Geodynamik-Workshop 1998

23.IX.–25.IX.1998
Neustadt (Weinstraße)

ABSTRACTS

DGG-Arbeitskreis „Dynamik des Erdinnern"
1998

Herausgeber:

Dr. Gabriele Marquart
Institut für Meteorologie und Geophysik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main
Feldbergstraße 47
D-60323 Frankfurt am Main
Tel.: +49-(0)69 798-24904
Fax: +49-(0)69 798-23280
e-mail: *marquart@geophysik.uni-frankfurt.de*

Prof. Dr. Wolfgang Jacoby
Institut für Geowissenschaften
Becherweg 21, 55099 Mainz, Germany
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Jacoby, GEO – UNI
D-55099 Mainz
Tel.: +49-(0)6131-393223
Fax: +49-(0)6131-394769
e-mail: *jacoby@goofy.zdv.Uni-Mainz.de*

Prof. Dr. Harro Schmeling
Institut für Meteorologie und Geophysik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main
Feldbergstraße 47
D-60323 Frankfurt am Main
Tel.: +49-(0)69 798-23335
Fax: +49-(0)69 798-23280
e-mail: *schmeling@geophysik.uni-frankfurt.de*

Vorwort

Der DGG-Arbeitskreis „Dynamik des Erdinnern“ veranstaltet alle zwei Jahre einen „Geodynamik-Workshop“, der im Wechsel mit dem „International Workshop for Mantle Convection and Lithosphere Dynamics“ stattfindet. Das diesmalige Treffen fand zwischen dem 23.9. und 25.9. in dem wohlbekannten „Herz Jesu Kloster“ in Neustadt statt und wurde von den Instituten in Mainz und Frankfurt gemeinsam organisiert.
Geodynamische Untersuchungen und Modellierungen von Prozessen in der Lithosphäre, im Erdmantel und im Erdkern werden in Deutschland an verschiedenen Instituten in Arbeitsgruppen und von „Einzelkämpfern“ durchgeführt. Auf diesen Workshops treffen wir uns schon seit einigen Jahren, um über neue Ergebnisse, Projekte, Methoden und Denk-Konzepte zu berichten und zu diskutieren. Dabei bietet dieser Workshop vorrangig auch einen Rahmen für Diplomanden und Doktoranden, ihre Arbeiten vorzustellen und darüber zu diskutieren. Daß sich dabei in vielen Fällen auch Kontakte für den weiteren (wissenschaftlichen) Werdegang knüpfen lassen, sei angemerkt.
Am diesmaligen Workshop nahmen 35 Leute aus 10 verschiedenen Instituten teil. Erstmals versuchten wir, die Diskussionszeit nach den Vorträgen nicht durch einen strikten Zeitrahmen zu beschränken, so daß sich zum Teil lebhafte Diskussion in einer entspannten Atmosphäre entwickeln konnte, die vor allem auch von den vielen Studenten als angenehm empfunden wurde.
Das schöne Wetter und das Sonnenbad im Klostergarten nach dem Mittagessen, ebenso wie das abendliche Treffen im Klosterkeller trug wohl auch noch zu dem allgemeinen Wohlbefinden bei.
Der Themenkreis spannte sich von regionalen Analysen des Spannungs- und Deformationsfeldes in der Lithosphäre über Subduktionsparameter und Prozesse in Mantelplumes bis zur Entwicklung von Eisenkernen in planetaren Körpern. Viele der vorgestellten Untersuchungen verlangen eine anspruchsvolle numerische Formulierung mit entsprechender Computerleistung, doch zeigte sich, daß für manche Ergebnisse auch physikalische Intuition und ein Taschenrechner ausreichend ist.

G. Marquart W. Jacoby H. Schmeling

Inhaltsverzeichnis

Lithosphäre

Einfluß einer duktilen Schicht in der Erdkruste auf Auflastprozesse

Klemann, Volker (Münster) und Detlef Wolf (Potsdam)

Untersuchungen aus der Seismologie, der Seismik sowie den Materialwissenschaften weisen auf die Existenz einer duktilen Schicht innerhalb der Unterkruste hin. In unserer Untersuchung berechnen wir, inwieweit das Verhalten eines Lithosphärenmodells mit duktiler Unterkruste gegenüber einer Auflast von dem einer elastischen Lithosphäre abweicht. Als Erdmodell dient ein inkompressibler, viskoelastisch geschichteter Halbraum. Die Lithosphäre wird in eine elastische Oberkruste (UC), eine Maxwell-viskoelastische Unterkruste (LC) und eine elastische Mantellithosphäre (ML) unterteilt; der obere Mantel (UM) wird als Maxwell-viskoelastisches Substrat modelliert. Die Maxwell-Viskoelastizität zeigt als lineares Stoffgesetz für eine Scherbelastung instantan eine elastische Deformation ($\propto$ Schermodul μ) und nach andauernder Belastung Newtonsches Fließen ($\propto$ Viskosität η). Die Scherspannungen relaxieren dabei auf der Zeitskala der Maxwellzeit $\tau = \eta/\mu$. Für den oberen Mantel wird $\tau_{\mathrm{UM}} = 200\,\mathrm{a}$ festgelegt, und in der Unterkruste τ_{LC} variiert. Wir diskutieren insbesondere ein Erdmodell VC1 mit $\tau_{\mathrm{LC}} = 5\,\mathrm{a}$ und ein Erdmodell VC2 mit $\tau_{\mathrm{LC}} = 5000\,\mathrm{a}$. Nach Anbringen einer Heaviside-Last reagieren beide Modelle zunächst wie ein elastischer Halbraum. Die Relaxation der Scherspannungen im oberen Mantel bewirkt für den gewählten Lastradius von 1000 km, daß sich nach $\sim 10\,000\,\mathrm{a}$ ein Gleichgewicht zwischen dem Lastdruck, dem Auftrieb des sich nun flüssig verhaltenden oberen Mantels und den durch die Verbiegung der Lithosphärenplatten verursachten elastischen Rückstellkräften einstellt. Aufgrund der kurzen Maxwellzeit τ_{LC} von Erdmodell VC1 sind zu diesem Zeitpunkt die elastischen Platten in ihren Scherkräften entkoppelt. Erdmodell VC2 zeigt dagegen zunächst das Verhalten einer durchgehend elastischen Platte. Hier tritt eine Entkopplung erst nach 1 Ma ein. Damit unterscheiden sich die beiden Modelle in ihrem Verhalten signifikant für glazial-isostatische Ausgleichsbewegungen, deren Zeitskala zwischen 1000 und 100 000 a liegt.
Für die weitere Diskussion wird dem Erdmodell VC1 ein äquivalentes Ein-Platten-Erdmodell EC1 gegenübergestellt. Für dieses Modell wird die Lithosphärendicke h_1 mit Hilfe der Biegesteifigkeit definiert, die sich für ein in den Scherkräften entkoppeltes Zwei-Platten-Erdmodell ergibt ($h_1^3 = h_{\mathrm{UC}}^3 + h_{\mathrm{ML}}^3$). Dem Erdmodell VC2 wird entsprechend das Erdmodell EC2 gegenübergestellt, dessen Unterkruste elastisch ist ($h_2 = h_{\mathrm{UC}} + h_{\mathrm{LC}} + h_{\mathrm{ML}} \gg h_1$). Die Modellierung bestätigt, daß trotz signifikanter Unterschiede im Spannungsverhalten der jeweiligen Vergleichsmodelle in den heutigen Hebungsraten kaum Unterschiede auftreten, so daß der Umkehrschluß zulässig ist: Die beobachteten Hebungsraten lassen je nach Viskositätskontrast zwischen duktiler Unterkruste und oberem Mantel für $\tau_{\mathrm{LC}}/\tau_{\mathrm{UM}} \ll 1$ auf eine dicke Lithosphäre und für $\tau_{\mathrm{LC}}/\tau_{\mathrm{UM}} \gg 1$ auf eine dünne Lithosphäre schließen.

Volker Klemann
Institut für Planetologie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
W.-Klemm-Str. 10, D-48149 Münster, Germany
Tel.: +49-(0)25183-39068
Fax: +49-(0)25183-39083
volkerk@uni-muenster.de

3-D Deformationsmodell der Lithosphäre im Mittelmeerraum mit Finiten Elementen

Heidbach, Oliver (München)

Unter Berücksichtigung der Variation von Topologie, Mohodiskontinuität und Lithosphärenmächtigkeit wurde ein Modell mit 12 000 Solid-Elementen des Mittelmeerraumes erstellt. Dabei wurden die Strukturen der Subduktions- und Kollisionszonen der Afrikanischen und Arabischen Platte mit der Eurasischen Platte im Mittelmeerraum als dreidimensionale Kontaktflächen mit Coulombscher Reibung eingearbeitet. Ziel dieser Untersuchung war es, ein Modell mit rein geophysikalischen Parametern und Randbedingungen zu erstellen und diese mit den aus geodätischen Messungen (GPS, SLR, VLBI) erhaltenen Punktbewegungen zu vergleichen.
Als kinematische Randbedingung wurden am Südrand die Bewegungsrichtungen und Beträge aus NUVEL-1a relativ zu Eurasien angetragen. Der nördliche, westliche und östliche Rand des Modells wurde mit Federn stark gedämpft. Die Oberfläche ist frei, und die Unterseite wurde mit lithostatischem Druck unterstützt. Scherkräfte an der Grenze zur Asthenosphäre werden in dem Modell vernachlässigt. Dynamische Randbedingungen sind das radiale Schwerefeld und die slab pull-Kräfte in den Subduktionszonen. Sie weisen parallel zur Subduktionsrichtung, d.h. ein roll-back-Effekt wird zunächst nicht berücksichtigt. Das rheologische Modell entspricht in der Kruste einem ideal elastoplastischen Körper. Die Festigkeitskurve wird durch das lineare Mohr-Coulomb-Bruchkriterium beschrieben. In der Lithosphäre wird ein elasto-viskoser Maxwell-Körper angenommen.
In den ersten Modellen wurde nur die Viskosität der Lithosphäre verändert, um deren Einfluß abzuschätzen. Es zeigte sich, daß eine Variation zwischen 10^{21} und 10^{24} Pa s keinen signifikanten Einfluß auf das Deformationsfeld an der Oberfläche hat. Einen wesentlichen Einfluß hat eine Änderung des Reibungskoeffizienten in den Subduktionszonen. Bei niedrigem Reibungskoeffizienten (0,3) zeigt sich am Hellenischen Bogen in der Ägäis eine Bewegung von bis zu 2 cm pro Jahr in südwestlicher Richtung senkrecht zur Subduktionszone. Dies stimmt mit dem Azimuth aus geodätischen Messungen gut überein, aber die Magnitude erreicht an den Stationen Werte von über 4 cm pro Jahr. Bei größerer Reibung (0,6) bleibt das Deformationsbild gleich, aber die Beträge verringern sich um 30-60 %. Auch das laterale Entweichen des Türkisch-Ägäischen Blocks entlang der Nord- und Süd-Anatolischen Blattverwerfung läßt sich in dem Modell nachvollziehen. Doch auch hier sind die Beträge um einen Faktor zwei bis drei zu niedrig. Im zentralen Teil des Mittelmeerraums sind qualitative Aussagen nur schwer möglich. Dort sind sowohl die Modellergebnisse als auch die Messungen aus der Geodäsie uneindeutig und in den Beträgen zu gering.

Oliver Heidbach
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)
Marstallplatz 8, 80539 München, Germany
Tel.: +49-(0)89 23031-217
Fax: +49-(0)89 23031-240
heidbach@dgfi.badw-muenchen.de
`http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/GDYN/geod_deform.html`

FE-Modellierung von Extensionstektonik

Braun, Alexander (Frankfurt)

Im norwegischen Kontinentalschelf vor den Lofoten zeigen sich starke abwechselnd positive und negative elongierte Schwereanomalien. Die Ursache dieser Anomalien kann nicht die Topographie sein, die im Schelf relativ flach ist, und muß demnach innerhalb der Kruste oder in der Lithosphäre vermutet werden. Als Arbeitshypothese wird die Existenz von Boudinage-Instabilitäten innerhalb der Kruste, die zu Undulationen von Schichtgrenzen und damit auch lateralen Dichteänderungen führen, vorausgesetzt. Diese Undulationen sind in den Schwereanomalien wiederzuerkennen.
Zur Klärung der Frage nach der Ursache wurden hochauflösende Schwereanomalien aus ERS-1 Satellitenaltimetriedaten berechnet. Die hier berechneten hochauflösenden marinen Schwereanomalien verifizieren die bereits bekannten Anomalien und verbessern sie bezüglich der räumlichen Auflösung. Sie stellen aufgrund des polnahen Umkehrpunktes von ERS-1 zusätzlich eine Erweiterung der zugänglichen Schwerekarten nach Norden von 72°N bis 81.5°N dar. Ein neuer Datensatz zur Korrektur von Gezeiteneffekten als auch verbesserte Satellitenbahnen wurden verwendet, daraus resultierte eine erhöhte Genauigkeit der berechneten Schwereanomalien.
Die Struktur des Schelfs war mit seismischen Daten bereits untersucht worden, eine Schweremodellierung mit einem Inversionsprogramm hat die Krustenstruktur und das prognostizierte geologische Modell des Schelfbereiches bestätigt. Die für die Untersuchungen relevanten geologischen Strukturen sind einerseits abwechselnd von listrischen Verwerfungsflächen separierte Krustenblöcke und Sedimentbecken und andererseits eine undulierte Moho. Beide Strukturen sind dominiert durch ein komplexes Extensionsspannungsfeld zur Zeit des Übergangs von Rifting zu Spreading entstanden und prägen die beobachteten Schwereanomalien. Die Krustenblöcke erzeugen eine dominierende Wellenlänge von 46 km , während die Mohoundulation eine Wellenlänge von 109 km im Schweresignal generiert.
Die Entstehung dieser Strukturen wurde mit einer dynamischen Modellierung von Extensionstektonik untersucht. In einer Vorstudie mit einem einfachen Modell hat sich gezeigt, daß Undulationen entlang von Schichtgrenzen in einem geschichteten Modell unterschiedlicher Rheologie für bestimmte Wellenlängen bevorzugt wachsen. Dies wurde auch in analytischen und analogen Modellen beobachtet. Dieses Verhalten wird hier als Boudinage bezeichnet. Ein Lithosphärenmodell, bestehend aus Ober- und Unterkruste sowie der Mantellithosphäre, wurde mit einer konstanten Verschiebungsrate gedehnt. Die mit der Tiefe variierende Festigkeit der Schichten bildet so ein Schichtpaket aus zwei kompetenten Schichten (Oberkruste und obere Mantellithosphäre) und zwei weniger kompetenten duktilen Schichten (Unterkruste und untere Mantellithosphäre). Eine dem heutigen Kenntnisstand entsprechende temperaturabhängige power law-Rheologie und das Byerlee-Gesetz beschreiben das Materialverhalten in der Lithosphäre. Die Schichtgrenzen wurden mit zufälligen Undulationen überlagert, diese repräsentieren Anfangsinstabilitäten. Die numerische Modellierung der Extension wurde mit dem kommerziellen Finite Elemente-System SOLVIA 95.0 durchgeführt. Nach einer Dehnung von 1 % zeigen sich im Verschiebungsfeld zwei dominierende Wellenlängen. Die erste beträgt etwa 18–65 km und ist auf die oberen 20–30 km des Modells beschränkt, die zweite beträgt 129 km und wird unterhalb von 20 km Tiefe beobachtet. Die Wellenlängen entsprechen dem 3–4fachen der kompetenten Schichtmächtigkeiten der Kruste, bzw. der Mantellithosphäre, und stehen somit im Einklang mit analytischen Modellen.
Ein Vergleich der beiden Wellenlängen mit den im Lofoten-Vesterålen-Schelf beobachteten Wellenlängen der Schwereanomalien (46 km, 109 km) zeigt gute Übereinstimmung. Dies wird als Hinweis auf einen von Boudinage beeinflußten Evolutionsmechanismus im Schelf während des Übergangs von Rifting zu Spreading vor 56 Ma gedeutet. Die Krustenblöcke sind aufgrund der Bildung von gleichabständigen Schwächezonen und den dort auftretenden Verwerfungsflächen in bestimmten

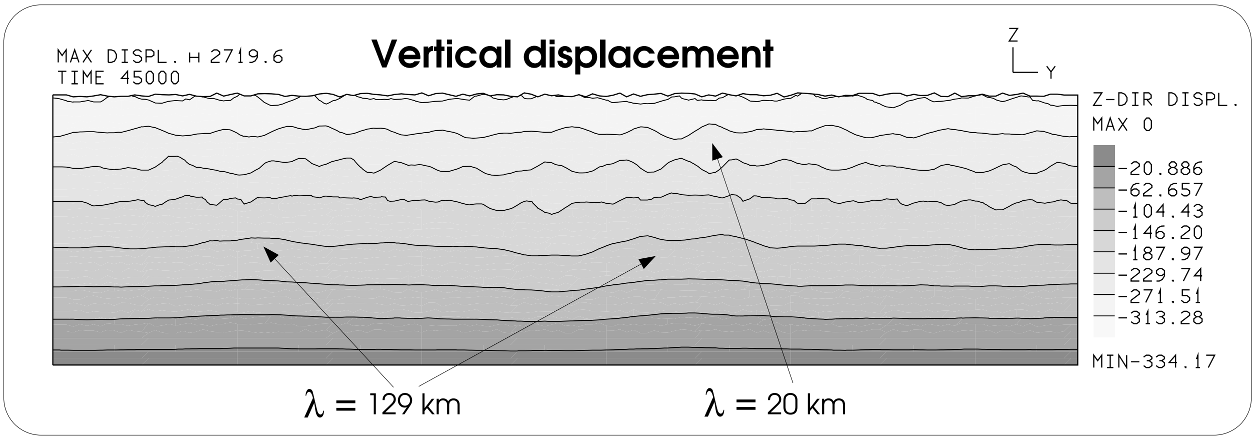


Abbildung 1: Nach 1 Prozent horizontaler Dehnung haben sich aus anfänglichem Rauschen zwei dominierende Wellenlängen herausgebildet.

Abständen entstanden. Die Mohoundulation kann als Resultat von Boudinage der kompetenten Mantellithosphäre betrachtet werden.

Alexander Braun
Institut für Meteorologie und Geophysik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main
Feldberstr. 47, D-60323 Frankfurt/Main, Germany
Tel.: +49-(0)69 798-24903
Fax: +49-(0)69 798-23280
braun@em.uni-frankfurt.de
`http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/geodyn/a_braun/alex.zensur.html`

Quasi-adiabatische thermo-mechanische Instabilitäten beim „Necking" Prozeß einer elasto-visco-plastischen Lithosphäre

Regenauer-Lieb, Klaus (Mainz)

The finite strength of lithospheric plates is thought to be buffered by a limiting yield stress in the uppermost mantle, which when reached can lead to the nucleation of lithosphere scale shear zones. Simple modeling approaches use an extrapolation of Coulomb plasticity to the high pressure and high temperature domain and neglect thermal softening. This approach is, however, unsatisfactory because the mechanical work is severely overestimated due to the high "brittle" yield stress at mantle level. Here, ductile von Mises elasto-plasticity is used and the yield criterion is temperature-dependent with a rate sensitive yield potential. The model allows full exploration of the effects of thermal-mechanical coupling. Under constant velocity boundary conditions, plates are first charged elastically, but when the critical load for wholesale yielding is reached, fast propagation of shear bands is observed (Regenauer-Lieb and Yuen, 1998). These ductile faults assume the shape of a propagating "thermal crack". Autocatalytic thermal-mechanical feedback can cause thermal run-away, but rate sensitivity stabilizes these newly formed shear surfaces. For reasonable plate tectonic velocities the time from initial loading to lithosphere scale faulting is less than 1 Myr. The nucleation and propagation of ductile faults happens on a much shorter time scale. Therefore these faults belong to a group of quasi-adiabatic deformation processes, which for high plate tectonic velocities can appear as "heat lines" in geothermal data sets. An example from the Himalayas (the Himalayan Geothermal Belt) is discussed in Hochstein and Regenauer-Lieb (1998).

References

Hochstein, M. P. and Regenauer-Lieb, K.: Heat generation associated with the collision of two plates: The Himalayan Geothermal Belt, *J. Volc. Geotherm. Res.*, 83 (1-2), 75-92 (1998)

Regenauer-Lieb, K. and Yuen, D. A.: Rapid conversion of elastic energy into plastic shear heating during incipient necking of the lithosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 25 (14), 2737-2740 (1998)

Klaus Regenauer-Lieb
Institute for Geosciences
Johannes Gutenberg University Mainz
D-55099 Mainz, Germany
Tel.: +49-(0)6131-395225
regenaue@mail.uni-mainz.de

Das Spannungsfeld der Kollisions-Subduktionszone in SO-Rumänien

Hettel, Stefan (Karlsruhe)

Die Vrancea-Region in Rumänien ist eine komplexe tektonische Zone, die von der kontinentalen Kollision zwischen der Ost-Europäischen Platte, der Moesischen Platte und des Ticia-Dacia-Blocks dominiert wird. Folge dieser Interaktion sind wiederholt auftretende Erdbeben mit Magnituden bis zu $M_w = 7.7$. Die Hypozentren der stärksten Beben liegen zumeist zwischen 70 und 180 km Tiefe, während die in der Kruste (bis 40 km Tiefe) auftretenden Beben deutlich kleinere Magnituden aufweisen. Zwischen 40 und 70 km Tiefe liegt ein sogenanntes 'Seismisches Gap', in dem nahezu keine rezente Seismizität registriert wird. Diese Beobachtungen sowie Daten der seismischen Tomographie lassen darauf schließen, daß es sich bei der Vrancea-Zone um eine alte Subduktionszone handelt, deren subduzierter Slab noch bis in Tiefen von ca. 200 km hinabreicht. Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist es, das Spannungsfeld dieser Subduktionszone genauer zu untersuchen sowie eine geodynamische Modellvorstellung zu entwickeln, die den heute vorliegenden Zustand erklären könnte. Die der Spannungsanalyse zugrundeliegenden Daten bestehen im wesentlichen aus Herdflächenlösungen von Erdbeben sowie Bohrlochbreakout-Messungen in den dort vorhandenen Bohrungen. Das krustale Spannungsfeld wird stark von den oberflächennahen Störungszonen geprägt. Betrachtungen von geglätteten Spannungsorientierungen zeigen jedoch, daß auch der nach unten ziehende Slab einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß auf das krustale Spannungsfeld hat. Ein eindeutiges tektonisches Regime kann in der Kruste jedoch nicht abgeleitet werden. Die Analyse der mitteltiefen Beben zeigt in dem Tiefenbereich unterhalb 70 km ein klares 'thrust-faulting'-Regime, so wie es für einen Slab auch zu erwarten ist. Das Hauptproblem bei der geodynamischen Modellvorstellung besteht darin, die Oberflächenstrukturen (Sutur, Akkretionskeil, Vortiefe) mit den Daten aus größerer Tiefe (Erdbeben, Tomographie, Vulkanismus) in Einklang zu bringen. Die an der Oberfläche sichtbare W-E-Abfolge Sutur-Akkretionskeil-Vortiefe läßt eine Subduktionszone unter der miozänen Sutur vermuten. Orientiert man sich jedoch an den Erdbeben, den Vulkaniten und den Ergebnissen der seismischen Tomographie, so müßte sich die Subduktionszone weiter im Osten unter der Vortiefe befinden. Das hierzu am besten passende Erklärungsmodell beruht auf Arbeiten von Girbacea (1997). Hierbei wird von einer Subduktion ausgegangen, die unter der miozänen Sutur stattfand. Im Anschluß an die kontinentale Kollision erfolgte eine Delamination der unteren Lithosphäre, so daß sich die subduzierte Lithosphäre nun in einer weiter östlich gelegenen Position befindet. Dieses Modell erklärt die meisten der bekannten Daten in einem schlüssigen Konzept. Jedoch bleiben auch hier Fragen offen, z.B. weshalb eine Delamination erfolgte und nicht ein komplettes Abbrechen des subduzierten Slabs.

Literatur

Girbacea, R.: *The Pliocene to Recent tectonic evolution of the Eastern Carpathians (Romania).* Tübinger Geowiss. Arbeiten, A35 (1997)

Stefan Hettel
Universität Karlsruhe
Geophysikalisches Institut
Hertzstr. 16, D-76187 Karlruhe, Germany
Tel.: +49-(0)721 608-4610
Fax: +49-(0)721 71173
shettel@gpiwap1.physik.uni-karlsruhe.de
http://www-sfb461.physik.uni-karlsruhe.de/pub/B2/

Eindimensionale thermisch-geodynamische Modellierung der variscischen Orogenese für das Erzgebirge

W. R. Jacoby, E. Sebazungu, J. Arnold (Mainz)

The tectonic and thermal evolution of the crust cannot be understood exclusively by present day thermal data and models. Deeply eroded crust gives important complementary information on the thermal evolution of past orogenies bearing on present ones. Data on mineral parageneses from the Erzgebirge in eastern Germany are the basis for 1-D and 2-D thermal and dynamic modelling in an attempt to fit PTt-paths and other geological observations. The 1-D code used solves the conduction problem, advection is introduced by stepwise moving parts of the model column. Different crust and mantle materials are incorporated.
The special situation studied is a HT-HP (1250 K, 18 kbar) eclogite gneiss sandwiched between MT-MP (750 K, 10 kbar) units. Within a few million years these units converged to about 850 K, 6 kbar and in less than 10 Myr they ascended together and cooled to 650 K and 2 to 3 kbar. The modelling reveals the following:
While the middle HT-HP unit was thrust upon the subjacent MT-MP unit and was thinned, the overlying MT-MP unit was also sheared or stretched as it ascended. Correspondingly the middle unit cooled rapidly and simultaneously heated the adjacent units. The whole process must have involved thrusting and crustal stacking by plate convergence on the one hand and simultaneous extension and normal faulting of the upper crustal rocks, i.e. orogenic collapse. The maximum depths that the HT-HP crustal rocks experienced was about 70 km suggesting a Himalaya type mountain range. The process described seems to have taken no more than 10–15 Myr. This is a case that demonstrates that the thermal evolution of the crust can be understood better by considering the dynamic evolution including heat advection.

Wolf R. Jacoby
Institut für Geowissenschaften
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Jacoby, GEO - UNI, D-55099 Mainz, Germany
Tel.: +49-(0)6131-393223
Fax: +49-(0)6131-394769
jacoby@goofy.zdv.Uni-Mainz.de
`http://www.uni-mainz.de/FB/Geo/Geologie/Geophysik/Team/wolf.html`

Lineamentanalyse, Lithosphärenflexur und 3D-Schweremodellierung der Alba Patera Region – Mars

Heller, Daniel (Mainz/Frankfurt) und P. Janle (Kiel)

Die Diplomarbeit hat das Ziel, geophysikalische Untersuchungen der Alba Patera-Region auf dem Mars durchzuführen. Alba Patera ist eine vulkanische Struktur mit einem Durchmesser von ca. 1000 km und einer relativen Höhe von 3–5 km zur Umgebung. Zur Bearbeitung stehen die optischen, topographischen und gravimetrischen Daten der Viking Orbiter-Mission zur Verfügung. Die geomorphologischen Untersuchungen zeigen, daß Alba Patera aus vielen Schichten pyroklastischer Aschestromablagerungen und basaltischen Lavaflüssen aufgebaut ist. Der Vulkan besitzt ein hohes Alter und war während einer langen Zeitperiode vulkanisch und tektonisch aktiv (3.3–$0.6 \cdot 10^9$ Jahre vor der Gegenwart). Alba Patera ist von einem komplexen Grabensystem umgeben. Um eine Analyse der Gräben vorzunehmen, werden die Gräben kartiert und einzelnen Lineamentfamilien zugeordnet. Die Gräben Ceraunius Fossae und ein Teil von Tantalus Fossae verlaufen radial in Nord-Süd-Richtung. Regionale Spannungsberechnungen anderer Arbeiten zeigen, daß diese Gräben bei der Bildung der zentralen Tharsisaufwölbung entstanden sind. Die Gräben Alba Fossae und ein später entwickelter Teil von Tantalus Fossae verlaufen konzentrisch um Alba Patera, wobei dieser Grabenring einen Radius von ca. 300 km besitzt. Flexurberechnungen nach dem Ansatz der Deformation dünner Platten zeigen, daß dieser Grabenring durch die Auflast des Vulkans entstanden ist. Aus den Flexurberechnungen kann weiterhin die Dicke der elastischen Lithosphäre auf 50 km zum Zeitpunkt der Grabenentstehung abgeschätzt werden. Das Maximum der Flexur der Lithosphärenplatte unter dem Vulkan beträgt 25 km. Die Dicke der elastischen Lithosphäre der Tharsis-Region bei der Entstehung der Schildvulkane Arsia, Pavonis und Ascraeus Montes liegt eher bei 150 km. Alba Patera, Olympus Mons und die Tharsisschildvulkane besitzen alle positive Schwereanomalien zwischen +370 und +1200 mGal. Dreidimensionale Schweremodellierungen unterstützen zwei unterschiedliche Modelle:

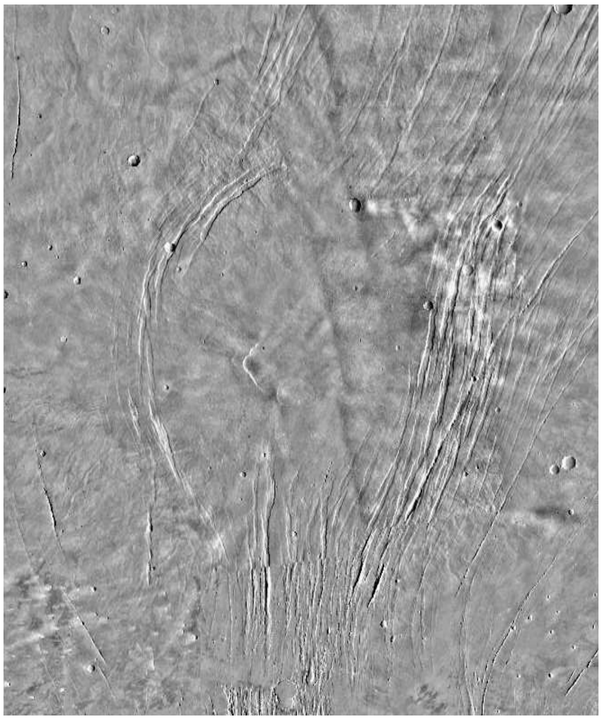


Abbildung 1: Alba Patera (Fotomosaik)

- Alba Patera ist nach der Vening Meinesz-Isostasie bei einer mittleren Krustendicke von 60–100 km isostatisch ausgeglichen. Die Krustenwurzel wird aus der Flexurberechnung auf ca. 12–20 km bestimmt.
- Alba Patera ist nach der Airy-Isostasie nur teilweise (65 %) kompensiert, die mittlere Krustendicke beträgt 65 km. Die Tiefe der Krustenwurzeln ist in diesem Modell maximal 20–25 km.

Ein Plumekörper mit einer thermischen Dichteanomalie von $-0.02\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}$ kann nicht hinreichend nachgewiesen werden. Die Ergebnisse der Schweremodellierungen stimmen mit den Ergebnissen der Flexurberechnungen überein. Die Arbeit schließt ab mit einem Evolutionsmodell der Alba Patera-Region, das mit dem vulkanischen Evolutionsmodell von Mouginis-Mark et al. (1988) konsistent ist und gibt einen kurzen Ausblick auf die amerikanischen Missionen Mars Pathfinder und Mars Global Surveyor.

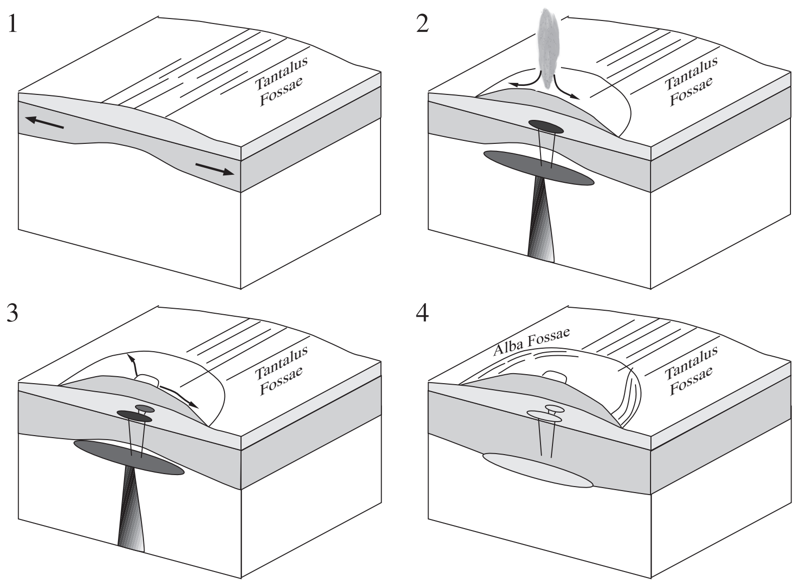


Abbildung 2: Evolutionsmodell von Alba Patera.

Literatur

Mouginis-Mark, P.J., Wilson, L., Zimbelman, J.R.: Polygenic eruptions on Alba Patera, Mars, *Bull. Volcanol.* 50, S. 361-379 (1988)

Daniel Heller
Institut für Geowissenschaften, Abt. f. Geophysik
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Becherweg 21, 55099 Mainz, Germany
Tel.: +49-(0)6131-395225
Fax: +49-(0)6131-394769
heller@geophysik.uni-frankfurt.de
`http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~heller/`

Lithosphäre – Asthenosphäre:
Konvergente Plattengrenzen

Wechselwirkung zwischen Lithosphäre und Asthenosphäre bei Kontinent-Kontinent-Kollision

Arnold, Jochen (Mainz)

This project is concerned with the lithospheric evolution in Central Europe during the Variscan orogeny. A general characteristic in several parts of the orogen is the rapid uplift of material from deep crustal areas to the surface. Our aim is to understand the principal features of these processes by modelling physically relevant aspects in relation to the situation in the Saxothuringicum and the Moldanubicum. Important tectonic aspects are:

- tectonic inversion of stress from compression to extension
- high temperatures in upper lithospheric levels after the orogenic peak
- exhumation and sedimentation within the orogen at the same time.

As a hypothesis for the geodynamic evolution we consider a scenario of a delaminating lithosphere within a compressive continental area. The rheological characteristics of the lower crust seem to play a key role in these processes:

- On mantle scale it decouples crustal and mantle regime mechanically, e.g. it triggers delamination of mantle-lithosphere in compressional orogenic settings.
- On lithospheric scale crustal deformation as relaxation of topography and uplift of lower crustal units in extensional settings is dominated by its mechanical features.

That is why we are testing several approaches for crustal rheology (quasi-brittle, quasi-plastic, thermal activated power-law rheology). The mantle is defined thermally, especially density and viscosity, which is also stress-dependent ($n = 3.5$). The existence of a weak zone in the middle of the model helps us to define two mechanically decoupled plates. The initial thermal stress is continental. Subduction is initiated by a kinematic boundary condition. A starting model covers lithospheric thickening by a fixed rate of convergence until instability due to negative buoyancy of the dense lithospheric mantle is reached, while in response model dynamic self-consistent evolution of the instability is observed. With this approach, a better understanding of the geodynamic processes should answer the following questions:

- In how far do the driving velocities influence the growth of the gravitational instability?
- Which crustal rheologies and thickness lead to the required lithospheric thickness at the peak of the orogenic process?
- What thermal and mechanical consequences would a pre-collisional oceanic subduction effect?

Jochen Arnold
Institut für Geowissenschaften, Abt. f. Geophysik
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Becherweg 21, 55099 Mainz, Germany
Tel.: +49-(0)6131-395225
Fax: +49-(0)6131-394769
arnold@goofy.zdv.Uni-Mainz.de
`http://www.uni-mainz.de/FB/Geo/Geologie/Geophysik/Team/jochen.html`

Systematische Erstellung einer Datenbasis von Subduktionsparametern

Tetzlaff, Manuela (Frankfurt)

Der Einfluß des Olivin-Spinell-Phasenübergangs auf die Subduktion ozeanischer Lithosphäre und die Natur von Tiefbeben soll untersucht werden. Das Auftreten von Beben im Tiefenbereich zwischen 410–700 km korreliert mit verschiedenen Parametern wie z.B. Subduktionsalter und Subduktionsgeschwindigkeit. Darüberhinaus wird ein Zusammenhang zwischen dem metastabilen Olivin, der sich im kalten Bereich einer schnell abtauchenden alten Lithosphäre ausbildet, und dem Auftreten von Tiefbeben vermutet; experimentelle Befunde deuten auf eine kinetisch verzögerte Phasenumwandlung von Olivin zu Spinell hin. Dieser Zusammenhang soll zum einen durch eine Analyse von Beobachtungsdaten und Subduktionsparametern quantifiziert werden und zum anderen durch eine dynamisch und phasenübergangs-kinetisch konsistente numerische Modellierung auf eine physikalische Basis gestellt werden.
Im Rahmen der Analyse von Beobachtungsdaten wird eine umfassende Datenbank erstellt. Darin werden sämtliche Subduktionszonen in äquidistante Segmente unterteilt, jedes einzelne soll durch möglichst viele Parameter — wie z.B. Alter der Lithosphäre, Konvergenzgeschwindigkeit, Abtauchwinkel der Benioffzonen, 3D-Tiefenverteilung der Beben, seismische Energieverteilung, Herdflächenlösungen — beschrieben werden. Unter anderem wurden dabei Korrelationen zwischen dem thermischen Parameter — dem Produkt aus vertikaler Abtauchrate und Alter der Lithosphäre — und der Tiefenverteilung der Beben an einzelnen Subduktionszonen festgestellt; tiefe Beben treten erst ab einem bestimmten Grenzwert des thermischen Parameters auf.
Mit dieser umfassenden Datenbank können durch Vergleich mit den sich aus der Modellierung der Subduktion ozeanischer Lithosphäre ergebenen Zonen metastabilen Olivins resultierenden Ergebnissen Aussagen über mögliche Verteilungen und die Natur von Tiefbeben getroffen werden.

Manuela Tetzlaff
Institut für Meteorologie und Geophysik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main
Feldberstr. 47, D-60323 Frankfurt/Main, Germany
Tel.: +49-(0)69 798-24925
Fax: +49-(0)69 798-23280
tetzlaff@geophysik.uni-frankfurt.de

Berechnung des Lithosphärenalters an der Subduktionszone

Steinberger, Bernhard (Frankfurt)

Für einen Vergleich der Dichteanomalien im unteren Erdmantel, wie sie aufgrund der Subduktionsgeschichte berechnet werden, mit tomographischen Modellen, sowie einen Vergleich von beobachtetem und berechnetem Geoid, ist es erforderlich, die Massenanomalie subduzierter slabs zu kennen. Diese hängt jedoch vom Lithosphärenalter zur Zeit der Subduktion ab. Dieses Alter wird aufgrund zeitabhängiger Modelle der Geometrie und Bewegungen von Lithosphärenplatten für die letzten 120–130 Ma berechnet. Da diese Modelle v.a. aufgrund der Altersverteilung des Ozeanbodens, wie sie sich aus magnetischen Anomalien ergibt, erstellt wurden, sollte idealerweise für den gegenwärtigen Zeitpunkt die berechnete mit der direkt bestimmten Altersverteilung übereinstimmen. Der Vergleich ergibt, daß dies für den Atlantischen und Indischen Ozean noch recht gut der Fall ist, daß sich aber für den Pazifik, um den herum die meiste Subduktion geschah, insbesondere für mesozoische Alter größere Diskrepanzen ergeben.

Die Berechnungen ergeben für die Subduktion unter Amerika im allgemeinen jüngere Alter als im westpazifischen Raum. In den zugrundegelegten Modellen waren die Spreading-Rücken im Pazifik jedoch im allgemeinen desto weiter im Westen, deshalb wird im allgemeinen das berechnete Alter im westlichen Pazifik desto kleiner, unter Amerika desto größer, je weiter man in die Vergangenheit zurückgeht. Der Anteil der Subduktionszonen, an denen mit dieser Methode kein Alter bestimmt werden kann, nimmt ebenfalls mit zunehmendem Abstand zur Gegenwart zu.

Die Genauigkeit der Methode reicht aus für den hier verfolgten Zweck, da andere Unsicherheiten der Modellierung, z.B. die angenommene Mantelviskosität wesentlich größer sind. Für andere Anwendungen (z.B. Berechnung des Lithosphärenalters in Gebieten, in denen keine direkten Meßdaten vorliegen) wäre ein genaueres Modell der Plattenbewegungen und -geometrie erforderlich (insbesondere im Pazifik und im Mesozoikum).

Bernhard Steinberger
Institut für Meteorologie und Geophysik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main
Feldberstr. 47
D-60323 Frankfurt/Main, Germany
Tel.: +49-(0)69 798-24925
Fax: +49-(0)69 798-23280
steinber@geophysik.uni-frankfurt.de
`http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~steinber/`

Ausbildung von Subduktionszonen und Slabs im oberen Erdmantel: Vergleich zwischen numerischen und Analog-Experimenten

Becker, Thorsten W. (Harvard), C. Faccenna (Rom) und R. J. O'Connell (Harvard)

We perform numerical and laboratory experiments to model the formation and evolution of the subduction of oceanic lithosphere in the upper mantle underneath an upper resistant plate.
In the numerical experiments, we use the finite element code ConMan with a purely Newtonian viscous material. In the laboratory experiments, we use a stratified lithospheric rheological profile with sand representing the brittle behavior of the upper crust, silicone putty modeling the viscous behavior of the lower crust and mantle lithosphere, and glucose syrup simulating the asthenosphere. We tested varying the velocity of convergence, the density contrast and the viscosity contrast between the oceanic plate and the upper mantle, and slab anchoring at depth.
The style of subduction is similar in the two model approaches. Slabs nucleate in the form of an instability, first growing at a low rate and then sinking into the mantle obtaining the form of a slab, exponentially increasing their velocity and their dip in the span of tens of Myr before reaching the 670 km discontinuity.
The negative buoyancy of the oceanic plate represents the main acting force in the system, as expected, whereas the viscous bending of the oceanic plate at the subduction zone represents the major resisting one. The competition between these two forces is a major control on the style of subduction in the upper mantle, the trench migration and the state of stress in the upper plate.
The important non-dimensional quantity that lets us characterize different subduction scenarios is the buoyancy number F.

Thorsten W. Becker
Department of Earth and Planetary Sciences
Harvard University
20 Oxford Street, Cambridge MA 02138, USA
Tel.: +1-(617)495-8986
Fax: +1-(617)495-8839
becker@eps.harvard.edu
http://www.seismology.harvard.edu/~becker/

Criticality of subducting slabs

Riedel, Michael (Potsdam), S. Karato and D. A. Yuen (Minneapolis)

The bending strength of subducted oceanic lithosphere is an important parameter to control the style of global mantle convection. Slab rheology is likely to change strongly across its thickness and with depth due to large variations in temperature and mineralogy. Furthermore, non-equilibrium effects related to mineral transformations like latent heat release and kinetic grain-size reduction as well as the effects of persisting metastable phases may result in very complex patterns of slab rheology.
In order to account for these nonlinear feed-back mechanisms and to resolve the resulting multiscale features, any describing model requires locally extremely high spatial resolutions of 100 meters or finer.
Here, we introduce a generalized formalism to calculate the stress-strain relationship in a bended, highly inhomogeneous medium on the basis of a momentum balance equation combined with viscous resp. elastic constitutive creep laws. This approach avoids the difficulties connected with the solution of the partial differential equations of a continuum mechanical slab model. For this purpose, we map the slab structure into a cellular automaton model and calculate the stress-strain depth-dependence for each layer across the slab taking into account the temperature-, grain-size- and stress-dependent creep mechanisms of the dominant mineral phases.
This model is applied to the calculation of the bending strength of slabs in the mantle transition zone, including the available experimental data on olivine/spinel creep. It is shown that, mainly due to the strong temperature dependence of spinel grain-size, the slab resistance against deformation between 400 and 660 km depth increases anomalously with temperature.
More generally, we calculate the bending strength of slabs in a 2-D parameter space consisting of the subduction velocity (thermal parameter) and the external bending moment (M). With increasing M, the overall stress level in the inner part of the slab increases dramatically and reaches significant percentages of the Peierl's limit of the respective minerals. This behaviour is accompanied by an increasing dominance of stress dependent creep mechanisms and hence by a substantial weakening of the slab. We find, that this dependence of slab rheology on bending moment is similar to a critical behaviour, e.g. close to a bending moment of about 10^{23} Nm, the amount of viscous heating E varies according to a power law of of the form $E \sim M^n$ with $n \sim 8$.
Slab bending at these high stress levels is quite easy to accomplish at the geologic time scale, since the effective viscosity of the slab drops down to values as low as of the ambient mantle (10^{22} Pa s).

Michael R. Riedel
GeoForschungsZentrum Potsdam
Projectgroup Thermodynamics
Telegrafenberg C7, D-14473 Potsdam, Germany
Tel.: +(49)-(0)331 288-2801
Fax: +(49)-(0)331 288-2818
miker@gfz-potsdam.de

Lithosphäre – Asthenosphäre: Divergente Plattengrenzen und Plumes

Plume-Lithosphären-Wechselwirkung unter Mittelozeanischen Rücken

Albers, Michael und Ulrich R. Christensen (Göttingen)

Zahlreiche Beobachtungen deuten darauf hin, daß Mantelplumes mit Mittelozeanischen Rücken wechselwirken. Das bekannteste Beispiel ist der Island-Plume. Schweredaten des Nordatlantik zeigen eine positive Schwereanomalie entlang des Reykjanes-Rückens südwestlich von Island, die häufig durch eine Strömung von Plumematerial entlang des Rückens erklärt wird. Dieser Erklärungsansatz wird geochemisch gestützt, indem anomales Plumematerial auch im Bereich des Reykjanes-Rückens gefunden wird.
Bisherige fluiddynamische Untersuchungen zur Wechselwirkung von Mantelplumes mit Mittelozeanischen Rücken haben allerdings keine Hinweise auf eine Kanalisierung von Plumematerial entlang des Rückens geliefert, so daß ein breiter Plume mit geringer Temperaturanomalie für Island bevorzugt wurde. Seismologische Untersuchungen dagegen weisen eher auf eine schmale Plumestruktur hin.
Bisherige Untersuchungen waren immer dadurch eingeschränkt, daß sie nur einen relativ geringen Viskositätskontrast zwischen Plumematerial und Lithosphäre zugelassen haben. Wir haben deshalb mit realistischeren Parametern für die Viskosität genauer untersucht, ob und unter welchen Umständen ein Kanalisierungseffekt mit deutlicher Strömung entlang des Rückens auftreten kann.
Erste Ergebnisse zeigen, daß ein signifikanter Massentransport von Plumematerial entlang des Rückens möglich ist, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind: 1.) geringe Spreading-Geschwindigkeit am Rücken und 2.) extrem niedrigviskoses Plumematerial. Damit könnten diese Untersuchungen erste Ansätze zur Erklärung der Beobachtungen im Nordatlantik mit der Annahme eines relativ schmalen Island-Plumes liefern.
Zur Berechnung benutzen wir ein auf einem Mehrgitterverfahren basierendes Finite-Volumen-Verfahren. Vergleichsrechnungen mit unterschiedlichen numerischen Verfahren zeigen, daß dieses Verfahren auch bei hohen Viskositätsvariationen sehr genaue Ergebnisse liefert. Dagegen werden spektrale Verfahren ungenau, so daß sie für derartige Berechnungen nicht geeignet scheinen.

Michael Albers
Institut für Geophysik
Georg-August-Universität Göttingen
Herzberger Landstr. 180, 37075 Göttingen, Germany
Tel.: +(49)-(0)551-397465
Fax: +(49)-(0)551-397459
mab@geo.physik.uni-goettingen.de
`http://www.uni-geophys.gwdg.de/~mab/Welcome.html`

Partial melting and melt segregation in a plume

Schmeling, Harro (Frankfurt)

Various causes for mantle melting (decompression, heating or release of water) combined with current estimates of upper mantle temperatures and the state of stress in the lithosphere suggest that in many regions the asthenosphere might be partially molten, but melts may not always be able to rise to the surface. The governing equations describing melting, melt segregation, compaction and depletion in a deforming medium are discussed with emphasis on the physical processes involved. To combine these processes with a convecting upper mantle flow, a "Compaction Boussinesq Approximation" (CBA) is introduced and tested with known solutions. Driving forces include thermal, melt, depletion and enrichment buoyancy. The bulk viscosity and its dependence on porosity has a significant slowing down effect on the melt flow even for distances large compared to the compaction length. 1-D and 2-D solitary porosity waves are discussed with particular emphasis on a variable bulk viscosity, compaction, and dilatation of the matrix. Variable bulk viscosity narrows solitary porosity waves. Melting, segregation and solidification processes are studied in a self-consistent model of a variable viscosity plume head arriving at the base of the lithosphere. It is shown that melt buoyancy dominates segregation velocities. However, a variable bulk viscosity may still have some influence on the segregation velocities, while dynamic pressures may be neglected. In a sublithospheric model of a plume head segregation velocities at 100 to 150 km depth are relatively small, and no focussing effect towards the plume axis is observed.

Harro Schmeling
Institut für Meteorologie und Geophysik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt
Feldbergstraße 47, D-60323 Frankfurt am Main, Germany
Tel.: +49-(0)69 798-23335
Fax: +49-(0)69 798-23280
schmeling@geophysik.uni-frankfurt.de
`http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~schmelin`

Plume-Lithosphären-Wechselwirkung bei Hawaii unter Einbeziehung der Schmelzbildung

Cserepes, Lászlo (Budapest), U. R. Christensen (Göttingen), N. Ribe (Yale)

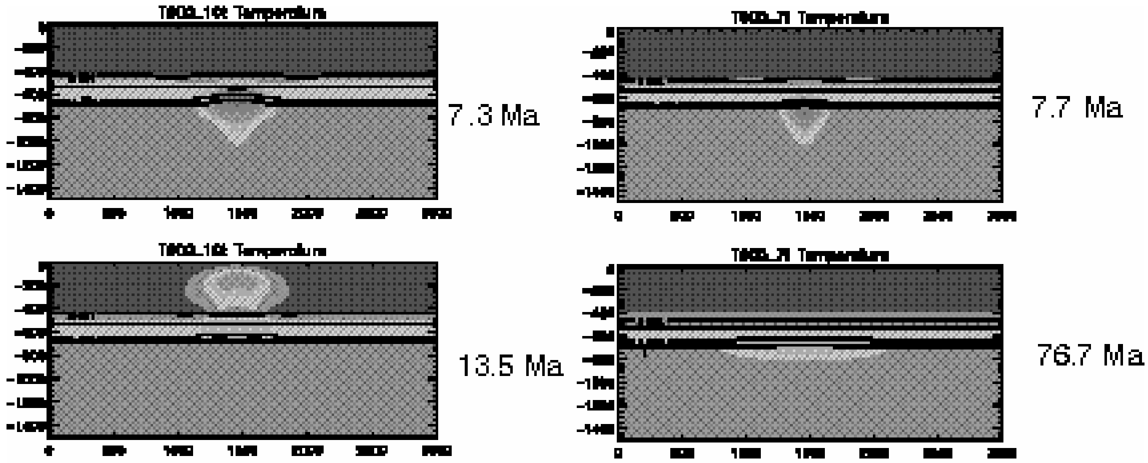
A three-dimensional variable-viscosity convection model is used to study the thermal and dynamical structure of the Hawaiian plume as well as the related geoid and topography anomalies of the corresponding oceanic swell. In particular, we compare the geoid-to-topography ratio GTR with observations. The convection model yields a stationary plume below the drifting oceanic lithosphere. We calculate the melting rate in the plume head and assume that all melt migrates to the surface where it builds a volcanic edifice, equivalent of the Hawaiian island chain. Viscous stresses from below, elastic deformation of the lithosphere and (optionally) the presence and loading effects of the volcanic material deposited on the ocean floor are included in the calculation of surface topography and the corresponding geoid.
The derivation of the GTR from the model follows two different ways used in the literature for processing real data from oceanic swells. In the first method we use bandpass filters to retain the wavelength domain 400–4000 km as most characteristic of the swell topography and geoid. The slope of the regression line fitted to a geoid versus topography crossplot gives a measure of the GTR. In the second method we fit Gaussians to selected topography and geoid profiles across the model swell, and the GTR is calculated as the ratio of the respective amplitudes.
The first method yields 4.7 $\frac{\text{m}}{\text{km}}$ for the GTR, while the second one gives 5.6–7.2 $\frac{\text{m}}{\text{km}}$ when the effects of the volcanic surface loading are included in the model. Ignoring these effects leads to 8–10 $\frac{\text{m}}{\text{km}}$ in both processing methods. The observed GTR for the Hawaiian swell has been reported to lie between 4 and 5 $\frac{\text{m}}{\text{km}}$. The results suggest that residual effects from the volcanic structures bias significantly the GTRs derived for oceanic hotspot swells. The plume model can explain the GTR of the Hawaiian swell without the need to invoke strong lithospheric erosion.

Ulrich R. Christensen
Institut für Geophysik
Georg-August-Universität Göttingen
Herzberger Landstr. 180, 37075 Göttingen, Germany
Tel.: +49-(0)551-397451
Fax: +49-(0)551-397459
urc@carl-f.uni-geophys.gwdg.de
http://www.uni-geophys.gwdg.de/~urc/Welcome.html

Wechselwirkung von Mantelplumes mit den Phasengrenzen im oberen Erdmantel

Marquart, Gabriele und H. Schmeling (Mainz/Frankfurt)

The spinel-perovskite phase boundary in the earth mantle at about 660 km depth is a prominent barrier for mantle convection. This is due to the negative Clapeyron slope of the phase equilibrium curve which means an elevation of the phase boundary above hot upwellings causing negative chemical buoyancy forces. These forces arise from relatively denser perovskite material at spinel level. We have investigated the conditions for rising plumes (which we simply modeled as 3-D spheres or 2-D cylinders) to penetrate the spinel-perovskite phase boundary or to stick and spread below it.
A simple calculation balancing the positive thermal and the negative chemical buoyancy shows that the problem can be parametrized by two parameters: the buoyancy parameter, relating thermal to chemical buoyancy, and the deflection parameter, relating the elevation of the phase boundary to the plume head radius. For a slope of the Clapeyron curve of 83.5 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{K}}$ as known from laboratory studies, a general result is that plumes with an excess temperature between 50 K and 1000 K will stick at the top of the lower mantle if their radii are less than about 100 km (otherwise they penetrate as a whole.)
Numerical experiments which include the effects of latent heat, the olivine-spinel phase boundary at 410 km depth and temperature and/or phase dependent viscosity confirm these findings. While the style of plume penetration or spreading at the top of the lower mantle strongly depends on the viscosity, the conditions for penetration do not. Only very hot plumes with an excess temperature of more than 500 K may stick in a first stage at the phase boundary but may partly penetrate in a later stage due to upwelling flow in the upper mantle. While for sticking and spreading plumes with small excess temperatures a mechanical coupling to the flow in the upper mantle is observed producing a downwelling above the plume center, for hot plumes heat diffusion across the phase boundary together with small amounts of latent heat may start an upwelling flow which leads to penetration of small amounts of plume material.



Penetrating plume head Sticking plume head

Gabriele Marquart
Institut für Meteorologie und Geophysik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt
Feldbergstraße 47, D-60323 Frankfurt am Main, Germany
Tel.: +49-(0)69 798-24904
Fax: +49-(0)69 798-23280
marquart@geophysik.uni-frankfurt.de
`http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~marquart`

Tiefer Mantel und Kern

Thermische Randbedingungen für das Überleben von Blobs primitiver geochemischer Zusammensetzung im unteren Erdmantel

Becker, Thorsten W., James B. Kellogg und Richard J. O'Connell (Harvard)

Geochemical models have frequently divided the mantle into depleted upper and undepleted lower mantle reservoirs and usually indicate a layered style of convection. This is difficult to reconcile with seismological and geodynamical evidence for substantial mass flux between lower and upper mantle. Various models have been proposed to jointly interpret the evidence. Davies (1986) suggested that lumps of primitive material may exist in the lower mantle representing reservoirs for undepleted basalts. Calculations by Manga (1996) showed that high viscosity blobs could persist in a convective cell for geologically long times without being substantially deformed and mixed with the surrounding flow. We investigate a "lower mantle blob model" of convection based on these ideas and consider dynamical, thermal, geochemical and rheological consequences.

The radiogenic heat production in the primitive blobs would lead to higher temperatures. However, these would be modest ($\Delta T < 300\,\mathrm{K}$) for sufficiently small blobs (radius $< 800\,\mathrm{km}$). The resulting thermal buoyancy can be offset by a modest intrinsic density excess ($< 1\,\%$) so that blob material is hidden from the ridges but sampled by rising plumes. Blobs would have to fill 30 % to 65 % of the mantle, and be surrounded by depleted material of lower viscosity that would convectively transport heat to the surface. The thermal decrease in blob viscosity would be about one order of magnitude and constrained to the interior so that the hard shell can be expected to control the dynamical mixing behavior. On average, the viscosity of the lower mantle would be increased by the presence of the blobs; if they were 100 times more viscous than the surrounding mantle the net effect would be to increase the effective viscosity approximately 5-fold.

The origin of the proposed blobs is an unresolved problem. We conjecture that perovskite/magnesiowüstite ratio variations could be the reason, which would yield an intrinsic density contrast as well. Blob geometries are at the current resolution limit of global tomographic models, and the way temperature and composition effect seismic wave speeds tends to blur the signal. However, blobs could ultimately be detected by comparing P- and S-residuals individually since the dependence of the elastic moduli on temperature and chemistry has been proposed to be different for each case.

Our model does not violate the constraints we have considered, and may be a reasonable explanation for the geochemical observations.

References

Davies, G. F.: Mantle convection under simulated plates: effects of heating modes and ridge and trench migration, and implications for the core-mantle boundary, bathymetry, the geoid and Benioff zones, *Geophys.J.R.Astr.Soc.* 84, pp. 153–183 (1986)

Manga, M.: Mixing of heterogeneities in the mantle: effect of viscosity differences, *Geophys.Res. Lett.* 23, pp. 403–406 (1996)

Thorsten W. Becker
Department of Earth and Planetary Sciences
Harvard University
20 Oxford Street, Cambridge MA 02138, USA
Tel.: +1-(617)495-8986
Fax: +1-(617)495-8839
becker@eps.harvard.edu
`http://www.seismology.harvard.edu/~becker/`

Geochemische Mantelreservoire und Konvektion

Walzer, Uwe und Roland Hendel (Jena)

Die thermische Evolution der Erde wird mit einem 2D-FD-Boussinesq-Modell untersucht, wobei die radiogenen Wärmequellen nur anfänglich in einem primordialen Silikatmantel homogen verteilt sind. Die chemische Differentiation, die zur Bildung der ozeanischen Plateaus und der kontinentalen Flutbasalte führt, wird in vereinfachter Form in das System eingebaut. Auf diese Weise werden die thermische *und* die chemische Evolution des Mantels und der Kruste gleichzeitig durch die numerische Lösung eines gekoppelten Differentialgleichungssystems modelliert. Im Gegensatz zu dem bereits veröffentlichten Modell K1 wird keine Zweischichtkonvektion erzwungen, sondern in 410 und 660 km Tiefe werden die Phasengrenzen mit üblichen Werten für die Clapeyron-Neigung, den Dichtesprung usw. eingeführt, was zusätzlich zu der üblichen Rayleigh-Zahl Rq für Heizung von innen und unten auf Wärmequellen bzw. -senken an den erwähnten Diskontinuitäten führt. Die Viskosität wird als Funktion des Temperaturfeldes und des Druckes behandelt. Wenn in der Asthenosphäre die Viskosität in einem Teilbereich unter einen Grenzwert fällt, findet chemische Segregation statt. Es bleibt ein verarmter Mantelbereich zurück, während oben ozeanische Plateaus entstehen, die an inkompatiblen Elementen angereichert sind. Die dadurch erzeugte inhomogene Wärmequellverteilung bewirkt einen ersten Rückkopplungsmechanismus. Durch weitere Segregation und Akkretion entsteht aus den ozeanischen Plateaus ein wachsender Kontinent, der eine etwas andere thermische Randbedingung für die Mantelkonvektion als der Ozeanboden erzeugt. Diese Eigenschaft und die laterale Beweglichkeit des Kontinents verursachen einen zweiten Rückkopplungsmechanismus. Außerdem wird in dieser Weise das Volumenwachstum des Kontinents in stark vereinfachter Weise modelliert. Die erwähnten zwei Mechanismen erzeugen ein Auf und Ab in der Aktivität der konvektiven Bewegung, das nur innerhalb kleinerer Parameterbereiche über der Zeitachse stabil bleibt. Für sehr große Bereiche von Rq bleibt dagegen folgendes Ergebnis stabil: Nach anfangs recht komplizierter Durchmischung entsteht spätestens im Phanerozoikum eine obere, im wesentlichen verarmte Mantelhälfte, die unter den oberen Mantel hinabreicht, sowie eine im wesentlichen reichere untere Mantelhälfte. Es gibt dazwischen keine scharfe Trennfläche. Der Mechanismus läßt sich im wesentlichen so skizzieren: Die heißeren aufsteigenden Diapire aus dem unteren Mantel durchschlagen die Phasengrenzen und bringen so neues, an inkompatiblen Elementen noch nicht verarmtes Material in die Asthenosphäre. Letztere ist die einzige Schicht, in der die chemische Differentation, die zu Ozeanplateaus führt, stattfindet. So wird die Asthenosphäre bald fast ganz mit verarmtem Material erfüllt, welches dann, wegen der nicht abreißenden Zufuhr aus dem unteren Mantel, auch in die Übergangsschicht und in die oberen Teile des unteren Mantels fließt. Für gängige Rayleighzahlen erhalten wir eine verarmte obere Mantel*hälfte*.

Uwe Walzer
Institut für Geowissenschaften
Friedrich-Schiller-Universität
Burgweg 11 07749 Jena, Germany
Tel.: +49-(0)3641-948680
Fax: +49-(0)3641-948662
walzer@geo.uni-jena.de
`http://www.uni-jena.de/chemie/geowiss/geodyn/erg.html`

Thermische Evolution und Magnetfeld von Merkur — Auswirkung des Anfangszustandes und verschiedener Viskositätsgesetze im Mantel

Conzelmann, V. und T. Spohn (Münster)

Merkur ist der am wenigsten bekannte terrestrische Planet unseres Sonnensystems. Er hat eine außergewöhnliche innere Struktur, da der Eisenkern etwa 60 % der Masse ausmacht. Der silikatische Mantel bildet eine dünne Hülle um den Kern. Während der Mariner 10-Mission wurde ein Magnetfeld gemessen, dessen Charakteristik am besten erklärt werden kann, wenn es in Merkurs flüssigem Kern erzeugt wird.

In einem achsensymmetrischen Konvektionsmodell werden zunächst verschiedene Viskositätsgesetze mit konstanter, radial temperaturabhängiger und radial temperatur- und druckabhängiger Viskosität angewandt, wobei der mögliche Parameterraum der Viskosität für einen planetaren Mantel von relativ steifem bis zu weichem Mantelmaterial variiert wird. Dabei wird gemischte Heizung verwendet, die Wärmequelldichte ist an die Mineralogie von Merkur angepaßt. Alle weiteren Parameter werden als konstant angenommen und beschreiben einen Zustand, den Merkur vermutlich nach der Akkretion und Differentiation in Kern und Mantel innehatte.

Die Ergebnisse unterscheiden sich für verschiedene Viskositätsgesetze deutlich. Im Vergleich zur konstanten Viskosität ist die Konvektionsgeschwindigkeit sowie die Anzahl der Konvektionszellen bei radial temperaturabhängiger Viskosität höher. In Fällen zusätzlicher Druckabhängigkeit nimmt die Heftigkeit der Konvektion im Vergleich zu reiner Temperaturabhängigkeit zum Teil drastisch ab, dies gilt auch für die Anzahl der Konvektionszellen. Alle Modelle mit radialer Abhängigkeit der Viskosität bilden eine Lithosphäre aus, welche in Modellen mit konstanter Viskosität komplett fehlt. Die Temperatur des konvektierenden Mantelbereichs steigt gegenüber konstanter Viskosität deutlich an. Die Manteltemperaturen liegen um so höher, je stärker die Druckabhängigkeit der Viskosität und je steifer die Rheologie ist. Mit zunehmender Druckabhängigkeit bildet sich im unteren Mantel ein Bereich höherer Viskosität aus, in dem fast keine Konvektion mehr stattfindet. Die Druckabhängigkeit der Viskosität führt zu einem verlangsamten Wärmetransport aus dem Kern, dadurch wird die Abkühlung des Kerns gegenüber Modellen mit reiner Temperaturabhängigkeit deutlich verlangsamt.

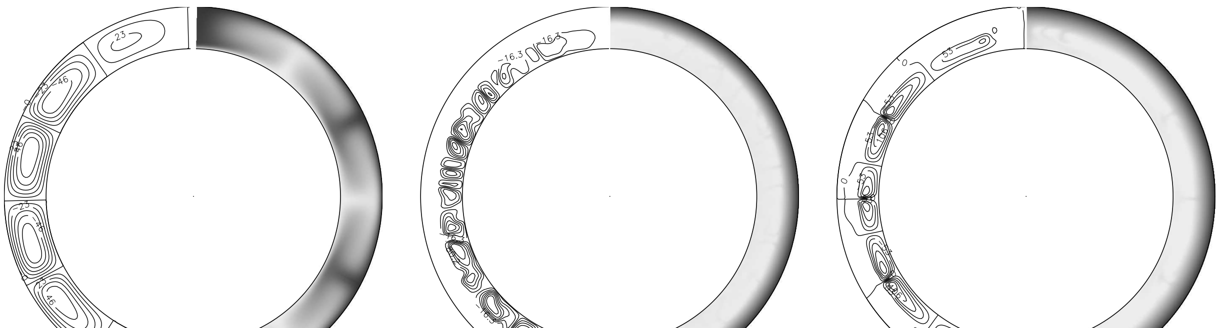


Abbildung 1: Auswirkung verschiedener Viskositätsgesetze, von links nach rechts beschreiben die Bilder Modelle mit konstanter Viskosität, rein temperaturabhängiger Viskosität, sowie druck- und temperaturabhängiger Viskosität, dabei ist jeweils links die Stromfunktion und rechts das Temperaturfeld gezeigt. Die Temperaturen liegen in einem Bereich von maximal 2100 K (hellgrau) bis minimal 440 K (dunkelgrau).

In einem zweiten Schritt werden Evolutionsmodelle berechnet, bei denen die Temperatur an der Kern-Mantel-Grenze nicht mehr festgehalten wird, sondern abnehmen kann. Auch die Wärmequelldichte im Mantel nimmt nach dem Zerfallsgesetz der radioaktiven Elemente Uran und Thorium ab.

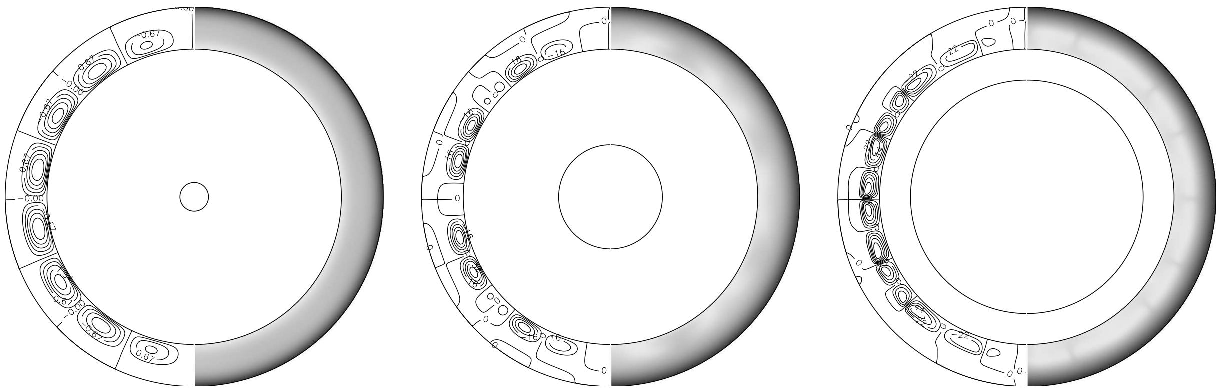


Abbildung 2: Thermische Evolution bei temperatur- und druckabhängiger Viskosität, links der Zeitpunkt, zu dem der innere Kern auszufrieren beginnt (0,33 Ga), nach 0,7 Ga setzt die Konvektion im Mantel ein (Mitte) sowie heutiger Endzustand (rechts).

Die Evolution des Kerns wird über eine Energiebilanz an der Kern-Mantel-Grenze modelliert. Für den Kern wird eine Zusammensetzung aus Eisen und Schwefel angenommen, wobei der Schwefelanteil nach Abschätzungen von Wänke (1995) bei 0,1 % liegt. Das Modell erlaubt, einen inneren Kern auszufrieren. Mit einem einfachen hydrodynamischen Dynamomodell wird die Stärke des Magnetfeldes aus thermischer Energie und chemischer Konvektion des Schwefelanteils im Kern an der Oberfläche von Merkur abgeschätzt.
Wird ein Anfangstemperaturprofil gewählt, das den angenommenen Zustand von Merkur nach der Akkretion beschreibt, so zeigt sich, daß es mit zunehmender Druckabhängigkeit und steiferer Rheologie immer länger dauert, bis sich eine konvektive Strömung im Mantel ausgebildet hat. In diesem Stadium ist der Wärmetransport weniger effektiv, als die angegebene Rayleighzahl suggeriert. Daher kühlt Merkur deutlich langsamer aus, als das in parametrisierten Modellen, in denen immer von einem 'idealen' Wärmetransport ausgegangen wird, der Fall ist. Weiterhin nimmt die Temperatur im konvektierenden Mantelbereich zu. Dies liegt nicht etwa daran, daß Merkur durch Bildung einer mächtigen Lithosphäre abkühlt. Die Modelle mit konstanter Temperatur an der Kern-Mantel-Grenze und konstanten Wärmequellen im Mantel zeigen, daß dies die Temperaturen sind, die das Modell im stationären Zustand annehmen würde. Sie hängen von der Parameterwahl und von der Druckabhängigkeit des Viskositätsgesetzes sowie von der dimensionslosen Heizungsrate ab.

Literatur

H. Wänke: Mercury: Constraints to Structure and Composition from Density and Magnetic Field, Alpbach Summer School 1995

Vera Conzelmann
Institut für Planetologie
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Wilhelm-Klemm-Str. 10, 48149 Münster, Germany
Tel.: +49-(0)251 833 47 14
Fax: +49-(0)251 833 90 83
conzelm@uni-muenster.de
`http://amadeo.uni-muenster.de/~conzelm`

Poster

iGMT: A Tool for the Interactive Mapping of Geoscientific Datasets

Becker, Thorsten W. (Harvard) und Alexander Braun (Frankfurt)

We announce the release of the computer program iGMT, a tool for the interactive mapping of geoscientific datasets. The software is a UNIX based Tcl/Tk script package that is built around the Generic Mapping Tools (GMT) of Wessel and Smith (1995). iGMT can assist in the creation of GMT scripts for mapping raster or polygon datasets and has built-in support for topography, sea-floor age, free air-gravity, the geoid and many polygon data files such as earthquake catalogs, Harvard CMT solutions or hot-spot locations.
The program is not only a graphical user interface for GMT but also capable of manipulating various datasets as available on the World Wide Web. Our package should help the earth scientist with limited experience with GMT or UNIX data processing to take advantage of the available information sources. iGMT can assist in all sorts of geophysical or geological mapping tasks and greatly reduces the start-up time for researches who ultimately want to access GMT directly. In addition, it provides the experienced user with a tool to speed up the process of script writing.
iGMT is free software under the GNU public license (FSF, 1991) and available at `http://www.seismology.harvard.edu/~becker/igmt`.

References

Wessel, P., Smith, W. H. F.: New Version of the Generic Mapping Tools Released, *EOS* 76, p. 329 (1995)

GNU General Public License. Free Software Foundation, Inc., Boston (1991)

Thorsten W. Becker
Department of Earth and Planetary Sciences
Harvard University
20 Oxford Street, Cambridge MA 02138, USA
Tel.: +1-(617)495-8986
Fax: +1-(617)495-8839
becker@eps.harvard.edu
`http://www.seismology.harvard.edu/~becker/`

Experimente zur Ausbreitung von Volumenstörungen in thermischen Plumes

Laudenbach, Nils und U.R. Christensen (Göttingen)

Das vorgestellte Experiment erzeugt einen thermischen Plume im Labormaßstab. Als Modellflüssigkeit wird Glukosesirup verwendet, dessen Viskosität sich, ähnlich wie das Mantelgestein, nach dem Arrheniusgesetz verhält. Es wird heißer Sirup am Boden eines mit kaltem Sirup gefüllten Plexiglasgefäßes injiziert. Die dabei vorhandenen Dichteunterschiede sorgen für einen Auftrieb des heißen Materials. Es steigt zunächst ein Diapir (Plumekopf) auf, und heißes Material strömt nach, so daß sich nach einiger Zeit ein stationärer Kanal ausbildet. Es wird vermutet, daß sich Volumenstörungen innerhalb des stationären Kanals mit den Eigenschaften solitärer Wellen (Solitonen) ausbreiten. Durch den solitären Charakter der durch kurzzeitige Erhöhung des injizierten Volumenflusses generierten Volumenstörungen ergeben sich interessante Überlegungsansätze im Hinblick auf effektiven Material- und Temperaturtransport in Mantelplumes. Außerdem beobachtet man eine geschlossene Zirkulation innerhalb der Wellen, die eine Vermischung zwischen Plume- und Umgebungsmaterial verhindert. Die radiale Temperaturverteilung innerhalb des Plumes und der Wellen wird mit einer berührungslosen Temperaturmeßmethode bestimmt, die nach dem Prinzip der Laserstrahldeflexion arbeitet.

Nils Laudenbach
Institut für Geophysik
Georg-August-Universität Göttingen
Herzberger Landstr. 180, 37075 Göttingen, Germany
Tel.: +49-(0)551-397475
Fax: +49-(0)551-397459
nlauden@willi.uni-geophys.gwdg.de
`http://www.uni-geophys.gwdg.de/~nlauden/Welcome.html`

Instabilitäten chemischer Konvektion

Claßen, Sabine (Göttingen)

In the cooling Earth the fluid outer core consists of a molten alloy above the solidifying inner core. In this case compositional convection due to the preferential solidification of the heavy phase releases a low density residual liquid. The buoyancy flux generated by this process is thought to be the main driving force sustaining the geodynamo.

We have performed laboratory experiments to investigate the influence of the Coriolis acceleration on compositional convection of a binary-eutectic system. A cylinder filled with a $NH_4Cl - H_2O$ solution is cooled from the bottom. The solidifying layer is formed as a crystal mush consisting of a network of solid dendrites with fluid in the interstices. Compositional stratification in this mushy layer causes the interstitial fluid to be buoyantly unstable. The compositional Rayleigh number of the mushy layer Ra spans the subcritical to $Ra = 5 \cdot Ra_c$, where Ra_c is the critical Rayleigh number. When $Ra > Ra_c$, upwelling in the mushy layer takes the form of narrow, crystal free cylindrical channels or "chimneys" resulting in jet-like plumes that rise into the fluid above the mush-liquid interface. Return flow into the mush is diffuse. For some of the experiments the cylinder is rotated at a constant angular velocity. The range of the Ekman number is 10^{-4}–10^{-6}. The main features of convection described above are retained in the presence of rotation. However, rotation has a strong effect on the form of convection in the fluid above the mush-liquid interface.

In the fluid above the mushy layer rotational shear due to the Coriolis force causes an instability characterized by secondary plume formation from sub-horizontal primary plumes conduits. This new instability has the form of small fluid parcels or blobs. The height of onset of instability is proportional to the Ekman number. The flow pattern thus becomes increasingly complex on smaller length scales with increasing rotation rate.

Sabine Claßen
Institut für Geophysik
Georg-August-Universität Göttingen
Herzberger Landstr. 180, 37075 Göttingen, Germany
Tel.: +49-(0)551-397475
Fax: +49-(0)551-397459
sac@john-w.uni-geophys.gwdg.de
http://www.uni-geophys.gwdg.de/~sac/Welcome.html

Experimental and numerical investigations on the flow in spherical gaps

Brasch, Werner (Bremen)

Investigations on thermal convection as well as on isothermal flow in spherical gaps are important for understanding the flow pattern and the dynamic behavior in large scale geophysical flow. We report on a laboratory and numerical study on the bifurcation scenario and the flow structures in dependence on the radius ratio, the Reynolds number and the Rayleigh number in spherical gaps. Our experimental setup permits both heating or cooling the spheres' surfaces and rotates the inner or outer sphere independently.
In the case of thermal convection without rotation under an axial force field the first instability in narrow gaps leads to non-axisymmetric stationary rolls whereas in wider gaps the basic flow turns into time dependent state with pulsating vortices in pole region.
In isothermal flow by rotating the inner sphere the instability depends strongly on the radius ratio. In narrow gaps Taylor vortices occur in the equator region. In wide gaps there are spiral waves at the poles. In the gaps with radius ratio 0.75 and 0.67 the spiral waves undergo two Hopf bifurcations and several mode changes with increasing Reynolds number. The dynamic behavior in the form of bifurcation diagram was obtained by LDA-measurements.

Werner Brasch
Center of Applied Space Technology and Microgravity (ZARM)
Am Fallturm, D-28359 Bremen, Germany
Tel.: +49-(0)421 218-2353
brasch@zarm.uni-bremen.de
`http://zarm9.zarm.uni-bremen.de/2forschung/rotfluid/rf_maind.html`

Mehrgitterverfahren für 2D Simulationsrechnungen zur Mantelkonvektion mit nichtnewtonischer Rheologie

Auth, Christian (Göttingen)

Will man die positiven Eigenschaften des Mehrgitterverfahrens (MG), nämlich Schnelligkeit und Stabilität bei Simulationen mit stark temperatur- und druckabhängiger Viskosität, auch für Rechnungen mit deformationsratenabhängiger Rheologie einsetzten, muß ein effizientes Verfahren zur Ankopplung der Viskosität an die Geschwindigkeiten gefunden werden. Die bereits von Tackley (1998) verwendete Picard-Iteration, bei der die Viskosität nach jedem MG-Zyklus neu an die Geschwindigkeiten angepaßt wird, besitzt jedoch so schlechte Konvergenzeigenschaften, daß sie für zeitabhängige Rechnungen ungeeignet erscheint. Erste Erfahrungen mit dem Verfahren der Instantanen Anpassung, bei dem die Viskosität jeweils unmittelbar nach Änderungen der Geschwindigkeiten im MG-Glättungsalgorithmus korrigiert wird, zeigen, daß dieses Verfahren wesentlich schneller konvergiert. Obwohl dabei ein einzelner MG-Zyklus deutlich rechenzeitintensiver ist als bei der Picard-Iteration, ist daher die Instantane Anpassung für stark deformationsratenabhängige Viskositäten das schnellere Verfahren.

Literatur

Tackley, P.J.: Self-consistent generation of tectonic plates in three-dimensional mantle convection, *Earth Planet.Sci.Lett.* 157, pp. 9-22 (1998)

Christian Auth
Institut für Geophysik
Georg-August-Universität Göttingen
Herzberger Landstr. 180, 37075 Göttingen, Germany
Fax: +49-(0)551-397459
cauth@inge.uni-geophys.gwdg.de

Multi-diffusive Konvektion mit Coagulation

Pullmann, M. und Horst Neugebauer (Bonn)

Das Studium thermodiffusiv-sedimentärer Konvektionssysteme hat gezeigt, daß die sich ergebenden Systemzustände in starkem Maße von der Partikelgröße abhängen. Eine Erweiterung des Systems auf verschiedene Partikelgrößen gestattet es, diese Abhängigkeit eingehender zu untersuchen. Durch Koagulation und Breakup kann sich die Volumenverteilung der in einzelne Größenklassen zusammengefaßten Partikel verändern.
Bei der Erweiterung des Modells auf Partikel veränderlicher Größe ist deren Einfluß auf die Ausbildung der Systemzustände von großem Interesse.

Michael Pullmann
Lehrstuhl für Geodynamik – Physik der Lithosphäre
Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Nußallee 8, 53115 Bonn, Germany
Tel.: +(49)-(0)228 73-7449
Fax: +(49)-(0)228 73-2508
pullmann@geo.uni-bonn.de
`http://www.geo.uni-bonn.de/members/pullmann/index.shtml`