.000 reprocessed gravity observations in the Central Andes we established a 3D density model which is constrained by other geophysical data sets of the region. Onshore the Bouguer anomaly drops down to a regional minimum of about -450 mGal in the area of the recent volcanic arc, related to both (1) crustal thickening by isostatic compensation and (2) low density material of the volcanic arc. The effect of isostatic compensation of topography and intra crustal loads was calculated assuming a Vening-Meinesz model with the following parameters: density contrast of the earth's mantle and crust $D = 350 \text{ kg/m}^3$, a normal crustal thickness of 35 km and a flexural rigidity of $10 \text{ exp. } 23 \text{ Nm}$. 2D calculations of rigidity results in normal values in the fore and back arc area but extreme low values in the area of the high intra mountainous basins. Local minima along the recent volcanic arc point to domains of partly molten material (10 to 15 % of melts) at depths of 10 - 15 km and light volcanic material close to the Andean surface. Both was tested by depth estimations in the wave number domain. The maximum-type geoid in the Central Andes mainly reflects the topographic edifice. It rises from some 20 m in the Pacific area up to a 50 m high in the center.

Hese, F., Götze, H.-J., Schmidt, S. (Berlin)

Interoperable Geoinformationssysteme für die 3D Modellierungen von Potentialfeldern auf der Grundlage des Geotektonischen Atlas von Nordwestdeutschland

Die Grundlage für die Erstellung geowissenschaftlicher 3D-Abbildungen bildet einerseits die klassische geologische Kartierung an der Oberfläche und die Auswertung von Bohrungen, sowie seismische und andere geophysikalische Untersuchungen des Untergrundes. Aufgrund der dabei anfallenden Datenmengen ist es sinnvoll, diese in einem 3D-Geoinformationssystem abzulegen, um eine fachübergreifende Bearbeitung von geowissenschaftlichen Fragestellungen zu ermöglichen. Hierfür sollen im Rahmen des IOGIS-Projektes Geologische Kartierung mit GIS auf der Grundlage von 3D Modellen ein geologisches und ein geophysikalisches 3D Modellierprogramm (GOCAD und IGMAS) kombiniert benutzt werden. Die beiden Programme werden mittels eines CORBA Interface mit einer objektorientierten Datenbank (OODB) verbunden. Langfristiges Ziel ist die Schaffung eines gläsernen Untergrundmodells auf der Basis eines einheitlichen und ortstransparenten Zugriffs auf geologische und geophysikalische Eingangsdaten und dreidimensionale Modelldaten im Norddeutschen Becken (Region Steinhude). Die Datengrundlage der kombinierten Modellierung bildet der Geotektonische Atlas (BALDSCHUHN et al. 1996). Er stellt eine umfangreiche Sammlung geowissenschaftlicher Daten dar und enthält die Erfahrungen einer jahrzehntelangen Exploration auf Kohlenwasserstoffe im Norddeutschen Becken. Er bietet die einmalige Chance, fachübergreifende Studien bezüglich moderner Datenbankkonzepte, geometrischer 3D Operationen und geowissenschaftlicher Modellieretechniken voranzubringen. Das Ziel der Untersuchungen ist es, ein konsistentes Volumenmodell des Untergrundes bis zur Zechsteinbasis im Raum von Steinhude mit GOCAD und IGMAS zu konstruieren. Nach der Konstruktion des geologischen 3D Modells mit GOCAD wird das Modell mit Hilfe der geophysikalischen Daten mit dem Programm IGMAS ein weiteres Mal korrigiert. Dieses so verbesserte Modell kann in weiteren iterativen Arbeitsschritten erneut mit GOCAD bearbeitet werden und als Basis für weitere Modellierungen verwendet werden.

Günther, Th. (TU BA Freiberg)

guenter@geophysik.tu-freiberg.de

3D-Inversion in der Geoelektrik - Anwendung von Regularisierungsstrategien

Bei der Anwendung einer Inversion wird versucht, an Hand von gemessenen Daten auf eine unbekannte Parameterverteilung zu schließen. Bei zwei- oder dreidimensionalen Problemen ist diese Aufgabe in der Regel unterbestimmt, d.h. die Menge freier Parameter übersteigt die Anzahl der vorgenommenen Messungen. Selbst wenn beide Größen die gleiche Größenordnung besitzen, werden bestimmte Zellen, z. B. in der Tiefe, schlechter beleuchtet als andere, was das Problem numerisch unterbestimmt macht. Weiterhin gibt es, innerhalb eines Niveaus von entstandenen Messfehlern, sehr viele Modelle, die die Daten hinreichend gut erklären.

Praktisch bedeutet dies, dass man neben einer hinreichenden Erklärung der Messdaten zusätzliche Forderungen an die Lösung stellen muss. Dieser Prozess wird als Regularisierung bezeichnet. Wenn man genügend Kenntnisse aus der Geologie und Petrophysik besitzt, kann man das beschriebene Informationsdefizit mit A-priori-Informationen verringern. Immer aber ist es wichtig, das Modell geeignet so zu parametrisieren, dass überhaupt nur möglichst wenige Einschränkungen gemacht werden müssen. Das bedeutet, dass Auflösungseigenschaften der Messung bereits in die Geometrie des Modells eingehen.

In der nichtlinearen Inversion wird traditionell in jedem Inversionsschritt die Lösung folgender Gleichung realisiert:

$$(S^T S + \lambda C) \cdot \Delta m = S^T \cdot \Delta d, \quad (1)$$

wobei S die Sensitivitätsmatrix, Δm die gesuchte Modellverbesserung und Δd die Diskrepanz zwischen den gemessenen Daten und der Modellantwort ist. Die zusätzlichen Forderungen werden mit der Matrix C verwirklicht. Diese besitzt mehr oder weniger glättende Eigenschaften. So kann man die Norm, also die Größe des Modellupdates begrenzen, genauso wie die Norm seiner ersten oder zweiten Ortsableitung. In den meisten Fällen suchen wir aber nach einer Lösung mit einer Struktur, die nur so kompliziert wie nötig ist. An dieser Stelle sind wir auf der Suche nach einer geeigneten Implementierung dieser Anforderungen.

Der Regularisierungsparameter λ steuert die Stärke der Zusatzforderungen im Vergleich zur Anpassungsgenauigkeit. Da die Vorwärtsrechnung bei dreidimensionalen Problemen beträchtliche Rechenzeit in Anspruch nimmt, ist es nicht nur wichtig, einen hinreichend genauen und vor allem schnellen Vorwärtsoperator zu finden. Aber auch die Anzahl der Inversionsschritte muss so klein wie möglich gehalten werden. Dies gelingt nur durch eine optimale Auswahl von λ . Hier eröffnen sich insbesondere Verfahren, die sehr schnell parallel Lösungen für eine Reihe von λ_i finden. Danach wählt man über eine Betrachtung der Residuen das optimale aus und findet somit einen Kompromiss zwischen den Daten und den eigenen Forderungen.

Das vorliegende Poster zeigt Beispiele zur Inversion von synthetischen und gemessenen Daten. Es demonstriert den Einsatz verschiedener Strategien der Regularisierung und ihre Auswirkung auf das Inversionsergebnis.

Gabriel, G., Wiederhold, H. (Hannover)

gerald.gabriel@gga-hannover.de

Erkundung quartärer Rinnen in Norddeutschland: was kann die Gravimetrie leisten?

Die vorwiegend während der Elster-Eiszeit entstandenen Rinnen in Norddeutschland spielen eine wichtige Rolle bei der Gewinnung von Trinkwasser. Einerseits können sie selber als Grundwasserleiter dienen, andererseits können sie sich tief in tertiäre Grundwasserleiter einschneiden und deren hydraulische Eigenschaften maßgeblich beeinflussen. Bislang basierte die Erkundung quartärer Rinnen vorwiegend auf der Anwendung seismischer und geoelektrischer Verfahren.

Quartäre Rinnen können auch Anomalien im Schwerfeld verursachen, vorausgesetzt die Rinnenfüllung weist einen ausreichenden Dichtekontrast zum umgebenden Tertiär auf. Gravimetrische Messungen wurden beispielsweise erfolgreich bei der Erkundung von derartigen Strukturen in Dänemark eingesetzt. Die norddeutschen quartären Rinnen betreffend liegen entsprechende Untersuchungen bislang nicht vor. Zunächst steht die Frage im Vordergrund, ob quartäre Rinnen möglicherweise mit der Gravimetrie – als schnelle und günstige geophysikalische Methode – kartierbar sind. Eine der Seismik vergleichbare strukturelle Auflösung kann dieses Verfahren auf Grund der Mehrdeutigkeit nicht bieten, unter Umständen aber die Interpretation der seismischen Sektionen stützen.

Durch das GGA-Institut sind in den vergangenen Jahren mehrere Rinnen in Norddeutschland gravimetrisch vermessen worden: (A) die Ellerbeker Rinne, (B) die Curauer Rinne und (C) die Bremerhaven-Cuxhavener Rinne.

(A) Ellerbeker Rinne

Der geophysikalisch (Seismik, Aeroelektromagnetik, Geoelektrik, Bohrlochgeophysik) vermessene Bereich der Ellerbeker Rinne befindet sich im südlichen Landesteil von Schleswig-Holstein, etwa 30 km nordwestlich von Hamburg. In diesem Abschnitt der Ellerbeker Rinne wurden zwei gravimetrische Profile mit einem Punktabstand von 50 m angelegt. Die ermittelten Bouguer-Anomalien zeichnen sich durch einen starken regionalen Trend aus, der eine Schwerezunahme von Westen nach Osten aufweist und mit tiefen Strukturen in Verbindung steht, vermutlich mit Salzstöcken. Diesem sind lokale negative Anomalien von maximal 0,5 mGal überlagert, die deutlich mit dem seismisch nachgewiesenen Rinnenverlauf zusammenfallen. Die Trennung von regionalem und lokalen Schwerfeld erfolgte graphisch.

Die ermittelte Lokalfeldanomalie stellt die Basis für eine quantitative Interpretation der Schwereanomalien im Sinne einer Vorwärtsmodellierung dar. Ohne zusätzliche detaillierte Kenntnisse über die strukturellen Verhältnisse legt die Form der Anomalie potentialtheoretisch lediglich zwei Modellkörpern nahe: die quartäre Rinne sowie ihre Umgebung. Unter der Annahme einer maximalen Rinnentiefe von ungefähr 400 m, ergibt sich ein mittlerer Dichtekontrast zwischen Rinne und Umgebung von etwa 50 kg/m^3 , mit dem sich die beobachtete Anomalie in Form und Amplitude gut erklären lässt.

In einem weitergehenden Schritt wurden die aus dem seismischen Profil interpretierten strukturellen Einheiten in ein geometrisches Modell umgesetzt und mit plausiblen Dichten physikalisch parametrisiert. Das resultierende gravimetrische Modell, das vornehmlich zwischen sandigen und tonigen Schichten unterscheidet, erklärt das beobachtete Lokalfeld überraschend gut und stützt damit die seismisch abgeleitete Interpretation. Die sehr hochfrequenten Anomalien (Wellenlängen kleiner 500 m, Amplituden größer 0,05 mGal) könnten auf oberflächennahe Störkörper in der quartären Deckschicht zurückzuführen sein, die in der Modellierung nicht erfasst werden. Möglicherweise handelt es sich hier um Fazieswechsel (Ton/Sand) oder Mächtigkeitsänderungen des Quartärs.

(B) Curauer Rinne

Die Curauer Rinne liegt im östlichen Teil von Schleswig-Holstein, westlich von Lübeck. Sie unterscheidet sich gegenüber der Ellerbeker Rinne vor allem durch ihre tonig-mergelige Füllung. Seismische Messungen ergeben nur wenige deutlich Reflexionen, zurück zu führen ist dies vermutlich auf mit der Tiefe abnehmende Intervallgeschwindigkeiten. Insbesondere fehlt eine klare Abbildung des Rinnenrandes.

Daher wurden die seismischen und aeroelektromagnetischen Messungen durch gravimetrische Untersuchungen ergänzt. Entlang der reflexionsseismischen Linie wurde ein gravimetrisches Profil angelegt, wiederum mit einem Punktabstand von 50 m, teilweise auch geringer. Die erfassten Bouguer-Anomalien werden auch hier durch einen starken regionalen Trend dominiert, die Lokalfeldanomalien erreichen maximal 0,05 mGal. Angesichts der vergleichsweise schwierigen topographischen Verhältnisse, ist eine geologische Interpretation dieser Anomalien äußerst unsicher. Trotzdem kann der Versuch unternommen werden, die Ausdehnung der Rinne einzugrenzen: als laterale Erstreckung ergeben sich 440 m, der Dichtekontrast zur Umgebung beträgt 12 kg/m^3 bei Annahme einer auf den seismischen Ergebnissen basierenden Rinnentiefe von 150 m.

(C) Cuxhaven-Bremerhaven Rinne

Im Untersuchungsgebiet Cuxhaven-Bremerhaven wurde durch das GGA-Institut 2001 eine Forschungsbohrung abgeteuft, mit dem Ziel das Verständnis über die räumliche und zeitliche Entwicklung der Salz-/Süßwassergrenze zu erweitern und ein prognosefähiges Grundwassermodell der Region zu erstellen. Sowohl für die Festlegung des Bohransatzpunktes als auch als Randbedingung für die hydraulischen Modellrechnungen wurde Strukturerkundung mit geophysikalischen Messungen betrieben. Die Gravimetrie sollte vor allem der Frage nachgehen, ob der Lauenburger Ton kartierbar ist.

In diesem Gebiet wurden daher flächenhafte gravimetrische Messungen durchgeführt. Dabei ergeben sich Lokalfeldanomalien von etwa $\pm 0,2 \text{ mGal}$. Diese korrelieren abschnittsweise sehr deutlich mit Zonen verringerter elektrischer Widerstände, vermutlich oberflächennahen Tonen. Durch eine Vielzahl flacher Bohrungen (bis 80 m) und die Informationen aus der Forschungsbohrung, kann hier der Versuch einer Vorwärtsmodellierung vorgenommen werden, um die dreidimensionale strukturelle Situation rund um die Forschungsbohrung abzuleiten. Möglicherweise werden die vorliegenden gravimetrischen Daten im Jahr 2002 durch Gradientenmessungen entlang ausgewählter Abschnitte ergänzt, um speziell die Auflösung im oberflächennahen Bereich zu erhöhen.

Wiederhold, H., Gabriel, G. (Hannover), Kirsch, R. (Flintbek), Siemon, B., Voss, W. (Hannover)

h.wiederhold@gga-hannover.de

Geophysikalische Erkundung quartärer Rinnen

Die Grundwasserverhältnisse in Norddeutschland und benachbarten Ländern sind durch die Abfolge quartärer und jungtertiärer Sande als Grundwasserleiter sowie Tonen und Geschiebe-mergeln als schützende Deck- und Zwischenschichten geprägt. Eine besondere Rolle spielen dabei die quartären Rinnensysteme, die durch subglaziale Prozesse bis über 500 m tief in das Jungtertiär eingeschnitten sind und mit glazialen Sanden und Mergeln verfüllt sind. Die hydrogeologische Bedeutung dieser Rinnen liegt darin, dass sie aufgrund einer sandigen gut wasserdurchlässigen Füllung gute Grundwasservorkommen enthalten können. Auf der anderen Seite schneiden sie aber auch die jungtertiären Grundwasserleiter an und können deren abdeckende (Schutz-)Schichten verletzen und sind somit Schwachstellen für Kontaminationen von der Erdoberfläche. In beiden Fällen ist die Kenntnis der genauen Lage der Rinnen sowie ihr innerer Aufbau und die Art ihrer Füllung und möglicher Deckschichten von großer Bedeutung.

Der Kenntnisstand über die quartären Rinnen basiert vorwiegend auf Bohrungen und zum Teil auch auf seismischen Untersuchungen zur Kohlenwasserstoffexploration. Bohrungen geben zwar detaillierte Information über die Rinnensedimente aber Informationen über die Form und den genauen Verlauf der Rinne sind eher spärlich. Gezielte geophysikalische Untersuchungen, die in den vergangenen Jahren von GGA, BGR und staatlichen geologischen Diensten in verschiedenen Messgebieten durchgeführt wurden, zeigen, dass

- reflexionsseismische Verfahren liefern ein detailliertes Bild über Form und interne Struktur der Rinne
- Form und interne Struktur sind je nach Messgebiet sehr unterschiedlich
- die Kombination mit Bohrungen (Grundwasserbeobachtungsbohrungen) und Bohrlochmessungen sowie vertikalen seismischen Profilen ermöglicht eine zielgerechte Interpretation und bietet den Ansatz für sedimentphysikalische Aussagen
- die Rinnen verursachen Anomalien im Schwerfeld
- zeichnet sich die Rinne durch eine charakteristische, gut elektrisch leitfähige Deckschicht die außerhalb der Rinne nicht auftritt aus, so kann sie mit aéroelektromagnetischen Verfahren kartiert werden.

Die Kombination der verschiedenen geophysikalischen Verfahren bietet eine sinnvolle Ergänzung in der Aussage sowie eine gegenseitige Absicherung in der Interpretation.

Gaensicke, H. (Bensberg)

holger.gaensicke@uni-koeln.de

Eifel Plume Projekt: Laufzeit-Tomographie in der Erdkruste

Ziel des Eifel Plume Projekts ist ein besseres Verständnis des tertiären und quartären Vulkanismus im Rheinischen Schiefergebirge. Im Zeitraum von November 1997 bis Juni 1998 waren im Rahmen des Projekts mehr als 250 Stationen zur Registrierung teleseismischer und lokaler seismischer Ereignisse im Einsatz. Bei der Auswertung der teleseismischen Daten werden das Verfahren der teleseismischen Tomographie und die Receiver Function Methode angewandt. Unterhalb einer Tiefe von 70 km konnte inzwischen ein Mantel Plume nachgewiesen werden.

Die Einbeziehung der lokalen Seismizität in das Gesamtprojekt dient insbesondere der Erstellung eines dreidimensionalen Geschwindigkeitsmodells für die Erdkruste in der Region. Dieses bietet einerseits die Möglichkeit einer verbesserten Krustenkorrektur für die teleseismischen Untersuchungen, andererseits können in der Region auftretende Beben in Zukunft präziser lokalisiert werden.

Die räumliche Auflösung eines lateral variierenden Geschwindigkeitsmodells hängt wesentlich von einer guten Durchstrahlung des Modellraums und somit von der Zahl der gemessenen Laufzeiten ab. Während der Meßkampagne des Projekts wurden nur 50 lokale tektonische Beben registriert. Um einen ausreichend großen Datensatz in die Inversionsrechnungen einbeziehen zu können, wurden daher Registrierungen an etwa 25 permanenten Stationen in der Region aus dem Zeitraum von Juli 1998 bis Juni 2001 hinzugezogen.

Von insgesamt mehr als 900 lokalen seismischen Ereignissen wurden 455 an mindestens fünf Stationen registriert. 145 dieser Ereignisse konnten als tektonische Krustenbeben mit einer maximalen Herdtiefe von 18 km identifiziert werden. Bei den übrigen Ereignissen handelt es sich um bergbaulich induzierte Beben und Steinbruchsprengungen. Von 60 Sprengungen ist die genaue Lokation bekannt, bei 30 von diesen wurden während des Feldexperiments auch die Abrißzeiten gemessen.

Nach einer geeigneten Bearbeitung der Daten konnten insgesamt 5683 P-Laufzeiten und 2392 S-Laufzeiten ermittelt werden. Für ausgewählte permanente Stationen wurden unter Verwendung von Wadati-Diagrammen lokale V_p/V_s -Verhältnisse bestimmt. Nach Bestimmung eines geeigneten 1D-Startmodells wurden für mehrere räumliche Konfigurationen simultane 3D-Inversionen gerechnet und ausgewertet. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen ein räumlich stark differenziertes Bild der seismischen Geschwindigkeiten nahe der Erdoberfläche und eine um 2 - 3 % verringerte P-Wellengeschwindigkeit nahe der Moho unter der Eifel. Ursache hierfür könnte eine Low Velocity Zone oder auch eine abgesenkte Moho sein.

Niederleithinger, E. (Berlin), Maierhofer, Ch. (Berlin), Krause, M. (Berlin), Weritz, F. (Berlin), Gardei, A. (Berlin)

Ernst.Niederleithinger@bam.de

Zerstörungsfreie Bauwerksdiagnose

Seit einigen Jahren werden bei der Bauwerksdiagnose verstärkt zerstörungsfreie Prüfverfahren eingesetzt. In der Fachgruppe IV.4 der Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM) werden solche Verfahren entwickelt, bewertet und optimiert. Einige davon entsprechen geophysikalischen Methoden oder sind eng damit verwandt.

Die **Anwendungsbereiche** zerstörungsfreier Prüfverfahren bei der Bauwerksdiagnose reichen von der Strukturaufklärung (z.B. Messung der Dicke von Bauteilen, Ortung von Bewehrung) über die Zustandsuntersuchung (Feuchtemessung, chemische Parameter) bis zur Schadensdiagnose (Ortung von Fehl- und Hohlstellen, Rissen, Korrosion). Der Bereich Qualitätssicherung beim Bau spielt eine immer größere Rolle. Untersucht werden alle Arten von Bauwerken: Wohn- und Industriebauten, Straße, Brücken, Fundamente und Eisenbahnbauwerke.

Das **Radar-Verfahren** wird primär zu Strukturuntersuchungen eingesetzt. Häufige Fragestellungen sind die Dickenmessung von Wänden, Böden und Fahrbahnen sowie die Lokalisierung von Hohlstellen und Bewehrung. In der Regel wird mit deutlich höheren Antennenfrequenzen gearbeitet als in der Geophysik. Die Datenbearbeitung geschieht aber völlig analog. Exemplarisch werden Untersuchungen am Neuen Museum in Berlin vorgestellt.



Mit der **Ultraschall-Echo-Methode** werden Bauteile (z. B. Spannkäme in Brücken) auf Schäden untersucht. Quellen sind dabei Piezo-Elemente im Frequenzbereich 50 bis 100 kHz, z. T. in aufwändigen Array-Anordnungen. Die Registrierung der Schwingungen erfolgt entweder ebenfalls über Piezos oder über Laservibrometer. Zur Auswertung werden mehrdimensionale Rekonstruktionsalgorithmen (SAFT) eingesetzt.

Mit **Impact-Echo** bezeichnet man ein Messverfahren, das auf der Anregung und Auswertung von multiplen Reflektionen akustischer Wellen beruht. Mit einem kleinen Hammer werden

Impulse erzeugt, die z. B. zwischen der Rückwand und der Oberfläche einer Betonplatte mehrfach reflektiert werden. Aus der Frequenz des Auftretens dieser Multiplen wird die Dicke des Bauteils abgeleitet. Eine automatisierte Version dieses Verfahrens wird vorgestellt.

Zunehmend wichtig wird die Anwendung **aktiver thermographischer Verfahren**. Dabei wird ein Bauteil durch Strahler aufgeheizt und sein Abkühlungsverhalten mit einer Infrarotkamera beobachtet. Oberflächennahe Hohlstelle, wie zum Beispiel Haftfehler bei Fliesen und Klinkern oder Putzablösungen werden dadurch sichtbar. Numerische Modellierungen ermöglichen Tiefenbestimmungen.

Weitere Verfahren, die an der BAM eingesetzt werden, werden tabellarisch vorgestellt.

Mehrere Forschungsprojekte sollen die Qualität, Aussagekraft und Anwendungsbereiche der vorgestellten Verfahren erweitern. Dabei fließt zunehmend auch geophysikalisches Know-How ein. Umgekehrt kann auch die

Geophysik von dem in der Materialprüfung erarbeiteten Wissen profitieren.

Weiter Informationen sind unter folgenden Adressen im WWW erhältlich:

www.bam.de

www.bam.de/service/publikationen/zfp_kompodium/welcome.html

http://www.bam.de/kompetenzen/arbeitsgebiete/abteilung_4/fachgruppe_44/fachgruppe_44.htm

Gaw, V., Reston, T. (Kiel), Stubenrauch, A. (Aberdeen)

vgaw@geomar.de, treston@geomar.de

Development of the Porcupine Basin: First Results of Reprocessing of Seismic Reflection Profiles

The Porcupine Basin, southwest of Ireland, provides an ideal object to investigate the symmetry and temporal development of extension processes up to continental breakup. The axial stretching factors increase from 1.5 (typical values of the North Sea) in the north of the basin up to values greater than 6 (typical for continental margins) in the south. For this reason a series of seismic profiles across the basin can show how a rift develops to a completely developed continental margin. Furthermore both sides of the basin can be imaged during one survey, facilitating the investigation of symmetry/asymmetry of the extension. To clarify these questions the BIRPS (British Institution Reflection Profiling Syndicate) WIRE 2 - profile and selected profiles from the Fugro-Geoteam are being reprocessed. First results will be shown in this poster.

The profiles image a bright west-dipping reflection within the basement that appears to act as a detachment to overlying faults. This structure may in part be a decollement at the top of partially serpentinized mantle. Although overall the basin appears symmetric, the consistent westerly structural dip of the detachment implies that at high stretching factors extension was asymmetric. Further in the south of the basin the profiles shows the "Porcupine Median Volcanic Ridge" overlies apparent tilted fault blocks and is overlapped by postrift sediments. Despite no evidence for synrift magmatism, this high has previously been interpreted as a basaltic structure. Alternatively this structure can be interpreted as serpentinite-mud volcano or diapir.

Gemail, Kh.-(Freiberg), Oelsner, Chr. (Freiberg), Samir, A. (Zagazig), Salah El-Dean, Mousa (Cairo), Ibrahim, Sh. (Zagazig)

(kh_gemail@geophysik.tu-freiberg.de)

2-D and 3-D resistivity imaging for configuration of saltwater intrusion in some localities at the eastern side of Matruh area, Egypt.

Mapping of freshwater and saltwater intrusion is an ideal application for the electrical resistivity method because of the high conductivity of the saltwater and its contrast with that of freshwater. Two-dimensional and three-dimensional resistivity imaging surveys were applied in two sites at the eastern side of Matruh area (Fig.1). The area is characterized by the occurrence of a series of elongated ridges oriented parallel to the coast and alternating with shallow elongated depressions. The coastal ridges in the area are distinguished according to their hydrologic response into two groups (El-Fiky, 1996), the foreshore ridges, composed of oolitic limestone with high primary porosity up to 40%. The second type is the southern inland ridges that are composed of hard limestone crust underlie by oolitic limestone. These ridges act as water divides where the surface water seeps the slope towards the bounding low depressions. The in-between depressions act as water collecting basins, which are filled with a thick layer of alluvium. The surface of these depressions is almost flat with gentle slope towards the center. The ground elevation ranges between 30 m above sea level to about the mean sea level. Towards the seacoast, seawater intrusion increases and the depressions become inundated with seawater to form shallow salt lakes (Fig. 1). The two selected depressions represent both foreshore and inland depressions. The investigation represents a contribution to solve the saltwater intrusion problem in the shallow aquifer that represents an important environmental problem along the whole coastal strip of the western desert of Egypt.

For the 2-D and 3-D field surveys, the pole-dipole (both forward and reverse) and the pole-pole arrays were used, respectively. Spacing between adjacent electrodes was 10 m for 2-D resistivity surveys. A 5 by 5 grid of electrodes was used for the 3-D survey. The spacing between electrodes was either 10 m or 20 m depending on the expected depth of freshwater in each respective area. The choice of the electrode spacing is based on the results of interpretation of the depth of the freshwater- saltwater boundaries from 20 one-dimensional resistivity soundings using the Schlumberger array which were distributed all over the study area and executed prior to the 2-D and 3-D survey.

The data sets were inverted using the smoothness constrained least squares method (Loke and Barker, 1996). The results of the inversion indicate that the subsurface resistivity distribution in the whole area is highly inhomogeneous and can change rapidly within a short distance (Fig.2). However, it was possible from the resulted models to correlate between the ranges of resistivity and subsurface geologic information available from shallow dug wells. The presented horizontal and vertical sections illustrate the configuration of the subsurface conditions that would have been, most probably, not sufficiently accurate in case of 1-D modeling

References

El-Fiky, A.A., 1996. Geophysical and hydrogeological investigations on some groundwater problems at the area between Fuka and Ras Umm El-Rakham, Mediterranean coastal zone, Egypt. Ph.D. Thesis, Fac. Sc., Alexandria Univ., Alexandria, Egypt, 271pp.

Loke, M.N and Barker R. D., 1996. Rapid least- squares inversion of apparent resistivity pseudosection using a quasi- Newton method. *Geophysical Prospecting*, **44**, 131-152

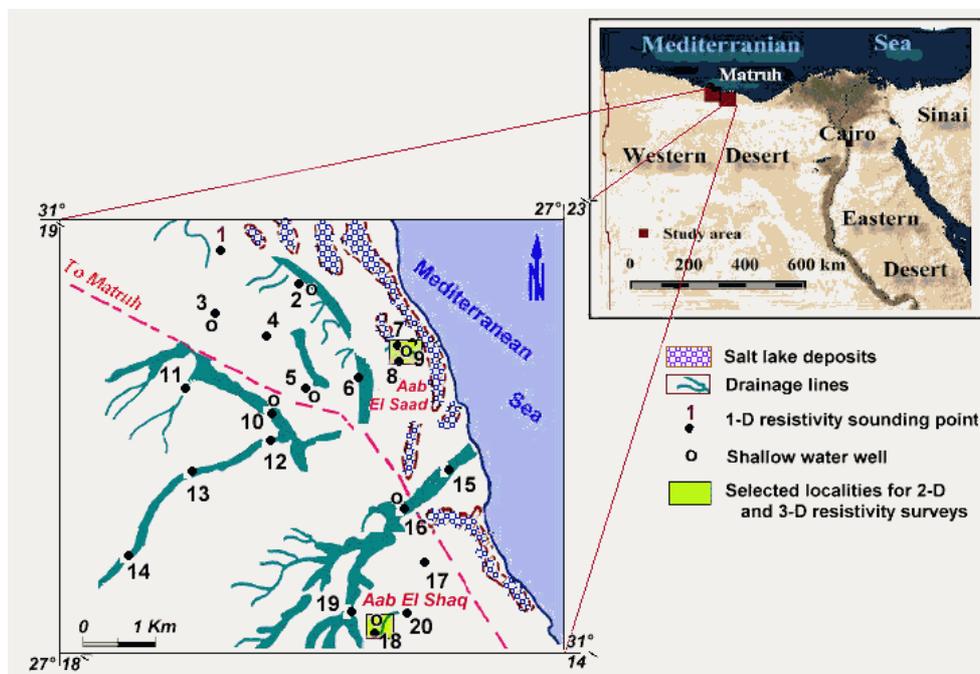


Fig.1: Location map of the considered area and the geophysical measurements

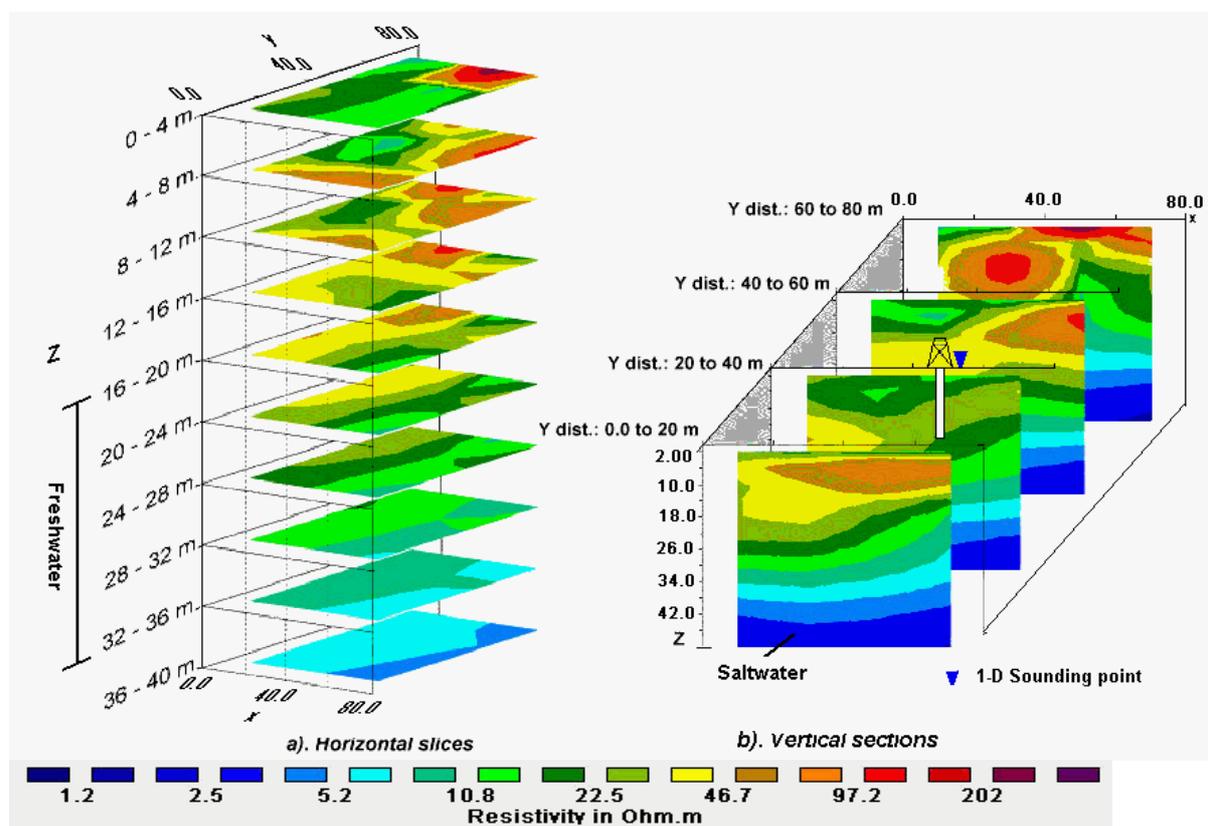


Fig.2: 3-D model obtained from the inversion of the pole- pole survey at Aab El-Shaq site

Schweitzer, C. (Großburgwedel), Kampke, A. (Braunschweig), Geschwinde, M. (Braunschweig), Reese, I. (Braunschweig), Hoinkis, H. (Burgdorf)

christian.schweitzer@privat.kkf.net

a.kampke@tu-bs.de

michael.geschwinde@br-bs.niedersachsen.de

Interdisziplinäre Entwicklung eines archäologischen Modelles der bandkeramischen Siedlung in Kalefeld/Südniedersachsen – geophysikalischer Beitrag

Bei der interdisziplinären Entwicklung eines Modelles zur Interpretation komplexer archäologischer Befunde ist es hilfreich, der modernen Vorgehensweise aus der Gas- und Ölindustrie zu folgen. Die extensiven und spezifischen Parameter von Lagerstättenmodellen werden dort in enger Kooperation der Disziplinen Seismik, Geologie, Petrophysik, Reservoir Engineering erstellt. Für die Entwicklung eines konsistenten Modelles ist eine enge Zusammenarbeit und Verständnis für die jeweils anderen Disziplinen erforderlich. Konsequente Verfolgung dieser Strategie kann zu überraschenden Ergebnissen führen wie der gegenwärtige Untersuchungsstand der bandkeramischen Siedlung in Kalefeld, Landkreis Northeim, zwischen Bad Gandersheim und Echte zeigt.

Die bandkeramische Fundstelle wurde 1987 entdeckt und wird seit 1994 durch die Bezirksarchäologie Braunschweig systematisch untersucht. Es handelt sich um den bedeutendsten Fundplatz der späten bandkeramischen Kultur in Niedersachsen (ca. 5000 bis 4800 v. Chr.). Neben zahlreichen, zum Teil sehr fundreichen Gruben wurden Pfostenlöcher und zwei großräumige Grabensysteme erfasst. Bei den Grabungen bis zum Frühjahr 2001 konnten immer nur kleine Ausschnitte des Fundplatzes erforscht werden. Daher fehlte eine großflächige Kenntnis, da hier auch die Luftbild-Prospektion versagte. Auf Grund einer 0,5-1,0m mächtigen, später gebildeten Deckschicht (Colluvium) zeichnen sich bandkeramische Siedlungsstrukturen nicht in Boden- oder Bewuchsmerkmalen ab.

Daher bot sich als letzte Hoffnung für eine großflächige Prospektion ein Magnetometer-Survey an, um einen Überblick über die Gesamtstruktur des Fundplatzes zu erhalten. Gleichzeitig sollten damit die Grundlagen für die weitere zielgerichtete archäologische Erforschung von signifikanten Bereichen der Anlage geschaffen werden, da die vollständige archäologische Ausgrabung eines derart großflächigen Areals nicht zu leisten ist.

In einem Kooperationsprojekt der Bezirksarchäologie Braunschweig und der Fa. Schweitzer-GPI wurden im Sep/Okt 2001 auf einer Fläche von 4,5 Ha hochauflösende Cäsium-Magnetometer in Duo-Sensor-Schaltung verwendet, die gegenüber Gradiometern eine größere Eindringtiefe besitzen. Für Testzwecke wurde auf zwei kleinen Flächen ein FM-36 Gradiometer ohne großen Erfolg eingesetzt. Die bandkeramischen Siedlungsstrukturen zeichneten sich in den Magnetogrammen, aufgenommen mit den Cäsium-Magnetometern, überraschend gut ab (Abb.1), schienen jedoch teilweise den Grabungsbefunden zu widersprechen (Innerer Doppelgraben im Magnetogramm, einfacher Graben in den Grabungen). Aus der Diskussion dieser scheinbaren Diskrepanz und einer gemeinschaftliche computergestützten Interpretation von Geophysikern und Archäologen wurden wesentliche Erkenntnisse zur bandkeramischen Siedlungsstruktur mit Lage der Gräben und Gruben sowie relativer Altersstellung der Gräben gewonnen. Aus der Annahme, dass die positiven magnetischen Anomalien im wesentlichen durch die Verteilung der reliktschen Schwarzerde im Lössboden erzeugt werden, läßt sich die Zeichnung des äußeren Grabens im Magnetogramm als ein Lineament (Schwarzerde am Fuße des trichterförmigen Grabens) und die Zeichnung des inneren Grabens als Doppelineament (wannenförmige Auskleidung mit Schwarzerde) deuten. Zur Stützung dieser Modellvorstellungen laufen gegenwärtig magnetische Modelling- und magnetische Suszeptibilitätsuntersuchungen an Proben aus Grabungsprofilen.

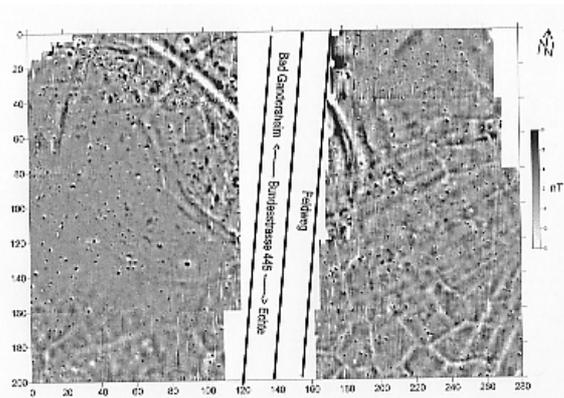


Abb.1. Kalefeld-Magnetogramm

Für eine weiterführende archäologische Interpretation lassen sich die durch einen Magnetometer-Survey erzielten Flächen-Informationen durch Tiefen-Informationen, gewonnen aus geoelektrischen Messungen, ergänzen. Hierzu wurden Untersuchungen von der TU Braunschweig, Institut für Geophysik und Meteorologie, durchgeführt. Einer der in der Archäometrie ersten Einsätze der niederfrequenten Wechselstromgeoelektrik, bei der neben dem elektrischen Widerstand auch Polarisierungseffekte über die Messung der Phasenverschiebung zwischen Strom- und Spannungssignal ermittelt werden, fand im Frühjahr 2000 am Erdwerk von Kalefeld statt: Während das durch eine Grabung bereits bekannte Grabenprofil im Widerstandsmodell überraschend gut rekonstruiert werden konnte (Abb.2), waren die Daten der Phasenverschiebung unauswertbar verrauscht. Nach einer erneuten Messung Ende November 2001 mit verbesserter Meßmethodik zeichnet sich schon bei den ersten Bearbeitungsschritten der Graben auch in der Phasenverschiebung ab.

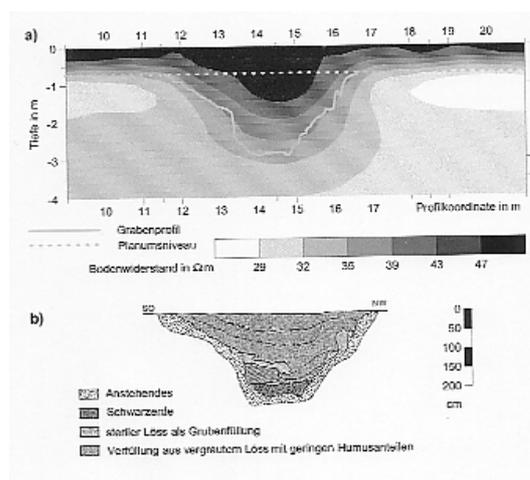


Abb.2 Kalefeld- Geoelektrik über Graben

Allgemeine Folgerungen für die Entwicklung von Modellen bei komplexen archäologischen Befunden:

- Rechtzeitiges Einplanen von geophysikalischer und Luftbild-Prospektion vor der Durchführung von archäologischen Ausgrabungen.
- Enge interdisziplinäre Zusammenarbeit aller Beteiligten mit den Archäologen.
- Integrierte interdisziplinäre Computerauswertung, insbesondere für die Rekonstruktion von Siedlungsstrukturen, Bauplänen, einzelnen Gebäuden, Gräben aus Magnetogrammen und Widerstandsmessungen.

Gestermann, N., Henger, M., Hunfeld, U. (BGR, Hannover)
nico@sdac.hannover.bgr.de

Aufbau eines schnellen Informationssystems für Erdbeben in Deutschland und in benachbarten Ländern

Ein Teilprojekt des Vorhabens "Deutsches Forschungsnetz Naturkatastrophen" sieht den Aufbau eines schnellen Informations- und Alarmsystems für Erdbeben in Deutschland und benachbarten Gebieten vor. Ziel des Vorhabens ist die automatische Erfassung, Lokalisierung und Bestimmung möglicher Schäden kurze Zeit nach einem starken Erdbeben. Die Grundlage dieses Informationssystems bilden insgesamt sieben ausgesuchte Stationen des deutschen regionalen Breitbandnetzes GRSN, die kontinuierlich Wellenformdaten an die Zentrale in der BGR übertragen. Durch die Übertragung der seismischen Wellenformaten in "nahezu Echtzeit" ist eine kurzfristige Bereitstellung von Herdparametern und Schadensprognosen möglich. Dieses Netz der GRSN Alarmstationen wird um zwei weitere Stationen im Norden und in der Mitte Deutschlands erweitert, um die Anforderungen hinsichtlich Genauigkeit der automatischen Lokalisierung und Stärkebestimmung erfüllen zu können.

Eine dieser beiden Stationen im Raum Bad Hersfeld wurde nach Unruhemessungen an mehreren Standorten in diesem Gebiet ausgesucht. Die günstigsten Bedingungen wurden an einem Standort im Bergwerk Unterbreitzbach der Kali und Salz AG vorgefunden. Der Pegel der seismischen Bodenunruhe ist dort sehr niedrig und im Frequenzbereich von 1 Hz bis 4 Hz mit der Station BFO vergleichbar bei geringer Anzahl an Störungen. Während der Unruhemessungen konnten an diesem Standort deutlich mehr seismische Signale detektiert werden als an den benachbarten GRSN Stationen.

Als zweiter Standort wurde das stillgelegte Bergwerk "Niedersachsen Riedel" der Kali und Salz AG nordöstlich von Hannover ausgesucht. Der Aufbau dieser Station wird zur Zeit vorbereitet. Damit wird erstmalig im Norden eine Breitbandstation betrieben werden, deren Unruhepegel ähnlich günstige Werte wie die der besten GRSN Stationen erwarten lässt.

Trotz des durch zwei Stationen erweiterten Netzes seismischer Alarmstationen, ist im Hinblick auf das überdeckte Gebiet die Anzahl der Stationen des sogenannten Primärnetzes relativ gering. Um dennoch sicherzustellen, dass die Zielvorgaben erreicht werden, wird ein höherer Aufwand bei der Datenauswertung betrieben. Wie frühere Untersuchungen zeigten, sind die Fehler bei der automatischen Lokalisierung im lokalen und regionalen Entfernungsbereich überwiegend durch fehlerhafte Phasenidentifikationen der von den eingesetzten Detektoren gefundenen Einsätzen bedingt. Dieses Ergebnis überrascht nicht, da bei Einzelstationen, im Gegensatz zu Arrays, die Phasengeschwindigkeit als zuverlässiger Indikator für die Phaseninterpretation fehlt. Um dennoch zuverlässige Angaben über den Wellentyp eines seismischen Signals machen zu können wird ein mehrstufiges Verfahren entwickelt. Als erster Schritt wird die Ähnlichkeit zwischen vorgegebenen Mustersignalen und der Seismogramm-Einhüllenden berechnet und der Korrelationsfaktor als Qualitätsmaß für die Phasenidentifikation verwendet. Auf diese Weise lassen sich auch kurze Störsignale identifizieren und eliminieren. Dem nachfolgenden Lokalisierungsprozess folgen verschiedene Konsistenzüberprüfungen, die als weitere Qualitätskriterien bewertet werden. In weiteren nachfolgenden Prozessen wird eine erneute Auswertung der Wellenformdaten vorgenommen, und die Ergebnisse miteinander solange verglichen bis ein Maximum erreicht ist, dessen Wert einen vorgegebenen Schwellenwert überschreiten muss, um als "zuverlässig" (akzeptiert) eingestuft zu werden.

Trappe, H., Pruessmann, J., Gierse, G. (Isernhagen)

trappe@teec.de

Improved imaging below high-impedance sediments by the Common Reflection Surface (CRS) method

Introduction

Target structures below high impedance sediments generally render a weak seismic reflection signal which is additionally obscured by multiples from the high impedance section. As a consequence, the seismic image of the target structure is often characterized by some discontinuous portions of the reflectors that are otherwise buried in the noise.

Both acquisition and processing techniques are used to increase the image quality. Common technical strategies are to increase the fold and aperture in acquisition, and to use more accurate prestack imaging techniques with more reliable background models in processing. However, both these strategies require a large effort.

As an alternative, the Common Reflection Surface (CRS) stacking technique combines some advantages of both strategies, and thus may add to obtain an improved image below high-impedance sediments. The strength of this time domain imaging method is demonstrated in case studies by comparison to conventional time and depth imaging.

Common Reflection Surface (CRS) method

The Common Reflection Surface (CRS) method belongs to the macro-model independent imaging techniques (e.g. Hubral, 1999), which do not require an imaging parameter field or velocity model as input to the imaging process. The method assumes local reflector segments in the subsurface, which are characterized by their location, dip, and curvature. The corresponding reflection time surfaces are described by a hyperbolic approximation, which, in contrast to the conventional NMO approximation, is not confined to a single CMP gather. This leads to a much larger stacking fold, and allows a more reliable fit of the stacking surface to the reflection response in case of noisy field data (Trappe et.al., 2001).

The CRS reflection time approximation for 2D seismic data is provided by three independent parameters, which comprise an emergence angle, and two radii of wavefield curvature. As in all macro-model imaging methods, the imaging parameters are directly measured from the prestack data. These parameters contain an abundance of additional information which allows to estimate additional wavefield parameters, e.g. the geometrical spreading, the Fresnel zone, or a stacking velocity field. Using these relations, the parameter search may as well be constrained e.g. by minimum velocity field, which is useful for multiple suppression.

Data Example

A data example is selected from an exploration area where a folded target structure is situated below a largely flat overburden. The overburden is characterized by a high impedance formation at about 0.7- 1.0 s, where the reflection strength is raised by about one magnitude above the remaining amplitude level. As a consequence, this formation produces a large number of internal multiples which strongly disturb the deeper target reflections.

In comparison to the conventional NMO/DMO processing, the CRS technique distinctively improves the signal-to-noise ratio and reflector continuity. The key structure of a central uplift is well resolved in the CRS stack, whereas conventional time processing delivers a rather vague image. Moreover, Poststack Depth Migration of the CRS stack provides a much better image, than Prestack Depth Migration (Figures 1a,b). Hence, the CRS technique proves to be an alternative for areas, where Prestack Depth Migration fails to enhance resolution.

Acknowledgement

We gratefully acknowledge the permission of the RWE-DEA Polska Oil to present their data.

References

Hubral, P. (Editor), 1999, Macro model independent seismic reflection imaging. J. Appl. Geoph. 42 (3,4)

Trappe, H., Gierse, G., Pruessmann, J., 2001, Case studies show potential of Common Surface stack – structural resolution in time domain beyond the conventional NMO/DMO stack. *First Break*, 625-633.

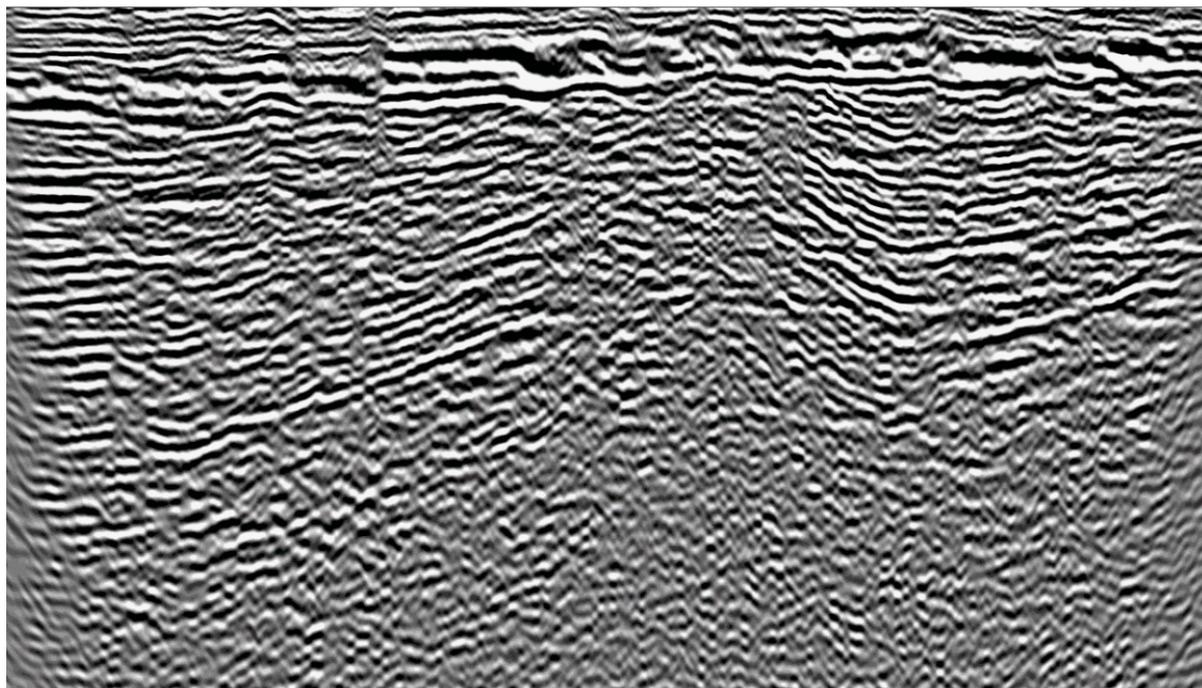


Figure 1a - Prestack Depth Migration (horizontal size 13.6 km, depth 1.7-3.8 km)

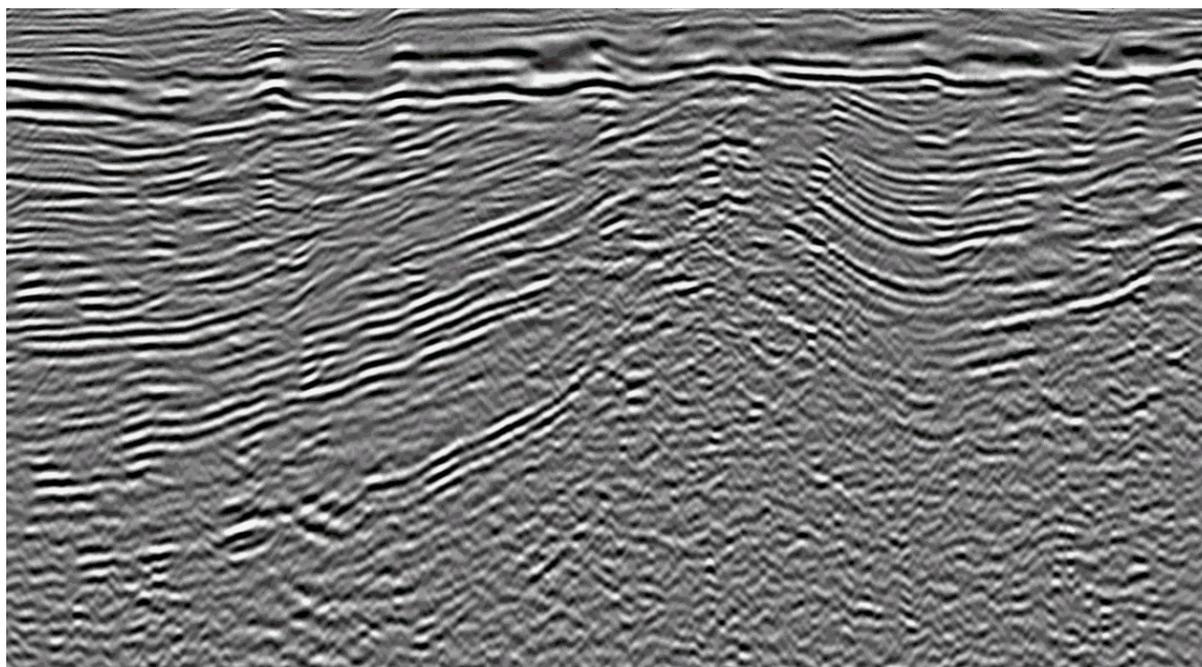


Figure 1b - Poststack Depth Migration of CRS stack (Data courtesy RWE-DEA Polska Oil)

Sule, R., Kaselow, A., Goertz, A., Wagner, D., Wenzel, F. (Karlsruhe)

rachmat.sule@gpi.uni-karlsruhe.de

The Hikalisto Experiment : Crosshole Tomographic Study for Investigating a Thin Ore-Dyke

The Hikalisto (High-frequency CALibration Measurement in the Lindau STollen) experiment, which was carried out in May 2000 in and around a gallery system in southern Germany, is a unique test for very high resolution seismics. The Main purpose of this experiment is to investigate the rock physical and hydraulic properties of a steeply dipping ore dyke by seismic probing.

A 700 m long gallery system cuts the target feature in such a way, that a 50x60x80 m triangular block is accessible from all sides to enable a 2D crosshole seismic experiment. With source frequencies up to 5 kHz and receiver spacings of 0.5 to 0.7 m, the target feature, having a thickness of not more than 5 m, can be resolved as a low-velocity anomaly within the surrounding granitic hostrock.

The resolution and significance of results for this kind of non-standard seismic acquisition geometry varies strongly with illumination and has to be carefully assessed with synthetic tests.

We present results of the tomographic inversion and show a rock-physical interpretation in terms of hydraulic properties of the ore dyke. These results can be compared to available in-situ and laboratory measurements of this ore-dyke and thus be calibrated.

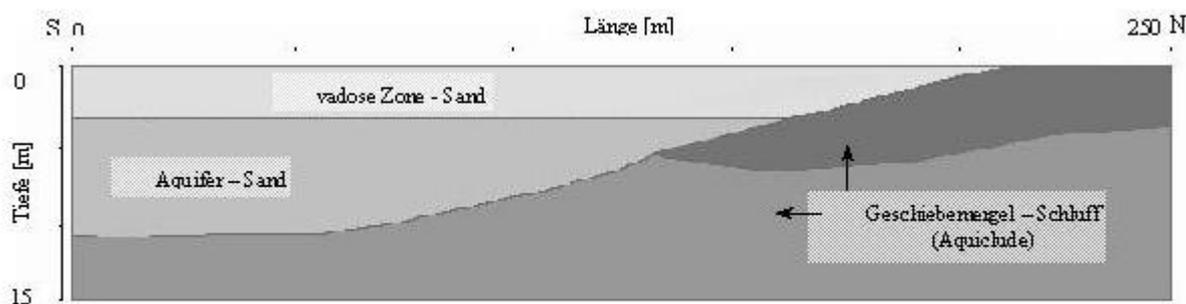
Goldbeck, J., Hertrich, M., Yaramanci, U., Lange, G. (Berlin)

goldbeck@geophysik.tu-berlin.de

Das Testfeld Nauen – ein neuer Standort zur Bewertung, Neu- und Weiterentwicklung hydrogeophysikalischer Methoden

In der letzten Jahren wurde vom "Fachgebiet Angewandte Geophysik" der TU Berlin gemeinsam mit dem Referat "Geophysikalische Methoden für das Ressourcenmanagement" der BGR bei Nauen, nordwestlich von Berlin, ein hydrogeophysikalisches Testfeld angelegt. Einfache geologische und bereits weitgehend bekannte hydrogeologische Verhältnisse bieten eine sehr gute Grundlage für den Test geophysikalischer Verfahren.

Der Untergrund des Testfeldes ist gekennzeichnet durch einen ca. 15 m mächtigen oberflächennahen Aquifer, der im Liegenden durch eine etwa 10 m mächtige Geschiebe-mergelschicht begrenzt wird. Unter diesem oberen Stauerhorizont (Aquiclude), der im Norden des Testfeldes an der Oberfläche austreicht, folgen 2 weitere durch Feinsand-Grobschluff-Wechsellagerungen getrennte Aquifere.



Generalisierter geologischer Schnitt des Testfeldes Nauen

An diesem Standort wurden bisher folgende geophysikalische Messungen durchgeführt: Georadar, 2-D und 1-D Geoelektrik, 1-D Spektrale Induzierte Polarisation (SIP), Reflexions- und Refraktionsseismik, Oberflächen Nuklear Magnetische Resonanz (SNMR), Zeitbereichs-Elektromagnetik (TDEM), Frequenzbereichs-Elektromagnetik (FDEM), Elektrokinetische Sondierung (EKS). Für Kalibrierungszwecke steht eine durchgehend gekernte 60 m-Bohrung zur Verfügung, die mit mehreren Verfahren bohrlochgeophysikalisch vermessen wurde.

Zur Ergänzung der Feldmessungen erfolgen intensive Laboruntersuchungen an den gewonnenen Kernproben. Besonderes Augenmerk galt dabei den petrophysikalischen Messungen zur Bestimmung von Dichte und spezifischer innerer Oberfläche, sowie der Labor NMR zur Ermittlung von Porosität und der Bestimmung der petrophysikalischen Kennwerte durch Spektrale Induzierte Polarisation. Mit den gewonnenen Daten soll eine Abgrenzung der einzelnen Schichten hinsichtlich hydraulischer und petrophysikalischer Parameter erfolgen.

Durch den Vergleich der im Labor gewonnenen Kennwerte mit den Bohrlochlogs und den Daten der oberflächengeophysikalischen Messungen soll untersucht werden, inwieweit die Bestimmung hydrogeophysikalisch relevante Parameter wie Porosität, hydraulische Leitfähigkeit, bzw. Wassergehalt und Sättigungsgrad durch eine geeignete Kombination verschiedener Meßmethoden optimiert werden kann.

Das Testfeld Nauen steht zukünftig allen interessierten Fachkollegen für Testmessungen, auch im Rahmen internationaler Kooperation, zur Verfügung.

Weiterführende Information, sowie Beispiele bisheriger Messungen finden sich unter: <http://www.geophysik.tu-berlin.de/>

Seidl, D. (Erlangen), Hellweg, M. (Berkeley), Graupner, S. (Erlangen)

seidl@szgrf.bgr.de

Seismische Signale am Vulkan Galeras (Kolumbien)

In einem Kooperationsprojekt zwischen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und dem Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS) wird auf dem Dekadenvulkan Galeras in Kolumbien eine Multiparameterstation für eine Aktivitätsüberwachung mit geophysikalischen und geochemischen Sensoren betrieben. Der technische Aufbau der Station ist in dem Poster "The Multiparameter-Station at Galeras Volcano (Colombia)" beschrieben. Die seismischen Kanäle der Station bestehen aus drei Breitbandseismometern auf dem Calderarand sowie einer Referenzstation am Fuß des Galeras. Mit diesen Stationen konnte seit 1997 eine umfangreiche Datei seismischer Signale registriert werden, deren Qualität und Mannigfaltigkeit neue Wege der Analyse und Interpretation eröffnen.

Neben diesen Breitbandstationen wird vom Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Pasto (OVP) am Galeras ein Netz von zehn kurzperiodischen Telemetrie-Stationen betrieben. Auf Grund der langjährigen Registrierungen dieses Netzes werden die seismischen Signale des Galeras vom OVP in fünf Gruppen klassifiziert: *Vulkan-tektonische Signale* und *Mariposa-Signale* mit Quellen im festen Teil des Vulkans sowie verschiedene Formen des vulkanischen Tremor mit Quellen im fluiden Bereich des Vulkaninnern, die als Wavelets (*langperiodische Signale* und *Tornillo-Signale*) bzw. als statistische Signalformen (*harmonischer Tremor*) beobachtet werden. Von besonderem Interesse sind dabei die Tremor-Signale, da sie einen direkten Einblick in das Strömungsfeld des Magma-Gas Systems erlauben. Auf der Basis der Verteilungs- und Korrelationsfunktionen der kinematischen und spektralen Signalparameter für Ensembles verschiedener Tremorsignale wird die Frage diskutiert, ob die beobachteten Tremorformen verschiedenen Quellen zuzuordnen sind oder ob es sich um verschiedene Anregungszustände einer gemeinsamen Quelle handelt, verursacht durch Variationen von Geometrie, Temperatur, Druck und Materialparametern.

Greinwald, S. (BGR Hannover), Ortega, A., Torres, R. (Pasto)

greinwald@bgr.de

Electromagnetics at the Galeras

One part of the concept of the multiparameter station at the Galeras volcano are electromagnetic measurements. These measurements include the following different components:

- measurements of time variations of the electric field at the surface in two directions EW and NS
- continuous measurements of the magnetic field in three directions EW, NS and vertical
- resistivity measurements in the Caldera with Dc-resistivity and Transient Electromagnetic measurements.

The goals of the different measurements are:

- Resistivity measurements: to determine the internal structure of the ground by it's resistivity distribution.
- Magnetotelluric measurements : the combination of electric and magnetic signals allows the determination of the resistivity as a function of frequency in the interval from about 5 s to 2 hours.
- Finding electromagnetic effects caused by the volcano.

The results of the resistivity measurements show relatively high values between 100 Ohmmeters and 10000 Ohmmeters and are characterised by a strong separation of particle sizes due to the flow of water.

Magnetotelluric measurements show a strong preferred direction of the electric field in the ground.

The search for electrokinetic effects up to now did not deliver convincing results. The evaluation of the data is continued.

Grevemeyer, I. (Bremen)

Scherspannungen und die Erzeugung von Reibungswärme in der Seismogenen Zone: Eine quantitative Abschätzungen auf Grundlage geothermischer Daten

In den letzten Jahren ist es Geowissenschaftlern gelungen, die Relativbewegung von tektonischen Platten sehr genau zu quantifizieren. Darüber hinaus sind auch die damit verbundenen Deformationsprozesse in den Kollisionszonen lithosphärischer Platten im Feld untersucht worden. Bis heute werden jedoch noch immer kontroverse Diskussionen über die Größenordnungen der mit der Plattendrift und Deformation verbundenen Spannungen geführt. Abschätzungen für Scherspannungen reichen von wenigen MPa bis hin zu Werten von über 100 MPa und umfassen somit zwei Größenordnungen. Die Größe der Scherspannung entlang von Bruchflächen und Störungen ist jedoch nicht nur wichtig für das Verständnis des Reibungsgleitens - und somit für zyklische Erdbebenaktivität - sondern auch für das Auftreten von Metamorphose und Anatexis, da das Reibungsgleiten erhebliche Wärmemengen frei setzen kann. Abhängig von der Größe der Scherspannungen können selbst bei moderaten Verschiebungsbeträgen entlang von Störungen erhebliche Wärmemengen produziert werden, die größer als der basale Wärmestrom sein können.

Im Fore-Arc Bereich von Subduktionszonen erlaubt die Messung des Wärmestroms oberhalb der Scherzone zwischen subduzierter Platte und überfahrender Platte - bei gleichzeitiger Kenntnis des Alters der abtauchenden unteren Platte - die Quantifizierung der durch Reibung erzeugten Wärmemenge und somit der damit verbundenen Scherspannungen. Die Abschätzungen basieren auf einfachen theoretischen Modellen von Molnar und England (Temperatures, Heat flux, and frictional stress near major thrust faults, *J. Geophys. Res.*, 95, 4833-4856, 1990) zum zwei-dimensionalen advektiven und konduktiven Wärmetransport im Bereich der Seismogenen Zone.

Die Wärmestromdaten sind sowohl globalen Datenbanken als auch der Literatur entnommen und wurden für acht Subduktionszonen zusammen gestellt. Daten liegen aus dem Fore-Arc-Bereich vor für die Antillen, Cascadia, NE Honshu, Java, Kamtschatka, Kurilen, Peru und Sumatra. Die Konvergenzrate an den destruktiven Plattenrändern variiert von 40 mm/yr bis hin zu 91 mm/yr. Die abgeleiteten Scherspannungen liegen im Bereich von wenigen MPa und reich bis über 120 MPa. Der Übergang von Subduktionszonen mit hoher Scherreibung hin zu Subduktionszonen mit niedriger Scherreibung kann durch die Existenz hoher Porendrücke modelliert werden. Generell zeigt sich jedoch auch eine positive Korrelation zwischen der Konvergenzrate und der Scherspannung. Dieser Zusammenhang deutet auf eine Geschwindigkeitsabhängigkeit der Scherspannung hin und wurde auch schon in Labormessungen gefunden.

Im Rahmen des Vortrags werden unterschiedliche Modelle für die Beschreibung der Scherspannungen und der Zusammenhang zwischen Scherspannung, Seismizität und Subduktionszonenparametern diskutiert.

Nicolaus, M., Grosfeld, K., Lange, M. A. (Münster)

m.nicolaus@uni-muenster.de

Numerische Modellierung ozeanischer Zirkulation in der Kaverne des Ekström Schelfeises, Antarktis

Etwa 44 % der antarktischen Küste werden von Schelfeisen gesäumt, die als schwimmende Eiskörper eine Verbindung zwischen Inlandeis und Ozean darstellen. Durch Eisbergkalbung und basale Schmelzprozesse führen die Schelfeise dem Ozean Süßwasser zu, welches für die Modifikation von Schelfwassermassen sowie für die Tiefen- und Bodenwasserbildung von erheblicher Bedeutung ist. Um diese Prozesse zu quantifizieren, bedarf es möglichst umfassender Meßdaten sowie deren Auswertung und Interpretation. Da die Wassersäule unterhalb des Schelfeises, in der sogenannten Schelfeiskaverne direkten Messungen jedoch verschlossen oder nur punktuell (über Heißwasserbohrungen) zugänglich ist, muß auf Modellansätze zur Beschreibung dieser Prozesse zurückgegriffen werden. Hierbei bilden Ozeanmodelle, die vor allem über ihre Randbedingungen die Besonderheiten der Schelfeis-Ozean Wechselwirkungen berücksichtigen, die Grundlage für die Betrachtung des Zirkulationsregims. Die so gewonnenen Massentransportraten können qualitativ und quantitativ beschrieben werden, so daß die Ausbreitung und Modifikation (im Sinne einer Vermischung) von Wassermassen untersucht werden kann. Für das Schelfeis läßt sich eine basale Massenbilanz aufstellen, deren Ergebnis anhand von in situ Messungen validiert oder mit Hilfe eisdynamischer Modellierung auf Plausibilität geprüft werden kann.

Das Ekström Schelfeis liegt am Ostrand des Weddellmeeres an der Küste des Dronning Maud Landes. Durch seine geographische Lage trägt das aus seiner Kaverne ausströmende Wasser zur Präkonditionierung des zirkumantarktischen Küstenstroms bei, bevor dieser im weiteren Verlauf das Weddellmeer erreicht, das als Hauptquellgebiet für das Antarktische Bodenwasser gilt.

Das verwendete dreidimensionale Zirkulationsmodell basiert auf einer Version eines Oceanic General Circulation Model (OGCM, (Cox,1984)) und erlaubt eine sehr hohe Auflösung (etwa 5 km x 5 km) innerhalb der Schelfeiskaverne und des vorgelagerten Küstenbereichs. Ein solch feines Rechengitter ist notwendig, um den extrem schmalen Kontinentalschelf in dieser Region angemessen auflösen zu können. Diese Schelfcharakteristik wirkt sich nachhaltig auf die Zirkulation und Wassermassenzusammensetzung in der Kaverne und damit auf die gesamte Massenbilanz des Schelfeises aus.

Innerhalb des Modellgebiets bilden sich zwei voneinander getrennte horizontale Zirkulationszellen aus. Der vom Wind angetriebene Wirbel im offenen Ozean (vor dem Schelfeis) weist deutlich größere Massentransportraten auf als derjenige innerhalb der Kaverne, welcher auf Druckgradienten, die aus Schmelzwasserflüssen resultieren, beruht. Beide Zellen weisen zyklonalen Drehsinn auf und entsprechen damit einerseits dem Küstenstrom und führen zum anderen zu Prozessen innerhalb der Schelfeiskaverne, die mit dem Prinzip der "Eispumpe" erklärt werden.

Die räumliche Verteilung der basalen Schmelzraten ist der Abbildung zu entnehmen und gibt deutlich die Einstromgebiete der das Schelfeis speisenden Inlandeisgletscher wieder. Darüber hinaus bestätigt das Modell Untersuchungen, nach denen es unter dem Ekström Schelfeis aufgrund eines zu geringen Gradienten der Schelfeisunterseite nicht zur Anlagerung mariner Eiskörper kommt.

Das Gesamtsystem befindet sich nach einer Einschwingphase von etwa sieben Jahren in einem quasi stationären Zustand. Unter Berücksichtigung saisonaler Schwankungen des Oberflächensalzgehalts aufgrund der Bildung und des Schmelzens von Meereis durchlaufen alle Einzelprozesse einen Jahresgang.

Durch die Vorgabe realistischer Randwerte für das Modell, die auf gemessenen Leitfähigkeits--Temperatur--Dichte (CTD) Profilen beruhen, werden die Ausbreitung und Modifikation von Wassermassen durch das Modell wiedergegeben. Hierbei konzentriert sich die Auswertung vor allem auf die Bildung und Ausbreitung von Schelfeiswasser, welches eine wesentliche Quelle kalten und salzarmen Wassers darstellt. Die Einordnung derartiger Ergebnisse erfolgt anhand von Temperatur--Salzgehalt (TS) Diagrammen.

Weitere Informationen:

<http://earth.uni-muenster.de/~nicolaus/diplom>

Grosfeld, K., Gerdes, R. und Determann, J. (1997) Thermohaline circulation and interaction between ice shelf cavities and the adjacent ocean. *Journal of Geophysical Research*, 105(C5), 9,039--9,055.

Cox, M.D. (1984) A primitive equation, three--dimensional model of the ocean, Ausgabe 1 von GDFL Ocean Group Technical Report. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Princeton University

Kaiser, D. (Jena), Gutdeutsch, R. (Wien)
kaiser@geo.uni-jena.de

Beziehungen zwischen Magnitude und Isoleistenradien

Für große Erdbeben ist häufig nur makroseismisches Beobachtungsmaterial vorhanden. Dies trifft insbesondere auch für Europa zu, wo der historische Zeitraum, in dem Erdbeben dokumentiert sind, oft 10 Mal so lang ist, wie der instrumentelle. Eine möglichst zuverlässige Schätzung der Magnituden historischer Erdbeben ist deshalb von hoher Bedeutung. In vorangehenden Untersuchungen habe wir festgestellt, dass Isoleistenradien R_I ein verlässliches Maß für die Schätzung der Oberflächenwellenmagnitude M_S sind (Kaiser et al. 2001). Hier werden, ausgehend von theoretischen Überlegungen über den Zusammenhang zwischen der Magnitude und R_I empirische Beziehungen für diesen Zusammenhang abgeleitet.

Regressionsmodell

Um ein physikalisch sinnvolles Modell für die Regressionsanalyse herzuleiten, gehen wir davon aus, dass die Intensität I proportional zur Amplitude seismischer Wellen ist. Die Abnahme der Amplituden seismischer Wellen wird im wesentlichen durch die geometrische Abnahme Y und den Absorptionskoeffizienten α [1/km] beschrieben. Wir setzen das folgende Modell an:

$$(1) M = A I + B Y + C$$

wobei $Y = \log(S_I) + \alpha S_I$,

$M = M_S$ oder M_L (Lokalmagnitude), abhängig vom Erdbebenkatalog

$S_I = (h^2 + R_I^2)^{1/2}$ = Hypozentralentfernung [km] in der die Intensität I beobachtet wird,

h = Herdtiefe [km]

R_I = Isoleistenradius [km] für die Intensität I

A, B, C = freie Parameter bei der Regression

Zur Bestimmung der Beziehungen verwenden wir die dreidimensionale orthogonale Regression (Details bei Gutdeutsch et al. 2000). Sie bietet den großen Vorteil, daß eine Umstellung der gefundenen Gleichung nach allen Variablen implizit erlaubt ist und daß die Fehler in allen Eingabeparametern berücksichtigt werden.

Datenbasis

Als Datenbasis verwenden wir drei Erdbebenkataloge:

- den Katalog für Europa und den Mittelmeerraum von Kárník (1996), hieraus Erdbeben mit M_S aus mindestens 4 Stationsmagnituden bestimmt, Herdtiefen $h \geq 50$ km;
- den Katalog für Mittel- und Südost-Europa von Shebalin et al. (1998), hieraus Erdbeben mit instrumentell bestimmten M_S mit Fehler $\Delta M_S = \pm 0.3$ im Herdtiefenbereich $5 \text{ km} \leq h \leq 50$ km;
- den Katalog für Deutschland mit Randgebieten von Leydecker (2001), hieraus Erdbeben mit Angaben für M_L mit Fehler $\Delta h = \pm 5$ km.

Ergebnisse

Aus dem Shebalin-Katalog verwenden wir 490 Isoleistenradien für die Intensität $I = 3 \dots 9$ mit Magnituden im Bereich $3.5 \leq M_S \leq 7.0$ und Isoleistenradien R_I bis 400 km. Ein Versuch, α und Y in Gleichung (1) getrennt zu bestimmen, war nicht erfolgreich. Eine beste Anpassung durch Minimierung des orthogonalen Fehlers bei Variation von α/Y wurde für die realistischen Werte $\alpha = 0.002 \text{ km}^{-1}$ und $Y = 1.3$ gefunden. Das Ergebnis ist:

$$(2) M_S = 0.673 I + 2.44 \log(S_I) + 0.00163 S_I - 2.48$$

mit einem Fehler $\delta M_S = \pm 0.28$ und einem partiellen Korrelationskoeffizienten $r(M_S, Y/I) = 0.93$. Bei den Fehlerangaben δ handelt es sich hier und im folgenden um eine aus dem Standardfehler der Flächen-Normalen abgeleiteten Größe entsprechend der Definition bei Gutdeutsch et al. (2000).

Verwenden wir anstelle von S_I die Epizentralentfernung R_I zur Isoseiste I , das heißt bei Vernachlässigung der Herdtiefe h , erhalten wir

$$(3) M_S = 0.695 I + 2.14 \log(R_I) + 0.00329 R_I - 1.93$$

mit einem Fehler $\delta M_S = \pm 0.32$ und einem partiellen Korrelationskoeffizienten $r(M_S, Y/I) = 0.91$. Die Gleichungen (3) kann angewendet werden, wenn die Herdtiefe nicht genau bekannt ist. Beide Beziehungen (2) und (3) haben einen hohen Korrelationskoeffizienten und einen kleinen Standardfehler. Sie ermöglichen eine zuverlässige Schätzung von M_S mit einer Genauigkeit, die bei der Verwendung von mehreren Isoseistenradien die Genauigkeit von instrumentell bestimmten Magnituden erreicht. Die Beziehungen (2) und (3) werden zur Anwendung empfohlen.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen bei Verwendung der Kataloge von Kárník und Leydecker liegen Ende November 2001 noch nicht vor und werden anlässlich der Tagung vorgestellt. Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass nur die Verwendung von Eingangsdaten hoher Qualität (mit kleinen Fehlern) in der Regressionsanalyse zu verlässlichen Beziehungen für die Schätzung von Magnituden führt.

Literatur

Gutdeutsch, R., Kaiser, D., Jentsch, G. (2000): Schätzwerte der Magnitude eines Erdbebens auf Grund der Maximalintensität und anderer Herdparameter aus Erdbebenkatalogen. Mitteilungen Deutsche Geophysikalische Gesellschaft 4/2000, 3 - 13.

Kaiser, D., Gutdeutsch, R., Leydecker, G. (2001): Schätzung von Magnituden aus makroseismischen Beobachtungen. 61. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Frankfurt am Main, 19. - 23. März 2001.

Kárník, V. (1996): Seismicity of Europe and the Mediterranean; edited by K. Klima. Academy of Sciences of the Czech Republic StudiaGeo s.s.r.o. and Geophysical Institute Praha.

Leydecker, G. (2001): Erdbebenkatalog für die Bundesrepublik Deutschland mit Randgebieten für die Jahre 800 - 1995, für Schadenbeben bis 2000. Datenfile. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover.

Shebalin, N.V., Leydecker, G., Mokrushina, N.G., Tatevossian, R.E., Erteleva, O.O., Vassiliev, V.Y. (1998). Earthquake Catalogue for Central and Southeastern Europe 342 BC - 1990 AD. European Commission, Report No. ETNU CT 93 - 0087, Brussels.

Haas, C. (Alfred-Wegener-Institut, Bremerhaven)

chaas@AWI-Bremerhaven.de

Die CryoSat-Mission: Neue Perspektiven für die polare Geophysik

Im April 2004 wird im Rahmen der ESA *Earth Explorer Opportunity Mission* "CryoSat" gestartet, ein Satellit mit einem neuen Radaraltimeter speziell zur Vermessung von Oberflächenhöhen der Meer- und Landeisgebiete der Erde. Das wesentliche Ziel dieser Mission ist die Bestimmung der Massenbilanz in der Kryosphäre.

Konkret heißt dies:

- Bestimmung der saisonalen und interannualen Variabilität sowie regionaler Trends der Dicke und Ausdehnung mehrjährigen Meereises.
- Verbesserung von Abschätzungen über den Beitrag der antarktischen und grönländischen Eisschilde zu globalen Meeresspiegelschwankungen.

Der Satellit wird aber auch eine verbesserte Bestimmung der Meeresoberflächentopographie und damit des Schwerefeldes in eisbedeckten Gewässern liefern.

Das neue Radaraltimetersystem (SIRAL: Synthetik-Apertur-, interferometrisches Radaraltimeter) bietet neuen Möglichkeiten für Messungen in den Polargebieten. Diese ergeben sich insbesondere aus dem hohen lateralen Auflösungsvermögen im SAR Modus, das eine bessere Unterscheidung von Eisschollen und Wasser ermöglicht. Dadurch kann auch das Geoid in meereisbedeckten Gebieten besser bestimmt werden als mit herkömmlichen Radaralimetern, wie sie beispielsweise bei den Geosat- und ERS-Missionen eingesetzt wurden. Eine zweite Antenne des SIRAL ermöglicht interferometrische Radarmessungen, wodurch die Lage des Reflexionspunktes der Radarimpulse relativ zur Bodenspur des Satelliten bestimmt werden kann. Deshalb kann die Neigung der Oberfläche unter dem Satelliten berechnet werden, was Höhenbestimmungen an den stark geneigten Rändern der Antarktis und Grönlands verbessert. Da der Satellit explizit die Polargebiete vermessen soll, besitzt seine Flugbahn eine Inklination von 92° . Dadurch werden erstmals Gebiete zwischen 82.5 und 88° N/S beobachtbar sein, so dass hochgenaue, flächendeckende digitale Geländemodelle für den grössten Teil der Antarktis erzeugt werden können.

Am Alfred-Wegener-Institut in Bremerhaven wurde ein wissenschaftliches Projektbüro zur Nutzungsvorbereitung der CryoSat-Mission eingerichtet, um eine bestmögliche wissenschaftliche Auswertung der Mission durch deutsche Institutionen vorzubereiten (<http://www.cryosat.de>). Im November 2001 wurde von der ESA ein "Announcement of Opportunity" (AO) mit veröffentlicht, das zur Beteiligung an Kalibrierungs- und Validierungsaktivitäten aufruft. Der Aufruf ist bis zum 15. April 2002 offen. Das Projektbüro koordiniert die deutsche Beteiligung an diesem AO, bei dem auch die Mitwirkung geophysikalischer Gruppen möglich ist, die sich mit Meeresoberflächentopographie und marinen Schwerefeldmessungen beschäftigen.

Martin, S., Rietbrock, A., Haberland, C., Schurr, B. (Potsdam)

andreas@geo.uni-potsdam.de

Evidence for a low Velocity Channel on top of the Subducted Nazca Plate From Guided Waves

We observe systematic distortion of body waves at temporarily deployed stations near the Chile-Peru subduction zone for intermediate depth earthquakes. High frequencies are delayed for one to several seconds compared to low frequency onsets ($< 2 \text{ Hz}$) sometimes resembling two distinct phases. The observations indicate that a layered structure is acting as a waveguide that passes only long-period waves with high velocities and also causes high frequency P-SV converted waves in its vicinity. The essential features of the wave propagation along an E-W profile in the Central Andes are modeled up to frequencies of 15 Hz by a parallel finite difference algorithm implemented on a workstation cluster. The FD simulations of the frequency effects in body wave first arrivals suggest that a structure of less than 5 km thickness is seismically slow compared to the surrounding mantle and that the Benioff-earthquake foci are situated within or very close to this structure. We conclude that reactions forming high-pressure minerals do not yield slab-like velocities until beyond the volcanic front. If the descending oceanic crust of the Nazca plate forms this layer, it is subducted essentially intact and forms a continuous low-velocity layer from a depth of about 60 km to great depth ($> 200 \text{ km}$).

Rietbrock, A. (Universität Potsdam), Haberland, C. (GFZ Potsdam)

Active faulting of the subducting Nazca Slab: Evidence from Local Earthquake Tomography and High Precision Hypocenters

The question of integrity of oceanic lithosphere during subduction has been a matter of debate for a long time. Although often demanded from tectonic and geochemical considerations, proofed observations of tears, cuts and windows in slabs are rare. Here we present evidence for a trench-perpendicular tear in the slab of the subducting Nazca plate at 21 degree S from temporary local seismic network data. Tomographic velocity images show a north-south step of the slab-related high velocity zone. High precision location of local seismicity reveal a thin southward dipping earthquake cluster terminated at 21 degree S by a 10 km north-south step of the Wadati-Benioff zone at a depth of around 100 km. These observations suggest a sagging or downward-pushed segment of the Nazca plate north of 21 degree S. This observation is further supported by a systematic change in fault plane solutions indicating north-south oriented shallow dipping thrust faults or nearly vertical dipping normal faults in this depth range. We interpret the evidences for a torn, crunched, and maybe partly overthrust oceanic plate in terms of north-south confinement. In difference to the predominantly convexly (as seen from the oceanic plate) bent island arc-type subduction zones of the northern and western pacific, the subduction zone of central South America shows a concave curvature. Geometrical considerations suggest that subducting oceanic lithosphere into a spherical Earth along a concave axis results in trench-parallel compression of the slab. The scissor-like tear in the slab could be accommodated by some zones of weakness within the plate or a former oceanic transform fault. The over-riding South American lithosphere, thickened beneath the central Andes and forming the second largest plateau on Earth, the Altiplano-Puna plateau, could provide the normal force to push the segment downward.

Helwig, St. L., Hanstein, T. (Köln)

Stromverlauf in einer TEM Sendespule

Die Durchführung transient-elektromagnetischer- (TEM) Messungen zur Erkundung oberflächennaher Strukturen ist durch die Abtastrate des Empfängers, die minimale Sendespulengröße und durch die Abschaltzeit des Senders begrenzt. Werden zu kleine Sendespulen verwendet schwingt der Sender beim Abschalten, was in den aufgezeichneten Transienten zu Vorzeichenwechseln im Frühzeitbereich führt. Messungen zeigen, daß diese Schwingungen über gut leitenden Strukturen weniger ausgeprägt sind als über schlecht leitenden.

Allgemein muß bei TEM-Messungen ein Gleichstrom der durch die Senderspule fließt möglich schnell abgeschaltet werden. Dabei verhindert die Eigeninduktion in der Spule, dass der Strom beliebig schnell abklingen kann.

Um eine definierte Stromfunktion zu haben schalten die Sender von vielen TEM Apparaturen den Strom daher nicht einfach ab sondern fahren ihn in der Abschaltzeit (ramptime) linear auf Null zurück. Die Abschaltzeit variiert dabei je nach Gerät und Spulengröße. Bei einer 50m x 50m Sendespule ist sie ca. 70 s lang. Betrachtet man das Maximum der Anregung so liegt dieses bei 35 s. Die Messung wird im allgemeinen nach dem Abklingen der kompletten Rampe begonnen, so daß mindestens 35s bis zur ersten Aufzeichnung vergehen. In dieser Zeit ist der Schwerpunkt des anregenden Stromsystems aber schon auf 75 m abgesunken (100 m Halbraum).

Um mehr Informationen aus oberflächennahen Schichten zu erhalten wurden von verschiedenen Firmen TEM-Sender entwickelt die den Strom besonders schnell abschalten können wie z. B. Zonge Nanotem oder Geonics TEM-47. Diese Sender fahren den Strom nicht linear auf Null sondern schalten spontan ab und fügen lediglich einen parallelen Dämpfungswiderstand ein der ein schnelles Abklingen bewirken soll.

Die dabei entstehende Stromfunktion ist beeinflusst durch die Induktivität, Kapazität und den Widerstand der Sendespule sowie durch den zugeschalteten Dämpfungswiderstand. Der Stromverlauf kann mit einem äquivalentem Schaltkreis analytisch berechnet werden solange der Widerstand der Erde nicht berücksichtigt wird. Berücksichtigt man diesen wird die Induktivität frequenzabhängig und das Problem kann nur noch numerisch gelöst werden.

Wir stellen ein Programm zur Berechnung des Sendestroms in einer Spule über einem homogenen Halbraum vor und vergleichen dessen Ergebnisse mit Messungen des Stromverlaufs bei Benutzung des Nanotem Senders. Durch das Programm sind Abschätzungen der minimalen Spulengröße und des notwendigen Dämpfungswiderstandes bei TEM Messungen über verschiedenen Untergründen möglich. Darüber hinaus kann untersucht werden welchen Fehler man macht wenn in der Auswertung eine lineare Rampe als Stromfunktion angenommen wird.

Schulz, R. (Hannover), Harms, F.-J. (Senckenberg)

ruediger.schulz@gga-hannover.de

Das Eozän-Vorkommen von Messel war ein Maar:

Ergebnisse der Forschungsbohrung 2001

Die Grube Messel bei Darmstadt ist eines der weltweit bedeutendsten Fossilfundstelle für die Säugetier-Entwicklung im Mittel-Eozän vor ca. 49 Mio. a. 1995 wurde deshalb die Grube Messel als erstes und bisher einziges Naturerbe der Menschheit in Deutschland in die World Heritage List (Welterbeliste) der UNESCO aufgenommen. In der Grube wurde seit dem 19. Jahrhundert vor allem Ölschiefer abgebaut. Trotz der guten Kenntnisse über diese Ölschiefer- und Fossil-Lagerstätte war ihre Entstehungsgeschichte weitgehend unbekannt; mindestens drei verschiedene Genese-Arten wurden diskutiert: Meteoriten-Einschlag, Pull-apart-Becken oder Maar-Vulkanismus. Erst mit Hilfe umfangreicher geophysikalische Untersuchungen (GGA-Institut Hannover und Uni Mainz) und einer Forschungsbohrung im Sommer 2001 konnte geklärt werden, wie dieses Seebecken entstand.

Gravimetrische Messungen ergaben ein lokales Schwereminimum, das im Wesentlichen durch die Seesedimente mit geringen Dichten von 1,3 -1,5 g/cm³ verursacht wird. Erste Hinweise auf den vulkanischen Ursprung lieferten Magnetikmessungen. Die negative magnetische Anomalie deutet auf einen durch Vulkanismus entstandenen Störkörper unterhalb der Seeablagerungen hin, dessen Magnetisierungsrichtung umgekehrt zum heutigen Magnetfeld der Erde sein muss.

Reflexionsseismischen Untersuchungen erlauben eine Unterteilung der noch in der Grube Messel verbliebenen Sedimente in die mittlere Messel-Formation, die durch fast reinen Ölschiefer gekennzeichnet ist und eine Restmächtigkeit von 95 m besitzt, und die kiesig-sandige untere Messel-Formation, die im oberen Abschnitt noch ölschieferhaltige Lagen enthält. Die Prognose der Seismik wurde durch die Bohrung voll bestätigt. Die untere Begrenzung der Seesedimentation liegt bei 240 m Tiefe unter Gelände.

Unterhalb von 240 m wurden Vulkaniklastika mit Lapillituff erbohrt; von 373 m bis zur Endteufe (433 m)Nebengebirgsbrekzie. Die Vulkaniklastika sind sehr unterschiedlich magnetisiert. Ein ca. 60 m mächtiger Teil des Tuffs besitzt eine bis zu 10 A/m starke inverse Magnetisierung, die Ablagerungstemperaturen liegen vermutlich über 500 °C. Dieses Tuffpaket erklärt im Wesentlichen die negativen ΔF -Anomalie, die an der Erdoberfläche gemessen wird, während die anderen Bereiche der Vulkaniklastika kaum Beiträge zur Anomalie liefern und auch anderen Ablagerungsbedingungen unterlegen haben müssen.

Die erbohrten Vulkaniklastika bestätigen die Maar-Hypothese: Der Messel-See war ein durch phreatomagmatische Explosionen entstandener Maarsee. Genauso wie andere Ölschiefer-Vorkommen in der Umgebung ist der Ölschiefer in der Grube Messel in einem isolierten See entstanden, der keine direkte Verbindung zu den anderen Seen hatte.

Hartmann, G., Henger, M. (Hannover)

Results of the Site Survey at Infrasound Station IS27 Neumayer, Antarctica

Gernot Hartmann & Manfred Henger

Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Hannover, Germany

A site survey was carried out at the German Neumayer research base Neumayer in Antarctica during the Antarctic austral summer of 2000/2001 in order to investigate the conditions for the establishment of the IMS infrasound station IS27. Neumayer base is located on an ice shelf at on the South Atlantic coast of Antarctica. The meteorological weather conditions in this area are rough harsh. The mean annual wind speed is 9 m/s. However, wind gusts can easily reach more than 30 m/s and more. The infrasonic field measurements revealed the relationship between the micropressure infrasound background noise level in this environment and was determined from the infrasound measurements as a function of wind speed in this particular environment. It could be confirmed that the infrasonic infrasound noise conditions at individual the several test sites are rather similar irrespective of their location of the site. Optimum reduction of the micropressure background noise can be achieved by appropriate wind-protection of the porous hoses, which were used as wind-noise reducing filters. Micropressure Infrasound background noise can be optimally reduced by appropriate protection of these hoses. For this purpose the porous hoses were laid in trenches and covered by blocks of snow. This made it possible to observe the microbaroms peak in the power density spectra of the micropressure infrasound data up to a wind speed of 6 m/s.

More details of the results of the site survey will be presented and recommendations made for the design of the IS27 infrasound array. After approval of the site survey report by the PTS, it is planned to set up the establishment of IS27 station is planned for during the 2002/2003 Antarctic austral summer 2002/2003.

Klinge, K., (BGR/SZGRF Erlangen), Hartmann, G. (BGR Hannover)

klinge@szgrf.bgr.de

Auswertung seismischer Ereignisse in Deutschland mit Hilfe des Regionalnetzes (GRSN)

Die Auswertung seismischer Ereignisse in Deutschland und angrenzenden Gebieten, die möglichst schnelle Information von Behörden und der Öffentlichkeit und die Bereitstellung von hochwertigen digitalen Daten für die Forschung sind grundlegende Aufgaben, die mit Hilfe des "German Regional Seismic Networks" (GRSN) seit seiner Inbetriebnahme im Jahre 1991 zu erbringen sind. In Kooperation mit lokalen seismologischen Einrichtungen wird unter Einbeziehung der Daten des GRSN von der BGR der jährlich erscheinende "Data Catalogue of Earthquakes in the Federal Republic of Germany and Adjacent Areas" und der monatlich erscheinende Katalog "Vorläufiges monatliches Bulletin lokaler seismischer Ereignisse in Deutschland und angrenzenden Gebieten mit $M_L \geq 2.0$ " (<http://www.szgrf.bgr.de/bulletins.html> und <http://www-seismo.hannover.bgr.de>) veröffentlicht.

Der Beitrag gibt einen Überblick über die seismische Aktivität in Deutschland und angrenzenden Gebieten in den ersten 10 Jahren seit Bestehen des GRSN. Insgesamt wurden über 5500 tektonische und vom Bergbau induzierte seismische Ereignisse mit den Stationen des GRSN lokalisiert und in Bulletins publiziert. Die lokalen Magnitudenwerte reichen von 2.0 bis 5.9. Das stärkste tektonische bzw. vom Bergbau induzierte Ereignis fand 1992 bei Roermond ($M_L = 5.9$) bzw. 1996 bei Teutschenthal ($M_L = 4.8$) statt. Die absolut größte Anzahl von Mikroerdbeben ereignete sich im Schwarmerdbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen.

Hauck, C., Jaya, M. and Noppel, H. (Karlsruhe)

hauck@imb.uni-karlsruhe.de

Interdisciplinary Postgraduate College "Natural Disasters"

INTRODUCTION

The postgraduate college "Natural Disasters" at the University of Karlsruhe was established on October 1st, 1998 with the aim of developing adequate modeling techniques to meet the rising demand for problem-oriented know-how and solutions in the field of natural disaster research. This interdisciplinary programme focuses on the entire chain of effects of natural disasters from risk assessment to risk prediction and finally damage reduction measures.

According to United Nations data, damages by natural disasters have risen in the last 35 years from 50 to 360 billion US\$. It is not only the most disaster-prone countries like the USA, Japan and many developing countries who are affected. Also in Central Europe and Germany do storms, floods and hail cause increasing harm to man, environment and economy. Already before the beginning of the UN International Decade for Disaster Reduction (IDNDR) in 1990 it has been a great challenge for scientific research to make feasible forecasts of vulnerability and risk and to allow for conducting more efficient risk reduction and rescue measures.

All natural disasters have in common that they are complex phenomena which may not be described by simple, deterministic and causal models. Additionally, extreme events usually occur haphazardly resulting in an incomplete and imprecise database for research. These phenomena render risk assessment, risk and damage prediction as well as the development of risk reduction measures even more difficult.

Thus, an interdisciplinary cooperation is required: natural sciences like physics, hydrology and meteorology as well as the geosciences contribute to the understanding of the basic mechanisms causing natural disasters. Mathematics and computer science are employed in the description of fuzzy information, complex models and their prediction. Economics' task is to quantify and monetarise risk. Engineering develops measures and tools for damage reduction.

The University of Karlsruhe presents unique conditions for such an interdisciplinary programme, as all thematically relevant institutes are present on the campus.

Involved in the programme are 15 institutes of the faculties civil engineering, computer science, bio- and geosciences, physics, mathematics and economics. The research projects of the programme are designed according to the aspects "Modelling of Vulnerability and Risk," "Design of Disaster Scenarios," "Measures for Damage Reduction" and "Economic Implications of Natural Disasters."

OBJECTIVES AND STRUCTURE OF THE COLLEGE

The interdisciplinary cooperation achieved in the programme is likely to bring about great benefit: a better understanding of the causes, processes and effects of natural disasters helps to single-out and evaluate already in advance vulnerable and risk-prone regions. This knowledge can be used in city and regional planning for reducing or mitigating risk on a long-term basis. With the help of improved prediction models and early warning systems, measures for local protection can be quickly implemented in affected areas and the population may be warned in time. The following objectives are pursued by the research programme:

1. **Development, application and validation of modern methods of mathematics and computer science** serving for the description of fuzzy and imprecise information and complex models as well as for the prediction of complex systems behaviour, of which intrinsic mechanisms are known only vaguely.
2. **Analysis and characterisation of different types of natural disasters**, which differ with respect to physical model complexity, data base precision and the possibility of damage reduction.
3. **Investigation of the whole chain of effects**, which in the case of natural disasters reaches from vulnerability assessment and risk prediction to measures of damage reduction. Such a stepwise approach is mandatory, as risk evaluation is strongly contingent on risk and damage prediction.

For an adequate training of graduates from various disciplines a broad, comprehensive study programme with a

common basis is necessary. Therefore, in the mandatory curriculum for all graduates, a survey lecture covering various aspects of natural disasters and an introductory stochastics course are offered. Invited speakers contribute to the survey lecture as well as offer extra sessions. Each semester, the graduates report about their work in a graduate seminar.

The focus of the programme is to endow the participants with the ability to understand and evaluate the relevant relationships of natural disasters. Additionally, the graduates should be able to propose and implement adequate solutions needed for an optimal disaster management. Scientists trained in this manner are increasingly demanded not only by research but also by government institutions, the insurance industry and firms offering commercial disaster management advice.

CONCLUDING REMARKS AND ACKNOWLEDGEMENTS

Postgraduate colleges (german: Graduiertenkolleg) are implemented by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). The aim is the training of young scientists and the integration of research and training. In such systematically organised programmes, doctoral students are provided with the opportunity to work and prepare their theses in a comprehensive research context. The colleges are organised in an interdisciplinary fashion; they are established for a duration from three to maximum nine years and are funded by the DFG and the respective federal state whom we gratefully would like to thank for their financial support.

Further information and a complete list of the individual research programmes currently conducted by the PhD students and postdoctoral research associates can be found on the website: <http://www.gknk.uni-karlsruhe.de>

Hauck, C. (Karlsruhe)

hauck@imb.uni-karlsruhe.de

Monitoring of freeze and thaw processes in a permafrost region using DC resistivity tomography

INTRODUCTION

In view of a warming climate and the recent retreat of most Alpine glaciers, the need for continuous monitoring of the permafrost evolution in mountainous regions has been identified, especially in the context of a possibly enhanced frequency of permafrost induced natural hazards. A number of permafrost monitoring programs have been established using temperature measurements in shallow and deep boreholes (Harris et al., 2001). However, as most mountain permafrost occurrences are situated in remote and rather inaccessible regions, drilling operations are very costly and often impossible to conduct. On the contrary, surface geophysical measurements present a cost-effective alternative and are applicable even in harsh and remote environments.

In this contribution a geophysical monitoring approach is presented. The DC resistivity tomography technique using a fixed-electrode array is applied to monitor the seasonal resistivity changes throughout a full year at a high elevation permafrost site in the Swiss Alps (Schilthorn, 2970m). In combination with results from laboratory studies, these resistivity changes are interpreted as changes in the unfrozen water content, which allows for determining the amount of freezing and thawing. A nearby borehole is used to verify the results.

FIELD SITE AND MEASUREMENT SETUP

Permafrost temperatures measured in a borehole at Schilthorn are comparatively warm, reaching -0.7°C at 14m depth (Figure 1). Consequently, the unfrozen water content is high leading to low resistivity values compared to typical mountain permafrost occurrences (Hauck and Vonder Mühl, 1999). In order to monitor the seasonal resistivity changes and to visualise freeze and thaw processes a set of 30 electrodes with a spacing of 2m was permanently installed in September 1999. The 30 stainless steel electrodes were buried 1m into the ground. Each electrode was connected to a manual switchbox via buried cables to ensure accessibility throughout the winter. Resistivity surveys were made by connecting an OYO McOhm resistivity meter to the switchbox for each of the selected electrode configurations (Wenner). The measured apparent resistivities were inverted using RES2DINV (Loke and Barker, 1995).

RESULTS

The resulting tomograms are displayed and discussed in detail in Hauck (2001). Large resistivity changes can be seen between September and October at the start of the freezing season. Maximum values in the upper layer were reached in April and a large decrease was encountered between April and June, as thawing began, until the initial state was reached again at the end of August.

Figure 2 shows the resistivity data at the borehole location versus each corresponding temperature value. As expected from theoretical considerations, the resistivities increase slowly for decreasing but still positive temperatures. Below the freezing point, the resistivities increase exponentially with cooling. However, as the data originate from different depths, the rate of increase is not uniform for all data points. Three branches can be identified and corresponding exponential functions can be fitted to the data. Based on laboratory experiments it is suggested that differences in the amount of water saturation may be the reason for the existence of the two lower branches. The data points of the uppermost branch most probably correspond to firm bedrock below the active layer.

Using a relation based on Archie's law (Daniels et al., 1976) the evolution of the unfrozen water content for different model depths is calculated for the whole monitoring period. Figure 3 shows the results for three model depths. The unfrozen water content starts to decrease at the end of October. The minimum is reached in February at 0.5m depth and subsequently later at greater depth (beginning of June at 6.3m depth). At larger depths the evolution is nearly sinusoidal, corresponding to the seasonal variation of ground temperature.

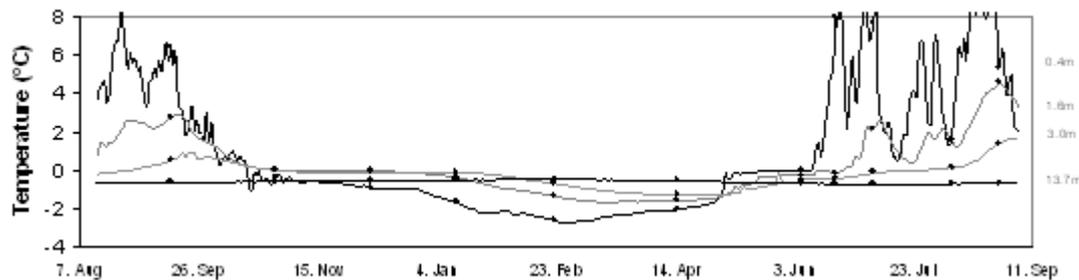


Figure 1: Temporal evolution of the borehole temperatures at Schilthorn, Swiss Alps

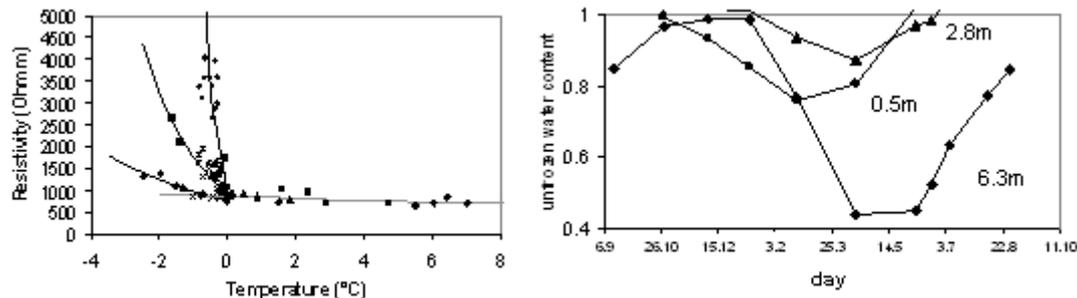


Figure 2: Resistivity-temperature relationship Figure 3: Evolution of the unfrozen water content at the borehole location different depths

REFERENCES

- Daniels, J.J., Keller G.V. and Jacobson, J.J., 1976: Computer-assisted interpretation of electromagnetic soundings over a permafrost section. *Geophysics*, **41**, 752-765.
- Harris, C., Haerberli, W., Vonder Mühl, D. and King, L., 2001: Permafrost monitoring in the high mountains of Europe: the PACE project in the global context. *Permafrost and Periglacial Processes*, **12**(1), 3-11.
- Hauck, C. and Vonder Mühl, D., 1999: Using DC resistivity tomography to detect and characterise mountain permafrost. *61st EAGE conference*, 7.-11.6.99, Helsinki, Finland, **2-15**.
- Hauck, C., 2001: Geophysical methods for detecting permafrost in high mountains. *PhD-thesis ETH Zurich, VAW-Mitteilung* **171**.

Trnkoczy, A. (Kinematics SA), Havskov, J. (University of Bergen) Ottmøller, L. (University of Bergen)

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 8: Seismic Networks

The concept of the seismic network has drastically changed in recent years due to advances in computer and communication technology.

Before 1960, there were in general only individual seismic stations operating independently. Each station made its observations, which were usually sent to some central location, if several stations were operating in a country or region. In that sense it was possible to talk about networks, however the time lag between recording and manual processing were so long that such networks are not considered as seismic networks in the modern sense. In the 1960'ties, 'real' seismic networks started operating. These were mainly networks made for micro-earthquake recording and the distance between stations were a few km to a couple of hundred km. The key feature, used to define them as networks, was that the signals were transmitted in real time by wire or radio link to a central recording station where all data was recorded with central timing. This enabled very accurate relative timing between stations and therefore also made it possible to make accurate locations of local earthquakes. Recording was initially analog and has over the years evolved to be nearly exclusively digital. With the evolution of communication capabilities to cover the whole world, seismic networks are now not limited to local networks but can be either regional or global too. The distinction between them is primarily no longer the differences in data transfer, accuracy of timing, time lag between data acquisition and analysis, etc, but the scope of investigation, spatial resolution, and quality of data in terms of frequency content and dynamic range. Such new networks are labelled virtual networks.

The bulk of the manual covers the fundamental aspects of seismic networks like types of sensors, communication, data acquisition etc but also deals with how these can be combined into virtual networks.

New networks are built all the time and this presents a different challenge compared to running an existing network. The manual has a detailed sections on how plan, acquire and construct a new network.

Seidl, D. (Erlangen), Hellweg, M. (Berkeley)

seidl@szgrf.bgr.de

Tornillos: Pieces of a Puzzle

In the past decade several of the ash eruptions at Galeras volcano (Colombia) have been preceded by tornillos. These unusual tremor wavelets have quasi-sinusoidal waveforms with screw-like envelope profiles and can last up to several minutes.

A swarm of tornillos occurred at Galeras volcano between 08 December 1999 and 12 February 2000. These tornillos appear to be more complex than the tornillos previously recorded on the broadband instruments or those recorded with the shortperiod network of the Observatorio Vulcanológico y Sismológico in Pasto. They are multichromatic having narrow spectral peaks at up to 10, not necessarily harmonic frequencies. This swarm of tornillos offers an opportunity for statistical parameter analysis. We consider the swarm of tornillos as a statistical ensemble. From the distribution and correlation functions between the signal parameters measured from different tornillos at a single station, as well as from the correlation between some of these parameters at two stations, we can derive characteristics of the ensemble. Thus, the statistical ensemble functions of the tornillo parameters provide constraints for modelling the nonstationary, dynamic behaviour of linear or nonlinear tornillo sources. The ensemble functions we develop from the observations suggest that tornillos are the radiation from an oscillating source with fluctuating physical properties.

Koch, O., Helwig, S., Scholl, C., Tezkan, B. (Köln)

Central - Loop - TEM Messungen am Vulkan Merapi in Indonesien

Im Juli und August 2001 wurden an der Südflanke des Vulkans Merapi Transient-elektro-magnetische Messungen durchgeführt. Es wurden 41 Messpunkte mit einer Central-Loop-Anordnung (Sender: 50mx50m, Empfänger: 20mx20m) aufgenommen. Ziel der Messung war es zu untersuchen, inwiefern sich eine aus MT- und LOTEM-Messungen bekannte Leitfähigkeitsanomalie in der Tiefe in oberflächennahe Bereiche fortsetzt.

An jedem Messpunkt wurden zwei TEM-Einzelmessungen mit identischen Central-Loop-Konfigurationen in verschiedenen Zeitbereichen durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgte eine Messung mit einer Abschaltzeit von ca. 4m s und einem Zeitfenster von 0,228m s bis 1,910ms. Im zweiten Schritt wurde dann mit einer Abschaltzeit von ca. 70m s in einem Zeitfenster von 56m s bis 6,150ms aufgezeichnet. Dabei ist die Abschaltzeit die Zeit, die der Strom braucht, um auf 10 Prozent des Anfangswertes abzuklingen. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass so im Vergleich zu einer Einzelmessung insgesamt ein größerer Zeitbereich und somit ein größerer Tiefenbereich abgedeckt ist.

Die Durchführung der Messung orientierte sich zunächst an alten LOTEM-Profillinien, wobei es teilweise aufgrund des unzugänglichen Geländes und der Spulenausmaße schwierig war, ein kontinuierliches Profil zu verwirklichen. Noch im Feld wurden die mit unterschiedlichen Abschaltzeiten gewonnenen Datensätze separat mit einem 1D-Inversionsprogramm ausgewertet. Als die Vorabergebnisse auf einen signifikanten Leitfähigkeitsunterschied in der untersten Schicht (ausgehend von einem Drei-Schicht-Fall) zwischen der nördlichen und südlichen Messregion hindeuteten, wurde mit allen weiteren Messpunkten versucht, die Ausdehnung dieser Leitfähigkeitsanomalie möglichst einzugrenzen.

Später wurde das Auswertungsprogramm dahingehend modifiziert, dass nun jeweils beide TEM-Datensätze mit einer Joint-Inversion kombiniert ausgewertet werden können. Man erzielt so teilweise eine wesentlich bessere Auflösung der Inversionsparameter. Zusätzlich wird versucht, im Datensatz mit längerer Abschaltzeit durch Dekonvolution den Einfluss des Stromverlaufs beim Abschalten zu entfernen. Dadurch können beide Datensätze zu einem Einzelnen kombiniert und mit einer Inversionsrechnung ausgewertet werden. Welche Aussagen über die eindeutige Existenz und Ausdehnung der Leitfähigkeitsanomalie getroffen werden können, müssen die endgültigen Ergebnisse noch zeigen.

Steuer, A., Helwig, S., Tezkan, B. (Köln)

steuer@geo.uni-koeln.de

RMT und TEM zur Grundwassererkundung in Marokko

Im Rahmen des IMPETUS-Projektes (Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika) der Uni-Köln und der Uni-Bonn wurden im März 2001 geophysikalische Messungen in Marokko durchgeführt. Das Ziel dieser Messungen ist es, im Becken von Ouarzazate, das ein Teil des vom Projekt betrachteten Flusseinzugsgebietes ist, einen Beitrag zur Charakterisierung des Grundwassersystems hinsichtlich des geologischen Aufbaus zu leisten. Dazu wurde ein Profil quer durch das Sedimentbecken längs des Höhengradienten gelegt und mit Radiomagnetotellurik (RMT) der oberflächennahe Bereich bis 30 m hochauflösend (20 m Messpunktabstand) und mit Transientelektromagnetik (TEM) der tiefere Bereich bis 100 m (200 m Messpunktabstand) kartiert. So ist ein knapp 8 km langes Profil entstanden. Die Inversionsergebnisse zeigen, dass mit beiden Methoden gewisse Strukturen aufgelöst werden können. Die TEM-Daten wurden 1D-invertiert und lassen sich mit einem Dreischichtfall mit nach unten zunehmender Leitfähigkeit anpassen. Die Ergebnisse der RMT-2D-Inversion bestätigen diese Struktur. Wir gehen davon aus, dass die unterste sehr gut leitende Schicht mit einem spezifischen Widerstand von 10 Ohm m bis 30 Ohm m eine Ton oder Mergel führende Schicht sein könnte, die als Grundwasserstauer fungiert. Ihre Tiefe variiert zwischen 10-20 m im Süden und 40-60 m im Norden. Diese Schichtgrenze ist sehr gut aufgelöst. Die Widerstandsverteilung der darüber liegenden Sediment- und Konglomeratschicht spiegelt hauptsächlich deren Feuchtigkeitsgehalt wieder. Der besserleitende Bereich ist feuchter als der darüberliegende schlechterleitende Bereich. Dass unsere Methoden sensitiv für diese Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt sind, wird auch durch die Messungen in der Oase bestätigt. Hier zeigen die Inversionsergebnisse bei beiden Methoden eine deutlich bessere Leitfähigkeit im oberflächennahen Bereich.

Hemmann, A. (Jena)

Klassifizierung von Erdbebenschwärmen in der Saxothuringischen Seismotektonischen Provinz

In der Saxothuringischen Seismotektonischen Provinz werden zwei seismisch aktive Regionen unterschieden. Zum einen die Region Vogtland/NW-Böhmen, zum anderen Ostthüringen/Westsachsen. Während für das Vogtland/NW-Böhmen Erdbebenschwärme charakteristisch sind, ereignen sich in der Region Ostthüringen/Westsachsen vorwiegend Einzelereignisse. Es werden vier Erdbebenschwärme aus beiden Regionen verglichen. Dabei handelt es sich um die Schwärme: 1985/86 nahe Novy Kostel (ca. 400 Ereignisse und 800 Wellenformen), 1997/98 nahe Werdau (ca. 50 Ereignisse und 450 Wellenformen), im September 1994 nahe Klingenthal (ca. 70 Ereignisse mit 550 Wellenformen) und im Dezember 1994 nahe Novy Kostel (ca. 300 Ereignisse mit 2100 Wellenformen). Die Wellenformen wurden von den seismischen Netzen der Universitäten Jena, Prag, Brno, Leipzig und Freiberg bereitgestellt. Der Schwerpunkt des Vergleichs liegt bei der Analyse der Ähnlichkeit und der präzisen Bestimmung der Lage der Hypozentren mittels relativer Relokalisierung. Die Kreuzkorrelation der Wellenformen ermöglichte die Identifikation von Multiplets. Deren durchschnittliche Ähnlichkeitskoeffizienten liegen zwischen 0.75 und 0.95 (3 Hz bis 6 Hz). Weiterhin werden die freigesetzte Energie, das seismotektonische Umfeld, die Herdflächengröße, die räumliche und zeitliche Verteilung der Hypozentren und die b-Werte vergleichend analysiert. Die relative Relokalisierung, ohne Masterevent, kann Hypozentren mit einer räumlichen Distanz von wenigen Metern auflösen. Die Ausdehnung der Multiplets, die die $\lambda/4$ Bedingung erfüllen, liegt zwischen 50 m und 200 m. Unterschiedliche Typen von Multiplets innerhalb eines Schwarms werden sichtbar. Das Einfallen und Streichen von Bruchflächen kann verifiziert werden. Es zeigt sich, dass die Schwärme unabhängig von speziellen Bruchsystemen in unterschiedlichen tektonischen Regimes stattfinden. Erdbebenschwärme werden getriggert. Die besonderen Spannungszustände in der Saxothuringischen Seismotektonischen Provinz ermöglichen die Freisetzung seismischer Energie durch Erdbeben. Die in bestimmten Gebieten auftretenden Erdbebenschwärme können durch die Tektonik allein nicht erklärt werden. Eine mögliche Ursache für Schwärme ist die Veränderung der Porendrücke und kleinräumiger Spannungszustände im Umkreis tektonischer Störungen durch Fluide. Das Strömen von Fluiden entlang der Störungsflächen als Ursache der Schwarmbeben ist aufgrund der ungerichteten chronologischen Abfolge der Beben auszuschließen.

Henke, C.H., Krieger, M.H. (Hamburg)

Integrierte Interpretation: Beispiele für die effektive Nutzung nicht-seismischer Verfahren

Developments in instrumentation, acquisition, processing and interpretation techniques led to an expanding role of non-seismic methods – especially gravity, magnetics and electromagnetics – in hydrocarbon exploration and production. An enormous increase of resolution could be achieved by using last generation instruments, e.g. caesium magnetometers, automated gravity meters, full-tensor gradiometers, 24-bit magnetotelluric systems, and advanced kinematic navigation / positioning systems. New processing strategies lead to improvements in data quality and significance, thus forming a basis for advanced interpretation. Affordable computing power, newly developed data analysis / inversion tools and interactive 3-D modeling and visualization environments allow a comprehensive utilization of the measured data, particularly in combination with seismic interpretation.

Potential field methods are now able to address various problems beyond the classical basin identification, i.e. beyond reconnaissance tasks: aspects ranging from prospect evaluation to reservoir management can be covered. Time-lapse gravity gradiometry surveys for monitoring gas-fluid contacts and high-resolution aeromagnetic mapping of intra-sedimentary structures became reality.

Concerning the ambiguity of potential field data, the proper integration of existing other data, side information and geological concepts or assumptions is crucial. Usually sufficient constraints on the solution space are available, thus reducing the non-uniqueness. Recent investigations prove the successful application and the huge potential of this integrated interpretation approach.

Four case histories from Northern Germany illustrate how new insight was gained in exploration issues. Different seismic imaging problems were tackled by utilizing the appropriate non-seismic technologies for a joint interpretation.

The relationships between the observed geological conditions and the distribution of physical rock properties, controlling density, susceptibility or resistivity values, are still targets for interdisciplinary research. This knowledge base has to be increased in order to satisfy the requirements of the geophysical interpreter.

Hergarten, S. (Universität Bonn)

Landslides, sandpiles, and self-organized criticality

Gravity-driven mass movements are among the most important natural hazards beside earthquakes, floods, storms, and volcanic eruptions. They are subdivided into several classes such as landslides, rockfalls, and mudflows. Several studies on the frequency-magnitude relation, i.e., on the size distribution of both rockfalls and landslides have been conducted in the last years. Most of them resulted in power-law distributions of either the affected area or the displaced volume. Compared to other distributions such as exponential or normal distribution, the power-law distribution has a heavy tail, which means that the probability of large events decays slowly with the event size. Heavy tails are a common property of hazardous phenomena; the power-law decay is well-known in earthquake statistics since the 1950's. The cumulative size distribution of the areas affected by landslides was found to be a power law with an exponent b in the range between about 0.7 and 2. Results obtained from mapping rockfalls are similar. Compared to earthquakes, the observed variation in the exponent b is quite strong, but the origin of the variation is still unclear. It can neither be uniquely correlated to the geological setting nor to the triggering mechanisms (e.g. rainfall, snow melt or earthquakes). However, the frequency of large events is governed by the exponent b ; so a reliable estimation of b is a key to assessing landslide or rockfall hazard in the long run. Since data are not sufficient yet, process models provide a promising approach to this question. The occurrence of power-law distributed event statistics suggest that the dynamics of gravity-driven mass movements are governed by self-organized criticality (SOC). The framework of SOC was introduced by Per Bak and his coworkers in the late 1980's; it turned out to be a powerful concept for explaining the occurrence of power-law distributed event statistics in dynamic systems. Apart from estimating the exponent b , the SOC concept may help to assess the statistical relevance of precursor phenomena which are essential for a short-term prediction. However, understanding landslide or rockfall dynamics within the framework of SOC is still a problem. From the physical process, the self-organized critical sandpile model seems to be close to gravity-driven mass movements. However, this model predicts power-law size distributions with exponents b close to zero which are neither observed in landslides, nor in rockfalls. Therefore, the sandpile model strongly overestimates the frequency of large events, so that it fails on a quantitative level. A new approach combines the sandpile model with the idea of time-dependent weakening in soil or rock mechanics. Using very simple approaches to this phenomenon, exponents b close to unity are achieved. First studies with this approach have shown that the exponent b may depend on mechanical and geological conditions, but the wide range observed in nature cannot be reproduced so far. Compared to the sandpile model and established SOC models for earthquakes, the temporal behavior of the new approach is more regular. Therefore, the model suggests that the time since the last large landslide at a location may be an important factor in assessing landslide hazard, and that a reliable prediction may not be as hopeless as it seems to be in seismology.

Jäger, Ch., Hertweck, Th. (Karlsruhe)

thomas.hertweck@gpi.uni-karlsruhe.de

Die Unified-Approach Theorie – Anwendungen von Migration und Demigration

Die Migration ist ein wesentlicher Schritt bei der Verarbeitung reflexionsseismischer Daten, mit dem Ziel, ein detailliertes Abbild des Erduntergrundes zu gewinnen. In den letzten zwei Jahrzehnten wurden Verfahren entwickelt, welche registrierte Reflexionsereignisse nicht nur an ihre kinematisch korrekten Positionen migrieren, sondern auch dynamische Informationen, d.h. die Amplituden der registrierten Wellen, berücksichtigen. Mittels geeigneter Gewichtsfunktionen können durch die Migration sphärische Ausbreitungsverluste in den gemessenen Reflexionsamplituden kompensiert werden. Sind andere Effekte auf die Amplituden der reflektierten Wellen (wie z. B. Transmissionsverluste, Streueffekte, Einflüsse der Ankopplung von Quellen und Empfängern an den Boden) vernachlässigbar oder korrigiert, so werden die Amplituden in den migrierten Bildern ein Maß für den winkelabhängigen Reflexionskoeffizienten. Migrationsverfahren, die die sphärischen Ausbreitungsverluste korrigieren, werden oft (etwas irreführend) als true-amplitude Prozesse bezeichnet. Ein häufig benutztes Migrationsverfahren ist die Kirchhoff Migration. Das Migrationsergebnis eines Tiefenpunktes ergibt sich hier als Summation von Amplitudenwerten des Seismogramms entlang der zugehörigen Diffraktionslaufzeitfläche.

Neben der Migration existiert auch ein zu ihr asymptotisch inverser Prozess: die Demigration. Während die (Tiefen-)Migration die gemessenen Daten in ein Tiefenabbild des Erduntergrundes wandelt, transformiert die Demigration ein migriertes Bild zurück in ein Seismogramm im Zeitbereich. Das Funktionsprinzip der Kirchhoff Demigration ist analog zur oben erwähnten Kirchhoff Migration: das Demigrationsresultat für einen Punkt im Zeitbereich ist die Summe der Amplitudenwerte, die im Tiefenbereich auf der zu diesem Punkt gehörenden Isochrone liegen. Durch eine geeignete Gewichtsfunktion können hierbei die geometrischen Ausbreitungsverluste wieder in die Seismogramme eingerechnet werden. Das aus einer true-amplitude Demigration resultierende Seismogramm entspricht somit einem tatsächlich registrierten Seismogramm in sehr guter Näherung. Doch wozu kann dieser Prozess eingesetzt werden? Als isolierter Schritt kann die Demigration z. B. zum Simulieren eines Seismogramms für ein gegebenes Erdmodell benutzt werden. Diese Anwendung wird als modeling by demigration bezeichnet.

Idee der *Unified-Approach* Theorie ist es, die Abbildungsprozesse Migration und Demigration hintereinander auszuführen oder sie analytisch zu einem Prozess zu verbinden. Ändert man zwischen beiden Schritten die Messkonfiguration, das Makro-Geschwindigkeitsmodell oder den betrachteten Wellentyp (PP, PS, etc.), so lassen sich auf diese Weise viele seismische Abbildungsprobleme lösen. Anwendungsmöglichkeiten sind beispielsweise

- Redatuming, d.h. die Simulation von seismischen Daten, wie sie auf einer bestimmten (horizontalen) Bezugsfläche registriert werden würden, ausgehend von auf einer gegebenen Topographie aufgenommenen Daten,
- das Regularisieren von Messdaten und die Interpolation von Spuren in Seismogrammen, die wegen ausgefallener Empfänger keine Daten enthalten,
- Konfigurationstransformationen, d.h. das Simulieren von Seismogrammen für verschiedene Messkonfigurationen, z. B. die Transformation eines common-offset Datensatzes in eine zero-offset Sektion,
- Transformationen zwischen Wellentypen, beispielsweise die Simulation eines S-Wellen Seismogramms für einen gegebenen P-Wellen Datensatz.

Anhand synthetischer und realer Datenbeispiele wird gezeigt, dass die *Unified-Approach* Theorie gut dazu geeignet ist, selbst komplexere Abbildungsprobleme auf eine effiziente und leicht nachvollziehbare Art und Weise zu lösen.

Heuer, B. (BGR/SZGRF Erlangen), Plenefisch, T. (München), Seidl, D., Klinge, K. (BGR/SZGRF Erlangen)

Empirical scaling relations of source parameters for the earthquake swarm 2000 at Novy Kostel (Vogtland/NW-Bohemia)

Investigations on the interdependence of different source parameters are an important task to get more insight into the mechanics and dynamics of earthquake rupture, to model source processes and to make prediction for ground motion at the surface. The interdependencies, providing so-called scaling relations, have often been investigated for large earthquakes. However, they are not commonly determined for micro-earthquakes and swarm-earthquakes, especially for those of the Vogtland/NW-Bohemia region.

For the most recent swarm in the Vogtland/NW-Bohemia, which took place between August and December 2000 near Novy Kostel (Czech Republic), we systematically determine the most important source parameters such as energy E_0 , seismic moment M_0 , local magnitude M_L , fault length L , corner frequency f_c and rise time τ_r and build their interdependencies. The swarm of 2000 is well suited for such investigations since it covers a large magnitude interval ($1.5 \leq M_L \leq 3.7$) and also observations in the near-field at several stations. In the present paper we mostly concentrate on two near-field stations with hypocentral distances between 11 and 13 km, namely WERN (Wernitzgrün) and SBG (Schönberg). Our data processing includes restitution to true ground displacement and rotation into the ray-based principal co-ordinate system, which we determine by the covariance matrix of the P- and S-displacement, respectively. Data preparation, determination of the distinct source parameters as well as statistical interpretation of the results will be exemplarily presented. The results will be also discussed with respect to temporal variations in the swarm activity (the swarm consists of eight distinct sub-episodes) and already existing focal mechanisms.

Rogenhagen, J., Jokat, W. (Bremerhaven), Hinz, K. (Hannover), Leitchenkov, G. (St. Petersburg)

jrogenhagen@AWI-Bremerhaven.DE

A geophysical atlas between 40° West and 40° East

During the last two decades several international institutions and expeditions, including Russian and German ones, have collected geophysical data along the passive continental margin of East Antarctica. The aim of these expeditions was to improve our understanding of the main geological structures and their relation to the amalgamation and subsequent break-up of Gondwana. Especially marine and terrestrial geophysical data sets are of vital importance for the development and refinement of geodynamic models of the continental break-up.

Until now, the processing and interpretation of the several seismic and potential field data sets in the region between 40°W and 40° E has been performed mainly on a national level. Due to an cooperation agreement between Russian institutions (PMGRE, VNIIO) and the AWI, the exchange of geophysical data is now substantially improved.

This gives us the opportunity to develop an atlas that assembles an almost complete set of geophysical research field data in the area along the continental margin of the Weddell Sea, Riiser-Larsen Sea, Lazarev Sea and Cosmonaut Sea. More than 56.000 km MCS data, 86.000 km aeromagnetic data, marine gravimetric and aerogravimetric data of more than twenty expeditions will be compiled, readjusted, mapped and interpreted. In a first step we perform a joint compilation of MCS data of the Mesozoic ocean basins of East Antarctica with the main focus on the Weddell Sea.

Second, additional information on the stratigraphy of the Mesozoic ocean basins is introduced. An excellent age information is provided by the East Antarctic Margin Aeromagnetic and Gravity Experiment (EMAGE), which is performed by the AWI since five seasons along the continental margin of East Antarctica. The results of the aeromagnetic surveys show remarkably continuous seafloor spreading anomalies and indicate a surprisingly simple opening history compared to previously published geodynamic models.

The results on sedimentary structures in the Mesozoic ocean basins and new insights into the early evolution of the South Atlantic, derived from EMAGE, will be introduced.

The results on sedimentary structures in the Mesozoic ocean basins and new insights into the early opening of the South Atlantic will be included.

Hinzen, K.-G. (Bensberg)

hinzen@uni-koeln.de

Das Spannungsfeld der nördlichen Rheinlande aus Herflächenlösungen von Beben der Jahre 1975-2000

Aus einer Gesamtzahl von mehr als 5000 Ereignissen der Jahre 1975-2000 in den nördlichen Rheinlanden wurde zunächst eine Untermenge von Beben selektiert, die an mindestens 5 Stationen registriert wurden. Der ausgewählte Datensatz von 598 Beben wurde zur Bestimmung eines Minimum 1-D Modells der Verteilung der seismischen Geschwindigkeiten und zur Relokalisierung der Beben verwendet (Reamer u. Hinzen, 2000).

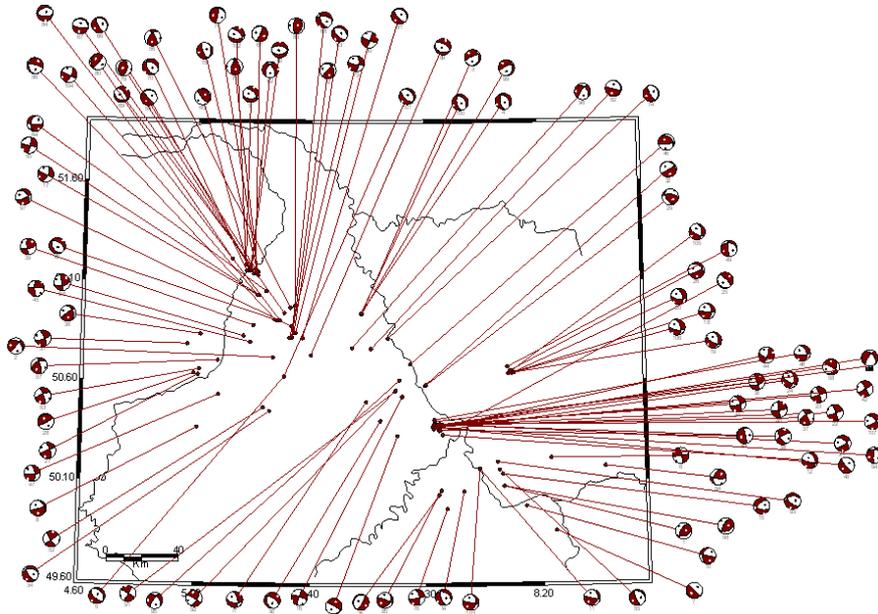


Abbildung 1: Herdflächenlösungen aus Polaritäten der P-Wellen.

Aus den relokaisierten Beben wurden anschließend die Ereignisse ausgesucht, für die mindestens fünf P-Polaritäten bestimmt werden konnten. Da ein Großteil der Seismogramme nur in analoger Form existiert, wurde bei der Ermittlung der Herdmechanismen zunächst nur auf den robustesten Parameter der P-Polarität gesetzt. Aus 138 Beben, die eine solche Mindestzahl von Polaritäten aufweisen, konnten für 109 Ereignisse Herdflächenlösungen ermittelt werden (Abb. 1).

Dabei wurde folgende Strategie angewandt: Zunächst wurde für alle Beben der Parameterraum der Orientierungswinkel einer einfachen double-couple Quelle nach Lösungen durchsucht, die mit allen gefundenen Polaritäten übereinstimmen. Die Orientierungswinkel wurden dabei in ein Raster mit 5° Gitterweite eingeteilt. Bei einer kleinen Anzahl kompatibler Lösungen (<50), die den gleichen Mechanismus beschreiben, wurde aus dem Lösungsensemble eine mittlere Lösung ausgewählt. In Fällen bei denen keine der möglichen Lösungen aus dem Parameterraum alle Daten erklären wurde zunächst die Gitterweite auf 2° bzw. 1° verringert. Wenn sich dabei keine kompatiblen Lösungen ergaben, so wurden je nach Anzahl der Polaritäten 1 bis 4 Polaritätsfehler zugelassen und aus den sich dann möglicherweise ergebenden Lösungen eine repräsentative Lösung ausgesucht.

Aus den Herdflächenlösungen wurde das Spannungsfeld invertiert. Als Eingang für das verwendete Verfahren von Gephart and Forsyth (1984) wurden zwei Datensätze bearbeitet. Zum einen wurden die ausgewählten repräsentativen Lösungen verwendet. Als zweites wurden alle Einzellösungen, die mit den Polaritätsdaten der Beben kompatibel sind berücksichtigt. Dabei wurden die Lösungen entsprechend der Magnitude der Beben und der Anzahl der Einzellösungen pro Beben gewichtet. Die Richtungen der Hauptspannungen wurden einmal für das Gesamtgebiet und für 6 Teilgebiete ermittelt.

Gephart, J. W., and D. W. Forsyth, 1984, An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: Application to the San Fernando earthquake sequence, *J. Geophys. Res.*, 89, 9305-9320.

Reamer, S.K. und K.-G. Hinzen, 2000. Evaluation of the Phase Data Catalog for the Station Bensberg for the Years

1970-2000, Abstr. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Frankfurt a. M.

Ohrnberger, M., Scherbaum, F. (Universität Potsdam), Hinzen, K.-G., Reamer, Sh.-K., Weber, B. (Universität Köln)

Vibrations on the Roll - MANA, a Roll Along Array Experiment to map Local Site Effects Across a Fault System

The effects of surficial geology on seismic motion (site effects) are considered one of the major controlling factors to the damage distribution during earthquakes. Qualitative and quantitative estimates of local site amplifications provide important information for the identification of potential high risk areas. In this context, the analysis of ambient vibrations is an attractive tool for the mapping of site conditions. It is a low-cost alternative to expensive active seismic experiments or geophysical well-logging and especially well suited for the use within urban areas. Within the MANA experiment we conducted ambient vibration measurements at roughly 100 sites in the Lower Rhine Embayment (NW-Germany) to test various aspects of site effect determination, especially the feasibility of a roll along technique. A total of 13 three-component seismometers (5s corner period) have been used in a linear array configuration (station distance 100 m). At all times during the roll-along experiment at least 8 stations (mostly 10) were operating simultaneously, meanwhile the other stations were moved from the rear to the front of the line and re-installed. Thus, a total progress of almost 10 km could be obtained within two days. The line stretched across the NW-SE striking Erft fault system, one of the major faults in the eastern part of the Lower Rhine Embayment. The thickness of cenozoic soft-sediments overlying the basement of paleozoic age increases at the individual branches of the fault in abrupt steps of uncertain magnitude from around 200 m in the east to almost 1000 m in the west. The results of single station horizontal to vertical spectral ratios (HVSr) along the line are presented as well as the spatial evolution of local dispersion curves obtained from a slantstack analysis (SSA). The spatial variation of features along the line in both the HVSr and SSA are discussed in terms of sedimentary thickness and modifications of the wavefield properties of the ambient vibrations.

Geologische Interpretation von Magnetotellurik-Sondierungen im Emsland und in Ostfriesland

Hoffmann, N. (Berlin), Jödicke, H. (Münster), Horejschi, L. (Münster)

Norbert.hoffmann@bgr.de

Geologische Interpretation von Magnetotellurik-Sondierungen im Emsland und in Ostfriesland

Im Ergebnis einer integrativen geologisch-geophysikalischen Interpretation magnetotellurischer Messungen im Emsland und in Ostfriesland und in Ostfriesland werden neue Modellvorstellungen zur tektonisch-strukturellen und paläodynamischen Entwicklung des tieferen Untergrundes sowie zur Verbreitung potentieller präwestfalischer Erdgas-Muttergesteine abgeleitet.

Die Modellierung der MT-Daten lässt im Untersuchungsgebiet einen flächenhaft verbreiteten elektrisch gut leitenden Horizont in Teufen von ca. 5 000 bis 8000 m erkennen., der nach den Ergebnissen der Tiefbohrung Münsterland 1 sowie geologischen Analogievergleichen mit Schwarzschiefern des tieferen Oberkarbons und Unterkarbons (Rhenohertzynische Alaunschiefer) korreliert werden kann. Da bekanntlich Schwarzschiefer als potentielle Muttergesteine angesehen werden, kommt den durchgeführten magnetotellurischen Sondierungen auch für die Erdgas-Höffigkeitsbewertung eine industrierelevante Bedeutung zu.

Nach der Interpretation der MT-Daten zeichnet sich im nördlichen Emsland eine deutliche Hochlage des gut leitenden Horizontes im Teufenbereich von ca. 5000 m ab, die im Norden und im Süden von überregional bedeutsamen, etwa WNW-EWSE streichenden lineamentären Störungszonen konturiert wird.

Die Nordstörung (Rheder Moor-Bockstedt-Lineament) stellt die Grenze zwischen der Pompeckj-Scholle im Norden und der Niedersachsen- Scholle im Süden dar. Sie weist nach der Magnetotellurik einen den größten Versatz von (ca. 1000-2000 m) auf. Demgegenüber ist der Sprungbetrag an der Südstörung (Süd-Niedersachsen-Lineament), die im Bereich der Niedersachsen-Scholle liegt, wesentlich geringer (einige hundert Meter).

Die Hochlagenzone ist war bisher weder aus anderen geophysikalischen Untersuchungen noch bzw aus geologischen Darstellungen bekannt (s. Tektonischer Atlas, BGR ,1998). Diese tektonisch-strukturelle Einheit ist in ihrem heutigen Erscheinungsbild sicherlich ein Ergebnis der tektonischen Inversion der Niedersachsen-Scholle (auch als Niedersächsisches Tektogen bezeichnet) während der Oberkreide (Coniac-Santon). Unklar Problematisch ist, ob inwieweit es sich bei dieser Struktur um eine bereits variszisch angelegte und saxonisch neu nur aktivierte tektonische Einheit handelt. Als Anhaltspunkt für eine bereits alt (variszisch) angelegte Schwelle könnte ein Vergleich mit der unweit nordwestlich gelegenen Hochlage von Groningen (Erdgas-Provinz) dienen. Hier ist eine Schichtlücke tieferes Westfal angetroffen worden, das tieferes Westfal von Rotliegend-Sedimenten überlagert wird (Erdgas-Provinz Groningen). Während im gravimetrischen Bild keine Hinweise für eine positive Anomalie zu erkennen sind, liegt im magnetischen Bild die Hochlage "nördliches Emsland" am Rande einer positiven magnetischen Anomalie , die als Ostausläufer der Anomalie von Groningen anzusehen ist. Sollten tektonisch-strukturelle Zusammenhänge zwischen beiden Strukturen bestehen, dann müssten ebenfalls größere Schichtlücken im Karbon im Bereich der Hochlage "nördliches Emslandes" angenommen werden, was als ein Hinweis für spätvariszische Bewegungen (asturisch) gedeutet werden könnte. Im Gegensatz zu Groningen würde hier das tiefere Westfal von Sedimenten des höchsten Oberkarbons (Stefan) , die in der annähernd N-S verlaufenden Ems-Senke abgelagert wurden, überdeckt. Die postulierte Hochlage würde somit quer zum Streichen der Ems-Senke orientiert sein.

L
Horejschi, L., Jödicke, H. (Münster), Hoffmann, N. (Berlin)

horejsc@uni-muenster.de

Modellierung magnetotellurischer Daten aus dem Emsland und aus Ostfriesland

Entlang der Ems, parallel zur deutsch-holländischen Grenze, wurden insgesamt 36 von der Universität Münster und der BGR Hannover/Berlin vermessene Magnetotellurik-Messpunkte ausgewertet, um die Leitfähigkeitsstruktur des tieferen Untergrundes im Randbereich des Norddeutschen Beckens genauer zu untersuchen. Schwerpunkt der Arbeiten war die Interpretation der Daten mit den 2D-Programmen von Smith & Booker sowie Mackie et al.. Von besonderem Interesse waren Analysen der Abhängigkeit des Modells von der Wahl des Startmodells, des verwendeten Gitters und des Glättungsparameters, der das Verhältnis zwischen vertikaler und horizontaler Auflösung bestimmt. Modelle mit besonders guter Anpassung zeigen einen guten Leiter als Deckschicht und einen weiteren guten Leiter in ca. 6 – 9 km Tiefe. Es deutet sich an, dass seine Tiefenlage im Nordteil des Profils etwas größer ist als im Südteil. Dabei entspricht der Nordteil des Profils geologisch der Pompeckjschen Scholle, der Südteil dem Niedersächsischen Tektogen.

Die Auswertung der magnetischen Übertragungsfunktionen ergab für Perioden über 1000 s eine gute Bestätigung für die Position der angenähert Ost-West streichenden "Norddeutschen Leitfähigkeitsanomalie", die als Zone maximaler integrierter Leitfähigkeit interpretiert wird. Hier werden die Induktionspfeile sehr klein und schwenken von einer eher nördlichen in eine eher südliche Richtung um. In den magnetotellurischen Modellen ist ein entsprechendes, deutliches Maximum der integrierten Leitfähigkeit jedoch nicht zu erkennen.

Schwarte, J., Holme, R., Lühr, H. (GFZ Potsdam)

Verbesserte Parametrisierung des externen magnetischen Feldes anhand von CHAMP Messungen

Bei der Verwendung von Kugelflächenfunktionen zur Beschreibung des geomagnetischen Feldes ist es möglich zwischen internen und externen Quellen zu unterscheiden. Der externe Beitrag zu CHAMP Daten stammt von magnetosphärischen Stromsystemen, wie dem Magnetopausenstrom, dem Ringstrom und dem Schweifstrom. Bislang wurde in der Hauptfeldmodellierung der Effekt des Ringstroms durch eine lineare Abhängigkeit vom DST-Index parametrisiert. Hier wurden CHAMP Skalardaten verwendet, um eine bessere Parametrisierung zu entwickeln. Ausgenutzt wurde dabei, dass der Satellit zu Beginn der Mission drei Tagen später ungefähr dieselbe Flugbahn hat. Durch die Subtraktion der Residuen solcher zwei aufeinanderfolgender Flugbahnen verschwinden die Beiträge der Lithosphäre und eventueller Modellfehler, und gleichzeitig werden die magnetischen Effekte der Stromsysteme verstärkt.

Unsere Ergebnisse zeigen einen klaren linearen Zusammenhang zwischen dem ersten Grad der Kugelflächenfunktion von internen und externen Koeffizienten. Die Skalierungsfaktoren zeigen jedoch eine signifikante Abweichung von bislang veröffentlichten Werten und eine klare Abhängigkeit von der lokalen Zeit. Um lokalen Mittag, zu dem ionosphärische Ströme intensiv sind, ist diese Methode jedoch nicht zuverlässig. Ausserdem deuten unsere Ergebnisse an, dass herkömmliche Korrekturen des 'Ringstromeffektes' Probleme an den Polen zu haben scheinen.

Wardinski, I. (GFZ Potsdam), Holme, R. (University of Liverpool)

Säkularvariation des Erdmagnetfeldes von 1980 bis 2000

Wir präsentieren die vorläufigen Ergebnisse einer Studie zur Säkularvariation des Erdmagnetfeldes für den Zeitraum von 1980 bis 2000. Unsere Studie wird gestützt durch den Umstand, dass für die beiden Endpunkte des Zeitintervalls qualitativ hochwertige Vektordaten der Satelliten Magsat (1980) und Oersted und CHAMP (1999 - 2001) vorliegen. Für die dazwischenliegende Periode betrachten wir Daten von magnetischen Observatorien, magnetischen Messschiffen und sogenannten "repeat survey", um die Säkularvariation und das Hauptfeld zu modellieren. Wir nutzen unser Feldmodell um das Phänomen des Geomagnetische Jerks von 1991 zu untersuchen. Es ist von fundamentaler Wichtigkeit zu verstehen, wie solche Unstetigkeiten im Rahmen eines optimal glatten Modells modelliert werden können. Eigene detaillierte Untersuchungen anhand einer deterministischen Modellierung der Zeitreihen der Messungen in Fürstentfeldbruck suggerieren, dass der Jerk von 1970 einen wesentlichen Anteil an externen Feldvariation enthielt. Unser Modell, basierend auf einer Kugelflächenfunktionsanalyse, erlaubt eine Separation des Signals in externen und interne Anteile und somit eine Charakterisierung der Quelle dieser Jerks.

Hort, M., Seyfried, R. (Kiel)

mhort@geomar.de

Dopplerradarmessungen im Dombereich des Vulkan Merapi,

Der Vulkan Merapi in der Nähe der Stadt Yogyakarta zählt zu den aktivsten und gefährlichsten Vulkanen der Welt. Unter den weltweit rund 25 Vulkanen, die in historischer Zeit durch "Merapi-Typ" Ausbrüche gekennzeichnet waren, ist der Merapi mit seinen 70 Eruptionen seit 1548 der aktivste. Eines der verheerendsten Ereignisse in der dokumentierten Chronologie des Merapi war die Eruption von 1672, die rund 3000 Todesopfer forderte. Selbst zu Beginn dieses Jahrhunderts kamen während der Eruption vom 18.-19. Dezember 1930 rund 1370 Menschen zu Tode, da zum Teil falsche Gebiete um den Vulkan evakuiert wurden. Ein der 1930er Eruption ähnliches Ereignis forderte am 22. November 1994 den Tod von rund 70 Menschen. Es besteht daher insbesondere in Indonesien ein großes Interesse an ständig erweiterten und verbesserten Monitoringsystemen zur Überwachung und Detektion von Eruptionsvorläufern und des Eruptionszeitpunkts, um zum einen die ca. 80000 Menschen, die in der sog. "forbidden Zone" des Merapi leben, besser zu schützen und zum anderen, um volkswirtschaftliche Schäden zu minimieren.

Im Rahmen einer, von der DFG im Bündelantrag Merapi geförderten einjährigen Pilotstudie wurde am Merapi im Oktober 2001 ein Doppler Radarsystem installiert, das die Detektion von Instabilitätsereignissen im Dombereich des Vulkans ermöglicht. Das an der Nordwestflanke des Vulkans, am Posten Babadan, in ca. 5 km Entfernung von Dom installierte System funktioniert ähnlich wie von der Polizei zur Geschwindigkeitskontrolle eingesetzte Radarsysteme. Im Unterschied zu den Radarsystemen der Polizei kann das eingesetzte Radarsystem zusätzlich zur Geschwindigkeit auch noch eine Angabe über die ungefähre Entfernung des Objekts machen, das sich im Radarstrahl bewegt. Dies wird dadurch erreicht, dass der Radarstrahl zwischen Quelle und Ziel in 16 gleichlange Entfernungsintervalle (sog. Range Gates) eingeteilt wird. Für jedes dieser Entfernungsintervalle wird nun festgestellt, ob sich innerhalb des Intervalls ein oder mehrere Objekte bewegen, deren Geschwindigkeit dann bestimmt wird. Auf diese Art ist eine entfernungsauflösende Geschwindigkeitsmessung möglich.

Im Fall der am Merapi verwendeten Technik kann aufgrund der Entfernungsauflösung der Dombereich des Merapi auf Abbruchereignisse untersucht werden. Gleichzeitig ermöglichen die Entfernungsintervalle, die vor dem Dom liegen, eine Überwachung von Niederschlagereignissen. Da Regen am Merapi häufig sehr lokal fällt, ist dies eine wichtige, zusätzliche Information, die einerseits für die Vorhersage von Lahars genutzt werden kann und es andererseits mittelfristig erlaubt, Niederschlag im Dombereich mit der Aktivität im Dombereich zu korrelieren. Dies wiederum erlaubt langfristig die Verbesserung der Vorhersage von Dominstabilitätsereignissen.

Sei Mitte Oktober 2001 zeichnet das Radargerät kontinuierlich Daten auf. Seit Anfang November läuft das System "standalone", aber leider haben wir aus technischen Gründen z. Zt. keinen Zugriff auf die Daten. Eine erste Sichtung der Daten der zweiten Oktoberhälfte zeigt jedoch schon sehr interessante Ergebnisse. So variiert die mittlere Geschwindigkeit eines Abbruchereignisses zwischen 4 und 12 m/s und die Dauer der Abbruchereignisse liegt im Mittel bei 10–30 s. Die Abfolge der Ereignisse lässt z. Zt. keine Systematik erkennen, es fällt jedoch auf, dass häufiger kurz hintereinander Abbruchereignisse auftreten. Die Zeitabstände liegen hier so um 30 s bis 1 min. Dies ist insbesondere daher von Interesse, da diese kurzen Zeitfolgen mit bisherigen Methoden nicht gut aufzulösen sind und bislang möglicherweise als ein Ereignis gewertet wurden. Eine detaillierte Einzelanalyse aller Ereignisse liegt noch nicht vor, aber es zeichnen sich zwei Klassen von Abbruchereignissen ab. Zum einen gibt es Ereignisse, bei denen man im Geschwindigkeitsspektrum (reflektierte Energie über Geschwindigkeit) nur einen Peak findet. Dies würde man für ein Abbruchereignis auch erwarten, nämlich, dass sich einige Blöcke langsam, einige schnell und die Hauptmasse sich mit einer mittleren Geschwindigkeit bewegt. In einer zweiten Klasse von Ereignissen folgt auf das initiale Abbruchereignis ein Geschwindigkeitsspektrum mit zwei Peaks. Dies bedeutet, dass nach dem ersten Abbrechen weiteres Material stark beschleunigt wird. Eine Erklärung für diese Beobachtung ist, dass auf das initiale Abbruchereignis eine Explosion folgt, die zusätzlich Material freisetzt. Diese Interpretation stützt schon früher vorgeschlagene Modelle zum Ablauf solcher Abbruchereignisse, unsere Daten erlauben jedoch erstmals die entsprechende quantitative Beobachtung solcher Ereignisse.

Rüpke, L. H., Morgan, J. P., Hort, M. (Kiel)
lruepke@geomar.de

Was verursacht die geochemischen Variationen an konvergenten Plattengrenzen?

Ein dynamisches Modell

Die geochemische Zusammensetzung von Laven, welche an konvergenten Kontinentalrändern gefördert werden, ändert sich häufig graduell entlang der vulkanischen Front. So ändert sich z.B. das Ba/La Verhältnis entlang der zentral-amerikanischen Subduktionszone von hohen Werten in Nicaragua zu niedrigen Werten in Costa Rica. Ähnliche Variationen in der Geochemie werden auch im Izu-Bonin Inselbogensystem beobachtet. Der klassische Ansatz solche Variationen zu erklären ist es, verschiedene Quellkomponenten der produzierten Schmelzen zu identifizieren und durch verschiedene Mischungsmodelle die beobachtete Zusammensetzung zu reproduzieren.

Hier stellen wir als Ergänzung und Alternative zu diesen inversen Ansätzen, eine vorwärts gerechnete Lösung vor. Anstatt beobachtete Lava-Zusammensetzungen exakt reproduzieren zu wollen, versuchen wir die Änderungen in der Geochemie zu erklären, indem wir die zugrundeliegenden Schmelzprozesse genauer untersuchen. Um unseren Ansatz besser verständlich zu machen, gehen wir kurz auf die Ursache von Inselbogenvulkanismus ein.

Vulkanismus an konvergenten Plattengrenzen ist eine Folge von Schmelzprozessen im Mantelkeil, welche durch die Zufuhr von Fluiden aus der abtauchenden Platte ausgelöst werden. Diese Fluide werden durch metamorphe Phasenübergänge in der abtauchenden Platte freigesetzt und führen zu einer Schmelzpunktniedrigung im Mantelkeil. Da metamorphe Reaktionen durch die herrschenden P-T Bedingungen kontrolliert werden, ist der Schlüssel zum Verständnis von Fluidfreisetzung die Kenntnis der thermischen Struktur von Subduktionszonen. Sie ist wiederum eine Funktion der wichtigsten Subduktionsparameter wie dem Alter der subduzierten Platte, dem Abtauchwinkel, der Konvergenzrate, aber auch der latenten Wärme von endothermen und exothermen chemischen Reaktionen. Um die Bedeutung der verschiedenen Parameter für die thermische Struktur einer Subduktionszone zu charakterisieren setzen wir ein numerische Modell ein. Hier stellen wir die Ergebnisse eines zweidimensionalen dynamischen Subduktionsmodells vor, welches für die Temperaturverteilung und das Flussfeld löst, sowie fluidfreisetzende metamorphe Reaktionen modelliert. Die Lösung des Temperaturfeldes basiert auf der klassischen Wärmeflussgleichung, welche mit Hilfe von finiten Differenzen gelöst wird. Das Flussfeld wird mit der Stokes-Gleichung für inkompressibles Fließen gelöst, wobei diese Lösung auf einem finite Elemente Schema basiert. Um Fluidfreisetzungen zu modellieren, subduzieren wir zusammen mit der abtauchenden Platte ein gewisse Anzahl von Tracer-Partikeln, welche einen bestimmten Gehalt an chemisch gebundenem Wasser haben. Damit das Modell in sich schlüssig ist, berücksichtigt die Wärmeflussgleichung den latenten Wärme Verbrauch der metamorphen Reaktionen.

Um die Fluidfreisetzung in Abhängigkeit der wichtigsten Subduktionsparameter zu analysieren, teilen wir die abtauchende Platte in eine Krustenschicht (basaltisch) und eine Mantelschicht (peridotitisch) auf. Für beide Zusammensetzungen haben (Schmidt und Poli, (1998)) Phasendiagramme und durchschnittliche Wassergehalte bestimmt, welche wir in angepasster Form in unser Modell implementiert haben. In einer Reihe von numerischen Experimenten zeigen wir, dass die Hauptquelle von Fluiden sich in Abhängigkeit des angenommenen petrologischen Profils und der Subduktionsgeometrie zwischen Mantelgestein und Krustengestein verschieben kann. Eine Änderung der Fluidquelle kann nun auch eine Änderung in der Zusammensetzung des Fluids selber bewirken. Da diese Fluide der Auslöser von partiellem Schmelzen sind, ändert sich folglich auch die Zusammensetzung der produzierten Schmelzen. Wir zeigen so, dass verschiedene Fluidquellen der Grund für die beobachteten geochemischen Variationen an konvergenten Plattengrenzen sein können.

Seyfried, R., Hort, M., Vöge, M. (Kiel)

resyfried@geomr.de

The interplay of three active volcanic vents: Doppler Radar measurements at Stromboli volcano, Italy

During May 2001 we simultaneously monitored the eruptive activity of all three active vents of Stromboli volcano, Italy using three Metek MVR-3 Doppler Radars. Within 10 days, more than 1200 eruptions were recorded. Doppler spectra were recorded each second at each instrument. Radar data were used to estimate eruption intervals, activity durations, velocity distributions and the reflected radar power of each eruptive event. Typical clast sizes of the events are estimated from clast sinking velocities using a semi-empirical law generally applied for rain drop settling forecast that converts mean sinking velocities into typical particle diameters. Daily averages of these parameters are calculated to infer typical eruption signatures for each vent. Integrating the reflected radar power allows a qualitative estimate of erupted mass.

Crater 3 shows the highest reflected radar power and the most regular activity with typical eruption intervals of only 5 minutes and a mean particle rising velocity of 16 m/s. Craters 1a and 1b show interval lengths of about 12 min and rising velocities of about 14 m/s for crater 1a and 17 m/s for crater 1b. Mean eruption durations are 7 s for crater 1, 14 s for crater 1b and 12 s for crater 3. Mean particle diameters are 13 mm for crater 1a, 9 mm for crater 1b and 12 mm for crater 3 but vary strongly with time (from about 5 to 30 mm). Using clast sinking velocities to estimate clast sizes is a first attempt for an insitu fragmentation analysis. We hasten to point out that our method has several shortcomings, such as assuming spherical clast shapes and a vertical direction of clasts passing the radar beam. In addition it is obvious that wind may affect our results. Even so, we wish to present our first results of this promising new method including some ideas on how to overcome these shortcomings.

All presented parameters are first summarised for each event and then averaged for each day taking into account measurement gaps. for a rigorous statistical investigation.

The variances of the parameters discussed above for each crater provide an interesting insight into the periodicity of the whole feeding system of Stromboli. We find that the most active crater 3 shows the lowest variances for all measured parameters except the particle sizes. However, the strongest explosions will produce the widest range of particle sizes thrown out. Hence, we suggest that the main feeding system of Stromboli is below crater 3 (at least during 2001) and it works at quite regular intervals. Probably, the permanent mass transfer and the instability of the northern flank (Sciara del Fuoco) strongly affects the surface-near feeding system of the open vents and small changes in that geometry lead to the the rapidly changing and unpredictable Strombolian activity.

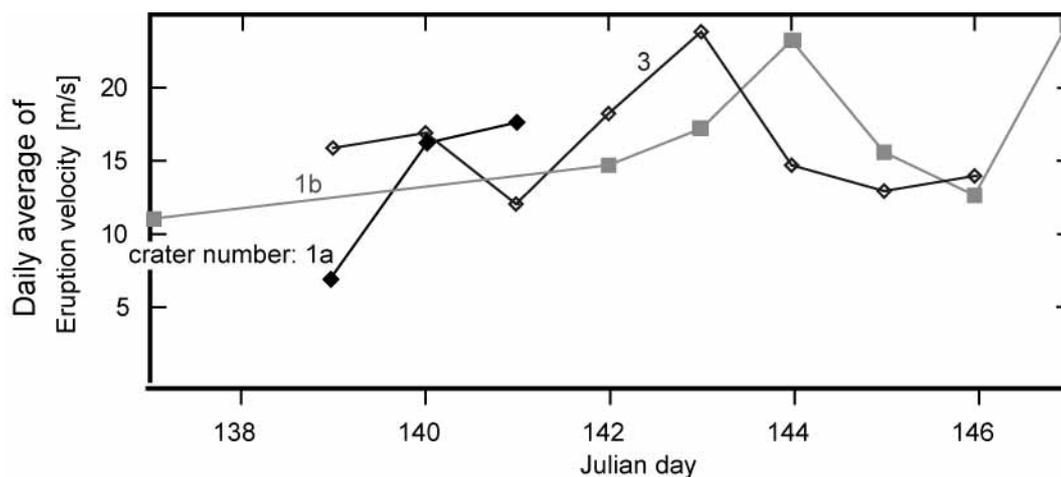


Figure 1: Mean eruption velocities of the three active vents, a daily summary

Igel, H., Wang, G., Vye, E. (Uni München)

The International Quality Network: Georisk

In 2001 the German Academic Exchange Service funded several International Quality Networks (IQNs) one of which is administered by the Faculty of Earth Science of the Ludwig-Maximilians-University in Munich in the area of georisks related to seismology and volcanology. The aim of the IQN program is to integrate highly qualified foreign undergraduate and postgraduate students, post-docs, lecturers and professors into research and teaching at German Universities. Within the IQN-Georisk the Earth Science Departments of Munich and Potsdam, joined by the MunichRe, team up with partner institutions in Australia (QUAKES, University of Queensland), Canada (University of British Columbia), China (China Seismological Bureau, University of Beijing, Polytechnic University), Indonesia (e.g. Vulcanological Survey), Ireland (University College Dublin), Japan (University of Tokyo, Earthquake Research Institute), New Zealand (University of Wellington) and USA (University of Southern California, Arizona State University, Princeton University). Funding is available for senior undergraduates taking part in courses offered in Munich in the areas of seismology, numerical modelling, mineralogy and volcanology. The center of the IQN-Georisk is a research group with one postdoc and three Ph. D. students. Further funding is available for short-term visiting Ph. D. students as well as lecturers and professors from the partner institutions offering short courses in their special fields. The IQN began with a short course in summer 2001 on „The physics of earthquakes and faults., given by Prof. Y. Ben-Zion. Further courses are planned within the IQN. They are open to students from other universities and will be advertised through the IQN www pages (www.iqn-georisk.de).

Jahnke, G., Igel, H., Nissen-Meyer, T. (München)

Kurzperiodische Globale Wellenausbreitung mit der Finite Differenzen Methode für achsensymmetrische Geometrien

Mittlerweile existieren verschiedenste Methoden, um Seismogramme für teleseismische Herdentfernungen zu berechnen. Die Bandbreite reicht von der Reflektivitätsmethode für 1D Erdmodelle, die schon auf Arbeitsplatzrechnern berechnet werden können, bis zu 3D Simulationen, die aufgrund ihres Speicherbedarfs und Rechenzeitaufwandes auf Höchstleistungsrechner angewiesen sind.

Eine Zwischenrolle spielen achsensymmetrische Methoden. Diese kommen mit 2D Feldern für die Modellparameter und das berechnete Wellenfeld aus, was den Rechenzeit- und Speicherbedarf im Vergleich zu kompletten 3D Methoden drastisch verringert bzw. eine deutlich höhere Frequenzauflösung erlaubt. Der Preis dafür ist die Beschränkung auf achsensymmetrische Modelle und Quellen.

Für einige teleseismische Fragestellungen benötigt man Modellrechnungen, bei denen es wichtiger ist, realistische Frequenzen (z. B. » 1Hz für Raumwellen) zu erhalten, als Variationen der seismischen Parameter in allen drei Raumrichtungen zu modellieren. Zu diesen gehören z. B. Diffraktion an der Kern-Mantel Grenze, teleseismische Effekte von Subduktionszonen und Streuung im Mantel durch kleinskalige Inhomogenitäten. Zur Lösung der Wellengleichung wurde die Finite Differenzen (FD) Methode verwendet. Ein großer Vorteil der FD Methode gegenüber z. B. Finite Elemente Methoden oder Pseudospektralmethoden ist die Lokalität der Operatoren. Das bedeutet, dass zur Berechnung eines neuen Wertes an einem Gitterpunkt nur Werte aus der Nachbarschaft benötigt werden. Durch diese Lokalität der Berechnungen ist es relativ einfach, die Methode zu parallelisieren und dadurch auf parallelen Hochleistungsrechnern anzuwenden.

Grundlegend für die Stabilität der FD Methode ist die Benutzung eines geeigneten Gitters. Um die Erdkugel mit Gitterpunkten zu füllen, wurde eine regelmäßige Diskretisierung in Polarkoordinaten (r, θ) gewählt. Um die Verkleinerung der Gitterzellen in Richtung Erdmittelpunkt auszugleichen, wird in bestimmten Tiefen eine Gittervergrößerung vorgenommen (Mehrgebietenmethode). Der eigentliche Erdmittelpunkt wird kartesisch behandelt. Die Berechnung der Wellengleichung an den Gitterübergängen sowie im Zentrum muss gesondert implementiert werden.

Gezeigt werden unter anderem Modellierungen von Oberflächenwellen, diffraktierten Wellen durch kurzwellige Heterogenitäten im unteren Erdmantel, sowie Perturbationen des Wellenfeldes durch Subduktionszonen.

Treml, M., Igel, H. (München), Tilmann, F., Morgan, J. P. (Kiel, Geomar), Strasser, M. (München)

Towards the 3D seismic signature of plumes

The detailed seismic imaging of large mantle plumes is one of the major milestones towards understanding mantle convection and the geochemical evolution of the mantle. So far seismic studies have revealed plume conduits of diameter 100 to 200km. However, details of the 3-D structure of plumes are difficult to investigate using ray-theoretical methods, (quasi-) analytical solutions for simplified plume structures (e.g. cylinders) or long-period information (e.g. from surface waves) only.

To date no systematic study of (e.g. frequency-dependent) amplitude and waveform effects of plume structures for teleseismic and regional wavefields has been carried out. Modern computational hardware now makes such an investigation possible which may be a basis for more detailed analysis of high-quality broadband data.

Therefore, we recently set up a project that consists of an extensive study of the complete 3-D wave field of likely plume structures with the aim of (1) predicting frequency-dependent effects on amplitudes and waveforms of plume-like structures; (2) testing experimental configurations for teleseismic studies on their ability to map the deep plume structure, (3) optimizing experimental configurations for seismic refraction studies planned in the future and (4) develop processing methods to extract structural information from recorded data.

At this first stage, in order to develop intuition about the effects of plume-like structure we have been beginning with simple plume structures and finally will move to more complex structure (e.g. from geodynamic simulations) and/or more complex material properties (e.g. upper mantle anisotropy). An important first step of this project was to test the numerical solutions with earlier results by Tilmann et al. (1998) who used an analytical solution for a cylindrical plume structure. The present aim is to extent this study to more complex plume models and to waves generated by different kinds of sources. We present results of simulations using an explosion source and an earthquake.

The numerical simulations of the 3-D wave fields are carried out using verified algorithms developed on high-performance computers with the ability to achieve high-frequency wavefields.

Wang, G., Igel, H. (München)

Comparisons of Colocated Strong Ground Motion Records Obtained from the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake

Modern digital instruments have the capability to recover permanent or residual displacements for large earthquakes, but baseline offsets make it difficult in many cases to do so. The permanent displacement and the long-period ground motion information are of great interest to seismologists for unraveling the complexities of fault rupture and may be of interest to engineers designing large structures with very long-period response. The 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake ($M_w=7.6$) firstly supplied us with unprecedented long-period strong motion records to further pursue the problem of baseline offset occurring in the modern digital force-balanced accelerometers. We compare the records of 22 colocated A-800 and A-900A instruments triggered by the Chi-Chi main shock firstly, and then we carefully compare the records obtained from the Hualien seismic station, on which three instruments (one A-800 model and two A-900A models) were mounted. Comparisons of the amplitude, frequency content, and baseline offsets from the colocated accelerographs A-800 records differ significantly from the A-900A records. On this basis, and in view of the more thorough pre-deployment testing of the recent A-900A instruments, we recommend that the records from the A-800 be used with caution, if at all, in analyses of the mainshock and aftershocks. For the two colocated A-900A instruments installed at the Hualien station, although the records are much more similar than those from a colocated A-800 instrument, both records contain unpredictable baseline offsets, as do many of the strong-motion data from this event, and the details of the baseline offsets differ considerably on the two three-component records. There are probably numerous sources of the baseline offsets, such as tilting of the ground, background noise, but for the two colocated A-900A records at the Hualien seismic station, the differences in the baseline shifts suggest that the source is some transient disturbance within the instrument itself - this is a form of instrument self-noise. The transient manifests itself in acceleration as a pulse or a step generally. We find a 0.01 Hz low-cut filter can almost completely eliminate the noise, but then information of regarding the residual displacement has been lost. The real mechanism of the transient is unknown presently. Hence, it is very difficult to recover the residual displacements from the modern digital records, though it is possible in theory. This study reinforces our conclusion from previous studies that the sources of baseline offsets occurring in digital strong-motion records are very complex. However, we will present results indicating that a short duration acceleration pulse explains the observed displacement trends.

Ismail-Zadeh, A., B. Müller, B., Wenzel, F. (Karlsruhe)

Alik.Ismail-Zadeh@gpi.uni-karlsruhe.de

Quantitative Modeling of Stress in a Descending Slab: Application to the Vrancea (SE Romanian Carpathians)

Recent findings from the regional and local seismic tomography together with extremely high intermediate-depth seismicity in the Vrancea region point towards the interpretation that lithospheric slab, descending beneath the region, approaches a stage of break-off. To understand processes of stress generation, we analysed stress in a descending slab by means of analytical and numerical modeling. We derived an analytical solution for stress magnitude for various angles of slab subduction. We developed a thermo-mechanical finite-element model of a slab sinking in the mantle due to gravity and overlain by the continental crust. The model predicts (a) downward extension in the slab as inferred from the stress axes of earthquakes, (b) the maximum stress occurring in the depth range of 80 km to 180 km, and (c) the minimum stress falling into the depth range of 40 km to 80 km. The results are robust in respect to various geometrical structures of the slab. The deeper the slab penetrates into the mantle, the larger is the stress magnitude at intermediate depths. The numerical results correlate well with depth variation of seismic activity in the Vrancea region, with the distribution of earthquakes' hypocenters, and with the historical observations on large events. Furthermore, we studied effects of slab delamination on the stress distribution versus depth and find that in the course of the delamination stress decreases within the slab to the level of the crustal stress.

Kapinos, G., Lahrmann, B., Jödicke, H. (Münster)

kapinos@uni-muenster.de

Erste Ergebnisse magnetotellurischer Messungen auf nordpolarem Eis über dem Gakkel Rücken

Um die Leitfähigkeitsstruktur von ozeanischer Kruste und ozeanischem Mantel im Bereich des Gakkel-Rückens zu untersuchen, wurden während der Fahrt ARKXII/2 der FS Polarstern in das Nordpolarmeer magnetotellurische Messungen auf Meereisschollen durchgeführt. Der Gakkel-Rücken, gekennzeichnet durch eine geringe Spreadingrate von nur 0,5 – 1 cm/Jahr, verläuft als nördliche Fortsetzung des mittelatlantischen Rückens von der Nordostspitze Grönlands bis in die Laptev-See vor Sibirien. Die besondere Schwierigkeiten von MT-Messungen auf Eis entstehen im wesentlichen durch die Drift der Eisschollen von bis zu 500 m/h über zum Teil starker Topographie des Untergrundes. Eine mögliche Rotation der Schollen kommt hinzu. Sie kann dazu führen, dass die Signale des Magnetfeldes den Eingangsbereich der für Landmessungen ausgelegten Apparaturen überschreiten.

Insgesamt wurden fünf Messungen über verschiedenen Abschnitten des Rückens jeweils nahe der Rückenachse durchgeführt, von denen erste Ergebnisse vorgestellt werden. Für die Bearbeitung der Rohdaten stehen GPS-Aufzeichnungen zur Bestimmung der Drift zur Verfügung, während die Bathymetrie durch Messungen vom Schiff weitgehend in guter Qualität vorliegt. Darüber hinaus soll die Rotation anhand der Magnetfeldaufzeichnungen rückgerechnet werden. Erste 1D-Modellrechnungen werden zunächst zeigen, ob die berechnete Wassertiefe (= Deckschicht) mit der bekannten Wassertiefe übereinstimmt.

Kurz, G., Moise, E., Schulz, R. (Hannover), Kulenkampff, J., Jacobs, F. (Leipzig)

Gerhard.Kurz@gga-hannover.de

Kombinierte Auswertung von untertägigen geophysikalischen Messungen

Zur Beurteilung der Standortsicherheit von geologischen Barrieren in Grubengebäuden werden geophysikalische Methoden (Elektromagnetik, Georadar, Geoelektrik, Seismik, Sonar) eingesetzt. Die Standortsicherheit wird im Wesentlichen durch Laugenstellen bzw. durchfeuchtete Bereiche gefährdet. Diese Problemstellen sollen detektiert werden, wobei die Aussagekraft durch die Verwendung mehrerer Verfahren gegenüber der einzelnen Methode stark verbessert wird.

Neben der 'klassischen' Auswertung der einzelnen Verfahren, die in einer strukturellen Interpretation mündet, sollen mit einer unkonventionellen Auswertestrategie solche Bereiche erfasst werden, die nicht mit einer strukturellen Auswertetechnik erkannt werden. In den meisten Fällen werden sich Laugenstellen diffus in den Messdaten äußern, d.h. es müssen solche Signale in die weitere Auswertung einfließen, die über dem Rauschen liegen, aber keine physikalischen Grenzflächen (Reflektoren, Schichtgrenzen oder Störkörper) beinhalten.

Mit statistischen Methoden werden potentielle Problembereiche herausgearbeitet. Für die Indikation wird für jedes Verfahren ein Anomaliekriterium entwickelt. Dahinter verbirgt sich ein Algorithmus, um potentielle Problembereiche in einem Anomalieindex darzustellen. Im allgemeinsten Fall kann das Kriterium völlig losgelöst von jeglicher petrophysikalischer Annahme definiert werden. Alle Anomalieindexe werden schließlich zu einem gemeinsamen Problemindex zusammengefasst.

http://www.gga-hannover.de/gga_sp/komb_erk/emsal.htm

Jacoby, W.R. (Mainz), Wang, K., Lowe, C. (Sidney, B.C., Canada)

jacoby@mail.uni-mainz.de

Subduction under Vancouver Island: Gravity Inversion and Mass Balances

To better understand the dynamics of subduction, topography/bathymetry, gravity and seismic structure are analyzed, especially for Juan de Fuca plate, shelf and Vancouver Island. The gravity anomalies are inverted with available *a priori* information from seismology, seismic crustal studies, tomography results, topography, geological history, etc. Data, as gravity and topography are averaged across a 50 km wide strip, i.e. 25 km on each side of the profile. Trench and forebulge are covered by the accretionary wedge, hence not "visible" on JdF plate. A gravity minimum on the flat shelf indicates a trench filled with the accreted sediments. The depression by the accretionary wedge is estimated by comparison of 13 km depth under the shelf with 2.7 km under water (standard). The elastic thickness d , the flexural parameter a and the shelf loading effect can be estimated and compared to the gravity and topography features: $d = 5 \text{ km}$, $a_{\text{JdF}} = 20 \text{ km}$. The distance between x_b (bulge crest) and x_o ($w=0$) $\alpha x \pi / 4 = 15 \text{ km}$. Free Air anomalies cannot be accurately converted into mass anomalies. Vertical mass balances are calculated from the inversion results along a profile from Juan de Fuca Ridge at $47^{\circ}20'N$, $129^{\circ}W$, across the accretionary wedge, Vancouver Island, Strait of Georgia, the Coast Range volcanic arc to the back-arc Interior Plateau at $50^{\circ}30'N$, $121^{\circ}W$. The model is a combination of vertical blocks (for mass balance) and the main crust and upper mantle structures (to avoid density errors due to different depths of structures). The mass anomaly near the ridge axis is approx. zero, for the shelf as a sediment-filled trench, it is negative, Vancouver Island is positive, the Strait of Georgia and the westernmost Coast Ranges are relatively low, but the latter, as a whole, are slightly positive, and to the east the Interior Plateau again approaches zero balance. The mass balance anomalies can be related to plate bending, erosion and deposition, volcanism, slab density excess and convective mantle flow.

Jacoby, W.R. (Mainz)

jacoby@mail.uni-mainz.de

Über die Evolution des Bildes von der Erde

Aus mythischen Vorstellungen kommend, begann die geologische Wissenschaft mit der Erkenntnis, daß irdische Prozesse generell sehr langsam ablaufen: die Prozesse gehorchen zu allen Zeiten naturwissenschaftlichen Gesetzen (Aktualismus), was katastrophale Ereignisse nicht ausschließt; die Debatte ist jedoch immer noch aktuell. Das Erdbild hat sich von statischen Vorstellungen zur dynamischen Kontinentalverschiebung und dann – besonders aufgrund neuer geophysikalischer Beobachtungen – zur Plattentektonik hin entwickelt, die eine stürmische Entwicklung der Geologie auslöste. Plattentektonik ist die "erfolgreichste" Theorie der Erde, die 'letzte' ist sie nicht, sie erklärt nicht alles und läßt Fragen offen, z.B. bezüglich der Kinematik in allen Skalen, des Bezugssystems und vor allem der Dynamik. Eine Rückkehr zum "Fixismus" ist allerdings auszuschließen. Das dynamische Erdbild ist auch die Basis für weiterführende Ideen, wie die einer Koevolution von Erde und Leben, d.h. fortwährend spielender und auslesender Veränderung der Lebensformen und der ganzen Erde in gegenseitiger Beeinflussung. Die Entwicklung der Erdwissenschaft verläuft ähnlich. Der Übergang vom statischen zum dynamischen Bild zeigte das Verhalten von instabilen Systemen mit langen "Ruhephasen" und kurzzeitigen Paradigmenwechseln. Naturwissenschaft als Bemühen um Wahrheit schreitet über Modelle ("Spielen") durch ihre Überprüfung und letztlich Falsifikation ("Auslese") voran. Das Beispiel Wegeners zeigt, welchen Mut es aber erfordert, gegen die 'herrschenden' (!) Meinungen zu denken und Paradigmenwechsel einzuleiten.

Jacoby, W.R., Wallner, H., Sebazungu, E. (Mainz), Müller, C. (Hamburg)

Jacoby@mail.uni-mainz.de

Rheingraben-Öffnung, Messel, Prinz von Hessen und mehr: Eozäne Maarbildung und Pull-apart-Tektonik

Die Rheingraben-Bildung aktivierte im Eozän ältere Störungen und Vulkanismus. Erosion und Sedimentation hinterließen seither geologische (z.B. Vulkanite, Becken, Lineare) und geophysikalische "Signaturen" (gravimetrische, magnetische, seismische geoelektrische Anomalien etc.). Inversion von Schwere- und Magnetanomalien und neue Bohrungen zeigen z.T. oberflächliche Ergüsse an, z.T. Gänge, Schloten und kraterförmige Becken, die mit Seesedimenten oder Ölschiefer, Tuffen und Brekzien gefüllt sind. Die Häufigkeit an Schwere-gradientenzonen, Ausdruck tief ins variscische Grundgebirge reichender Störungen, zeigt enge Verbindung von Tektonik, Vulkanismus und Grundwasserführung an. An der 15 km langen Messel-Störungszone liegen 4 bekannte Basaltkomplexe und 5 Becken (nachgewiesen ein Maar: Messel – MM; wahrscheinlich eins; möglich zwei; ein Pull-apart-Becken: Prinz von Hessen – PH). MM (Bohrung 2001) und PH (Bohrung 1998) unterscheiden sich in Füllung und geophysikalischen Parametern. MM enthält (vor dem Abbau) 200 m kontinuierlich abgelagerte Ölschiefer, 100 m nach unten zunehmend tuffitische Sedimente, 130 m Pyro-klastika, davon >60 m remanent magnetisiert, darunter Brekzien bis fast 500 m unter Land-oberfläche. Das Schwereminimum von -7 mGal stammt überwiegend von den Ölschiefen, das Minimum der Totalintensität von den remanent magnetisierten Pyroklastika. PH enthält Wechselfolgen von Seesedimenten mit Braunkohle (Verlandung?), bis 150 m Konglomerate, zunehmend brekziös. Das Schwereminimum von -3.3 mGal zeigt ein flacheres Becken (100 m); die unregelmäßigen magnetischen Anomalien mit eng begrenzten Hochs am S- und SE-Rand weisen auf schlotförmige "steckengebliebene" Basalt-Intrusionen hin. Pull-apart-Tektonik war mit Magmenaufstieg verbunden, jedoch kam es nicht überall zu phreato-magmatischen Eruptionen und (Maarstadium). Unterschiede in den Massenbilanzen und detaillierte Geophysik und Geologie werfen Licht auf die Genese der Strukturen.

Wallner, H., Jacoby, W.R., Sebazungu, E. (Mainz)

wallner@mail.uni-mainz.de

Schwereinversion der Grube Messel - - Grenzen der Zuverlässigkeit von Dichtemodellen

Eine der Kernfragen der aktuellen Messel-Forschung konzentriert sich auf die Genese der Grube Messel in der Messel-Störungszone, die den Sprendlinger Horst quert. Wesentliche Hinweise auf die Entstehungsprozesse liefert die Struktur des eozänen Beckens. Durch die neuen Ergebnisse der Messel-Forschungsbohrung 2001 (GGA, FIS, HLUG) und einer Reinterpretation der Reflexions-Seismik von 2000 (Buness, GGA) stehen inzwischen bessere und mehr Daten zur Verfügung. Die Dichten sind trotzdem nur punktuell in Bohrungen und die seismischen Reflektoren nur in wenigen Profilen bekannt.

Aus den a priori Informationen wurden 3d-Dichtemodelle konstruiert, verfeinert und einer Schwereinversion unterworfen. Die komplexe Maar-Struktur wird dreidimensional dargestellt. Die Verbesserung wirft erneut Fragen nach der Genauigkeit der Beobachtungen, dem Auflösungsvermögen der Modelle und der Validität ableitbarer Aussagen auf. Wie stark tektonische Aktivitäten pre-, syn- und postgentisch Einfluss auf die Struktur hatten und dies in der Schwereinversion sichtbar ist, wird diskutiert.

Kaiser, D., Jahr, T. (Jena)

kaiser@geo.uni-jena.de

Geophysikalische Untersuchungen an Erdfällen in Ernstroda/Thüringen

Am Institut für Geowissenschaften der Friedrich-Schiller-Universität Jena wird jährlich im August/September die siebentägige "Geophysikalische Geländeübung für Fortgeschrittene" durchgeführt. In dieser Lehrveranstaltung lernen Studenten der Geologie, Geophysik und Mineralogie die praxisnahe Anwendung der wichtigsten geophysikalischen Meßmethoden sowie die rechnergestützten Auswertung und Interpretation der Messdaten, wobei insbesondere Wert auf die gemeinsame Interpretation der verschiedenen geophysikalischen Daten gelegt wird.

Seit zwei Jahren wird ein Gebiet am westlichen Stadtrand von Ernstroda untersucht. In diesem Gebiet ereigneten sich in den letzten Jahren und offenbar auch in historischer Zeit immer wieder Erdfälle in Form von plötzlich auftretenden Erdeinbrüchen mit bis zu 9 m Durchmesser und mehreren Metern Tiefe. Beobachtet werden jedoch auch schüsselförmige Einbruchsenken mit bis zu 100 m Durchmesser. Als Ursache werden entweder primäre Subrosionshöhlräume im Gips des unterlagernden Mittleren Muschelkalk (mm) oder Schlottenbildung durch Verkarstung der mm-Karbonate auf herzynischen Störungszonen angesehen (W. Biewald 2001: Subrosionskataster Thüringen. FIS-Ingenieurgeologie, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie.). Die Tiefen dieser Hohlräume können 20 m und mehr erreichen.

Ziel der Untersuchungen ist, im Rahmen der Lehrveranstaltung Aussagen über das Vorkommen und die Beschaffenheit von Erdfällen im Untersuchungsgebiet zu treffen um die Ursachen der Erdfälle besser zu verstehen und evt. Hinweise auf zukünftige Erdfälle zu finden. Hierbei ist es jedoch notwendig, immer die Belange der Lehre in den Vordergrund zu stellen. Das bedeutet z.B. die Anwendung von Meßmethoden, auch wenn sich sie für die praktische Fragestellung als nicht besonders gut geeignet erweist. Die Untersuchungen werden von der Gemeinde Ernstroda und der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) unterstützt.

Im Folgenden finden sich einige Angaben zu den Messverfahren, Geräte und Durchführung der Messungen.

- Vermessung: Totalstation Typ GTS-6 (Topcon). GPS.
- Gravimetrie: LaCoste-Romberg-Gravimeter, Typ G. 160 Meßpunkte mit einem mittleren Abstand von 6 m.
- Gleichstrom-Geoelektrik: Syscal-R1 und GeoTom (GEOLOG) mit 25 Elektroden. Es wurden Schlumberger-Sondierungen mit Auslagen bis $L/2 = 100$ m und Wenner-Kartierungen mit Elektrodenabständen von $a = 2, 4, 6$ und 8 m durchgeführt. Die Pseudosektionen wurden mit Dipol-Dipol- und Wenner-Anordnungen bei einem Elektrodenabstand von $a = 2$ m gemessen.
- Elektromagnetische Induktion (modifizierte Slingram-Methode. Gerät "APEX". Raster von $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ -Abständen.
- Magnetik: Protonenpräzessionsmagnetometer GSM856 (GEOMETRICS). Messpunktabstand 1 m bis 10 m.
- Refraktionsseismik: Geometrics 1225 mit 12 Kanälen. Geophonabstände 4 und 8 m.

Einen Zusammenhang mit Erdfällen im Messgebiet lässt sich am deutlichsten mit der Gravimetrie herstellen. Deutliche Anomalien mit Maximalbeträgen von etwas über einem mGal in der Bouguer-Schwerekarte sind ...mit bereits bekannten Erdfällen aber auch mit bislang noch nicht näher untersuchten Untergrundstrukturen korreliert. Gravimetrisch interessante Bereiche des Untersuchungsgebietes wurden im Sinne der Mikrogravimetrie, also mit sehr kleinen Punktabständen (5 m) näher untersucht.

Die Bouguer-Anomalien eines Längsprofils, das das gesamte Messgebiet durchläuft, und die sehr lokalen Anomalien der mikrogravimetrischen Untersuchungen wurden zweidimensional nach dem Talwani-Algorithmus modelliert. Die aus dem Modell berechnete Schwere lässt sich durch die oberflächennahe Modellierung des Untergrundes sehr gut an die beobachtete Bouguer-Schwere anpassen. Dabei zeigen sich eine bereits bekannte und 3-4 neue Strukturen, die mit Erdfällen in Verbindung gebracht werden können. Die postulierten erdfallträchtigen

Sturkturen reichen bis in eine Tiefe von 16m bei Durchmessern von einigen Metern an der Erdoberfläche.

Die in der Gravimetrie deutlich nachgewiesenen und modellierten Anomalien lassen sich teilweise mit Anomalien der magnetischen und geoelektrischen Beobachtungen korrelieren, so dass gravimetrische Befunde gestützt und eine gesamte, "erdfall-orientierte Interpretation" vorgenommen werden konnte.

Neuere im Jahr 2001 durchgeführte geophysikalische Feldmessungen sind bislang erst teilweise ausgewertet. Es lassen sich aber Verbindungen zu den bereits vorliegenden Ergebnissen herstellen und es deuten sich Korrelationen zu bekannten Anomalien an.

Die vorläufige Auswertung der seismischen Messungen zeigen ein generell flaches Einfallen der Schichten in Richtung NE, also in Richtung des Thüringer Beckens. Im eigentlichen Erdfallgebiet erweist sich die Auswertung der Refraktionseinsätze als schwierig, was auf die komplizierte Untergrundstruktur zurückgeführt wird.

Die geoelektrischen Multielektrodenmessungen werden z.Zt. im Institut für Geophysik und Geologie (IGG) der Universität Leipzig zwei- und drei-dimensional tomographisch invertiert. Die Pseudosektionen und die flächenhafte Kartierung mit der Wenner-Anordnung zeigen allerdings schon ausgeprägte Variationen des spezifischen elektrischen Widerstandes im Bereich zwischen 10 und 300 W m bis in mindestens 10 m Tiefe mit horizontalen Dimensionen von rund 5 – 10 m.

Insgesamt erwies sich das Erdfallgebiet Ernstroda als interessantes und gut geeignetes Untersuchungsgebiet für geophysikalische Untersuchungen. Wir danken der Gemeinde Ernstroda für die Unterstützung bei der Vorbereitung und Durchführung der Messungen und für die Bereitstellung von Räumen für die Übernachtung und Auswertung, Herrn Dr. Danckwardt (IGG) für die tomographische Inversion unserer Messdaten und das Ausleihen von Messgeräten, Herrn Dr. Biewald (TLUG) für vielfältige fachliche Diskussionen und die Bereitstellung umfangreicher Unterlagen und allen beteiligten Studenten und Kollegen für ihre Einsatzfreude.

Jansen, D., Villinger, H., Pfender, M. (Bremen)

djan@geophys2.uni-bremen.de

In-Situ-Messung elektrischer Leitfähigkeit mariner Sedimente

Um die elektrische Leitfähigkeit mariner und limnischer Sedimente zu messen, wurde an der Universität Bremen ein neuartiges Messinstrument entwickelt, welches in Kombination mit einer Lister-Wärmestromsonde angewendet werden kann. Der Sensor, der an die Spitze der Wärmestromsonde geschraubt werden kann, besteht aus einem Stahlskelett, das mit einem Teflonmantel umhüllt ist. In dieses nichtleitende Material sind zwei kreisförmige Wenner-Elektrodenanordnungen eingebettet. Die beiden Elektrodenarrays arbeiten unabhängig voneinander, um damit die Reproduzierbarkeit der Daten zu überprüfen. Die Stromelektroden werden mit einem alternierenden Gleichstrom von 500 Hz gespeist. Die Spannungsdifferenz zwischen den Potentialelektroden wird mit einer Frequenz von 250 Hz abgetastet, wobei jeder Wert ein RMS-Wert aus 10 Samples ist. Um den Eindringvorgang in das Sediment zu überwachen, werden außerdem noch Druck und Beschleunigung mit der selben Frequenz aufgezeichnet. Durch die Integration der Beschleunigung lässt sich die Eindringeschwindigkeit sowie die Eindringtiefe berechnen, so dass man schließlich den zum scheinbaren Widerstand proportionalen A/D-Wert gegen die Eindringtiefe auftragen kann. Unter der Annahme, dass die Salinität des Bodenwassers auch der des Porenwassers entspricht, lässt sich aus diesen Daten der Formationsfaktor berechnen, der als Quotient von Gesamtwiderstand und Widerstand der Porenflüssigkeit definiert ist. Der Formationsfaktor liefert wiederum nach dem Gesetz von Archie die Porosität. Da diese auch mit der Wärmeleitfähigkeit verknüpft ist, ist die zusätzliche Messung der elektrischen Leitfähigkeit eine gute Kontrolle für die in situ Wärmeleitfähigkeitsmessungen. Zahlreiche Messungen in der Tiefsee an der Ostflanke des Juan de Fuca Rückens bestätigen die Zuverlässigkeit der Sonde. Es hat sich erwiesen, dass diese Messungen in Kombination mit Wärmeleitfähigkeitsmessungen eine Methode zur Kartierung oberflächennaher Porositäten darstellt.

Ritzmann, O. (Bremerhaven), Jokat, W. (Bremerhaven)

oritzman@awi-bremerhaven.de

Evidence for Simple Shear Processes (rifting) on the southern Yermak Plateau

The Yermak Plateau north of the Svalbard Archipelago marks the northwestern corner of the Eurasian Plate (Figure 1). Its northern and western parts reveal an oceanic history inferred by strong magnetic anomalies and the reflection character of the acoustic basement. Whereas the southern part is supposed to be of continental origin. The 100 km long, sedimentary Danskoya Basin strikes slightly oblique to the main fault pattern of northwestern Svalbard, which trends NNW (i.e. Hornsund Lineament). Synsedimentary deposition started in Oligocene times and was partly overprinted (truncated sequences) by syn- and postdepositional uplift of northwestern Svalbard. This remarkable feature off the northwestern tip of Svalbard may have been created by a transtensional mechanism with resemblance to pull-apart. This infers, that extensional (rifting) processes affected the southern Yermak Plateau some 30 Ma ago.

Until today these assumptions were not confirmed by large crustal seismic refraction studies, which provide reliable velocity information of the crust and the upper mantle. During the cruise ARK XV/2 in 1999 of the Alfred Wegener Institute a seismic wide angle experiment was carried out along the northwestern coast of Spitsbergen onto the southern Yermak Plateau (Profile AWI-99300). Main target was the crustal and upper mantle seismic structure (Fig. 1). 9 seismometer stations were deployed onshore and 7 ocean bottom hydrophone systems recorded offshore on the southern Yermak Plateau with a receiver spacing of 9-20 km. Along the 260 km long transect two large airguns (= 92 l) were fired every minute (= 150 m).

Figure 2 shows the final p-wave velocity model, derived by kinematic raytracing. The profile can be subdivided into 4 segments. The southernmost segment S1 clearly exhibits a three layer structure of stretched continental crust, which confirms results of petrological analysis on mantle/lower crustal xenoliths. This seismic structure passes over into a v-shaped low velocity zone in depth of 4-17 km underneath the southern Danskoya Basin (segment S2). Further north the segment S3 shows the highest seismic velocities in the middle and lower parts of the crust along the entire profile (6.7-7.0 km/s). We interpret the transition of the segments S2/3 as a simple shear rifting structure with a southward dipping fault plain (detachment, see Figure 3). The shape of the subsedimentary basement topography seems to exhibit large faulted blocks for segment S2 dipping in northern and southern directions respectively. Generally, rifting processes can be followed by igneous underplating or contamination of lower crustal parts by mantle derived melts. Regarding the supposed igneous origin of the northern Yermak Plateau in Eocene Times (36 Ma) the lower crustal section of segment S3 is interpreted to be intruded. This is probably due to moderate magmatic activity after the formation of the northern Yermak Plateau. As the crustal thickness decreases only a few kilometers underneath the detachment structure, the shear process was only of very limited duration. Unfortunately the profile AWI-99300 trends oblique to the strike of Danskoya Basin. The maximum effect on the crustal structure of the proposed extensional evolution is therefore not located by profile AWI-99300, but it provides new insights to the extensional history of the southern Yermak Plateau.

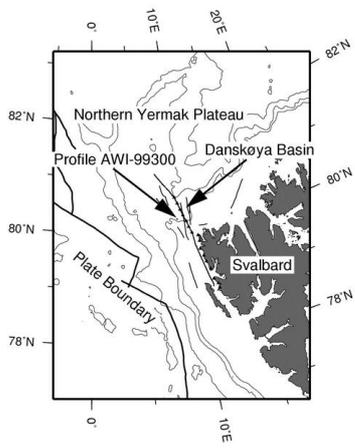


Figure 1: Location of profile AWI-99300. Black triangles mark the position of on/offshore receivers

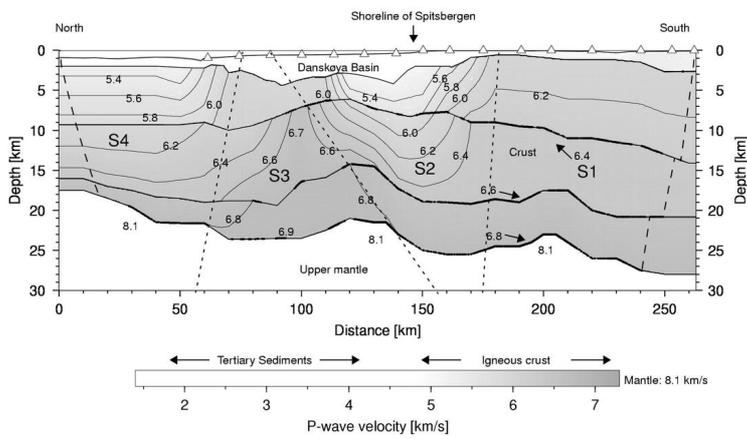


Figure 2: The final p-wave velocity model of profile AWI-99300. Triangles mark the positions of deployed receivers. Dotted lines indicate the four crustal segments.

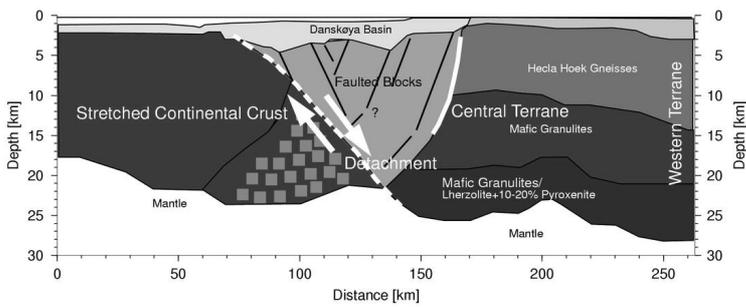


Figure 3: Geological interpretation of the p-wave model. The squares beneath the detachment plain mark supposed magmatic intrusions.

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

mschmidt@awi-bremerhaven.de

Die Kaledoniden Ostgrönlands und der angrenzende Kontinentalrand - Ergebnisse seismischer und gravimetrischer Modellierungen

Im Gegensatz zu den skandinavischen Kaledoniden war über den konjugierenden Kontinentalrand in Ostgrönland lange Zeit wenig bekannt. Refraktionsseismische Land-See-Experimente in der Fjordregion Ostgrönlands zwischen 70° N und 76° N wurden standardmäßig mit Raytracing in Verbindung mit magnetischen und gravimetrischen Daten ausgewertet (Schlindwein & Jokat, 1999). Sie ergaben einen tiefen Einblick in den Krustenaufbau und die Entwicklungsgeschichte des passiven, gedehnten Kontinentalrandes von der kaledonischen Orogenese bis zum Aufbruch des Nordatlantiks.

Das Profil Keiser Franz Joseph Fjord (94320) wurde 1994 geschossen und erstreckt sich vom Kristallin der Kaledoniden im Westen bis zu den Sedimenten der paläozoischen und mesozoischen Becken im Osten (Abb. 1). Die Topographie der Krusten-Mantelgrenze (Moho) spiegelt die tektonische Geschichte der Region von der Auffaltung der Kaledoniden im späten Silur über den Extensionskollaps im Devon bis zu den Dehnungsphasen im späten Paläozoikum und Mesozoikum wider. Die Öffnung des Nordatlantiks im Tertiär führte zu massiver magmatischer Intrusion in die Unterkruste. Die Geschwindigkeitsverteilung der P-Wellen in W-E-Richtung des Profils gibt keinen Hinweis auf eine tiefgehende Zonierung der Kruste durch die Gebirgsbildung, welche mit der komplexen Oberflächengeologie korrelieren würde. Auch die Modellierung von Scherwellen und die anschließende Berechnung des Poissonverhältnisses bestätigen dieses Ergebnis.

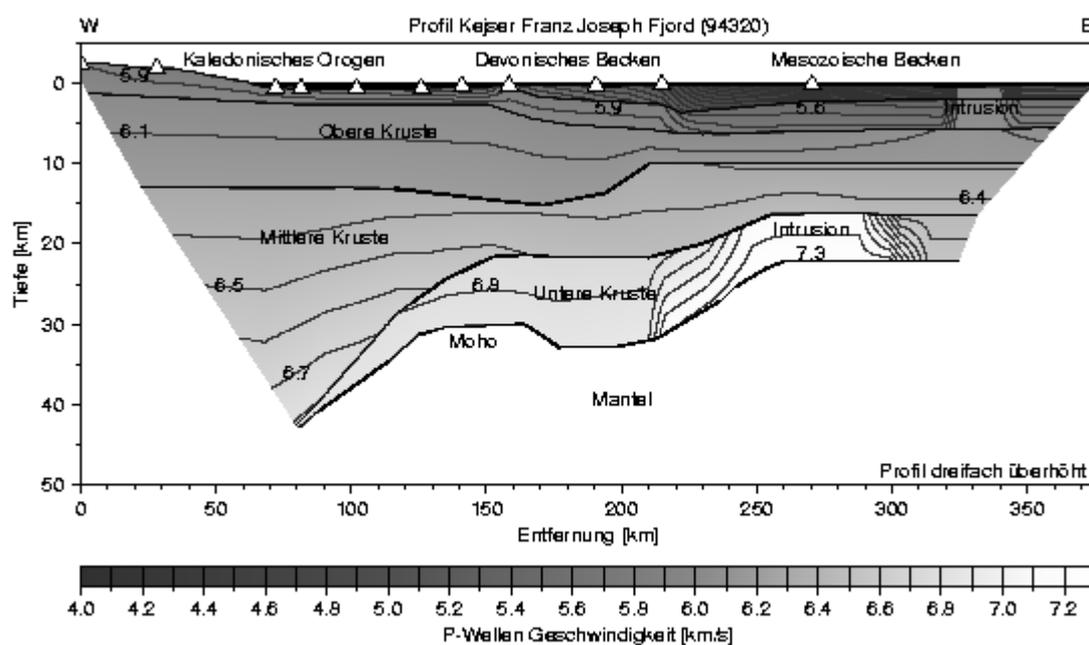


Abbildung 1: Geschwindigkeits-Tiefenmodell des Profils Keiser Franz Joseph Fjord (94320) nach Schlindwein & Jokat (1999). Isolinienabstand 0,1 km/s. Weiße Dreiecke markieren den Standort der Empfängerstationen. Dicke Linien stellen die Modellschichtgrenzen dar, fettgedruckte Bereiche sind durch Reflexionen belegt. Das Profil ist dreifach überhöht.

In der südlichen Fjordregion wurde 1990 das Profil Nordvestfjord (90380 und 94410) geschossen und 1994 nach Westen erweitert. Diese neuen Daten führten zu einem Modell mit großen Krustenmächtigkeiten im Bereich des kaledonischen Orogens (Abb. 2). Die steil auf eine Tiefe von 48 km abfallende Moho läßt erneut die Frage nach einer Gebirgswurzel aufkommen. Finite-Differenzen Modellierung und Amplitudenbetrachtungen führten zu dem Ergebnis, daß es in der südlichen Fjordregion im Gegensatz zu den nördlichen Profilen nicht zu magmatischen Intrusionen kam.

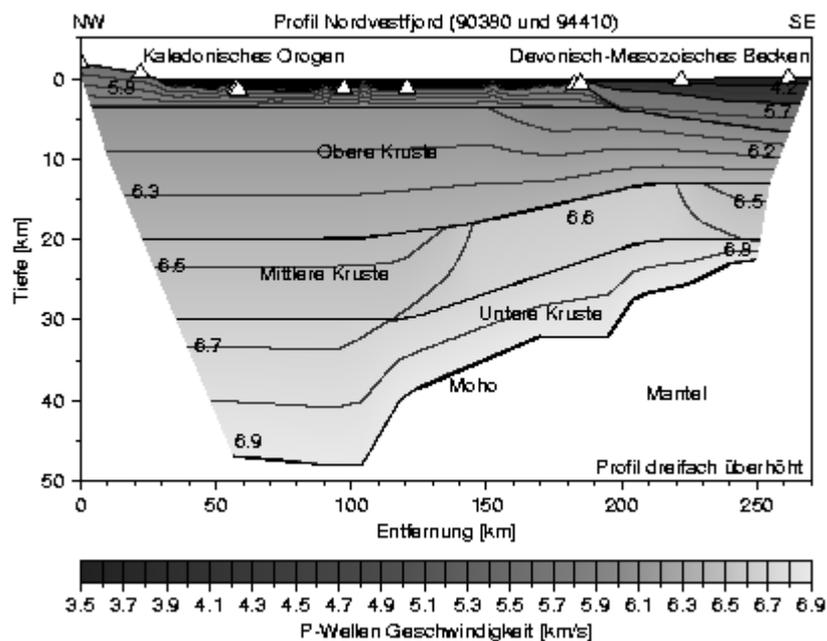


Abbildung 2: Geschwindigkeits-Tiefenmodell des Profils Nordvestfjord (90380 und 94410). Isolinienabstand 0.1 km/s. Weiße Dreiecke markieren den Standort der Empfängerstationen. Dicke Linien stellen die Modellschichtgrenzen dar, fettgedruckte Bereiche sind durch Reflexionen belegt. Das Profil ist dreifach überhöht.

Die detaillierten zweidimensionalen Geschwindigkeits-Tiefenmodelle der Fjordregion Ostgrönlands dienen dazu, Dichtemodelle zu erstellen und diese mit dem gemessenen Schwerfeld zu vergleichen. Diese Modelle lieferten die Grundlage für die Betrachtung flächendeckender Schwerdaten und deren dreidimensionale Modellierung. So können die Vorstellungen über den Krustenbau Ostgrönlands in schwer zugängliche Gebiete, wie z.B. den westlich gelegenen eisbedeckten Kraton, extrapoliert werden. Die Erstellung von Dichtemodellen der östlichen ozeanischen Gebiete liefert Informationen über den großräumigen Krustenaufbau zwischen dem präkambrischen Kraton und den rezenten mittelozeanischen Rücken.

Literatur:

Schindwein, V. und Jokat, W., Structure and evolution of the continental crust of northern East Greenland from integrated geophysical studies, *J. Geophys. Res.*, Vol. 104 (87), 1999

Schmitz, T.; Jokat, W. (AWI, Bremerhaven)
tschmitz@awi-bremerhaven.de; jokat@awi-bremerhaven.de

Konjugierende Salzprovinz zum Norwegischen Tromsø-Becken unter dem Nord-Ost-Grönländischen Schelf

Die Entstehung des Nord-Ost-Grönländischen Schelfs ist eng mit der des Nord-Norwegischen Schelfs verknüpft. Beide sind vor der Öffnung des Norwegen-Grönlandmeeres entstanden und sind hauptsächlich aus mesozoischen und paläozoischen Sedimenten über kaledonischem Basement aufgebaut. Der größte Teil der ostgrönländischen Festlandmasse wurde während der Kreidezeit gehoben. Die Morphologie des Nord-Ost-Grönländischen Schelfs wurde hauptsächlich durch Sedimentation und glaziale Prozesse während der späten Kreidezeit gebildet. Bisher existierten über den nördlich von 74°N gelegenen Teil des Nord-Ost-Grönländischen Schelf nur sehr wenige seismische Daten da dort ganzjährig schwierige Treibeisbedingungen herrschen. Die Informationen über die Struktur sowie die Sedimentationsgeschichte des Nord-Ost-Grönländischen Schelfs stammen fast ausschließlich aus aeromagnetischen und satellitengravimetrischen Messungen sowie aus der Extrapolation der landseitigen Stratigraphie Nordgrönlands und der wohlbekannten Stratigraphie des Norwegischen Schelfs.

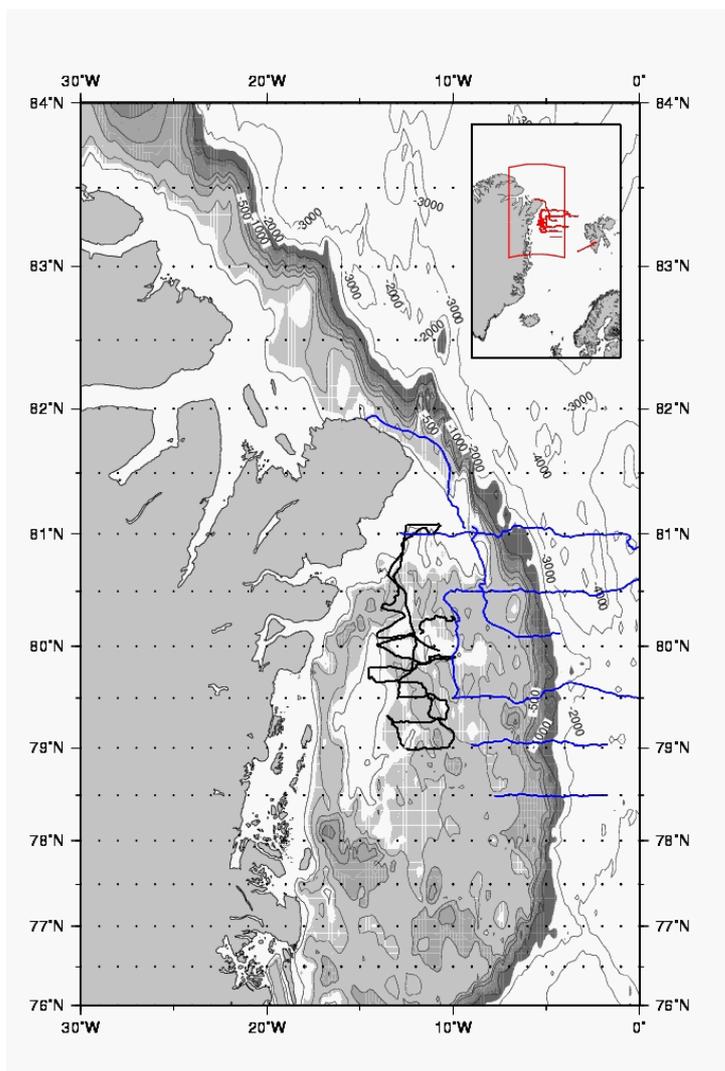


Abbildung 1

Ein Ziel der ARK XV/2-Expedition mit FS Polarstern (1999) war, weitere seismische Daten über die Struktur des Nord-Ost-Grönländischen Schelfs zu erhalten. Insbesondere sollte das Vorhandensein von Salzdomen überprüft werden, welches Hinweise auf eine Salzprovinz bis zu 80° N auf dem Schelf geben könnte. Diese mögliche Salzprovinz wäre der konjugierende Teil zu einer entsprechenden Provinz im norwegischen Tromsø-Becken.

Während dieser Expedition wurde der Nord-Ost-Grönland-Schelfs mit Hilfe mariner, seismischer Experimente untersucht, und damit ein 1997 begonnenes Netzwerk seismischer Daten vervollständigt. Neben den reflexionsseismischen Aufnahmen wurden auch 14 Sonobojen zur Gewinnung refraktionsseismischer Daten eingesetzt. Das Untersuchungsgebiet aus beiden Expeditionen erstreckt sich von 78°30'N bis 82°N (siehe Abb.1).

Die gewonnenen neuen seismischen und gravimetrischen Daten zeigen eindeutig die Existenz dieser postulierten Salzprovinz und liefern die Datengrundlage zur Modellierung der Sedimente und des tieferen Untergrundes auf dem Schelf. Die obersten Sedimente erscheinen sehr hart und verursachen starke Meeresbodenmultiple. Die Sonobojendaten liefern gute Informationen über die Tiefenlage und Mächtigkeit der Sedimente.

Erste Ergebnisse zeigen unter der Annahme eines homogenen Zweischichtfalles im Untergrund Sedimentmächtigkeiten von 600 bis 1000 m mit scheinbaren seismischen Geschwindigkeiten von 2,5 bis 3,8 km/s in der ersten Schicht. Für die zweite Schicht ergeben sich Mächtigkeiten von bis zu 4600 m bei scheinbaren Geschwindigkeiten von 4.2 bis 5.2 km/s. In Abbildung 2 ist ein Beispiel für einen Salzdom bei 80°N gezeigt. Die Oberkante des Salzdoms reicht hier bis dicht unter den Meeresboden.

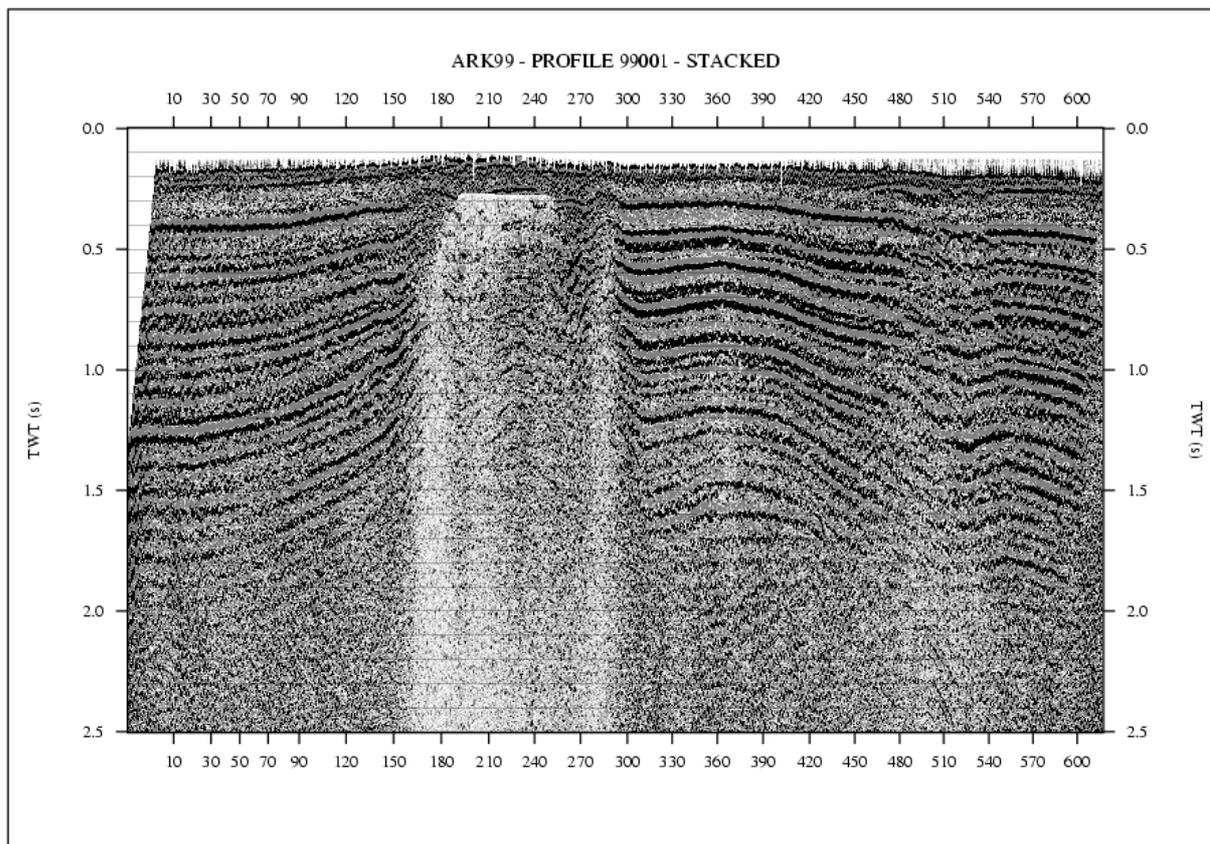


Abbildung 2

Joswig, M. (Dept. of Geophysics and Planetary Sciences, Tel Aviv University, Israel)

Charakterisierung regionaler Laufwege im Nahen Osten mittels Sonogrammen

Die Laufweegeffekte regionaler Beben, aufgezeichnet in den israelischen Breitbandstationen EIL, JER und MRNI, werden untersucht anhand ihrer unterschiedlichen Signaturen in Sonogrammdarstellungen. Dazu werden die zusätzlich auftretenden Einflüsse von Magnitude, Herdtiefe und Herdtyp bzw. Herdorientierung sowie des lokalen Signal zu Rauschverhältnisses identifiziert und herausgerechnet bzw. bei der Laufweginterpretation berücksichtigt. Die Charakterisierung in verschiedene Laufwegtypen erfolgt manuell und automatisch mittels Kohonen self-organizing maps. Die Ergebnisse werden auf Plausibilität mit dem geologischen Befund der Region überprüft. Schließlich werden die Schlussfolgerungen für die regionale seismische Überwachung des Nahen Ostens im Rahmen des CTBT diskutiert.

Schleifer, N. (Frankfurt a. M.), Thierry, B. (Clausthal), Weller, A. (Clausthal), Schneider, S. (Frankfurt a. M.) und Junge, A. (Frankfurt a. M.)

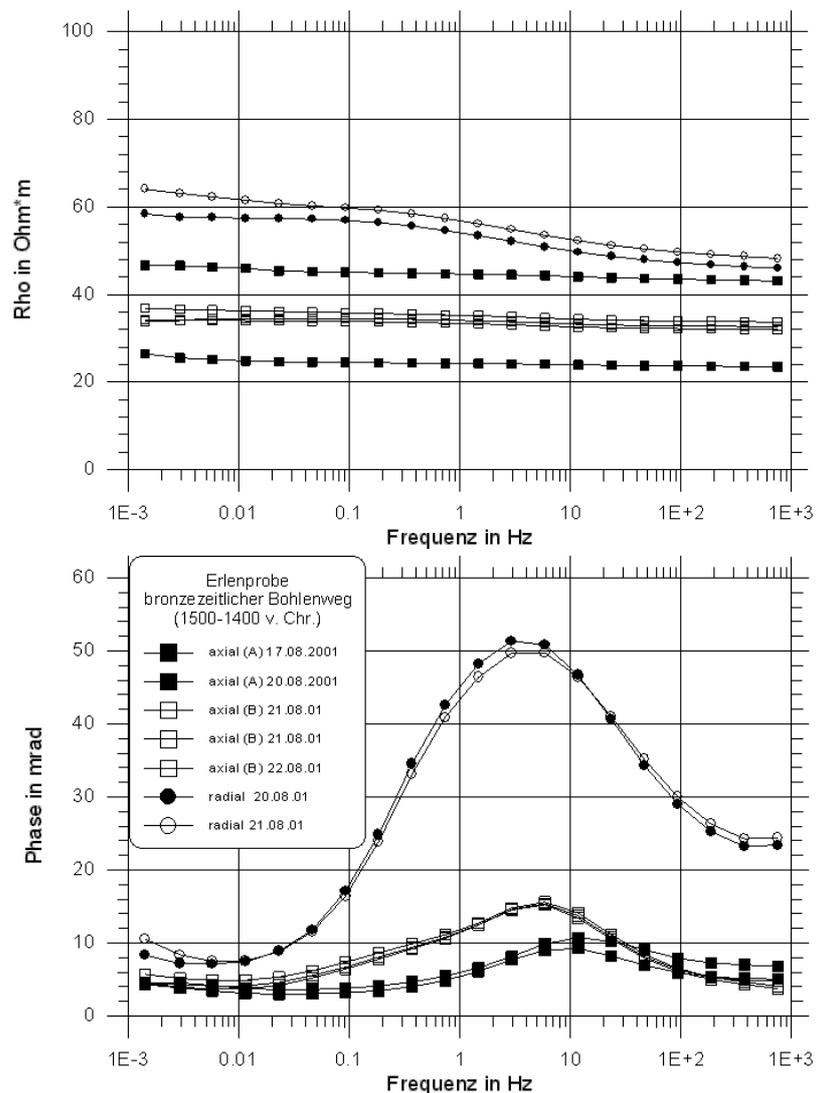
N.Schleifer@geophysik.uni-frankfurt.de

Anwendung der Spektralen Induzierten Polarisation zur Detektion eines bronzezeitlichen (1500-1400 v. Chr.) Bohlenwegs

Im Rahmen des Graduiertenkollegs "Archäologische Analytik" der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), wurde untersucht, ob mit Hilfe der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) archäologische Holzobjekte detektiert werden können. Holz spielt für die dendrochronologische Datierung von Fundplätzen eine wichtige Rolle und konnte bislang mit keinem geophysikalischen Verfahren zufriedenstellend prospektiert werden.

Als Messobjekt wurde ein bronzezeitlicher Bohlenweg im Federseemoor bei Bad Buchau (Kreis Biberach, Baden-Württemberg) ausgewählt. Die vorgeschichtlichen Siedlungen im Federseemoor besitzen eine herausragende Stellung in der Pfahlbauforschung.

Vor den eigentlichen Feldmessungen wurden zwei aus einer Ausgrabung geborgene Holzproben des Bohlenwegs im Labor untersucht. Die komplexe elektrische Leitfähigkeit einer Erlen- und einer Eschenprobe wurde mit einer SIP-Fuchs-Apparatur am Institut für Geophysik der Technischen Universität Clausthal in einem Frequenzbereich von 1.4 mHz bis 12 kHz bestimmt. Von den Holzproben wurde je ein Zylinder in axialer und radialer Richtung, d. h. parallel und senkrecht zu den Jahrringen entnommen. Durchmesser und Länge der Proben betragen 20 mm bzw. 35 mm. Vor der Messung wurde die Proben mit Leitungswasser gesättigt. Um die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu überprüfen und zeitliche Variationen zu erfassen, fanden Wiederholungsmessungen in Abständen von wenigen Tagen statt.



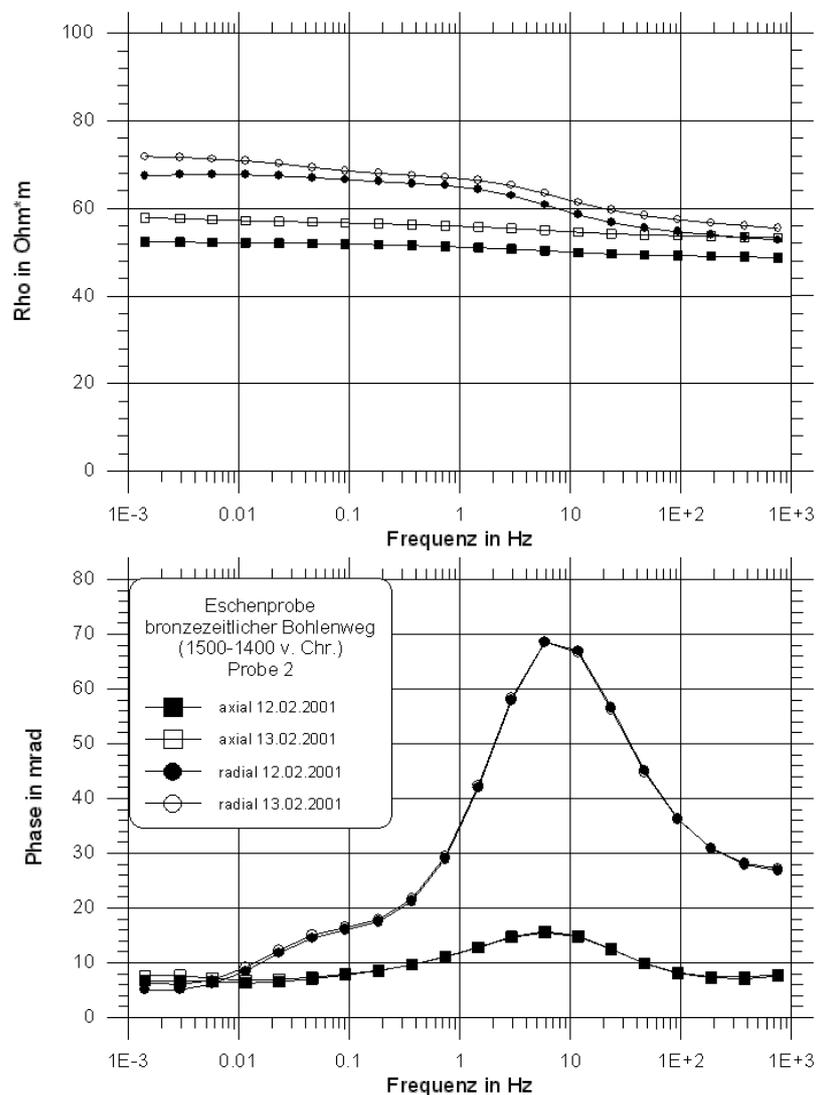


Abb. 1: Komplexe elektrische Leitfähigkeitsmessungen an Eschen- und Erlenproben, entnommen aus einem bronzezeitlichen Bohlenweg im Federseemoor bei Bad Buchau (Kr. Biberach, Baden-Württemberg)

Die radial entnommenen Zylinder beider Proben besitzen markante Phasenmaxima von 50 bzw. 70 mrad in einem Frequenzbereich von 5-20 Hz (Abb. 1). In diesem Frequenzbereich erreichen die parallelen Proben nur Werte von maximal 15 mrad.

Die spezifischen elektrischen Widerstände beider Proben zeigen auch eine Anisotropie, wobei genau wie bei rezenten Holzproben generell in axialer Richtung niedrigere Werte gemessen wurden. Der Anisotropieeffekt ist bei diesen bronzezeitlichen Holzproben jedoch geringer als an rezenten Proben.

Mit diesen Vorabinformationen wurden im August 2001 Feldmessungen über einem Bohlenweg im Federseemoor durchgeführt, wobei jeweils ein Profil parallel und senkrecht zu den Bohlen gelegt wurde. Über den Bohlenweg war bekannt, dass er sich in einer Tiefe von etwa einem Meter befindet, eine Breite von 9 m besitzt und sich aus drei Bauabschnitten zusammensetzt. Die Bohlen liegen jeweils senkrecht zur Wegrichtung.

Für die Messung wurde ein Elektrodenabstand von einem Meter gewählt. Als Messkonfiguration wurde eine Pol-Dipol-Anordnung verwendet. Die Stromeinspeisung erfolgte über Stahlelektroden, die Potentialmessung über unpolarisierbare CuCuSO_4 -Elektroden. Die Feldmessungen wurden mit der Multielektroden-Apparatur SIP-256 des Instituts für Geophysik der J.W. Goethe-Universität Frankfurt am Main bei neun Frequenzen in einem Bereich von 1 bis 30 Hz durchgeführt.

Die Daten der einzelnen Frequenzen wurden mit 2D-Inversionsprogrammen bearbeitet. Im 2D-Modell des Profils, das den Weg kreuzt, zeichnet sich der Bereich der Holzbohlen durch etwa 3 mrad höhere Phasenwerte von der Umgebung ab. Im Gegensatz zu den hohen Messwerten im Labor liegen die Phasen des Holzobjekts bei maximal 8 mrad. Anders als im Phasenmodell zeichnet sich der Bohlenweg in dem Widerstandsmodell nicht von der Umgebung ab. Die Widerstände des Modells liegen in einem Wertebereich zwischen 25 und 60 Ohm-m. Dies

entspricht auch dem Wertebereich der Labormessungen und erklärt, wieso der Bohlenweg sich im Widerstandsmodell nicht zeigt.

In den folgenden Monaten soll untersucht werden, inwieweit sich das in den Labormessungen beobachtete Frequenzverhalten in den Feldmessungen widerspiegelt und ob es durch die SIP möglich ist, zwischen den einzelnen Holzarten bzw. Bauabschnitten zu differenzieren.

Winter, H. (München) und Junge, A. (Frankfurt/M.)

Ergebnisse einer Pilotstudie mit Audiomagnetotellurik am Landshut-Neuöttinger Hoch

Einführung

Das sogenannte Landshut-Neuöttinger-Hoch ist ein Grundgebirgsrücken im nordöstlichen Teil der bayerischen Molasse, der als Schwerehoch bekannt ist (Plaumann, 1995) und dessen Tiefenlage durch einzelne Bohrungen in 700 bis 1600 m nachgewiesen ist (BGLA, 1996). Südwestlich davon ist die Tertiärbasis um mehrere hundert Meter zur Wasserburger Senke hin versetzt. Auf dieser Kristallinhochlage fehlen nach bisherigen Kenntnissen die Sedimente des Mesozoikums, die weiter nördlich und südlich erbohrt wurden. Innerhalb des verkarsteten Malms von Braunauer Trog und Wasserburger Senke finden sich Thermalwässer, die von Bädern genutzt werden: Bad Endorf im Süden, Erding nordöstlich von München und weiter im Osten die Bäder Birnbach, Füssing und Griesbach.

Bisher ging man davon aus, daß die hydraulischen Systeme von Wasserburger Senke und Braunauer Trog durch das Landshut-Neuöttinger-Hoch getrennt sind. Eine im Jahre 2000 fertiggestellte Forschungsbohrung des Bayerischen Geologischen Landesamtes in Altdorf bei Landshut erbrachte nun an einer Stelle, an der unter dem Tertiär unmittelbar Kristallin vermutet wurde, etwa 400 m mächtigen Malmkarst, der Thermalwasser von 65°C in 500 m Tiefe führt (Geiss et al., 2001). **Damit wurde hier der höchste geothermische Gradient in Deutschland gemessen (> 12°C / 100 m).**

Diese Ergebnisse werfen völlig neue Fragen auf:

- Existiert eine hydraulische Verbindung der beiden Becken?
- Wie kommt die außergewöhnlich hohe Temperatur zustande?
- Welche Rolle kommt der Kristallinhochlage zu?
- Welche Modifikationen sind an dem bisherigen geologisch-tektonischen Modell vorzunehmen?

Diese Fragen sind Motivation für ein geophysikalisches Forschungsvorhaben durch das die Region mit elektromagnetischen Meßverfahren untersucht werden soll. In einer Pilotstudie sollte zunächst die Machbarkeit von audiomagnetotellurischen Messungen (AMT) gezeigt werden. Ziel ist, die Struktur der elektrischen Leitfähigkeit am Landshut-Neuöttinger-Hoch unter den erschwerten Bedingungen einer industriell aufstrebenden Region zu erkunden.

Die AMT Pilotstudie

In einer Pilotstudie wurden vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt am Main in Zusammenarbeit mit dem Institut für Allgemeine und Angewandte Geophysik der Universität München AMT-Messungen mit zwei SPAM Mk III-Meßanlagen durchgeführt. Es wurden insgesamt sechs Stationen einschließlich Referenzstation über dem vermuteten Abbruch des Landshut-Neuöttinger Hochs gemessen.

Ergebnisse

Die Qualität der aufgezeichneten Daten ist unterschiedlich zu bewerten: Durchweg befriedigend für Frequenzen größer 10 Hz, weniger gut im Frequenzbereich des natürlichen Anregungsminimums. Die Daten wurden mit dem Programmpaket EMERALD des GeoForschungsZentrums Potsdam (Ritter et al., 1998) verarbeitet. Mit schmalbandiger Filterung und robustem Prozessing erhält man Sondierungskurven, die in einem ersten Schritt eindimensional ausgewertet werden können. An allen Stationen findet man in den obersten hundert Metern eine Zone relativ hoher elektrischer Leitfähigkeiten ($0.1 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$). Die darunter liegende Zone mit niedriger Leitfähigkeit kann als Malm bzw. Kristallin gedeutet werden. Hierfür gibt es Hinweise aus verschiedenen Bohrungen.

Die Induktionspfeile deuten an allen Stationen auf einen Ost-West streichenden Leitfähigkeitskontrast mit einem guten Leiter im Süden hin. Die Beträge der Induktionspfeile sind unterschiedlich groß und geben Hinweise auf die Lage des Abbruchs.

Danksagung

Das Bayerische Geologische Landesamt (München) fördert diese Pilotstudie durch Mittel für Reise- und Sachausgaben. Das GeoForschungsZentrum (Potsdam) stellte Meßgeräte und die Prozessingsoftware EMERALD zur Verfügung.

Literatur

BGLA, Bayerisches Geologisches Landesamt (Herausgeber), Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500.000, 4. Aufl., 329 pp., München 1996.

Geiss, E., K. Baader, H. Brunold, C. Mikulla, Das Grundgebirgshoch von Landshut-Neuötting - ein Überblick über bisherige geophysikalische Messungen. Poster Präsentation. Abstract SMP13. 61. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Frankfurt am Main, 19.- 23. März 2001.

Plaumann, S., Die Schwerekarte 1 : 500.000 der Bundesrepublik Deutschland (Bouguer-Anomalien), Blatt Süd. Geol. Jb., E 53, 3-13, Hannover 1995.

Ritter, O., A. Junge and G.J.K. Dawes, New equipment and processing for magnetotelluric remote reference observations. Geophys. J. Int., 132, 535-548, 1998.

Kaufmann, G. (Göttingen), Wu, P. (Calgary, Canada)

Glacial isostatic adjustment in Fennoscandia with a three-dimensional viscosity structure as an inverse problem

Glacial isostatic adjustment data are commonly used to invert for the radial viscosity structure of the mantle. However, the effects of lateral variations in mantle viscosity in such inversions are not yet accounted for.

Here we analysed synthetic sea-level data for the Fennoscandian region, which are derived from a 3D earth model with realistic lateral and vertical viscosity variations deduced from seismological and geological information. The inversion of the 3D synthetic data for a best-fitting 1D viscosity profile reveals that (i) lateral lithospheric thickness variations can be detected with 1D model predictions, if the data are grouped into regional subsets, (ii) combined lateral variations in lithospheric thickness and asthenospheric viscosity are not properly resolved with 1D model predictions, and (iii) the spatial and temporal distribution of observational data strongly affects the resulting 1D viscosity profile.

Rümpker, G. (Potsdam), Kendall, J.-M. (Leeds)

rumpker@gfz-potsdam.de

A Maslov-Propagator Seismogram for Shear-Waves in Weakly Anisotropic Media

We introduce a formalism to calculate shear-wave seismograms for weakly-anisotropic and inhomogeneous media. The method is based on a combination of the forward-propagator method, which accounts for shear-wave interaction along a single reference ray, and the Maslov ray-summation, which incorporates amplitude and phase information from neighbouring rays to account for waveform and diffraction effects at caustics and in shadow regions. The approach is based on the assumption that the multiply split shear waves, on the way to a given receiver, travel along a common ray path that can be obtained from raytracing in an isotropic reference medium (i.e. the common-ray approximation of Coates & Chapman 1990). Local polarizations and slownesses of the fast and slow shear-waves in the direction of propagation are obtained from the eikonal equation. The Maslov-propagator phase is given by the average shear-wave traveltime along the reference ray. Phase advances and delays of individual shear-wave components are accounted for by the propagator. The geometrical-spreading information required for the Maslov integration is supplied by dynamic raytracing in the isotropic reference medium. In the high-frequency limit effective phase functions are defined to assess the validity of the Maslov propagator phase information. The method can handle discontinuities of the fast polarization along the ray path and also for neighbouring rays, which is important for the slowness integration. Smooth transitions between isotropic and anisotropic regions along the ray path can be accounted for without the need to switch between numerical formulations. As numerical applications we consider effects of variable anisotropy for a shear-wave cross-hole survey, for a 1-D layered medium, and for the upper-mantle transition zone.

Kruspe, T., Thern, H.F., Kiesl, C. (Celle)

Bohrlochmessgeräte für magnetische Kernspinresonanzmessung und ihre Anwendung während des Bohrens

Die magnetische Kernspinresonanz, NMR, entwickelte sich seit seiner Entdeckung Mitte des letzten Jahrhunderts zu einer der erfolgreichsten und verbreitetsten Methoden zur zerstörungsfreien Materialuntersuchung. Eine Anwendung, die sich in den letzten 15 Jahren etabliert hat, ist der Einsatz von NMR Untertage für die Untersuchung poröser Gesteinsformationen. NMR dient dabei sowohl zur Charakterisierung der Gesteinsmatrix als auch der darin enthaltenen Flüssigkeiten. Standardanwendungen sind die Bestimmung von Porosität, Permeabilität und der Verteilung der Porengröße im Gestein. Mit NMR kann das im Porenraum enthaltene Wasser und verschiedene Typen von Kohlenwasserstoffen differenziert und Flüssigkeitsparameter wie Diffusivität und Viskosität abgeleitet werden. Erst die Einführung von NMR ermöglichte den Zugriff auf all diese Informationen mit einer einzigen Messmethode und machte entsprechende Untertagemessgeräte zu einem unverzichtbaren Bestandteil kommerzieller Lagerstättenexploration.

Im Laufe der letzten Jahre wurden immer zuverlässigere Messapparaturen entwickelt und hohe Qualitätsstandards in der Datenauswertung erreicht. Neue Hardware Konfigurationen und Messsequenzen erlauben das Bearbeiten immer komplexerer Fragestellungen. Eine richtungsweisende Einsatzmöglichkeit eröffnete vor zwei Jahren die Präsentation eines Messgerätes, das bereits während des Bohrens NMR-Daten aufzeichnet. Besonders kritisch sind die Vibrationen des Bohrvorgangs, die eine NMR-Messung stören oder unmöglich machen können. Konzeptionelle Neuerungen für Hardware und Software halfen, diese Probleme zu überwinden.

Der Vortrag gibt einen Überblick über die theoretischen Hintergründe und die aktuellen Entwicklungen der Untertage-NMR und geht speziell auf die Herausforderungen und Lösungen beim Messen während des Bohrens ein.

Kind, R. (GFZ Potsdam)

kind@gfz-potsdam.de

Seismic Detection of Narrow Oceanic Plumes and Relation to Mantle Transition Zone Temperature

We have found seismic evidence for the existence of narrow and hot mantle plumes under the oceans and East Africa, but not under the central parts of major continents. Their depth extension is at least down to the mantle transition zone. These results are obtained from comparing Ps conversions and SS precursors from the discontinuity at 410km depth. The mantle transition zone in these regions is up to 300-400°C hotter than under continents, derived from consistent observations from both seismic techniques.

Kummerow, J., Kind, R. (GFZ Potsdam), TRANSALP WORKING GROUP

TRANSALP: Ergebnisse des passiven seismischen Experimentes

In den Jahren 1998 und 1999 wurde ein passives seismisches Feldexperiment in den Ostalpen im Rahmen von TRANSALP durchgeführt. Wir stellen Ergebnisse aus der Receiver Function Methode (RF) und der Polarisationsanalyse von SKS Wellen vor.

Ein migrierter 2D RF- Schnitt zeigt eine nach Süden abtauchende Europäische Moho, die sich bis ca. 30km südlich des Alpenhauptkamms verfolgen lässt und eine maximale Tiefe von ~ 55 km erreicht. Das Signal der Adriatischen Moho ist signifikant schwächer, die Krustenmächtigkeit beträgt hier ~ 40 km.

Die Auswertung der Polarisation von SKS Wellen zeigt eine deutliche Anisotropie unterhalb der Ostalpen an. Die Richtung der schnellen Achse ist recht konsistent entlang des TRANSALP- Profiles mit einem Wert von ~ 68 circ.

Xueqing Li, Kind, R, Xiaohui Yuan (GFZ Potsdam)

li@gfz-potsdam.de

Seismic study of upper mantle and transition zone beneath hotspots

Receiver function analysis is a robust method to detect the main upper mantle discontinuities, to measure the transition zone thickness and to deduce lateral temperature variation in the upper mantle. However, this method is limited by the distribution of seismic stations. Till now receiver function observations are obtained mainly on continents where most seismic stations are located. Observations from stations located on ocean islands are rarely published. One reason is high noise level at ocean stations. In this work we have carefully selected teleseismic earthquake records with high signal-noise ratios and calculated receiver functions for 19 stations on ocean islands. Different low pass filters are applied to suppress ocean noise. Receiver functions at almost all ocean stations have later 410 arrivals than predicted by the IASP91 reference model, indicating a lower upper mantle velocity beneath. The transition zone thickness is reduced by up to 30 km underneath the ocean stations. Observations at the same station of late 410 arrivals and a reduced transition zone thickness indicate deep (>410 km) and nearly vertical mantle plumes. We have found such evidences beneath the Canary and Galapagos Islands, Samoa and the East African Rift in Kenya. Volcanism on a number of other ocean islands has, however, a shallower origin or the plume conduit may be inclined.

Yuan, X., Sobolev, S.V., Kind, R. (GFZ Potsdam)

Moho topography in the central Andes and its geodynamic implications

The Andes are widely considered as a typical orogenic belt related to subduction of an oceanic plate (Nazca plate) under a continental upper plate (South American plate). The central Andean plateau, bounded to the west by the Western Cordillera volcanic arc and to the east by the Eastern Cordillera thrust-fault belt, comprises the Altiplano plateau in the north and the Puna plateau in the south, and is second only to the Tibetan plateau in size. The associated combination of subduction and tectonic shortening processes, which resulted in unusually strong crustal thickening at the active margin, is not well understood and has therefore attracted much attention in the last decade and has stimulated a number of geophysical studies to image the deep structure and processes of the subduction system. Detailed information on variations of crustal properties and thickness is crucial for understanding the mechanism of crustal thickening, but has been as yet unavailable in the central Andes. We used P-to-S converted waves at the continental Moho as well as multiply reflected waves between the Earth's surface and the Moho to estimate the Moho depth and average crustal V_p/V_s variations in the central Andes. Our data confirm and significantly complement earlier Moho depth estimates from wide angle seismic studies and previous receiver function studies. The resulting crustal thickness varies from about 35 km in the forearc region to up to 80 km beneath the plateau and becomes thinner (30 km) further to the east in the Chaco plain. Beneath the Andean plateau, the Moho is deeper in the north (Altiplano) and shallower in the south (Puna) where the plateau reaches its maximum elevation. There is a non-linear relation between crustal thickness and elevation suggesting that the lower crust is gradually getting more mafic with depth, although most of the crust is felsic. This relation is also consistent with a 80-100 km thick thermal lithosphere beneath the Altiplano and with about 20 km thinner lithosphere beneath the Puna. Lack of expected increase in thickness of the lithosphere in regions of almost doubled crust strongly suggests that basal lithosphere has been removed beneath the entire plateau. In the Subandean ranges at 19-20°S, the relation between altitude and crustal thickness indicates a thick lithosphere (up to 130-150 km) and lithospheric flexure. Beneath a relative topographic low at the Salar de Atacama the crust is thick (67 km), which suggests that the lithosphere in this region is abnormally cold and dynamically subsided, possibly due to coupling with the subducting plate. This may be related to the strongest ($M_s=8.0$) known intra-slab earthquake in the central Andes that happened very close to this region in 1950. The average crustal V_p/V_s ratio reaches the highest values (1.80-1.85) beneath the volcanic arc, indicating high crustal temperatures there.

Kito, T., Krüger, F. (Potsdam)

Heterogenitäten in der D''-Schicht unter dem südwestlichen Pazifik gewonnen aus P- und S-Wellen

Wir untersuchen die P- und S-Wellen Geschwindigkeitsfeinstrukturen der D''-Schicht unter dem südwestlichen Pazifik mit teleseismischen Daten von Fiji-Tonga Tiefbeben, die mit japanischen kurz-periodischen Großnetzwerken (dem J-array und dem neu installierten Hi-net) registriert wurden. Migriert wurde für Punktstreuer und ebene Schichten. Mit der Double Array Migrations Methode, die Empfängerarray und Quellarray gleichzeitig ausnutzt, ist es möglich, für die beiden arrays gemeinsame kohärente Phasen aus dem unteren Mantel zu identifizieren. Dazu ist das Phase-Weighted Stack Verfahren, das inkohärentes Rauschen reduziert, angewendet worden, um eine höhere Auflösung zu erzielen. Die Double Array Migrations Methode wurde auch im Frequenzbereich verwendet, um die Phasen anomaler Objekte verschiedener Größe über einen breiten Frequenzbereich zu identifizieren. Bei der Berechnung der Laufzeiten wurden Korrekturen für den oberen Mantel und die Kruste unter beiden Arrays angewendet. Das Ergebnis zeigt, dass sich in der D''-Schicht zwei negative Geschwindigkeitsdiskontinuitäten in den Tiefen von 2550 km und 2650 km befinden. In der Migration ist es nicht möglich, eindeutige Streuphasen aus den gleichen Tiefenbereichen zu identifizieren. Eine gemeinsame Interpretation deutet die anomale Struktur unter dem Untersuchungsgebiet als flach und eben und nicht als Streuvolumen. Abschätzungen des möglichen Geschwindigkeitskontrastes und der Unterschied zwischen P- und S-Wellen Geschwindigkeitsstrukturen werden diskutiert.

Klemann, V., Wolf, D. (Potsdam), Wu, P. (Calgary, Canada)

volkerk@gfz-potsdam.de

Compressible viscoelasticity: stability of solutions for homogeneous plane earth models

The problem of including compressibility into elastic, spherical earth models was first discussed by Jeans (1903) and Love (1908). Recently, the discussion of compressibility has been extended to viscoelastic, spherical earth models, where instabilities in the solutions have been shown to exist for particular types of stratification (Hanyk et al., 1999; Vermeersen & Mitrovica, 2000). The present study of compressibility is restricted to homogeneous, viscoelastic, plane earth models and differentiates between the contributions of the individual terms in the incremental momentum equation to the solution for quasi-static load-induced deformation:

$$\underbrace{\nabla \cdot \mathbf{t}^{(\delta)}}_1 + \underbrace{\nabla(\mathbf{u} \cdot \nabla p^{(0)})}_2 - \underbrace{\rho^{(0)} \mathbf{g}^{(0)} \nabla \cdot \mathbf{u}}_3 + \underbrace{\rho^{(0)} \nabla \phi^{(\Delta)}}_4 = \mathbf{0} \quad (1)$$

Neglecting gravitational-mechanical coupling due to self-gravitation (term 4),

this equation expresses the balance between three force terms accounting for

viscoelasticity (term 1), initial-stress advection (term 2) and internal

buoyancy (term 3). Since term 2 is necessary for stable solutions (Wolf, 1991;

Wu, 1992), we investigate the following three combinations:

- model IC: $\mathbf{u} = 0$ (incompressibility),
- model C1: term 3 = 0,
- model C2: unconstrained.

We derive closed-form expressions for the three solutions in the wave-number domain, discuss the applicability of the normal-mode approach when implementing the inverse Laplace transform and present numerical results for vertical and horizontal displacements. We show that internal buoyancy (term 3) counteracts the stability produced by the initial-stress advection (term 2), thus making the solution unstable. We also show that the consideration of compressibility has significant effect on the horizontal displacement and,

therefore, influences the interpretation of GPS and VLBI data.

1. References

- Hanyk, L., Matyska, C. & Yuen, D.~A., 1999. Secular gravitational instability of a compressible viscoelastic sphere. *Geophys. Res. Lett.*, 26: 557-560.
- Jeans, J. H., 1903. On the vibrations and stability of a gravitating planet. *Proc. R. Soc. Lond., Ser. A*: 201, 157-184.
- Klemann, V, Wu, P. & Wolf, D., 2001. Compressible viscoelasticity: stability of solutions for homogeneous plane earth models. *Geophys. J. Int.*, submitted.
- Love, A. E. H., 1908. The gravitational stability of the earth. *Phil. Trans. R. Soc. Lond., Ser. A*, 207: 171-241.
- Vermeersen, L. L. A. & Mitrovica, J. X., 2000. Gravitational stability of spherical self- gravitating relaxation models. *Geophys. J. Int.*, 142: 351-360.
- Wolf, D., 1991. Boussinesq's problem of viscoelasticity. *Terra Nova*, 3: 401--407.
- Wu, P., 1992. Viscoelastic versus viscous deformation and the advection of pre-stress. *Geophys. J. Int.*, 108: 136-142.

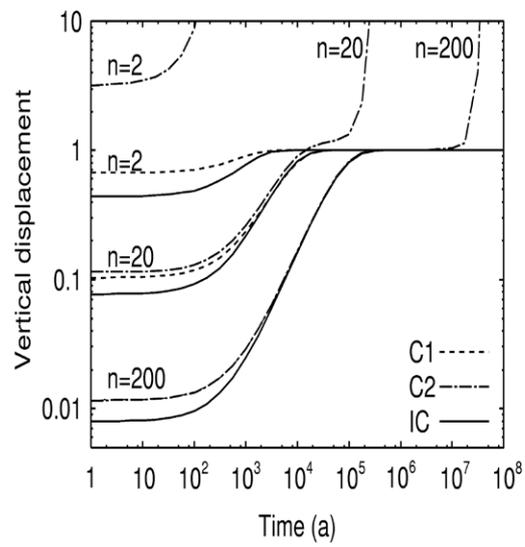


Figure 1. Relaxation due to Heaviside surface loading at $t=0$. Evolution of normalized vertical surface displacement for models IC, C1 and C2 and for normalized wave numbers $n=2$, 20 and 200, respectively.

Plenefisch, T. (München), Klinge, K., Seidl, D. (BGR/SZGRF Erlangen), Schmedes, E. (München), Krüger, F. (Potsdam)

Focal mechanisms of the earthquake swarm 2000 at Novy Kostel (Vogtland/NW-Bohemia): temporal variations in the course of the swarm

Due to the occurrence of earthquake swarms the region Vogtland/NW-Bohemia is one of the most interesting earthquake regions in Central Europe. A key to a better understanding of the reasons of earthquake swarms can be provided by focal mechanism investigations.

Here we present focal mechanisms for 130 of the strongest events ($M_L \geq 2.0$) for the new swarm of 2000. With more than 10000 events and magnitudes up to 3.7 the new swarm is the most prominent one since the big swarm in 1985/86. The swarm consists of 8 sub-episodes. The focal mechanisms of the swarm 2000 show different styles of faulting, namely strike-slip, normal and reverse faulting. There are indications for systematic temporal variations in the dislocation type during the swarm. A comparison with the mechanisms of the preceding swarms of 1985/86, 1994 and 1997 which all took place at the same location shows similarities in the faulting types and orientations of the nodal planes for the swarms of 1985/86, 1997 and 2000. However, the focal mechanisms of 1997 do not fit into the scheme of the others. We also observe non double-couple components up to 30% indicating a triggering of the events by fluids.

The focal mechanisms have also been used to determine the regional stress field. It turned out that the stress field in the Vogtland/NW-Bohemia region does not substantially differ from the known stress field in West and Central Europe. It is a strike slip regime with a SE-NW directed σ_1 -axis and a NE-SW directed σ_3 -axis.

Koch, M., Song, L.P. (Kassel) Koch, K., Schlittenhardt, J. (Hannover)

Kochm@uni-kassel.de

2D isotropic and anisotropic Pn - velocity tomography underneath Germany using regional earthquake traveltimes

As an extension of the recent 1D time-term analysis of the authors, 2D- Pn isotropic and anisotropic tomographic inversions are carried out to quantify the laterally heterogeneous uppermost mantle velocity beneath Germany. The 2149 Pn traveltimes from 220 events recorded at 70 stations, result in a satisfactory ray path distribution over most part of the study region. This is corroborated by various checker-board tests of the geometrical resolution and other statistical properties of the inverse models using synthetic travel time data that mimic the actual Pn -data configurations.

The issues of (1) appropriate choice of the model, (2) trade-off between covariance and resolution, (3) optimal regularization of a solution, (4) effects of time terms on the velocity solution and (5) trade-off between lateral velocity perturbations and anisotropy are investigated. Based on the experiences gained from these synthetic tests, 2D isotropic and anisotropic inversions of the actual Pn traveltimes are performed. The reliability of various inverse models and the principle of parsimony among them are tested by means of statistical F -tests of the model fit to the observed data, whereby pairs of models are compared and the hypothesis is tested that one model is *statistically significantly* better than the other one. The F -tests show that the most parsimonious of all models, the 1D anisotropic time term model, results in the most significant improvement and that all the 2D tomographic models (isotropic as well as anisotropic ones) are statistically only marginally better than this 1D model. This means that most of the observed Pn travel time residuals can be explained through the presence of a large-scale upper mantle Pn velocity anisotropy ellipsoid, with the "fast" axis in N25⁰E – direction.

The 2D anisotropic models result in velocity ellipsoids for each block that are almost identical and match the 1D anisotropic velocity ellipsoid. As for the lateral velocity perturbations, they clearly show that the uppermost mantle underneath much of Germany is seismically rather homogeneous, other than possessing the named large-scale anisotropic Pn -velocity property. Results for the station delays are consistent with findings of crustal structure in other studies and indicate, for example, crustal updoming of the Moho in the Southern Rhinegraben around the Kaiserstuhl area, but crustal thickening towards the Alps.

Koch, K. (Hannover), Kradolfer, U. (Zürich)

k.koch@bgr.de

Seismo-acoustical analysis of the Toulouse chemical factory explosion of Sept. 21, 2001

On September 21, 2001 at 8:17:56 UTC an explosion shattered a chemical factory near Toulouse, France, causing widespread damage within a few kilometers of the explosion site. According to news reports, more than a dozen people died in this blast and nearly 200 people were injured. This event was recorded both seismically by seismograph stations in France, Spain and Switzerland and acoustically by the German IMS infrasound station IS26. The European-Mediterranean Seismological Center (EMSC) published a seismic location near a latitude of 43.6°N and a longitude of 1.4°E and reported a magnitude of $\text{ML}=3.2$. With these source parameters, the range from the explosion site is about 500- 800 km to the Swiss Digital Seismic Network, some 620 km to the IMS primary seismic station PS40 (ESDC) in Spain, and more than 1100 km to the IMS station PS19 (GERES) and the IMS infrasound station IS26 in Germany. Although the magnitude of the event was considerable, the event was seismically not recorded by any station of the broadband GRSN network nor the GERESS array, even when array processing techniques were applied. In contrast, the event was recorded by at least 17 stations of the Swiss Digital Seismic Network, so that arrival picks could be obtained from these stations. However, most of the phases had rather emergent character. The magnitude determined from these records was $\text{ML}=3.1$. In addition, seismic signals were recorded at the ESDC array, showing a distinct Pn arrival and more emergent broadband Sn energy. Frequency-wavenumber analysis of the Pn arrival at ESDC yields an azimuth of 44° and a slowness of 13.6 s° , in agreement with theoretical values for the Pn phase. Besides this seismic data, we analysed the recordings from the IS26 infrasound array, consisting of 5 elements, where we are able to identify an infrasound signal originating from an azimuth of $245\text{-}250^{\circ}$ and a slowness of about 3 s/km , arriving 57 min after source time. This is about 4 min larger than what can be expected from acoustic signals travelling directly on a great circle path. The traveltime indicates a total path length of about 1200 km, which can be explained by a refracted/reflected wave with the refractor or reflector at altitudes between about 50 km and 200 km.

Koch, K. (Hannover), Stammler, K. (Erlangen)

k.koch@bgr.de

The use of "microseismic noise" correlations to detect and eliminate GERESS timing problems

The German Experimental Seismic System, known as the GERESS array, is identified in Annex 1 of the Protocol to the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty (CTBT) as a primary seismic station (PS19). Since its construction and commissioning in 1991, the performance of this array is hampered by incidental occurrences of timing problems that constitute of loss of time synchronization for up to a few elements. During GSETT-3 and since the establishment of the Vienna International Data Center (IDC), the array contributes data to the CTBT monitoring system. Beginning in 1997, the German NDC at the Federal Institute of Geosciences & Natural Resources (BGR) started to archive this data on CD-ROM and makes this data available via AutoDRM, notwithstanding the fact that this data may be time corrupted. Instances have been found, where up to 5 elements were unsynchronized, which lead to inconsistent array processing results. In an attempt to find the corresponding periods of time with lack of synchronization among elements, and which would be a significant contribution to the issue of quality assurance for IMS seismic data, we processed the continuous data since 1997 by correlating "microseismic signals" at the array stations with the signals from the reference element GEC2 on an hourly basis. As "microseismic noise" we define energy travelling across the GERESS array with signal frequencies between 1/15 Hz and 1/5 Hz, which may as well include signals in this frequency band from seismic events. The correlation is based on half-hour data segments, where a wavelet of 50 sec length centered around the trace maximum at GEC2 in this half-hour window is correlated to the other traces within 30 seconds preceding this window to the same time trailing it, and measures the delay of correlated wavelets. From this data it becomes clear that time segments with at least one unsynchronized station are not exceptional rare cases but occur more frequently. In addition, it was found that the timing problems are not solely due to second delays, but that more subtle patterns were found for certain array elements. Besides determining the relevant times of unsynchronized signals, which should be used to clean up the data archive and correct arrival times determined for any GERESS array station, we will discuss the impact of these timing problems on array processing results, such as obtained from frequency-wave number analysis, and will discuss the improvement that can be obtained by applying the corresponding timing corrections. Furthermore, it will highlight the potential of our analysis for the quality assurance of IMS seismic data within the CTBT relevant data processing at the IDC, if this correlation method is used as quality assurance procedure, even though the planned technical upgrade of PS19 should correct the timing problems of GERESS likewise.

Schlindwein, V., Weihermüller, C., Koch, K. (Hannover)

k.koch@bgr.de

Beispiele aktueller Untersuchungen mit Daten des GERESS Array

Bei der Identifikation und Diskriminierung seismischer Signale spielt die Analyse der Signalspektren eine wichtige Rolle. Neben den interessierenden Quellcharakteristika bestimmen jedoch auch die seismischen Eigenschaften des stationsnahen Untergrunds die Gestalt der Signalspektren an einer Station. Wir untersuchen diese "site effects" für die Seismometerstationen des GERESS Array. Dazu berechnen wir traditionelle Spektral-verhältnisse für S-Wellen regionaler Erdbeben zwischen der zu untersuchenden Station und einer Referenzstation. Für die Auswahl einer geeigneten Referenzstation mit geringer frequenzabhängiger Überhöhung der Spektren wurde die Methode von Nakamura verwendet. Dabei wurde für die in Frage kommenden Dreikomponenten-Stationen Spektren der ambienten Bodenunruhe berechnet und der Quotient aus Horizontalkomponenten und Vertikalkomponenten gebildet. Diese Untersuchungen zeigten für diese Stationen Spektralüberhöhungen kleiner als 2.3. Aufgrund seiner zentralen Lage wurde der Station GEC2 als Referenzstation Vorrang gegeben. Im allgemeinen sind die Seismometer der GERESS-Stationen in anstehendem Gestein gegründet, was zu geringen Überhöhungen der Spektren führt. Einige Stationen jedoch, insbesondere GEA0, GEA3 und GEB3, alle in direkter Nachbarschaft gelegen, verstärken selektiv Frequenzen um ca. 7 Hz bzw. 9 Hz. Darüber hinaus ist eine Tendenz zu höheren Spektralamplituden im Bereich 12-16 Hz bei relativ vielen Stationen zu erkennen.

Bei Array-Untersuchungen mit den Aufzeichnungen der Ereignisse der Umbrien-Marken-Erdbebenserie 1997 ist in 89% der auswertbaren Erdbeben ein mehr oder minder ausgeprägter S_n -Doppelpeak im F-K-Raum zu beobachten. Nach genauem Anpassen der Fensterlänge für die F-K-Analysen ist es gelungen, zwei unterschiedliche Phasen zu isolieren, die einen vergleichbaren Azimut, aber sehr verschiedene Phasengeschwindigkeiten zeigen. Die Phase, die als erste im Seismogramm auftritt, weist eine Slowness von ca. 24 s° auf und entspricht der S_n -Phase. Die Slowness der kurz darauf folgenden Phase beträgt ca. 38 s° und die Partikelbewegung an einer Dreikomponenten-Station des GERESS-Array beschreibt mehr oder minder einen Kreis in der radial-vertikalen Ebene. Diese Ausprägung der Partikelbewegung und die hohe Slowness sind typisch für eine Rayleigh-Oberflächenwelle. Die eigentliche R_g -Phase ist aber erst 50 s später zu beobachten. Die Ursache für das Auftreten der der S_n -folgenden R_g -Phase könnte in der Streuung der S_n -Phase in eine Rayleighwelle an einer Heterogenität in der Nähe des Array liegen.

Ein ähnliches Phänomen konnte bei der Anwendung von Verfahren zur Identifikation von Sprengungen und Erdbeben in den letzten Jahren gefunden werden. Für einige lokale Ereignisse wurden an den Stationen WET und GEC2 im Nahbereich (WET ~30 km; GEC2 ~100 km) sehr starke Oberflächenwellensignale gefunden, die nicht mit der generellen Tendenz dieser Ereignisse hinsichtlich ihres Erdbebencharakters, wie er für andere GRSN-Stationen gefunden wurde, konform sind. Mittels F-K-Analyse wurden an GERESS R_g -typische sekundäre Signale bei diesen Ereignissen beobachtet, die mit den S_n -Ergebnissen der Umbrien-Marken-Ereignisse korrelieren und auf stationsnahe Streuung von S-Wellen hindeuten. Bisher konnte nicht geklärt werden, ob die beobachteten Oberflächenwellen von der Quelle herrühren oder durch einen ähnlichen Mechanismus generiert werden.

Koch, M. and Krüger-Reimer, B. (Kassel)

DC- geoelectrical measurements, groundwater sampling and numerical modeling as a tool to quantify river-groundwater interaction at the Werra river

The Werra river which flows mainly along the Hessen-Thüringen (former West/East Germany) border has been used for decades to discharge waste water (consisting mainly of dissolved NaCl) from the Potash industry, primarily at the Thüringen side. Although the situation has improved significantly since the reunification (1990) and the subsequent partial demise of this industry, high saline concentrations of up to 3000 ppm Cl^- (corresponding to electric conductivities of ~ 5 mS/cm) are often still measured in the Werra river water. Although the Werra, like most of the natural rivers in moderate climatic zones, is normally an effluent (gaining) stream, it becomes periodically influent (losing water) during large flood events. This poses the threat that the adjacent alluvial aquifer might be polluted by the saline river water. Although the evidence for this is not unequivocal at present, the intrusion of such a saltwater front can be used as a natural tracer, providing an additional tool to understand parts of the river-groundwater interaction.

As part of a comprehensive research project to quantify the various facets of river-aquifer interaction, namely to describe the hydrogeological situation, high resolution 2D geoelectric measurements have been carried out in the "Wendershauser Aue" section of the Werra river floodplain. 12 geoelectric sounding-mapping profiles with a Wenner-spread of 5m were measured along 4 profiles transects located mainly perpendicular to the Werra river course and then inverted iteratively to obtain a 2D vertical resistivity map. The resistivity measurements were supplemented by laboratory measurements on soil and a few groundwater samples. This allowed to compute the formation factor K independently. The latter turned out to be in good agreement with each other and appear to be constant in homogeneous sections of the aquifer. Using Archie's law, electric conductivities of up to 10 mS/cm for the saturated groundwater are calculated, which is higher than that measured for the Werra river, therefore putting into question the assumption of a homogeneous formation factor.

As for the lithology of the subsurface deduced from the 2D resistivity maps, one can deduce the following formations: A clay top soil layer 3 m thick is underlain by the first unconfined sand-gravel aquifer with an average thickness of 6m, saturated with saline groundwater having a conductivity of ~ 2 mS/cm. This is followed underneath by a low resistivity layer (~ 20 Ohm m), about 10 m thick, which from historical borehole records, were identified as having a clay-dolomite composition, therefore marking the confining bottom layer of the sand quifer. Finally, at a depth of 18-20m the well-known sandstone formation with resistivities of ~ 40 Ohm m begins.

Some of the hydrogeological and geophysical data have been used as constraints in a 3D groundwater flow and transport model to further quantify the dynamical processes that may lead to intrusion of saline Werra river water into the alluvial aquifer.

Kopera, J.R., Leydecker, G. (Hannover)

j.kopera@bgr.de

Intensitäts- und untergrundabhängige Antwortspektren zur Beschreibung des Schadenpotentials seismischer Bodenbewegungen

Die Erdbebengefährdung eines Standortes kann durch die Festlegung eines Bemessungserdbebens in Verbindung mit dessen Überschreitenswahrscheinlichkeit angegeben werden. Zur Auslegung von Bauwerken für den Lastfall Erdbeben müssen dem Bemessungsbeben ingenieurseismologische Kenngrößen zugeordnet werden. Die dynamische Wirkung von Erdbeben auf Bauwerke läßt sich gut durch Antwortspektren wiedergeben. Es sind dies die maximalen Schwingungsantworten eines Ensembles von Bauwerkmodellen (Einmassenschwinger) auf seismische Bodenanstörungen.

Gebräuchlich sind z.B. normierte und generalisierte Antwortspektren. Ihre Anpassung an standortspezifische seismologische Verhältnisse und Untergrundbedingungen erfolgt über eine Skalierung mit der sog. "Bemessungsbeschleunigung". Diese Bemessungsantwortspektren liefern relativ unspezifische, eher konservative Lastannahmen. Andere Methoden definieren Antwortspektren in Abhängigkeit von der Magnitude und der Entfernung oder der Standortintensität des Bemessungserdbebens sowie den Untergrundbedingungen am Standort.

Die Intensität ist eine maßgebliche Größe zur umfassenden Beschreibung der Erdbebenwirkungen auf Bauwerke. Daher wird die Standortintensität in der vorliegenden Arbeit als Parameter des Schadenpotentials der seismischen Bodenbewegung genutzt. Das Ziel ist die Generierung intensitäts- und untergrundabhängiger Antwortspektren für Standorte in Deutschland bzw. Mitteleuropa.

Wegen des Mangels an geeigneten Strong-Motion Registrierungen von Erdbeben aus Mitteleuropa ist eine Zusammenstellung weltweit vorhandener Daten erforderlich. Mit diesen Registrierungen wird eine relationale Datenbank aufgebaut. Die Schwierigkeiten bei diesem Vorgehen liegen in der Klassifizierung der Untergrundverhältnisse an den Registrierstandorten und der Ermittlung der Standortintensitäten.

Kosim, Lindner, H., Pretzschner, C. (Freiberg)
kosim@geophysik.tu-freiberg.de

In-situ Permeabilitätsbestimmung aus der Stoneleywelle

Die Permeabilität ist ein wichtiger physikalischer Parameter, der die Effizienz der Ölproduktion eines Speichergesteins bestimmt. Gegenwärtig existieren mehrere Verfahren, um die Permeabilität von Speichergesteinen zu schätzen. Diese orientieren sich jedoch häufig an Bohrkernuntersuchungen. Wir versuchen daher, mittels Dämpfungsfaktor ($1/Q_{St}$) der Stoneleywelle, die Permeabilität κ für Speichergesteine in einer Rotliegend-Formation auf akustischem Weg *in-situ* zu bestimmen.

Die akustischen Bohrlochmessungen wurden mit einem Multiarray Sonic Tool, bestehend aus einem Sender und 8 Empfängern, durchgeführt (Bild 1). In den registrierten Wellenzügen sind die Kompressions- (P), Scher- (S) und Stoneleywellen (St) und deren Amplitudenabnahme von E1 nach E8 zu erkennen (Bild 2).

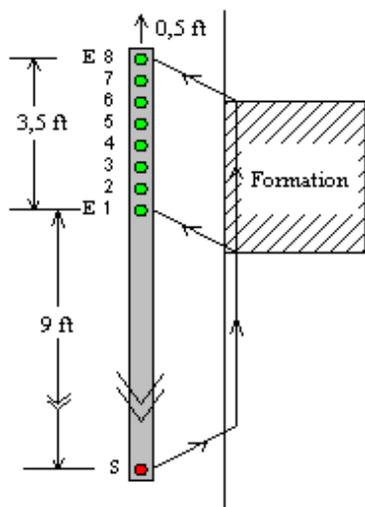


Bild 1. Multiarray Sonic Tool

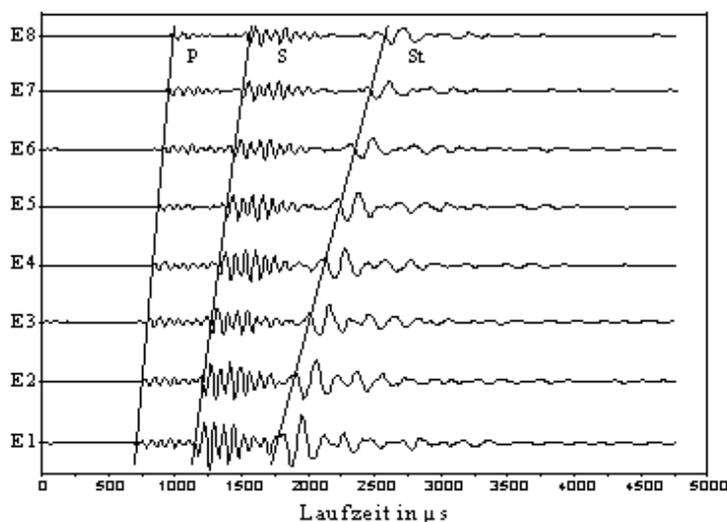


Bild 2. Wellenbilder von 8 Empfängern

Zur Bearbeitung werden zunächst die Einsatzzeiten der P-, S- und Stoneley -Wellen ermittelt und da-raus Slowness und Phasengeschwindigkeiten v_P , v_S und v_{St} berechnet. Die Bestimmung der Porosität erfolgt - klassisch - nach der Zeitmittelgleichung. Die Ton-korrektur der Sonic-Messungen ist über das Gamma-Log ausgeführt worden. Die Frequenz der Stoneleywelle wird der spektralen Mittelfrequenz zugeordnet. Die Bestimmung des Dämpfungsfaktors der Stoneleywelle erfolgt über das Spek-trendivisionsverfahren nach Cheng et al. (1982). Den analytischen Zusammenhang zwischen Dämpfungsfaktor und Permeabilität in Abhängigkeit von der Porosität im Bohrloch beschreiben Mathieu und Toksöz (1984).

$$\frac{Q_{St}^{-1}}{1-Q_{St}^{-1}} = \frac{\rho_f v_{St}}{\eta} \frac{I_0(kR)}{I_1(kR)} \left[\frac{1}{2R} + \frac{2}{\pi} \left(\frac{2\pi f_{St} \phi_T \eta}{\kappa K_f} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \kappa h$$

Diese Bearbeitungsschritte wurden auf Sonic-Messungen einer Bohrung in Norddeutschland (RWE-DEA, Hamburg) für einen Teufenbereich mit Rotliegend-Gesteinen angewendet. Bild 4 enthält die gemessenen Logs sowie die errechneten Permeabilitätswerte.

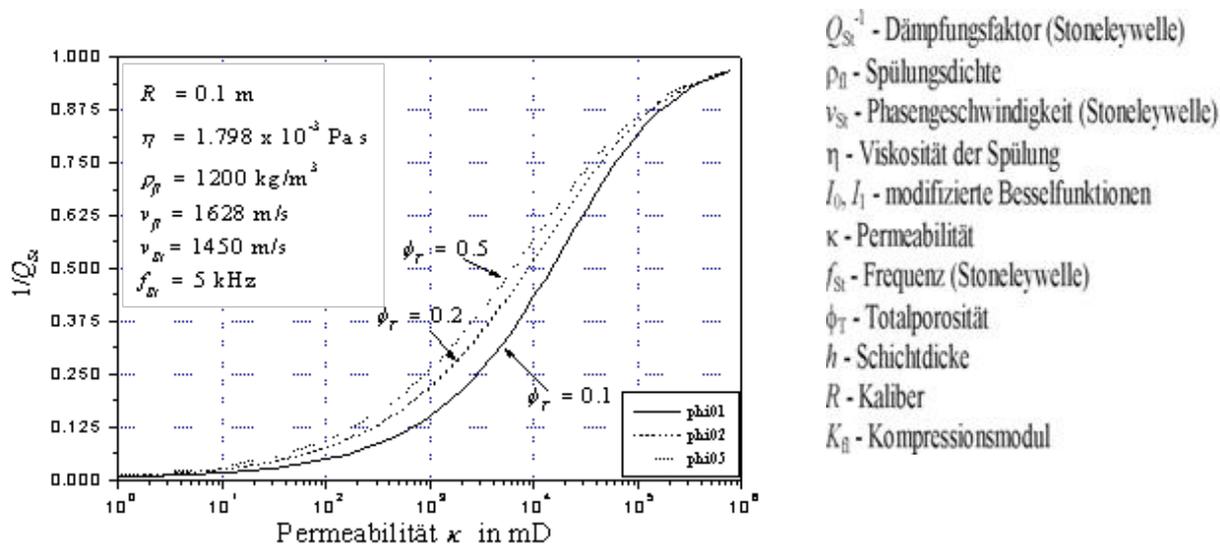


Bild 3. Dämpfungsfaktor als Funktion von Permeabilität und Porosität

Spalte 6 in Bild 4 zeigt das erste Testergebnis. Vergleichsweise ist eine ELAN-Interpretation der RWE-DEA, Hamburg in Spalte 7 gegenübergestellt. Beide Logs sind als empirische Permeabilitätsfunktionen aufzufassen.

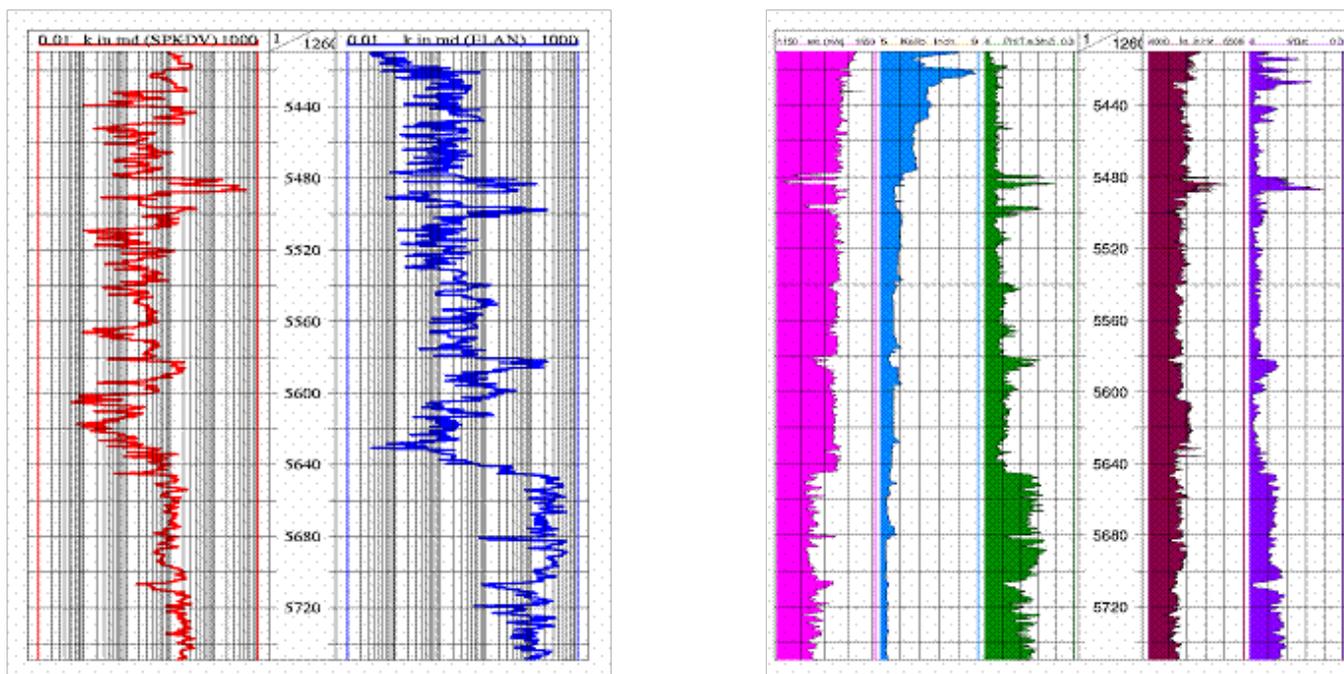


Bild 4. Logs zur Bestimmung der in-situ Permeabilität mittels Stoneleywelle

Literatur

Cheng, C.H., Toksöz, M.N. and Willis, M.E., 1982 . Determination of in situ attenuation from full waveform acoustic log: J.of Geophysical Research. vol.87, 5477 - 5484.

Matheu, F. and Toksöz, M.N., 1984 . Application of full waveform acoustics log data to the Estimation of reservoir permeability: 54th Ann. Int. Meeting, Expanded Abstract Society of Exploration geophysics, 9 - 12.

Verfasser danken der RWE-DEA, Hamburg für die Überlassung der Meßergebnisse.

Kottke, B. (Bremen, München)

(bkottke@uni-bremen.de oder Bernd.Kottke@iaag.geo.uni-muenchen.de)

Suszeptibilitätsmessungen und Spektralanalysen am Kern M 23455 – Hinweise für orbitalgesteuerte Vereisungszyklen während der vergangenen 220.000 Jahre auf Spitzbergen ?

Der vorgestellte marine Sedimentkern M 23455 der METEOR-Ausfahrt M 21-4 stammt von der Ostflanke des Knipovitch-Rückens im Gebiet der südöstlichen Framstraße. Durch die nahe Lage zum südwestlichen Kontinentalhang von Spitzbergen wurde die Kernstation direkt von der Vereisungsgeschichte des Storfjorden-Troges beeinflusst. Die ozeanographische und geographische Lage der Kernstation am Übergang zwischen dem östlichen Europäischen Nordmeer und der südöstlichen Framstraße dokumentiert mit einer guten Auflösung die Vereisungsgeschichte Spitzbergens bis etwa 230.000 Jahre vor heute bzw. bis ins Isotopensubstadium 7.3. Der lithologische Aufbau des Kerns wird dominiert durch glaziomarinen Sedimenteintrag in glazialen und deglazialen Sequenzen sowie zwischengeschalteten pelagisch-hemipelagischen Sedimentabfolgen während Interglazialen und -stadialen.

Neben zahlreichen geologisch-sedimentologischen Untersuchungen wurden an diesem Kern auch hochauflösende Suszeptibilitätsmessungen im 1cm-Abstand durchgeführt. Insbesondere zeigen Spektralanalysen dieser gesteinsmagnetischen Messungen eine Dominanz der Milankovitch-Zyklen in den Frequenzbereichen um 19 ka, 23 ka, 41 ka und 100 ka. Durch den Siegel- als auch Fisher-Test sind die Meßergebnisse statistisch ausreichend abgesichert. Der Vergleich mit den geologisch-sedimentologischen Untersuchungen erlaubt eine paläozeanographische Interpretation dieser Ergebnisse unter Berücksichtigung der Vereisungsgeschichte Spitzbergens.

Hierbei ist das Auftreten der Präzessions-Zyklen bei 23 und 19 ky Jahre als Besonderheit zu werten, da dies im Widerspruch zur bisherigen Annahmen einer ausschließlichen Steuerung der Vereisungsgeschichte Spitzbergens durch die 100 ky Exzentrizitäts- und 41 ky Obliquitäts-Zyklen steht. Dies kann als Ergebnis eines advectierten Signales aus Niederen Breiten oder als ein lokales und durch die Insolation geprägtes Vereisungssignal des Spitzbergen-Archipels gedeutet werden.

Kottke, B. (Bremen, München)

bkottke@uni-bremen.de oder Bernd.Kottke@iaag.geo.uni-muenchen.de

Klastische Sedimente des Bengalfächers - Charakterisierung von Sedimentationsprozessen im Abbild akustischer Messungen

Die während der SONNE-Fahrten SO 93, 125 und 126 in den Jahren 1994 und 1997 gewonnenen hochauflösenden sedimentphysikalischen und sedimentechographischen Messungen an klastischen Sedimenten aus dem submarinen Bengalfächer vor Bangladesch erlauben Rückschlüsse auf Sedimentations- und Transportprozesse sowie eine lithologische Klassifizierung. sowie hochauflösenden sedimentphysikalischen Messungen an Kolbenlot- und Schwerelotkernen untersucht

Die mit dem 4 kHz-PARASOUND-Sedimentecholot (STN Atlas Elektronik, Bremen, Wellenlänge $\lambda \gg 30\text{-}40$ cm) mit einer vertikalen Auflösung in der Größenordnung von 40 cm vermessenen Profile ermöglichen einen großräumigen Überblick über Sedimentationsprozesse, Verbreitungsmuster und unterschiedliche Lithologien im größten submarinen Fächersystem der Erde. Hierbei erlauben wiederum einzelne Reflektoren Aussagen über Sedimentationsereignisse, die ausgehend von den hochauflösenden sedimentphysikalischen Messungen an Kolbenlot- und Schwerelotkernen in die Fläche übertragen werden können. Ferner können aus diesen Daten holozäne und pleistozäne Sedimente unterschieden werden, welche durch ihre sequenzstratigraphische Interpretation Rückschlüsse über spätleistozäne Meeresspiegelschwankungen erlauben.

Profilmfahrten mit dem Fächerecholot 15.5 kHz HYDROSWEEEP (Wellenlänge $\lambda \gg 9.7$ cm) liefern wesentlich genauere bathymetrische Vermessungen sowohl entlang der PARASOUND-Profile als auch flächenhaft über einen submarinen Canyon (Swath of no Ground). Ergänzende analoge Side-Scan Sonar Aufzeichnungen aus diesem Canyon zeigen durch die Rückstreuamplitudenvariationen Erosions- und Deformationsstrukturen sowie Hinweise auf die Aktivität suspensionsreicher Bodenströmungen.

Saenger, E. H., Krüger, O. H., Shapiro, S. A. (Berlin)

saenger@geophysik.fu-berlin.de

Seismic Signatures of Fractured Rocks

The prediction of effective elastic properties of fractured solids is of considerable interest for geophysics, material science, and solid mechanics. In particular, it is important for constitutive modeling of brittle microcracking materials. The modeling of elastic waves in fractured media with an explicit finite difference (FD) scheme causes instability problems on a staggered grid when the medium possesses high contrast discontinuities (strong heterogeneities). For the present study we apply the rotated staggered grid (RSG). It is shown that the RSG can be applied in displacement-stress and in velocity-stress finite-difference schemes whereby the latter is advantageous to model viscoelastic wave propagation. Using this modified grid it is possible to simulate the propagation of elastic waves in a 2D or 3D medium containing cracks, pores or free surfaces without hard-coded boundary conditions. Therefore it allows an efficient and precise numerical study of effective velocities in fractured structures. We model the propagation of plane waves through a set of different randomly cracked media. In these numerical experiments we vary the wavelength of the plane waves, the crack porosity and the crack density. The synthetic results are compared with several static theories that predict the effective P - and S -wave velocities in fractured materials in the long wavelength limit. For randomly distributed and randomly oriented rectilinear non-intersecting thin dry cracks in 2D media the numerical simulations of velocities of P -, SV - and SH -waves are in excellent agreement with the results of the modified (or differential) self-consistent theory. On the other hand for intersecting cracks the critical crack density (porosity) concept must be taken into account. To describe the wave velocities in media with intersecting cracks in 2D media we propose to introduce the critical crack density concept into the modified self-consistent theory. Numerical simulations show that this new formulation predicts effective elastic properties well for such a case. We conclude this paper with a numerical study of effective velocities of fractured 3D-media. For randomly distributed and randomly oriented penny-shaped dry cracks the numerical simulations of P -wave velocities are in good agreement with the predictions of the self-consistent approximation.

Krüger, O. S., Saenger, E. H., Shapiro, S. A. (Berlin)

krueger@geophysik.fu-berlin.de

Scattering and diffraction of SH waves by a finite crack: comparison of an analytical and a numerical solution

Strong scattering caused by complex crack structures can only be treated by numerical techniques because an analytical solution is not available. The keypoint in numerical modeling is accuracy. Checking the accuracy of the rotated staggered grid FD code described by Saenger et al. (2000) we use an analytical solution for scattering and diffraction of SH waves by a single finite crack given by Sánchez-Sesma and Iturrarán-Viveros (2001). They present a set of equations that allow the calculation of the frequency intensity distribution along the illuminated and shaded side of a finite crack with appropriate accuracy. Our goal is the numerical implementation of plane SH waves interacting with a finite crack at different angles and with different frequencies and to compare the numerical and analytical results.

We chose one of several possible ways to compare the analytical and numerical results. We intended to convert the numerical values to normalized values as they are used in the analytical solution. Therefore the source signal characteristic had to be removed from the seismograms and the seismograms spectra had to be calculated. Finally two projections had to be made. The place of a geophone was projected on to the normalized crack and the frequencies of the seismograms spectra were associated to normalized frequencies. The comparison of analytical and numerical derived power spectra shows an astonishing conformity for a vast range of frequencies, especially for the dominant frequency of the source signal.

Krajewski, P. (Lingen), de Groot, P. (Enschede), Trappe, H. (Isernhagen)

Seismische Reservoircharakterisierung in der Produktion und Exploration

Mit dem Fortgang der technischen Entwicklung findet die Seismische Reservoircharakterisierung zunehmend Verwendung in der Exploration bei der Prospektbewertung und auch bei der Entwicklung produzierender Felder im Rahmen der Produktionsgeophysik. Betrachten wir die maßgeblichen Voraussetzungen für eine höffige Lagerstätte, nämlich die Existenz von *Muttergestein*, die *Migration* des Kohlenwasserstoffs in ein *Reservoirgestein*, eine abgeschlossene *Struktur* und eine gute *Abdichtung*. Davon kann die Existenz von Muttergestein und Struktur in der Praxis meist durch eine solide geologische bzw. geophysikalische Arbeit hinreichend bewertet werden. Die Qualität des Reservoirs und seiner Füllung (infolge erfolgreicher Migration und guter Abdeckung) ist letztendlich aber aus geologischen Daten infolge ihrer lateralen Variabilität meist nicht zuverlässig vorherzusagen. Hier kann unter günstigen Voraussetzungen die Seismische Reservoircharakterisierung einen wichtigen Beitrag zur Risikominimierung bei Explorationsvorhaben und bei der Feldesentwicklung liefern.

Tanner, D., Krawczyk, C., Oncken, O. (Potsdam)

tanner@gfz-potsdam.de

3D Retro-deformation of the Rotliegend Strata of the 'Tight Gas' Area, North German Basin

This work is concerned with the subsurface Rotliegend strata beneath the 'Tight-Gas' area ($10 \times 20 \text{ km}^2$) of the North German Basin, Lower Saxony. We demonstrate:

1. The construction of a detailed three-dimensional, geometrical model of the Rotliegend from 3D seismic and borehole data.
2. The incremental tectonic history of the area from structure maps for specific Rotliegend horizons, i.e. Top Rotliegend, Top Dethlingen Fm. and Base Rotliegend.
3. Methods of retro-deforming the model in time and 3D space. This gives insight into the strain caused during the tectonic history, which can show the position of tectonic fracturing and thus secondary porosity.

The database for our model comes from 3D seismic (25 m resolution) and 11 boreholes. In the working area, the Rotliegend is overlaid by 500–1250 m Tertiary, 700–1500 m Cretaceous, 1000–2000 m Triassic and 200–2500 m Zechstein strata. The Rotliegend is approximately 200–300 m thick. The structure is dominated by an arcuate wall/dome of Zechstein salt in the middle of the area. Assuming no movement of salt in or out of the area, we estimate the original thickness of salt was 497 m. Comparison of the reflection coefficient (k) shows that in the eastern boreholes, the Zechstein has a very low signature (< 0.02), whereas the Rotliegend is strongly reflective (up to 0.05). Furthermore the Hannover Fm can be seen to be more reflective than the Dethlingen and lower formations. Some cyclicity can also be seen in the Hannover Fm. However, in the westernmost borehole, k is fivefold stronger than in the eastern boreholes. The difference in k between the westernmost and eastern boreholes is probably due to the thickness of Zechstein salt above the Rotliegend. The Zechstein is only 200 m thick in the westernmost borehole, whereas in the others it is greater than 600 m. In addition, considering the Zechstein thickness before halokinesis (see above), the Zechstein in westernmost borehole must be tectonically disturbed and compacted. In general, the Top Rotliegend is highest in the S–SW and lowest in the N–NE of the area, split NW–SE. The most prominent feature is a N–S graben. This cross-cuts a NW–SE trending (east-dipping) fault, which loses throw eastwards. To the west, there is a large N–S trending, east-dipping fault with a prominent footwall bulge. Structures to the east of the main graben are more complex. NW–SE, NE–SW and N–S striking faults can be seen with few cross-cutting relationships and minor throws. The N–S faults are correlated with the major graben. Retro-deformation is defined as using the reverse kinematics of the natural deformation to return the strata to the undeformed position. We show preliminary results of employing 3D retro-deformation on some of the faults of the working area. In addition, we demonstrate how strain maps of strata around the faults can be generated by following the strain caused by retro-deformation using a passive 3D volume of tetrahedra and recalibration/reorientation of the resulting strain tensors to represent the natural strain. This strain is then attributed to vertex nodes of the 3D model. High strain zones correlate with zones of tectonic fracturing and thus possible secondary porosity.

Kreutzmann, A., Ruedas, T. (Frankfurt)

akreutz@geophysik.uni-frankfurt.de

Geodynamik und Magnetotellurik: Gemeinsame Modellierung des Island-Plumes

Im Iceland Plume Dynamics Project (IPDP) der Universitäten Frankfurt und Mainz wird versucht, den Island-Plume mit Hilfe verschiedener geophysikalischer Methoden zu modellieren. Dazu zählen zum Beispiel die Geodynamik (GD) und die Magnetotellurik (MT). Die dreidimensionalen (3D) GD-Modelle liefern unter anderem die Verteilung von Temperatur T und Schmelze j im Mantel. Diese Parameter werden dann verwendet, um elektrische Leitfähigkeiten zu berechnen (Schmeling, 1986), welche als Eingabegrößen für die 3D-MT-Modelle dienen.

Die obere Grenze für die Leitfähigkeit ist gegeben durch die obere Hashin-Shtrikman-Grenze (HS^+) (Hashin and Shtrikman, 1963):

$$\sigma_{HS^+} = \sigma_f + (1 - \varphi) \left(\frac{1}{\sigma_s - \sigma_f} + \frac{\varphi}{3\sigma_f} \right)^{-1}$$

Diese gilt für ein perfekt verbundenes Schmelzsystem. Dabei sind σ_s und σ_f die Leitfähigkeiten der Gesteinsmatrix und der Schmelze.

Unter der Annahme, daß die fluide Phase als isolierte axialsymmetrische spheroidale Schmelzinkclusionen verteilt ist, ist die Leitfähigkeit gegeben durch

$$\sigma_{iso} = \frac{1}{3} (2\sigma_1 + \sigma_3) \text{ wobei}$$

$$\sigma_i = \sigma_s \frac{(1-\varphi)(n_i-1)\sigma_s + (n_i-(n_i-1)(1-\varphi))\sigma_f}{(n_i-1+\varphi)\sigma_s + (1-\varphi)\sigma_f}, \quad i = 1, 3 \text{ mit}$$

$$n_1 = \frac{2h^3}{h-1+h^2} \frac{1}{\tan^{-1} h}, \quad n_3 = \frac{-h^3}{(1+h^2)(\tan^{-1} h - h)} \text{ und } h = \sqrt{\alpha^{-2} - 1}$$

Dabei ist a das Verhältnis der Seitenlängen der Inklusionen. Die Wahrscheinlichkeit, daß diese Schmelzeinschlüsse zu durchgängigen Pfaden verbunden sind, ist

$$P(\alpha, \varphi) = \begin{cases} n(\alpha, \varphi) / n_{max} & n < n_{max} \\ 1 & n \geq n_{max} \end{cases} \text{ mit } n \cong (5.65 + 1.72 / \alpha) \varphi \text{ als Anzahl der}$$

Nachbarinklusionen, wobei $n=0$ für isolierte Einschlüsse und $n = n_{max} \cong 4$ für ein komplett verbundenes Schmelzsystem ist. Wenn $P=0$ ist, wird die effektive Leitfähigkeit gegeben durch σ_{iso} und für $P=1$ durch die HS^+ -Grenze. Daher kann für $0 \leq P \leq 1$ als gute Approximation für die effektive Leitfähigkeit das geometrische Mittel geschrieben werden

$$\sigma_{eff} = \sigma_{HS^+}^P \cdot \sigma_{iso}^{(1-P)}$$

Schließlich hängt σ_s noch von der Temperatur T ab

$$\sigma_s = \sigma_0 \cdot e^{\frac{E_A}{831T}}, \text{ wobei } E_A \text{ die Aktivierungsenergie für } \sigma_s \text{ und } \sigma_0 \text{ ein gesteinsabhängiger Faktor ist.}$$

Geodynamik

Hier werden verschiedene Konvektions-/Schmelzmodelle berechnet, in denen ein Plume unter einem Mittelozeanischen Rücken von der 660km-Grenze aus aufsteigt und partiell schmilzt. Die halbe Spreading-Rate des Rückens an der Oberfläche des Konvektionsmodells beträgt 1cm/a. Es werden verschiedene Plume-Überschuß-Temperaturen am Modellboden zwischen 150 und 350 K betrachtet. Ebenso wird der Schmelzanteil variiert (0.1%-3%), oberhalb dem dem Mantel Schmelze entzogen und an der Modelloberseite als neugebildete Kruste angelagert wird.

Magnetotellurik

In der MT werden die Variationen der natürlichen horizontalen magnetischen und elektrischen Felder gemessen. Den Zusammenhang zwischen diesen komplexen, frequenzabhängigen Größen stellen die sogenannten Übertragungsfunktionen dar. Über deren Auswertung können Aussagen über die Leitfähigkeitsverteilung des Untergrundes getroffen werden.

In den hier betrachteten Modellen wird dagegen die Leitfähigkeitsverteilung aus den GD-Modellen vorgegeben und in einer Vorwärtsrechnung die erwähnten Übertragungsfunktionen zwischen elektrischen und magnetischen Feldern berechnet. Auf diese Art können für die jeweiligen Parameter Grenzen angegeben werden, z.B. Untergrenzen für Leitfähigkeitskontraste und Mindestschmelzanteile, die nötig sind, um leitfähige Schichten im Untergrund noch aus Beobachtungen detektieren zu können. Dies können z.B. Schmelzbereiche im Plume oder unter der Rückenachse sein.

Kruschwitz, S., Yaramanci, U. (TU Berlin)

s.kruschwitz@gmx.de, yaramanci@tu-berlin.de

Komplexwertige geoelektrische Untersuchungen zur Charakterisierung von Auflockerungszonen im Opalinuston (Mont Terri-Schweiz)

Im Rahmen des internationalen Forschungsprojektes "Engineered Barrier - Emplacement Experiment" wird Opalinuston im Untertagelabor Mont Terri (Kanton Jura, Schweiz) mit verschiedenen geophysikalischen Methoden untersucht. Die TU-Berlin führt in diesem Projekt geoelektrische Messungen zur Charakterisierung der Auflockerungszone um den Streckensaum durch. Die seismischen Messungen werden von der BGR betreut. Von besonderem Interesse ist das mittel- und langfristige, geotechnische Verhalten von Tonstein, verbunden mit seiner Eignung als Wirtsgestein für Problemabfälle.

Der spezifische Widerstand wurde zu drei verschiedenen Zeitpunkten nach der Auffahrung des Tunnels im Juli 2001 aufgenommen. Neben den komplexwertigen Messungen mit der Wechselstrommeßapparatur SIP-Fuchs, wurde zur Überprüfung der Daten auch eine Gleichstromapparatur (Campus-Geopulse) eingesetzt. Ausgewertet wurden die Daten mit dem handelsüblichen Inversionsprogramm Res2Dinv. Für die Ringprofile war wegen der speziellen Geometrie ein vorheriges Sortieren notwendig. Dazu wurde der Gesamtdatensatz in 16 überlappende Sektionen unterteilt, die einzeln invertiert wurden. Anschließend wurden die Daten in überlappenden Bereichen gemittelt und wieder zusammengesetzt.

Der spezifische Widerstand zeigt in den aufgelockerten und aufgerissenen Saumbereichen eine deutliche Erhöhung, die mit einer Erniedrigung der Phase, v.a. in der Firste, einhergeht (Fig. 1). Die hohen spezifischen Widerstände in der Sohle kennzeichnen den 0,4-0,6 m mächtigen Betonboden:

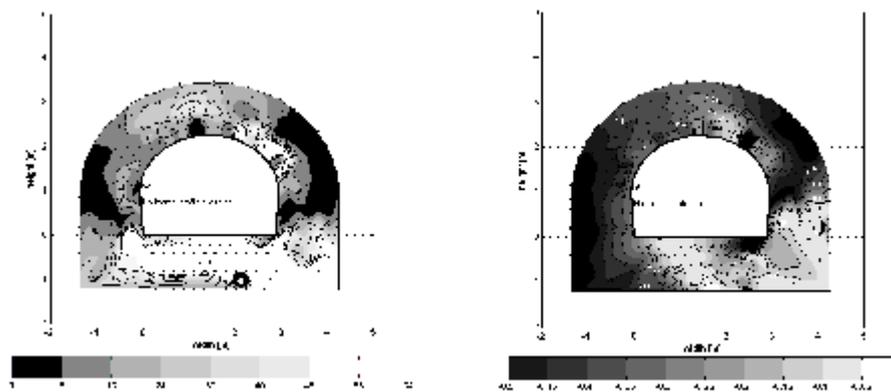


Fig. 1: li: spezifischer Widerstand [Ωm]; re: Phase [$^{\circ}$] gemessen im September 2001 (3 Monate nach Auffahrung)

Spezielles Augenmerk wird bei der Auswertung auf die Kombination der elektrischen Ergebnisse mit geotechnischen Gesichtspunkten (Stabilitätsabschätzung) des Stollens gelegt. Ebenfalls werden Labormessungen des komplexen Widerstandes, sowie der Phase realisiert, deren Ziel eine Eichkurve des Widerstandes für verschiedene Wassergehalte ist, so dass den aufgelockerten Gesteinsbereichen direkt ein (Ent-) Sättigungsgrad zugeordnet werden kann. Erste Ergebnisse der geotechnischen Modellrechnungen zeigen, dass in der Firste sowie in der Sohle am ehesten das Festigkeits/Spannungs-Verhältnis überschritten wird und Bewegungen entlang der Schichtung zu erwarten sind. Dies lässt sich mit den geoelektrischen Anomalien sehr gut korrelieren.

Weitere Informationen unter:

<http://www.geophysik.tu-berlin.de/Forschung/Projekte/MontTerri.pdf>

<http://www.geophysik.tu-berlin.de/Englisch/research/ProjectsMontTerriE.pdf>

Maus, S., Lühr, H. (GFZ Potsdam)

Analyse von CHAMP-Satellitenmesswerten zur Kartierung und Interpretation des Lithosphärenmagnetfeldes

Nach eineinhalb Jahren der CHAMP-Mission stehen nun umfangreiche Datensätze von Skalar- und Vektormessdaten zur Verfügung, die bereits eine erheblich genauere Kartierung des Lithosphärenfeldes ermöglichen, als dies mit früheren Missionen der Fall war. Durch Fortschritte im Verständnis Magnetosphärischer Felder konnte zudem die Abtrennung externer Anteile verbessert werden.

In Gebieten starker Anomalien besteht eine gute Übereinstimmung mit früheren Magsat/POGO-Karten. Die auffälligsten Verbesserungen zeigen sich dagegen für junge Kruste, die nur ein schwaches Magnetfeld hervorruft und bei früheren Kartierungen vom Rauschen verdeckt wurde. Interessanterweise stimmt das Gebiet geringster Anomalienfeldstärke im Pazifik nicht mit der Position der Mittelozeanischen Rücken (MOR) überein. Im Allgemeinen sind Anomalien jedoch entlang der MOR ausgerichtet. Besonders gut sichtbar ist dies im Atlantischen und im Arktischen Ozean. Auf den Kontinenten heben sich die Alten Schilde durch ihr starkes Magnetfeld deutlich von jüngeren Krusteneinheiten ab. Ob dies einzig durch die größere Curietiefe oder auch durch stärkere Gesteinsmagnetisierungen verursacht wird ist gegenwärtig noch ebenso unklar wie die Rolle remanenter Magnetisierung.

Mohnke, O., Yaramanci, U., Lange G. (Berlin)

oliver.mohnke@zu-berlin.de

Realisierung und Bewertung von T1 Messungen mit Oberflächen NMR

In der Oberflächen NMR werden die Wasserstoffprotonen des mobilen Porenwassers angeregt durch ein magnetisches Wechselfeld, welches mit der lokalen Larmorfrequenz oszilliert. In der Praxis wird dies durch eine an der Oberfläche ausgelegte stromdurchflossene Spule realisiert. Die Intensität der Anregung wird durch das Pulsmoment q charakterisiert. Der Parameter q steuert dabei die Eindringtiefe des Verfahrens. Durch die Verwendung höherer Pulsmomente wird die NMR Anregung auf größere Tiefenbereiche fokussiert. Nach dem Abschalten des anregenden Pulses wird das durch die Relaxation der um die Achse des Erdmagnetfeldes präzedierenden Wasserstoffprotonen hervorgerufene Magnetfeld mit derselben Spule registriert [1, 2]. Die Oberflächen – NMR (Surface Nuclear Magnetic Resonance, SNMR) ermöglicht damit als einziges geophysikalisches Verfahren eine direkte Charakterisierung von Aquiferen durch Messungen an der Oberfläche. Die Signalamplitude ist dabei direkt proportional zur Menge des freien Porenwassers. Das Relaxationsverhalten (Abklingkonstante) des SNMR Signals ist abhängig von der effektiven Porengröße.

In diesem Zusammenhang war es in der SNMR bislang nur möglich, den freien induzierten Zerfall (FID) der angeregten Wasserstoffprotonen zu messen. Dieser wird durch die Relaxationszeit $T2^*$ beschrieben und wird maßgeblich von Diffusionsprozessen beeinflusst, welche durch Inhomogenitäten innerhalb des statischen Erdmagnetfeldes hervorgerufen werden. Diese feldabhängigen Diffusionsprozesse werden in der Bohrloch und Labor NMR durch die Verwendung geeigneter NMR Pulssequenzen (z.B. *Inversion Recovery*, CPMG) eliminiert, so dass die gemessenen Relaxationszeiten unabhängig von Diffusionseffekten nur durch die Porengröße des Materials bestimmt werden [3].

Mit dem Einsatz eines modifizierten NUMIS Plus Systems ist es nun auch möglich, die von Diffusionsprozessen unabhängige longitudinale Relaxationszeit $T1$ von SNMR Signalen zu bestimmen. Dabei werden – analog zu einer $90^\circ - 90^\circ$ Pulssequenz in der Labor NMR – zwei aufeinanderfolgende NMR Pulse gleicher Intensität abgestrahlt, woraus sich eine entsprechende Zeitkonstante $T1$ ableiten lässt [4].

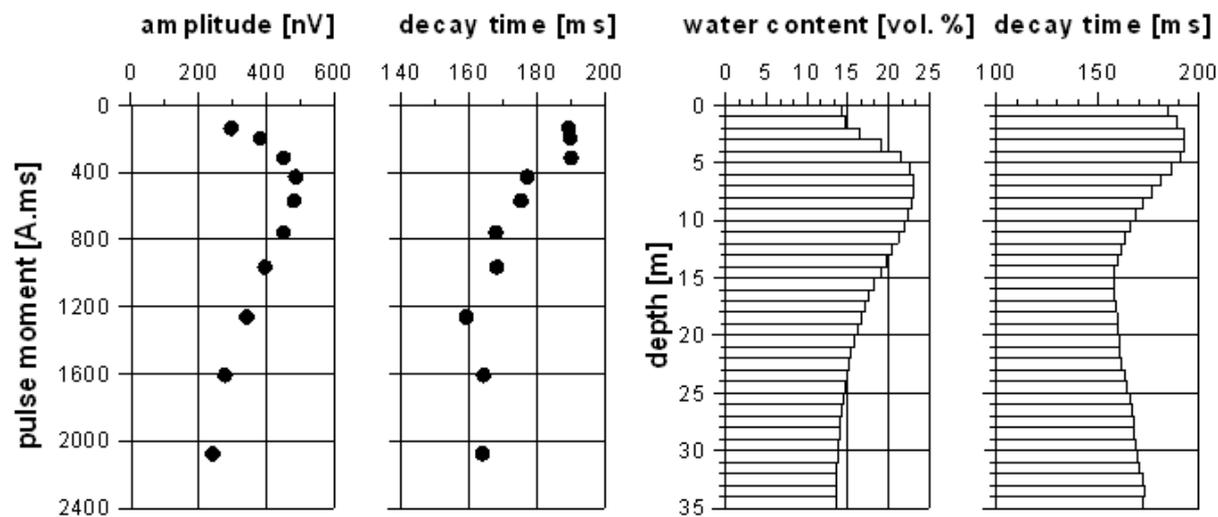


Abb. 1: SNMR Sondierung in Nauen (8-Spule, $\mathcal{A} = 50$ m). Links: Sondierungskurven der Amplituden und $T2^*$ Abklingzeiten; Rechts: Inversionsergebnisse der *smooth* Inversion für Wassergehalt und Abklingzeiten.

SNMR Messungen zur Bestimmung von $T1$ wurden auf einem geologisch und geophysikalisch gut erkundeten Testgebiet in der näheren Umgebung von Nauen bei Berlin durchgeführt. Die Geologie des Messgebietes setzt sich aus glazialen Fein- und Mittelsanden zusammen. Bohrlochmessungen bestätigen die Oberkante eines Aquifers bei 2,5 m Tiefe und dessen untere Begrenzung in 20,6 m Tiefe durch Schluff und Mergel [5].

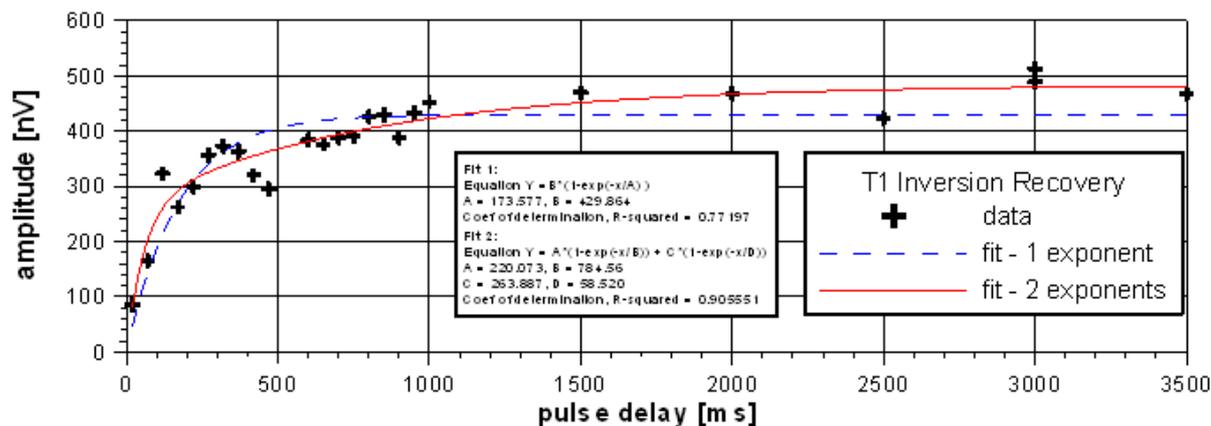


Abb. 2: Messung der longitudinalen Relaxation T1 in Nauen für das Maximum der SNMR Sondierungskurve Anregungsintensität $q = 400 \text{ A} \cdot \text{ms}$.

Die Inversionsergebnisse (*smooth* Inversion) der SNMR Sondierung korrespondieren mit der Lage des Aquifers und ordnen diesem einen Wassergehalt von 24 Vol. % zu (Abb. 1). Die Abklingzeiten entsprechen im Bereich des Aquifers den für fein und mittelsandigem Material zu erwartenden Werten. Die für Schluff- und Mergelschichten charakteristischen Abklingzeiten ($T_2^* < 100 \text{ ms}$) unterhalb von 20,6 m werden jedoch nicht erfasst.

Für das Maximum der in Abb. 1 dargestellten SNMR Sondierungskurve ($q = 400 \text{ A} \cdot \text{ms}$) wurde an dieser Lokation zusätzliche eine T1 Messungen durchgeführt. Die T1 Messkurve setzt sich dabei aus 25 Einzelmesspunkten (Messzeit: 12 Minuten je Einzelmesspunkt) mit unterschiedlichen Pulsabständen zusammen (Abb. 2). SNMR Messungen zeichnen sich allgemein durch ein geringes Verhältnis von Signal zu Rauschen und eine damit verbundene breite Streuung einzelner Messwerte aus. Um eine zuverlässige Bestimmung von T1 Relaxationseien zu realisieren, ist daher eine – mit hohem Zeitaufwand verbundene – dichte Abtastung von T1 Messkurven erforderlich. Eine Interpolation von T1 Zeiten aus nur zwei Messwerten, wie es das NUMIS System anbietet, muss daher kritisch betrachtet werden.

Literatur

- [1] Shirov, M., Legchenko, A.V. and Creer, G. 1991. A new direct non-invasive groundwater detection technology for Australia. *Exploration Geophysics* **22**, 333-338.
- [2] Yaramanci, U., Lange, G. and Knödel, K. 1999. Surface NMR within a geophysical study of the aquifer at Haldensleben (Germany). *Geophysical Prospecting* **47**, 923-943.
- [3] Kenyon, W. E., 1992, Nuclear magnetic resonance as a petrophysical measurement. *Nuclear Geophysics*, **6**, no. 2, 153-171.
- [4] Legchenko, A. V., Baltassat, J. M., Beauce, A. and Bernard, J. 2001. Nuclear magnetic resonance as a geophysical tool for hydrogeologists. Submitted to *Journal of Applied Geophysics*, Special Issue on Surface-NMR.
- [5] Yaramanci, U., Lange, G., Hertrich, M., 2001, Aquifer characterisation with Surface-NMR and other geophysical techniques at the test site Nauen / Berlin. Submitted to *Journal of Applied Geophysics*, Special Issue on Surface-NMR.

Schweitzer, J. (Kjeller), Lee, W.H.K., (Menlo Park)

johannes@norsar.no

The IASPEI Collection of Old Seismic Bulletins

During the second half of the 19th century scientists in many countries began publications of systematically collected earthquake lists. After installing the first seismic instruments these lists were often expanded by station bulletins with onset time readings and measurements of amplitudes and periods of observed seismic waves.

Until the beginning of centralized collection of information from these station bulletins by international organizations in the early 1920s, station bulletins are, beside the original seismograms, the only source material for modern re-analyses of old earthquakes.

Therefore, saving this collective heritage for the future is an important task which is now undertaken by the IASPEI Committee on Education. The plan is to scan all available early seismic bulletins into computer readable image files, and publish them on CDs for preservation and future use by the seismological community. We will give an overview about our current knowledge of seismic stations in operation from late 1890s to 1920, and which seismic bulletins from these early stations could be located.

Stoll, J.B., Steveling, E., Leven, M. (Göttingen)

josto@uni-geophys.gwdg.de

Indications of Hawaiian Hotspot Motion from Magnetic Borehole Logging

On ODP Leg 197 the goal was to obtain new constraints on the motion of the Hawaiian hotspot through paleomagnetic measurements on volcanic rocks produced by the Hawaiian hotspot. When a lithospheric plate such as the Pacific plate moves over a mantle plume and carries away the volcanic rocks that erupt above it, a hotspot track, such as the Hawaiian-Emperor chain is created. By comparing the age progression of volcanic rocks among different hotspot tracks on the plate, it was found that hotspots appear to be moving only very slowly (not more than a few mm/yr) relative to each other; they thus appear to be suitable as a reference frame for plate motions. The prominent bend, which separates the westward trending Hawaiian islands from the northward-trending Emperor seamounts is unique amongst the Earth's hotspot tracks and represents an obvious change in plate motion. However, attempts to model past plate motions failed to predict the bend and tests of the fixed hotspot hypothesis based on global plate circuits suggested large relative motions between Hawaii and hotspots in the Atlantic and Indian Ocean basins. The goal was to be achieved by measuring the inclination of the magnetization acquired during cooling of the volcanic rocks formed by the Hawaiian hotspot.

A borehole magnetometer from the Institute of Geophysics, University of Goettingen, was employed in hole 1203 into the Detroit seamount of the Hawaii-emperor Ridge. It detected strongly magnetized layers in the basement, which correlate well with sequences of basalts and volcanoclastic sediments. The variations of the vertical component with depth point towards negative values, which indicate a magnetic polarization parallel to the present dipole field. The corresponding variations in the horizontal component show always smaller magnitudes and indicate an inclination of the NRM in the formation larger than 45 deg.

For the first time a fiber optic rate sensor was employed in a borehole tool to measure the rotation history during a log run. The sensor outputs the angular rate and allows to receive information about the orientation of the tool. Between the rig floor and bottom hole the tool rotated almost 60 times about its body axis. On its run back to the rig floor the tool followed nearly the same rotation history as on the downward run. Double check on the rig floor revealed only minor deviations from the initial orientation.

Stoll, J. B., Steveling, E., and Leven, M. (Göttingen)

josto@uni-geophys.gwdg.de

Geomagnetic field inclinations from a 1800 m magnetic log into HSDP2 hole on the Big Island of Hawaii

A magnetic log has been obtained in the Hawaii Scientific Drilling Project 2 (HSDP2) between 600 and 1800 m, which corresponds to a time interval of approximately 520 kyr. A triple axis borehole magnetometer was employed which consists of fluxgate sensors to measure the horizontal and vertical magnetic field density. Measurements were taken downhole and uphole as well, which revealed a very good correlation between both runs. In a first step the logs were processed in order to correct for the transfer function of the low pass filter and then depth corrected. We used a multi-layered earth model which also takes into account the borehole geometry. The logged interval is subdivided into many layers of constant thickness which corresponds to the logging sample rate of 10 cm. Applying the Gauss-Jordan-elimination algorithm the horizontal and vertical NRM and the inclination of the anomalous field is deduced separately from the horizontal and vertical magnetic field components. In a first approximation the NRM with depth corresponds well with the lithology. Especially magnetic logging allows to distinguish between intervals with massive lava flows from those of prevailing hyaloclastites. The magnitude of NRM derived from magnetic logging also corresponds with those from core samples. We present instances which demonstrate a more detailed description of the lithology from magnetic logging rather than from petrological investigations. Especially within those intervals of poor sample recovery magnetic logging allows to complete the lithology. The comparison of inclination studies from the HSDP 1 pilot hole with the inclinations derived from magnetic logging in the HSDP2 hole revealed a good correlation and allows to estimate the age versus depth in the HSDP2 borehole. A distinct shift of the mean value of the magnetic inclinations from core samples and magnetic logging of about 12 degree corresponds very well with estimations of the slope of the base of the Hawaii volcanoes. This accounts for the fact that the entire surface of the lithosphere is depressed by the weight of a volcano out to a distance that is greater than the volcano radius.

Li, Y., Spitzer, K. (Freiberg)

Numerische Modellierungen des geoelektrischen Feldes in 3D anisotropen Leitfähigkeitsstrukturen

Wir präsentieren einen dreidimensionalen Vorwärtsmodellierungsalgorithmus nach der Methode der Finiten Elemente. Dieser Algorithmus bietet die Möglichkeit, beliebige, von den Hauptachsen unabhängige anisotrope Leitfähigkeitsstrukturen zu simulieren.

Mathematische Grundlagen

Aus der Kontinuitätsgleichung ergibt sich die partielle Differentialgleichung des elektrischen Potentials $v(x,y,z)$ in allgemeinen anisotropen Leitfähigkeitsstrukturen:

$$\nabla \times (\rho - I \nabla v(x,y,z)) = -I \delta(r-r_s) \quad (1)$$

mit r als elektrischem Widerstandstensor, der eine symmetrische $3 \cdot 3$ Matrix ist, I als Quellenstromstärke und $d(r-r_s)$ als Diracscher Deltafunktion.

Die Eliminierung der Quellensingularität gelingt dadurch, daß das Potential aufgespaltet wird in das zu dem homogenen, anisotropen Halbraum mit dem Widerstandstensor $\underline{\rho}_n$ gehörende Normalpotential v_n und das von der Abweichung $\underline{\rho}_a(x,y,z) = \underline{\rho}(x,y,z) - \underline{\rho}_n$ verursachte anomale Potential v_a .

Das Normalpotential lautet

$$v_n = \frac{I(\rho_x, \rho_y, \rho_z)^{1/2} \cdot 2p}{2\pi} \quad (2)$$

mit

$$B = (x^2 \rho_{xx} + 2xy \rho_{xy} + 2xz \rho_{xz} + 2yz \rho_{yz} + y^2 \rho_{yy} + z^2 \rho_{zz}) / 2$$

wobei x', y' und z' die Widerstände der Hauptanisotropierichtungen x', y' und z' sind.

Für das anomale Potential gilt die Gleichung

$$(\underline{-I} \quad v_a) + (\underline{-a} - I \quad v_n) = 0. \quad (3)$$

Die Wahl der problemangepaßten Randbedingungen ist für numerische Modellrechnungen von entscheidender Bedeutung. An der Erdoberfläche wird die Neumannsche Bedingung verwendet. Die Dirichletsche Bedingung liefert eine geringe Genauigkeit für Randpunkte, insbesondere wenn sich ein inhomogener Körper unendlich ausbreitet. Eine gemischte Randbedingung, die das asymptotische Verhalten des Potentials zugrunde legt, wird hergeleitet:

$$\underline{-I} + v = 0. \quad (4)$$

Dabei steht θ für den Winkel zwischen der äußeren Normalen n und dem radialen Abstand r von der Quelle zum Rand.

Das obige Randwertproblem wird mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FE) behandelt. Dies führt auf ein lineares Gleichungssystem

$$K Va = -P. \quad (5)$$

Darin ist K eine symmetrische Koeffizientenmatrix, P ein konstanter Vektor und Va ein aus unbekanntem anomalen Potentialwerten an allen Knotenpunkten bestehender Zeilenvektor. Diese Gleichungen werden nach der Methode der konjugierten Gradienten in effizienter Weise gelöst, wobei eine unvollständige Cholesky-Vorkonditionierung (IC) die schnellste Konvergenz liefert.

Numerische Tests

Der Algorithmus wird anhand eines anisotropen Zwei-Schicht-Modelles auf seine Genauigkeit untersucht. Es wird die hohe Genauigkeit der numerischen Rechnung gezeigt. Die relative Abweichung zur exakten analytischen Lösungen ist unter 1 Prozent im ganzen Lösungsbereich.

Schließlich werden Anisotropie-Effekte von 3D-Modellen mit horizontaler, vertikaler und einfallender Anisotropie vorgestellt.

Li, Y., Spitzer, K. (Freiberg)

klaus.spitzer@geophysik.tu-freiberg.de

Three-dimensional DC resistivity finite element and finite difference forward modeling in comparison

A 3D finite element scheme for direct current resistivity modeling is presented. The singularity is removed by formulating the problem in terms of the secondary potential which improves the accuracy considerably. The resulting system of linear equations is solved using the conjugate gradient method. The incomplete Cholesky preconditioner with a scaled matrix has been proved to be faster than the symmetric successive over-relaxation preconditioner. A compact storage scheme fully utilizes the sparsity and symmetry of the system matrix.

The finite element (FE) and a previously developed finite difference (FD) scheme are compared in detail. The investigation shows that both differential equation techniques give accurate results, when an appropriate grid is used. The relative error in apparent resistivity for a vertical dike model is less than 0.4 per cent overall. The model tests also show that there are two origins of discretization errors, i.e., conductivity contrasts and geometric properties. The FD scheme seems to be rather robust with respect to irregular grid geometries, and the FE scheme with respect to conductivity contrasts. Uncontrollable numerical instabilities of the FD solution are observed in the case of a very high conductivity contrast. However, the coefficient matrix of FD equations is much more sparse than that of FE equations. The FE scheme requires about 3.4 times as much storage as the FD scheme.

With the conventional singularity removal technique, the singularity can be removed in the vicinity of the current source, and the numerical results are very satisfactory over the whole model domain when the background structure is a uniform half-space. However, if the background deviates from the homogeneous case, this technique does not work well. We have presented a modified singularity removal technique, where the solution of a horizontally layered earth or a vertical contact is regarded as the primary potential. This technique allows to better adjust to a wide! range of models and considerably increases the accuracy toward the boundaries. Especially, horizontal layers are a very common geologic feature, so that the improved singularity removal procedure will be very helpful in practice.

Lorenzani, S., Tilgner, A. (Institut für Geophysik, Universität Göttingen)

andreas.tilgner@physik.uni-goettingen.de

Kann Präzession den Geodynamo antreiben?

Die Präzession der Erdrotationsachse wurde erstmals 1949 von Bullard als mögliche Energiequelle für den Geodynamo in Erwägung gezogen. Allerdings stellt sich bis heute die Frage, ob die Präzession eine Strömung im Erdkern anfacht, die ein Magnetfeld erzeugen kann. Die laminare Strömung, die im Grenzfall kleiner Präzessionsraten auftritt, ist nahezu toroidal und unfähig, ein Magnetfeld aufrecht zu erhalten. Nur falls diese Strömung im Erdkern instabil ist, kann sie zum Dynamoeffekt oder zur Säkularvariation beitragen. Unsere Kenntnisse über präzessionsgetriebene Strömungen stammen größtenteils von Laborexperimenten. In diesem Vortrag werden numerische Simulationen vorgestellt, die instabile präzessionsgetriebene Strömungen untersuchen.

Die beobachteten Instabilitäten können in zwei große Kategorien klassifiziert werden: Inertielle und viskose Instabilitäten, wobei inertielle Instabilitäten auch in einem Fluid mit verschwindender Viskosität auftreten können. Die viskosen Instabilitäten können entweder in den Randschichten oder im Innern der Strömung entstehen. Die Struktur der instabilen Strömungen außerhalb der Grenzschichten ähnelt der Struktur konvektionsgetriebener Strömungen, von denen man weiß, daß sie Dynamos sind. Speziell die inertielle Instabilität kann zu Oszillationen führen, die, auf die Erde übertragen, eine Periode von 2000 Jahren oder länger haben.

Den numerischen Ergebnissen zufolge bleibt die Erdpräzession ein möglicher Antrieb für den Geodynamo. Ebenso ist denkbar, daß das Erdmagnetfeld durch Konvektionsströmung erzeugt wird, und die Präzessionströmung zur zeitlichen Variation des Magnetfeldes beiträgt. Man kann hoffen, daß im Gegensatz zur Hypothese eines konvektionsgetriebenen Dynamos die Hypothese eines präzessionsgetriebenen Dynamos durch himmelsmechanische Beobachtungen überprüft werden kann, da die dissipierte Ohm'sche Leistung letzten Endes aus der Bewegungsenergie des Erde-Mond-Sonne Systems stammen muß. Der Vortrag wird mit einem Ausblick auf die möglichen himmelsmechanischen Auswirkungen eines präzessionsgetriebenen Dynamos enden.

Müller, K., Schmeling, H. (Frankfurt)

kdg@gmx.de

Reorganisation des Schmelzaufstieges durch Kanalbildung in Plumes und in mittelozeanischen Rücken

Die Fortschritte in den seismologischen Untersuchungsmethoden (z. B. die Steigerung der Auflösung) zeigen, daß sich eine Schmelzzone unter einem Rücken befinden muß. Indizien sind hierfür negative seismische Geschwindigkeitsanomalien, welche in der Regel mit dem Auftreten von partiellen Schmelzen oder durch erhöhte Subsolidustemperaturen erklärt werden können. In diesem Bereich der Asthenosphäre kann sich somit eine poröse Matrix mit Schmelzeinschlüssen ausbilden. Diese Schmelzeinschlüsse können Kornzwischenräume, kleine Linsen oder ganze Systeme, welche aus einer Vielzahl von Kanälen und kleinen Schmelztaschen bestehen, sein. Innerhalb dieser porösen Systeme kann die Schmelze auf Grund ihres Auftriebes aufsteigen. Da der Aufstieg der Schmelze durch poröse Strömung alleine zu langsam ist, um geochemisch beobachtete Ungleichgewichte zu erklären, nimmt man an, daß sich die Strömung organisiert, und sich Kanäle mit erhöhter Durchflussmenge bilden. Der Prozeß der Bildung solcher Systeme (Kanalisation von Schmelze), der Aufstieg der Schmelze innerhalb dieser Systeme (Segregation von Schmelze) und das Verhalten dieser Systeme bei vorhandenen Spannungs-/Dehnungsprozessen sind bisher nur schlecht verstanden und sollen in diesem Projekt untersucht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird mit Hilfe eines 2D-Finiten-Differenzen-Codes Schmelzsegregation und Kanalbildung im oberen Mantel untersucht. Dieser Code kann dynamische, kinematische und thermische Modelle lösen. Für die Modelle werden die Erhaltungsgleichungen für die physikalischen Größen Masse, Impuls und Energie jeweils für die Schmelzphase und die Matrix gelöst.

Die hier vorgestellten Untersuchungen stützen sich auf die Forschungsergebnisse von Richardson (Geophy. Res. Letters, Vol. 25/7, S. 1099-1102, 1998). Richardson stellte fest, daß eine mit Schmelze gefüllte Matrix, welche unter Extension gebracht wird, Kanäle ausbildet. Es gelang, die Ergebnisse von Richardson mit Hilfe des Codes zu reproduzieren.

Erste Rechnungen mit pure shear zeigen, daß eine Kanalisation der Schmelze auftritt, weiterhin ist ersichtlich, daß die Schmelze in Gebiete eindringen kann (Dykes-Bildung), welche einen niedrigeren Schmelzanteil aufweisen als das Ursprungsgebiet der Schmelze. Bei Kontrollrechnungen, bei denen keine Extension angelegt ist, ist keine Bildung von Kanälen oder Dykes erkennbar.

Neuere Rechnungen lassen vermuten, daß im Gegensatz zu Richardsons Modellen die Ausbildung von Kanälen unabhängig von der im Modell verwendeten Gitterweite ist. Weitere Untersuchungen sollen klären, von welchen physikalischen Größen die Ausrichtung von Kanälen und deren Wellenzahl beeinflusst werden. Als mögliche Faktoren kommen die Kompaktionslänge, verschiedene Spannungsrichtungen (pure-/simple-shear) oder Spannungsgradienten in Frage, außerdem sollen weiterhin Dichte- und Viskositätsvariationen untersucht werden.

Müller, M., Mohnke, O., Schmalholz, J., Raschick, A., Yaramanci, U. (Berlin)

Interurban - Hochauflösende multimethodische Geophysik zur Bestimmung der Wasser- und Stoffdynamik urbaner Standorte (Messungen)

Der Wasser- und Stofftransport, die räumliche Variabilität sowie Veränderungen im Oberboden sind die zentralen Fragestellungen der DFG Forschergruppe Interurban in Berlin. Hauptziel ist es, die Umsetzungsprozesse auf urbanen Standorten zu charakterisieren und den Stofftransport zu bestimmen. Neben den Standardverfahren wie Geoelektrik und ground penetrating radar (GPR), kommt die surface nuclear magnetic resonance (SNMR) zum Einsatz. Zur Untersuchung wurden zwei typische urbane Flächen ausgewählt. 1. Der Tiergarten, als eine großstädtische Parkanlage mit intensiver Nutzung durch Fußgänger, Freizeitsportler und Großveranstaltungen (Love Parade) und das Gelände Buch, welches auf ehemaligen Rieselfeldern am Stadtrand von Berlin liegt, auf denen bis in die 80er Jahre des 20. Jahrhunderts Abwässer ungeklärt versickert wurden. Der Boden ist dort hochgradig mit Schwermetallen und organischen Abfällen kontaminiert.

Um die langwelligen Inhomogenitäten zu untersuchen, wurden im Tiergarten eine DC-Geoelektrik Sektionsmessungen (Wenner) mit einem Meter Elektrodenabstand über eine Gesamtlänge von 370 m durchgeführt. Es zeichnet sich deutlich der Verlauf des Grundwasserspiegels in einer Tiefe von etwa 3 m ab. Des weiteren sind oberflächennahe Bereiche mit höherer Bodenfeuchtigkeit durch ihre geringeren spezifische Widerstände gekennzeichnet. Neben den Messungen auf dem Profil wurden auf der im Berliner Tiergarten eingerichteten Intensivfläche im Rahmen der geplanten Langzeitbeobachtungen hochauflösende DC (Elektrodenabstand 5 cm) und spektrale induzierte Polarisations (SIP)-Messungen durchgeführt. Die DC-Daten zeigen dabei eine vertikal inhomogene Widerstandsverteilung innerhalb der ersten 30 cm des Untergrundes. Dabei kann die vertikale Schichtung als Abfolge von Grasnarbe, Mutterboden und quartären Flußsanden interpretiert werden. Die Ergebnisse der im Herbst 2001 durchgeführten SIP Sektionsmessung (Elektrodenabstand 15 cm) zeigen lateral zwei Bereiche unterschiedlicher Widerstände und Phasen unterhalb des Mutterbodens.

Um für Radar Messungen in verschiedenen Tiefen Referenzpunkte zu haben, wurden zwei Metallplatten in 47 cm Tiefe und in 77 cm Tiefe eingebracht. Diese fest eingebrachten Reflektoren gewährleiten eine ausreichende Reflektion. Dadurch können Änderungen der Abstrahlcharakteristik bei Verwendung unterschiedlicher Antennen oder Veränderung der Bodenbedingungen wie Feuchte korrigiert werden. Zudem kann durch Migration eine erste Aussage über die örtliche integrale Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen getroffen werden. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte mit einer monostatischen Antenne, deren effektive Sendefrequenz bei ca. 850 MHz liegt.

Auf dem Gelände Buch konnten weiterhin erste erfolgreiche SNMR Messungen im stadtnahen Bereich durchgeführt werden. Mit dem Ziel, das Auflösungsvermögen im oberflächennahen Bereich zu erhöhen, wurde dabei eine für SNMR Messungen sehr kleine Auslage (Kreisspule, Durchmesser 24.2 m) verwendet. Konform mit Informationen aus Pegelmessungen zeigen die Inversionsergebnisse die Oberkante des Grundwassers in einer Tiefe von drei Metern mit einem Wassergehalt von etwa 15 Vol. % (mobiles Wasser). Die Abklingzeiten korrespondieren dabei im Bereich des Aquifers mit für diese Lokation typischen fein- bis mittelsandigem Material.

Müller, M., Yaramanci, U. (Berlin)

mamue@geophysik.tu-berlin.de

Interurban - Hochauflösende multimethodische Geophysik zur Bestimmung der Wasser- und Stoffdynamik urbaner Standorte (Überblick)

Stadtböden haben ein vergleichsweise geringes Alter, eine große Entwicklungsdynamik und sind durch eine hohe kleinräumige Variabilität gekennzeichnet. Gerade die letzten beiden Punkte sind bisher nur unzureichend untersucht. Hinzu kommen im Vergleich zu naturnahen Räumen größere Veränderungen der Umgebungsbedingungen wie hoher Stoffeintrag oder extremer Wasser-, Stoff- und Wärmehaushalt. Der Wasser- und Stofftransport, die räumliche Variabilität sowie Veränderungen im Oberboden sind daher die zentralen Fragestellungen der DFG Forschergruppe Interurban in Berlin. Hauptziel ist es, die Umsetzungsprozesse auf urbanen Standorten zu charakterisieren und den Stofftransport zu bestimmen. In der ersten Projektphase stehen vier Fragestellungen im Vordergrund: 1. Die Untersuchung der räumlichen Heterogenität von Bodeneigenschaften und ihrer Einflüsse auf Teilprozesse. 2. Der Einfluss biotischer und abiotischer Faktoren auf Eigenschaften der organischen Substanz. 3. Die Erfassung des Wasser- und Stofftransport von heterogenen Standorten und Übertragung auf die Fläche. 4. Die Erfassung der Wechselwirkung zwischen biotischen und abiotischen Faktoren und deren Rolle bei der Freisetzungsdynamik von Schadstoffen.

Aus diesen Zielen der Forschergruppe ergeben sich spezielle Anforderungen an die Geophysik: Die Entwicklung und Erprobung eines nichtinvasiven geophysikalischen Verfahrenskonzeptes zur verlässlichen Abbildung des Wasserhaushaltes und wichtiger Strukturparameter. Neben den Standardverfahren wie Geoelektrik und ground penetrating radar (GPR), kommt die surface nuclear magnetic resonance (SNMR) zum Einsatz. Mit SNMR ist erstmals von der Oberfläche aus eine direkte Ermittlung des Wassergehaltes und der effektiven Porengrößen möglich. Ziel dabei ist es die SNMR in Meß- und Auswertetechnik weiterzuentwickeln, um das Auflösungsvermögen im oberflächennahen Bereich zu erhöhen, sowie ein besseres Verständnis der gemessenen Amplituden und Abklingzeiten in Kombination mit NMR Labor-Messungen zu bekommen. Für die Geoelektrik und das GPR bedarf es den Einsatz neuer Verfahren zur Inversion und das optimierte Einbinden von time domain reflectometry (TDR) Messungen. Vor allem ist es notwendig, die grundlegenden Zusammenhänge zwischen den NMR-Parametern, der komplexen elektrischen Leitfähigkeit, des komplexen Dielektrizitätskoeffizienten und den Porenstrukturgrößen aufzudecken bzw. diese für die hier vorliegenden heterogenen Böden und Standortbedingungen zu spezifizieren, um die Feldmessungen in Strukturgrößen zu überführen.

Zur Untersuchung wurden zwei typische urbane Flächen ausgewählt. 1. Der Tiergarten, als eine großstädtische Parkanlage mit intensiver Nutzung durch Fußgänger, Freizeitsportler und Großveranstaltungen (Love Parade). Das Meßgebiet Tiergarten gliedert sich in zwei Teilbereiche: Zum Einen ein Profil, welches von einer der am stärksten befahrenen Straßen Berlins (Hofjägerallee) ca. 380 m in den Park hineinreicht. Zum Anderen eine Intensivfläche, auf der zusammen mit hochauflösender Geophysik und bodenphysikalischen Langzeitmessungen die kleinräumige Stoffdynamik bestimmt werden soll. 2. Das Gelände Buch liegt auf ehemaligen Rieselfeldern am Stadtrand von Berlin, auf denen bis in die 80er Jahre des 20. Jahrhunderts Abwässer Berlins ungeklärt versickert wurden. Der Boden ist dort hochgradig mit Schwermetallen und organischen Abfällen kontaminiert. Erste Ergebnisse geoelektrischer, SIP, GPR/TDR und NMR-Messungen von den ausgewählten Meßflächen geben deutliche Hinweise zu der notwendigen Optimierung der geophysikalischen Erfassung und der Interpretation.

Ruedas, T., Schmeling, H., Marquart, G. (Frankfurt/M.)

ruedas@geophysik.uni-frankfurt.de

Dynamische Modellierungen zur Schmelzmigration und Krustenbildung in einem Plume unter einem MOR

Die Entwicklung eines Mantelplumes, der durch den oberen Mantel unter einem spreizenden mittelozeanischen Rücken aufsteigt, und die Erzeugung und Migration von Schmelzen wird modelliert, unter Annahme druck- und temperaturabhängiger Mantelviskosität. Die Wechselwirkung zwischen Schmelzerzeugung und Mantelkonvektion wird durch Einbeziehung des Effekts der Schmelzenthalpie, der Dichtereduktion der Matrix durch Verarmung und Schmelzspeicherung und durch den Einfluß von Übergängen Al-haltiger Phasen auf Schmelzbildung und Temperatur berücksichtigt. Die Schmelzmigration wird explizit als poröse Strömung in einer deformierbaren Matrix bzw. als Fluß durch Kanäle oder Dikes modelliert, wobei der Auftrieb der Schmelze und dynamische Kräfte von Matrix-Schmelze-Wechselwirkungen eingehen.

Die Modelle, die sich in Plume-Überschußtemperatur, Viskosität und dem Schwellwert für die Extraktion der Schmelze unterscheiden, führen zu einer erheblichen Variabilität in der Menge der erzeugten Schmelze und der resultierenden Krustenmächtigkeit sowohl für normale Kruste als auch für Hotspot-Kruste. Die Krustendicke ist schon bei normalem Mantel deutlich vom Extraktionsschwellwert abhängig.

Zöllner, H. (Leipzig), Mayer, P. (Leipzig), Meyer, H.G.(Leipzig), Schikowsky, P.(Leipzig)

henning_z@web.de

Zum Einfluss von Schlickbedeckungen auf seeseismische Reflexionsmessungen

Große Teile vieler Binnenseen und Flachmeere sind mehr oder weniger stark von Schlicksedimenten bedeckt. Auf seismische Messungen können sie sich außerordentlich störend auswirken. Anhand von Fallbeispielen aus dem ufernahen Seegebiet der Ostsee im Bereich Mecklenburg-Vorpommerns wird untersucht, inwieweit diese Störeinflüsse systematisiert und physikalisch verstanden werden können. Dabei spielt der Einfluss der Durchgasung des Schlicks eine signifikante Rolle.

Folgende Erscheinungen ließen sich beobachten:

- sehr starke Absorption der seismischen Energie
- Entsehung von hochfrequentem Singing
- Laufzeitverzögerungen

Die daraus resultierenden Folgen auf die seismischen Messergebnisse sind:

- drastische Verschlechterung des Signal/Rausch-Verhältnisses, ausgeprägte Tiefpassfilter-wirkung
- Überlagerung der Nutzsignale mit hochfrequenten Störsignalen
- Abbildung von synklinalen Scheinstrukturen im Seismogramm

Als Ursachen der Erscheinungen werden angenommen:

- Die Durchgasung des Schlicks bewirkt eine erhöhte Absorption
- bestimmte Verhältnisse von Wasser- und Schlick-Mächtigkeit, verbunden mit einem starken Reflexionskoeffizienten beim Übergang von durchgastem Schlick zur Umgebung bewirkt ein ausgeprägtes Singing
- die sehr geringe P-Wellen-Geschwindigkeit vor allem in durchgastem Schlick führt zu beträchtlichen Laufzeiterhöhungen

Als Vergleichsmessungen wurden Sedimentechogramme hinzugezogen, wobei die damit ermittelten Schlicklokationen gut mit den durch die Seismik ausgehaltenen Störlokationen korrelieren. Auf Grundlage der Sedimentechogramme wird versucht, das Zeitfeld für die statischen Korrekturen zu bestimmen.

Meßinger, J. (Freiberg)

Jens.Messinger@student.tu-freiberg.de

Problematik der Laufzeitermittlung bei tomographischen Untersuchungen mittels Georadar

Über tomographische Untersuchungen mittels Georadar als zerstörungsfreie Methode zur Bauwerksüberwachung ist noch wenig bekannt. Im Gegensatz zu Untersuchungen mit Ultraschall ist die Ankopplung der Sensoren (Antennen) an das Untersuchungsobjekt (Mauer, Säule) eher unkritisch, so dass die Möglichkeit gegeben scheint, Absolutwerte von Kenngrößen bestimmen zu können.

Die Grundlage für die Ermittlung von Kennwerten der Geschwindigkeit bzw. des Q-Faktors bildet eine exakte Laufzeitbestimmung. Deshalb bestand zunächst die Aufgabe, systematische Untersuchungen zum zuverlässigen automatischen Picken von Ersteinsätzen durchzuführen. Dazu waren sowohl die Hardware-Einflüsse, die einen Gerätegang bzw. Datensprünge verursachen als auch praktikable Ansätze für eine geeignete Abriss- bzw. Schwellwertdefinition zu studieren.

Abb. 1 zeigt das Ergebnis eines einfachen Signaltests bei ruhenden Antennen im Abstand von 0 m bzw. 1 m in Luft. Zwischen den drei Spurgruppen wurde die Messung jeweils unterbrochen, um den Antennenabstand zu verändern.

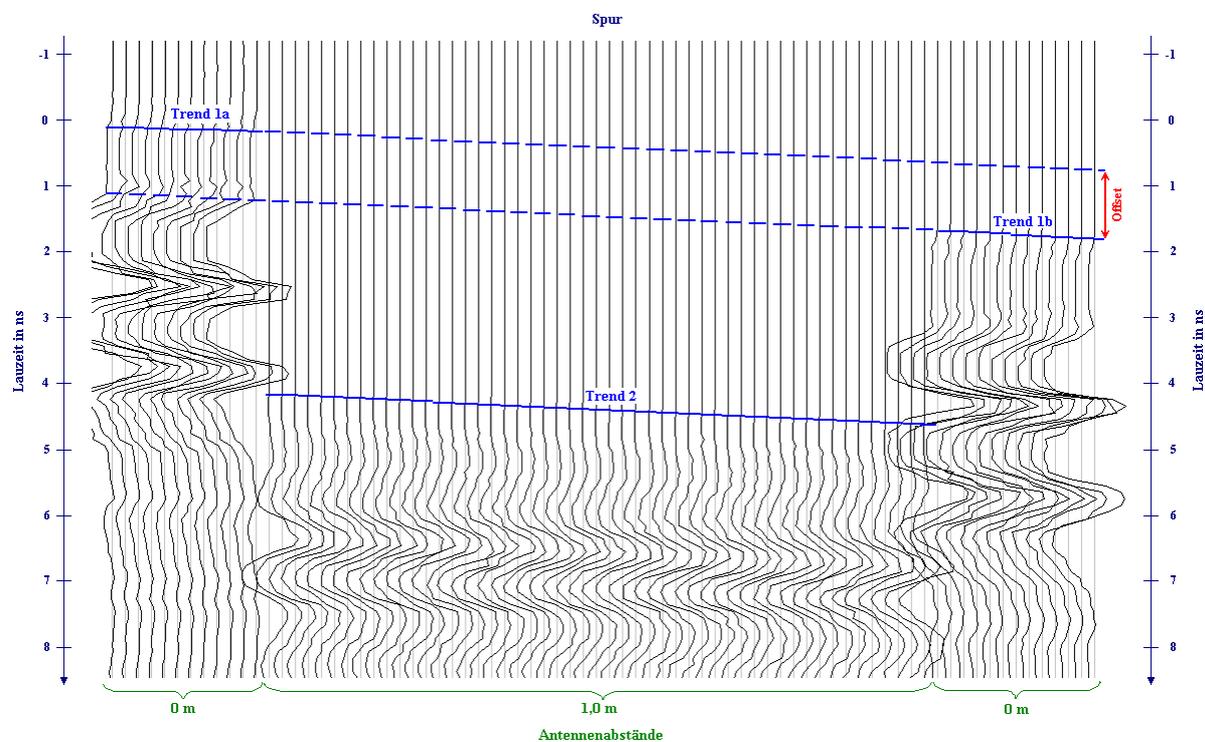


Abb. 1: Signaltest bei unterschiedlichem Antennenabstand

Anhand dieser Spurfolge werden wesentliche Probleme der Laufzeitermittlung deutlich:

- ein als Trend gekennzeichnete Gerätegang, der zumindest zum Teil auf eine Erwärmung der Apparatur im Verlauf der Messung zurückzuführen ist,
- ein als Offset bezeichneter Laufzeitsprung zwischen den Trends 1a und 1b, der durch den elektronischen Schaltvorgang zur erklären ist und
- die Schwierigkeit, anhand von Schwellwerten einen geeigneten Abrissmoment bzw. den Ersteinsatz zu definieren.

Neben der Vermeidung der aufgeführten Hardware-Probleme galt es vor allem einen zuverlässigen Algorithmus zur korrekten Laufzeitbestimmung zu finden. Während die Hardware-Einflüsse auf der Basis einer angepassten Messtechnologie zu beherrschen sind, erfordert die exakte Laufzeitbestimmung grundlegende fehlerstatistische

Untersuchungen. Von den bekannten Verfahren zum automatischen Picken von Signaleinsätzen erwies sich der STA/LTA-Algorithmus als besonders geeignet, da er unabhängig von der Signalform ist und gut mit manuell gepickten Einsätzen zu vergleichende Ergebnisse liefert. Abb. 2 zeigt den Vergleich der Pick-Ergebnisse auf der Basis unterschiedlicher Schwellwertdefinitionen. Nur der STA/LTA-Algorithmus eignet sich für eine hochgenaue Laufzeitbestimmung, die unabhängig von dynamischen Signalveränderungen ist.

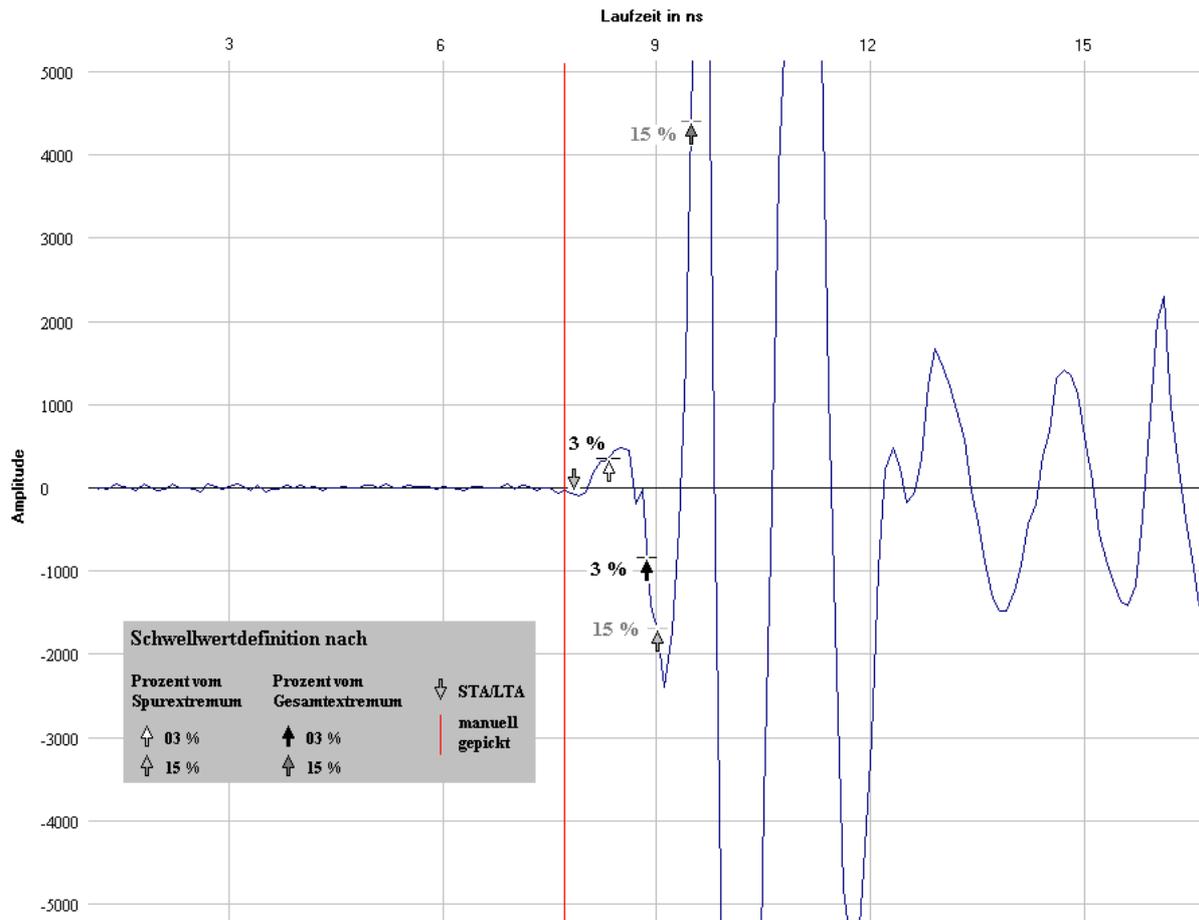


Abb. 2: Pick-Ergebnisse für unterschiedliche Schwellwertdefinitionen

Von grundsätzlicher Bedeutung für eine Absolutwertbestimmung der Laufzeit ist schließlich die Definition eines geeigneten Referenzsignals, das den Abrissmoment liefert. Dazu sind weitere Studien an Testobjekten erforderlich.

Mittag, R. (Freiberg)

mittag@geophysik.tu-freiberg.de

Fractal analysis of earthquake swarms of Vogtland/NW-Bohemia intraplate seismicity

The special type of intraplate microseismicity with swarm-like occurrence of earthquakes within the Vogtland/NW-Bohemian Region is analysed to reveal the nature and origin of the seismogenic regime. A long-term data set of continuous monitoring since 1962, including more than 26 000 events over a range of about 5 units of local magnitude, provides an unique database for statistical investigations. Most earthquakes occur in narrow hypocentral volumes (clusters) within the lower part of the upper crust, but also single event occurrence outside of spatial clusters is observed. Temporal distribution of events is predominantly concentrated in clusters (swarms), lasting some days until a couple of month for strong swarms. After checking for fractal behaviour, b-value and fractal dimension of spatial and temporal distribution of earthquakes were determined for several spatial and temporal clusters. Calculated values of seismicity parameters show hardly differences between spatial clusters and suggest a common seismogenic origin for the whole region, which leads to an uniform character of seismotectonic regime. This suggestion is supported by the spectrum values of fractal dimensions. Except for spatial distribution of hypocentres, spectre do not indicate multifractal behaviour and reflect a homogenous character of seismicity. Only significant decrease of fractal dimension values of temporal event distribution while the last swarm in autumn 2000 within the main cluster reveals a stronger degree of clustering and suggest a change in seismogenic regime of the most active cluster of the region. To find characteristic parameters for swarm-like and intraplate tectonic seismicity, results of parameter estimation were compared with an adequate data set of mining-induced seismicity within a nearby mine. Similar dimension values of epicentre distribution reflect the linear configuration along faults, whereas significant deviations of b-values and dimension values of temporal event distribution between that two regions could be used to characterize intraplate seismicity with swarm-like occurrence.

Musson, R.M.W. (British Geological Survey)

R.Musson@bgs.ac.uk

New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Chapter 12: Intensity and Intensity Scales

The section on macroseismic observations in the original Manual of Seismological Observatory Practice was a short thirteen pages, mostly given over to reproducing intensity scales already in print elsewhere or the reproduction of sample forms for use in data gathering. This may have reflected a relatively low degree of interest in macroseismic studies at that period (the 1970s). Since then, macroseismology has increased rapidly in importance as a result of the widespread need for studies of seismic hazard and risk. Hazard studies require earthquake catalogues; earthquake catalogues require historical data, and historical data can only be processed using macroseismic procedures, which in turn have to be correlated using modern data. Also, because intensity attenuation is effectively a measure of the distribution of the social effects of earthquakes (chiefly damage) as a function of magnitude and distance, it is itself of importance in the estimation of seismic risk. Procedures for handling macroseismic data have been greatly developed since the 1970s, and the very large amount of work that went into the creation of the European Macroseismic Scale (EMS-98, updated MSK scale) was a big step forward in bringing macroseismic methods up to the standards needed for the new century. As a result, the contents of the Manual as regards intensity and intensity scales needed thorough revision every bit as much as other sections. One of reasons that macroseismology has been regarded as something of a poor relation of

instrumental seismology in the past has been a perceived problem of subjectivity in procedures. As much as anything else, this has been due to a total absence of explicit guidelines as to precisely how intensity scales should be used. With the thorough documentation incorporated in the EMS-98, and the detailed explanations given in the chapter "Intensity and Intensity Scales" in the New Manual of Seismological Observatory Practice, subjectivity and poor procedures should be much less of a problem in the future in this area of seismology.

Neunhöfer, H. (Jena)

Seismometrie und Seismologie in Jena mit der besonderen Sicht auf die zur Zeit der DDR vorgegebenen Bedingungen

Am Anfang stehen in Jena seismometrische Arbeiten, die bis ins Jahr 1899 zurückreichen. Seismologische Forschungen setzen später ein; sie erhalten mit der Gründung der Reichsanstalt für Erdbebenforschung 1923 eine institutionell gesicherte Basis. In der langen Zeitspanne, die bis heute verstrichen ist, sind 41 Jahre enthalten, in denen äußere Randbedingungen durch die Existenz der DDR gesetzt wurden. Es wird berichtet über die wissenschaftlichen Schwerpunkte, die während jener Epoche bearbeitet worden sind: Seismometrie, Makroseismik und Mikroseismik, letztere mit teleseismischen Auswertungen, der Überwachung lokaler Erdbeben, der Interpretation von Oberflächenwellen und der Anwendung auf Ingenieuraufgaben. Ebenso ausführlich wird versucht, am Beispiel der Jenaer Institution aufzuzeigen, wie in der zentralistisch agierenden DDR die Bedingungen dieser Forschungen beeinflusst worden sind und wie beteiligte Menschen reagiert haben.

Niederleithinger, E. (Berlin), Weller, A. (Clausthal)

Ernst.Niederleithinger@bam.de

Messung der Spektralen Induzierten Polarisation (SIP) an Mauerwerksziegeln - Ansätze zu einer neuen Prüfmethode.

In der Geophysik wird seit einiger Zeit das Verfahren der "Spektralen Induzierten Polarisation (SIP)" eingesetzt, um nähere Informationen über die Art, Struktur und Zustand des Untergrundes zu erhalten. Die Methode beruht auf der Messung des komplexen spezifischen elektrischen Widerstands im Frequenzbereich zwischen 1 mHz und 10 kHz. Einsatzgebiete sind primär die Erzexploration und die Umwelt- und Ingenieurgeophysik.

Die SIP kann aber auch neue Möglichkeiten beim Einsatz elektrischer Verfahren in der Bauwerksuntersuchung eröffnen. So lassen sich beispielsweise Materialunterschiede von Feuchteinhomogenitäten trennen, was mit konventioneller Widerstandsmessung nicht möglich ist. Ebenfalls denkbar ist eine Detektion kontaminierter Bereich im Mauerwerk oder ein Einsatz im Denkmalschutz.

Vorgestellt werden das Verfahrensprinzip, die Messtechnik und erste Ergebnisse von Messungen an Mauerwerksziegeln. Es zeigte sich, dass die Gleichstromleitfähigkeit primär von der Feuchte des Materials abhängig ist. Die Phasenwerte sind gering, aber für verschiedene Mauerwerksziegel z. T. signifikant unterschiedlich. Insbesondere bei hohen Messfrequenzen und geringen Leitfähigkeiten treten elektromagnetische Störeffekte auf.

Wassermann, J., Ohrnberger, M. (Potsdam)

Lokalisierung von MP- und Gesteinslawinenereignissen am Vulkan Merapi

Die Seismizität am Vulkan Merapi ist gekennzeichnet durch vier hauptsächlich auftretende Ereignistypen. Die Signalklasse der Volcano-Tectonic-Events VT-A und VT-B zeichnen sich durch ein meist gutes Signal/Rausch Verhältnis aus und lassen sich, zumindest zum Teil, durch die Ausnutzung von kohärenten Phasen unter Zuhilfenahme der verschiedenen am Merapi installierten Arrays lokalisieren. Demgegenüber stellen die weitaus häufiger auftretenden Signale der Many-Phases-Events und die Signale, die während Gesteinslawinen gemessen werden bis hin zu den eigentlichen pyroklastischen Strömen nur schwer zu ortende Ereignisse dar. Diesen beiden letzteren Signalklassen ist gemeinsam, dass sie beide oberflächennah erzeugt werden. Unter der Annahme, dass das von Wegler und Lühr (2001) vorgestellte Diffusionsmodell in guter Näherung den tatsächlichen Streueigenschaften des Vulkans entspricht, wird gezeigt, dass unter Zuhilfenahme eines experimentell bestimmten effektiven Streukoeffizienten eine Positionsbestimmung über Amplituden-Abnahme-Kurven dieser Signalklassen möglich ist. Dies findet insbesondere in der möglichen nahezu Echtzeit Bestimmung der Laufwege von großen pyroklastischen Strömen Anwendung im Monitoringbereich.

Roth, M., Oye, V. (Kjeller)

michael@norsar.no

Automatische Lokalisierung mikroseismischer Ereignisse

Die Produktion von Erdöl- und Erdgaslagerstätten ist mit mikroseismischer Aktivität verbunden. Änderungen des Porendruckes und des lokalen Spannungsfeldes können zur Bildung von neuen Rissen führen oder bestehende Bruchzonen im Reservoir aktivieren. Das Monitoring der damit verbundenen mikroseismischen Ereignisse bietet die Möglichkeit den strukturellen Aufbau des Reservoirs aufzulösen, bzw. dynamische Vorgänge im Reservoir (z. B. Fluidbewegungen) zu beobachten. In den letzten Jahren wird die Instrumentierung von Lagerstätten immer weiter vorangetrieben. Ein Schwerpunkt hierbei ist die Entwicklung von Seismometern zur permanenten Installation (für mehrere Jahre) in Produktionsbohrungen oder eigens dafür reservierten Beobachtungsbohrungen. Die Langzeitbeobachtungen von seismischer Aktivität im Zusammenhang mit Produktionsparametern (Fansörderrate, Fördermethode, Injektionsrate, etc.) kann wichtige Informationen zur Produktionsoptimierung und zur Vermeidung möglicher Risiken liefern. Monitoring von mikroseismischen Ereignissen wird auch zur Kontrolle von Hydrofracturing eingesetzt. Bei Hydrofracturing werden Fluide unter sehr hohem Druck verpresst mit dem Ziel Barrieren im Gestein zu zerbrechen und neue Fließwege zu eröffnen. Seismisches Monitoring während des Hydrofracturings ermöglicht es den Fortschritt des Experimentes mitzuverfolgen indem die räumliche und zeitliche Verteilung der Mikrobenen in Echtzeit bestimmt und dargestellt wird.

In einem jetzt zweijährigen Projekt bei NORSAR haben wir ein Softwarepaket zur automatischen Lokalisierung mikroseismischer Ereignisse entwickelt. Das System ist für den Fall von 3-Komponenten Registrierungen in einer oder mehreren Bohrungen konzipiert. Es beinhaltet Module zur interaktiven Eingabe der Geophonpositionen, der Datenformate, des Geschwindigkeitsmodelles und der technischen Parameter der einzelnen Prozessierungsschritte. Des weiteren bietet es die Möglichkeit zur Kalibrierung der Komponenten einzelner Geophone; im Normalfall ist die Orientierung der Bohrlochgeophone nicht bekannt. Die Hauptelemente des Prozessings sind Detektion, Bestimmung der P- und S-Laufzeiten, Polarisationsanalyse und Lokalisierung. Die Detektion basiert auf der Auswertung des Signal/Noise-Verhältnisses für eine frei wählbare Anzahl von Geophonen. Die Bestimmung der Laufzeiten beruht auf einer Fehlervorhersagefilterung. Die entsprechenden Filterkoeffizienten werden aus einem autoregressiven Model für die aktuelle Noisecharakteristik bestimmt. Die Polarisationsanalyse des P-Einsatzes liefert den Azimuth und den Einfallswinkel, die zum einen direkt in die Lokalisierungsroutine eingehen und zum anderen für die Verbesserung des Signal/Noise-Verhältnisses der S-Welle verwendet werden. Für die Lokalisierung stehen zwei Methoden zur Verfügung. Eine einfache und robuste Inversion unter der Annahme eines homogenen Geschwindigkeitsmodelles und ein gerichteter Gridsearch für ein beliebiges 3D Geschwindigkeitsmodell.

In einer ersten Anwendung haben wir einen Hydrofracturing Datensatz prozessiert. Die Daten wurden mit 12 3-Komponenten Geophonen während eines einstündigen Experimentes kontinuierlich mit einer Samplingrate von 0.5 ms aufgezeichnet. Insgesamt traten in diesem Zeitraum in etwa 1000 mikroseismische Ereignisse auf. Von diesen konnten in etwa 300 mit einer relativen Genauigkeit besser als 5% lokalisiert werden. Die gut lokalisierten Ereignisse zeigen sowohl räumliche als auch zeitliche Gruppierungen. Die Bearbeitung des Datensatzes konnte in Echtzeit durchgeführt werden.

Pedersen, J.M. (Copenhagen), Rybarczyk, G. (Hannover), Sabra, H. (Copenhagen)

Petrologic@aol.com

Attenuation Cube for Gas Detection

When the seismic waves propagate through the subsurface the waves are attenuated. This is effecting the amplitude, the frequency content and the phase of the seismic wave. In this paper we will look at the frequency change in the seismic data due to the attenuation. Several factors have influence on the frequency attenuation and it is well-known that presence of gas gives rise to large attenuation in the P-waves.

The method used here is a recently developed spectral shift method based on the changes in mean frequency. The attribute used is attenuation rather than mean frequency as attenuation is a layer property, i.e. independent of the overburden. An advanced low pass filtering of the mean frequency is used, and the actual distribution of the estimated mean frequency values is used in the filtering ensuring that the attenuation estimate is not biased. The method does not segment the data so there are no artificial boundaries in the result.

Case studies

The presentation is illustrated with examples of practical work where attenuation is used for gas detection. On the next page are plots from a case where AVO seismic data are available and AVO inversion for acoustic impedance and Poisson's ratio has been performed. From these data the probability of different lithologies and fluids is estimated. Therefore it is possible to compare the prediction for gas based on attenuation with an independent prediction from seismic inversion. As it is seen on the plots the results are very close. Figure 1 shows the prediction from the attenuation calculation utilizing the frequency changes in the seismic data. Figure 2 shows the prediction from The Lithology Cube utilizing the amplitudes in the seismic data.

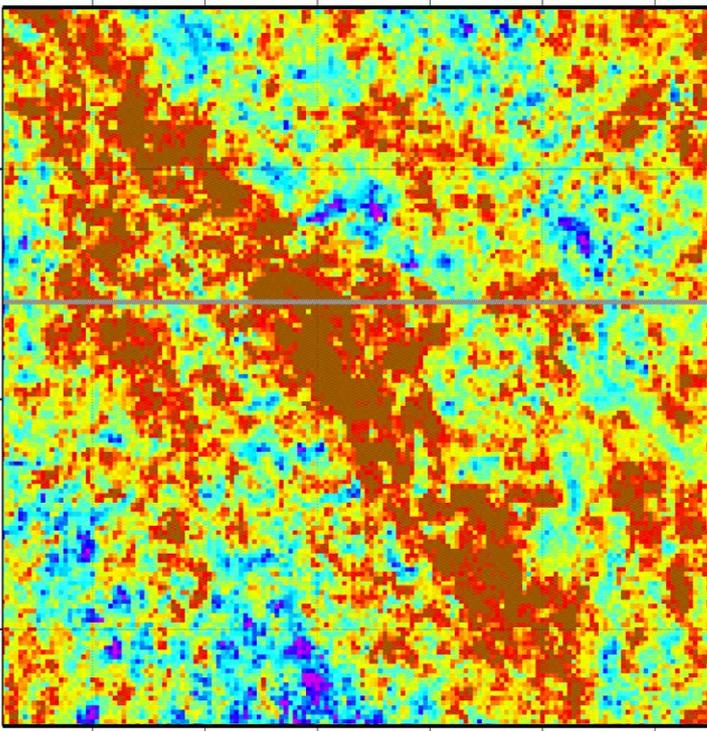


Figure 1. Time slice from the attenuation cube. The dark red colours show high attenuation. The correlation with the predicted gas sand in Figure 2 is good.

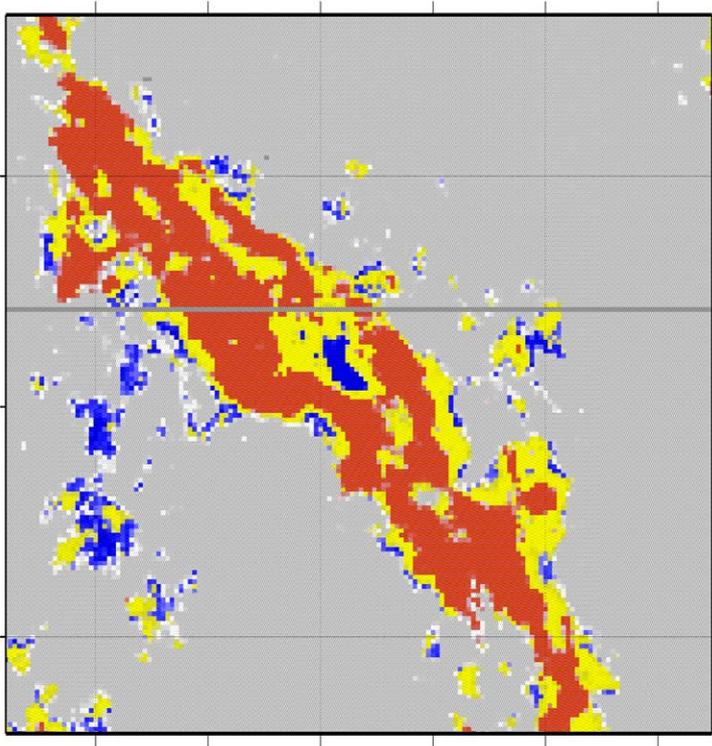


Figure 2. Time slice from the Lithology Cube. The Lithology Cube is utilizing the seismic AVO data through seismic inversion to perform direct lithology and fluid prediction. The red colours seen as a diagonal show the gas sand, the yellow just around the gas sands is oil sand, the large grey areas are shale and brine filled sand is blue.

Pelzing, R. (Krefeld)

rolf.pelzing@gd.nrw.de

Seismizität und Erdbebengefährdung in der Niederrheinischen Bucht

Die Niederrheinische Bucht ist eines der Haupterdebebengebiete Mitteleuropas. In historischer Zeit ist es immer wieder zu schadenverursachenden Erdbeben mit Intensitäten bis VIII (MSK-Skala) gekommen. Seit 1980 betreibt der Geologische Dienst Nordrhein-Westfalen in diesem Gebiet ein Erdbebenstationsnetz von zurzeit 10 Stationen. Etwa 800 Beben wurden in diesem Zeitraum in der Niederrheinischen Bucht und den angrenzenden Gebieten des Rheinischen Schiefergebirges registriert und lokalisiert (Abb. 1).

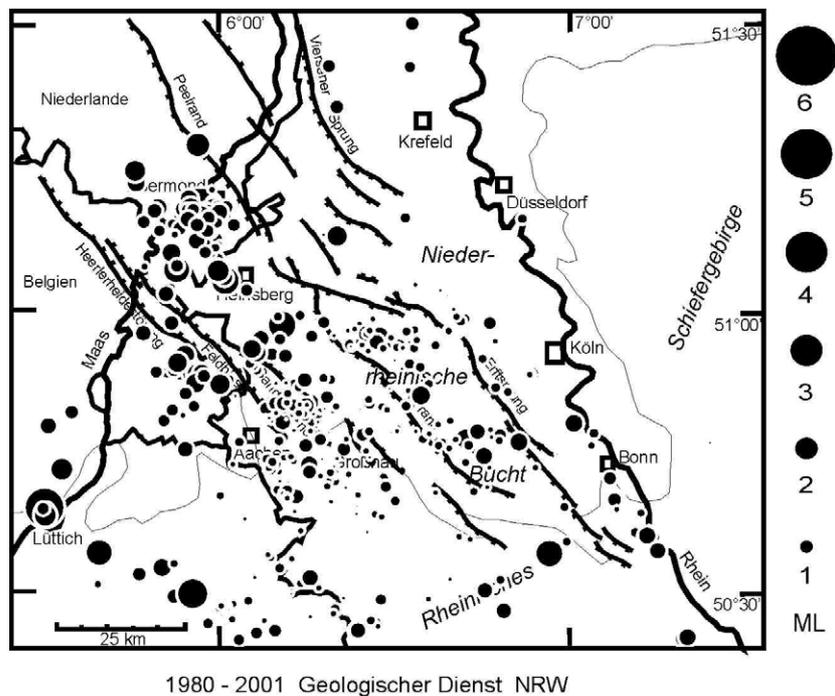


Abb. 1: Epizentren in der Niederrheinischen Bucht und Umgebung seit 1980 (lokalisiert mit Daten des Erdbebenstationsnetzes des Geologischen Dienstes Nordrhein-Westfalen).

Für die Berechnung der Erdbebengefährdung bei langen Wiederkehrperioden – z.B. 10.000 Jahre – sind die aus historischen Berichten und instrumentell bestimmten statistischen Bebenhäufigkeiten unter Annahme einer plausiblen Maximalmagnitude zu höheren Magnitudenwerten zu extrapolieren. Eine andere Möglichkeit ist die Annahme von charakteristischen Beben in einem begrenzten Magnitudenbereich. Aus geologischen Untersuchungen ist bekannt, dass die Verschiebungsraten der aktiven Verwerfungen seit der Hauptterrassenzeit im Mittel etwa 0,05 mm pro Jahr betragen. Wenn alle tektonischen Bewegungen episodisch in Form von Erdbeben ablaufen, ist bei gegebener Magnituden-Häufigkeitsbeziehung ein maximaler Magnitudenwert dadurch definiert, dass bei diesem Wert die tektonische Verschiebungsraten gleich der kumulativen seismischen Verschiebungsraten ist. Die Gesamtlänge aller primären Verwerfungen der Niederrheinischen Bucht beträgt etwa 470 km, der seismogene Tiefenbereich wird mit 20 km angesetzt. Als Magnituden-Häufigkeitsbeziehung wurde ein Gutenberg-Richter-Modell mit einem daran stetig anschließenden Bereich charakteristischer Beben gewählt. Der a- und b-Wert wurden aus den instrumentellen Daten ermittelt ($a=2,0$; $b=0,8$). Der charakteristische Bereich mit einer vorgegebenen Breite von 0,5 Magnitudeneinheiten liegt so, dass an seiner Obergrenze tektonische und seismische Verschiebungsraten gleich sind. Die maximale Momentmagnitude beträgt dann 6,9. Eine Bebenstärke innerhalb des charakteristischen Bereiches tritt im Mittel alle 1500 Jahre auf (Abb. 2).

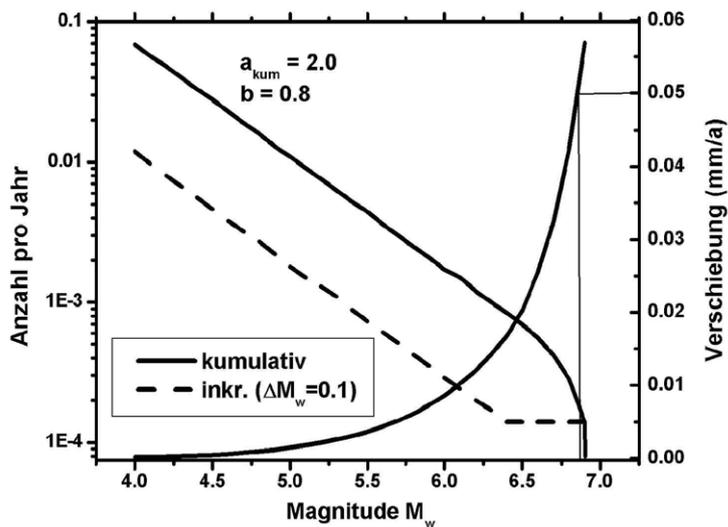


Abb.2: inkrementelle und kumulative Magnituden-Häufigkeitsbeziehungen mit charakteristischem Bereich, die zu einer Verschiebung von 0,05 mm pro Jahr führen.

Ähnliche Häufigkeiten sind – umgerechnet auf die gesamte Niederrheinische Bucht - auch bei paläoseismischen Untersuchungen in Belgien gefunden worden (Vanneste et al. 2001). Der Geologische Dienst Nordrhein-Westfalen führt zurzeit an mehreren Lokationen in der Niederrheinischen Bucht ebenfalls paläoseismische Untersuchungen durch. Die Untersuchungen werden voraussichtlich Ende 2002 abgeschlossen.

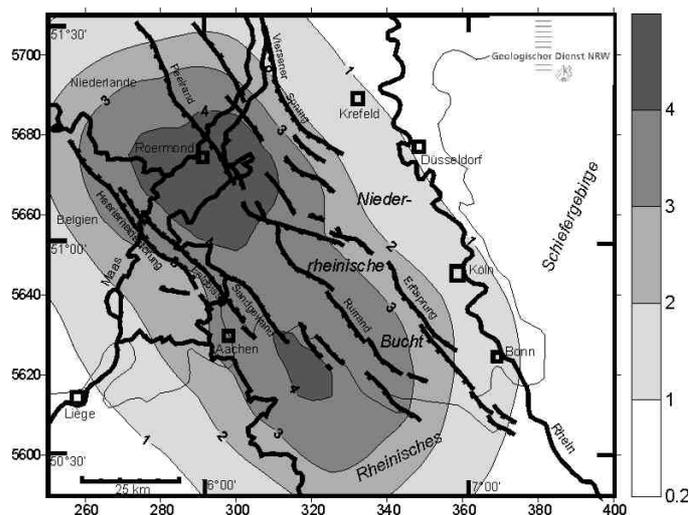


Abb.3: Horizontale Spitzenbeschleunigungen in m/s^2 für eine Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren bei Verwendung der Magnituden-Häufigkeit-Beziehung aus Abb. 2 und der Abklingkurven SEA99. Die aktiven Verwerfungen sind die möglichen Herdlokationen.

Wenn die Annahme zutrifft, dass alle tektonischen Bewegungen episodisch über Erdbeben ablaufen, kann man aus der geographischen Lage der Verwerfungen und der Magnituden-Häufigkeitsbeziehung aus Abb. 2 unter Verwendung der Abklingkurven SEA99 (Spudich et al. 2000) standortbezogene horizontale Spitzenbeschleunigungen für verschiedene Wiederkehrperioden berechnen. Abb. 3 zeigt ein Beispiel für 10.000 Jahre: Es werden Beschleunigungswerte bis $4,2 m/s^2$ erreicht.

Lit.:

- Vanneste, K., K. Verbeeck, T. Camelbeeck, E. Paulissen, M. Meghraoui, F. Renardy, D. Jongmans, and M. Frechen (2001). Surface rupturing history of the Bree fault scarp, Roer Valley graben: Evidence for six earthquakes since the late Pleistocene. *Journal of Seismology* 5, 329-359.
- Spudich, P., W. B. Joyner, A. G. Lindh, D. M. Boore, B.M. Margaris, and J. B. Fletcher (1999). SEA99: A revised ground motion prediction relation for use in extensional tectonic regimes. *Bull. Seism. Soc. Am.* 89, 1156-1170.

Pucher, R., Rolf, C. (GGA, Hannover)

r.pucher@gga-hannover.de

Eine magnetische 3D-Modellierung zur Struktur der Grube Messel

Die eozäne Fossilfundstätte Grube Messel auf dem Sprendlinger Horst bei Darmstadt verdankt ihre Existenz den bituminösen Tonsteinen ("Ölschiefer"); diese Süßwassersedimente wurden in der Zeit von 1859 bis 1971 abgebaut und zu Öl verschwelt. Die heutige Grube Messel bildet eine topographische Hohlform mit einem Durchmesser von ca. 750 m Durchmesser und etwa 60 m Tiefe. Zur Klärung ihrer Struktur und Genese wurden in jüngster Zeit umfangreiche geophysikalische Untersuchungen durch das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben und die Universität Mainz durchgeführt. Diese ergaben, dass die Grube Messel mit einer negativen gravimetrischen und magnetischen Anomalie verknüpft ist. Reflexionsseismische Messungen konnten die Verhältnisse der Krustenstruktur klären. Erste Modelle zur Interpretation der negativen magnetischen Anomalie gingen von einem vulkanischen Gesteinskörper unterhalb der Seesedimente mit einer zum heutigen Erdmagnetfeld antiparallelen Magnetisierungsrichtung aus

Mit den Ergebnissen der Geophysik wurde die Lokation für eine Forschungsbohrung im Zentrum der Struktur festgelegt. Sie wurde im Sommer 2001 abgeteuft und hat eine Endteufe von 433 m erreicht. Die Bohrung hat mit den erbohrten Tuffen den vulkanischen Ursprung der Struktur Messel bestätigt. Die ersten gesteinsmagnetischen Messungen an Kernproben haben eine etwa 60 m mächtige Schicht mit invers gerichteter starker Remanenz festgestellt.

Auf der Grundlage der Kern- und Bohrlochmessungen und unter Berücksichtigung der seismischen Struktur wird ein magnetisches 3D-Modell entwickelt. Es soll u.a. die Frage klären, ob das erbohrte Tuffpaket die gesamte magnetische Anomalie hervorruft.

Rolf, C., Pucher, R., Schulz, R., Wonik, T. (Hannover)

c.rolf@gga-hannover.de

Erkenntnisse über die Ablagerungsbedingungen phreatomagmatischen Materials aus Bohrloch- und Kernmessungen in der Forschungsbohrung Messel 2001

Erst umfangreiche geophysikalische Untersuchungen des GGA-Institutes und der Universität Mainz brachten Klarheit über die Genese des vor 49 Millionen Jahre gebildeten Eozän-Vorkommens Messel, das als Weltkulturerbe der UNESCO eine herausragende Stellung als Fossilienfundstätte einnimmt. Der Messel-See war ein durch vulkanische Explosionen entstandener Maarsee. Diese Voraussagen konnten durch eine im Sommer 2001 u.a. mit Mitteln des GGA-Institutes abgeteufte Forschungsbohrung ins Zentrum der Messel-Formation eindrucksvoll bestätigt werden.

Messungen der Suszeptibilität, des Magnetfeldes und der Magnetisierung an Bohrkernmaterial und im Bohrloch bestätigen, dass ein magnetisch wirksamer Störkörper erbohrt werden konnte, der aus Pyroklastika aufgebaut wird. Die Pyroklastika (Tuffe) besitzen eine bis zu 10 A/m starke inverse Magnetisierung. Interessanterweise sind die Tuffe in ihrer Stärke sehr unterschiedlich magnetisiert (Abb.) und nur ein Bereich von ca. 60 m liefert Beiträge zur negativen ΔF -Anomalie, die an der Erdoberfläche gemessen wird.

Entmagnetisierungs- und Aufheizexperimente an 1 Zoll-Tochterkernen liefern Hinweise auf unterschiedliche Ablagerungsbedingungen innerhalb der Pyroklastika. Der Bereich von 230 m bis etwa 305 m unter Gelände wurde bei Temperaturen deutlich unterhalb der Curie-Temperatur der als Träger der Magnetisierung nachgewiesenen (Titano)-Magnetite abgelagert. Das pyroklastische Material hat somit nur eine partielle Thermoremanenz (PTRM) erworben. Die Intensität der PTRM liegt deutlich unterhalb der Thermoremanenz des unterhalb von 305 m beginnende Bereichs der Pyroklastika, der bei Temperaturen oberhalb von 500 °C abgelagert wurde.

Die bei den Entmagnetisierungsexperimenten bestimmte mittlere Polarität der Magnetisierung ist invers und passt somit gut in die aus bisherigen Datierungen abgeleitete Ausbruchstätigkeit vor 49 Millionen Jahre (Ozeananomalie 21R). Die Inklination ist mit durchschnittlich -40° etwas zu flach für die, aus paläomagnetischen Polen für das Eozän abgeleitete mittlere Inklination von -50° für Mitteleuropa. Dies kann durch die rasche Abkühlung des phreatomagmatischen Materials und die kurze Dauer (einige bis Hunderte Jahre) der Ausbruchstätigkeit erklärt werden. Die Magnetisierungsrichtung ist durch die nicht herausgemittelte Säkularvariation etwas zu flach.

Gesteinsmagnetische Untersuchungen zur Frage der Korngröße der magnetischen Partikel runden die vorgestellte Arbeit ab.

Weitere Informationen zur Forschungsbohrung Messel:

[www.gga-hannover.de/aktuelle Ereignisse](http://www.gga-hannover.de/aktuelle_Ereignisse)

<http://www.senckenberg.uni-frankfurt.de/>

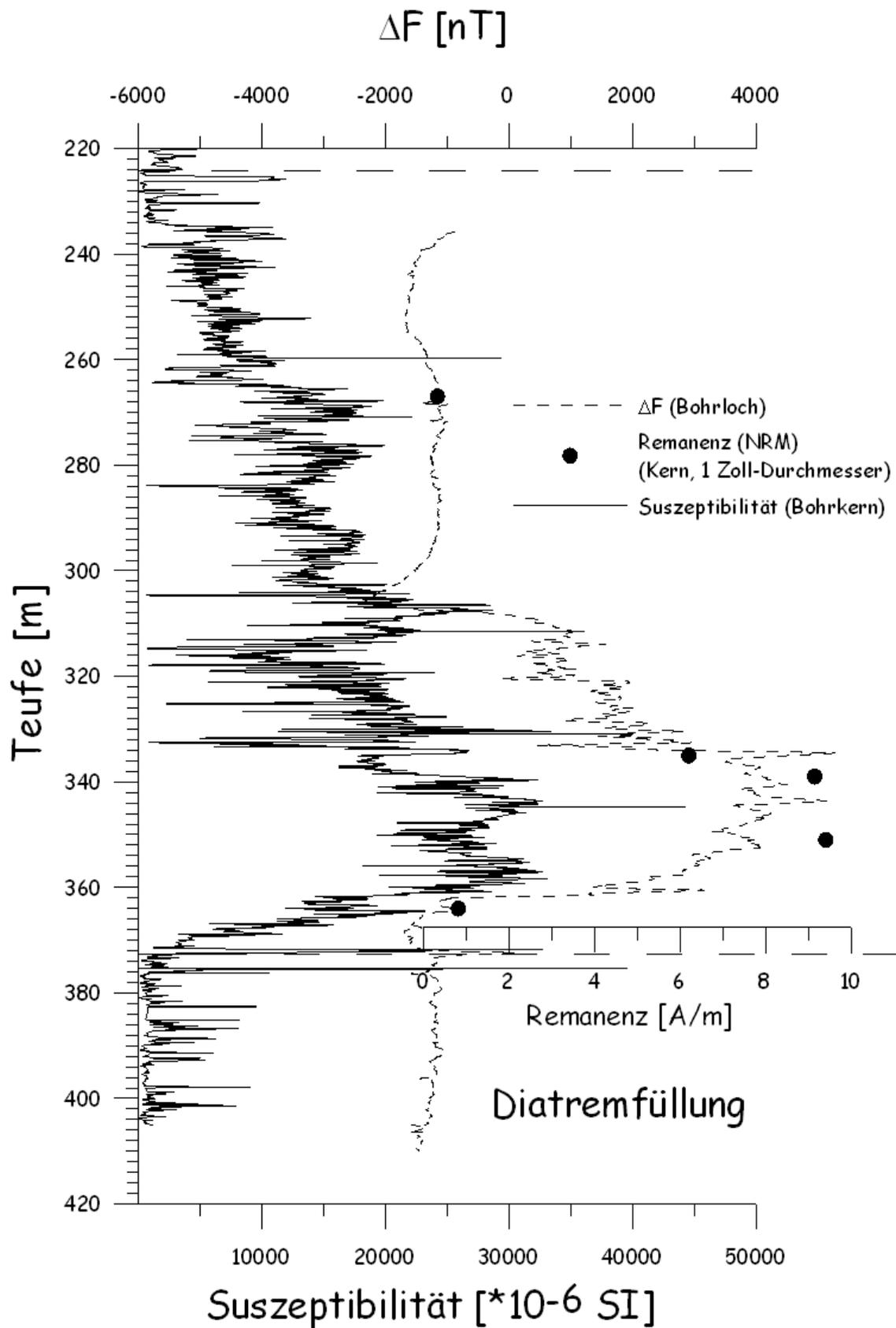


Abb.: Forschungsbohrung Messel 2001(Ausschnitt): Ergebnisse magnetischer Messungen im Bohrloch und an Bohrkernen.

Pulz, E. (Potsdam)

epulz@gfz-potsdam.de

A calibration facility for search coil magnetometers

A calibration facility for search coil magnetometers has been built at Niemegk Geomagnetic Observatory, GeoForschungsZentrum Potsdam. I describe here the commissioning of this facility. The usable frequency range of 10mHz to 100kHz enables calibration of all standard types of search coil magnetometer. The homogeneity is 0.1% up to the diameter of 10cm and up to a length of 2.50m. Extensive test measurements showed broad agreement with theoretical calculations made before construction. As part of the testing, all search coil magnetometers in the GFZ geophysical equipment pool were checked. Several devices showed serious malfunctions, emphasising the value of such a calibration facility. The calibration coil has been designed to be largely automatic, enabling non-specialists to operate it after short instruction. It can also be adapted to test other types of sensors with little effort (for example fluxgate magnetometers). As a result, the facility should be of broad use for external institutions to calibrate their instruments. This device closes a gap in Germany because there are a lot search coil magnetometers in use at several institutes without the possibility of calibration.

Purcaru, G. (Frankfurt/Main)

Quantification of Energetics of Large Earthquakes from Source Parameters

Many large earthquakes occur as complex processes with distributed inhomogeneities of variable strength and size. They also can occur in very different tectonic regimes. As a result, the released strain energy (E_{st}), seismic energy (E_s) and stress drop (average or localized) can

significantly vary in individual events having about the same static size. We characterize the energetic balance of an earthquake in terms of strain energy components analyzing 56 large earthquakes with $M_w \geq 7$, with reasonably reliable source parameters. Making use of: (1) the extended Hamilton's principle which considers the nonconservative forces and any forces not accounted for in the potential energy function and (2) realistic assumptions on stress drop, we estimate E_{st} using the approach of Purcaru (1997). The analyzed events are of type: thrust-interplate, shallow in-slab, continental, slow/tsunami and deep earthquakes. We found that in the E_{st} release budget: (1) the largest seismic energy is radiated by deep, shallower in-slab and some continental events, where the material is most likely very brittle, (2) the interplate shallow thrust events in subduction regime show a relatively balanced partition of the radiated E_s and E_g (fracture energy), and consequently a reference class relatively to $E_s = E_g$ was defined, and (3) small E_s , and much larger E_g , is radiated by slow or tsunamis that usually rupture the uppermost part of the subduction interface. An analysis in terms of strain energy magnitude M_E , seismic energy magnitude M_e , moment magnitude M_w , and stress drop show similar disparities. Also, the average static stress drop of shallow earthquakes can not be taken as constant since of its significant variation, which confirms Purcaru and Berckhemer (1978). From the use of the stress drop of individual earthquakes, instead of a single fixed average stress drop for all events, it results that the heterogeneous distribution and the level of the localized stress drop is much important for the partitioning mode of released strain energy.

Rössler, D. (Leipzig)

dirk_roessler@hotmail.com

Tomografisches Auflösungsvermögen im Schwarmbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen

Die Region Vogtland/NW-Böhmen hebt sich durch das periodische Auftreten von Schwarmbeben entlang von tiefreichenden neotektonischen Störungszonen in Kombination mit subzentrem Vulkanismus, oberflächlich austretenden Mantelfluiden und andere geophysikalische Phänomene hervor. Als Ursache dieser Phänomene kommt ein Magmenreservoir tieferen Ursprungs am Übergang vom Erdmantel zur Kruste in Betracht. Von diesem entlang von Störungszonen aufsteigende Fluide verringern die Scherfestigkeit der Gesteine und lösen Schwarmbeben in einem überregionalen Spannungsfeld aus.

Zur Untersuchung dieser Erscheinungen kann eine Laufzeittomografie unter Einbeziehung lokaler seismischer Quellen Aufschluss über die 3-dimensionale (v_p)-und (v_p/v_s)-Verteilung im Bereich der Erdkruste einschließlich des Überganges zum Mantel geben und somit den Ursprung der beobachteten Phänomene klären helfen. Die Ergebnisse können außerdem zur Korrektur für die Erdkruste bei Durchführung einer Manteltomografie verwendet werden und deren Genauigkeit erhöhen. Die vorliegende Betrachtung beschäftigt sich mit dem Auflösungsvermögen einer solchen geplanten Lokalbebentomografie im Bereich Vogtland/NW-Böhmen.

Untersucht worden ist die tomografische Reproduzierbarkeit vorgegebener synthetischer Geschwindigkeitsmuster, die sich in ein realitätsnahes 1D Hintergrundmodell einfügen, welches refraktionsseismischen Messungen entnommen ist. Es wurde eine Empfängerverteilung gewählt, die neben 54 bereits vorhandenen, permanent installierten Seismometern auch 64 temporär aufzustellende Apparaturen berücksichtigt. Als Quellen fanden 12 häufig lokalisierte Epizentren natürlicher Beben sowie bis zu 138 Steinbruchsprengungen Verwendung. Insgesamt wurde die Tomografie für einen Körper mit einer Ausdehnung von 220 km x 180 km in horizontaler und 50 km in vertikaler Richtung durchgeführt und die Parameterdichte im Zentrum, dem Schwarmbebengebiet Vogtland/NW-Böhmen, gegenüber der Umgebung schrittweise erhöht.

Vorgestellt werden Inversionsergebnisse synthetischer Laufzeiten sowie Betrachtungen zu deren Verlässlichkeit. Die Verwendung von Steinbruchsprengungen garantiert eine besonders gute Reproduktion der Geschwindigkeitsverhältnisse in der Oberkruste bis in ca. 8 km Tiefe. Eine hohe Auflösung der Struktur des Übergangs von Erdkruste zum Mantel wird durch die Einbeziehung von Ereignissen mit großer Epizentralentfernung erreicht. Aufgrund erniedrigter P-Geschwindigkeiten des 1D Modells in der Mittelkruste hat die Tomografie für diesen Bereich nur eingeschränkt Aussicht auf Erfolg.

Radic, T. (Berlin)

Tino.Radic@t-online.de

Wirksame Unterdrückung von Störspannungen bei SIP-Messungen mittels Geoelektrischer Referenztechnik

Spektrale IP-Messungen werden in zunehmendem Umfang auch innerhalb von Stadtgebieten durchgeführt. Dort verstärkt auftretende technische Störspannungen können jedoch das Signal/Noise-Verhältnis, in Einzelfällen selbst bei kleinen Anordnungen, stark mindern. Dem mit einer verbesserten Ankopplung der Stromelektroden und mit längeren Messzeiten zu begegnen, sind enge Grenzen gesetzt.

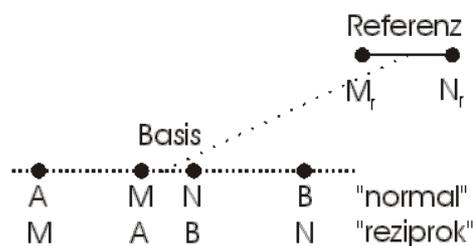
Genau in diesen Fällen ist der Einsatz der Geoelektrischen Referenztechnik besonders effizient. Abbildung 1 zeigt die Grundanordnung der Geoelektrischen Referenztechnik. Die klassische 4-Punkt-Geoelektrikanordnung wird ergänzt durch einen (oder mehrere) Noise-Monitor. Gemessen wird neben dem Strom I und der Spannung U_0 , zeitgleich die Referenzspannung U_r . Für eine beliebige Frequenz sei angenommen, dass sich die Spannungen an der Basis und an der Referenz aus 3 Anteilen zusammensetzen, je einem mit dem Strom und dem lokalen Störfeld korrelieren Anteil und dem Sonden-Noise:

$$U_0(\omega) = Z_0(\omega) I(\omega) + N(\omega) + \delta U_0(\omega) \quad (1)$$

$$U_r(\omega) = Z_r(\omega) I(\omega) + m^{-1}(\omega) N(\omega) + \delta U_r(\omega) \quad (2)$$

Fasst man (1) und (2) zusammen, dann gelangt man zu einer Bestimmungsgleichung für die Impedanz \tilde{Z}_0 und die Übertragungsfunktion m des Störfeldes N :

$$U_0(\omega) = \tilde{Z}_0(\omega) I(\omega) + m(\omega) U_r(\omega) + \delta U(\omega) \quad \text{mit} \quad \tilde{Z}_0 = Z_0 - m Z_r \quad (3)$$



Beide Übertragungsfunktionen können mittels einer bivariaten linearen Ausgleichsrechnung bestimmt werden. Ist das Störfeld an der Basis mit dem an der Referenz korreliert, dann ist die Impedanz genauer bestimmt als im univariaten Fall. Anhand von (3) wird aber auch deutlich, dass die geschätzte Impedanz prinzipiell verzerrt ist. Die Verzerrung wird minimiert ($Z_0 \gg m Z_r$), wenn die Referenz entweder weit genug entfernt vom Stromdipol (Z_r klein) oder, besser, wenn sie im Nahfeld der Quelle des Störfeldes ($m \ll 1$) platziert werden kann.

Störfeldes ($m \ll 1$) platziert werden kann.

Fallbeispiel Lübars (Berlin)

Das Untersuchungsgebiet liegt innerhalb einer Siedlung von Zweifamilienhäusern. Für die Messungen wurde eine reziproke Schlumberger Konfiguration gewählt (Abb. 1), weil diese die gleichzeitige (schnelle) Messung mit mehreren Spannungsdipolen erlaubt. Bei der reziproken Konfiguration verringert sich das Signal- zu Rauschverhältnis jedoch wesentlich schneller mit wachsender Auslagenweite als bei der normalen Anordnung.

Abbildung 2 zeigt die ohne und die mit Referenztechnik bestimmten Phasenspektren. Sowohl die uni- als auch die bivariate Impedanzschätzung, basiert auf der gleichen Registrierung. Ohne Berücksichtigung der Referenz macht sich das abnehmende S/R-Verhältnis, bei Auslagenweiten ab 4.22 m, in Form einer plötzlich auftretenden, stark anwachsenden Messwertstreuung bemerkbar. Diese ist in der Nähe von 50 Hz am stärksten. Mit der Referenztechnik ist die Streuung wesentlich kleiner und erreicht erst bei der größten verwendeten Auslagenweite relevante Ausmaße. Bei einer "normalen" Schlumberger Konfiguration wäre der Gewinn an Erkundungstiefe noch größer. Die geringere Streuung geht einher mit kleineren statistischen Messfehlern. Die erzielte relative Verbesserung ist in Abbildung 3, als Funktion der Auslagenweite und der Frequenz, dargestellt. Die größten Verbesserungen treten bei den am stärksten gestörten Frequenzen und den größten Auslageweiten auf, also in den Fällen, in denen es am dringlichsten ist. Es wird eine maximale Verbesserung um das 40-fache erzielt, ohne hierfür die Messezeit oder die Stromstärke zu erhöhen. Quantitative Abschätzungen und der Vergleich der Ergebnisse beider Auswertungsmethoden zeigen, dass die Verzerrung der Impedanz in diesem Beispiel vernachlässigbar gering

ist. Auf die Darstellung der Betragsspektren kann verzichtet werden, da die in den Frequenzcharakteristiken enthaltenen Informationen, bis auf den Wert der Gleichstromwiderstände, mit denen der Phasenspektren übereinstimmen.

Der in Lübars auftretende Wechsel in der Lithologie, von rein organischem Kompost (Deckschicht), zu unverfestigten tonarmen Sanden, ist in der Variation der Frequenzcharakteristiken deutlich zu erkennen. Bei einer Messung mit nur einer Frequenz, insbesondere 0.2 Hz, wäre dies nicht erkennbar gewesen.

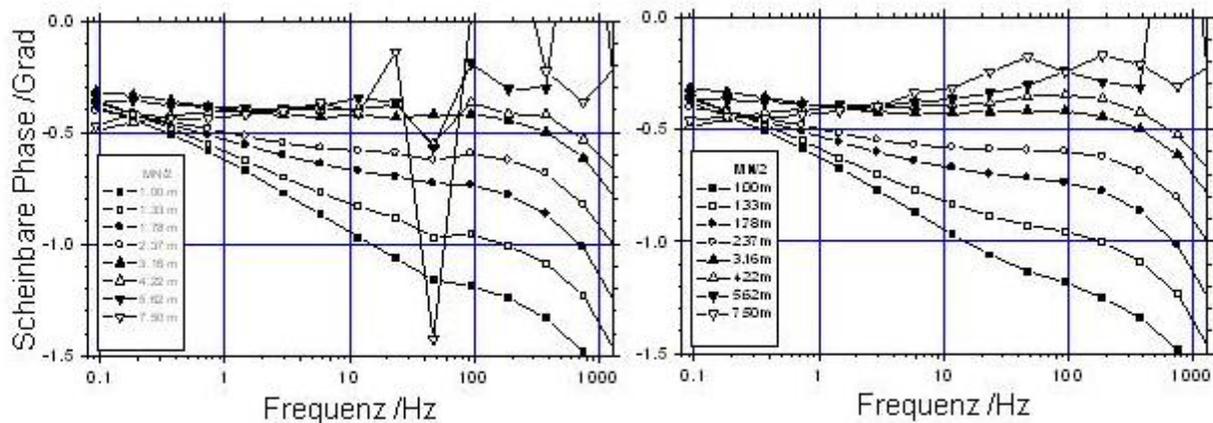


Abb. 2: In Lübars ohne (links) und mit Referenztechnik (rechts) gemessene Phasenspektren.

Abb. 2: In Lübars ohne (links) und mit Referenztechnik (rechts) gemessene Phasenspektren.

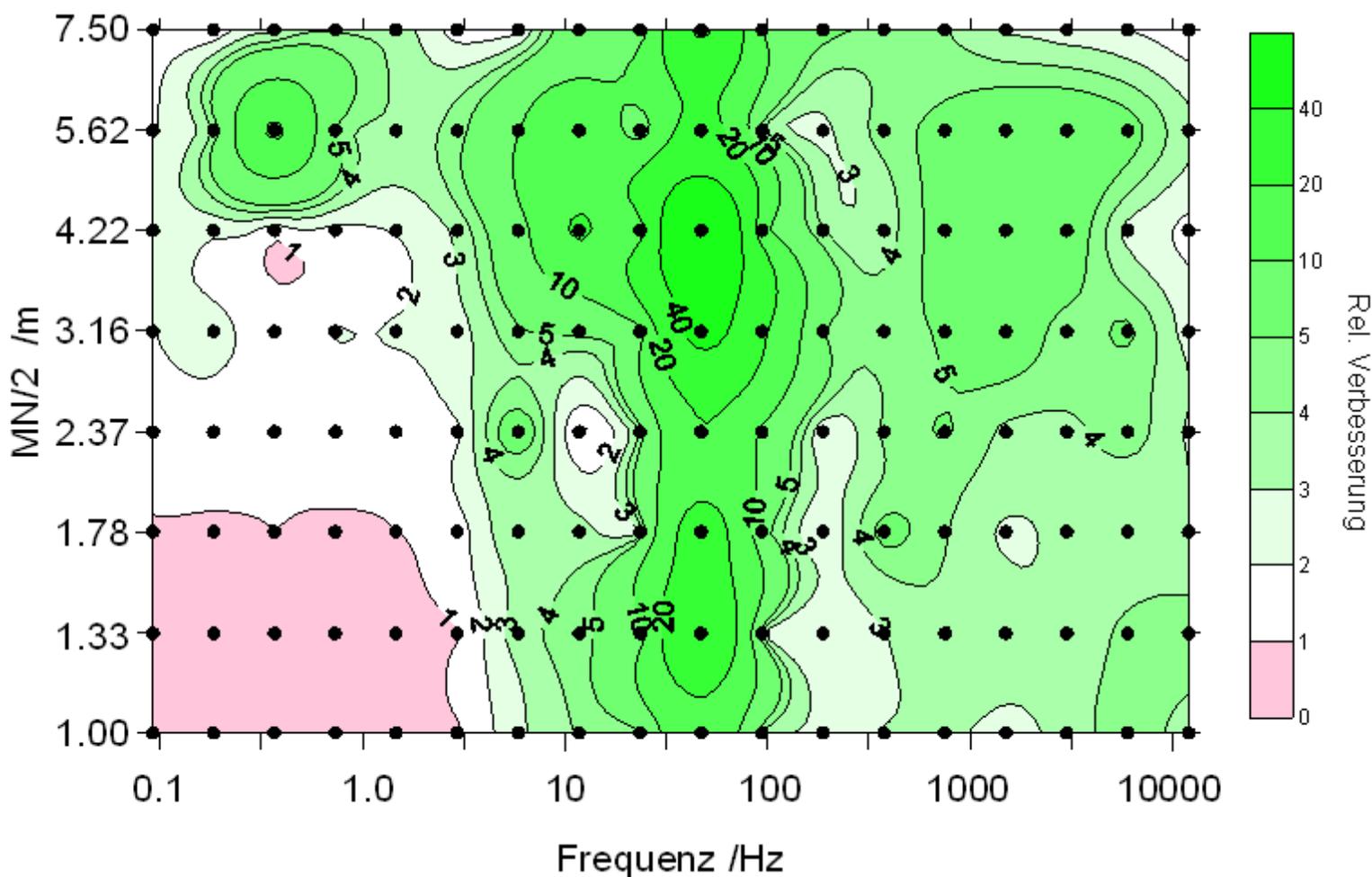


Abb. 3: In Lübars mittels Referenztechnik ersielte relative Messgenauigkeitsverbesserung.

Die Methode wurde in unseren Messgeräten Fuchs, SIP256C und SIP-Lab implementiert und steht für die routinemäßige Anwendung zur Verfügung → www.radic-research.de.

Reamer, S.K., Department of Earthquake Geology, Bensberg, Germany
s.reamer@uni-koeln.de

Quantifying the dynamic stability of soil structure under train embankments using 1D seismic profiling and the "Railroad Response Factor"

The advent over the past 10 years of increased train speeds (especially high-speed trains) and sanitation of existing train embankments necessitates identifying dynamic effects of train velocity and/or soil instability on the "system" of train embankments + underground structure. Soil instability can be mainly characterized by the amount and depth of buried peat layers within the upper 5-10 m of soil structure. To quantify the seismic effects due to the presence of buried peat, the results of several years of experience with seismic velocity profiles are presented. Typically, the measurements consist of vertical component seismic velocity measurements parallel to and at a distance of ca. 1.5-3 m from the train embankment. Utilizing the regularly scheduled trains as seismic sources, velocity seismograms of lengths between 8-16 s are measured for trains of different type and velocity.

Determination of the ratio of low- to high-frequency seismic energy (between 0.5-30 Hz) for each measurement point constitutes a reliable stability measure dubbed the Railroad Response factor (RRRF) (Möker et al., 1993, and Reamer, 2000). The cutoff frequency for the energy ratios is determined by spectral analysis of the profile data (Figure 1).

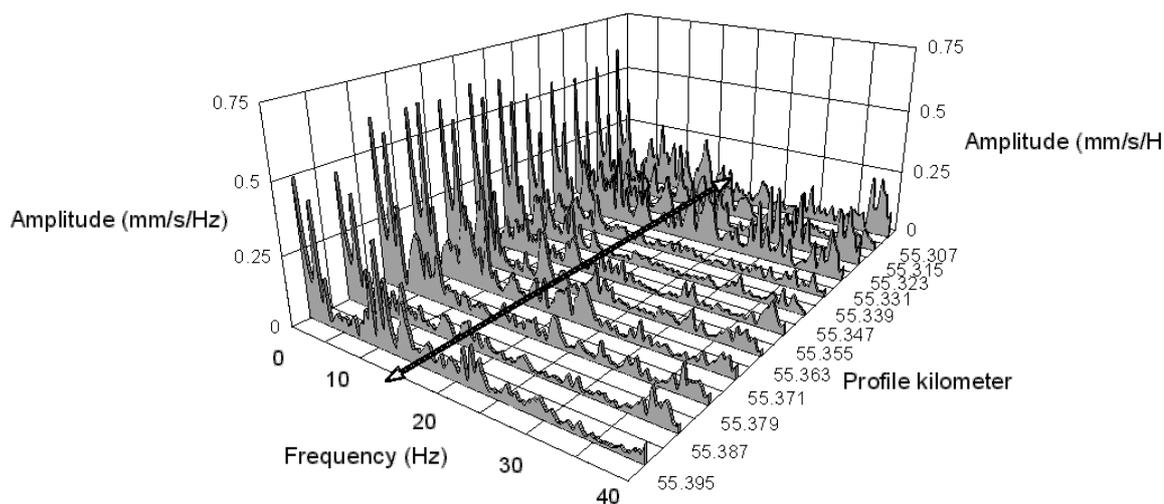


Figure 1. Amplitude spectra displayed for each measurement point along the profile are analyzed for the optimum frequency cutoff (15 Hz) for calculating energy spectral ratios.

While the RRRF is quite useful for relative comparisons of soil stability (Figure 2), this measure cannot provide an absolute value for predicting the dynamic effects of increased train velocity and/or the necessity for sanitation measures. This result is unavoidable due to an empirically-observed partial dependence of the seismic energy ratio on train velocity. For any particular train type, increased speed will result in an increase in RRRF. However, as shown in Figure 2, train speed alone is not an indicator for RRRF.

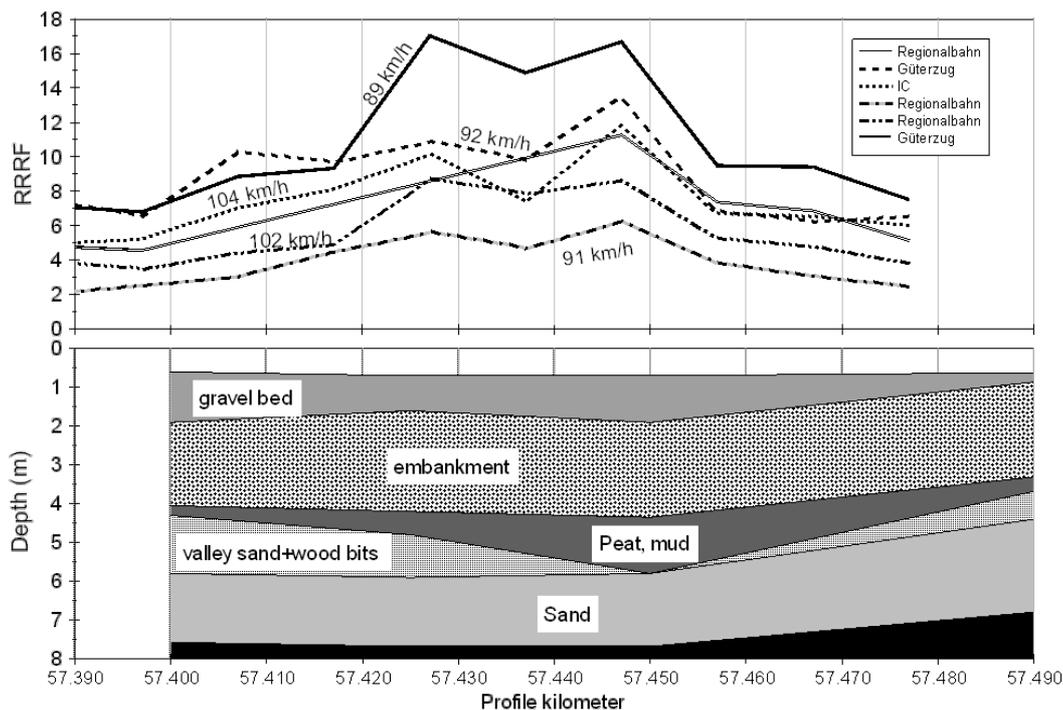


Figure 2. RRRF factors for a typical measurement profile show high values where the peat layer thickness is greatest. Note the relatively high values for the regional train (max. RRRF > 16) traveling significantly slower than the intercity train (max. RRRF > 10).

Likewise, time domain analysis, which relies on peak particle velocity (PPV), correlates well with train speed but proves unsatisfactory for the prediction of soil stability. Separation of the effects of increased train speed and soil stability are not possible with one measure alone. However, examination of the very few cases of "before and after" measurements allow quantification of the improved train embankment "system" after sanitation. By utilizing a linear discriminant function between maximum velocity amplitude and the RRRF, the determination of "healthy" soil structure and the effects of increased train velocity become apparent. This method may provide a reliable measure for assessing the necessity of sanitation and predicting the influence of increased train speed.

References

- Möker, H., Behnke, C. and Reamer, S.K., 1993, Sanierung von Eisenbahnstrecken auf der Grundlage ingenieurgeologischer und -geophysikalischer Untersuchungen in Geologisches Jahrbuch, Heft 142, Reihe A, 197-206, Bundesanstalt f. Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Reamer, S.K., 2000, Auswertung von Schwingungsmessungen zur Untersuchung der dynamischen Stabilität des Untergrundes, Eisenbahningenieur, 51, 34-37.

Reichert, C. (Hannover) und Fahrtteilnehmer SO-161 (Leg2 und 3)

christian.reichert@bgr.de

Subduktionsprozesse vor Chile (SPOC): Erste Ergebnisse der geophysikalischen Messungen von SONNE-Fahrt SO-161

Als Teil des SPOC-Projektes (Subduction Processes off Chile) fanden in der Zeit vom 16. Oktober 2001 bis zum 29. November 2002 marin-geophysikalische Untersuchungen am Kontinentrand vor Chile zwischen 28° und 44° Süd statt. In diesem Zeitraum wurden 5.200 km mit Vielkanalseismik, Magnetik, Gravimetrie und Hydroakustik vermessen sowie weitere 3.500 km mit den Potenzialverfahren und der Hydroakustik. Auf drei Profilen wurden Land-See-übergreifende seismische Messungen durchgeführt.

Das Andenorogen - mit ca. 7.500 km Länge das längste aktive Kettengebirge der Welt - wird durch Subduktionsprozesse am Westrand der südamerikanischen Platte gesteuert. Von Kolumbien im Norden (ca. 5° N) bis zur Taitao-Halbinsel im Süden (ca. 47° S) ist die ozeanische Nazca-Platte daran beteiligt, die sich mit der relativ hohen Geschwindigkeit von etwa 8 cm pro Jahr unter die südamerikanische Kontinentalplatte schiebt. Im Streichen der Plattenkonvergenz ändert sich eine Reihe von Parametern signifikant (z. B. Alter der ozeanischen Kruste, deren Struktur, ihr Wärmefluß, ihre Sedimentbedeckung, ihr Subduktionswinkel, der terrigene Sedimenteintrag vom Kontinent). Diese Parameter beeinflussen den Subduktionsprozess und können zu unterschiedlichem Subduktionsverhalten führen. Während vor den Zentralanden im Norden Subduktionserosion vorherrscht, ist im Süden ein anderer Subduktionstyp wirksam. Dies wird durch die Änderungen in der vulkanische Aktivität und Seismizität angezeigt. Im Rahmen des SPOC-Projektes werden die unterschiedlichen Subduktionstypen und der Einfluss der Steuerungsparameter untersucht mit dem Ziel, ihre Wirkung zu separieren, die zugrunde liegenden Prozesse und ihre Auswirkungen auf das Nutzungs- und Gefährdungspotenzials abzuleiten. Ein spezielles Ziel stellt hierbei auch die Bildungsgeschichte der unterschiedlich ausgeprägten Forearc-Sedimentbecken dar.

Aufbauend auf den Ergebnissen und Erfahrungen der CINCA- (SO-104; BGR und GEOMAR) und CONDOR-Projekte (SO-101 und -103; GEOMAR) wurden zwei Schlüsselgebiete am marinen Kontinentrand ausgewählt, von denen das südliche (Area A: Concepción bis Valdivia) nach vorliegenden Untersuchungen zunächst als eher akkretionär eingestuft wurde und eng an die simultanen landseitigen Untersuchungen des DFG-Sonderforschungsbereichs (SFB) 267 "Deformationsprozesse in den Anden" zwischen 37°S und 40°S angebunden wurde. Damit wurde eine nahezu lückenlose Beobachtung der abtauchenden Nazca-Platte zwischen dem Tiefseegraben, dem Schelf und der Küstenkordillere bis zur Präkordillere ermöglicht. Das nördliche Gebiet (Area B: Coquimbo bis Valparaíso) liegt in einer Region mit markanten Veränderungen der abtauchenden Platte, des Sedimenteintrags, des Vulkansystems sowie der Seismizität. Hier sollten die möglichen Übergangsformen zwischen den verschiedenen Subduktionsmechanismen erfasst werden. Beide Schlüsselgebiete wurden engräumig mit kombinierten geophysikalisch-geologisch-geochemischen und hydroakustischen Methoden untersucht. Des weiteren konnte ein Profil südlich der Chiloé-Insel mit allen geophysikalischen Verfahren vermessen werden, das erstmals durchgängig einen Schnitt von der ozeanischen Platte über den Chile-Graben, den Kontinenthang, die submarine Fortsetzung der Küstenkordillere bis in das Valle Central ermöglicht.

Die wichtigsten Befunde von Leg 2 und 3 sind:

Unterschiede zwischen Area A und B: Die seismischen Profile im nördlichen Teil von Area B weisen eine sehr grosse Ähnlichkeiten mit den CINCA-Profilen auf und legen mit der deutlichen Extensions-Charakteristik des Kontinenthangs nahe, dass hier noch Subduktionserosion wirksam sein dürfte. Am Graben betragen der mittlere Hangwinkel und der Subduktionswinkel der ozeanischen Kruste, die stark zerbrochen ist, gleichermaßen etwa 4°. Erst kurz vor Valparaíso hin ändert sich das Bild signifikant mit breiterem und flacher angelegtem Kontinenthang.

In Area A werden völlig andere Verhältnisse angetroffen: Die ozeanische Kruste fällt mit nur 1° bis 2° ein, der frontale Kontinenthang weist dagegen Steilheiten von über 15° auf. Unter anderem aufgrund der interpretierten Erstreckung des kontinentalen Basements muss angenommen werden, dass der Akkretionskeil, wenn er überhaupt als solcher bezeichnet werden kann, äußerst schmal ist. Die Trenchbreite verbreitert sich nach Süden hin beträchtlich. An der Subduktionsfront werden Proto-Thrust und die typischen Verformungsstrukturen beobachtet, die in einigen Fällen aber auch auf hohe Rigidität der Trenchsedimente und damit hohen Verfestigungsgrad hinweisen. Landwärts davon ist unter dem unteren Hang keine strukturierte Reflektivität zu erkennen. Auf manchen

Profilen sind einzelne starke, landwärts einfallende Reflektoren zu erkennen, die auf einen Subduktionskanal hinweisen und nahelegen, dass der größte Teil der Sedimente subduziert und nicht akkretiert wird. Insgesamt bietet die Geometrie der beteiligten Subduktionseinheiten nicht genügend Platz für eine akkretionäre Anlagerung. Die muss jedoch noch quantitativ überprüft werden. Allgemein zeigte sich, dass zumindest in einzelnen Bereichen von Area A die Sedimentverteilung im Trench und am Kontinenthang starken Einflüsse durch Strömungen ausgesetzt war oder noch ist.

Axialer Trenchkanal: Der bereits bekannte axiale Trenchkanal, der sich fast linear in Area A in die Trenchsedimente um 100 m bis 200 m tief einschneidet, konnte im Detail kartiert werden. Dabei wurde sein südliches Ende bei 41° Süd mit einem markanten Ausspülungsbecken identifiziert. In diesem Bereich fällt die südliche söhlige Trenchfüllung von einem flacheren Niveau im Süden auf ein tieferes Niveau im Norden ab. Von dort ab herrscht leichtes Einfallen der Trenchsedimente nach Norden vor, so dass eine nord-setzende Strömung angenommen werden kann. Bei 41° Süd befindet sich auch etwa die nördliche Vereisungsgrenze des letzten Glazials.

Bottom Simulating Reflectors (BSRs): In Area B wurden keine BSRs erkannt. In Area A zeigen die BSRs keine kontinuierliche Verbreitung, sondern nur vereinzelt, fleckenhaftes Auftreten. Die Gründe für diese Verteilung sind noch unbekannt.

Strain partitioning: Im Bereich zwischen Subduktionsfront und Küste wurde durch Vergleich der seismischen und den bathymetrischen Daten ein sinistrales strike-slip Störungssystem kartiert, das eine Hauptrichtung von etwa 120° aufweist. Möglicherweise verursacht die Subduktionsschiefe von ca. 15° die Ausbildung von rotierten Blöcken nach dem Domino- oder Bookshelf-Modell. Der Verlauf der Tip-Line an der Subduktionsfront stützt diesen Befund ebenso wie die von der Erdölindustrie kartierten Störungssysteme an Land.

Chiloé-Profil: Mächtige Trench-Sedimente werden hier angetroffen. Der "Akkretionskeil" ist äußerst schmal. Bemerkenswert ist das lang aushaltende, glatt-söhlige kontinentale Basement sehr nahe am Meeresboden mit ca. 2.700 m/s Gesteinsgeschwindigkeit. Darüber befindet sich eine Bedeckung von Lockersedimenten von grob abgeschätzt nur ca. 50 m. Der auf Chiloé aufgeschlossene Kontaktbereich zwischen marinen Sedimenten des Oligozän/Miozän und paläozoischem Basement konnte trotz der extrem starken Multiplen identifiziert werden. Eine Unterscheidung zwischen Bereichen der Küstenkordillere und des Valle Central war bisher nicht möglich. Insbesondere wurden bisher keine Anzeichen für eine Beckenstruktur unter dem Golfo de Corcovado gefunden, wie sie von seinem Nordteil bekannt ist. Spezialverfahren zur Multiplenunterdrückung könnten hier vielleicht die Aussage absichern. Die magnetischen Befunde zeigen in den Schelfgebieten und im Golfo de Corcovado kaum langwellige Anomalien, was auf relativ schwach magnetisches Basement hinweist. Es gibt aber sehr kurzwellige Anomalien, die auf flach liegende Quellen in den Sedimenten schließen lassen, wie z.B. vulkanische Aschelagen.

Reichert, Chr. (Hannover), SPOC Working Group (Fahrtteilnehmer SO161, Leg2 und 3)

christian.reichert@bgr.de

Subduktionsprozesse vor Chile (SPOC): Erste Ergebnisse der geophysikalischen Messungen von SONNE-Fahrt SO-161

Als Teil des SPOC-Projektes (Subduction Processes off Chile) fanden in der Zeit vom 16. Oktober 2001 bis zum 29. November 2002 marin-geophysikalische Untersuchungen am Kontinentrand vor Chile zwischen 28° und 44° Süd statt. In diesem Zeitraum wurden 5.200 km mit Vielkanalseismik, Magnetik, Gravimetrie und Hydroakustik vermessen sowie weitere 3.500 km mit den Potenzialverfahren und der Hydroakustik. Auf drei Profilen wurden Land-See-übergreifende seismische Messungen durchgeführt.

Das Andenorogen - mit ca. 7.500 km Länge das längste aktive Kettengebirge der Welt - wird durch Subduktionsprozesse am Westrand der südamerikanischen Platte gesteuert. Von Kolumbien im Norden (ca. 5° N) bis zur Taitao-Halbinsel im Süden (ca. 47° S) ist die ozeanische Nazca-Platte daran beteiligt, die sich mit der relativ hohen Geschwindigkeit von fast 9 cm pro Jahr unter die südamerikanische Kontinentalplatte schiebt. Im Streichen der Plattenkonvergenz ändert sich eine Reihe von Parametern signifikant (z. B. Alter der ozeanischen Kruste, deren Struktur, ihr Wärmefluß, ihre Sedimentbedeckung, ihr Subduktionswinkel, der terrigene Sedimenteintrag vom Kontinent). Diese Parameter beeinflussen den Subduktionsprozess und können zu unterschiedlichem Subduktionsverhalten führen. Während vor den Zentralanden im Norden Subduktionserosion vorherrscht, ist im Süden ein anderer Subduktionstyp wirksam. Dies wird durch die Änderungen in der vulkanische Aktivität und Seismizität angezeigt. Im Rahmen des SPOC-Projektes werden die unterschiedlichen Subduktionstypen und der Einfluss der Steuerungsparameter untersucht mit dem Ziel, ihre Wirkung zu separieren, die zugrunde liegenden Prozesse und ihre Auswirkungen auf das Nutzungs- und Gefährdungspotenzials abzuleiten. Ein spezielles Ziel stellt hierbei auch die Bildungsgeschichte der unterschiedlich ausgeprägten Forearc-Sedimentbecken dar.

Aufbauend auf den Ergebnissen und Erfahrungen der CINCA- (SO-104; BGR und GEOMAR) und CONDOR-Projekte (SO-101 und -103; GEOMAR) wurden zwei Schlüsselgebiete am marinen Kontinentrand ausgewählt, von denen das südliche (Area A: Concepción bis Valdivia) nach vorliegenden Untersuchungen zunächst als eher akkretionär eingestuft wurde und eng an die simultanen landseitigen Untersuchungen des DFG-Sonderforschungsbereichs (SFB) 267 "Deformationsprozesse in den Anden" zwischen 37°S und 40°S angebunden wurde. Damit wurde eine nahezu lückenlose Beobachtung der abtauchenden Nazca-Platte zwischen dem Tiefseegraben, dem Schelf und der Küstenkordillere bis zur Präkordillere ermöglicht. Das nördliche Gebiet (Area B: Coquimbo bis Valparaíso) liegt in einer Region mit markanten Veränderungen der abtauchenden Platte, des Sedimenteintrags, des Backarc-Vulkanismus sowie der Seismizität. Hier sollten die möglichen Übergangsformen zwischen den verschiedenen Subduktionsmechanismen erfasst werden. Beide Schlüsselgebiete wurden engräumig mit kombinierten geophysikalisch-geologisch-geochemischen und hydroakustischen Methoden untersucht. Des weiteren konnte ein Profil südlich der Chiloé-Insel mit allen geophysikalischen Verfahren vermessen werden, das erstmals durchgängig einen Schnitt von der ozeanischen Platte über den Chile-Graben, den Kontinenthang, die submarine Fortsetzung der Küstenkordillere bis in das Valle Central ermöglicht.

Die wichtigsten Befunde von Leg 2 und 3 sind:

Unterschiede zwischen Area A und B: Die seismischen Profile im nördlichen Teil von Area B weisen eine sehr grosse Ähnlichkeiten mit den CINCA-Profilen auf und legen mit der deutlichen Extensions-Charakteristik des Kontinenthangs nahe, dass hier noch Subduktionserosion wirksam sein dürfte. Am Graben betragen der mittlere Hangwinkel und der Subduktionswinkel der ozeanischen Kruste, die stark zerbrochen ist, gleichermaßen etwa 4°. Erst kurz vor Valparaíso hin ändert sich das Bild signifikant mit breiterem und flacher angelegtem Kontinenthang.

In Area A werden völlig andere Verhältnisse angetroffen: Die ozeanische Kruste fällt mit nur 1° bis 2° ein, der frontale Kontinenthang weist dagegen Steilheiten von über 15° auf. Unter anderem aufgrund der interpretierten Erstreckung des kontinentalen Basements muss angenommen werden, dass der Akkretionskeil, wenn er überhaupt als solcher bezeichnet werden kann, äußerst schmal ist. Die Trenchbreite verbreitert sich nach Süden hin beträchtlich. An der Subduktionsfront werden Proto-Thrust und die typischen Verformungsstrukturen beobachtet, die in einigen Fällen aber auch auf hohe Rigidität der Trenchsedimente und damit hohen Verfestigungsgrad hinweisen. Landwärts davon ist unter dem unteren Hang keine strukturierte Reflektivität zu erkennen. Auf manchen

Profilen sind einzelne starke, landwärts einfallende Reflektoren zu erkennen, die auf einen Subduktionskanal hinweisen und nahelegen, dass der größte Teil der Sedimente subduziert und nicht akkretiert wird. Insgesamt bietet die Geometrie der beteiligten Subduktionseinheiten nicht genügend Platz für eine akkretionäre Anlagerung. Die muss jedoch noch quantitativ überprüft werden. Allgemein zeigte sich, dass zumindest in einzelnen Bereichen von Area A die Sedimentverteilung im Trench und am Kontinenthang starken Einflüsse durch Strömungen ausgesetzt war oder noch ist.

Axialer Trenchkanal: Der bereits bekannte axiale Trenchkanal, der sich fast linear in Area A in die Trenchsedimente um 100 m bis 200 m tief einschneidet, konnte im Detail kartiert werden. Dabei wurde sein südliches Ende bei 41° Süd mit einem markanten Ausspülungsbecken identifiziert. In diesem Bereich fällt die südliche söhlige Trenchfüllung von einem flacheren Niveau im Süden auf ein tieferes Niveau im Norden ab. Von dort ab herrscht leichtes Einfallen der Trenchsedimente nach Norden vor, so dass eine nord-setzende Strömung angenommen werden kann. Bei 41° Süd befindet sich auch etwa die nördliche Vereisungsgrenze des letzten Glazials.

Bottom Simulating Reflectors (BSRs): In Area B wurden keine BSRs erkannt. In Area A zeigen die BSRs keine kontinuierliche Verbreitung, sondern nur vereinzelt, fleckenhaftes Auftreten. Die Gründe für diese Verteilung sind noch unbekannt.

Strain partitioning: Im Bereich zwischen Subduktionsfront und Küste wurde in den seismischen und den bathymetrischen Daten ein Störungssystem kartiert, das eine Hauptrichtung von etwa 120° aufweist. Möglicherweise verursacht die Subduktionsschiefe von ca. 15° die Ausbildung von rotierten Blöcken nach dem Domino- oder Bookshelf-Modell. Der Verlauf der Tip-Line an der Subduktionsfront stützt diesen Befund ebenso wie die von der Erdölindustrie kartierten Störungssysteme an Land.

Chiloé-Profil: Mächtige Trench-Sedimente werden hier angetroffen. Der "Akkretionskeil" ist äußerst schmal. Bemerkenswert ist das lang aushaltende, glatt-söhlige kontinentale Basement sehr nahe am Meeresboden mit ca. 2.700 m/s Gesteinsgeschwindigkeit. Darüber befindet sich eine Bedeckung von Lockersedimenten von grob abgeschätzt nur ca. 50 m. Der auf Chiloé aufgeschlossene Kontaktbereich zwischen marinen Sedimenten des Oligozän/Miozän und paläozoischem Basement konnte trotz der extrem starken Multiplen identifiziert werden. Eine Unterscheidung zwischen Bereichen der Küstenkordillere und des Valle Central war bisher nicht möglich. Insbesondere wurden bisher keine Anzeichen für eine Beckenstruktur unter dem Golfo de Corcovado gefunden, wie sie von seinem Nordteil bekannt ist. Spezialverfahren zur Multiplenunterdrückung könnten hier vielleicht die Aussage absichern. Die magnetischen Befunde zeigen in den Schelfgebieten und im Golfo de Corcovado kaum langwellige Anomalien, was auf relativ schwach magnetisches Basement hinweist. Es gibt aber sehr kurzwellige Anomalien, die auf flach liegende Quellen in den Sedimenten schließen lassen, wie z.B. vulkanische Aschelagen.

Reinhardt, J. (Hamburg, Institut für Geophysik)

joerg.reinhardt@dkrz.de

Wellenform-Kohärenz Analyse für Schwarmbeben im Jahr 1997 aus der Region Vogtland/NW-Böhmen.

Zielsetzung der Diplomarbeit ist es, eine Processingtechnik zu entwickeln und zu testen um die Wellenformähnlichkeit von Erdbebenclustern, hochgenaue Differenzlaufzeiten und relative Amplituden automatisiert für große Datensätze zu extrahieren. Dafür ist eine objektorientierte Bibliothek in C++ entwickelt worden, mit der es möglich ist, Werkzeuge zur Bearbeitung von Daten im GSE 2.0 Format zu erstellen. Um möglichst große Kompatibilität zu erreichen, werden auch Funktions-Schnittstellen für FORTRAN77 und C bereitgestellt. Die Technik wird auf etwa 700 Beben des 1997 Vogtland Bebenschwarms angewendet. In einem ersten Schritt sollen Cluster- und Bebentypen charakterisiert und Relativlokalisierungen durchgeführt werden. In der weiteren Auswertung sollen relative Momententensoren bestimmt werden.

Der 1997 Schwarm zeichnet sich durch das Auftreten von mehreren Ereignistypen aus, die bisher allerdings nicht über Kohärenzanalysen bestimmt wurden. Momententensoren wurden bisher nur für 70 größere Ereignisse bestimmt. Die automatisierte Auswertung der kleineren Beben ist von Bedeutung für die Rekonstruktion der Schwarmbeben Entstehungsprozesse.

In dem Vortrag werden die Ansätze und erste Ergebnisse zur Kohärenzanalyse präsentiert.

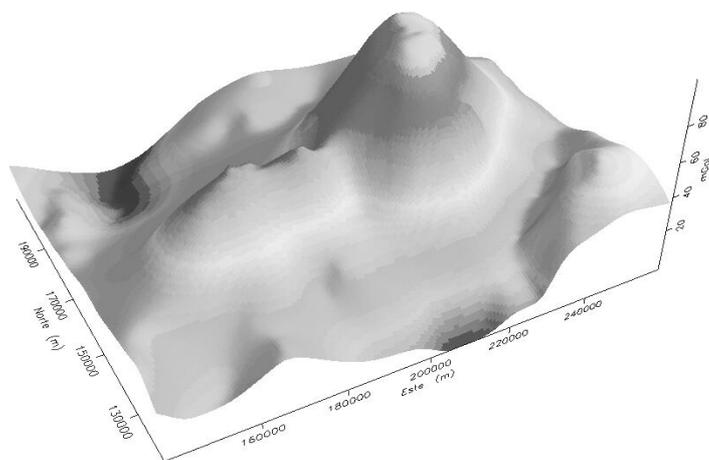
Reitmayr, G. (Hannover)

reitmayr@bgr.de

Über eine spektakuläre gravimetrische Anomalie in Ost-Uruguay

Einführung

Die untersuchte gravimetrische Anomalie im Osten Uruguays liegt nahe der brasilianischen Grenze, am Südende der Laguna Merín. Mit Halbwertsbreiten von 40 bzw. 80 km und einer Amplitude von über 100 mGal ist sie **eine der spektakulärsten Schwe-re-Anomalien weltweit**. Das Gebiet ist wegen ausgedehnter Sümpfe und überschwemmter Flächen schwer zugänglich. Es gibt in der näheren Umgebung der Anomalie kaum Aufschlüsse außer neozoischen Sedimenten und auch auf Grund nur spärlicher sonstiger Informationen fällt es schwer, eine Erklärung für die Existenz dieser starken Anomalie zu finden. Im Rahmen eines Projekts der Technischen Zusammenarbeit wurde die existierende gravimetrische Datenbasis verdichtet, ein magnetisches Profil vermessen und es wurden geoelektrische Sondierungen mit Großauslagen durchgeführt.



Angewandte Methoden

Außer einer Reihe von **geoelektrischen Sondierungen** mit Kabelauslagen von einigen hundert Metern, konnten dreizehn Sondierungen mit Großauslagen bis 5 km AB/2 realisiert werden. Wegen der schwierigen Zugänglichkeit des Gebietes waren diese Messungen eine besondere Herausforderung. Ziel war es, die Mächtigkeit der neozoischen Sedimente zu bestimmen, Information über die Widerstände der wahrscheinlich unter den Sedimenten liegenden Basalte zu erhalten und möglicherweise einen Intrusivkörper als Ursache der erhöhten Schwere nachzuweisen.

Uruguay ist eines der wenigen Länder ohne aeromagnetische Landesaufnahme; im besonderen gab es bisher keinerlei magnetische Daten aus dem diskutierten Gebiet. Wir vermaßen ein 70 km langes **magnetisches Profil** über das Zentrum der Anomalie mit Punktabständen von 50 m. Ein potentieller Intrusivkörper sollte aus basischen oder ultrabasischen Gesteinen bestehen, die eine deutliche Magnetisierung besitzen sollten.

Die Existenz der Schwereanomalie war schon seit geraumer Zeit bekannt, allerdings war die Datendichte relativ gering. Im Rahmen unserer Kooperation mit Uruguay konnte in mehreren Geländekampagnen die **gravimetrische Datenbasis** beträchtlich vervollständigt und detailliert werden.

Ergebnisse

Mit den **geoelektrischen Sondierungen** mit Großauslagen konnten Aussagetiefen von ein bis zwei km erreicht werden. Die Basalte, die im Gebiet weit verbreitet zu sein scheinen, zeichnen sich überraschenderweise bis in größere Tiefen (um 100 Wm oder auch niedriger) durch recht niedere Widerstände aus. In den Vertikalschnitten, die man aus auf Profilen angeordneten Sondierungen erstellen kann, lassen sich keine Strukturen erkennen, die man

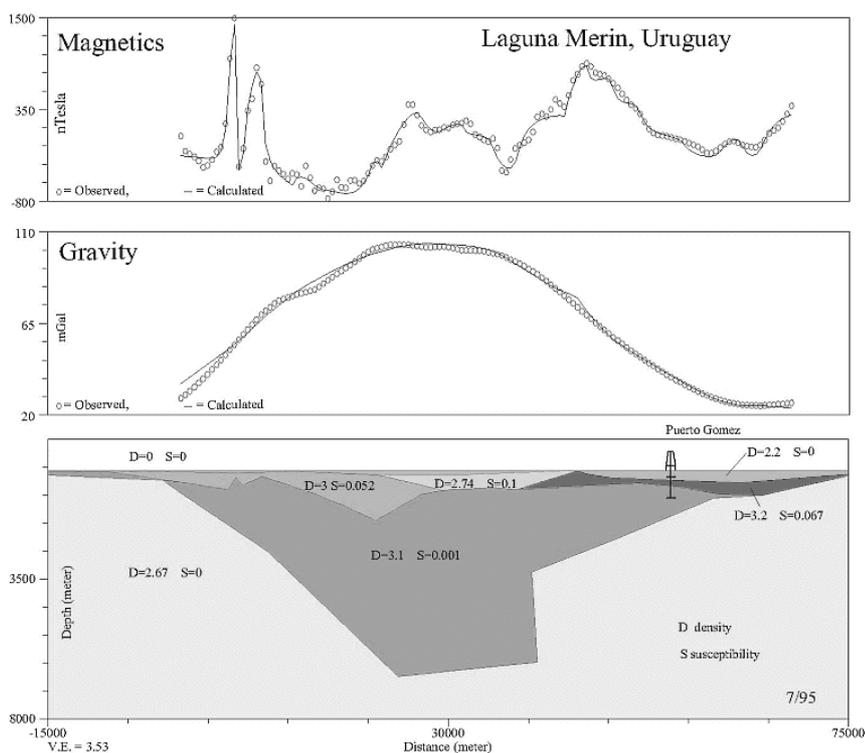
mit der Ursache der Schwereanomalie in Verbindung bringen könnte.

In dem **magnetischen Profil** ist ebenfalls keine klare Anomalie erkennbar, die direkt mit der Schwereanomalie zu korrelieren wäre. Die große Menge der gemessenen Daten ($\gg 1400$) erlaubt eine statistische Auswertung: es wurden Profilstücke verschiedener Länge entnommen und Fourier-analysiert. Aus einem etwa linearen Abfall der logarithmisch aufgetragenen **Spektren** kann man die Tiefe der magnetischen Quellen ableiten. So ergibt sich eine geringe Mächtigkeit der nichtmagnetisierten Sedimente, die sich nach Norden hin bis auf etwa 200 m vergrößert. Mit einer anderen Auswertemethode, der **Werner-Dekonvolution**, ergeben sich sehr vergleichbare Ergebnisse.

Bei einer **3D-Inversion** der gravimetrischen Daten mit einem Modell eines intrudierten **Säulen-Ensembles** mit einer angenommenen Basistiefe von 30 km (= Krustendicke) ragen die Spitzen der Säulen bis wenige km unter die Oberfläche. Bei einem alternativen Modell eines extrudierten Ensembles mit der Oberfläche in 200 m Tiefe reichen die Wurzeln bis in Tiefen von 15 bis 20 km.

Eine gleichzeitige (**joint**) **Inversion magnetischer und gravimetrischer Daten** ergibt, daß starke Suszeptibilitäten auf die oberflächennahen Schichten beschränkt sind (< 1 km), während der schwere Hauptkörper mit beträchtlicher Tiefenerstreckung nur geringe oder keine Magnetisierung besitzen kann.

Eine Abschätzung der existierenden **Überschußmasse** liefert einen Wert von $2 \cdot 10^{13}$ Tonnen. Dies würde bei einem Dichtekontrast von 0.4 g/cm^3 ein Volumen von etwa 50 km^3 bedeuten, was einem Würfel von 3.7 km Kantenlänge entsprechen würde. Wie erwähnt, befindet sich die Anomalie im Sumpfgebiet einer topographischen Senke, die etwas spekulativ mit einer **Deformation der Lithosphäre** durch die erwähnte Überschußmasse in Verbindung gebracht werden könnte. Eine quantitative Abschätzung liefert Werte für eine Einbeulung von wenigen hundert Metern, was gut mit den abgeleiteten Sedimentmächtigkeiten übereinstimmt.



Über die Ursache der Anomalie kann beim gegenwärtigen Wissensstand nur weiterhin spekuliert werden. Weitere geophysikalische Untersuchungen mit größeren Eindringtiefen, wie Seismik oder Magnetotellurik, sind von Nöten, um Erkundungsbohrungen optimal ansetzen zu können. Solche sind unerlässlich zur Klärung der Lithologie des Störkörpers und seines **lagerstättenkundlichen Potentials**. Eine der wenigen, mit der der Laguna Merin vergleichbaren Anomalien ist aus Südafrika bekannt, wo Gesteine angetroffen worden waren, die sehr den Lithologien des Bushveld-Komplexes ähneln, einem der weltweit bedeutendsten Erzlagerstätten-Bezirke.

Ritter, J.R.R. (Karlsruhe & Göttingen), Schweitzer, J. (Kjeller)

joachim.ritter@gpi.uni-karlsruhe.de

johannes@norsar.no

Die seismologische Schule in Göttingen – II

Viele Prinzipien und Techniken der modernen Seismologie wurden bereits zum Beginn des 20. Jahrhundert entwickelt, als die Seismologie sowohl von der theoretischen Seite als auch von der beobachtenden Seite einen starken Aufwung durchlief. Während etwa eines Jahrzehntes arbeitete damals eine Gruppe junger, hochmotivierter Wissenschaftler am Institut für Geophysik an der Universität Göttingen. Unter der Leitung von Emil Wiechert erreichten sie wichtige und grundlegende Fortschritte. Ihre Beiträge wie die Geiger-Methode, die Gutenberg-Diskontinuität, das Wiechert-Herglotz-Verfahren oder die Zoeppritz-Gleichungen sind wohl bekannt, die Wissenschaftler selbst sind teilweise jedoch in Vergessenheit geraten.

In diesem Poster werden Ludger Mintrop (1880-1956), Wilhelm Schlüter (1875-1902), Emil Wiechert (1861-1928) und Karl Zoeppritz (1881-1908) biographisch skizziert und ihre wichtigsten wissenschaftlichen Leistungen vorgestellt. Weitere Informationen sind auf der Homepage des Göttinger Instituts zu finden: www.uni-geophys.gwdg.de

Ritter, J.R.R. (Karlsruhe & Göttingen), Schweitzer, J. (Kjeller)

joachim.ritter@gpi.uni-karlsruhe.de

johannes@norsar.no

Ludwig Carl Geiger (1882 - 1966)

Ludwig Carl Geiger wurde am 16. September 1882 in Basel geboren. Er studierte naturwissenschaftliche Fächer an den Universitäten Basel, Berlin, Heidelberg und Göttingen. Am 12. Dezember 1906 promovierte Geiger in Göttingen mit einer Arbeit über den Zeeman Effekt. Von 1907 bis 1911 arbeitete er als Seismologe am Göttinger Institut als Assistent von Emil Wiechert. 1911/12 widmete er sich wieder der Atomphysik und habilitierte sich am 16. November 1912. Anschliessend wandte er sich nochmals der Geophysik zu und ging 1913/14 als Observator an das Samoa Observatorium in den Pazifik. Dort wurde er vom 1. Weltkrieg überrascht und kehrte in die Schweiz zurück. In Basel wurde er dann Manager in der pharmazeutischen Firma, die der Familie gehörte. Ludwig Geiger starb am 26. November 1966 in Basel.

Geigers seismologische Beiträge sind sowohl theoretischer als auch beobachtender Natur. Von 1907 bis 1910 war er für das jährliche seismologische Bulletin verantwortlich und betreute die Seismographen der Station GTT. Die teleseismischen Beobachtungen benutzte er zur Verbesserung der Zoeppritzschen Laufzeitkurven und erstellte 1D Erdmodelle. Zusammen mit Emil Wiechert publizierte er 1910 ein verbessertes 1D Erdmodell, das auf den Göttinger Laufzeitdaten und der Wiechert-Herglotz-Inversion beruhte. Sein bekanntester Beitrag ist die Geiger-Methode zur Bestimmung des Epizentrums eines Erdbebens aus den Einsatzzeiten der P-Wellen. Dieses Inversionsproblem löste er mit der Methode kleinster Fehlerquadrate. Weitere Informationen sind auf der Homepage des Göttinger Instituts zu finden: www.uni-geophys.gwdg.de

Schweitzer, J. (Kjeller), Ritter, J.R.R. (Karlsruhe & Göttingen)

johannes@norsar.no

joachim.ritter@gpi.uni-karlsruhe.de

Die seismologische Schule in Göttingen – I

Viele Prinzipien und Techniken der modernen Seismologie wurden bereits zum Beginn des 20. Jahrhundert entwickelt, als die Seismologie sowohl von der theoretischen Seite als auch von der beobachtenden Seite einen starken Aufwung durchlief. Während etwa eines Jahrzehntes arbeitete damals eine Gruppe junger, hochmotivierter Wissenschaftler am Institut für Geophysik an der Universität Göttingen. Unter der Leitung von Emil Wiechert erreichten sie wichtige und grundlegende Fortschritte. Ihre Beiträge wie die Geiger-Methode, die Gutenberg-Diskontinuität, das Wiechert-Herglotz-Verfahren oder die Zoeppritz-Gleichungen sind wohl bekannt, die Wissenschaftler selbst sind teilweise jedoch in Vergessenheit geraten.

In diesem Poster werden Gustav Heinrich Angenheister (1878-1945), Ludwig Geiger (1882-1966), Beno Gutenberg (1889-1960) und Gustav Herglotz (1881-1953) biographisch skizziert und ihre wichtigsten wissenschaftlichen Leistungen vorgestellt. Weitere Informationen sind auf der Homepage des Göttinger Instituts zu finden: www.uni-geophys.gwdg.de

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

rothert@geophysik.fu-berlin.de

Seismicity based reservoir characterization - case studies and numerical verifications of the approach

The characterization of fluid-transport properties of rocks on large spatial scales is a important and difficult challenge of reservoir geophysics. Especially, the estimation and reconstruction of the distribution of permeability in geothermal and hydrocarbon reservoirs is an important task in reservoir engineering. Up to now, permeability estimations are possible only on small scales (dimensions of cm up to several meters), but the knowledge of its large-scale distribution is a challenging task. It would be attractive to use seismic methods to estimate hydraulic properties of reservoirs because of their large penetration distances and potentially high resolution. Recently, an approach was proposed that combines the advantages of seismic methods with the potential to provide in-situ estimates of the permeability tensor characterizing a reservoir on large spatial scales (on the order of 10^3m).

This approach (called SBRC: Seismicity Based Reservoir Characterization) uses a spatio-temporal analysis of fluid-injection induced microseismicity to reconstruct the permeability tensor. Such microseismicity can be activated by perturbations of the pore pressure caused by a fluid injection into rocks (e.g., fluid tests in boreholes). Even small pore-pressure fluctuations seem to be able to modify the effective normal stress and/or the friction coefficients in rocks to an extent, which is sufficient to spontaneously trigger microearthquakes. Evidently, the triggering of

microearthquakes occurs in some locations where rocks are in a near-failure equilibrium. Such locations can just be randomly distributed in the medium.

The SBRC approach is based on the hypothesis that the triggering front of the hydraulic-induced microseismicity propagates like the low-frequency second-type compressional Biot wave corresponding to the process of pore-pressure relaxation. In realistic fluid injections the dominant frequencies of pore-pressure perturbations are much lower than the critical Biot frequency, which is usually greater than 10^4 Hz in well consolidated rocks. Recently, Shapiro et al. (1999) proposed to interpret the spatio-temporal evolution of the clouds of such microseismic events in terms of pore-pressure relaxation in media with anisotropic hydraulic diffusivity. They derived an equation for the microseismicity triggering front in homogeneous anisotropic poroelastic media. The propagation of the triggering front is controlled directly by the tensor of hydraulic diffusivity, which is directly proportional to the tensor of permeability. A formalism was proposed to describe the kinematics of the propagation of the triggering front. This formalism is similar to the eikonal equation for seismic wavefronts and it serves as a base for the inversion of the passive monitoring data for the permeability distribution. Using this equation Shapiro et al. (1999) proposed a variant of the SBRC method, which considers real heterogeneous rocks as an effective homogeneous anisotropic poroelastic fluid-saturated medium. The permeability tensor of this effective medium is the permeability tensor upscaled to the characteristic size of the seismically active region.

In this paper we show how this approach can be applied to Hot-Dry-Rock and hydrocarbon reservoirs. Data from an injection experiment in 1983 at the Fenton Hill (USA) geothermal energy site is studied as well as the spatio-temporal distribution of induced microseismic events observed during a hydrofracturing experiment in the Cotton Valley field, Panola country, East Texas (USA) in May 1997. We show how it is possible to estimate scalar and tensorial values of hydraulic diffusivity. The application of the SBRC reconstruction-algorithms yield the estimation of the 3D distribution of hydraulic diffusivity/permeability within the seismically active rock volume.

To confirm the hypothesis, that diffusion is the first-order process responsible for the triggering of microseismicity during fluid injections, numerical experiments are performed. These experiments also guide to a better understanding of the phenomena of the triggering process due to pore pressure perturbation and the influences of different medium statistics. We show how it is possible to test the SBRC algorithms with synthetic data and the verification of the triggering process. Using a finite element algorithm (FE) and the MATLAB computing environment, the time-dependent parabolic equation of diffusion for 2D homogeneous, isotropic as well as for heterogeneous and anisotropic background media is solved. A randomly distributed failure-criterion (trigger-criterion) within the model then directly follows the concept of the SBRC-method, that real rocks are in a subcritical state of stress in some places. Triggering of microseismicity! occurs in places, where the amplitude of pore pressure perturbation exceeds the criticality value of the medium. With this procedure it is possible to create synthetic microseismicity clouds and to model the spatio-temporal evolution of the events. Additionally we are able

to study the influence of different media statistics on the triggering process. Applying the SBRC algorithms on synthetic data yields excellent agreements for theory and observations, which in turn consolidates the main process of the triggering phenomenon of microseismicity in real rocks and the practicability of the reconstruction algorithms.

Zetsche, F., Ryberg, T., Stiller, M., Weber, M. (Potsdam)

falko@gfz-potsdam.de

Hochauflösende 3D - Tomographie im Bereich der KTB

Im Rahmen der Tiefenerkundung des KTB - Programmes wurden eine Vielzahl von geophysikalischen Experimenten durchgeführt. Ein Teilprojekt der "Integrierten Seismik Oberpfalz" (ISO '89), das Steilwinklexperiment, diente der detaillierten Strukturerkundung eines Gebietes von etwa 19 x 19 km Ausdehnung mit der Bohrlokation im Zentrum. Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist die Abbildung der oberflächennahen (bis ca. 1.5 km) V-Geschwindigkeiten in diesem Gebiet. Die optimale Quell- und Empfängergeometrie ermöglicht eine hochauflösende dreidimensionale Geschwindigkeitstomographie. Der Datensatz besteht aus 3327 Vibrationspunkten mit je 480 Empfängern, insgesamt sind es ca. 1.6 Mio. Spuren. Daraus wurden die Ersteinsätze manuell gepickt und mit FAST von C. A. Zelt invertiert. Das Programmpaket FAST (First Arrival Seismic Tomography) beruht auf der Bestimmung der Einsatzzeiten mit Hilfe der Finiten Differenzen Methode (modifiziert für starke Geschwindigkeitskontraste) und der Bestimmung der Geschwindigkeitsstruktur durch eine regularisierte Inversion. Um die Inversionsergebnisse zu bewerten, wurden verschiedene Test (Checkerboard, Parametervariationen, etc.) durchgeführt. Die hier vorgestellten ersten Ergebnisse sollen im weiteren Verlauf der Arbeit geologisch interpretiert werden.

Sauer, J. (Hannover)

j.sauer@GGA-Hannover.de

Gammaskpektrometrische Untersuchungen auf landwirtschaftlich genutzten Böden

Ausgehend von Gammastrahlen-Messungen in Bohrlöchern, die eine Unterscheidung von tonigen, sandigen oder kalkhaltigen Schichten im Untergrund ermöglichen, erfolgten radiometrische Untersuchungen auf der Oberfläche von landwirtschaftlich genutzten Böden

In der teilflächenspezifischen Landwirtschaft ist eine einfache Unterscheidung verschiedener Bestandteile von Ackerflächen hinsichtlich einer Optimierung von Düngung, Pflanzenschutz und Unkrautbekämpfung von Interesse. Mit Gamma Ray-Messungen wurde der Versuch unternommen, verschiedene Bodenarten nach ihrer Strahlung zu unterscheiden.

Punktuelle Messungen fanden mit einem tragbaren Spektrometer längs bodenkundlich kartierter Profile statt, vielerorts liegen Vergleichsmessungen von Radar und Geoelektrik vor. Aus einer Vielzahl von Gamma Ray-Messungen werden Unterscheidungsmerkmale verschiedener Bodentypen hinsichtlich ihrer Strahlung erarbeitet. Gamma Ray-Spektren wurden an markanten Punkten aufgenommen, sie geben Auskunft über die Zusammensetzung der natürlichen Strahler. Mittels Gamma Ray-Messungen können sandige und kalkige Ackerböden von lehmig-tonigen Flächen unterschieden werden, wobei sich Moorflächen durch extrem niedrige Werte hervorheben. Möglichkeiten der Erhöhung der Meßgeschwindigkeit und Genauigkeit werden erörtert.

Weihermüller, C.I., Schlittenhardt, J. (BGR, Hannover)
c.weihermueller@bgr.de

Array-Untersuchung der Umbrien-Marken Erdbebenserie 1997 mit GRF- und GERESS-Wellenformdaten

In der mittellitalienischen Region Umbrien-Marken wurde im Herbst / Winter 1997 eine Serie von über 3000 Erdbeben registriert, die sich in einem räumlich eng umgrenzten Herdvolumen ereigneten. Die Stärke der mit engmaschigen seismischen Netzen des ING (Istituto Nazionale di Geofisica) lokalisierten Ereignisse reicht von $M_1 < 2.0$ bis zu $M_w 6.0$ für das Hauptbeben. Durch die große Anzahl der Erdbeben sowie den Stärkebereich von über vier Magnitudeneinheiten waren gute Bedingungen gegeben, Aufzeichnungen des Gräfenberg- (GRF) Array und des GERESS - Array (German Experimental Seismic System) für eine vergleichende Untersuchung der langperiodischen Oberflächenwellensignale und der kurzperiodischen Raumwellen dieses Erdbebenclusters zu nutzen.

Ziel dieser Arbeit war eine möglichst umfassende Untersuchung der Erdbebensequenz Umbrien-Marken anhand der an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover vorliegenden Arraydatensätze, wobei die Mißweisung der fk -Peilung von P_n -, P_g -, S_n und L_g -Phasen des GERESS - Array und der LR -Phase des GRF-Array ermittelt wurde. Des weiteren wurde die Detektionsschwelle der kurzperiodischen Signale am GERESS-Array und der langperiodischen LP -Signale am GRF-Array ermittelt. Zusätzlich wurde die Übertragbarkeit der verschiedenen Oberflächenwellenmagnituden M_S (Prague), M_S (Marshall & Basham), der modifizierten Nuttli- $m_b(L_g)$ sowie der aus der Literatur entnommenen Momentenmagnitude M_w (Ekström et al., 1998) auf unterschiedliche Regionen geprüft, um somit interregionale Vergleichsmöglichkeiten bereitzustellen.

Bei den Frequenz-Wellenzahl-Analysen der einzelnen Phasen P_n , P_g , S_n und L_g am GERESS-Array und der LR -Phase am GRF-Array ist die systematische Mißweisung des bestimmten Azimuts deutlich geworden, wobei eine Abweichung in östliche Richtung besteht. Die Detektionsschwellen für die langperiodischen seismischen Signale des GRF-Array wurden bei einer Magnitude von $M_d \geq 3.4$ und $M_1 \geq 2.6$ festgelegt. Für die kurzperiodischen seismischen Signale des GERESS-Array liegt die Detektionsschwelle ebenfalls bei $M_d \geq 3.4$ und $M_1 \geq 2.6$.

Somit konnte aufgezeigt werden, daß das GRF- und das GERESS-Array vergleichbare Detektionsschwellen für die untersuchten seismischen Signale aus südlicher Richtung aufweisen. Dieses Ergebnis zeigt die Bedeutung der durch Array-Prozessing erzielbaren Absenkung der LP -Detektionsschwelle für regionale Oberflächenwellen, wobei in diesem speziellen Fall der Schwellenwert des benachbarten GERESS SP -Detektionsarray erreicht wurde.

Die Korrelation der M_S und $m_b(L_g)$ Magnituden der Umbrien-Marken Erdbeben mit den aus der Literatur entnommenen Magnituden M_w liefert lineare Zusammenhänge, die wiederum mit von Patton (2001) für tektonisch unterschiedliche Gebiete abgeleiteten Skalierungsbeziehungen verglichen werden. So wurden für die Korrelation von M_S (Prague) mit $m_b(L_g)$ sowie M_S (Marshall & Basham) mit $m_b(L_g)$ Skalierungsbeziehungen für Laufwege aus ungestörten und tektonisch geprägten Gebieten herangezogen. Außerdem wurde der interregionale Vergleich zwischen $m_b(L_g)$ und M_w für Zentraleuropa (Umbrien-Marken-Süddeutschland), Zentralasien, westliche Vereinigte Staaten und das östliche Nordamerika durchgeführt.

Die Ergebnisse des Vergleichs von $m_b(L_g)$ (GERESS) mit M_S Prague) (GRF) zeigen eine Korrelation mit Erdbebenaufzeichnungen aus tektonisch ungestörten Gebieten. Im Gegensatz dazu weist $m_b(L_g) / M_S$ (Marshall & Basham) eine bessere Korrelation mit Erdbeben, deren Wellen tektonisch geprägte Gebieten durchlaufen haben, auf. Diese Übereinstimmung zwischen den Beziehungen $m_b(L_g) / M_S$ (Marshall & Basham) für Umbrien-Marken sowie $m_b(L_g) / M_S$ für tektonisch geprägte Laufwege erscheint plausibel, da in beiden Regionen ähnliche geologischen Verhältnisse vorherrschen. Der Vergleich von $m_b(L_g)$ mit M_w für Umbrien-Marken mit den von Patton (2001) für verschiedene tektonische Regionen der Erde ermittelten Beziehungen deutet auf eine Übertragbarkeit hin, wobei die beste Korrelation für die Laufwege Zentraleuropa und Zentralasien besteht. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit GERESS Daten bestätigt somit die von Patton & Schlittenhardt (2001) anhand von GRSN- (German Regional Seismic Network) Daten gefundene Übertragbarkeit der $m_b(L_g)$ Skala für Laufwege in Mitteleuropa.

Ekström, G., Morelli, A., Boschi, E. & Dziewonski, A.M., 1998. Moment tensor analysis of the central Italy

earthquake sequence of September-October 1997. *Geophys. Res. Lett.*, **25**(11), 1971-1974.

Patton H.J., 2001. Regional Magnitude Scaling, Transportability, and $M_S:m_b$ Discrimination at Small Magnitudes. *Pure and Applied Geophysics*, **158**(11), 1951-2015.

Patton, H. J., Schlittenhardt, J., 2001. $M_S - m_b(L_g)$ scaling from regional observations of the Umbria-Marche earthquake sequence recorded by the Gräfenberg array and the German Regional Seismic Network (GRSN). *Seismol. Res. Lett.*, **72**(2), 242.

Schmalholz, J., Yaramanci, U. (Berlin)

schmalholz@geophysik.tu-berlin.de

Entwicklung von Mess- und Auswertemethoden zur Verbesserung der Auflösung kleinräumiger Bodenfeuchteänderungen mittels Georadar

Für eine Erfassung kleinräumiger hydrophiler und hydrophober Bodenbereiche ist es notwendig die flächenhafte Auflösung des non-destruktiven Georadarverfahrens zu erhöhen. Diese Auflösung soll den volumetrischen Wassergehalt im Boden im Bereich der obersten Dezimeter und auch flächenhaft in dieser Größenordnung erreichen. Mit den so entwickelten Mess- und Auswertemethoden ist es dann möglich die Wasser- und Stoffdynamik im Boden zu erfassen. Da die obersten Bodenschichten im urbanen Bereich eine hohe laterale und vertikale Variabilität besitzen, ist die angestrebte Auflösung eine wichtige Zielsetzung der DFG Forschergruppe INTERURBAN.

Da für die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in Böden die beiden maßgeblichen Größen, Dielektrizitätskoeffizient und elektrische Leitfähigkeit, sowohl komplex als auch frequenzabhängig sind, ist es nötig, die Abstrahlungscharakteristiken der zur Verfügung stehenden hochfrequenten Georadarantennen zu bestimmen. Durch die genauere Kenntnis des Spektrums der Radarantennen kann eine detailliertere Auswertung mit den üblichen Methoden, wie etwa die Verwendung der Bodenwelle, Geschwindigkeitsmigration oder Dämpfungsanalyse, durchgeführt werden. Diese Methoden liefern die Daten, die zur Berechnung des volumetrischen Wassergehaltes und der relevanten Bodenparameter (Dielektrizitätskoeffizient, elektrische Leitfähigkeit) herangezogen werden. Aufgrund der zu erwartenden Boden- und Feuchteverhältnisse kann die minimale Diffraktorgröße (bei Metallen eine halbe Wellenlänge) abgeschätzt werden. Neben der Untersuchung des Sende/Empfangsspektrums wurde geprüft, ob mit nichtbaugleichen monostatischen Antennen bistatische Multi-Offset Messungen für die in diesem Fall nötige Genauigkeit nutzbar durchgeführt werden können (Bild 1).

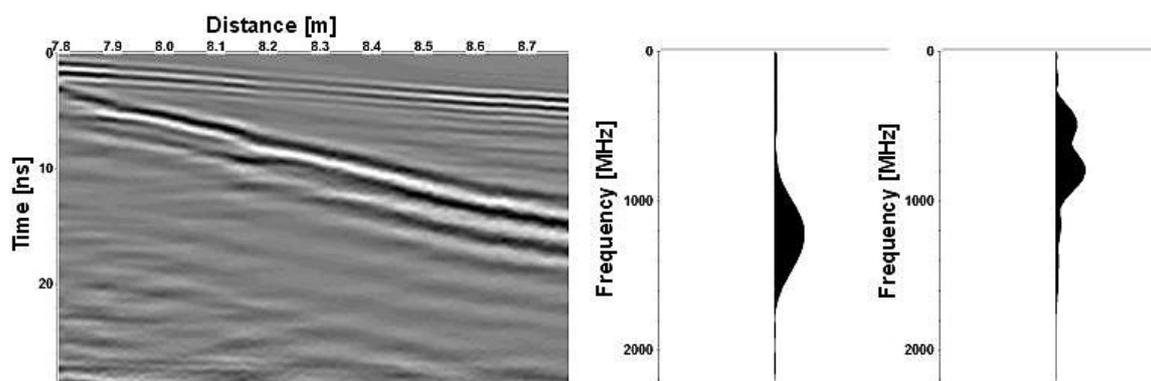


Bild 1: WARR-Messung mit einer 800 MHz Sendeantenne und einer 1000 MHz Empfangsantenne (links). Exemplarisches Spektrum der Luftwelle (Mitte) und der Bodenwelle (rechts) einer Spur.

Es ist in Bild 1 zu erkennen, dass eine Identifikation der Bodenwelle schon bei einer Sender-Empfänger Entfernung von weniger als 20cm möglich ist. Aufgrund der niederfrequenten Bodenwelle ist eine erhöhte Schwerpunkstiefe zu erwarten.

Weitere Informationen zur DFG-Forschergruppe INTERURBAN sind unter der Internetadresse www.INTERURBAN.de erhältlich.

Zur Norddeutschen Leitfähigkeitsanomalie erdmagnetischer Variationen

Während des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957/58 in Norddeutschland eingerichtete temporäre Variometerstationen waren auf zwei Profilen angeordnet: Ein Ostprofil von Lehnsahn (Ostsee) bis Biberstein (Rhön) und ein Westprofil von Juist (Nordsee) bis Waldmichelbach (Odenwald). Die Untersuchungen galten einer die Profile kreuzenden Anomalie erdmagnetischer Bay-Störungen in Ost-Westrichtung. Die Profile waren mit jeweils fünf Stationen mehrere Monate besetzt, in einem mittleren Abstand von 100 km. Hinzu kamen kurzfristig mit einem Askania-Variographen registrierende Einzelstationen.

Nach einer ersten Auswertung in Analogform (Schmucker, 1959) sind für eine zweite Auswertung auf dem Ostprofil registrierte Baystörungen digitalisiert und durch Daten erdmagnetischer Observatorien im Umkreis der Anomalie ergänzt worden (Weidelt, 1978). Die noch ausstehende digitale Auswertung des Westprofils ist nunmehr nachgeholt worden. Damit ist eine flächenmäßige Darstellung der Ergebnisse in der Form von Übertragungsfunktionen für den anomalen inneren Anteil von Baystörungen möglich geworden. Das Hauptinteresse gilt dabei der Anomalie der Horizontalkomponenten in ihrer Beziehung zur Anomalie der Vertikalkomponente.

Es wird vorausgesetzt, dass sich die Variationsfelder über der Erdoberfläche und unterhalb der (ionosphärischen) primären Quellenregion als Potentialfelder beschreiben lassen. Doch anders als in der ersten Auswertung soll nunmehr von einem ausschließlich "inneren" Ursprung der Anomalie (durch induzierter Ströme) ausgegangen werden, ohne einen Versuch, ihre äußeren und inneren Anteile zu trennen. Zur gemeinsamen Darstellung der Übertragungsfunktionen für die Horizontal- und Vertikalkomponenten werden Stromfunktionen eingeführt und durch eine Ausgleichsrechnung an die Beobachtungen angepasst. Sie ergeben ein "äquivalentes" Stromsystem unmittelbar unter der Erdoberfläche, welches die Magnetfelder zu den Real- und Imaginärteile der Übertragungsfunktionen für die jeweilige Periode erzeugen würde.

Mit Hilfe von Observatoriumsdaten werden die aus Baystörungen im Periodenbereich von 15 Minuten bis 2 Stunden gewonnenen Ergebnisse ergänzt durch entsprechende Analysen des Tagesganges (Sq) sowie seines Hintergrund-Kontinuums im Periodenbereich von 3 bis 24 Stunden. Da bei solchen langen Perioden die normalen inneren Anteile (für ein geschichtetes Erdmodell) insbesondere bei der Vertikalkomponente (Z) zu berücksichtigen sind, werden mit einem tri-variaten Ansatz sowohl die Eindringtiefe (C) mittels des Horizontalgradienten-Verfahrens für das "normale" Zn als auch die beiden Übertragungsfunktionen (a,b) für das "anomale" Za aus dem beobachteten Z abgeleitet:

$$Z = Z_n + Z_a = C \cdot (dH/dx + dD/dy) + a \cdot H + b \cdot D + dZ$$

(H,D: magnetische Nord- und Ostkomponente in x und y Richtung).

Die Hinzunahme erdelektrischer Variationen beschränkt sich auf Feldstationen, die aufgrund sehr langer Registrierzeiten die genannten Periodenbereiche überdecken. Hierbei ergibt sich eine mit zunehmender Periode immer stärker hervortretende Richtungsabhängigkeit der magnetotellurischen Impedanzen, die keinen unmittelbar Zusammenhang zu den Ergebnissen der erdmagnetischen Tiefensondierung erkennen lässt.

Lit.: Schmucker,U.,1959. Erdmagnetische Tiefensondierung in Deutschland 1957/59: Magnetogramme und erste Auswertung. Abh. Akad. Wiss. Göttingen, math.-phys. Klasse, Beiträge zum IGJ, Heft 5, 51 S.

Weidelt, P.,1978. Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Inversion zweidimensionaler Leitfähigkeitsstrukturen in E-Polarisation. Habil.Schrift Math.-Naturwiss.Fakultät Univ. Göttingen, 161 S.

Schnepp, E. (Göttingen)

eschnepp@foni.net

Paleointensity in Lübeck (Germany) between 1350 and 1800 AD

A record of about 450 years of secular variation is presented from a single archaeological site in Lübeck (Germany) where a sequence of 25 bread-oven-floors has been preserved in a bakery from medieval times until today. The age dating of the oven-floor sequence is based on historical documents, ^{14}C - and thermoluminescence dating and correlation with the historical magnetic record of direct declination readings. It confines the time interval from about 1350 AD to about 1800 AD with an almost constant time of use for each floor.

Paleomagnetic directions have been determined from each oven-floor (Schnepp et al., in prep) by means of 198 oriented hand samples. Alternating field as well as thermal demagnetization experiments of 425 specimens confirmed together with rock magnetic experiments, that the natural remanent magnetization is a thermoremanent magnetization which was acquired during the last cooling of each oven-floor. In most cases secondary magnetization components were very weak and a stable directional behaviour was observed. Characteristic remanent magnetization direction was obtained using principal component analysis. The mean directions of the oven-floors are characterised by high Fisherian precision parameters (146 to 2264) and in most cases small α_{95} confidence limits (1.2° to 4.6°). The declination curve starts 1350 AD at 15° eastern declination and moves to 5°E during the 15th century. Then it goes back to 15°E during the 16th century followed by a swing to 20° western declination until 1800 AD. The declination is very well correlated with the historical record known from Clausthal-Zellerfeld (starting at 1600 AD), which is situated about 150 km south of Lübeck. Inclination shows a slight decrease from 66° to 62° around 1400 AD and then an increase to 77° from the 15th century until the early 18th century, when it started to decrease again. The secular variation curves from France and Great Britain compare well with the curve from Lübeck and show a pronounced inclination low around 1400 AD. This is also present in Lübeck, but the reduced inclination was 5° higher here.

Paleointensity was measured from 71 selected specimens with the double-heating Thellier method. Because specimens were very fragile and lost crumbles during the Thellier experiment a correction using the mass measured after each heating step was applied to every magnetisation vector. 14 specimens were completely broken before reaching the maximum temperature.

For evaluation of the paleointensity a linear segment with positive pTRM-checks was chosen from each Arai-plot including at least five heating steps. Thellier experiments providing fraction factors (f) between 0.2 up to 0.95 and quality factors (q) between 5 and 50 have been accepted while four results with lower f or q values were rejected. Mean paleointensity values for 22 oven-floors are based on two to four individual paleointensity experiments. The within-layer standard deviation of paleointensity is in most cases less than 4% (with a maximum of 7.9%) demonstrating that reliable results have been obtained.

Paleointensity in Lübeck shows a broad maximum from the 14th to the 16th century AD, followed by a decrease of paleointensity of about 25% until 1800 AD. A similar behaviour of paleointensity was observed in France and Denmark (Chauvin et al., Phys. Earth Planet. Int. 120, 111, 2000; Gram-Jensen et al., Phys. Chem. Earth (A) 25, 525, 2000). Paleointensity and inclination show a negative correlation since 1600 AD which implies a strong decrease of the virtual dipole moment of the earth's magnetic field.

Schröer, K., Seiferlin, K., Spohn, T. (Münster)

kathrin.schroer@uni-muenster.de

EXTASE - Eine EXperimentelle Thermalsonde für die Anwendung in Schneeforschung und Erdwissenschaften

Unter dem Titel "First Chance" werden vom BMBF Vorhaben gefördert, in denen aus Technologien, die im Rahmen von weltraumbezogenen Projekten entwickelt wurden, Anwendungen, die nicht im Zusammenhang mit Weltraumforschung stehen, entwickelt werden. Das Institut für Planetologie der Universität Münster hat hieraus das Konzept für die Entwicklung einer Thermalsonde für die Anwendung in der Schnee- und Lawinenforschung sowie den Geowissenschaften (u.a. Bodenkunde, Permafrost, Seen, Deponien) entwickelt.

Diese Thermalsonde basiert auf der MUPUS Thermalsonde und setzt einen ebenfalls für MUPUS entwickelten neuartigen Typ von Temperatursensoren sowie eine neuartige Methode zur Messung der Wärmeleitfähigkeit und thermischen Diffusivität ein. Bei MUPUS handelt es sich um ein Experiment, das Teil der ESA - Rosetta - Mission zum Kometen Wirtanen ist, bei der ein Lander auf dem Kometen abgesetzt werden soll. Das MUPUS - Experiment soll hierbei thermische Eigenschaften des Kometenmaterials bestimmen und daraus die Energiebilanz des Kometen bestimmen. Bereits durchgeführte Tests mit der MUPUS Sonde belegen die hohe Leistungsfähigkeit des Konzeptes.

Stand der Wissenschaft und Technik

Messungen der Wärmeleitfähigkeit und des vertikalen Temperaturprofils sind in den Geowissenschaften übliche Anwendungen, für die bereits einige Lösungen existieren. Der zu untersuchende Tiefenbereich ist i.A. sehr groß (bis zu einige km) und gewöhnlich werden solche Thermalmessungen z.B. in bereits für andere Anwendungen existierende Bohrungen eingesetzt. Sollen nur kleine Tiefenlagen untersucht werden (bis ca. 2m), werden in aller Regel genügend große Löcher ausgehoben und der Untergrund angeschnitten, um dort einzelne Temperatursensoren einzusetzen. Diese übliche Methode bringt allerdings einige Nachteile mit sich: Kraft- und Zeitaufwand, große Anzahl von Sensoren, aufwendige Verkabelung und Einbringung in den Boden, kaum laterale Abdeckung aufgrund des großen Aufwandes der Messungen, Zerstörung des Meßgeländes durch den Aushub und damit Einfluß auf die Meßgrößen selbst und somit Einschränkung der Aussage der Ergebnisse. Vor allem bei der Schneeforschung spielt der letzte Punkt eine große Rolle, da Schnee eine sehr komplexe aber empfindliche Struktur hat. Das Schneegefüge hat einen sehr großen Einfluß auf die thermischen Eigenschaften des Schnees und eine Zerstörung des Gefüges würde jegliche Messung nahezu unbrauchbar machen. Die EXTASE - Thermalsonde beeinflusst ihre Umgebung durch ihren geringen Radius kaum, und durch die Möglichkeit, mit nur einer Sonde Temperaturen in 16 Tiefen gleichzeitig zu messen, wird ein Aushub des Untergrundes unnötig.

Mögliche/geplante Einsatzgebiete

- in situ Beobachten des Eindringens der täglichen und jährlichen Wärmewelle im Boden, Verfolgung der Phasengrenze zwischen permanent gefrorenen und zeitweise an/aufgetauten Schichten
- in situ Bestimmung der Bodenfeuchte als Funktion der Zeit. Dabei wird die Bodenfeuchte aus der Änderung der Wärmeleitfähigkeit abgeleitet. Die Wärmeleitfähigkeit eines über eine längere Zeit beobachteten Bodenpakets ändert sich ausschließlich mit der Bodenfeuchte
- in situ Beobachtung des Auftauens zugefrorener Seen. Ermittlung von Tauraten in Abhängigkeit von der Witterung
- in situ Beobachtung des Temperaturprofils in Schneepaketen
- in situ Beobachtung von Gefügeveränderungen in Schneepaketen, insbesondere das Auftreten von Schichten mit sehr niedriger Kohäsion. Solche gelten als potentielle Schwachstelle in Schneepaketen, an denen sich Lawinen ablösen können. Die Wärmeleitfähigkeit dieser Schichten sollte sich mit der Kohäsion deutlich verändern. Aus langfristigen Beobachtungen läßt sich ableiten, wie schnell Gefügeveränderungen im Schnee unter verschiedenen Witterungsbedingungen ablaufen, und welche Wetterlagen besonders gefährlich sind.
- Kontrolle der Temperatur auf Mülldeponien

Auf diesem Poster soll vor allem das Konzept dieser neuen z.Zt. in der Entwicklung befindlichen Thermalsonde vorgestellt werden. Zusätzlich werden erste Meßergebnisse präsentiert, die mit der auf der gleichen Technologie basierenden MUPUS - Thermalsonde im Rahmen von bodenkundlichen Untersuchungen testweise gewonnen wurden.

Ergänzendes Material z.B. unter: <http://ifp.uni-muenster.de/pp/MUPUS/>

Relationships between Seismic Fracture Attributes and Core Data

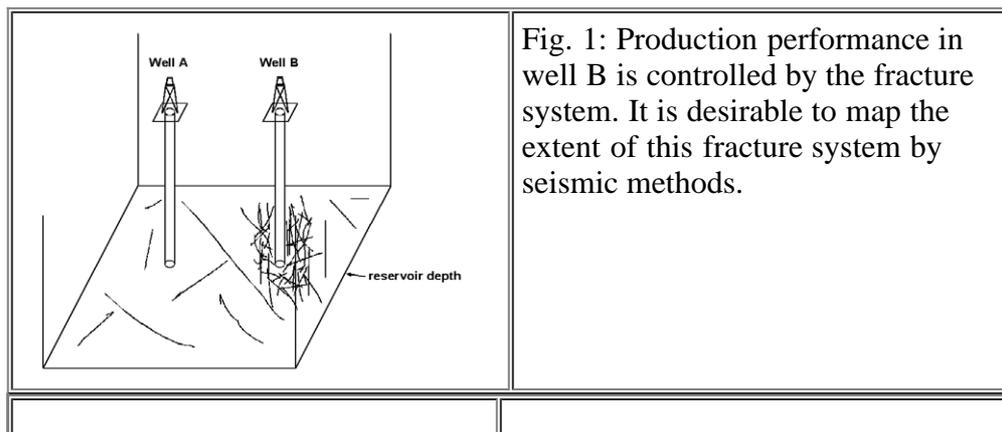
Many studies have demonstrated the impact of faults, fractures and joints with respect to production performance of hydrocarbon deposits. Cases are reported where the reservoir performance may increase with appearance of fracture permeability or decrease due to diagenetic processes in the vicinity of such fractures. In any case detailed knowledge of the fracture system is desirable (Fig. 1). In this paper an approach is presented allowing the extraction of attributes from seismic data characterising fault systems. Combining these *fracture attributes* with all relevant geological information (e. g. core data) allows to forecast the production performance for undrilled areas.

Our approach consists of the following four steps:

1. Coherency or volume attribute processing of the seismic data to achieve the best possible resolution of the fracture system at depth of interest
1. Interpretation of lineaments
1. Derivation of attributes describing the fracture system (*fracture attributes*)
1. Searching for relationships between derived attributes and production data and forecasting

The CohTEECÒ technology provides a range of algorithms to carry out coherency calculations on seismic data. This approach ensures a most detailed picture of the fracture system (IHS-result, Fig. 2). The CohTEEC results are used to interpret lineaments on both maps and sections, while at the same time the geological reliability of all features has to be verified. This includes the identification of artefacts resulting from processing, poor signal/noise ratio etc. The interpretation benefits from the fact that the interpreter has the choice to view different aspects of the fracture pattern by loading out different seismic volumes representing the coherency, dip and azimuth volume. Fig. 3 presents the interpreted lineaments from which attribute maps could be obtained. These attributes could be the fracture density (e. g. Fig. 4), fracture connectivity, fractal behaviour of fractures etc.

Relationships have to be found between production data and *fracture attributes* described above. Production performance might be expressed e. g. by flowrates, effective permeability, pressure data etc. The example given in Fig. 4 shows one result of an attribute (fracture density) based on the interpretation carried out in Fig. 3. Other attributes concerning the fractal behaviour of fractures can be derived. In Fig. 5 the cumulative frequency distribution of fracture length is displayed in a log-log diagram. The result is a slope of -0.96. This slope is related to a common fracture pattern for this stratigraphic unit. A similar approach has been applied for a second survey. It shows a relatively large number of smaller fractures resulting in a steeper slope (-1.41). In a further step for each of the two examples a comparison with production data has been performed. A considerable increase in production performance has been reported for some gas fields showing strong fracturing. In other areas it is known that strong fracturing served as pathways for acid waters ascending from subjacent beds which might cause diagenetic effects and therefore reduce the permeability. Once a relationship between *fracture attributes* and reservoir performance has been established this knowledge is used for an areal mapping of the expected performance. The areal distribution might be used for planning new well locations, side tracks and horizontal well paths. However, note that this approach provides only one aspect in the estimation of the reservoir behaviour. To come to final conclusions all relevant information such as lithological and petrophysical information has to be considered.



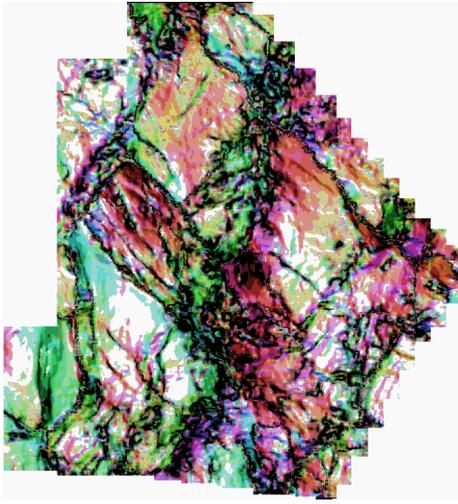


Fig. 2: Result of coherency processing (10 x 12 km²).

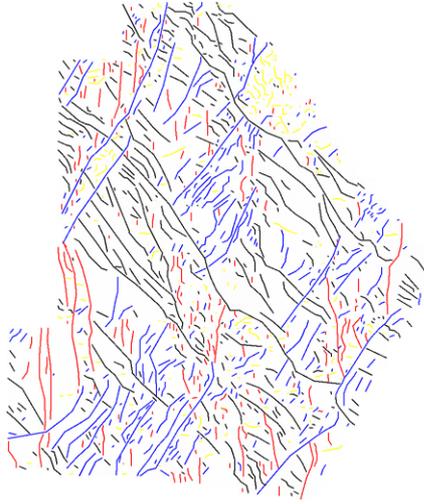


Fig. 3: Interpreted lineaments.

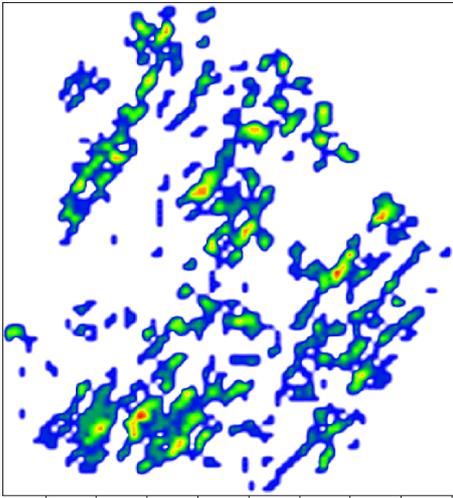


Fig. 4: Fracture Density Map of Fig. 2 for fractures of distinctive orientation.

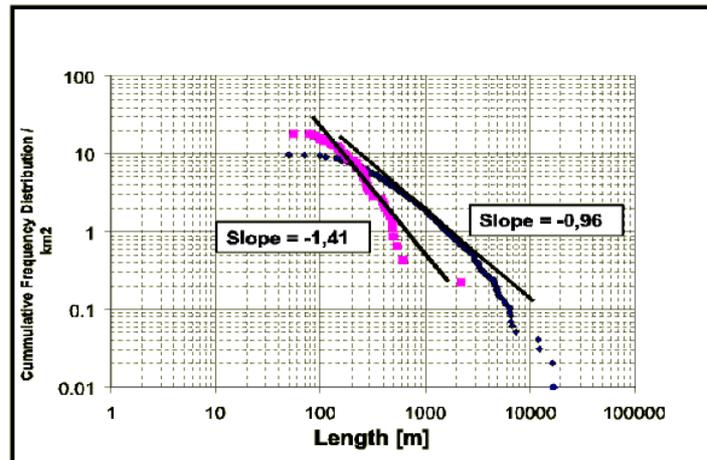


Fig. 5 Cumulative frequency length distribution within the Permocarbiniferous.

Schuck, A. und Seidel, K. (Geophysik GGD, Leipzig)

schuck@geophysik-ggd.com

Geophysikalische Messungen zur Erkundung des Deponieuntergrundes

- Zwei Fallbeispiele aus Thailand -

Einleitung

Als eine natürliche Barriere können die Gesteinsschichten des Untergrundes von Deponien und Altablagerungen den Austrag von Schadstoffen behindern. Für die Erkundung und Bewertung dieser geologischen Barrieren besteht insbesondere in den sich schnell entwickelnden Regionen Südostasiens ein großer Bedarf an geeigneten Verfahren und Handlungsempfehlungen, die auf die spezifischen Verhältnisse in der Region abgestimmt sind. Die geophysikalischen Messungen sind Teil eines interdisziplinären Projektes, das die im Verbundvorhaben "Deponieuntergrund" (Knödel et al. 1997) erarbeiteten Technologien zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altablagerungen an die Rahmenbedingungen in Thailand anpassen und durch einen Technologietransfer zu einer nachhaltigen Sicherung sauberen Grund- und Oberflächenwassers beitragen will.

Die Erarbeitung von Grundkarten aus Luftbildaufnahmen, die Evaluierung der vorhandenen örtlichen Gesetze und Richtlinien, das Abteufen von Bohrungen mit Kernaufnahmen, die Einrichtung von Grundwassermessstellen, die Erstellung hydrogeologischer Modelle, die Durchführung geochemischer Versuche sowie die Ausbildung thailändischer Fachkräfte sind, neben den geophysikalischen Untersuchungen, weitere ausgewählte Aktivitäten innerhalb des Verbundvorhabens.

Zielsetzung

Die geophysikalischen Messungen fanden im Frühjahr 2001 an den Deponiestandorten von Ban Mae Hia und Nong Harn in der Nähe von Chiang Mai im Norden Thailands statt. Untersuchungsziele waren:

- die Bestimmung regionaler geologischer Strukturen und der Tiefe der Festgesteinsoberfläche
- die Ermittlung von Schichtmächtigkeiten
- die Verfolgung von Störungen und Kluftzonen
- die Unterscheidung von Grundwasserleitern und -nichtleitern
- die Erkennung der Grundwasseroberfläche
- die lokale Abgrenzung der Deponien und Ablagerungen
- die Charakterisierung von Deponieinhalten
- der Nachweis des Austritts von (schadstoffhaltigen) Wässern aus dem Deponiekörper

Methodik und Ergebnisse

Aufgrund dieser umfassenden Fragestellungen wurde mehrere geophysikalische Verfahren eingesetzt: Magnetik in einem Raster von 50 m x 200 m, elektromagnetische Kartierungen mit Spulenabständen von 20 m bis 80 m und jeweils 4 Frequenzen, elektromagnetische Sondierungen, 2D-Geoelektrik mit Elektrodenabständen von 2 m bis 5 m, Widerstandstiefensondierungen, Gravimetrie mit Punktabständen von 100 m sowie Reflexionsseismik mit Anregungs- und Geophonpunktabständen von 4 m und 9 m. Die Methoden ergänzen sich zum Teil in ihrer Aussage und verstärken damit die Sicherheit der Interpretation.

Die Abbildung 1 zeigt exemplarisch die Ergebnisse einer elektromagnetischen Kartierung am Standort Ban Mae Hia. Hier wurden außer dem eigentlichen Deponiekörper weitere bisher unbekannte Altablagerungen lokalisiert, die ebenfalls Quellen für Schadstoffaustritte in das Grundwasser sein können. Die hier gewonnenen Ergebnisse der geophysikalischen Messungen liefern wertvolle Informationen sowohl für die Auswahl von Bohrpunkten als auch für die hydrogeologische Modellierung. Nach Auswertung der Bohraufschlüsse kann der Gültigkeitsbereich dieser punktuellen geologischen und petrophysikalischen Ergebnisse wiederum mit den geophysikalischen Aussagen korreliert und in die Fläche übertragen werden.

Literatur

Knödel, K., Krummel, H. und Lange, G. (Hrsg.) 1997. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3 - Geophysik. Springer-Verlag.

Danksagung

Wir bedanken uns insbesondere bei den Mitarbeitern des Department of Mineral Resources und von Atop Technology für die tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Messungen in Thailand. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung über den Projektträger Wassertechnologie und Entsorgung im Forschungszentrum Karlsruhe (Förderkennzeichen 0281219) finanziell gefördert. Die Projektkoordination erfolgt durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

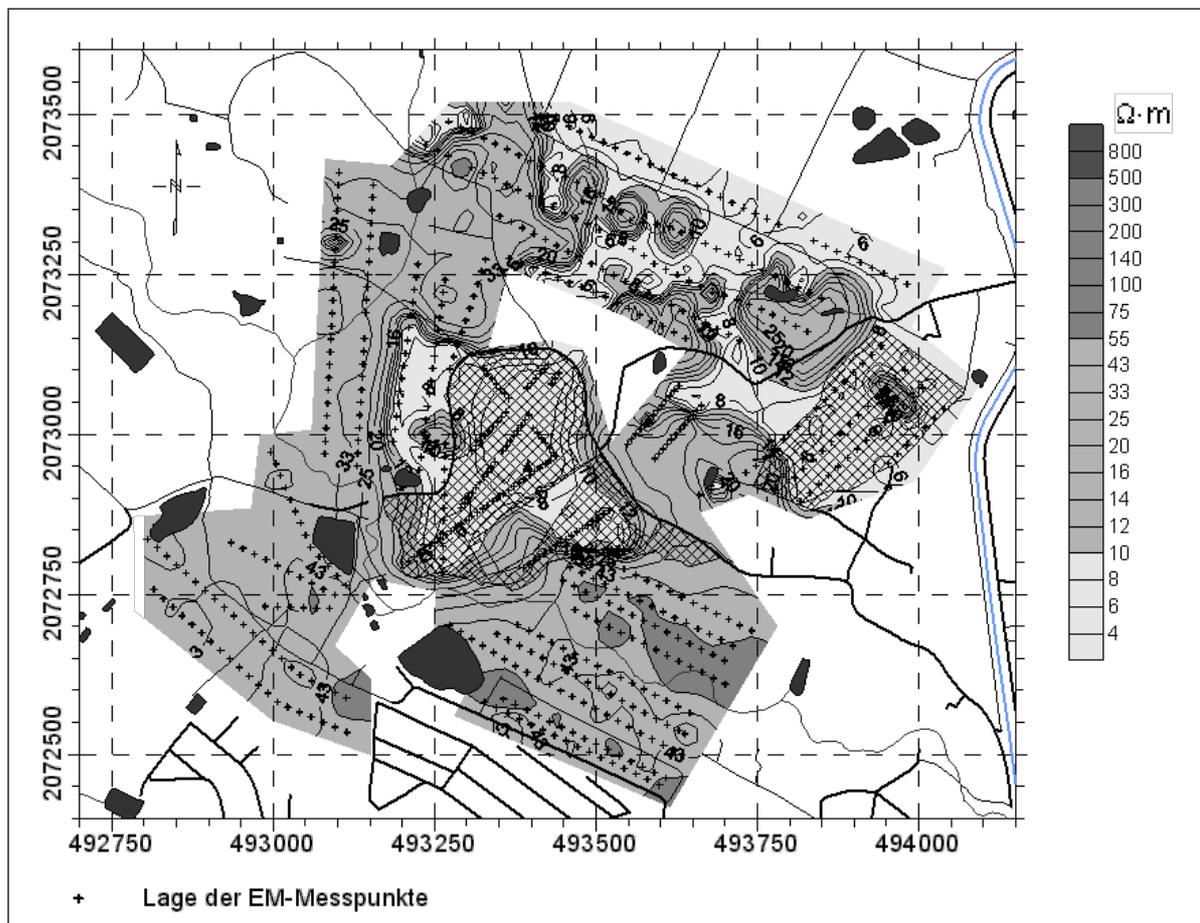


Abb.1 Karte des scheinbaren spezifischen Widerstandes im Ergebnis einer elektromagnetischen Kartierung (MaxMin I10, 28160 Hz, Spulenabstand: 40 m)

Voppel, D. (Buchholz/Nordheide), Schulz, G. (Wingst)

guenter.schulz@bsh.d400.de

Eine Episode in der Geschichte der Geophysik im Hintergrund des Weltgeschehens

Drei Quartz-Horizontal-Magnetometer (QHM) gerieten im 2. Weltkrieg zwischen die Fronten, überlebten den Krieg unversehrt und wurden über 20 Jahre lang im Erdmagnetischen Observatorium Wingst als Meßinstrumente für Basis-, Vergleichs- und Säkularpunktmessungen benutzt, bis sie schließlich durch moderne Instrumente wie Protonen-Vektor-Magnetometer und Fluxgate-Theodolit ersetzt wurden.

Nach Bekanntwerden der Herkunft dieser QHMs wurden sie ihrem rechtmäßigen Besitzer wieder übergeben.

Dieser Bericht könnte der Anfang einer den "FIAT"-Bericht *) ergänzenden Aufarbeitung der Geschichte der Geophysik in Deutschland während des 2. Weltkrieges sein, wenn noch andere in Archiven verborgene Vorgänge bekannt gemacht würden.

*) Bartels, J. (Hrsg.): Geophysik, Teil 1 in: Naturforschung und Medizin in Deutschland, 1939-1946, Bd. 17. Wiesbaden 1948

Schwarzbach, C. (Freiberg)

Genetische Algorithmen bei der Inversion in der Widerstandsgeoelektrik

Genetische Algorithmen sind stochastische Suchverfahren, die bei der Lösung der inversen Aufgabe zur Anpassung einer Modellantwort an einen Datensatz eingesetzt werden können. Für die nichtlineare Optimierung des Fehlerfunctionals bezüglich der Modellparameter benötigen genetische Algorithmen weder ein Startmodell noch die Berechnung von Ableitungen. Ausgehend von einer zufallsgenerierten Anzahl von Punkten im Parameterraum erzeugen die genetische Operatoren Selektion, Kreuzung und Mutation eine Folge neuer Generationen von Punkten. Analog zur Anpassung von Lebewesen an ihre Umwelt suchen genetische Algorithmen Punkte, die bezüglich des Fehlerfunctionals optimal sind. Die genetische Suche ist durch den Einsatz von Evolutionsstrategien, das Überleben des Stärkeren und die Codierung der Parameter eine sehr effektive Methode zur Erkundung großer Parameterräume mit möglicherweise vorkommenden Nebenminima, da nur ein Bruchteil des Parameterraums durchsucht werden muss. Die genetische Suche wird bei der Inversion widerstandsgeoelektrischer Daten getestet.

Siemon, B. (Hannover)

Aeroelektromagnetische Erfassung von Salzwasseraufstiegszonen

Salzwasser im Untergrund stellt für die Gewinnung von Trinkwasser häufig ein großes Problem dar. Dies gilt nicht nur für aride Gebiete mit hoher Verdunstungs- und geringer Grundwasserneubildungsrate, sondern auch für gemäßigte Zonen bei Salzwasserintrusion im Küstenbereich oder bei Salzwasseraufstiegszonen. Der geophysikalischen Erkundung dieser Gebiete kommt eine zunehmende Bedeutung zu, da schnelle, preiswerte Verfahren gefragt sind.

Geoelektrische Methoden eignen sich besonders für eine geophysikalische Grundwassererkundung. Hierbei wird der Parameter elektrische Leitfähigkeit bzw. deren Kehrwert, der spezifische Widerstand, im Erduntergrund bestimmt. Dieser hängt neben den elektrisch leitenden Eigenschaften der Gesteine besonders von der Salinität des Wassers ab. Da die elektrische Leitfähigkeit mit steigendem Salzgehalt im Wasser zunimmt, lassen sich Süß- und Salzwasser gut unterscheiden und Salzwasser führende Bereiche erkennen und abgrenzen.

Eine elegante, sehr schnelle und kostengünstige Methode ist die Aeroelektromagnetik (AEM), die sich insbesondere zur Erkundung großer oder am Boden schlecht zugänglicher Areale eignet. Als wesentlicher Bestandteil ihres aerogeophysikalischen Messsystems (Abb.) setzt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) die Frequenz-AEM seit etwa 15 Jahren sehr erfolgreich zur Grundwassererkundung im In- und Ausland ein (siehe Sengpiel & Fluche (1992), Sengpiel & Siemon (1997), Siemon et al. (2002)).

Das derzeit von der BGR benutzte AEM-System (Dighem^V) besteht aus horizontal-koplanaren Spulensystemen für fünf Messfrequenzen im Bereich von 384 Hz bis 192,5 kHz, mit dem i. A. Erkundungstiefen bis etwa 100 m erzielt werden können. Bei 10 Messungen pro Sekunde und einer Fluggeschwindigkeit von 100-150 km/h beträgt der Messpunktabstand 3-4 m.

Aus den AEM-Daten lassen sich scheinbare spezifische Widerstände (Halbraumwiderstände) für jede Messfrequenz (Siemon, 2001) oder 1D-Inversionsmodelle für den kompletten Datensatz (Sengpiel & Siemon, 2000) ableiten. Die für jeden Messpunkt berechneten Werte werden in Form von Karten und Vertikalschnitten dargestellt.

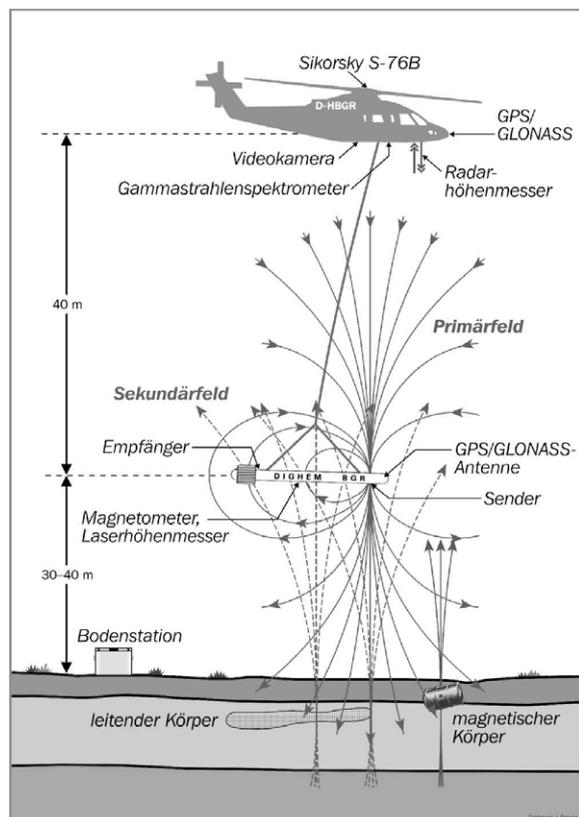


Abb.: Aerogeophysikalisches Messsystem bestehend aus einem Messhubschrauber, einer Flugsonde und einer Bodenstation. Simultan werden elektromagnetische, magnetische, radiometrische und

Positionsdaten erhoben.

Auf Anregung der Thüringer Landesanstalt für Geologie wurde im Mai 1995 ein etwa 65 km² großes Gebiet entlang der Werra zwischen Vacha und Bad Salzungen mit dem aerogeophysikalischen Messsystem der BGR vermessen (Sengpiel et al., 1996). Ziel der Befliegung war die Erkundung einer Salzwasseraufstiegszone bei Tiefenort. Die Ergebnisse der AEM zeigen westlich von Tiefenort eine deutliche, fast kreisförmige Verringerung des spezifischen Widerstandes. Im Zentrum treten Werte unterhalb von 1 Wm auf, die gut mit den aus gleichstromgeoelektrischen Messungen abgeleiteten Werten (Grinat, 1994) übereinstimmen.

Ein weiteres, etwa 550 km² großes Messgebiet wurde auf Wunsch des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie im Hessischen Ried untersucht. Dort steigt Salzwasser entlang der westlichen Randstörung des Oberrheingrabens zwischen Oppenheim und Astheim auf und breitet sich nach Osten aus. Aufstieg und Ausbreitung dieses Salzwasservorkommens wurden mit der Gleichstromgeoelektrik und der AEM flächenhaft erfasst. Die Ergebnisse beider Methoden stimmen wiederum gut überein (Siemon et al., 2001a).

Eher zufällig ist eine Salzwasseraufstiegszone bei Rhüden im Nettetal bei einer aerogeophysikalischen Kartierung eines etwa 400 km² großen Gebietes im nordwestlichen Harzvorland (Siemon et al., 2001b) entdeckt worden. Ursache für die Versalzung des Grundwassers ist offensichtlich eine Auslaugung von Zechsteinsalzen in mehr als 500 m Tiefe und ein Aufstieg der Laugen entlang der Nettetal-Störung, die durch diese Untersuchung erstmalig unterhalb der Quartärbedeckung nachgewiesen werden konnte.

Literatur

Grinat, M. (1994): Geoelektrische Untersuchungen zum Nachweis von Versalzungen im Grundwasser bei Tiefenort. – NLFb-Bericht, Archiv-Nr. 114035, Hannover (Unveröff.).

Sengpiel, K.-P. & Fluche, B. (1992): Application of airborne electromagnetics to Groundwater investigations in Pakistan. – Z. dt. geol. Ges., **143**: 254-261, Hannover.

Sengpiel, K.-P., Siemon, B., Pielawa, J., Röttger, B. & Voß, W. (1996): Aerogeophysikalische Messungen im Gebiet Werratal (Vacha–Bad Salzungen), 1995; Technischer Bericht mit Interpretation ausgewählter Ergebnisse. – BGR-Bericht, Archiv-Nr. 114035, Hannover (Unveröff.).

Sengpiel, K.-P. & Siemon, B. (1998): Examples of 1-D inversion of multifrequency AEM data from 3-D resistivity distributions. – Exploration Geophysics, **29**: 133-141.

Sengpiel, K.-P. & Siemon, B. (2000): Advanced inversion methods for airborne electromagnetic exploration. – Geophysics, **65**: 1983-1992.

Siemon, B. (2001): New and improved resistivity-depth profiles for helicopter electromagnetic data. – J. Appl. Geophys., **46**: 65-76.

Siemon, B., Blum, R., Pöschl & Voß, W. (2001a): Aeroelektromagnetische und gleichstromgeoelektrische Erkundung eines Salzwasservorkommens im Hessischen Ried. – Geol. Jb. Hessen **128**: 115-125, Wiesbaden.

Siemon, B., Jordan, H., Sengpiel, K.-P., & Voß, W. (2001b): Einsatz der Aeroelektromagnetik zur geologischen Kartierung. – In: Hördt, A. & Stoll, J. (Hrsg.): Protokoll über das 18. Kolloquium "Elektromagnetische Tiefenforschung", Altenberg, 60-69.

Weigelt, E., Uenzelmann-Neben, G. (Bremerhaven), Spiess, V. (Bremen)

ewigelt@awi-bremerhaven.de

Neogene Sedimentation History as Recorded in the Seismostratigraphy of the Cape Basin

The Benguela Current System represents one of the largest upwelling regions world wide. Due to its high sedimentation rates it represents an excellent climate archive and offers the possibility to document modifications within the circulation system as well as the changing terrigenous component in the southern Cape Basin.

As part of ODP Leg 175, three sites (Site 1085, 1086, 1087) were drilled in the southern part of the Cape Basin. Significant events as incursions of warm or cold waters (from Indian Ocean or Antarctica respectively), climate changes and slumpings are recorded in the deposited material. As pre site survey for this Leg multichannel seismic reflection data were collected in the Cape Basin during the METEOR Cruise M34/1 in 1996. The sedimentary properties are expected to be reflected in the signal structure of seismic data from this area. One major aim is the extrapolation of informations from the sites spatially by associating the results via synthetic seismograms to the seismic profiles.

In this contribution we present a seismostratigraphy of the southern Cape Basin in view of three selected significant events: The first topic is the considerable increase in upwelling within the Benguela Current System (BCS) in late Miocene (about 5.7 Ma), reflected in the seismic profiles by a change in reflection pattern from weak signals of continuous layers to a chaotic transparent style. The layers show an increase in thickness towards the shelf and are disturbed by slide scarps. The second point concerns the observed landwards shift of the scarps with increasing age. The distribution in space and time probably reflects a shift of the Benguela Current upwelling system. A third item is the onset of glaciation of northern hemisphere about 3.2 Ma. In the seismic sections it corresponds to a change of reflection pattern from a more chaotic and transparent style to continuous reflectors with strong amplitudes running parallel to the seafloor. Additionally, the strongest of them corresponds to the abrupt cooling in late Pliocene (1.9-2.1 Ma) which is accompanied by an intensification of upwelling and increase in productivity. The time range accords also to the transition of lithostratigraphic unit IB to IA.

Stammler, K. (SZGRF Erlangen), Wang, P. (China Seismological Bureau, Beijing)

klaus@szgrf.bgr.de

Seismotectonics and Seismic Risk in the Yanqing Basin

The project investigates earthquake source mechanics and seismotectonics of the Yanqing basin. Reasons for choosing this location were (a) the occurrence of intra-plate earthquakes whose source processes are not known in very much detail yet, (b) its vicinity to capital city of Beijing so it can give a valuable contribution to the seismic risk evaluation of the capital area and (c) sufficient infrastructure for data collection and station maintenance.

As first steps the recorded seismicity of the region has to be analysed, detection and location algorithms have to be optimized and a local velocity model has to be derived. The structure of crust and mantle below the Yanqing basin will be modeled by the method of receiver functions using records of teleseismic earthquakes.

One of the major tasks of the project is the direct measurement of earthquake source parameters for events along segments of the Yanqing fault and their correlation with geological, tectonic and seismotectonic data of the Yanqing basin. An important question in this context is why some of the tectonically similar fault segments are seismically active while others are not. Using a proper setup of the Yanqing seismic array stations it will be possible to model the rupture process of earthquakes along the Yanqing fault in space and time within a wide range of magnitudes. Thus rupture parameters can be determined. Examples of such parameters are the location of start and stop points of the rupture, rupture velocity, rupture length, rise time of the dislocation function along the rupture, energy released and seismic moment tensors. The inversion for such parameters using particular rupture models then gives estimates on stress drop and the depth range of the rupture. A statistical evaluation of subgroups of events (event ensembles) leads from the analysis of single events to a seismotectonic interpretation of the observations. Modelling the properties of the event ensembles should explain the seismic and aseismic crustal activities as a response to the regional stress field.

Two more aspects of the project are the integration of these derived seismotectonic and seismic source parameters into an improved mapping of the seismic risk in the Yanqing basin as well as the integration of the stations of the Yanqing array into a planned seismic alert system of the CSB.

The technical equipment used for this project is an array of currently 9 seismic stations, a data collection center and a data analysis center. Each station consists of a broadband seismometer, a strong motion accelerometer, a 24-bit A/D converter, a GPS receiver and a digital radio transceiver. The continuous data streams are transmitted via subarray stations to an array center and are automatically archived on CD recordables. A complete copy of the data is regularly sent to the SZGRF in Erlangen. Data analysis therefore can be done at the Institute for Geophysics of the CSB in Beijing and at the SZGRF.

Stange, St. (LGRB Freiburg), Strehlau, J. (Universität Kiel)

stange@lgrb.uni-freiburg.de, strehlau@pclab.ifg.uni.kiel.de

Fault plane solutions of upper and lower crustal earthquakes under the central Molasse basin: evidence of a composite stress field?

The southwest German and northern Swiss part of the Molasse basin in the Alpine foreland (between the river Iller and Lake Zurich) shows two distinct seismogenic depth intervals: one in the upper crust down to 16 km, the other in the lower crust between 20 km and the Moho. Neither sub-crustal nor mid-crustal foci have been detected by reliable observations in Switzerland (since 1984) and in Germany (since 1994). The bimodal depth distribution is statistically significant and raises the question as to whether distinct stress fields act in each seismogenic layer or whether both layers are governed by a single stress field.

To resolve this question, new fault plane solutions (FPS) of several well-located events were determined and additional FPS were compiled from the literature. The combined data set (>60 FPS) shows both strike-slip and normal faulting, but the relative proportion of these mechanisms differs in each seismogenic layer: In the upper crust, strike-slip occurs more frequently than normal faulting; in the lower crust, normal faulting is predominant.

In both layers, the majority of azimuths of possible fault planes are oriented obliquely to the basin strike, thus indicating that faults aligned roughly parallel to the basin strike (about N70E) are not active in the current seismotectonic regime.

Using the method of Gephart and Forsyth (1984), stress inversions of the FPS were performed for the complete data set and for individual subsets divided either geographically (eastern and western section of the study area) or with depth (upper and lower seismogenic layer). In all cases, the best-fit minimum principal stress (σ_3) is horizontal with an azimuth parallel (within an angle of 10°) to the basin strike. The maximum principal stress (σ_1) is near vertical in the eastern section and in the lower crust.

In the western section and in the upper crust, the orientation of σ_1 is not resolved uniquely with the present data set; it appears that two possible orientations (one vertical, the other horizontal with an azimuth perpendicular to the basin strike) can fit the data equally well. Since numerical models (Neugebauer & Wallner, 1993) predict a horizontal orientation of σ_1 , a key question would be, what causes the rotation of σ_1 into the vertical direction.

The ambiguity in σ_1 and the uniformity in σ_3 can be interpreted in terms of coincident extension and compression in the Alpine foreland. Possible explanations include the presence of a composite stress field consisting of two or more superimposed components that may be generated by different processes. Several alternative models are considered:

- The continued convergence of the African and Eurasian plates generates a compressive stress field that may be transferred to the northern foreland mainly through the upper crust, due to viscous decoupling in the middle crust. Following Dewey et al. (1998), the compression would generate a heterogeneous transpressional strain field with both lateral and vertical stretch (extrusion), thus perhaps explaining the observed uplift and extension in the foreland.
- The indentation of the Adriatic microplate into the Central European plate can cause intraplate extensional and strike slip-faulting of the foreland crust (Regenauer-Lieb & Petit, 1997).
- Andeweg & Cloetingh (1998) proposed that the recent uplift of the Alps causes unloading of the Alpine foreland; the associated 'unflexure' would generate compressional bending stress above a neutral zone and tensional bending stress below it; the neutral zone might be identified with the 'aseismic' middle crust.
- The latter model can be extended to accommodate different amounts of loading and unloading between the eastern and western Alps, thus generating a laterally heterogeneous flexure of the foreland, perhaps inducing a broad transtensional hinge zone in the central part of the foreland.
- Transient isostatic rebound due to postglacial unloading (Gudmundsson 1994) and rapid local erosion by glacial melt water streams may induce a combination of compression and extension in the foreland, thus probably generating a heterogeneous stress field.
- Kastrup et al. (2001) suggest that the lateral density changes associated with the Alpine crustal root can induce gravitational differences between the foreland and the Alps which may in turn move the stress regime towards normal faulting.

Numerical modelling including crustal temperatures and rheology would be required to evaluate the stress systems generated in each of the various working hypotheses and to possibly combine individual effects into composite stress field models that can be tested against the data. This approach is perhaps essential for deriving an explanation of the bimodal seismicity beneath the Molasse basin.

References:

Andeweg, B. & S. Cloetingh (1998), *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 134, 403-422.

Dewey J.F., R.E. Holdsworth & R.A. Strachan (1998), *Geol. Soc. London Spec. Publ.* 135, 1-14.

Gephart, J.W. & D.W. Forsyth (1984), *J. Geophys. Res.* 98, 9305-9320.

Gudmundsson, G.H. (1994), *Eclogae geol. Helv.* 87, 545-557.

Kastrup, U., M.L. Zoback, N. Deichmann, K. Evans, A.J. Michael & D. Giardini, submitted to *J. Geophys. Res.* (2001).

Neugebauer, H.J. & H. Wallner (1993), *Die Geowissenschaften*, 11. Jg. 360-364.

Regenauer-Lieb, K. & J.P. Petit (1997), *J. Geophys. Res.* 102, 7731-7746.

Strehlau, J. (Universität Kiel)

strehlau@pclab.ifg.uni-kiel.de

Earthquake focal depths and the brittle-plastic transition: How did our current understanding of the depth extent of seismicity in the continental crust evolve?

This paper recounts a few major historical milestones in the development of an explanation for the shallow depth confinement of continental earthquakes. It is instructive to explore how the modern paradigm of the transition from brittle faulting to plastic flow with increasing pressure and temperature has only modestly advanced from ideas and principles that were laid down almost 125 years ago. Scientific efforts to understand the seismic-aseismic transition in terms of natural and experimental rock deformation originated in the late 19th century. The concept of the brittle-plastic transition was initially suggested in 1878 by Albert Heim (1849-1937), Swiss geologist and professor at the ETH Zürich and the University of Zürich. He published his evidence in a three-volume monograph titled "Investigations into the Mechanism of Mountain Building, Appended to the Monograph on the Tödi-Windgällen Range" (translated from the German).

In his detailed field work and microscopic studies of naturally deformed rocks from the region of the Helvetic Alps containing the famous Glarus overthrust, Heim noticed that the shallow rocks were often fractured whereas the deeper rocks were apparently deformed without fracturing. He deduced from his observations that rocks can deform by brittle fracture or plastic flow. He inferred from experimental results then available in materials science [see S.P. Timoshenko, *History of Strength of Materials*, 1983] that the mode of rock failure will depend on the rock type and primarily on the mechanical conditions such as lithostatic and pore pressure, temperature, differential stress, and the rate of stress change. Thus he postulated that the Earth's crust can be generally subdivided into an upper zone of brittle fracture and a lower zone of plastic flow, separated by a gradual transition where both mechanisms overlap.

Heim was aware of earthquakes occurring particularly in the Swiss Alps; he cofounded the Swiss Seismological Commission in 1878, one of the first organizations of its kind in the world [R. Schick and E. Wielandt, *Jh. Ges. Nat. Württ.* **149**, 75-98, 1994]. Consequently, he recognized the implications of his layered deformation model for the source depth of earthquakes. He argued that tectonic earthquakes represent a sudden release of stress caused by fractures or displacements on faults, and that such movements can only occur in the upper layer whereas the lower layer deforms slowly and continuously. Since reliable focal depth determinations that would have enabled Heim to test his theory were not available at the time, he could only tentatively conclude that earthquakes are a shallow phenomenon. However, he also pointed out that earthquakes with foci much deeper than the brittle-plastic transition must be caused by other processes. This farsighted inference preceded the discovery of deep earthquakes [see C. Frohlich, *J. Geophys. Res.* **92**, 13777-13788, 1987] by more than 40 years.

Heim's classical work had a significant influence on the thinking of geologists worldwide and was characterized even a hundred years later as "a survey and synthesis of structural geologic principles of remarkably modern tone" [A.G. Milnes, *Geology* **7**, 99-103, 1979]. Heim's profound insights inspired a number of attempts by field geologists and experimental rock mechanicians to determine the depth of the brittle-plastic transition, among them the first experiments under high confining pressure by Th. von Karman [*Z. VDI* **55**, 1749-1757, 1911] and under high temperature by F.D. Adams [*J. Geol.* **20**, 97-118, 1912]. The results were compatible with Heim's theory, which thus gained general acceptance by the geological community and also found its way into a few geophysical textbooks of the early 20th century [e.g., M.P. Rudzki, *Physik der Erde*, 1911, p. 245-246].

A. Wegener [*The Origin of Continents and Oceans*, 4th ed., 1929] applied the brittle-plastic transition concept in his theory of continental drift by suggesting that plastic flow in the lower part of the plates possibly constitutes a rheological drift mechanism [see also W.R. Jacoby, *Geology* **9**, 25-27, 386-387, 1981]. However, the idea of rock flow below about 10-20 km depth was at variance with the geophysical concept of an approximately 100 km thick, strong lithosphere overlying a weak asthenosphere, developed in a series of papers by J. Barrell [*J. Geol.* **22/23**, 1914/15] on the basis of the well-known theory of isostasy. Seismology could contribute little at the time to resolve this apparent contradiction because early seismological stations were too widely spaced apart, and the timing of phase arrivals was not precise enough, to determine focal depths of crustal earthquakes more accurately than to a few tens of km.

Improved location accuracies of local earthquakes had been achieved by the early 1930s in California [J.R.

Goodstein, *Hist. Stud. Phys. Sci.* **14**, 201-230, 1984] where focal depths of up to 15-20 km were consistently found. J.B. Macelwane [*Science* **83**, 193-198, 1936] compared these depths to Heim's model and concluded that the foci of larger earthquakes do not occur, "as might be expected, near the top of the zone of fracture but are at or somewhat below its base." Heim's prediction of the zone of crustal plasticity was first reconciled with the concept of strong lithospheric plates in the classical paper by B. Isacks, J. Oliver and L.R. Sykes [*J. Geophys. Res.* **73**, 5855-5899, 1968] who argued that the lithosphere may be very thin or almost nonexistent along the world rift system where only shallow earthquakes occur.

The depth confinement of seismogenic faulting was first explained in terms of the physics of friction by W.F. Brace and J.D. Byerlee [*Science* **168**, 1573-1575, 1970] who observed in the laboratory that unstable stick-slip gave way to stable sliding with increasing temperature, and suggested that this mechanical transition corresponds to the seismic-aseismic transition. This concept was later extended by several authors to include brittle fracture and plastic flow of fault rocks as mechanisms underlying stick-slip and stable sliding, respectively [see C. Scholz, *Nature* **391**, 37-42, 1998]. New observations such as reliably determined focal depths in the lower crust of many continental regions including the Alpine foreland, may eventually lead to further improvements of Heim's long-standing paradigm.

Tasarova, Z. (FU, Berlin)

Gravity data analysis and forward modeling along the Chilean Margin at 35-40°S

Crustal structures along the Chilean Margin at 35 - 40°S are subject to new geological and geophysical research. Gravity data base and the integrated active and passive seismological experiment ISSA 2000 Project provides new information about the structures along the 39°S profile, and other seismological measurements are recently being done in this particular area. Based on these constraining data, as well as other existing results such as reflection profiles and a geological research a preliminary 3D density model has been developed within the framework of the German Collaborative Research Center 267 Deformation Processes in the Andes (task group C6 and the MIGRA group). The Southern Andes at this latitude are a very unique area in terms of a strong diversity of deformational style and therefore of geological structures as well. The oceanic lithosphere was generated at two different spreading centers in different time, and therefore there are varied buoyancy forces along this region. This is also the site, where the Chile ridge is actively being subducted, which has a certain effect on the development of the margin. The study region corresponds to the northernmost one-third of the rupture zone of the great Southern Chile earthquake in 1960. The analysis of the gravity field, by applying the Euler deconvolution method, curvature method, and other methods, which can show us the anomaly sources, and a preliminary 3D density model, should bring an insight into the crustal structures of this specific region. The gravity modeling indicates, and supports opinion, that the extensive back-arc volcanism east of the Main Cordillera between 38°-39°S implies active convection and influx of hot asthenospheric material into the mantle wedge below this region.

Thierner, M., Tezkan, B. (Köln)
thierner@geo.uni-koeln.de

Geophysikalische Untersuchungen am Rodderberg-Vulkan bei Bonn

Der Rodderberg-Vulkan bei Bonn gehört trotz seiner geographischen Nähe zum Siebengebirge zu den Maar-Vulkanen der Osteifel und ist damit ihr nordöstlichster Vertreter. Obwohl schon nachweislich 1835 Geologen bei Brunnenbohrungen anwesend waren, fehlt es weiterhin an einer genauen Altersdatierung. Gesichert ist nur eine Spanne von 130 bis 778 tausend Jahren vor heute. Das Geographische Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn hat daher ein Forschungsprojekt gestartet, an dem über eine Verbindung zum Geologischen Institut der Universität zu Köln auch das Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln eingebunden ist.

Ziel der geophysikalischen Untersuchungen ist, die Schichtdicke der Sedimentfüllung im Krater zu bestimmen. Da der Vulkan seit seinem letzten Ausbruch eine geschlossene Hohlform darstellt, sollte eine lückenlose Sedimentabfolge bis heute erwartet werden können. Neben einer genauen Altersbestimmung wäre damit auch Material für eine Klimastratigraphie gegeben.

Die bisherigen Modelle über den Aufbau des Rodderberg-Vulkans gingen von einer Sedimentschichtdicke von ca. 20 m aus. Eine bis auf über 50 m Tiefe abgeteufte Testbohrung enthielt aber im Bohrkern nur Sedimente, hatte also noch nicht die Unterkante der Sedimentschicht erreicht. Um den Rodderberg-Vulkan mit weiteren Bohrungen untersuchen zu können, wird ein neues Modell des Untergrundes benötigt.

Nach umfangreichen Tests wurde im Juli 2001 eine Geoelektrikmesskampagne durchgeführt. Gemessen wurden Schlumberger- und Halbschlumberger-Auslagen mit L/2 bis zu 340 m. Da das Messgebiet von Siedlungen, Privatbesitz und dem Rheintal begrenzt ist, ließen sich die Auslagen nicht weiter vergrößern. Zusätzlich galt es, den Betrieb des in der Mitte des Kraters liegenden Broichhofs mit seiner Reitschule möglichst nicht zu stören.

Für die Kombination aus Schlumberger- und Halbschlumberger-Auslagen sprach die erwartete Kesselform des Kraters, die neben einer Schichtung in der Mitte eben auch mit dem Kraterrand eine laterale, schräg einfallende Störung aufweist. Während die Schlumberger-Auslage gut geeignet ist, einen geschichteten Halbraum aufzulösen, reagieren die Halbschlumberger-Auslagen gut auf laterale Störungen.

Vor allem die Halbschlumberger-Auslagen waren schwer zu realisieren, da zu einer möglichst langen Auslage von AB eine entsprechend weite Position senkrecht dazu für die C-Elektrode gefunden werden musste. Auf diese Weise konnten aber die beiden Halbschlumberger-Auslagen direkt mit der Schlumberger-Auslage zusammen gemessen werden.

Insgesamt wurden an zehn Punkten innerhalb des Kraters vollständige Sondierungen durchgeführt, Referenzmessungen gab es an zwei weiteren Punkten außerhalb des Kraters mit einfachen Schlumberger-Auslagen.

Obwohl bei einem Teil der Messpunkte die für laterale Störungen bekannte Schere in den rhoa-Kurven zu erkennen ist und damit deutliche Zeichen für ein mehrdimensionales Problem vorliegen, sind bisher (Stand November 2001) alle Messpunkte nur 1D invertiert worden.

Das entstandene Bild des Untergrundes ergibt ein deutlich unsymmetrischeres Modell, als bisher angenommen. So scheinen die Flanken der Kraterwand nicht gleichmäßig geneigt zu sein, sondern eher eine Trichterform mit sehr großen Tiefen in der Kratermitte zu bilden. Auch sind die Widerstandskontraste zwischen der Sedimentfüllung und deren Unterbau nicht so groß wie erwartet.

Ein Vergleich mit den 1D Inversionsergebnissen von NanoTEM-Messungen, die an ausgewählten Punkten im Krater vorgenommen wurden, steht noch aus, wird aber bis März 2002 vorliegen, ebenso wie die ersten Ergebnisse von 3D-Vorwärtsrechnungen, die ein Modell des Rodderberg-Vulkans liefern sollen.

Tittel, B., Wendt, S. (Leipzig / Collm)

obsbt@hpwork29.collm.uni-leipzig.de

Zum Erdbebenschwarm NW-Böhmen im Jahre 2000: Magnitudenberechnung für Einzelbeben an herdnahen Stationen

Die Magnitudenangaben mehrerer mitteleuropäischer Stationen zu größeren Einzelbeben des Schwarms werden verglichen und angepaßt. Gleichzeitig bilden sie die Grundlage für die Neuberechnung der Magnituden tausender Klein- und Mikrobeben, die ausschließlich im Nahfeld registrierbar sind.

Den Ausgangspunkt dazu bilden über 10 500 Seismogramme der kurz vor dem Schwarm neu eingerichteten Station Wernitzgrün (Vogtland, D = 13km). Das vorgeschlagene Verfahren kann auf die Meßdaten weiterer Stationen angewendet werden.

Trappe, H. (Isernhagen)

trappe@teec.de

Reservoir Quality Prediction in Fluvial Channel Systems by Combining 3D Seismic Inversion and 3D Heterogeneity Results

The reservoir of interest is located in the North German Basin at a depth of about 4000m. The Upper Carboniferous fluvial sandstone has been tested by 14 wells which are mostly covered by 3D seismic data. Seismic reservoir characterisation is necessary to capture the strong heterogeneity but is not without pitfalls. Previous studies on Carboniferous sandstones had shown promising results on using 2D multitrace filters for a seismic reservoir characterisation. This study carries the 2D multitrace filter into 3D to better characterise the reservoir heterogeneity through 3D seismic multitrace attributes. A second step combines the analysis with the result of a 3D seismic inversion. Based on this study a more reliable knowledge of the distribution of porous and permeable sandbodies could be obtained.

3D Seismic Inversion

A 3D seismic inversion was carried out using the available logs and the 3D seismic data. A relation between acoustic impedance and porosity can be established at well location. Fig. 1 shows a seismic line from the survey and the corresponding acoustic impedance section (Fig. 2). Low impedance units (green colours) indicate porous sandbodies. Fig. 4 shows an impedance map 16ms below Base Zechstein allowing to distinguish between areas of low and high impedance. In addition fault systems may have controlled porosity and permeability values. This required information was gathered by analysing the seismic data through image processing algorithms.

3D Multitrace Attributes

Due to the strong heterogeneity of the fluvial reservoir a seismic investigation based solely on amplitude information has proven to be difficult. 3D algorithms measuring the heterogeneity of a neighbourhood of traces were developed and implemented. The attributes capture the similarity of trace segments in a neighbourhood. The size of the segment and the number of traces can be varied and is depending on the problem at hand. It is to be expected that various effects influence the result:

- Heterogeneity of the reservoir
- Fault systems
- Data quality and processing effects

3D Heterogeneity attributes are adapted to quantify changes in the appearance of seismic data. In certain cases this can be linked to the heterogeneity of the reservoir parameters. A map of this seismic attribute is seen in Fig. 5. Clearly the faults can be identified on the map but also smaller lineaments can be seen. Like the impedance result 3D Heterogeneity attributes (Fig. 3) show layering and identify zones with high similarity. Both attributes can be used to predict porous zones with higher accuracy than using a single attribute. A combined analysis has been done in Fig. 6 calculating the net volume of a 50ms interval using impedance and heterogeneity constraints. This way only bodies are selected that show indication for porosity, connectivity and also show no influence of faults. An example of a 3D view is presented in Fig. 7.

Conclusions

Due to the strong heterogeneity of the reservoir a seismic reservoir characterisation had to take all available information into account. A 3D seismic inversion has proven to be a good indicator for porous zones. Connectivity of the sandbodies and the influence of fault systems can be further addressed with 3D Heterogeneity attributes.

Acknowledgement to Wintershall AG, BEB Erdgas und Erdöl GmbH, Mobil Erdgas - Erdöl GmbH for the opportunity of presenting their data.

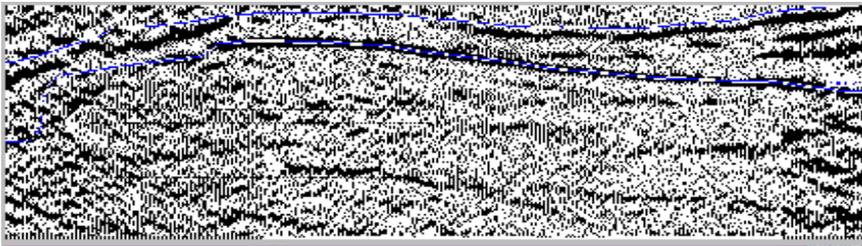


Fig. 1
Seismic line showing carboniferous interval

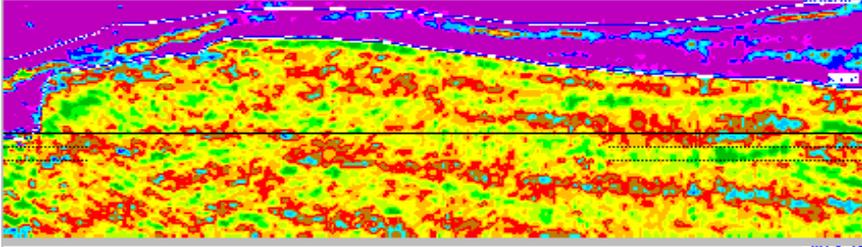


Fig. 2
Acoustic Impedance from 3D Seismic Inversion
(Green and Yellow Colours indicate low acoustic impedance)

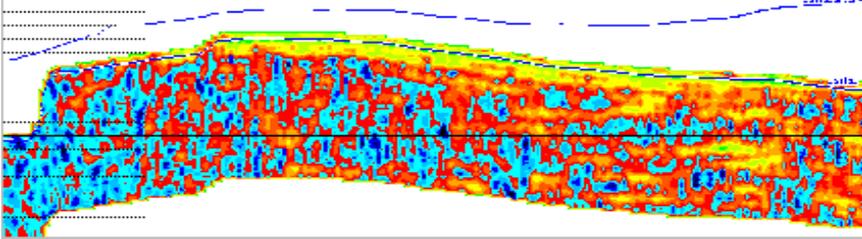


Fig. 3
3D Heterogeneity Attribute
(blue colours show heterogeneous areas)

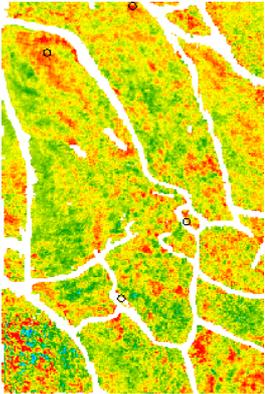


Fig. 4 Acoustic impedance map 16ms below Base Zechstein. Green colours indicate low impedance

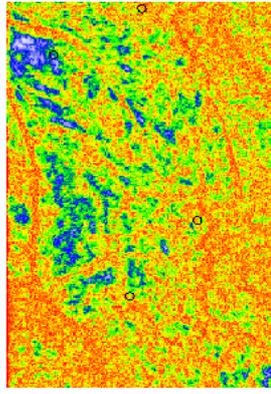


Fig. 5 3D Heterogeneity Attribute of same interval. Blue and green show homogenous areas

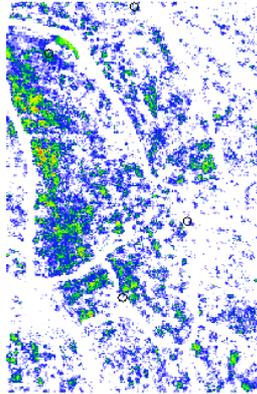


Fig. 6 Net volume of potential zone satisfying impedance and heterogeneity constraints

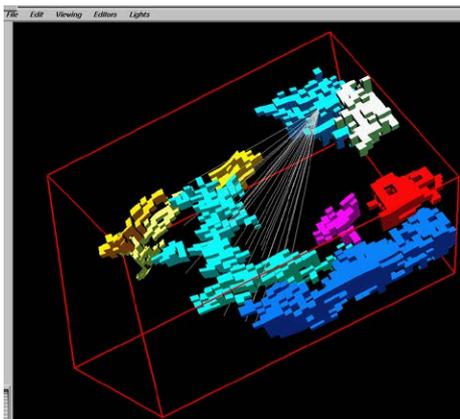


Fig. 7 Ten most connected sandstone bodies. Rays shown are used to compute optimal well path

Wildeboer Schut, E., Uenzelmann-Neben, G. (Bremerhaven)

ewildebr@awi-bremerhaven.de

ODP cores as a tool for seismic interpretation. An example of seismic data calibration on the Agulhas Ridge with ODP Leg 177 data.

The integration of seismic data with data obtained from cores as done during ODP drilling campaigns is a welcome tool to provide ground-truth to a structural interpretation of seismic data. There are however some difficulties to overcome for a proper application of core information to seismic data. Most important is a proper translation from the depth scale of the core data to the time domain in which the seismic data is acquired.

If checkshot data is not available as a calibration tool, then making these data comparable will be a non-trivial task. Detailed knowledge of the velocity structure at the cored locations is a prerequisite. If this information is not available through measurements with downhole logging tools then one needs to resort to either velocity information extracted from the seismic data, which is limited in resolution, or to direct measurements of core samples. This method imposes limitations on the accuracy as well, as the cores are measured! under laboratory conditions which might deviate considerably from *in-situ* conditions. Moreover, the data are not always complete, with large gaps where core recovery has been poor.

During ODP Leg 177 operations seven sites were drilled in the eastern part of the Southern Atlantic Ocean, of which three were located on the Agulhas Ridge. The cored intervals span a geological time frame from the end of the Eocene to the Holocene. The three locations are connected through eight profiles of GI-gun seismic data with a maximum amplitude at approx. 80 Hz.

The P-wave velocity and density measurements on selected core samples yield, after elimination of gaps and faulty measurements, an impedance series which is subsequently convolved with a wavelet that is constructed to represent the seismic source. The synthetic seismograms thus obtained generally show good agreement with the real seismic data as regards amplitude and waveform, however timing of the events is troublesome. This can be attributed to shortcomings of the method, such as the use of a velocity profile with inappropriate sections, a false depth scale for the cores due to recovery problems, and the inaccuracy of the positioning during both seismic and coring operations.

The main reflectors in the seismic data correspond to hiatuses and periods during which sedimentation was reduced. These can be found in the sequence stratigraphy determined from the cored sediments, and show a particularly well correlation with density variations.

In this way the cored data provide a calibration tool for the overall geological interpretation of the seismic sections.

Wassermann, J. (Universität Potsdam)

jowa@geo.uni-potsdam.de

Manual Chapter 13: Volcano seismology

The use of seismological observations in the monitoring and forecasting of volcanic eruptions is justified because nearly all seismically monitored volcanic eruptions have been accompanied by some sort of seismic anomaly. The chapter 13 of the manual introduces the terminology commonly used in classifying volcano-induced seismic signals. We will divide the known signals mainly into transient and continuous signals. We will also discuss, where appropriate, differences in the signal generation related to different types of magma (i.e., low/high viscous, gas rich/ poor). In the next section the design of a seismic monitoring network is introduced, which deviates from the usual earthquake monitoring networks. The fourth section of this chapter briefly reviews common and newly developed analysis techniques used in volcano-seismology. Starting with one component, single station techniques we will finally discuss the use of seismic arrays in volcano monitoring. In section five we focus on just a few of the various ground-based monitoring techniques which are closely related to seismology and provides supplement information about the activity status of a volcano. Finally, in the last chapter a summary of few technical aspects installing a seismic monitoring network at an active volcano will be given.

Webers, W. (GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, 14473 Potsdam)

wigor@gfz-potsdam.de

Feldfortsetzung für geophysikalische Potentialfelder: Untersuchungen zu globalen Magnetfeldmodellen aus Ørsted-Feldmessungen

Aus potentialtheoretischen mathematischen Gründen folgt, dass endliche Feldmodelle wie Kugelfunktionsentwicklungen (SHA) bezogen auf verschiedene konzentrische Referenzkugeln (bzw. – ellipsoide) den unterschiedlichen physikalischen Gehalt unterschiedlich in den Kugelfunktionstermen widerspiegeln. Eine Umrechnung des Feldmodells auf eine andere konzentrische Bezugsfläche wie Erdoberfläche und Satellitenbahnen bedeutet mathematisch eine Feldfortsetzung nach oben bzw. nach unten und ist eine inkorrekt gestellte Inversionsaufgabe.

Die vom Autor entwickelte Methode WIGCONT für die Feldfortsetzung nach unten ermittelt unter Nutzung eigener mathematischer Eigenschaften der SHA als Regularisierungskriterium - jedoch ohne fremde Zusatzbedingungen – die Unterschiede im physikalischen Gehalt der Feldmodelle für die Erdoberfläche und Satellitenbahnen. Damit wird eine physikalisch korrektere Bestimmung des Feldes an der Erdoberfläche aus Satellitendaten gewährleistet, da anderenfalls für die Feldfortsetzung nach unten mit wachsendem Grad und Ordnung der Kugelfunktionsentwicklung deren Terme wachsende Fehler aufweisen.

Die Verbesserung der Messgenauigkeit der Satellitenmessung des Magnetfeldes kann demzufolge nur für die physikalische Interpretation genutzt werden, wenn die genannten Unterschiede hinsichtlich verschiedener konzentrischer Referenzflächen, d.h. hinsichtlich des unterschiedlichen Abstandes zu den Feldquellen präziser berücksichtigt werden. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn mit den Feldmodellen über das Hauptfeld hinaus mit den Termen höherer Grade die Krustenanteile des Feldes ermittelt und untersucht werden sollen.

Die Unterschiede im physikalischen Gehalt sind deutlich größer als Fehlerschwankungen aus Messfehlern, wie sich über Fehlerabschätzungen und Fehlerfortpflanzung für Satellitenhöhen von 400 km und mehr nachweisen lässt.

Sobald Feldmodelle wie für Ørsted-Daten den Grad 14 deutlich überschreiten, erweist es sich als notwendig aber auch als ausreichend, die Regularisierungsparameter des Feldfortsetzungsverfahrens WIGCONT über Polynome zweiten bzw. dritten Grades zu bestimmen, um die Vergleiche bezüglich Erdoberfläche und Satellitenhöhe im mathematischen Funktionenraum präziser erfassen zu können.

Für Ørsted-Feldmessungen in einer mittleren Satellitenhöhe von 750 km werden die Ergebnisse vorgestellt.

Wegler, U. (Leipzig)

Tiefenabhängige Vielfachstreuung: Einfache Modelle und Anwendung auf ein aktives seismisches Experiment am Vulkan Vesuv

Die Daten eines 3D Seismikexperimentes mit aktiven Quellen (TomoVes-Experiment) werden verwendet, um Streueffekte im flachen inhomogenen Untergrund des Vulkans Vesuv zu untersuchen. Seismogramme von Schüssen, die auf dem Vulkangebäude selbst abgegeben wurden, zeigen spindelförmige Seismogrammeinhüllende, kleine oder fehlende P-Einsätze, fehlende S-Einsätze sowie eine lang andauernde Coda. Im Gegensatz dazu zeigen Seismogramme von Schüssen in der Umgebung des Vulkans klare und impulsive P- und S-Einsätze sowie eine nur schwach ausgeprägte Coda. Diese unterschiedlichen Formen der Seismogrammeinhüllenden können durch starke Vielfachstreuung im flachen inhomogenen Eruptionmaterial sowie Einfachstreuung in der umliegenden Erdkruste modelliert werden. Unter Verwendung des Diffusionsmodells für die Schüsse im stark streuenden Material ergibt sich eine Diffusivität von $d = 0.1 \text{ km}^2/\text{s}$ für den untersuchten Frequenzbereich von 2 bis 16 Hz. Unter der Annahme der Dominanz von S-Wellen in der Coda und einer typischen S-Wellen-Geschwindigkeit von 1.5 km/s folgt daraus eine mittlere freie Weglänge von $l = 200 \text{ m}$. Ähnliche Untersuchungen am Vulkan Merapi ergeben eine mittlere freie Weglänge von $l = 100 \text{ m}$. Typische Werte für die Erdkruste hingegen liegen im gleichen Frequenzbereich in der Größenordnung von $l = 100 \text{ km}$. Dieses Resultate zeigen, dass Vielfachstreuung ein bedeutender Effekt bei der seismischen Wellenausbreitung in aktiven Vulkanen ist, der im Gegensatz zur gängigen Praxis keinesfalls vernachlässigt werden darf.

Eines der Hauptprobleme des bisher verwendeten einfachen Diffusionsmodelles ist, dass es einen räumlich konstanten Wert für die Diffusivität annimmt. In den Vesuv-Daten ist aber die starke Streuung auf das Vulkangebäude selbst beschränkt, während Seismogramme von Sprengungen in der weiteren Umgebung des Vulkans keine starke Vielfachstreuung aufweisen. Des weiteren ist auch mit der Tiefe ein Übergang zu gewöhnlichem Krustenmaterial zu erwarten. In der Inversion mit dem Diffusionsmodell wirkt sich diese Zunahme der Diffusivität mit zunehmender Tiefe als eine scheinbare Zunahme der Diffusivität mit zunehmender Quell-Empfänger-Entfernung aus.

Um die räumlich ungleichmäßige Verteilung der Streukörper zu berücksichtigen, wird als einfachstes denkbare Untergrundmodell eine streuende Schicht, die zwischen der freien Oberfläche und einem nicht streuenden Halbraum liegt, untersucht. Als mathematische Modelle werden hierbei ein einfacher Diffusionsansatz sowie ein Ansatz mit der Energietransfergleichung verglichen.

Das geschichtete Diffusionsmodell kann analytisch gelöst werden, wobei nur der Fall von Quellen an der Erdoberfläche (Sprengungen) genauer untersucht wird. Für frühe Zeiten ist das geschichtete Diffusionsmodell identisch zur Diffusion im Halbraum, da die Randbedingung am unteren Ende der Schicht noch keine Rolle spielt. Für späte Zeiten hingegen ergibt sich, dass das geschichtete Diffusionsmodell identisch zu gedämpfter 2D Diffusion ist. Diese Dämpfung entspricht dem Energieverlust der diffusiven Schicht, die ständig Energie an den homogenen Halbraum abgibt. Dieser Effekt ist mit einem aktiven seismischen Experiment, wo sowohl Quellen als auch Empfänger an der Erdoberfläche liegen, nur sehr schwer von intrinsischer Dämpfung zu unterscheiden.

Die Modellierung der Energietransfergleichung, die sowohl für Einfachstreuung als auch für Vielfachstreuung gültig ist, erfolgt numerisch mittels einer Monte-Carlo-Simulation und wird verwendet, um den Gültigkeitsbereich der Diffusionsnäherung zu bestimmen. Im Falle von Vollraummodellen ist bekannt, dass für Quell-Empfänger-Abstände ρ , die wesentlich größer als die mittlere freie Weglänge l sind ($\rho > l$), die Energietransfergleichung durch die Diffusionsgleichung ersetzt werden kann. Der Vergleich von Lösungen der Energietransfertheorie und der Diffusionstheorie im Falle von geschichteten Medien zeigt, dass im Gegensatz zum Vollraum eine zweite Bedingung erfüllt sein muss: Die Diffusionsnäherung darf nur verwendet werden, wenn die Schichtdicke h der streuenden Schicht wesentlich größer als die mittlere freie Weglänge ist ($h > l$).

Die Anwendung des geschichteten Diffusionsmodells auf die Daten des TomoVes-Experimentes ergibt nur geringe Unterschiede zum Vollraum-Diffusionsmodell. Insbesondere liegt auch in diesem Modell die invertierte Diffusivität bei $d = 0.1 \text{ km}^2/\text{s}$. Ein gravierender Unterschied ergibt sich jedoch in der Interpretation der späten Coda. Der exponentielle Abfall der Coda (Coda-Q) wird im Vollraum-Diffusionsmodell als intrinsische Dämpfung gedeutet, während er im geschichteten Diffusionsmodell der Abstrahlung von Energie aus der streuenden Schicht in den homogenen Halbraum entspricht. Führt man im geschichteten Modell zusätzlich intrinsische Dämpfung ein, ergibt sich, dass eine Trennung zwischen dem Abstrahleffekt und intrinsischer Dämpfung mit den vorhandenen

Daten nicht möglich ist. Dieser Trade-Off führt dazu, dass die Schichtdicke der streuenden Schicht nicht vollständig bestimmbar ist, sondern nur ein Minimalwert angegeben werden kann. Dieser Minimalwert wird angenommen, wenn die intrinsische Dämpfung Null ist, während die Annahme von endlichen Werten für die intrinsische Dämpfung zu einer entsprechend größeren Schichtdicke führt. Der invertierte Minimalwert für die Schichtdicke hängt von der Frequenz der betrachteten Seismogramme ab und liegt in der Größenordnung von $h > 1$ km.

Wicht, J. (Göttingen, Institut für Geophysik)

wicht@ui-geophys.gwdg.de

Die Leitfähigkeit des inneren Erdkerns und magnetische Feldumkehrungen

In den letzten Jahren haben sich viele Forscher verstärkt mit dem inneren Erdkern beschäftigt, hauptsächlich motiviert durch Spekulationen über sein Superrotation. Ein weiterer interessanter Punkt ist der mögliche Einfluß seiner elektrischen Leitfähigkeit auf das Erdmagnetfeld. Einige Autoren berichten, dass die damit verbundene magnetische Diffusion allzu schnelle Feldumkehrungen verhindern könnte. Dieser Effekt wurde mithilfe einer selbstkonsistenten dreidimensionalen Dynamosimulation näher untersucht, indem lange Zeitreihen mit endlich leitfähigem oder isolierendem inneren Kern verglichen wurden. Jede Simulation durchläuft mehrere Dipolumkehrungen, die mit Zeiten zusammenfallen, in denen das Dipolmoment klein ist. Kurze Polaritätsintervalle mit Längen von typischerweise 1000 Jahren, während denen das Dipolmoment klein bleibt, sind bei einem leitfähigen inneren Kern seltener. Polaritätsintervalle in der Größenordnung von 10000 Jahren und länger, in denen das Dipolmoment Zeit hat wieder anzuwachsen, sind unabhängig von der Leitfähigkeit des inneren Kerns gleich häufig. Diese letzteren Intervalle entsprechen eher dem, was aus paläomagnetischen Daten bekannt ist. Wir schließen darum, dass der Einfluss der Leitfähigkeit des inneren Erdkerns auf die Umkehrhäufigkeit des geomagnetischen Feldes nur gering ist.

Woldetinsae, G. (Berlin, Freie Universität Berlin)

Preliminary Interpretations of Bouguer Anomaly and Aeromagnetic Maps in Ethiopia.

This presentation deals with Bouguer, free air and some aeromagnetic anomaly maps covering Ethiopia. The interpretations have been made with respect to the major late Paleozoic to early Tertiary sediments, Cenozoic volcanic and associated sedimentary rocks in the western and south-eastern plateau areas as well as, the main Ethiopian rift and Afar depression.

The Precambrian basement exposures (Afro-Arabian shield) in northern, southern and south- western Ethiopia are peripheral to the major structural features associated with plate margin tectonics and the multiple rifting episodes within the Red Sea and continental African crust. Faulting and major east-west trending lineaments exert an important control on formation of ore deposits. Therefore gravity and magnetic anomalies are used to infer the locations of these significant structures.

The Blue-Nile, Tekeze and Mekele basin systems and the Ogaden and Gambela sedimentary basins are characterized by quiet and subdued magnetic relief and are evident in Bouguer anomaly images.

Further gravity field work and new, high resolution aeromagnetic surveys with a line spacing of at least 1km, are recommended in order to achieve a better understanding of geological processes, environmental problems (e.g. earthquake hazard mitigation programs) and resource exploration.

Wonik, T. (Hannover)
wonik@gga-hannover.de

Aus geophysikalischen Bohrlochmessungen in der Forschungsbohrung Messel 2001 abgeleitete Sedimentationsbedingungen und Klimainformationen

Die Forschungsbohrung Messel 2001 wurde im Zentrum der Grube Messel bei Darmstadt bis in eine Tiefe von 433 m abgeteuft. Sie klärte eine lange geowissenschaftliche Diskussion um die Genese der kreisrunden Struktur von rund 1 km Durchmesser: Es handelt sich um ein Maar, das durch phreatomagmatische Explosionen im Tertiär vor ca. 49 Mio. Jahren gebildet wurde. Der dabei entstandene rund 300 m übertiefe Maarsee verlandete im Laufe der Zeit. Die Maarsee-Sedimente sind hervorragende Speicher der paläoklimatischen Bedingungen für einen kurzen Zeitabschnitt im Eozän.

Umfangreiche bohrlochgeophysikalische Messungen ermöglichen die petrophysikalische Charakterisierung der warvengeschichteten Seesedimente (Schwarzpelite) und ihre Untergliederung sowie den Vergleich mit der lithologischen Beschreibung des Bohrkerns. Darüber hinaus können mit den insitu-Messungen von physikalischen Parametern und der Anwendung von mathematischen Verfahren sedimentologische Parameter wie mittlere Sedimentationsraten und ihre Änderungen bestimmt werden. Eine Voraussetzung für diese Art der Berechnung von Sedimentationsraten ist dabei die Annahme von 'Milankovitch-Zyklen' mit Periodizitäten zwischen 19 000 Jahre und 123 000 Jahre. Die z.T. mit einer Abtastrate von 2 mm durchgeführten Bohrlochmessungen erlauben erstmalig die Suche nicht nur nach Hinweisen auf 'Milankovitch-Zyklen', sondern auch auf die bisher nur aus dem Quartär bekannten höher frequenten Klimaoszillationen wie 'Dansgaard-Oeschger-Zyklen' (1500 – 7000 Jahre) und 'Heinrich-Events' (einige hundert Jahre).

Wulff, A.M., van Riel, P. (Rotterdam, The Netherlands)

Rock Physics in Seismic Reservoir Characterization

The goal of 3D quantitative, integrated seismic reservoir characterization is to produce 3D models of the earth containing information on parameters such as lithology, porosity and fluid fill. Modern seismic reservoir characterization is moving into the prestack seismic domain and is using inversion to recover shear impedance in addition to acoustic impedance to provide additional input to determine these reservoir parameters. Rock physics is of key importance in several steps of the reservoir characterization process. First of all, rock physical and petrophysical relations are used in the interpretation of logging and core data. From logs the fluid content (e.g., brine, live oil), lithology fractions (e.g., shaley sands, oil sands) and rock properties (e.g., density, porosity) are evaluated. Theoretical rock models calibrated on measured log data can be used to quality control and correct logs and to synthesize logs. This is particularly important for shear logs, which are often missing, of poor quality, or incomplete. The generated consistent elastic parameter log suite can then be included in a comprehensive (AVO) inversion of seismic data.

In addition to consistent elastic logs, rock physical relations provide a link between seismic properties (as acoustic and shear impedance) and lithological reservoir properties. These relations may be empirically deduced from log or core data of the area, based on statistical relations, or on deterministic rock models. This enables the quantitative inversion of seismic data in terms of reservoir properties such as porosity.

The rock models that are commonly used can describe rocks consisting of sand and shale matrices with various microstructures and pore spaces. In addition, simple relations for mixtures and bounds of velocities and moduli may be used. Most often the Gassmann relation is applied to include the (low frequency) fluid saturation effects. The highly variable pore fluid properties are estimated with fluid models. More sophisticated rock models allow incorporation of other lithologies than sand and shale.

Rock models are also fundamental in seismic modeling and seismic feasibility studies. These are of high value e.g. as pre-studies for time-lapse seismic reservoir monitoring. The modeling of the changes of the seismic parameters and signatures due to reservoir changes (e.g. water flooding, compaction) can be determined using rock physical relations. They can quantitatively describe the influence of pore fluids variations, of changes of temperature and pressure conditions, and changes of the rock matrix on the seismic properties.

Issues important to further improving seismic modeling and reservoir characterization include proper handling of anisotropy and attenuation, and these must also be addressed in rock physics modeling. The correct description of anisotropy is of increasing importance to handle logs from strongly deviated horizontal wells and shale lithologies. Attenuation is still mainly seen as 'noise' that has to be corrected for, whereas the real challenge is to use attenuation as additional lithological parameter. Further challenges within rock physical modeling are to handle scale and frequency effects, i.e. the correct up-scaling of log based data to seismic data scale and frequency ranges.