

# **Geodynamik Workshop 2006**



Max-Planck-Institut für  
Sonnensystemforschung  
27.-28. September 2006

# PROGRAMM

## Poster

---

Poster werden für die Dauer des Workshops im Foyer ausgehängt.

### **Verwendung des Arrhenius-Gesetzes für die Temperaturabhängigkeit bei Konvektion mit variabler Viskosität**

B. Krippendorf, C. Stein und U. Hansen

Abstract S. 4

### **Thermische Evolutionsmodelle für das Merkurinnere**

M. Buske und U. Christensen

Abstract S. 6

## Mittwoch, 27. September

---

### 14:00-15:00 **Inneres und Dynamik anderer Planeten**

D. Breuer

Abstract S. ??

### 15:00-15:30 **A Numerical Model for Core Formation in Terrestrial Planets**

R. Ziethe und W. Benz

Abstract S. 7

### 15:30-16:00 **Erweiterte dreidimensionale Konvektionsmodelle zur thermischen Entwicklung des Marsinneren**

M. Buske und U. Christensen

Abstract S. 8

### 16:00-16:30 **Kaffee und Tee**

---

### 16:30-17:00 **Großskalige Konvektion als Ursprung der Dichotomie auf Enceladus?**

M. Grott, F. Sohl und H. Hussmann

Abstract S. 9

### 17:00-17:30 **Determining Mercury's Tidal Love Number and Libration With Laser Altimetry**

C. Koch, U.R. Christensen, and M. Hilchenbach

Abstract S. 10

### 18:00— **Icebreaker und Dinner**

## Donnerstag, 28. September

### Vormittag

---

09:30-10:00 **Einfluss einer subduzierenden Platte auf die durch glaziale  
Änderung in Patagonien verursachte Hebungsbewegung**  
V. Klemann, E. Ivins, Z. Martinec und D. Wolf Abstract S. 11

10:00-10:30 **Kinetic Scaling of Metastable Phase Transformations**  
M.R. Riedel Abstract S. 12

---

10:30-11:00 **Kaffee und Tee**

---

11:00-11:30 **Small-scale Convection und partielles Schmelzen in numerischen  
3D-Simulationen**  
M.D. Ballmer und J. van Hunen Abstract S. 13

11:30-12:00 **Thermische Konvektion im Kugelspalt: Experimentelle und  
numerische Untersuchungen im Rahmen von GeoFlow**  
B. Futterer, M. Gellert, M. Huschto, Th. von Larcher und C. Egbers  
Abstract S. 14

---

12:00-13:00 **Mittagessen**

## Donnerstag, 28. September Nachmittag

---

13:00-14:00 **Führung durch das MPS**

---

14:00-14:30 **Der Einfluss von festen Seitenrändern auf thermische Konvektionsströmungen**  
A. Fahl, M. Breuer und U. Hansen Abstract S. 15

14:30-15:00 **Numerische Simulationen von Strömungen in porösen Medien - ein spezielles Gittergasmodell**  
U.-J. Hehmann und M. Degusch Abstract S. 16

15:00-15:30 **Influence of Inner-Core Size on the Onset of Convection**  
V. Aleksandrov, J. Wicht, and U. Christensen Abstract S. 17

---

15:30-16:00 **Kaffee und Tee**

---

16:00-17:00 **The Geodynamo From the Perspective of Mantle convection Modellers**  
U. Christensen Abstract S. 18

17:00-17:30 **Magnetokonvektion unter dem Einfluss starker Rotation**  
W. Raabe und S. Stellmach Abstract S. 20

17:30-18:00 **Saturns Dynamo ist anders**  
J. Wicht Abstract S. 21

---

18:00 **ENDE**

## ABSTRACTS

### Verwendung des Arrhenius-Gesetzes für die Temperaturabhängigkeit bei Konvektion mit variabler Viskosität

B. Krippendorf, C. Stein, U. Hansen

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Konvektion mit temperatur- und spannungsabhängiger Viskosität führt zur Ausbildung von drei unterschiedlichen Konvektionsregimen: Konvektion mit fester Oberfläche (stagnant lid), mit mobiler Oberfläche (mobile lid) und mit periodisch mobilisierter Oberfläche (Moresi und Solomatov, 1998). Mit diesen unterschiedlichen Konvektionsstilen lassen sich die Vorgänge in einigen Planeten beschreiben. Es wird heute davon ausgegangen, dass in der Erde Konvektion mit mobiler, im Mars mit fester und in der Venus mit periodisch mobilisierter Oberfläche stattfindet. In der numerischen Untersuchung zu Konvektion mit temperatur- und spannungsabhängiger Viskosität wurden verschiedene Ansätze für die Spannungsabhängigkeit der Viskosität betrachtet, wie z.B. 'Heizung durch viskose Reibung' (viscous heating), 'Verringerung der Korngröße' (grain size reduction) oder 'Schwächung durch Eindringen von Flüssigkeit in das deformierte Material' (void-volatile weakening) (Tackley, 2002). Diese führten in der Regel zu dem Ergebnis, dass drei Konvektionsregime unterschieden werden können. Die Temperaturabhängigkeit der Viskosität wird über ein Arrhenius-Gesetz beschrieben, das jedoch meist über die sogenannte Frank-Kamenetskii-Approximation genähert wird. In dieser Untersuchung wird der Schwerpunkt auf das Arrhenius-Gesetz gelegt. Neben umfangreichen Studien mit einer Temperaturabhängigkeit, die über das Arrhenius-Gesetz beschrieben wird, werden Ergebnisse aus Modellrechnungen mit der Frank-Kamenetskii-Approximation mit denen unter Verwendung des Arrhenius-Gesetzes verglichen. Die Untersuchungen erfolgen in einer zweidimensionalen Geometrie mit scherspannungsfreien, isolierenden Rändern. Die obere und untere Begrenzung ist isothermal. Das numerische Verfahren beruht auf einem finite Volumen Mehrgitter Verfahren (Trompert und Hansen, 1996).

Für verschiedene Versuchsreihen mit einer maximalen Rayleighzahl, einem Viskositätskontrast und einem Eingabeparameter  $T_0$  des Arrheniusgesetzes wird jeweils die Grenzspannung variiert. Die Rayleighzahl ist ein Maß für die Stärke der Konvektion und umgekehrt proportional zur Viskosität. Der Viskositätskontrast gibt an, wie stark die temperaturabhängige Viskosität zwischen  $T_{max}$  und  $T_{min}$  variiert. Über den Eingabeparameter  $T_0$  im Exponenten des Arrhenius-Gesetzes (Solomatov und Moresi, 2002) wird der Verlauf der Viskosität zwischen  $T_{max}$  und  $T_{min}$  festgelegt. Wenn die Grenzspannung überschritten wird, versagt das Material. Je niedriger die Grenzspannung, desto eher wird die Oberfläche mobil.

Bei den bisherigen Untersuchungen zeigten sich bisher nur bei einer Versuchsreihe in Anlehnung an Solomatov (Solomatov und Moresi, 2002) alle drei Konvektionsregime. In den anderen Fällen lieferte die Variation der Grenzspannung nur ein Konvektionsregime. Weitere Untersuchungen sind also nötig.

L. Moresi und V. Solomatov, 1998, Mantle convection with a brittle lithosphere: thoughts on the global tectonic styles of the Earth and Venus, *Geophys. J. Int.*, 133

R.A. Trompert und U. Hansen, 1996, The application of a finite Volume Multigrid method to three-dimensional flow problems in a highly viscous fluid with a variable viscosity, *Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics*, 83, 261-291

V.S. Solomatov und L.-N. Moresi, 2002, Small-scale convection in the D'' layer, *J. Geophys. Res.*, 107

P.J. Tackley, 2000, The quest for Self-consistent Generation of Plate Tectonics in Mantle Convection Models, *AGU Monograph on the History and Dynamics of Global Plate Motions*

## Thermische Evolutionsmodelle für das Merkurinnere

M. Buske und U. Christensen

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

Die innere Struktur des Merkur ist nur sehr unzureichend bekannt. Die hohe Dichte legt einen großen Eisenkern nahe. Allerdings ist nicht klar, ob dieser Eisenkern fest, flüssig oder zumindest teilweise fest ist. Zudem stellt sich für Merkur die Frage nach dem Mechanismus, der das heutige globale, aber sehr schwache Magnetfeld erzeugt. Hier können thermische Evolutionsmodelle, die das Ausbilden eines festen inneren Kerns mitsimulieren, einen Beitrag zum Verständnis liefern.

Achsensymmetrische und erste dreidimensionale Simulationen zeigen, dass die Konvektion im Merkurmantel nach 4.5 Ga auf eine dünne Schicht begrenzt ist und der Mantel von einer dicken Lithosphäre dominiert wird. Die Größe des festen inneren Kerns hängt stark von den Schmelzbedingungen von Eisen mit einigen Prozent Schwefel (0.5 - 5 Gew.-%) ab, die bisher nicht durch Messungen genau bestimmt sind. Die angenommene Konvektionsstärke und die Temperaturstartbedingungen beeinflussen das Kernwachstum und die Größe zusätzlich. Das Ausbilden eines inneren Kerns ermöglicht chemische Konvektion und damit den Antrieb eines Dynamos, der eventuell das heute beobachtete Magnetfeld erklären kann. Ein thermisch getriebener Dynamo ist heute nicht mehr möglich, da der Wärmefluss aus dem Kern zu gering ist.

# A Numerical Model for Core Formation in Terrestrial Planets

R. Ziethe, W. Benz

Physikalisches Institut, University Berne, Sidlerstr. 5, 3012 Bern, Schweiz

The formation of a planetary core in terrestrial planets is still not well understood. It is commonly assumed that the formation of an iron core at the center of the terrestrial planets happened rather rapidly. However, it is still unclear how the separation of iron and silicate material took place. Nevertheless some reasonable scenarios are imaginable (Stevenson, 1990): percolation of liquid iron along grain boundaries in the silicate matrix, rainfall of iron droplets in a molten planetary mantle or sinking of large iron blobs (diapirs) through the solid planetary interior. Here we focus on one single process, which is the sinking of kilometer sized iron drops. Although this aspect of core formation may not have been the only one happening, it might still have dominated for some time. We want to investigate, whether the sinking of very large iron drops is an effective process, capable of bringing the iron to the planets center in a short time ( $\approx 30\text{Ma}$ ).

Recent research has led to the conclusion that even relatively small bodies like asteroids can be differentiated. Merk et.al. (2002) showed that the interior is strongly heated due to the decay of  $^{26}\text{Al}$ . Sometimes even the solidus temperature is exceeded. Yoshino et. al. (2003) show that heating within planetesimals by decay of short-lived radionuclides can increase the temperature sufficiently above the iron-sulphur melting point ( $\approx 1000^\circ\text{C}$ ) and thus trigger the fast segregation of iron alloy. Therefore even small planetesimals (30km radius) are expected to be at least partially differentiated. Since these objects would have been most abundant in the terrestrial region of the protoplanetary nebula (Kokubo, 2000), it is not unlikely that the Earth and other terrestrial planets formed by accretion of previously differentiated planetesimals. The cores of terrestrial planets may then be considered as a kind of blended composite of pre-formed cores.

To test the theory mentioned above we set up models of proto-planets which have roughly the size of the present bodies which consists of a mixture of silicate and iron or ice and rock, where the iron/rock is represented by randomly distributed objects.

For the formation of a core inside a homogeneous sphere out of a large number of diapirs, three effects have to be considered: first the collision of the diapirs will prevent them from taking the direct path to the center. Second, not all of the sinking objects have to go the full way to the center, since the core is growing. Third, trailing objects will catch up to leading ones, due to the reduction of drag force in the wake, which speeds up the sinking process.

We find that the sinking of large iron drops or rock particles happens rather fast. The cores can be finished within a couple of million years. However, one has to keep in mind, that the model is currently rather simple. Future work will not only include more effects that play a significant role in terrestrial core formation, but also take results from planet formation models and cosmochemistry into account.



## Erweiterte dreidimensionale Konvektionsmodelle zur thermischen Entwicklung des Marsinneren

M. Buske und U. Christensen

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

Anders als auf der Erde ist der junge Vulkanismus auf dem Mars in nur zwei Zentren konzentriert. Anomalien im Schwerfeld über diesen Gebieten verstärken die Annahme, dass das Konvektionsmuster im Marsmantel sich von dem der Erde unterscheidet und von nur zwei starken Aufströmen geprägt ist. Der Vortrag stellt umfassende 3-D Mantelkonvektionsmodelle zur thermischen Entwicklung des Marsinneren vor. In den Modellen variiert die Viskosität mit der horizontal gemittelten Temperatur und dem Druck einem Arrheniusterm folgend. Dadurch kann das Ausbilden der Lithosphäre und die Abnahme der Konvektionsstärke im Lauf der Evolution modelliert werden. Zusätzlich werden die Tiefenabhängigkeit des thermischen Ausdehnungskoeffizienten und die Tiefen- und Temperaturabhängigkeit der thermischen Leitfähigkeit berücksichtigt und ihr Einfluss auf das Konvektionsmuster und die thermische Entwicklung untersucht. Die Temperatur an der KMG nimmt entsprechend des Wärmeflusses in den Mantel ab, so dass das Abkühlen des Kerns während der Evolution realisiert wird. Die Modelle umfassen weiterhin im Marsmantel mögliche endo- und exotherme Phasenübergänge des Olivins. Die Simulationen bestätigen, dass die besondere Lage des endothermen Phasenübergangs von  $\gamma$ -Spinell zu Perowskit im Mars das Konvektionsmuster stark beeinflusst. Im Unterschied zur Erde tritt dieser Übergang im Mars eventuell dicht über der Kern-Mantel-Grenze auf und reduziert dort die Anzahl der Aufströme nach 4.5 Ga auf nur zwei. Die berücksichtigten Tiefenabhängigkeiten des thermischen Ausdehnungskoeffizienten und der thermischen Leitfähigkeit haben keinen starken Einfluss auf die thermische Entwicklung des Planeten bzw. kompensieren sich die Effekte, wenn beide Tiefenabhängigkeiten berücksichtigt werden. Allerdings verringert sich in diesem Fall der Einfluss der kernnahen endothermen Phasengrenze und auch ohne diesen Übergang entsteht ein Konvektionsmuster mit nur wenigen Aufströmen. In den erweiterten Evolutionsmodellen wird darüber hinaus deutlich, dass der Wärmefluss aus dem Kern nur in der Frühphase der Entwicklung ausreicht, einen Dynamo thermisch anzutreiben. Dieser frühe Dynamo könnte für das hohe Alter der starken Krustenmagnetisierung auf dem Mars verantwortlich sein. Da der Marskern in den Modellen komplett flüssig bleibt, entfällt chemische Konvektion als Dynamoantrieb und das Fehlen eines aktuellen globalen Magnetfeldes wird verständlich.

## Großskalige Konvektion als Ursprung der Dichotomie auf Enceladus?

M. Grott<sup>1</sup>, F. Sohl<sup>1</sup> und H. Hussmann<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut für Planetenforschung, DLR, Berlin

<sup>2</sup>Institut für Planetologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Cassini Beobachtungen haben gezeigt, dass Saturns E-Ring durch gegenwärtig aktive Geysire am Südpol des Mondes Enceladus gespeist wird. Die Region, von der die Aktivität ausgeht, ist auf Gebiete südlich des 65 Breitengrades beschränkt und weist eine sehr junge und von tiefen Riftstrukturen, den sogenannten "Tiger Stripes", durchschnittene Oberfläche auf. Ferner wird die Region konzentrisch von Faltungen eingeschlossen. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Aktivität von einem unter dem Südpol befindlichen Mantelplume gespeist wird, wobei der Ursprung der Energiequelle noch weitgehend ungeklärt ist. Im Gegensatz zur aktiven Südpolregion ist die Nordpolregion durch eine sehr alte Oberfläche gekennzeichnet und es fehlen jegliche Spuren geologischer Aktivität. Der Ursprung dieser Dichotomie ist schlecht verstanden, allerdings spricht viel für eine endogene Ursache.

Messungen des Cassini Infrarot Spektrometers haben ergeben, dass in Enceladus Südpolregion zwischen 3 und 7 GW Leistung abgestrahlt werden. Unter der Annahme, dass die dafür benötigte Energie homogen im Satelliten dissipiert wird, untersuchen wir die sich einstellenden Konvektionsmuster mit zweidimensionalen axialsymmetrischen Modellen. Da der Differenzierungszustand des Mondes noch weitgehend ungeklärt ist, werden wir dafür sowohl differenzierte als auch undifferenzierte Modelle betrachten und uns besonders auf die Fälle konzentrieren, in denen großskalige Konvektionsmuster zur Ausbildung von asymmetrischen Hemisphären führen.

## Determining Mercury's Tidal Love Number and Libration With Laser Altimetry

C. Koch, U.R. Christensen, and M. Hilchenbach

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

Solar tides generate elevation changes of Mercury's surface of the order of 1 m within one Hermean year. This can be described through the tidal Love number and the libration amplitude. The inner structure and core size of Mercury can be determined from these parameter. The MESSENGER and BEPI COLOMBO missions each include a laser altimeter for mapping the global topography of Mercury.

We present results for the inversion of synthetic data for the BELA laser altimeter and invert simultaneously for static topography and time-dependent variations. Good resolution of the long-wavelength topography to a spherical harmonic degree larger than 40 is essential for recovering the Love number and libration amplitude. For ideal data, i.e. uninterrupted data acquisition and strictly Gaussian noise, they can be determined within a few percent. Furthermore, we will discuss the influence of periodic and/ or random data gaps.

## Einfluss einer subduzierenden Platte auf die durch glaziale Änderungen in Patagonien verursachte Hebungsbewegung

V. Klemann<sup>1</sup>, E. Ivins<sup>2</sup>, Z. Martinec<sup>1</sup>, D. Wolf<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GeoForschungszentrum Potsdam

<sup>2</sup>Jet Propulsion Laboratories Pasadena, USA

volkerk@gfz-potsdam.de

Mit Hilfe moderner geodätischer Messtechniken wie GPS und der hoch auflösenden Satelliten gestützten Schwerevermessung (GRACE) können rezente Bewegungen der festen Erde beobachtet werden, die u. A. durch Veränderungen von Eismassen verursacht sind. In den Anden Patagoniens befinden sich Eiskappen (das nord- und südpatagonische Eisfeld), deren Mächtigkeit während der letzten Jahrhunderte stark variierte. Durch ihre Lage nahe der Grenze zwischen der Antarktischen und der Südamerikanischen Platte befinden sie sich in einem tektonisch aktiven Gebiet. Die kontinentale Seite zeichnet sich durch die Subduktion der jungen oceanischen Platte ( $< 18$  Ma) aus. Der Vulkanismus dort ist adakitisch, was auf einen niederviskosen an Volatilen angereicherten Bereich unterhalb der Vulkane hindeutet. Um den Einfluss dieser anomalen rheologischen Mantelstruktur auf die glazial-isostatische Ausgleichsbewegung zu untersuchen, wird der Prozess mit einem zweidimensionalen gravito-viskoelastischen Erdmodell in sphärischer Geometrie modelliert. In einer Fallstudie wird die Schwankungsbreite der Observablen untersucht in Hinblick auf diesen niederviskosen Bereich, auf die Eigenschaften der subduzierenden Platte, auf den Kontrast der elastischen Lithosphärendicke zwischen ozeanischer und kontinentaler Platte und in Hinblick auf den Einfluss einer niederviskosen Zone in der Erdkruste.

## Kinetic Scaling of Metastable Phase Transformations

Michael R. Riedel

University of Potsdam, Department of Geosciences, Golm

Rheological structure of subducting slabs at convergent plate boundaries is strongly influenced by changes in creep properties of slab materials due to high-pressure mineral transformations. Thermo-mechanical modelling of slab strength with inclusion of the olivine-spinel phase transformation in the mantle transition zone show, for example, that subducting slabs have a complicated rheological structure, with strong variations both laterally and with depth, due to large variation in temperature, stress and grain-size.

One particular problem regards the influence of metastable phases. Sluggish kinetics due to metastable hindrance is likely to cause particular difficulties, because of possible strong non-linear feedback loops between strain-rate and change of creep properties during transformation. In order to include detailed kinetics into thermo-mechanical modelling of convergent plate margins, reliable kinetic data of high-pressure mineral phase transformations is required. The derivation of mesoscopic transport coefficients like heat conductivity, shear or bulk viscosity, and other kinetic material parameter (including surface tension for solid-state nucleation) is, however, in general a time-scale dependent problem. The determined values of these coefficients are under laboratory conditions not necessarily in agreement with those valid for natural conditions at the geological time scale.

Here I will discuss a method how measured (in-situ) kinetic data at the laboratory time scale can be extrapolated to the geological time scale using a scaling law for the kinetic phase boundary of uni-variant phase transitions under natural conditions (Riedel and Karato, 1997). According to this approach, any given kinetic phase boundary  $\Delta p_{kin}(T)$  (measured at the laboratory time scale) can be scaled to the corresponding critical isotherm at subduction zones, under experimentally forbidden conditions (Liou *et al.*, 2000).

Riedel M.R., Karato S., 1997, Grain-Size Evolution in Subducted Oceanic Lithosphere Associated with the Olivine-Spinel Transformation and Its Effects on Rheology. *EPSL* 148: 27-43

Liou J.G., Hacker B.R., Zhang R.Y., 2000, Into the forbidden zone. *Science* 287, 1215-1216

Riedel M.R., 2006, Kinetic Scaling of Metastable Phase Transformations, contribution EGU06-A-02801, EGU General Assembly, Vienna, Austria, April 2-7

## Small-scale Convection und partielles Schmelzen in numerischen 3D-Simulationen

M. D. Ballmer, J. van Hunen

Institut für Geophysik, ETHZ, Zürich, Schweiz

Im oberen Erdmantel bilden sich unter normalerweise 70 Ma alten ozeanischen Lithosphäre aufgrund konvektiv instabil gewordener Thermal Boundary Layer kleinräumige Konvektionsströme (Small Scale Convection), die sich walzenförmig entlang der Bewegungsrichtung der Platte ausrichten. Die Up- und Downwellings liegen bei einem Temperaturunterschied von 200 °C 100-200 km auseinander. SSC setzt aber bei hoher Ra-Zahl (z.B. bei heißem oder nassem Mantel), an Transformstörungen oder Hotspot Tracks bereits deutlich früher ein. SSC unter junger und dünner Lithosphäre (bis 50 Ma) ermöglicht partielles Schmelzen des Erdmantels in den Upwellings. Dabei wird der durch Verarmung des Mantels an Eisen und zurückhalten der leichten Schmelzphase der Auftrieb signifikant erhöht. Druckentlastung führt in einer positiven Rückkopplung zu weiterem Schmelzen (Buoyant decompression melting). Dieser Mechanismus wurde bereits als alternative Erklärung für Vulkanketten auf der pazifischen Platte herangezogen [Raddick et al. 2002]. Wir stellen hiermit die vorläufigen Ergebnisse einer Reihe von 3D thermo-chemischen numerischen Simulationen mit einer erweiterten Version des Fluidynamik-Codes CITCOM über das Zusammenwirken von SSC und BDM vor. Zahlreiche Parameter wurden variiert: Potentielle Mantelviskosität und -temperatur, Dichte der Schmelze und des verarmten Mantels, Plattengeschwindigkeit, adiabatischer Gradient, Wasserfugazität und -verteilungs-koeffizient oder auch Modus der Schmelzextraktion. Ausserdem wurden verschiedene Anfangsszenarien durchgespielt (Transformstörungen, laterale thermische oder kompositionelle Anomalien). Es ergibt sich, dass für durchschnittliche potentielle Temperaturen und hohe, aber realistische, Viskositäten, SSC partielles Schmelzen auslöst. Einst gestartet, ist das Schmelzen ein sich selbst verstärkender Prozess (BDM), der sich dadurch in punktuellen Upwellings fokussiert. Anomalien im Mantel oder Strukturen in der Lithosphäre beschränken in grenzwertigen Szenarien das Schmelzen lateral, so dass sich aus der extrahierten Schmelze eine Vulkankette aufbauen kann. Dieser Mechanismus ermöglicht bei niedrigeren Mantelviskositäten (d.h. frühes Einsetzen der SSC) partielles Schmelzen und ozeanischen Intraplattenvulkanismus.

## Thermische Konvektion im Kugelspalt: Experimentelle und numerische Untersuchungen im Rahmen von GeoFlow

B. Futterer<sup>1</sup>, M. Gellert<sup>2</sup>, M. Huschto<sup>1</sup>, Th. von Larcher<sup>1</sup>, C. Egbers<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LS für Aerodynamik und Strömungslehre, Brandenburgische Technische Universität Cottbus

<sup>2</sup>AG Magneto hydrodynamik, Astrophysikalisches Institut Potsdam

Die experimentelle Untersuchung der thermischen Konvektion im rotierenden Kugelspalt unter dem Einfluss eines künstlich aufgebauten Zentralkraftfeldes ist Thema des Mikrogravitationsexperimentes GeoFlow, das im *Fluid Science Laboratory* FSL der Internationalen Raumstation ISS betrieben werden soll. Die auf einem Drehteller montierte Experimentzelle wird im Inneren geheizt und von außen gekühlt, um einen radialen Temperaturgradienten aufzubauen. Der Kugelspalt ist mit einem Silikonöl befüllt. An die Innenkugel wird ein Hochspannungswchselfeld angelegt. Mit den dielektrischen Eigenschaften des Arbeitsfluides entsteht so ein Zentralkraftfeld.

Die im Experiment erreichbaren Ähnlichkeitskennzahlen, Radienverhältnis, Rayleigh-Zahl und Prandtl-Zahl, sind prinzipiell mit den Parameterwerten für den Erdmantel vergleichbar. Im Rahmen verschiedener Experimentserien kann auch ein dem äußeren Erdkern vergleichbares Radienverhältnis realisiert werden. Die dort vorherrschenden kleinen Prandtl-Zahlen und sehr hohen Rayleigh-Zahlen werden im Experiment nicht erreicht.

Im Zentrum der experimentellen Untersuchungen steht die Dynamik thermischer Konvektion in einem Zentralkraftfeld. Begleitende dreidimensionale numerische Untersuchungen zeigen die Existenz verschiedener stationärer und instationärer Moden

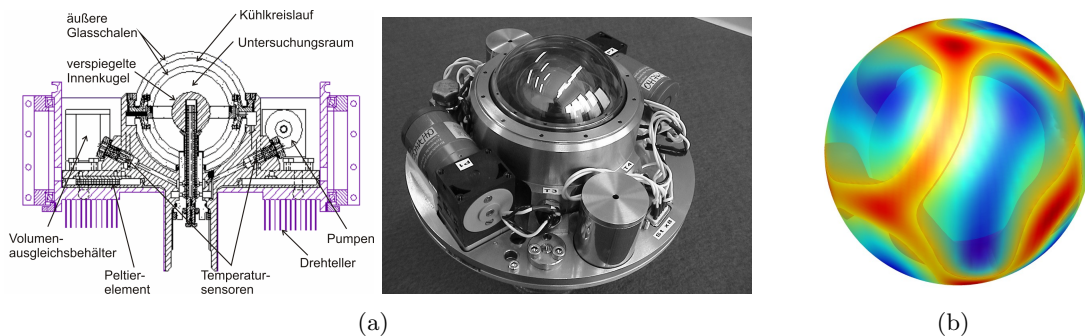


Abbildung 1: GeoFlow: (a) - Schnittdarstellung und Foto der Experimentzelle (b) - Konvektion im Kugelspalt: Radiale Geschwindigkeitskomponente ( $\eta = 0.5$ ,  $Pr = 64.6$ ,  $Ra = 2 \cdot 10^4$ ,  $Ta = 2 \cdot 10^4$ )

# Der Einfluss von festen Seitenrändern auf thermische Konvektionsströmungen

A. Fahl, M. Breuer und U. Hansen

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

<http://earth.uni-muenster.de/dyn>

Nicht nur in Laborexperimenten, in denen Fluide oder Gase in festen Behältern konvektiert, sondern auch in zahlreichen Naturphänomenen spielt der Einfluss fester Ränder eine wichtige Rolle. Zum Beispiel in schmalen Magmakämen bestimmt der stabilisierende Effekt der Seitenränder die Heftigkeit der Strömung des Magmas. Zusätzlich ist der Einfluss der Ränder ein wichtiger fundamentaler Aspekt in der Verifizierung von theoretischen Modellen.

Anhand eines numerischen Modells einer zweidimensionalen Rayleigh-Bénard Anordnung wurde der Einfluss von festen Seitenrändern auf das Verhalten von Konvektionsströmungen untersucht. Das Modell basiert auf dimensionslosen Gleichungen der Massen-, Impuls- und Energieerhaltung.

Dabei wurde bei einer festen Prandtlzahl von  $Pr = 100$  und für verschiedene Rayleighzahlen bis  $Ra = 10^{10}$  das Querverhältnis  $\Gamma$  (Breite durch Höhe) der Box zwischen  $\Gamma = 0.25$  und  $\Gamma = 4.0$  variiert.

Es zeigt sich, dass das Querverhältnis, vor allem im stark zeitabhängigen Strömungsregime, einen deutlichen Einfluss auf das Verhalten der Strömung hat.

Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei das Verhältnis zwischen dem „Mean Flow“ (zeitlich gemittelte Strömung), der sich aus großskaligen Konvektionszellen zusammensetzt, und den kleinskaligen Fluktuationen, die im Wesentlichen in Form von „Plumes“ auftreten. Bei kleinen Querverhältnissen ( $\Gamma < 1.0$ ) ist der Anteil des „Mean Flows“ an der gesamtkinetischen Energie deutlich größer als bei großen Querverhältnissen ( $\Gamma > 1.0$ ), bei der die Strömung durch die fluktuierenden „Plumes“ dominiert wird. Somit ist der Mechanismus des Wärmetransports bei großen und kleinen Querverhältnissen unterschiedlich, was sich in einer Variation der Beziehung  $Nu \propto Ra^b$  widerspiegelt. Es ist festzustellen, dass sich der Exponent  $b$  mit sinkendem Querverhältnis erhöht. Sein Wertebereich erstreckt sich dabei von  $b = 0.275(\pm 0.003)$  bei einem Querverhältnis von  $\Gamma = 4.0$  bis  $b = 0.315(\pm 0.002)$  bei  $\Gamma = 0.25$ .



## Numerische Simulation von Strömungen in porösen Medien - ein spezielles Gittergasmodell

Uwe-Johannes Hehmann und M. Degutsch

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Strömungsverhalten in porösen Medien ist ein weites Gebiet von interdisziplinärem Interesse. Die Kenntnis von Fließeigenschaften von Gasen und Flüssigkeiten im Untergrund beeinflusst entscheidend unter anderem die Studien von Magmentransport durch die Erdkruste, Ausbildung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten, Beseitigung und Isolation von gefährlichen Altlasten und Untersuchungen des Grundwasserflusses. Die Permeabilität eines Mediums, ein Maß, welches angibt, wie *leicht* eine Flüssigkeit oder ein Gas das umgebende Gebiet durchdringen kann, ist in allen Fällen der primär interessante physikalische Parameter.

Der Vortrag stellt eine Strömungssimulation in zwei-dimensionalen porösen Medien und die Bestimmung von Permeabilitäten mittels eines speziellen Gittergases vor. Gittergase sind besondere zelluläre Automaten, die bedingt durch die Beschreibung der Mikrodynamik fiktiver Teilchen auf einem diskreten Gitter in diskreten Zeitschritten, die makroskopischen Gleichungen, wie Navier-Stokes-Gleichung und Kontinuitätsgleichung, erfüllen.

Zur Strömungssimulation in porösen Medien sind Gittergase besonders gut geeignet, da sich die Behandlung von Hindernissen im Strömungsfeld im Vergleich zu den *üblichen* numerischen Verfahren (finite Differenzen, finite Elemente, finite Volumen) als recht einfach darstellt. Auf mikroskopischer Ebene werden Kollisionsregeln zwischen den Teilchen und den Hindernissen definiert, die im makroskopischen zur Erfüllung der 'no-slip'-Randbedingung an den Grenzflächen zwischen Flüssigkeit und Hindernissen führt.

Das spezielle Gittergas stellt eine Variation des von Frisch, Hasslacher und Pomeau 1986/87 vorgestellten FHP-I-Modells dar, ohne in die Klasse des FHP-II oder FHP-III zu fallen. Es wurden weitere Kollisionsregeln für die Teilchen eingeführt, die eine Simulation von engeren Durchlasskanälen im Bereich der porösen Medien im Vergleich zu dem FHP-I ermöglichen.

Für verschiedene Porositäten mit unterschiedlichen Hindernisanzahlen und -größen werden explizit einzelne Ergebnisse resultierender Strömungsprofile vorgestellt, um das Strömungsverhalten quantitativer diskutieren zu können. Es wird gezeigt, dass das Darcy-Gesetz erfüllt ist, und wie anhand des linearen Zusammenhangs zwischen Flussrate und Druckgradient die numerischen Permeabilitäten zu den einzelnen Porositäten bestimmt werden können.

Um die numerischen Ergebnisse, gegeben in skalierten Größen von Gittereinheiten, mit realen Systemen vergleichen zu können, wird gezeigt, wie sich zur Ausnutzung der dynamischen Ähnlichkeit die Reynoldszahlen errechnen lassen. Somit wird ein Vergleich von Modell zum natürlichen System ermöglicht.

## Influence of Inner-Core Size on the Onset of Convection

V. Aleksandrov, J. Wicht, and U. Christensen

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

The study of thermal convection in fluid spheres or spherical shells is an important step in understanding the dynamo process of the Earth. Self-sustained dynamos are driven by full three dimensional fluid motions in their electrically conducting liquid cores. Thus, study of the stability of the linearized system equations is a first step to deduce whether perturbations decay or increase with time. The geometry parameter is the radius ratio of inner boundary to outer boundary  $\eta = r_1/r_2$ . The parameter  $\eta$  is varied between 0.1 and 0.9. Internal heating  $\varepsilon$  is added in the temperature equation and Prandtl number is set to 0.1. The bounding surfaces of the fluid are rigid. Computations for Ekman numbers 0.1,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  are performed. For non-rotating fluid shells the computed critical Rayleigh numbers coincide with the numbers obtained by Chandrasekhar and do not depend on the Prandtl number. As a result it is obtained that the critical Rayleigh number increases with the decrease of Ekman number. The critical Rayleigh number increase with the decrease of inner core when internal heat sources are present but the dependence is more complicated when the temperature is fixed at the boundaries and there are not internal heating.

## The Geodynamo From the Perspective of Mantle Convection Modellers

U. Christensen

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

During the past ten years numerical simulations of the geodynamo found much attention and the field has attracted researchers also from the mantle convection community. The time delay of 25 years in the development of the two fields has several reasons. Most important is that Cowling's theorem does not allow the generation of purely axisymmetric magnetic fields by self-sustained dynamo action. Hence a self-consistent dynamo model must be three-dimensional from the outset. While mantle flow is simply governed by Stokes law, i.e. a balance between buoyancy and viscous friction, the force balance for core flow is much more complex. Inertia cannot be neglected on short time scales, although it may not be of prime importance. The Coriolis force plays a key role in structuring the flow and is balanced by the electromagnetic Lorentz force to first order. Viscous forces are almost negligible in the core, which creates large problems for the stability of numerical methods. Because of the competing symmetries of buoyancy forces (radial) and Coriolis forces (axial), spherical models are essential. Plane layer dynamo models, which are computationally simpler, miss important aspects. In addition to the familiar (in mantle convection) advection-diffusion equation for temperature and/or composition, a similar equation must be solved for the magnetic field (i.e. for a vector rather than a scalar). While the fundamental physical laws governing core flow are more complex than those for mantle convection, complexities of the material properties that are very important for mantle rock, such as the strong temperature dependence or nonlinearity of viscosity, are irrelevant in liquid iron.

Mantle convection models can today be calculated at the appropriate parameter values (correct Rayleigh number) even in 3D, but this is not possible for core convection. Key parameters, such as the Ekman number (describing the ratio of viscous forces to the Coriolis force) or the magnetic Prandtl number (the ratio of viscosity to thermal diffusivity) are off by many orders of magnitude. As a consequence the hierarchy of forces acting on the flow is not necessarily the same in the models as it is in the Earth's core and results must be interpreted with care. Dynamo models have been calculated with two different purposes in mind. One is the fundamental understanding of how magnetic field is generated, in particular the dominant dipole part. Here the helical structure of the convective flow in columns that are aligned with the rotation axis seems to play the key role. Another aim is to reproduce the characteristic structure in space and time of the geomagnetic field as faithfully as possible. Some models are successful to a surprising degree. They create not only a dipole-dominated field of about the right strength but also agree in the characteristic morphology of the multipole components and exhibit stochastic dipole reversals closely resembling to what is known for the Earth from paleomagnetism. To understand if the agreement is fortuitous (given the large discrepancies in control parameters) or if the numerical models are in the right dynamical regime, scaling laws that relate the Nusselt number, characteristic velocity and characteristic magnetic field strength to the control parameters are required. Such scaling laws have been found empirically, using a large number of dynamo simulations. The fact that these relations exist for non-dimensional numbers that are independent of viscosity and diffusivities suggests that the dynamo models are (almost) in a regime that also exists in the core.

Mantle flow and core convection meet at the core-mantle boundary. Their interaction is predominantly thermal. The core is the slave and the mantle is the master who imposes a condition of non-uniform heat flow on core convection. Non-zonal differences in heat flow break the axial symmetry of the dynamo and should lead to a longitudinal bias in the statistical properties of the geomagnetic field. The question whether deviations from axisymmetry exist in the time-average geomagnetic field or in the distribution of paths of the virtual geomagnetic pole during reversals is discussed controversially in the paleomagnetic community. Dynamo models, in which the pattern of heat flow is related to seismic velocities anomalies in the lowermost mantle from tomography, predict longitudinal differences in geomagnetic properties in agreement with suggested pattern from paleomagnetic data. If this can be substantiated it would support a thermal rather than a compositional interpretation of seismic velocity anomalies in the Dlayer.

## Magnetokonvektion unter dem Einfluss starker Rotation

Wolfgang Raabe und Stephan Stellmach

Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Konvektionsströmungen elektrisch leitfähiger Fluide unter dem gleichzeitigen Einfluss von Rotationskräften und Magnetfeldern treten in vielen natürlichen Systemen, beispielsweise im Erdkern oder in der Konvektionszone von Sternen auf. Die Dynamik solcher Strömungen wird von komplexen Wechselwirkungen bestimmt und ist bis heute nur unzureichend verstanden.

Wir untersuchen derartige Strömungen in einem einfachen idealisierten Modell. In einer elektrisch leitfähigen Flüssigkeitsschicht werden durch eine vorgegebene Temperaturdifferenz zwischen unterem und oberem Rand Konvektionsströmungen erzeugt. Die Flüssigkeitsschicht befindet sich in einem homogenen Magnetfeld und rotiert um eine vertikale Achse.

Der Schwerpunkt der Studie liegt auf schnell rotierenden Systemen mit niederviskosen Flüssigkeiten, da dieser Fall für geophysikalische Fragestellungen besonders relevant ist. Die Modellrechnungen zeigen, dass der Charakter der Konvektionsströmungen stark von der Stärke des aufgeprägten Feldes abhängt. Für schwache aufgeprägte Magnetfelder ist die Strömung sehr feinskalig und viskose Reibungskräfte prägen das Systemverhalten, während für starke Felder heftige großskalige Konvektionsströmungen entstehen, die einen sehr effizienten Wärmetransport ermöglichen. Die Dynamik folgt in diesem Fall weitgehend einer magnetostrophischen Kräftebilanz, in der viskose Kräfte im Vergleich zu Auftriebs-, Coriolis- und Lorentzkräften sehr schwach sind. Elektrische Ströme dissipieren in diesem Regime die Energie, die dem System durch die Auftriebskräfte zugeführt wird.

Mithilfe einer systematischen Parameterstudie untersuchen wir das Systemverhalten als Funktion der Kontrollparameter. Wir berechnen die Stärke eines möglichen  $\alpha$ -Effektes um zu untersuchen, inwieweit sich das System im Rahmen der klassischen Mean Field Theorie beschreiben lässt. Insbesondere wird untersucht, wie sich der Übergang ins magnetostrophische Regime auf den  $\alpha$ -Effekt auswirkt. Eine solche Untersuchung kann helfen, Sättigungsmechanismen für Dynamos besser zu verstehen.

## Saturns Dynamo ist anders

J. Wicht

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

Saturns Magnetfeld ist verblüffend einfach. Auch jüngste auf den Cassini-Messungen basierende Feldmodelle, die Dipole, Quadrupole, und Octupoleanteil recht gut eingrenzen, sind im Rahmen der Modellgenauigkeit perfekt achsensymmetrisch. Dies steht im Gegensatz zu typischen konvektions-getriebenen Dynamos, die etwa das Magnetfeld der Erde oder des Jupiters erfolgreich modellieren und einen beträchtlichen nicht-achsensymmetrischen Feldanteil aufweisen. Ein weiterer Unterschied ist die Richtung des Oktupolfeldanteils in den Polregion. In konvektions-getriebenen Dynamos ist er typischerweise dem Dipolfeld entgegengerichtet, beim Saturnfeld jedoch weisen beide Anteile in die gleiche Richtung. Sowohl die Oktupolrichtung als auch die starke Achsensymmetrie lassen sich mit einem alternativen Dynamomodell erklären, dass nicht durch Konvektion sondern durch differentielle Rotation angetrieben wird.

Differentielle Rotation ist auch die Quelle neuere Dynamoexperimente antreibt, wie sie zur Zeit in Genoble und an der University of Maryland entstehen. Die Simulation dieser Experimente war das ursprüngliche Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen. Der verwendete Aufbau ist der folgende: Ein Kugelspalt, begrenzt durch eine äußere und eine innere Kugelschale, wird mit einer leitfähigen Flüssigkeit gefüllt; in den Experimenten ist dies Natrium. Die innere Begrenzung rotiert mit einer Winkelgeschwindigkeit, die sich um  $\Delta\Omega$  von der Rotationsrate  $\Omega$  der äußeren Begrenzung unterscheidet. Die Grundlösung dieses Problems ist ein rein achsensymmetrisches Geschwindigkeitsfeld, die Flüssigkeit über und unter der inneren Kugelschale rotiert im wesentlichen mit  $\Delta\Omega/2$ , der Großteil des Fluids korotiert jedoch mit der äusseren Kugelschale. Übersteigt nun der Absolutbetrag der Rossby-Zahl,  $Ro = \Delta\Omega/\Omega$ , einen kritischen Wert, so wird die Grundlösung instabil, und es wachsen nicht-achsensymmetrische Scherinstabilitäten. Die Lösungen für positive und negative Rossby-Zahlen sind unterschiedlich. Unsere Simulationen zeigen, dass diese Instabilitäten in der Tat Dynamos antreiben können. Unklar bleibt jedoch, ob die Experimente die für eine Selbsterregung notwendige Rossby-Zahlen erreichen werden.

Die Magnetfelder dieses Dynamotypes zeichnen sich dadurch aus, dass sie an der äusseren Grenze der Dynamoregion extrem achsensymmetrisch sind. Das radiale Magnetfeld ist auf kleine Polkappen konzentriert und wird im wesentlichen durch achsensymmetrische Feldanteile von ungerader sphärisch harmonischer Ordnung beschrieben. Wie beim Saturn weisen Dipol und Oktupol das gleiche Vorzeichen auf, der Oktupolanteil ist jedoch in den Simulationen stärker. Detailliertere Feldmodelle werden zeigen, wie realistisch dieser alternative Dynamo für Saturn ist. Eine mögliche Quelle für Superrotation in Saturn ist Heliumregen. Kondensierte Heliumtröpfchen fallen ins Planeteninnere und transportieren so Drehmoment in tiefere Schichten.

## TEILNEHMER

- Aleksandrov, Vladislav** alexandrov@mps.mpg.de  
 Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung  
*Influence of inner-core size on the onset of convection*  
 Abstract S. 17
- Ballmer, Maxim** ballmer@tomo.ig.erdw.ethz.ch  
 ETH Zürich  
*Small-scale Convection und partielles Schmelzen in numerischen 3D-Simulationen*  
 Abstract S. 13
- Buske, Monika** Buske@mps.mpg.de  
 Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung  
*Thermal Evolution of Mars and Mercury*  
 Abstract S. 8, Abstract S. 6, Poster
- Breuer, Doris** Doris.Breuer@dlr.de  
 DLR Berlin  
*Inneres und Dynamik anderer Planeten*  
 Abstract S. ??
- Christensen, Uli** Christensen@mps.mpg.de  
 Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung  
*The geodynamo from the perspective of mantle convection modellers*  
 Abstract S. 18
- Fahl, André** AFahl@uni-muenster.de  
 Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität  
 Münster  
*Der Einfluss von festen Seitenrändern auf thermische Konvektionsströmungen*  
 Abstract S. 15
- Futterer, Birgit** Futterer@TU-Cottbus.de  
 LS Aerodynamik und Strömungslehre, BTU Cottbus  
*Thermische Konvektion im Kugelspalt: Experimentelle und numerische Untersuchungen im Rahmen von GeoFlow*  
 Abstract S. 14
- Grott, Matthias** Matthias.Grott@dlr.de  
 DLR Berlin  
*Großskalige Konvektion als Ursprung der Dichotomie auf Enceladus?*  
 Abstract S. 9

- Harder, Helmut** Harder@earth.uni-muenster.de  
 Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität  
 Münster
- Hehmann, Uwe-Johannes** HehmannU@uni-muenster.de  
 Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität  
 Münster  
*Numerische Simulation von Strömungen in porösen Medien  
 - ein spezielles Gittergasmodell*  
 Abstract S. 16
- Huschto, Michael** MHuschto@gmx.de  
 LS Aerodynamik und Strömungslehre, BTU Cottbus
- Klemann, Volker** VolkerK.@gfz-potsdam.de  
 GFZ Potsdam  
*Einfluss einer subduzierenden Platte auf die durch glaziale  
 Änderungen in Patagonien verursachte Hebungsbewegung*  
 Abstract S. 11
- Koch, Christian** Koch@mps.mpg.de  
 Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung  
*Determining Mercury's Tidal Love Number and Libration  
 With Laser Altimetry*  
 Abstract S. 10
- Krippendorf, Bernd** Bernd.Krippendorf@uni-muenster.de  
 Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität  
 Münster  
*Verwendung des Arrhenius-Gesetzes für die Temperaturab-  
 hängigkeit bei Konvektion mit variabler Viskosität*  
 Abstract S. 4, Poster
- Langenhorst, Falko** Falko.Langenhorsts@uni-jena.de  
 Institut für Geowissenschaften, Friedrich-Schiller-Universität  
 Jena
- von Larcher, Thomas** Larcher@las.tu-cottbus.de  
 LS Aerodynamik und Strömungslehre, BTU Cottbus



- Möller, Alexandra**      AlexandraMoeller@googlemail.com  
Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität  
Münster
- Raabe, Wolfgang**      WRaabe@earth.uni-muenster.de  
Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität  
Münster  
*Magnetokonvektion unter dem Einfluss starker Rotation*  
Abstract S. 20
- Riedel, Michael**      Miker@geo.uni-potsdam.de  
Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam  
*Kinetic Scaling of Metastable Phase Transformations*  
Abstract S. 12
- Stellmach, Stephan**      Stellma@earth.uni-muenster.de  
Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität  
Münster
- Trümper, Tobias**      Tobit@uni-muenster.de  
Institut für Geophysik, Westfälische Wilhelms-Universität  
Münster
- Wicht, Johannes**      Wicht@mps.mpg.de  
Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung  
*Saturns Dynamo ist anders*  
Abstract S. 21
- Ziethé, Ruth**      Ruth.Ziethé@space.uni-bern.ch  
Physikalisches Institut, Universität Bern  
*A Numerical Model for Core Formation in Terrestrial Planets*  
Abstract S. 7

Northeim



Göttingen

