

Programm  
Geodynamik-Workshop 1996

Franz Hitze Haus  
Münster  
Kardinal-von-Galen-Ring 50

Montag, 16. 9. 96

9:00 Begrüßung

Allgemeine Konvektion

- 9:10 R. Trompert, U. Hansen (Utrecht)  
Dreidimensionale Konvektion in Medien mit stark temperaturabhängiger Viskosität
- 9:30 C. Auth (Göttingen)  
Ein Mehrgitter-Verfahren zur Berechnung zweidimensionaler Konvektionsströmungen mit variabler Viskosität.
- 9:50 A. Thess, K. Eckert, B. Jüttner (Dresden)  
Konvektion fernab der Stabilitätsgrenze: Experiment und numerische Simulation
- 10:10 J. Schmalzl, U. Hansen (Utrecht)  
Der Stil thermischer Konvektion in Abhängigkeit von der Prandtl Zahl
- 10:30 Kaffeepause
- 10:50 C. Böhm, C. Egbers, H.J. Rath (Bremen)  
Experimentelle Untersuchungen zur Strömung im konzentrischen Kugelspalt unter geophysikalischen Fragestellungen.
- 11:10 W. Brasch, C. Egbers, H.J. Rath (Bremen)  
Stabilitätsanalyse zur thermischen Konvektion im nichtrotierenden und rotierenden Kugelspalt
- 11:30 G. Nauheimer (Bonn)  
Grenzschichttheorie thermischer Konvektion mit chemischer Segregation.
- 11:50 U. Hansen, J. Schmalzl, R. Trompert (Utrecht)  
Entrainment durch Mantelplumes
- 12:10 N. Laudenbach (Göttingen)  
Experimente zur Ausbreitung solitärer Wellen in thermischen Plumes.
- 12:30 Mittagspause
- 14:00 C. Schoofs, R. Trompert, U. Hansen (Utrecht)  
Doppelt-diffusive Konvektion in porösen Medien

Lithosphäre-Asthenosphäre

- 14:20 H. Schmeling (Frankfurt)  
Schmelzinstabilitäten in der Asthenosphäre.
- 14:40 M. Krüger (Göttingen)  
Numerische Modelle zur freien Konvektion unter mittelozeanischen Rücken.
- 15:00 W. Jacoby (Mainz)

FE-Modelle zur Plattendivergenz und Magmaakkumulation an ozeanischen Rücken.

15:20 S. Rost (Göttingen)  
Untersuchungen des Kompensationsmechanismus der Hawaii-Schwelle

15:40 Kaffeepause

16:00 G. Marquart (Frankfurt)  
3D Modellierung von Instabilitäten unter einer bewegten Lithosphären-Platte

16:20 U. Walzer, R. Hendel  
Chemische Segregation und Mantelkonvektion mit wachsenden, lateral beweglichen Kontinenten.

16:40 K. Regenauer-Lieb (Mainz)  
Wie bricht eine weiche kontinentale Lithosphäre?  
Slip Line Feld und Finite Element Berechnungen zur "porösen" Plastizität in Mitteleuropa.

17:00 T. Becker (Frankfurt)  
Finite Element Modelle zur Bruchaktivierung in Scherzonen

17:20 J. Arnold (Mainz)  
FD-Modellierung von Kontinent-Kontinent Kollisionen.

17:40 B. Schott (Frankfurt)  
Auf- und Abbau der orogenen Lithosphärenwurzel

18:00 R. Monz (Frankfurt)  
Erste Ergebnisse zur Subduktion mit kinetischen Phasengrenzen.

18:20 R. Porth (Potsdam)  
Numerische Modellierungen zur andinen Plateauentwicklung mit geschwindigkeitsabhängiger Krafrandbedingung.

Dienstag, 17. 9. 96

Lithosphäre-Asthenosphäre (Fortsetzung)

9:00 B. Vermeersen (Stuttgart)  
Der Einfluss der Mantelviskosität auf die durch nacheiszeitliche Hebungsbewegungen bedingten Schwankungen der Erdrotation.

9:20 V. Klemann (Münster)  
Der Einfluß von Viskoelastizität auf glazial induzierte Spannungen in der Lithosphäre.

9:40 I. Grevemeyer (Hamburg)  
Geoidanomalien, mittelozeanische Rücken und Hotspots:  
Bedeutung und Einfluss einer Hochpassfilterung des Schwerefeldes

10:00 A. Klein, W. Jacoby (Mainz)  
Zur Rheologie der Unterkruste in NW Deutschland.

10:20 Kaffeepause

Tiefer Mantel und Kern

10:40 U. Christensen (Göttingen)

Einfluss der Migration von Subduktionszonen auf das Eindringen abgetauchter Platten in den unteren Mantel.

- 11:00 V. Steinbach (Münster)  
Einfluss von druck- und temperaturabhängiger Viskosität auf Konvektion mit Phasengrenzen
- 11:20 M. Albers (Göttingen)  
Untersuchungen zur thermischen Struktur von Mantelplumes
- 11:40 M. Riedel (Potsdam), S. Karato (Minneapolis)  
Änderung der Rheologie subduzierender Lithosphäre im Ergebnis der Olivin-Spinell Umwandlung
- 12:00 D. Neumeister (Göttingen)  
3D-Simulation von Magnetokonvektion in rotierenden Schichten.
- 12:20 S. Claßen (Göttingen)  
Zwei-Phasen Konvektion mit Anwendung auf den Erdkern.
- 12:40 Mittagspause

#### Planeten

- 14:00 H. Harder (Göttingen)  
3D-sphärische Konvektionsmodelle für terrestrische Planeten.
- 14:20 F. Sohl (Münster)  
Aufbaumodelle des Mars
- 14:40 T. Spohn, D. Breuer (Münster, Minneapolis)  
Einflüsse der Olivin-Spinell und Spinell-Perovskit Phasenumwandlungen auf die Konvektion im Mantel des Mars.
- 15:00 W. Konrad, T. Spohn (Münster)  
Thermische Entwicklung des Erdmonds berechnet mit Hilfe von 2D-Konvektionsmodellen.
- 15:20 K. Wieczerkowski (Münster)  
Viskoelastische Gezeitendissipation in Planetenmodellen.
- 15:40 Kaffeepause
- 16:00 Abschlussdiskussion

-----

#### Untersuchungen zur thermischen Struktur von Mantelplumes

Michael Albers und Ulrich R. Christensen

Institut für Geophysik, Universität Göttingen, Herzberger Landstrasse 180,  
37075 Göttingen,

e-mail: mab@willi.uni-geophys.gwdg.de

We study the rise of conduit-type thermal plumes from the core-mantle boundary (CMB). The equations of compressible viscous flow and of energy

transport are simplified by assuming that variations are much faster in radial than in vertical direction. Viscosity is a strong function of temperature and pressure, thermal expansivity and thermal diffusivity are depth-dependent. An important property is the excess temperature of plumes in the upper mantle, because together with the thickness of the overlying lithosphere it controls the amount of melt generation at hot-spots.

Assuming that all plumes start with the same excess temperature at the CMB, we show that their temperature in the upper mantle is insensitive to variations in viscosity or other material parameters or to the kind of flow law (Newtonian or non-linear). It is only controlled by the initial temperature anomaly at the CMB, the dissipation number and the plume flux. Strong plumes show no significant fading by thermal diffusion and entrainment of ambient mantle during ascent and preserve their thermal signature. The reduction of excess temperature with height is stronger for weaker plumes because heat diffusion is more effective. Plumes with a buoyancy flux of less than 1000 kg/s, such as the Crozet plume, should have cooled so much that they would not melt beneath old lithosphere. The existence of such hot-spots possibly indicates that not all plumes rise from the CMB.

#### FD-Modellierung von Kontinent-Kontinent-Kollisionen

Jochen Arnold und Wolfgang Jacoby

Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz, Becherweg 21, 55099 Mainz, J. Arnold <arnold@tucan.geo.uni-mainz.de>

Ziel der 2D-Modellierungen ist es, die Bildung der variscischen Gebirgswurzel durch konvergente Prozesse der Plattenkollision zu untersuchen. Hierfür wird eine möglichst realistische rheologisch-kompositionelle Modellierung von oberer und unterer Kruste, Mantellithosphäre (ML) und Asthenosphäre berücksichtigt. Die Evolution des Systems wird maßgeblich durch die Dynamik der kalten, hochviskosen Mantellithosphäre beeinflusst. Zur Simulation des "Ridge-Push" wird in den Modellen eine feste Horizontalgeschwindigkeit in der Lithosphäre ausserhalb der Subduktionszone vorgegeben. Dieser wird zu späteren Zeitpunkten durch den auf den verdickten Teil der Lithosphäre wirkenden "Slap-Pull" dominiert. Das dynamische Wechselspiel dieser beiden in Subduktionsprozessen maßgeblichen Körperkräfte soll genauer untersucht werden. In Zusammenarbeit mit der Frankfurter Arbeitsgruppe wird eine konsistente Simulation von Gebirgswurzelaufbau und Delamination angestrebt. Ferner sollen durch eine lokal erhöhte Auflösung im Krustenbereich der Subduktionszone Aussagen über das Deformationsverhalten der Krustenwurzel und Effekte wie Entrainment möglich gemacht werden. Weiterhin ist die Modellierung komplexer Subduktionsprozesse wie interkontinentale Beckenbildung mit nachfolgender Subduktionsumpolung geplant.

Ein Mehrgitter-Verfahren (MG) zur Lösung zwei-dimensionaler Konvektionsprobleme bei variabler Viskosität.  
Christian Auth, Helmut Harder, Ulrich Christensen

Institut für Geophysik, Universität Göttingen, Herzberger Landstraße 180, 37075 Göttingen,

cauth@inge.uni-geophys.gwdg.de (Christian Auth)

Im Hinblick auf den Wunsch möglichst effiziente Lösungsverfahren für Konvektionsprobleme zu entwickeln, wird in dieser Arbeit ein Verfahren implementiert und getestet, welches die Kontinuitäts-, die Stokes- und die Wärmeleitungsgleichung in Boussinesq-Approximation und bei unendlicher Prandtl-Zahl, in zwei Dimensionen, primitiven Variablen, bei periodischen Randbedingungen in horizontaler Richtung und für temperatur- und tiefenabhängige Viskosität löst. Dabei verwenden wir zur Berechnung der Geschwindigkeiten und des Drucks ein nichtlineares FAS-MG-Verfahren mit dem von Vanka [1] vorgeschlagenen SCGS-Algorithmus als Glätter, zur Berechnung eines neuen Temperatur-Feldes bei festen Geschwindigkeiten das explizite DuFort-Frankel- oder das semi-implizite ADI-Verfahren. Die Ergebnisse unserer Arbeit unterstreichen die Wichtigkeit der Wahl der Viskositäts-Restriktion, der Zahl der Vor- und Nach-Glättungsschritte, sowie des gewählten MG-Zyklus auf die Konvergenzgeschwindigkeit des MG-Verfahrens, insbesondere in Fällen mit starken lokalen Schwankungen im Viskositätsfeld. Konvergenztests analog zu denen von Trompert/Hansen [2] zeigen, daß unser Programm bei angemessener Berücksichtigung obiger Aspekte wenigstens bis zu Viskositäts-Kontrasten von 109 stabil bleibt und gute Konvergenzeigenschaften aufweist.

#### References:

[1] Vanka, "Block-Implicit Multigrid Solution of Navier-Stokes Equations in Primitive Variables", J. Comp. Phys. 65, 138-158 (1986)

[2] Trompert/Hansen, "The Application of a Finite Volume Multigrid Method to 3-D Flow Problems in a Highly Viscous Fluid with a Variable Viscosity" (preprint)

#### Finite-Elemente Modelle zur Bruchaktivierung in Scherzonen

Thosten Becker und Harro Schmeling

Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Frankfurt am Main,  
Feldbergstr. 47, 63236 Frankfurt,

e-mail: becker@geophysik.uni-frankfurt.de

Mit der Finite-Elemente-Methode der geteilten Knoten wurde in zwei Dimensionen spröde-elastisches Materialverhalten modelliert. Die Vorgabe von Relativverschiebungen längs in das Gesteinsmaterial eingebrachter Verwerfungszonen erlaubt die quantitative Untersuchung des so entstandenen Deformations- und Spannungsfeldes. Die hieraus abgeleiteten Coulombspannungen erlauben Aussagen über die Triggerung von Erdbeben in realen Faultzonen, wie anhand der Nachbebenverteilung des Landers-Bebens demonstriert wird. Schreibt man in zeitlich variablen Deformationsfeldern Spannungen auf Bruchflächen gemäß eines statisch kinetischen Reibungsgesetzes vor, können seismische Zyklen und die Wechselwirkung verschiedener Verwerfungssegmente modelliert werden. Es wurden verschiedene Geometrien untersucht, die stark unterschiedliche, jeweils charakteristische Seismizität aufweisen. Diese mit einer mechanisch konsistenten Methode gefundenen Aktivierungsmuster lassen sich zum Teil in der Seismizitätsverteilung realer Verwerfungszonen wiederfinden.

Experimentelle Untersuchungen zur Strömung im konzentrischen Kugelspalt

unter geophysikalischen Fragestellungen

Claudia Böhm, Cristoph Egbers, Hans J.Rath

ZARM, Universität Bremen

e-mail: Claudia Boehm <boehm@zarm.uni-bremen.de>

Experimente zur thermischen Konvektion im Kugelspalt können als Modell für die Konvektion im äußeren Erdkern dienen, welche die Generierung des Erdmagnetfeldes bewirkt.

Ein zur Untersuchung isothermer Strömungsstrukturen konzipierter Experimentaufbau ermöglicht, die Strömungsstrukturen im nichtrotierenden Kugelspalt variabler Spaltweite bei Heizen der inneren Kugel sowohl im Axialfeld unter terrestrischen Bedingungen als auch unter Wirkung eines dielektrophoretischen Zentralkraftfeldes unter Mikrogravitation zu visualisieren und mit numerischen Ergebnissen zu vergleichen.

Im Fall des Axialkraftfeldes konnte ein Stabilitätsdiagramm erstellt werden, welches die Musterbildung in Abhängigkeit der Rayleighzahl und dem Radienverhältnis ( zusammenfaßt.

In kleinen Spalten ( $\epsilon = 0,925$ ) setzt bei der kritischen Rayleighzahl 1430 die Grundströmung ein. Mit zunehmender Rayleighzahl entsteht zunächst am Nordpol ein Ringwirbel, ab  $Ra = 14400$  bilden sich dann stationäre bananenförmige thermische Rollen längs der Rotationachse aus. Die Anzahl ist abhängig von ( $\epsilon$  und  $Ra$ ).

Die Musterbildung im weiten Spalt ( $\epsilon = 0,75$ ) unterscheidet sich stark von der im engen Spalt. Es entwickelt sich bei  $Ra = 51000$  direkt ein pulsierender Ringwirbel.

Für Experimente unter Mikrogravitation wurden die Kugelspaltmodule in eine Wiederkehrkapsel einer russischen Trägerrakete integriert. Während der 20-minütigen Flugdauer konnte so der Einsatz der Konvektion bestimmt und die erste Musterbildung mit der Numerik verglichen werden. Im engen Spalt setzen bei  $Ra = 9000$  die ersten Ringwirbel ein, während im weiten Spalt ab  $Ra = 30000$  polygonale Strukturen zu sehen sind.

In weiteren Experimenten zur thermischen Konvektion im Kugelspalt mit der Zielsetzung der Analogiebildung zum Erdkern sollen die wesentlichen Parameter ( $\epsilon = 0,34$ , hohe Rotationsraten, hohe Rayleighzahlen) angepaßt werden.

Stabilitätsanalyse zur thermischen Konvektion im nicht-rotierenden und rotierenden Kugelspalt

Werner Brasch, Cristoph Egbers, Hans J.Rath

ZARM, Universität Bremen

W. Brasch <brasch@zarm.uni-bremen.de>

Die thermische Konvektion im konzentrischen Kugelspalt unter Wirkung eines Zentralkraftfeldes ist ein Modell für geophysikalische Strömungen. Eine Stabilitätsanalyse für den nichtrotierenden Kugelspalt mit variablen Radienverhältnis ( $\epsilon$ ) wurde durchgeführt. Für die kritische Rayleigh-Zahl wurde bei linearer zentralsymmetrischer Kraft und linearem Temperaturgradienten ein Wert von 1708 berechnet. Bei thermischer

Konvektion im rotierenden Kugelspalt entstehen Rotationswirbel (columnar cells, spiralling columnar cells) deren Achsen parallel zur Rotationsachse gerichtet sind. Mit dem Radienverhältnis ( $\epsilon = 0,4$  und festen Rändern) wurden die instabilen Moden errechnet.

Die Stabilitätsuntersuchung für verschiedene Zentralkräfte zeigt, daß die Musterbildung weitgehend unabhängig ist von der  $r$ -Abhängigkeit der Kraft und vielmehr bestimmt wird durch die Spaltweite. Die kritische Rayleigh-Zahl ist  $Ra = 1708$  für den engen Spalt. Die Konvektion im rotierenden Kugelspalt für ein Radienverhältnis von ( $\epsilon = 0,4$ , mit festen Rändern) und für Taylorzahlen von  $Ta = 0$  bis  $Ta = O(7)$  wurden untersucht. Für diesen Bereich der Taylorzahlen sind die Randbedingungen nicht zu vernachlässigen. Ein Vergleich mit der Literatur zeigt, daß die kritischen Rayleighzahlen unterschiedlich sind für feste und für freie Randbedingungen. Die Konvektionszellen werden nicht an den Äquatorrand gedrängt wie unter freien Randbedingungen.

Desweiteren sind voll dreidimensionale numerische Berechnungen mit einer Finiten Differenzen Technik für die thermische Konvektion im nichtrotierendem engen Kugelspalt unter der Wirkung eines Zentralkraftfeldes gemacht wurden. Es soll ein neues Programm entwickelt werden, mit dem weitere Modellierungen in weiten Spalten mit geophysikalisch relevanten Parametern durchgeführt werden können.

Olivine-Spinel and Spinel-Perovskite Phasetransitions and Martian mantle

convection.

Doris Breuer\*, Tilmann Spohn and David Yuen\*

\*Minneapolis

Institut fuer Planetologie, Westfälische Wilhelms-Universität, W. Klemm-Strasse 10 D-48149 Münster, Germany

Tel: +49-251-83 3566, Fax: +49-251-83-9083, email: spohn@uni-muenster.de

Numerical simulations of mantle convection in Mars using an axisymmetric spherical-shell model show partial layering caused by the two exothermic olivine-spinel (alpha-beta, beta-gamma) phase transitions. An extended Boussinesq approximation has been used in which viscous dissipation, adiabatic heating and cooling, and latent heat are included. We have used an accurate representation of the slope of the phase transitions under Martian mantle pressures. The Rayleigh number has been varied between 5 105 and 108. The partial layering with the vertical velocity at the exothermic phase transitions varying strongly in space and time is the result of two opposing effects: the distortions of the phase boundaries by thermal anomalies accelerate the mantle flow while the latent heat release (or consumption) tends to impede the flow. These effects are stronger in Mars as compared with Earth because of the comparatively low pressure gradient in the Martian mantle. The time-series of the mean vertical mass transport across the phase transitions, scaled to the average mass flow in the mantle, show alternations between blocking and acceleration of the flow. The amplitude and the oscillations in the time-series increase with increasing Rayleigh number. Because of the partial layering, the number of strong mantle plumes is significantly reduced to only a few upwellings. Such a pattern is suggested for Mars by the existence of two pronounced volcanic centers, Tharsis and Elysium. The latent heat release causes the

mantle temperature to increase across each transition by about by 50 to 100 K. In additional calculations, we tested the case of a 80 to 350 km thick perovskite layer at the core/mantle boundary. We find that this layer would convect separately, leading to the mantle above at a significantly smaller rate as compared to the layers induced by the olivine-spinel phase boundaries. The convective vigour within the perovskite layer decreases with its layer thickness.

The Influence of trench migration on slab penetration into the lower mantle

Ulrich Christensen

Institut fuer Geophysik, Universität Göttingen, Herzberger

Landstrasse 180, 37075 Göttingen,

urc@willi.uni-geophys.gwdg.de

A two-dimensional numerical convection model in cartesian geometry is used to study the influence of trench migration on the ability of subducted slabs to penetrate an endothermic phase boundary at 660 km depth. The transient subduction history of an oceanic plate is modelled by imposing plate and trench motion at the surface. The viscosity depends on temperature and depth. A variety of styles of slab behaviour is found, depending on the trench velocity and other control parameters. When trench retreat is faster than 2-4 cm/a, the descending slab flattens above the phase boundary. At slower rates it penetrates straight into the lower mantle, although flattening in the transition zone may occur later, leading to a complex slab morphology. The slab can buckle, independent of whether it penetrates or not, especially when there is a localised increase of viscosity at the phase boundary. Flattened slabs are only temporarily arrested in the transition zone and sink ultimately into the lower mantle. The influence of compositional buoyancy of the basaltic crust and the depleted harzburgite layer is studied in additional experiments by employing tracer particles to identify the different compositional units. The density deficit of the former crust between 660 and 800 km depth, resulting from the delayed transformation of aluminous garnet to perovskite, is found to exert only a second-order influence, which leads to qualitative changes only in cases which are close to a boundary between different regimes. The results offer a framework for understanding the variety in slab geometry revealed by seismic tomography.

Reference: Earth and Planetary Science Letters, 140, 27-39, 1996.

Zwei-Phasen Konvektion mit Anwendung auf den Erdkern

Sabine Claßen, Moritz Heimpel und Ulrich Christensen

Institut fuer Geophysik, Universität Göttingen, Herzberger Landstrasse 180,  
37075 Göttingen

Sabine Claszen <sac@carl-f.uni-geophys.gwdg.de>

Der Geodynamo wird durch Strömungen im flüssigen äusseren Erdkern erzeugt. Die Quelle dieser Strömungen ist chemische Konvektion, die bei der Ausfrierung des inneren Erdkerns entsteht. Nach dem Modell von Roberts und



Loper (1983) existiert an der Grenze vom äußeren zum inneren Erdkern eine Grenzschicht. Diese Grenzschicht ("mushy-layer") besteht aus einem porösen Netzwerk kristalliner Dendriten, das von flüssigem Material durchströmt wird. In der Schicht bilden sich tiefe Schlote aus denen starke jetartige Aufströme steigen. Getrieben wird diese Konvektion durch Konzentrationsunterschiede und damit Dichteunterschiede in der verbleibenden flüssigen Phase. Um den Einfluß der Corioliskräfte auf das Kristallwachstum zu untersuchen, sollen in Laborexperimenten die Kristallstrukturen einer unterkühlten Lösung und die daraus resultierende chemische Konvektion in einem rotierenden System beobachtet werden.

Geoidanomalien, mittelozeanische Rücken und Hotspots: Bedeutung und Einfluß einer Hochpaßfilterung des Schwerefeldes

Ingo Grevemeyer

Institut für Geophysik, Universität Hamburg

Universität Hamburg, Zentrum für Meeres- und Klimaforschung, Institut für Geophysik, Bundesstraße 55, 20146 Hamburg

Tel.: 040 / 4123 5044, Fax : 040 / 4123 5441,

email: grevemeyer@dkrz.de

Numerische Modellierungen geodynamischer Prozesse in Erdmantel, Asthenosphäre und Lithosphäre versuchen die Vorgänge im Erdinneren nachzustellen. Diese Modellberechnungen liefern Ansätze über die Temperatur und Dichteverteilung im inneren unseres Planeten. Das Schwerefeld, oder Geoid der Erde ermöglicht, neben der seismischen Tomographie, eine Überprüfung der im Modell berechneten physikalischen Parameter. Für einen Vergleich muß jedoch der modellierte Tiefenbereich aus dem Schwerefeld extrahiert werden. Im allgemeinen ist es in der Potentialtheorie jedoch nicht möglich, eine exakte Zuordnung zwischen der Wellenlänge einer Schwereanomalie und der Quelltiefe einer Dichteinhomogenität zu finden. Trotz dieser Mehrdeutigkeit deuten unterschiedliche Untersuchungen darauf hin, daß Prozesse, die an der Kern/Mantelgrenze und im Unteren Mantel ablaufen, primär Schwereanomalien mit Wellenlängen  $> 4000$  km erzeugen, während Anomalien in dem Bereich  $4000-300$  km Wellenlänge auf Prozesse im Oberen Mantel und in der Lithosphäre zurückzuführen sind. Kürzere Wellenlängen korrelieren im allgemeinen direkt mit der Oberflächentopographie der Erdkruste und mit oberflächennahen Dichteanomalien. Seit vielen Jahren befassen sich Geodynamiker insbesondere mit Prozessen, welche mit Hotspots und mittelozeanischen Rücken verbunden sind. Diese Prozesse werden mit intermediären Wellenlängen von  $< 4000$  km assoziiert. Traditionel geschieht die Hochpaßfilterung des Geoides mittels einer Subtraktion einer Reihenentwicklung von niedrigem Grad und Ordnung. Dieses Verfahren ist jedoch keineswegs eindeutig. Filterartefakte und Dichteanomalien aus anderen Stockwerken der Erde können das Residualfeld beeinflussen. Durch Verwendung unterschiedlicher Referenzfelder und eine Korrelation mit anderen bekannten Strukturen (z.B. die Topographie der Erdoberfläche), können robuste Lösungen gefunden werden (e.g., Grevemeyer, Geophys. J. Int. 126, 796-804, 1996). Diese Lösungen können dazu verwendet werden, numerische Ergebnisse mit Prozessen im Erdinneren zu vergleichen.

## Entrainment in mantle plumes

Ulrich Hansen, Ron Trompert, Jörg Schmalzl

Faculty of Earth Sciences, Utrecht University

P.O. Box 80021, 3508 TA Utrecht, The Netherlands

e-mail: Uli Hansen <trompert@geof.ruu.nl>

It has been proposed that plumes originating from the deep Earth's interior would entrain material from the surrounding mantle during ascent, thus leading to chemical signatures of the plume material which is between lower - and upper mantle characteristics. In a series of numerical investigations we have systematically monitored the entrainment behaviour as a function of Rayleigh number and of the viscosity contrast between the cold surroundings and the hot mantle plume. For thermally induced viscosity contrasts between factors of 300 - 10000 the evolving plumes display strong convection within the plume heads. However we found virtually no evidence for mechanical entrainment (i.e. stirring) of material into the plume. Increasing viscosity contrast leads to a transition from steady plumes to a 'pulsed behavior' where packages of hot material are traveling in a wave like fashion through a preexisting low viscosity channel. A similar result, for low Rayleigh numbers and low viscosity contrasts has been obtained earlier by Farnetani et al (1995) in a two dimensional study. Our results have been confirmed in fully 3d calculations. Both studies, the one by Farnetani et al and the present one seem to be in conflict with earlier laboratory investigations. In order to clarify those differences we have tried to simulate the laboratory experiments. Obviously a key role is played by the injection of buoyant material as done in the lab experiments. Entrainment has been observed also in our calculations if material is injected in order to produce plumes. In the more realistic situation of a growth of a plume from a diffusive thermal boundary layer, however, entrainment is obviously no feasible mechanism which could include the observed geochemical signatures.

## 3D sphärische Konvektionsmodelle für terrestrische Planeten

Helmut Harder

Institut für Geophysik, Universität Göttingen, Herzberger Landstraße 180,  
37075 Göttingen,

e-mail: hharder@gwdg.de)

Das Hauptproblem in der geodynamischen Modellierung ist die Einbeziehung von Lithosphärenplatten in ein dynamisches Konvektionsmodell. Da für die Erde bisherige Konvektionsmodelle kein plattentektonisches Oberflächenverhalten zeigen, sind auch andere Modellvorhersagen nur mit Vorbehalt zu betrachten. Andererseits ist rezente Plattentektonik auf die Erde beschränkt, für die anderen terrestrischen Planeten sollten Konvektionsmodelle daher wesentlich zuverlässigere Vorhersagen liefern.

Für Mars wird hier anhand 3d sphärischer Simulationen gezeigt, daß die Modellergebnisse konsistent mit allen wesentlichen Oberflächenobservablen (Verteilung und Geschichte des Vulkanismus, langwellige Topographie- und Geoidanomalien) sind. Übereinstimmung ergibt sich allerdings nur, falls die Phasenumwandlung Spinell zu Perovskit im Marsmantel nahe der Kern/Mantel

Grenze vorhanden ist.

Ein Satz von 32000 Dichtemodellen, die im plausiblen Rahmen statistisch gestört wurden, zeigt, daß der Übergangsdruck der Perovskitumwandlung im Marsmantel nur erreicht wird, falls der Kernradius kleiner als ca. 1500 km ist. Diese Abschätzung des Kernradius kann durch zukünftige Missionen zum Mars überprüft werden. Zentrale Experimente wären hierbei eine direkte seismische Bestimmung des Kernradius und/oder eine präzise Bestimmung des bisher nur unzulänglich bekannten Trägheitsmoments.

FE Modelle zur Plattendivergenz und Magma-Akkumulation an ozeanischen Rücken

Wolfgang Jacoby.

Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz, D-55099 Mainz, Germany)

e-mail: jacoby@mail.uni-mainz.de

Rifting dynamics at spreading axes is governed by two processes: the large scale plate divergence and the local magma accumulation in the crust-mantle transition layer. Both evolve simultaneously with decompression on the plate boundary. A model is developed particularly for the situation in Iceland where a well studied rifting episode occurred in the Krafla volcanic system 1975 - 1984. Both the divergence and the buoyant rise of magma create tensile deviatoric stress in the axial region, but while divergence produces an altogether tensile stress field, active uprising of melt produces tension near the axis and compression of the sides. The buoyant rise is driven by the differential pressure gradient in rock and melt and depends on the density difference, the size of the buoyant body and the stress field as well as on the mechanical properties of rock and melt. A two-dimensional Finite Element routine is used to model the ridge structure which includes the rise of viscous melt. The model parameters are systematically varied and the results are tested against observations. Relatively small amounts of divergence and small buoyant bodies are shown to generate axial tension sufficient to overcome the tensile strength. The axial tension produced by buoyant bodies can even overcome lateral compression, e.g. from previous or nearby dyke injections. The observed long intervals of quiescence require either large strength, quasi-continuous stress relaxation, very small buoyant bodies, and/or a compressive deviatoric stress normal to the axis during most the time between rifting episodes with axial tension prevailing only in a short last phase before rifting. This implies that buoyant rise and injection of melt are important in generating compression

Zur Rheologie der Unterkruste in NW Deutschland

Annette Klein und Wolfgang Jacoby

Institut für Geowissenschaften, Universität Mainz, D-55099 Mainz, Germany)

e-mail: jacoby@mail.uni-mainz.de

Large-scale coal mining in Germany causes unloading of the crust by the removal of weight. The crust responds by regional uplift while locally in the mining areas proper the surface subsides in by sagging above extracted coal seams and removed groundwater. In this study only the regional uplift is addressed. The loading consists of the total annual mass of coal and ground water removal since the 19th century for all significant mines. The uplift data are from repeated levellings (between about 1950 and 1980), reduced to mean annual rates of Helmert elevation change. These observations are interpreted to be the visco-elastic response of the crust and uppermost mantle, but alone they cannot discriminate layering against a homogeneous viscous halfspace or an elastic layer above such a halfspace. If the seismically determined layered structure of upper and lower crust, lithosphere mantle and asthenosphere is assumed to constrain the rheological structure, a plausible model can be found by inversion (only the lower crustal and asthenospheric effective Maxwell viscosities are subjected to inversion). A model, consistent with the observations, has the following properties: 15 km of elastic upper crust; 15 to 20 km thick lower crust of surprisingly low viscosity of  $6 \cdot 10^{17}$  (0.3 Pas); 30 - 50 km visco-elastic mantle lithosphere with an assumed average viscosity of about  $10^{22}$ ; a visco-elastic asthenosphere (assumed bottomless) with  $5 \cdot 10^{19}$  (0.6 Pas). The low viscosity values are consistent with active rifting and above-average heat flow in the region. The very low effective viscosity of the lower crust in this model (it could be even lower if the thickness is smaller) may be explained by elevated stresses, quartz rheology and water content as suggested by xenoliths from the lower crust below the Eifel region. As a byproduct, the tectonic subsidence in the Lower Rhine Embayment (filled with Tertiary and Quaternary sediments) can be better defined by taking the anthropogenic effect into account.

Thermische Entwicklung des Erdmonds, berechnet mit Hilfe von 2D-Konvektionsmodellen

Wolfgang Konrad

Institut für Planetologie, Wilhelm Klemm-Str. 10, 48149 Münster

Tel.: 0251-839075, e-mail: konradw@xpla27.uni-muenster.de

Die Bedeutung von Mantelkonvektion für die thermische Evolution des Mondes wird mit einem achsensymmetrischen Konvektionsmodell untersucht. Die Viskosität hängt von dem zeitlich variablen mittleren radialen Temperaturprofil ab. Der Anfangszustand der Simulation geht davon aus, daß die Differentiation in Kern und Mantel (Kernradius: 450 km) sowie die Auskristallisation des primordialen Magmaozeans bereits abgeschlossen sind. In verschiedenen Modellen werden unterschiedliche Werte für die Mächtigkeit des Magmaozeans angenommen. Zusätzlich zu der internen Heizung durch radioaktive Isotope wird auch der Einfluß der Abkühlung des Kerns auf die Mantelkonvektion betrachtet. Die Auskühlung des Mondes wirkt sich im wesentlichen in der Zunahme der Lithosphärenmächtigkeit aus. Die Temperatur des unteren, konvektierenden Mantels bleibt dagegen nahezu konstant. Sie nimmt in der Frühphase der Evolution sogar leicht zu. Dies führt aufgrund der Abnahme der Viskosität zur Entstehung temporärer kalter Abströme. Der Kern kühlt im Lauf von ungefähr einer Milliarde Jahren auf die Temperatur des unteren Mantels ab. Während dieser Periode bilden sich an der Kern-

Mantel-Grenze heiße Aufströme, die im oberen Mantel zum Auftreten partieller Schmelze führen. Die zeitliche Dauer der Aufschmelzung sowie der Schmelzgrad sind stark von dem Anfangstemperaturprofil abhängig.

Numerische Modelle zur freien Konvektion unter mittelozeanischen Rücken

Manfred Küger.

Institut für Geophysik, Universität Göttingen, Herzberger Landstraße 180,  
37075 Göttingen,

M. Krüger <manna@willi.uni-geophys.gwdg.de>

Experimente zur Ausbreitung solitärer Wellen in

thermischen Plumes.

Nils Laudenbach, Ulrich Christensen

Institut für Geophysik, Universität Göttingen, Herzberger Landstraße 180,  
37075 Göttingen,

Nils Laudenbach <nlauden@alf.uni-geophys.gwdg.de>

Unter einem thermischen Plume versteht man einen heißen Aufstrom, der durch Instabilitäten an einer thermischen Grenzschicht entsteht. Im Erdmantel vermutet man die D"-Schicht oberhalb der Kern-Mantelgrenze oder die 660km-Diskontinuität als mögliche Entstehungsorte dieser heißen Gesteinsaufströme. Es ist unklar welche Mechanismen für die periodische Aktivität des Hot-Spot Vulkanismus verantwortlich sind. Ein Erklärungsansatz liegt im Aufstieg von solitären Wellen, welche den Wärmeeintragsfluß kurzzeitig erhöhen, so daß sich vermehrt Schmelzen unterhalb der Lithosphäre bilden können. Unser Experiment stellt eine Simulation der Mantelplumes dar und betrachtet zusätzlich den Einfluß solitärer Wellen auf die Temperaturverteilung im Material.

Dieses Experiment findet in einem Einflüssigkeitssystem statt, d.h., daß Viskositäts- und Dichteveränderungen nur durch unterschiedliche Temperaturen hervorgerufen werden. Der Vorteil im Vergleich zu Zweiflüssigkeitsversuchen, in denen Plume und Umgebungsmaterial durch zwei verschiedene Flüssigkeiten mit verschiedenen Eigenschaften modelliert werden, liegt darin, daß hier die Wärmediffusion eine wichtige Rolle spielt. In diesem Experiment wird heißer Sirup in ein mit kaltem Sirup gefülltes Plexiglasgefäß injiziert. Die dabei entstehenden Dichtekontraste sorgen für einen Auftrieb des heißen Materials. Es steigt zunächst ein Diapir auf, heißes Material strömt nach, welches nach gewisser Zeit einen stationären Kanal ausbildet. Solitäre Wellen werden durch kurzzeitiges Erhöhen des injizierten Volumenflusses erzeugt. Die Wellen zeigen kein Zerfließen und die Ausbreitungsgeschwindigkeit hängt von der Amplitude ab. Weiterhin beobachtet man in den aufsteigenden Wellen geschlossene Stromlinien. Die Fragestellung der Arbeit liegt darin, zu untersuchen, wie

sich die Temperaturen in Kanal und solitärer Welle in verschiedenen Aufstiegshöhen verändern. Die Temperaturmessung soll berührungslos erfolgen, um die Strömung nicht zu beeinflussen. Die Meßmethode beruht auf der Überlegung, daß die Dichte und folglich auch der Brechungsindex der Flüssigkeit von der Temperatur abhängt. Zur Messung schießt man einen fokussierten Laserstrahl senkrecht in das Gefäß und beobachtet die Ablenkung. Man mißt jeweils an verschiedenen Eintrittspunkten (horizontale Variation) den beim Austritt entstandenen Ablenkungswinkel. Ein Umkehrproblem, ähnlich zum Wiechert-Herglotz Verfahren führt auf die radiale Temperaturverteilung. Dabei macht man sich die axialsymmetrische Struktur der Strömung zu nutze. Die Meßoptik läßt sich in der Höhe variieren, so daß horizontale Temperaturprofile in verschiedenen Aufstiegshöhen gemessen werden können.

### 3D Modellierung von Instabilitäten unter einer bewegten Lithosphärenplatte

Gabriele Marquart

Institut für Geophysik, Universität Frankfurt, Feldbergstr 47, 60323 Frankfurt/M

e-mail: [marquart@geophysik.uni-frankfurt.de](mailto:marquart@geophysik.uni-frankfurt.de)

Globale Untersuchungen von Topographie und Geoid in ozeanischen Bereichen zeigen für Wellenlängen zwischen 400 und 4000 km Variationen zwischen +/- 2km für die Topographie und +/- 8m für das Geoid, die nur zum Teil mit oberflächennahen Strukturen, wie mittelozeanischen Rücken oder vulkanischen Zentren korreliert sind. Diese Variationen sind zumindest teilweise Ausdruck dynamischer Prozesse im Erdmantel. Unter Annahme, daß die Bewegung der festen Lithosphären-Platten auf der Erde entscheidend für die Geometrie der Mantelströmung ist und aufgrund der Beobachtung, daß Driftrate und -richtung der Platten nur für ca. 50 Ma konstant sind, muß man folgern, daß das Strömungsfeld und somit dynamische Topographie und Geoid transiente Erscheinungen sind. Unter Beschränkung auf den oberen Mantel und tiefenabhängiger Viskosität wurde mit einem 3D karthesischen Konvektionscode bei vorgegebener Oberflächengeschwindigkeit die Bildung von Rollen-Instabilitäten unter der Lithosphäre untersucht. Es zeigt sich, daß die Instabilitäten sowohl aus der oberen als auch der unteren thermischen Grenzschicht entstehen und bereits am Spreading-Rücken vorhanden sind und dort zu Variationen des Materialflusses führen. Zu ihrer vollständigen Ausbildung bedarf es jedoch einiger 100 Ma, so daß langgestreckte Rollen unter der gesamten driftenden Lithosphäre unwahrscheinlich sind; ein entsprechendes Geoid- oder Topographiesignal wird auf der Erde auch nicht beobachtet. Die beobachteten Variationen lassen sich jedoch qualitativ recht gut durch das Einsetzen dieser Instabilitäten erklären. Durch lokale Erhöhung der Temperatur um 2000C an der Unterseite des Modells können konzentrierte thermische Aufströme (Plumes) erzeugt werden, die lokal die Bildung der Instabilitäten beschleunigen. Es wurde versucht, die sich andeutende regelmäßige Abfolge von positiven und negativen Schwereanomalien beidseitig der Hawaii-Schwelle durch Rolleninstabilitäten zu erklären.

Erste Ergebnisse zur Subduktion mit kinetischen

## Phasengrenzen

Ralf Monz, Harro Schmeling

Institut für Geophysik, Universität Frankfurt, Feldbergstr 47, 60323 Frankfurt/M

email: monz@geophysik.uni-frankfurt.de

Phasenübergänge im oberen Mantel spielen für Mantelkonvektion eine entscheidende Rolle. In dieser Arbeit wird der Einfluß der durch Kinetik verzögerten Phasenumwandlung von Olivin zu Spinell in abtauchenden Slabs auf die Subduktionsgeschwindigkeiten untersucht.

Ein großes Problem bei der Modellierung einer Subduktionszone ist die Initiierung der Subduktion. Dieses Problem wurde durch ein lateral geteiltes Temperaturfeld gelöst, bei dem die linke Seite der Box ein typisches ozeanisches Temperaturprofil darstellt. Es wird in der Lithosphäre ein konduktiver Temperaturgradient mit  $q=40 \text{ mW/m}^2$  angenommen und in der Asthenosphäre ein adiabatischer Temperaturgradient mit  $T_{pot}=1500^\circ\text{C}$  und  $1600^\circ\text{C}$  in 410km Tiefe ("410-Thermometer").

Um das Ablösen der kalten Lithosphäre vom obren Rand zu ermöglichen, wird in der rechten Hälfte der Box der adiabatische Temperaturgradient bis an an die Oberfläche verlängert.

Für die Umwandlung von Olivin zu Spinell wurde ein vereinfachtes Phasendiagramm mit einem linearen Uebergangsbereich zwischen  $T_1$  und  $T_2$  benutzt, bei dem die kinetischen Gleichungen der Umwandlung nicht gelöst werden.

Untersuchungen der Absolutgeschwindigkeiten der abtauchenden Platte zeigen eine Erhöhung der Geschwindigkeiten durch den Phasenübergang im Gleichgewicht um den Faktor 1.9, sowie eine Erhöhung um den Faktor 1.7 durch den kinetischen Phasenübergang, bezogen auf einen subduzierten Slab ohne Phasentransformation.

Als erstes Ergebnis kann man sagen, daß die in dieser Arbeit modellierte kinetische Phasengrenze die Geschwindigkeiten des Slabs um 20% vermindert.

## Grenzschichttheorie thermischer Konvektion

mit Segregation über einer horizontalen ebenen Platte.

Günter Nauheimer

Geodynamik-Physik der Lithosphäre, Universität Bonn, Nußallee 8, 53115 Bonn

<nauheim@geo.uni-bonn.de>

Petrophysikalische Prozesse innerhalb der unteren thermischen Grenzschicht des Mantels können zu einer Freisetzung von FeO und anschließender Perkolation desselben in den Erdkern führen. Die Mantelsilikate verarmen dabei an der FeO-Komponente, wodurch sie zu dem thermischen einen

chemischen Auftrieb erhalten. Von dieser geophysikalischen Gegebenheit wird ein Grenzschichtproblem abstrahiert, welches die Segregation durch einen einfachen 'cross-flow' Term in der FeO-Transportgleichung parametrisiert und eine Erweiterung des bekannten Grenzschichtproblems der von unten beheizten Platte darstellt. Mit Hilfe von Lie-Gruppenmethoden wurden sämtliche Formen von Segregationsströmen bestimmt, die eine Reduktion des Randwertproblems auf Ähnlichkeitsgestalt erlauben. Für einen speziell gewählten Segregationsstromansatz wurden die gewöhnlichen Differentialgleichungen numerisch mit Hilfe der 'shooting' Methode gelöst. Die numerischen Experimente zeigen eine Verdünnung der thermischen Grenzschicht plus einer Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit mit steigender Segregationsrate im Vergleich zum rein thermischen Fall. Der Wärmeübertrag von der Platte, berechnet aus der gemittelten Nusseltzahl, steigt bei der Prandtl Zahl 1 um 12% (27%) für den Segregationsparameter 1 (10) an; bei der Prandtl Zahl 5 steigt er um 21% (35%) für den Segregationsparameter 1 (10). [3mm]. In weiterführenden Arbeiten ist geplant, die konvektive Instabilität mit Hilfe der Grenzschichttheorie höherer Ordnung zu untersuchen, des weiteren sollen die Grenzfälle der unendlichen Prandtl und Lewis Zahl studiert werden.

#### Numerische Simulation von Magnetokonvektion in rotierenden Schichten

Dirk Neumeister, Ulrich Christensen

Inst. f. Geophysik, Universität Göttingen, Herzberger Landstr. 180, 37075 Göttingen, Germany

Tel.: +49 551 39 7456, Fax.: +49 551 39 7459,

email [dirk@willi.uni-geophys.gwdg.de](mailto:dirk@willi.uni-geophys.gwdg.de)

Das irdische Magnetfeld wird durch einen Geodynamo erzeugt, d.h. von einer Strömung einer elektrisch leitfähigen Eisenlegierung im äußeren Erdkern. Um die Kräfte, die diese Konvektion beeinflussen, näher untersuchen zu können, ist ein Modell zur Simulation von Magnetokonvektion entwickelt worden. Bei dem Modell handelt es sich um ein dreidimensionales kartesisches Simulationsgebiet, in dem die Vektoren für die Schwerebeschleunigung, die konstante Winkelgeschwindigkeit und ein starkes homogenes äußeres Magnetfeld parallel zur z-Richtung liegen - vergleichbar den Polregionen der Erde. Das Modellgebiet ist an der Ober- und Unterseite geschlossen und erlaubt freies Gleiten. Die Seitenränder haben zur Vermeidung von Randeffekten periodische Randbedingungen. Annahmen für das strömende Medium sind eine endliche elektrische Leitfähigkeit, keine internen Wärmequellen sowie eine unendliche Prandtlzahl. Verwendet wird weiterhin die MHD-Näherung unter der Annahme, daß das induzierte innere Magnetfeld klein gegenüber dem äußeren Magnetfeld ist. Die Bewegungsgleichung unter Einbeziehung der Coriolis- und Lorentzkräfte wird durch eine Spektralmethode, die Wärmeleitungsgleichung mit einem periodischen ADI-Solver numerisch gelöst.

Die Eigenschaften des Systems werden nicht nur von der Rayleighzahl beschrieben, sondern auch von der Ekmanzahl ( $Ek\#$ , proportional  $1/\text{Winkelgeschwindigkeit}$ ) und der Chandrasekharzahl ( $Ch\#$ , proportional  $B^2$ ). Lineare Stabilitätsanalysen (vgl., Chandrasekhar, Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability, 1968) zeigen, daß eine Erhöhung der Winkelgeschwindigkeit eine höhere kritische Rayleighzahl zur Folge hat.



Ebenso folgt aus einem stärkeren äußeren Magnetfeld eine größere kritische Rayleighzahl, wobei aufgrund eines diskontinuierlichen Wechsels der kritischen Mode die kritische Rayleighzahl in diesem Bereich ein Minimum durchläuft.

Gezeigt werden erste Modellergebnisse bei konstanter überkritischer  $Ra\#$  und konstanter  $Ek\#$ , aber verschiedenen  $Ch\#$ . Der Wechsel der kritischen Mode bei zunehmender  $Ch\#$  spiegelt sich in einer Erhöhung der  $V_{rms}$  des Systems wieder. Desweiteren wird der abnehmende Einfluß der Corioliskraft mit zunehmender  $Ch\#$  gezeigt. Bei geringem äußeren Magnetfeld dominiert noch die Corioliskraft, im Strömungsbild erkennbar an der sehr ausgeprägten Helixstruktur einer Trajektorie eines passiven Tracers. Der Energieanteil der horizontalen Bewegung dominiert gegenüber dem Energieanteil der vertikalen Bewegung. Mit zunehmendem äußeren Magnetfeld werden die der Helixbewegung entgegenwirkenden Lorentzkraft stärker, die Energie der horizontalen und vertikalen Bewegung verteilen sich ungefähr gleich. Bei einer weiteren Erhöhung des magn. Feldes dominiert schließlich die Lorentzkraft. Die toroidalen Geschwindigkeitsanteile sind wesentlich geringer als in den vorangegangenen Fällen, ebenso der Anteil der kinetischen Energie der horizontalen Strömung gegenüber dem Energieanteil, der in der vertikalen Bewegung steckt.

Numerische Modellierungen zur andinen Plateauentwicklung mit geschwindigkeitsabhängiger Krafrandbedingung.

Robert Porth

GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg C3. D-14473 Potsdam,  
porth@gfz-potsdam.de

Die andine Plateauentwicklung wird durch horizontale, O-W gerichtete Kräfte, im Wesentlichen den am Mittelatlantischen Rücken entstehenden, die Südamerika-Platte im Hotspot-Rahmen nach Westen bewegenden, Ridge Push und die an der Grenze zur ozeanischen Nazca-Platte übertragenen Widerstandskräfte, verursacht. Mit steigender Plateauerhebung wirken diesen kompressiven tektonischen Kräften zunehmend plateauinduzierte Volumenkräfte entgegen. Da bei der heutigen Erhebung des Andenplateaus (ca. 4 km) beide Kräfte in der Größe vergleichbar sind, ist eine signifikante Reduktion der Kompressionsgeschwindigkeit während der andinen Orogenen zu erwarten, was durch seismische Deformationsraten im Subandin und erste GPS Ergebnisse unterstützt wird. Numerische Modellierungen der Plateauentwicklung mit einer geschwindigkeitsabhängigen Krafrandbedingung zeigen, daß der indirekte Effekt der plateauinduzierten Kräfte auf die Mechanik der Entwicklung von Hochplateaus, die mit der Kompressionsgeschwindigkeit reduzierten kompressiven viskosen Kräfte, mit deren direkter Wirkung in der Größe vergleichbar sind.

Wie bricht eine weiche kontinentale Lithosphaere? Slip Line Feld und Finite Element Berechnungen zur "porösen" Plastizität in Mitteleuropa

Klaus Regenauer-Lieb

Institut für Geowissenschaften, Johannes Gutenberg Universität, 55099

Mainz, (49) 6131 -395225, Fax: (49) 6131 -394769

E-mail: [regenaue@goofy.zdv.uni-mainz.de](mailto:regenaue@goofy.zdv.uni-mainz.de)

The Eifel is located in the middle of the European plate far away from any active plate boundary, yet it appears to be a maximum of intraplate tectonic activity. A map of intraplate seismic energy flow shows that the Eifel is linked to the Alpine Collisional belt via a narrow seismoactive shear zone extending from the Alps in a NE direction along the Rhine Graben only to jump at 50°N 8.5°E into a NW-SE striking seismogenic zone. The shear zone joins up with the Lower Rhenish Embayment and breaches almost at right angle the North Variscan Deformation Front (NVDF) at 48°N 6°E, which forms the northern boundary of the Eifel. This intersection point is an area of enhanced intraplate uplift (up to 1.6 mm/a) and seismic energy flow (up to 0.01 mW/m<sup>2</sup>). To the south of the NVDF two coplanar Quaternary volcanic belts line up (the East Eifel Volcanic Zone, EEVZ) or are in an echelon (the West Eifel Volcanic Zone WEVZ) with the seismogenic shear zone. The shear zone must at least tap the upper mantle, because xenoliths ejected from the uppermost mantle are mostly dynamically recrystallized. Shearing is accompanied by mantle metasomatism in the amphibole stability field and important CO<sub>2</sub> dominated mantle degassing is observed in mineral springs, lakes or dry degassing. In the Eifel the entire thickness of the lithosphere has apparently been affected by an anomalous process leading to a p-wave velocity reduction of 2-5%. Here, the hypothesis of intraplate ductile fracture caused by secondary tension of Alpine collision in the Alps is tested by slip line field and finite element models. It is shown that ductile fracture along shear bands in the upper mantle and lower crust can open pathways for fluids, thus facilitating transfer of melts and gases through the lithosphere and control pervasive modal metasomatism along highly oriented mantle shear zones.

Änderung der Rheologie subduzierender Lithosphäre im Ergebnis der Olivin-Spinell Umwandlung

Michael Riedel

Projektgruppe Thermodynamik, Universität Potsdam, Telegrafenberg C7, D-14473 Potsdam, Germany

e-mail: [miker@GFZ-Potsdam.DE](mailto:miker@GFZ-Potsdam.DE)

Shun Karato

Department of Geology and Geophysics, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455; U.S.A

e-mail: [karato@maroon.tc.umn.edu](mailto:karato@maroon.tc.umn.edu)

It has been hypothesized that deep earthquakes in subducting slabs might result from transformational faulting in cold peridotite wedges containing metastable olivine to depths of more than 600 km. The slab instability arises then from sudden failure by localized superplasticity in thin shear zones where the metastable host mineral transforms to a denser phase. One presupposition of this hypothesis is that the untransformed cold interior of fast subducting slabs is acting as a stress-guide for the slab down to 600 km depth. The viscosity of a cold (olivine) wedge extrapolated to low

temperatures of ~850 K is indeed extremely high and no deformation seems to be possible on the geological timescale. On the other hand, seismic tomography reveals that slab bending seems to be possible in some of the western Pacific subduction zones. Hence, mechanisms for the rheological weakening of subducted slabs are called for. One mechanism that has been suggested is the weakening due to the grain-size reduction as a result of the olivine to spinel transformation. We quantify here this effect by estimating the degree of grain-size reduction using the experimental data on the ol-sp transformation. The spinel grain size shows an Arrhenius dependence on temperature with an "activation energy" of about 400 kJmol<sup>-1</sup> down to temperatures of 850 K, where the formation of a wedge consisting of metastable olivine and very fine-grained spinel (sub-micron scale) sets in. The depth of this wedge is plotted against the thermal parameter  $\phi$  of a slab (velocity\*age) showing a nonlinear decrease down to 660 km in the range of 5000 km <  $\phi$  < 9000 km. This dependency highly correlates with the thermal parameter vs. maximum earthquakes plot of Kirby (1995). The strength profile of the slab is calculated within a rectangular geometry on the basis of the geothermal models by McKenzie, but with included grain size effects, using the well-known creep laws for the deformation of oceanic lithosphere (Goetze & Evans, 1979), and available data for spinel creep. Instead of a strong elastic "core" in fast subducting slabs, we find that the slab becomes rheologically separated into two relatively strong regions, an upper layer of about 20 km thickness, and a 40 km layer at the bottom of the slab. The results suggest that very deep focus earthquakes are rather the result of a faulting process of a strong (spinel) layer at the bottom of the slab than due to transformational faulting of the cold metastable (olivine) wedge in the center. Recent seismic observations of a nearly horizontal 40x40 km<sup>2</sup> fault plane during the Bolivian quake in June 1994 seem to support to our conclusion (Estabrook & Bock, 1995).

#### References

C. Goetze and B. Evans, Stress and temperature in the bending lithosphere as constrained by experimental rock mechanics, *Geoph. J. RAS.* 59, 463-478, 1979

S.H. Kirby, Interslab earthquakes and phase changes in subducting lithosphere, *Rev. Geophys., Suppl., IUGG reports,* 287-297, July 1995

C.H. Estabrook and G. Bock, Rupture history of the great Bolivian earthquake: Slab interaction with the 660-km discontinuity?, *Geophys. Res. Lett.* 22, 2277-2280, 1995

Untersuchung des Kompensationsmechanismus der Hawaii-Schwelle: Abhängigkeit des Geoid-Topographie-

Verhältnisses von kurzwelligen Oberflächenstrukturen

Sebastian Rost

Institut für Geophysik, Georg-August Universität, Herzberger Landstraße 180, 37075 Göttingen, GERMANY

<rost@willi.uni-geophys.gwdg.de>

Es wird vermutet, daß die Hawaii-Schwelle im Pazifik, als anomal aufgewölbter Ozeanboden, durch den Hawaii Mantel Plume erzeugt wird. Einen Hinweis auf den Kompensationsmechanismus und die Kompensationstiefe der Schwelle kann das Geoid-Topographie-Verhältnis oder die sogenannte Admittanz geben. Die Vulkaninseln, als kurzwellige Strukturen, werden in einem anderen Tiefenbereich und mit einem anderen Kompensationsmechanismus als die langwellige Schwelle kompensiert. Um den Kompensationsmechanismus der Schwelle zu bestimmen, müssen die störenden Einflüsse der auf die Schwelle aufgelagerten Vulkaninseln und Seamounts beseitigt werden. Dies wird durch die Entwicklung eines möglichst exakten Modells der Beiträge der Seamounts zur Topographie und zum Geoid getan. Die Modellierung enthält ein topographisches und ein Dichtemodell der Vulkaninsel, sowie die elastische Durchbiegung der Lithosphäre als Antwort auf die Auflast der Insel. Aus diesem Modell werden Topographie- und Geoiddaten der Insel berechnet, welche dann aus den Meßdaten für die Topographie und für das Geoid entfernt werden, um das Signal der Schwelle zu erhalten, das nun größtenteils frei von den Einflüssen der kurzwelligen Oberflächentopographie ist. An diesen residualen Signalen können nun Admittanzuntersuchungen zum Kompensationsmechanismus der Schwelle durchgeführt werden. Diese Methode der Meßdatenverarbeitung besitzt Vorteile gegenüber der üblichen Bandpaßfilterung des Geoids und der Topographie. Die mit diesem Verfahren gewonnene Admittanz der Hawaii-Schwelle liegt für den betrachteten Wellenlängenbereich in der Größenordnung von 7.2 m/km und ist damit bedeutend größer als bisher angegebene Admittanzwerte der Hawaii-Schwelle, die sich im Bereich von 4.5 - 5.5 m/km bewegen. Mit diesem höheren Admittanzwert lassen sich tiefere, dynamische Kompensationsmodelle der Hawaii-Schwelle in Einklang bringen.

Der Stil thermischer Konvektion in Abhängigkeit von der Prandtlzahl

Jörg Schmalzl, Ron Trompert und Ulli Hansen

Inst. für Theor. Geophysik, Universität Utrecht, Budapestlaan 4, 3508TA Utrecht, Niederlande, e-mail: schmalzl@geof.ruu.nl, trompert@geof.ruu.nl, hansen@geof.ruu.nl

Thermische Konvektion ist einer der entscheidenden Prozesse für die Dynamik der Atmosphäre, der Ozeane und des Erdinneren. Bezüglich der thermischen Konvektion läßt sich der Unterschied zwischen diesen drei Szenarien durch die Prandtlzahl beschreiben. Diese dimensionslose Größe ist definiert als das Verhältnis zwischen der kinematischen Viskosität und der thermischen Diffusivität. Für Luft hat die Prandtlzahl einen Wert von 0.7, für Wasser einen Wert von 7. und für den Erdmantel vermutet man einen Wert von 1023. In der Bewegungsgleichung kontrolliert der reziproke Wert der Prandtlzahl den Einfluss der mechanischen Trägheit. Wir haben den Einfluß der Prandtlzahl auf den Stil der thermischen Konvektion mit Hilfe von zweidimensionalen (2D) und dreidimensionalen (3D) numerischen Simulationen untersucht. Dabei wurden Berechnungen sowohl mit freien als auch mit scherspannungsbehafteten Randbedingungen durchgeführt. Ein Vergleich der 2D und 3D Simulationen hat gezeigt, daß für eine hohe Prandtlzahl ( $Pr. = 1023$ ) eine gute Korrelation zwischen den 2D und 3D Berechnungen besteht. Für kleine Prandtlzahlen ( $Pr. = 0.7, 7.$ ) führten die 2D Berechnungen zu sehr abweichenden Ergebnissen. Dies ist auch aus den Gleichungen zu verstehen, da die Erzeugung der vertikalen Komponente der Vorticity durch die

Beschränkung auf zwei räumliche Dimensionen explizit unterdrückt wird. Ein Vergleich der 3D Berechnungen mit unterschiedlicher Prandtlzahl ergab, daß der Wärmetransportmechanismus und damit die räumliche Struktur der Strömungen sehr verschieden ist. Für hohe Prandtlzahlen beobachtet man ein Strömung, bei welcher der konduktive Wärmetransport auf die dünnen thermischen Grenzschichten beschränkt ist und das Innere der Konvektionszellen nahezu isotherm ist. Bei Strömungen mit kleiner Prandtlzahl wird warmes und kaltes Material pulsartig mit dem Material im Zellinneren vermischt, wo auch der konduktive Wärmetransport stattfindet. Eine mögliche geophysikalische Schlußfolgerung ist, daß man bei Berechnungen zur Dynamik des äußeren Kerns den Einfluß der endlichen Prandtlzahl nicht vernachlässigen kann.

### Schmelzinstabilitäten in der Asthenosphäre

Harro Schmeling

Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Frankfurt,  
Feldbergstr. 47, 62326 Frankfurt,

e-mail: [schmeling@geophysik.uni-frankfurt.de](mailto:schmeling@geophysik.uni-frankfurt.de)

Beim Überschreiten der Solidustemperatur in der Asthenosphäre bilden sich partielle Schmelzen, die einerseits nach oben segregieren können, andererseits aber auch auf Grund von Auftriebskräften wichtige Wechselwirkungen mit Mantelströmungen haben können. In einem numerischen Modell werden neben den üblichen Gleichungen zur thermischen Konvektion mit Olivinrheologie auch die Gleichungen für die Schmelzsegregation gelöst. Die Dichte hängt von der Temperatur, der Schmelzkonzentration und dem Grad an Verarmung an basaltischer Schmelze ab. Es wird gezeigt, daß eine partiell geschmolzene Asthenosphäre konvektive Umwälzungen durchführen kann, die durch die oben beschriebenen Auftriebskräfte hervorgerufen werden und die sich lateral in der Asthenosphäre mit einigen cm/a ausbreiten können. Die Ausbreitung eines Plumekopfes in der Asthenosphäre erfolgt hingegen mit höherer Geschwindigkeit (10 - 20 cm/a), so daß sich Ron Trompert <[trompert@geof.ruu.nl](mailto:trompert@geof.ruu.nl)> einen engen Bereich oberhalb des Plumestammes beschränkt sind. Dies könnte wichtige Auswirkungen auf die regionale Verteilung von Vulkanismus in Hot Spot Regionen haben.

### DOUBLE-DIFFUSIVE CONVECTION IN POROUS MEDIA: APPLICATION TO BRINE TRANSPORT IN AND BENEATH INTRACRATONIC BASIN

Stan Schoofs, Ulrich Hansen

Utrecht University, Department of Theoretical Geophysics

Budapestlaan 4, 3584 CD Utrecht, The Netherlands

tel. (030)2535142, e-mail [schoofs@geof.ruu.nl](mailto:schoofs@geof.ruu.nl)

Observations on the evolution of intracratonic basins differ considerably from geophysical models, which are based on purely conductive heat transport. Major discrepancies are excessive subsidence rates and higher basin temperatures, as documented by organic maturity. Thermally driven convection of brines, rather than pure heat conduction has recently been proposed to significantly influence the evolution of sedimentary basins. Besides temperature gradients, however, variations in the concentration of solute can also drive the brines through the pores and fractures of the rocks. Double-diffusive convection, where both heat and solute are the sources of buoyancy, seems a more realistic mechanism to explain the differences between observations and the simple models.

Numerical simulations of the intracratonic Michigan basin have been performed in order to investigate double-diffusive convection in porous media. The model resembles a scenario in which a layer of sediments with intermediate permeability overlies a fractured igneous plug with adjacent impermeable basement rocks. For values of the solute gradient and the permeability within a realistic range, we find double-diffusive convection to be an appropriate mechanism to explain the excessive subsidence rate and the high basin temperatures. Besides influencing the heat flux, the actual pattern of the flow is of interest, since it will determine the location of ore deposits. Our experiments show that the pattern sensitively depends on the temperature and solute gradients, as well as on the permeability. A general statement about the pattern of the flow can not be made at this stage. Further research is necessary to be able to distinguish between more typical and more exceptional flow patterns.

Abbau der orogenen Lithosphärenwurzel

Bertram Schott und Harro Schmeling

Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Frankfurt,  
Feldbergstr. 47, 62326 Frankfurt,

<http://www.rz.uni-frankfurt.de/~fq0510/bertram.html>; <http://www.rz.uni-frankfurt.de/~fq0510/PLOTS>

or <http://www.rz.uni-frankfurt.de/~fq0510> for files!

<B.Schott@em.uni-frankfurt.de>

Die Evolution der Orogenese wird hauptsächlich von der Dynamik der Wurzel des Mantelteils der Lithosphäre (kurz Lithosphärenwurzel (LW)), dem Auftrieb der Krustenwurzel und deren mechanischer Kopplung beeinflusst. Zwei konkurrierende Prozesse kontrollieren, ob es zur Delamination kommt oder

nicht: Die gravitative Instabilität der relativ kalten LW und die Erosion dieses relativ kalten Bereichs durch das Hineindiffundieren von Wärme. Bei der Delamination strömt relativ heiße Asthenosphäre in den Bereich zwischen Kruste und Mantellithosphäre (ML) ein. Dies wird dynamisch, rheologisch und thermisch konsistent mit einem FD-Programm für zweidimensionale Konvektion modelliert. Eine signifikant verdickte ML kann zur Delamination von der Kruste führen. Nur eine hinreichend dicke Kruste kann die Subduktion der gesamten ML durch ihren Auftrieb verhindern. Dies führt unter Umständen zum Durchreißen des herabhängenden Slabs. Die Viskosität der Unterkruste muß dabei niedrig genug sein, um die Delamination zu ermöglichen, aber sie muß so hoch sein, daß nur die LW von der Kruste delaminiert, und nicht etwa die gesamte ML. Mit beginnender Delamination kann die negative Auftriebskraft der ML nicht mehr auf die Kruste wirken, was zu einer starken Erhöhung der Topographie des Orogens (ca. 1500m) in relativ kurzer Zeit führt (ca. 10Ma). Somit können die postulierte schnelle Hebung des Tibet-Plateau und die hohen Abkühlraten aus PTt--Pfad der variscischen Orogenese evtl. durch die Delamination der orogenen LW erklärt werden. Eine wichtige Rolle bei der Delamination spielt evtl. die dissipative Erwärmung. Sie führt lokal zu Temperaturerhöhungen bis 150K, welche eine Verminderung der temperaturabhängigen Viskosität bewirken. Aus den Ergebnissen des numerischen Modells kann nicht nur der PTt--Pfad eines Partikels, sondern auch der zugehörige räumliche Partikelpfad generiert werden. Durch den Vergleich mit Messungen kann damit evtl. auf den Partikelpfad geschlossen werden, der zu gemessenen PTt--Pfad gehört. Ein kurzer Film, der den Delaminationsprozess und das Abreißen des Slabs zeigt, ist unter <http://www.rz.uni-frankfurt.de/~fq0510/bertram.html> öffentlich zugänglich.

Stichworte: Delamination, Topographie, PTt--Pfade

Aufbaumodelle des Mars

Frank Sohl

Institut für Planetologie, Wilhelm-Klemm-Str. 10

D-48149 Muenster

Tel.: 0251-83-4714, Fax : 0251-83-9083

E-mail: sohl@uni-muenster.de

Unter der Voraussetzung, dass Mars als Mutterkörper der achondritischen SNC-Meteorite und des opx-reichen Meteoriten ALH84001 angesehen werden kann, werden zwei Endgliedermodelle des gegenwärtigen Aufbaus des Marsinneren betrachtet. Kosmochemischen Argumenten zufolge lässt sich das Marsinnere grob in einen silikatischen Mantelbereich mit einem gegenüber dem Erdmantel etwa verdoppelten FeO-Gehalt und einen schwefelreichen Fe-Ni-FeS-Kern unterteilen. Als zusätzliche globale Randbedingungen werden im Rahmen der Aufbaumodelle Gesamtmasse ( $M_p = 6,42 \times 10^{23}$  kg) und Oberflächenradius ( $r_p = 3390$  km) des Planeten erfüllt. Das eine Modell genügt geophysikalischen Anforderungen, indem es an den allgemein akzeptierten Wert

$C/M_p r_p^2 = 0,366$  für den polaren Trägheitsfaktor angepasst ist. Das andere Modell befindet sich im Einklang mit der geochemischen Einschränkung des globalen Elementverhältnisses Fe/Si von Eisen zu Silizium auf einen Wert von 1,71, wie er für Meteoriten vom Typ der kohligen Chondriten

repräsentativ ist, die vermutlich primitives Material aus der primordialen Phase des Sonnensystems darstellen. Neben der sphärischen Symmetrie werden hydrostatisches Gleichgewicht und Stationarität des Wärmetransportes vom Zentrum des Modellplaneten zu dessen Oberfläche angenommen. Die auf den fundamentalen Erhaltungssätzen von Masse, Impuls und Energie beruhenden Aufbaugleichungen für die mechanische und thermische Struktur werden in Verbindung mit einer isothermen Zustandsgleichung vom Murnaghan-Birch-Typ in vierter Strainordnung numerisch gelöst. Anhand von Labordaten werden unter anderem Referenzwerte für Dichten, Kompressionsmodule, Schermodule und thermische Ausdehnungskoeffizienten von Kern-, Mantel- und Krustenmaterialien unter Standard-Temperatur- und Druckbedingungen berechnet, die chemischen Modellzusammensetzungen auf der Grundlage geochemischer Analysen der SNC-Meteorite entsprechen. Die radiale Verteilung von Masse, hydrostatischem Druck, Schwerebeschleunigung, Temperatur und Wärmeflussdichte innerhalb des Marsinneren wird gemeinsam mit der entsprechenden Dichteverteilung und der globalen seismischen Geschwindigkeitsstruktur des Planeten ermittelt.

Die Modellrechnungen liefern einen flüssigen Fe-Ni-FeS-Kern mit einer Ausdehnung von etwa der Hälfte des Planetenradius, falls der Schwefelanteil des Kernes ca. 14 Gew.% beträgt, wie es geochemische Analysen der SNC-Meteorite nahelegen. Das geochemisch optimierte Modell mit  $Fe/Si = 1,71$  liefert als polares Trägheitsmoment  $C = 0,360 \times M_p r_p^2$ , wohingegen das geophysikalisch optimierte Modell mit  $C = 0,366 \times M_p r_p^2$  ein globales Eisen-Silizium-Verhältnis von  $Fe/Si = 1,47$  ergibt. Der Zentraldruck beträgt in beiden Fällen etwa 40-GPa, und die Zentraltemperaturen liegen im Bereich von 2000 und 2200 K. Der metallische Kern wird von einem silikatischen Mantel eingeschlossen, der in eine untere Spinellschicht und eine obere Olivinschicht unterteilt ist und von einer 100 bis über 200 km mächtigen basaltischen Kruste überlagert wird. Aufgrund des verhältnismässig flachen Druckgradienten im Marsmantel dürften sich die Olivin-Spinell Phasenumwandlungen über einen deutlich verbreiterten Tiefenbereich erstrecken, der durch die Abfolge von Beta- und Gamma-Spinellagen gekennzeichnet ist. Die Druckverteilung im unteren Mantel scheint jedoch nicht auszureichen, um in der Nähe der Kern-Mantel-Grenze die Phasenumwandlung von Spinell nach Perovskit einzuleiten.

Der Einfluß temperatur- und druckabhängiger Viskosität auf Konvektion mit Phasenübergängen

Volker Steinbach

Institut für Planetologie, Westf. Wilhelms-Universität, Wilhelm-Klemm-Str.  
10, D-48149 Münster

e-mail : steiney@wirsch.uni-muenster.de



Wir haben den Einfluß einer druck- und temperaturabhängigen Viskosität des unteren Mantels auf Konvektion mit Phasenübergängen untersucht. Die Viskosität des oberen Mantels ist in unserem Modell rein temperaturabhängig, während die des unteren Mantels sowohl temperatur- als auch druckabhängig ist. Die Zunahme der Viskosität mit der Tiefe basiert auf experimentell ermittelten Schmelzpunktdaten von Perovskit. Es wurden Modelle mit und ohne eine sprunghafte Zunahme der Viskosität (vom Faktor 8) in 660 km Tiefe untersucht. Sowohl der Olivin-Spinell- als auch der Spinell-Perovskit-Übergang wurden berücksichtigt.

Das Modell besteht aus einer zweidimensionalen kartesischen Box vom Querverhältnis 5, die in 52 x 260 finite Elemente unterteilt ist. Das numerische Gitter wurde sowohl in den thermischen Grenzschichten als auch in der Übergangszone zwischen oberem und unterem Mantel verfeinert. Zur Anwendung kam die erweiterte Boussinesq-Approximation mit tiefenabhängigem thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Viskose Dissipation, adiabatische Erwärmung bzw. Abkühlung sowie latente Wärme der Phasenübergänge wurden berücksichtigt.

Der Haupteffekt der beschriebenen Rheologie liegt, im Vergleich zu Modellen mit rein temperaturabhängiger Viskosität, in der Ausbildung einiger weniger stabiler Plumes. Diese Tendenz wurde schon in Konvektionsmodellen ohne Phasenübergänge festgestellt und ist auf die Zunahme der Viskosität sowie die Abnahme des thermischen Ausdehnungskoeffizienten mit der Tiefe zurückzuführen. In der Wechselwirkung mit der endothermen Spinell-Perovskit-Phasengrenze führt diese thermische Struktur des unteren Mantels zu einer Mischform zwischen Gesamtmantel- und geschichteter Konvektion. Während einige der Plumes im unteren Mantel die Phasengrenze penetrieren, werden andere horizontal abgelenkt und lösen seitlich versetzte, wesentlich kleinräumigere sekundäre Plumes im oberem Mantel auf. Die geringe horizontale Ausdehnung dieser Sekundärplumes macht sie zu möglichen Quellen für Hot-Spots. Schichten mit geringer Viskosität bilden sich an der Kern-Mantel-Grenze (ca. 400 km Dicke) und lokal in der Übergangszone aus, hier aufgrund des Freiwerdens dissipativer Energie sowie latenter Wärme, das möglicherweise auch tiefes partielles Schmelzen auslösen kann.

Eine sprunghafte Zunahme der Viskosität im unteren Mantel verbreitert die Plumes im unteren Mantel und verringert somit den Grad der Schichtung der Konvektion. Aufgrund des erhöhten Wärmeaustauschs zwischen unterem und oberem Mantel werden die Sekundärplumes im oberem Mantel heißer und somit schmaler. Die Zone verminderter Viskosität an der Kern-Mantel-Grenze verbreitert sich auf ca. 600 km.

Benard-Marangoni-Konvektion fernab der Stabilitätsgrenze

A. Thess, K. Eckert, B. Jüttner

Center for Physical Fluid Dynamics, Department of Mechanical Engineering

Dresden University of Technology, D-01062 Dresden, Germany

Fax: +49-351 463-8087, Email: [thess@tfd.mw.tu-dresden.de](mailto:thess@tfd.mw.tu-dresden.de)

Der Vortrag gibt einen Überblick über experimentelle und numerische Arbeiten, die dem Vorstoß ins stark nichtlineare Regime bei oberflächenspannungsgetriebener Konvektion in einer von unten beheizten Schicht mit hoher Prandtl-Zahl dienen. Durch Präzisionsexperimente in einer

dünnen Silikonöl-Schicht wurde die Existenz einer Sekundärinstabilität entdeckt, bei der sich die hexagonalen Konvektionszellen in quadratische Zellen umwandeln. Numerische Simulationen für hohe Marangoni-Zahl sowie eine analytische Theorie für unendliche Marangoni-Zahl belegen die Existenz kleinskaliger thermischer Strukturen, die zu universellen Skaleneigenschaften der stark nichtlinearen Temperaturfelder führen.

Time-Dependent 2-D and 3-D Thermally Driven Convection

in a Highly Viscous Fluid with a Very Strongly Temperature-

Dependent Viscosity

Ron A. Trompert and Ulrich Hansen

Faculty of Earth Sciences, Utrecht University

P.O. Box 80021, 3508 TA Utrecht, The Netherlands

e-mail: Ron Trompert <trompert@geof.ruu.nl>

The numerical modeling of highly viscous flow with a very strongly temperature-dependent viscosity is of great importance to geodynamical research. For example, the flow in the Earth's mantle resembles thermally or thermo-chemically driven convection in a fluid with a very strongly temperature-dependent viscosity varying over many orders of magnitude. This strong dependence of the rheology on temperature is of great importance to the behavior of the convection. When the viscosity contrast is sufficiently large, the viscosity of the coldest fluid at the top of a bottom-heated box is so high that the motions in this fluid layer become very small and a so-called cold "stagnant lid" develops on top of a hot convecting layer. In this presentation, we present the results of a study into the Rayleigh number dependence of stagnant-lid convection with a viscosity contrast of 106 in wide domains in two and three dimensions. Like in constant-viscosity cases, the convection in the layer underneath the stagnant lid undergoes the typical transition from steady to time-dependent with an increasing vigor as the Rayleigh number increases. A stagnant-lid style of convection was obtained in 2D and 3D for all Rayleigh numbers considered and the interior temperature appeared not to depend on the Rayleigh number. The results we have obtained are consistent with other theoretical and numerical results.

Der Einfluß der Mantelviskosität auf die durch

nacheiszeitliche Hebungsbewegungen bedingten

Schwankungen der Erdrotation

Bert Vermeersen<sup>1</sup>, Roberto Sabadini<sup>2</sup>, Alexandre Fournier<sup>3</sup>

1) Universität Stuttgart, 2) Università di Milano, Italia, 3) ENS Lyon, France.

B. Vermeersen <vermeer@gi1.bauingenieure.uni-stuttgart.de>

Die Säkularbewegung der Rotationsachse kann durch nacheiszeitliche Hebungsbewegungen erklärt werden, die durch das Abschmelzen der pleistozänen Eismassen hervorgerufen sind (Nakiboglu & Lambeck 1980; Sabadini & Peltier 1981). Die Modelle verschiedener Autoren, die einen Zusammenhang zwischen dem Abschmelzvorgang und den Rotationsänderungen herstellen, sind nicht konsistent. Zum Beispiel finden Peltier & Jiang (1996) nur einen Wert für die Viskosität des unteren Mantels, wenn die übrigen Parameter des Erdmodells festgehalten werden. Yuen et al. (1986), Spada et al. (1992) und Milne & Mitrovica (1996) dagegen finden mehrere Lösungen.

Wir zeigen zunächst, daß die Diskrepanz in den Ergebnissen nicht durch Unterschiede im theoretischen Ansatz erklärt werden kann. Weiterhin zeigen wir anhand eines analytischen Modells für die Relaxation des Erdkörpers unter Verwendung des PREM und Tushingham & Peltiers (1991) ICE-3G-Modell, daß es für die Viskosität des unteren Mantels mehrere Lösungen gibt. Es zeigt sich dabei, daß ein aus 30 Schichten bestehendes Erdmodell ausreicht, eine kontinuierliche Parameterverteilung zu modellieren. Wir kommen zu dem Ergebnis, daß auf der Grundlage unseres Modells eine konsistente Interpretation sowohl der Polbewegungsdaten als auch der Daten über den Geoid-Term  $dJ_2/dt$  nur dann möglich ist, wenn die Viskosität des unteren Mantels um ein bis zwei Größenordnungen höher als die des oberen Mantels ist, wobei die Viskosität des oberen Mantels kleiner als  $10^{21}$  Pa s ist.

Das Ergebnis kann zur Folge haben, daß Eismodelle wie das ICE-3G, die unter der Annahme aufgestellt sind, daß der Mantel keine großen Viskositätsänderungen von Lithosphäre bis Kern zeigt, überdacht werden müssen. Viskoelastische Gezeitendissipation in Planetenmodellen

Chemische Segregation und Mantelkonvektion mit

wachsenden, lateral beweglichen Kontinenten

Uwe Walzer und Roland Hendel

Friedrich-Schiller-Universität, Institut für Geowissenschaften, Burgweg 11,  
D-07749 Jena

walzer@geo.uni-jena.de Mit Hilfe eines Markerverfahrens wurden geochemische Segregationsprozesse in ein 2D-FD-Boussinesq-Mantelkonvektionsmodell eingebaut. Eine wesentliche Eigenschaft des Modells besteht darin, daß die Temperatur entsprechend der geologischen Beobachtung nur an der Oberfläche festgehalten wird, während an der Kern-Mantel-Fläche mit einem kleinen, in einigen Läufen auch mit verschwindendem, aber immer konstantem Wärmestrom gerechnet wird und sich die Temperatur dort frei entwickeln darf. Wir benutzen eine temperatur- und druckabhängige Viskosität, die demzufolge von Ort und Zeit abhängt. Die Konzentrationen der vier wichtigsten Radionuklide, die den Mantel von innen heizen, ändern sich als Funktionen von Ort und Zeit nicht nur infolge des radioaktiven Zerfalls und der Mitführung durch die Konvektion der Festkörper-Matrix, sondern auch infolge der Segregation. Übersteigt in einem Gebiet das Verhältnis von Temperatur zu Schmelztemperatur einen kritischen Wert, so tritt partielle Schmelze auf, bevorzugte Anreicherung der Radionuklide in dieser Schmelze und sehr schnelle Abfuhr nach oben, wobei "sehr schnell" sich auf den Vergleich mit dem Festkörperkriechen der Matrix bezieht. Hier werden die beiden Strömungen vorerst noch nicht durch eine echte Zweiphasenkonvektion modelliert, sondern es kommt zu der üblichen Mitführung der Marker noch

eine zusätzliche Bewegung der Marker hinzu. Dabei entstehen in Oberflächennähe - charakterisiert durch Marker mit entsprechenden Radionuklidkonzentrationen - rhyolithische Terranes, unten bleibt ein verarmter Mantel zurück. Die Erhaltung der Zahl der radioaktiven Atome und ihrer Tochteratome sowie die Massenerhaltung sind dabei gewährleistet. Die Terranes sammeln sich in Modellkontinenten. Letztere werden durch die Konvektion lateral bewegt. Man kann in dem Modell die Entstehung der wichtigsten geochemischen Reservoirs des Mantels verfolgen. Durch die ungleichförmige Verteilung der Segregationsgebiete sowie durch die ungleichförmige Wärmeabfuhr an der Oberfläche, die durch die Existenz der Kontinente zustande kommt, überlagern sich zwei Arten von Rückkopplungsmechanismen. Die Schwankungen der konvektiven Intensität des Modells ähneln der weltweiten zeitlichen Verteilung der Häufigkeit der radiometrischen Alter magmatischer und metamorpher Gesteine, der zeitlichen Verteilung der Transgressionen und Regressionen und der Variationen einer Reihe geochemischer Parameter.

## Viskoelastische Gezeitendissipation in Planetenmodellen

Karin Wieczerkowski<sup>1</sup>, Detlef Wolf<sup>2</sup>

1) Institut für Planetologie, Universität Münster,

wieczek@uni-muenster.de, 2) GeoForschungsZentrum, Potsdam, dasca@gfz-potsdam.de

In einem von Gezeitenkräften deformierten viskoelastischen Planeten wird ein Teil der Gezeitenenergie in Form von Wärme dissipiert. Wir haben, auf der Theorie der gravitativen Viskoelastodynamik aufbauend, für einige einfache Planetenmodelle die räumliche Verteilung der zeitlich gemittelten Dissipationsrate analytisch berechnet.

Die verwendeten Planetenmodelle sind sphärisch, inkompressibel, selbstgravitierend und bestehen aus Schichten konstanter Dichte und Rheologie (Relaxationsfunktion). Die Frequenzabhängigkeit der Dissipationsrate wird durch die verwendete Rheologie bestimmt. Wir vergleichen die Maxwell-Rheologie mit der Burgers- und der Caputo-Rheologie. Letztere können als Verallgemeinerungen der klassischen Maxwell-Rheologie dargestellt werden. Für die einfachsten Modelle mit ein oder zwei Schichten und konstanter Dichte faktorisiert die analytische Lösung der Dissipation in Funktionen der räumlichen Parameter einerseits und Funktionen der Anregungsfrequenz andererseits. Daher kann hier der Einfluss der Rheologie unabhängig von der räumlichen Verteilung der Dissipation, z.B. anhand der globalen Dissipationsrate, studiert werden.

Als numerisches Beispiel verwenden wir die Parameter des Io-Jupiter-Systems. Durch den geringen Abstand zwischen Io und Jupiter liefert die Gezeitendissipation einen wichtigen Beitrag zum Wärmehaushalt der Io. Für die von uns betrachteten Io-Modelle, die oben genannten Rheologien sowie realistische Werte der Wärmeproduktion stecken wir den Parameterraum für Schermodul und Viskosität ab.

Auswirkungen adiabatischer und chemischer

Dichtegradienten auf das viskoelastische

Relaxationsverhalten der Erde

Detlef Wolf<sup>1</sup> und Georg Kaufmann<sup>2</sup>

1) GeoForschungsZentrum, Potsdam, [dasca@gfz-potsdam.de](mailto:dasca@gfz-potsdam.de)

2) Australian National University, Canberra

Neuere Untersuchungen viskoelastischer Erdmodelle haben sich auf die Frage konzentriert, inwieweit die konventionellen Lösungsansätze auf Modelle mit stetigen Variationen der Parameter in radialer Richtung übertragbar sind. Eine verwandte Fragestellung betrifft die Dichte im Anfangszustand, deren radiale Variation in viskoelastischen Erdmodellen gewöhnlich in parametrisierter Form berücksichtigt worden ist. Alternativ läßt sich die Dichteschichtung im Anfangszustand mit Hilfe einer geeigneten Zustandsgleichung in selbst-konsistenter Form einbeziehen.

Unsere Untersuchung betrachtet durch Auflasten angeregte viskoelastische Deformationen ebener Erdmodelle und liefert analytische Lösungen für folgende Typen von Dichteschichtung: keine Schichtung (inkompressibles Erdmodell R), lineare chemische Schichtung (inkompressibles Erdmodell C) und selbst-konsistente adiabatische Schichtung (kompressibles Erdmodell A). Die numerischen Ergebnisse zeigen, dass der Typ der Dichteschichtung von Bedeutung ist bei hinreichend langwelligen Deformationen. Für die vertikale Oberflächenverschiebung infolge einer scheibenförmigen Last mit einem Radius von 1600 km und einer Heaviside-Lastgeschichte ergeben sich Unterschiede bis ~ 20% (Erdmodelle R und C) bzw. ~ 10% (Erdmodelle R und A).