## Modellierung als Werkzeug

### Interviews mit drei Doktoranden des Helmholtz-Kollegs GeoSim

In unserer dichtbevölkerten Welt wird es immer wichtiger, Naturgefahren besser zu verstehen. Wissenschaftliche Beobachtungen und Messungen sind jedoch häufig zu ungenau, um die Dynamik der damit verbundenen Prozesse zu quantifizieren. Einige Beispiele:

- Wir können Gesteinslawinen beobachten, aber nur selten in Aktion vermessen. Insbesondere gilt das für große Lawinen. Weil diese Ereignisse schwer vorhersagbar sind, ist es kaum möglich, Messinstrumente gezielt aufzustellen.
- Die Konvektion im Erdmantel treibt die Plattentektonik an und ist damit der Schlüsselprozess, der den Aufbau unseres Planeten bestimmt. Wir können das Erdinnere zwar über geophysikalische Messungen beobachten, aber nur mit niedriger zeitlicher und räumlicher Auflösung.
- Und sogar in der Erdkruste, wo Messdaten eine viel bessere Qualität haben, werden die kleinskaligen Heterogenitäten in Störungs- und Gesteinseigenschaften kaum aufgelöst. Dennoch spielen sie bei der Entstehung von Erdbeben eine entscheidende Rolle.

Wo Messdaten nicht ausreichen oder konstitutive Gleichungen nicht definiert sind, nutzen die Geowissenschaften die mathematische Modellierung als Werkzeug. An dieser Schnittstelle zwischen den Geowissenschaften und der Mathematik setzen die Arbeiten der Doktorandinnen und Doktoranden des Helmholtz-Kollegs GeoSim an. Das Kolleg ist 2011 aus einer Zusammenarbeit von 12 geowissenschaftlichen und sechs mathematischen Forschergruppen am GFZ, an der Freien Universität Berlin und an der Universität Potsdam hervorgegangen und wird über sechs Jahre von der Helmholtz-Gemeinschaft gefördert. Die Doktorandinnen und Doktoranden erhalten die Chance, im Rahmen von GeoSim ein strukturiertes, interdisziplinäres Ausbildungsprogramm zu durchlaufen. Für diese Ausgabe von „System Erde. GFZ-Journal“ hat Dr. Karen Leever, GeoSim-Koordinatorin, mit zwei GeoSim-Doktorandinnen und einem Doktoranden am GFZ über ihre Doktorarbeiten und die darin verwendeten mathematischen Werkzeuge gesprochen.

### Der Motor im Erdmantel – Stabilität tiefer Mantelanomalien

**Karen Leever (KL): In Deiner Doktorarbeit beschäftigst Du Dich mit Ereignissen, die sich ganz weit unten im Erdmantel abspielen. Was ist das Schlüsselthema Deiner Forschung?**

Elvira Mulyukova (EM): Es wird allgemein akzeptiert, dass Mantelkonvektion – das langsame Fließen der Mantelgesteine, das mutmaßlich eine wichtige Antriebskraft der Plattentektonik ist – von Dichteunterschieden verursacht wird, die thermischen wie chemischen Ursprungs sind. Es mangelt aber an Kenntnissen über die thermochemischen Prozesse im Erdinnern, weil diese Prozesse nicht direkt beobachtet werden können. Eines der zuverlässigsten Resultate aufgrund von tomographischen Beobachtungen ist die Existenz von zwei großen S-Wellen-Geschwindigkeitsanomalien (Large Low Shear Velocity Provinces, LLSVP), die sich im untersten Teil des Erdmantels unter Afrika und dem Pazifik befinden (vgl. auch „System Erde. GFZ-Journal“ (2012) Heft 2, Artikel Sobolev und Steinberger, S. 56-61). Die niedrige Scherwellengeschwindigkeit in den LLSVP scheint nicht nur einen thermischen Ursprung (aufgrund höherer Temperatur) zu haben, sondern auch von chemisch unterschiedlichem Material mit höherer Dichte verursacht zu sein. Aufgrund von plattentektonischen Rekonstruktionen wird angenommen, dass die LLSVP sehr alt und stabil sind, und dass Material aus ihnen überwiegend von Manteldiapiren, die von ihren Rändern hochsteigen, zur Oberfläche gebracht wird.

Die Hauptfrage meiner Doktorarbeit ist, wie solche großen chemischen Reservoire wie die LLSVP über hunderte von Jahrmillionen existieren können, ohne dass sie von der Mantelkonvektion zerstört werden. Welche physikalischen Eigenschaften des LLSVP-Materials, wie Dichte und Viskosität, tragen dazu bei? Ich benutze numerische Modellierung, um zu erforschen, wie die Mantelkonvektion Material aus einer Bodenschicht mit höherer Dichte mitnimmt. Mein Ziel ist, die langfristige thermochemische Entwicklung des Erdmantels zu verstehen, insbesondere die Rolle unterschiedlicher Dichte und Viskosität in den chemischen Heterogenitäten.

*(Foto: E. Gantz, GFZ)*

**Dr. Karen Leever hat im Jahr 2007 ihre Doktorarbeit über die Entwicklung des Vorlandbeckens der Rumänischen Karpaten in Amsterdam verteidigt. Anschließend war sie als Postdoktorandin an der Universität Oslo, Norwegen. Seit 2010 arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am GFZ und ist hier zudem seit April 2011 Koordinatorin von GeoSim.**

**Weitere Informationen zu GeoSim:**
http://www.geo-x.net/geosim
Kontakt: Dr. Karen Leever (geosim@gfz-potsdam.de)

**Elvira Mulyukova** hat ihr Studium an der Universität Oslo, Norwegen, im Jahr 2011 mit einem M.Sc. in Physik abgeschlossen. In GeoSim setzt sie die in ihrer Masterarbeit begonnenen Forschungen über die Stabilität von tiefen Mantelanomalien mittels thermomechanischer numerischer Modellierungen fort. Elvira Mulyukova ist seit Oktober 2011 GeoSim-Stipendiatin und wird von Dr. Bernhard Steinberger (GFZ), Dr. Marcin Dabrowski (Labor für Numerische Geologie, Polnisches Geologisches Institut), und Prof. Volker John (WIAS/ Freie Universität Berlin) betreut.
**Kontakt: mulyukov@gfz-potsdam.de**

*(Foto: E. Gantz, GFZ)*

**KL: Wie nutzt Du Mathematik in Deiner Arbeit? Welche Gleichungen löst Du in Deinen Modellen?**
EM: Meine Aufgabe als numerische Modelliererin ist, zu überprüfen, ob das aus geologischen, geochemischen und geophysikalischen Beobachtungen zusammengesetzte konzeptionelle Modell physikalisch realistisch ist. Dazu ist eine mathematische Formulierung des physikalischen Systems erforderlich. Weil für das System von Gleichungen keine analytische Lösung möglich ist, wird es numerisch gelöst.

**KL: Was ist die numerische Methode, die Du anwendest und warum ist gerade diese geeignet?**
EM: Es gibt verschiedene rechnerische Herausforderungen bei der numerischen Modellierung von Konvektion in einer chemisch heterogenen Flüssigkeit, wie z. B. die großen Gradienten in der Temperatur, chemischer Zusammensetzung und Geschwindigkeit. Die Genauigkeit der Ergebnisse wird dadurch beeinträchtigt. Zusätzliche numerische Herausforderungen entstehen aufgrund der von Viskositätsunterschieden bedingten, sehr unterschiedlichen Längenskalen. Einzelne Filamente des in der Strömung mitgenommenen, chemisch unterschiedlichen Materials, die ich untersuchen will, sind nicht dicker als 0,1 % der Mantelmächtigkeit. Ich arbeite mit an der Entwicklung eines zweidimensionalen Finiten-Elemente (FEM)-Programms, das die Modellierung von thermochemischer Konvektion in einem hohlen Zylinder ermöglicht, mit einer tiefen- und temperaturabhängigen Viskosität, die dem Erdmantel entspricht. Wir nutzen eine „Marker-in-cell"-Methode für die Advektion der chemischen und thermischen Felder. Der größte Vorteil dieses Verfahrens ist, dass keine numerische Diffusion auftritt. Zur Zeit arbeite ich an der Minimierung von Interpolationsfehlern zwischen Markern und Gitter und an der rechnerischen Optimierung.

**KL: Zurück zum Mantel und den LLSVP. Was sind Deine wichtigsten Ergebnisse bislang? Und wie geht es weiter?**
EM: In unseren Modellen beobachten wir, dass die Mitnahme von dichtem Material aus der Tiefe vorangetrieben wird durch (a) Erwärmung. d. h. die dichte Schicht quillt auf, wenn die hohe Dichte aufgrund einer Temperatursteigerung ausreichend verringert wird, (b) Aufquellen des Umgebungsmaterials und (c) kalte Strömungen entlang der Kern-Mantel-Grenze, die das dichte Material nach oben zwingen. Unser Ziel ist, die Effizienz der einzelnen Mitnahmemechanismen zu vergleichen, sowie deren Abhängigkeit von Dichte- und Viskositätskontrasten zwischen LLSVP und Umgebungsmaterial. Unsere Modellergebnisse sollen zeigen, welche thermischen und chemischen Strukturen das größte Überlebenspotenzial haben. Zuverlässige und genaue Simulationsmethoden sind unentbehrlich für ein besseres Verständnis der beteiligten physikalischen Prozesse.

**Box 1:** Unser mathematisches Modell enthält die folgenden Erhaltungsgesetze:

Massenerhaltung

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

Impulserhaltung

$$Ra\left(T + \frac{Rc}{Ra}\Phi\right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right]$$

Energieerhaltung

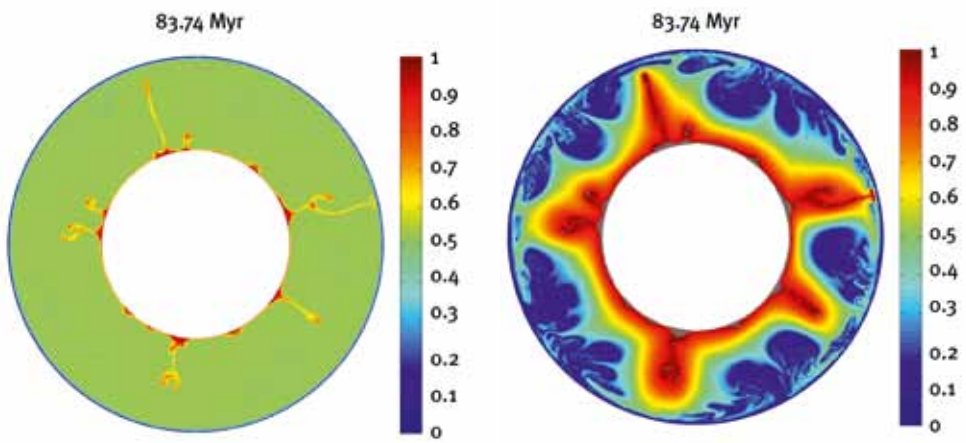
$$\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\bar{\kappa}\frac{\partial T}{\partial x_i}\right)$$

In diesen Differenzialgleichungen bestimmen Ra und Rc (die thermische und chemische Rayleighzahl) die Intensität der Konvektion. Der Dichteunterschied, der die Konvektion antreibt, ist eine einfache Summe aus den thermischen und chemischen Komponenten:

$$\Delta\rho = \Delta\rho_{th} + \Delta\rho_{ch} = \rho_0^A \alpha T + (\rho_0^A - \rho_0^B)\Phi$$

Mineralphysikalische Experimente haben gezeigt, dass die Viskosität der Mantelmaterialien stark von Temperatur und Druck abhängt. Die Druckabhängigkeit wird als eine Funktion der Tiefe ausgedrückt. Somit wird die Viskosität in unserem Modell wie folgt dargestellt:

$$\mu = \mu_i \exp[-\theta^T(T - T_0) + \theta^z(z - z_0)]$$




*Thermochemische Konvektion in einem hohlen Zylinder nach rund 85 Mio. Jahren. Links: Temperatur (rot ist heiß); rechts: Farben stellen die ursprüngliche Tiefe des Materials dar; Dunkelrot: Material, das sich am Anfang an der Kern-Mantel-Grenze befand; Dunkelblau: Material war an der Erdoberfläche; Grau: LLSVP-Material, das am Anfang eine gleichmässige Schicht auf dem Mantelboden bildete. Dieses Ergebnis illustriert, wie heiße Manteldiapire dichtes Material aus der Tiefe mitführen und deformieren.*

## Erdbebeninteraktion verstehen und Seismizität vorhersagen

**KL: Was ist das Ziel deiner Doktorarbeit?**
Camilla Cattania (CC): Mein Ziel ist es, Seismizitätsmodelle, die Ort und Zeit von Erdbeben probabilistisch vorherzusagen versuchen, zu verbessern. Insbesondere versuche ich Nachbebensequenzen zu verstehen, indem ich Coulomb-Spannungswechselwirkungen und aus dem Labor bekanntes Reibungsverhalten in meinen Modellen berücksichtige.

**KL: Könntest Du das weiter erläutern? Wie wird Deine Arbeit zu verbesserten probabilistischen Vorhersagen beitragen?**
CC: Erdbeben entladen Spannungen, die sich auf den Störungen und deren Umfeld aufgebaut haben. Die Entladung führt zu Änderungen des Spannungsfelds in der Umgebung der Störungen, welche die Nachbebenaktivität bewirken. Diese Änderungen der Coulomb-Spannung (∂CFS) sind das Fundament von modernen physik-basierten Erdbebeninteraktionsmodellen.
Es bestehen aber große Unsicherheiten in den Spannungsberechnungen, die beachtet werden müssen, wenn daraus probabilistische Vorhersagen abgeleitet werden sollen. Die meisten Modelle nehmen außerdem an, dass sich das Spannungsfeld nur durch die Hauptbeben ändert, d. h. die postseismischen Prozesse werden ignoriert. Das Ziel meiner Arbeit ist es, Modelle zu erzeugen, die sowohl die Unsicherheiten in der Berechnung der Coulomb-Spannung, als auch zeitliche Änderungen des Spannungsfelds berücksichtigen.

**KL: Welche Simulationsmethoden benutzt Du und warum genau diese?**
CC: Ich würde meine Methode als „Physik-basierte Modellierung“ bezeichnen, im Gegensatz zu statistischen Seismizitätsmodellen, die ausschließlich auf empirischen Gesetzmäßigkeiten basieren, wie z. B. dem Omori-Gesetz für das Abklingen der Nachbebenaktivität und dem Gutenberg-Richter-Gesetz für die Größenverteilung. Dennoch enthalten meine Modelle eine stochastische Komponente: Die inherenten Unsicherheiten sind so groß, dass ein rein deterministisches Modell nicht ausreichen würde, um die beobachtete Seismizität zu beschreiben. In unserem Ansatz werden Unsicherheiten stochastisch berücksichtigt, indem die Simulation mit geänderten ∂CFS-Werten wiederholt wird.
Außerdem deuten beobachtete zeitliche Seismizitätsänderungen auf die Existenz zeitabhängiger physikalischer Prozesse hin, wie z. B. Änderungen der Reibungseigenschaften („Rate-state friction“) und räumliche Spannungsumlagerungen durch postseismische Prozesse. Viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nehmen an, dass Afterslip (d. h. aseismisches Nachkriechen infolge eines Erdbebens) und Nachbeben (d. h. durch das Hauptbeben verursachte Erdbeben) eine entscheidende Rolle für die weitere Entwicklung der Seismizität besitzen. Zur Analyse dieser Prozesse erweitern wir unsere Modelle, indem wir zeitabhängige ∂CFS-Werte berücksichtigen.

**KL: Welche mathematischen Werkzeuge nutzt Du?**
CC: Ich benutze eine Monte-Carlo-Technik zur Berücksichtigung der Unsicherheiten. Mit den oben beschriebenen Methoden erhalten wir einen großen Satz von ∂CFS-Werten. Für jeden Wert wird die Seismizitätsrate als Funktion von Zeit und Raum berechnet, indem eine auf den Reibungsgesetzen beruhende Differentialgleichung gelöst wird. Analytische Lösungen gibt es dabei nur für einfache Belastungsgeschichten, z. B. wenn sich die Spannungen linear oder logarithmisch mit der Zeit ändern. Die Lösung für beliebige Spannungsverläufe erhalten wir durch die Interpolation der Spannungsgeschichte als stückweise lineare Funktion.
Letztendlich berechnet sich die Modellvorhersage durch die Mittelung aller möglichen Realisierungen der ∂CFS-Funktionen. Dabei wird die Entwicklung der Seismizität durch drei Parameter gesteuert, nämlich durch die Erdbebenrate vor dem Hauptbeben ($r_0$), die Empfindlichkeit der Störungen für Spannungsänderungen ($A\sigma$) und die Zeitskala ($t_a$), in der die Seismizität nach einer Spannungsänderung wieder in ihren Normalzustand zurückkehrt. Diese Parameter schätzen wir mit Hilfe der Maximum Likelihood-Methode (siehe Box 2) aus den beobachteten Erdbebenkatalogen ab.

**KL: Hast Du ein Beispiel?**
CC: Das Parkfield-Erdbeben im Jahr 2004 ($M_w = 6{,}0$) in Kalifornien, USA, wurde von besonders großem Afterslip begleitet (das seismische Moment des Nachkriechens war von der gleichen Größenordnung wie das des Hauptbebens), und ist deswegen ein interessantes Beispiel, um die Rolle der postseismischen Pro-

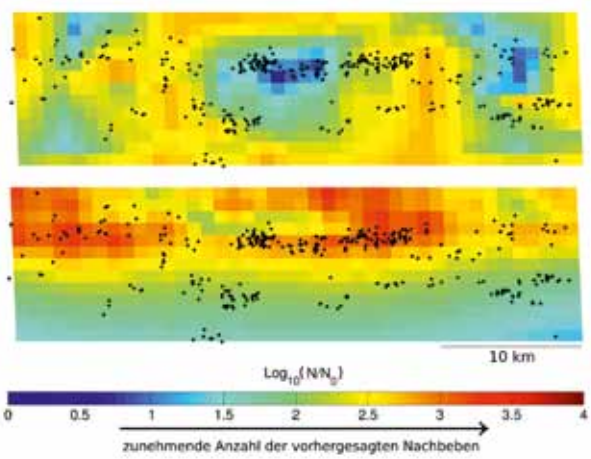
**Camilla Cattania** hat 2011 ihren M.Sc. in Physik an der Universität Cambridge in England erhalten. Sie wird von PD Dr. Sebastian Hainzl und Prof. Frank Roth am GFZ betreut und ist seit Oktober 2011 Mitglied in GeoSim. **Kontakt: camcat@gfz-potsdam.de**

*(Foto: E. Gantz, GFZ)*

zesse bei der Erzeugung von Nachbeben zu untersuchen. Unsere Analyse zeigt, dass die Berücksichtigung des Nachkriechens einen großen Einfluss auf die Anzahl der vorhergesagten Ereignisse hat und ausserdem die Vorhersage der räumlichen Erdbebenverteilung erheblich verbessert (siehe Abbildung unten).

**KL: Was sind Deine wichtigsten Schlussfolgerungen?**

CC: Insgesamt zeigen unsere Ergebnisse, dass die Berücksichtigung der zeitabhängigen postseismischen Prozesse das Potenzial hat, die probabilistische Abschätzung über Ort und Zeit mittelfristig auftretender Erdbeben zu verbessern. Zur Zeit sind wir damit beschäftigt, das Modell zu erweitern, um zusätzliche Quellen von Unsicherheiten und sekundäre Erdbebenwechselwirkungen berücksichtigen zu können. Künftig werden wir unsere Modelle auch auf andere Nachbebensequenzen anwenden, wie z.B. die Sequenzen des Tōhoku-Erdbebens 2011 ($M_w$=9,0) und des Darfield-Erdbebens 2010 ($M_w$=7,1).




*Beobachtete Seismizität (schwarze Punkte: Nachbeben $M_w$ > 2,0) auf der Störung des Hauptbe-bens in den 250 Tagen nach dem Parkfield-Erdbeben 2004 ($M_w$ = 6,0) in Kalifornien, USA. Die Hintergrundfarben zeigen das Verhältnis zwischen der Anzahl der vorhergesagten Beben und den Hintergrundbeben, mit Berücksichtigung von Hauptbebenspannungen (oben) bzw. Nachbebenspannungen (unten). Die Verteilung der untiefen Nachbeben wird im letzteren Fall besser vorhergesagt.*

**Box 2:**

Das Seismizitätsmodell basiert auf drei Parametern ($r_0$, $A\dot{\sigma}$, und $\tau$ oder alternativ $t_a$=$A\sigma/\tau$), deren Wert θ=($r_0$, $A\sigma$, $t_a$) über die Maximierung des Likelihood-Werts ermittelt wird.

$r_0$: Erdbebenrate vor dem Hauptbeben
$A\sigma$: Empfindlichkeit der Störungen für Spannungsänderungen
$t_a$: Zeitskala, in der die Seismizität nach einer Spannungsänderung wieder in ihren Normalzustand zurückkehrt

Für eine Anzahl von Beobachtungen $y_i$ (z.B. Zeit und Ort der Erdbeben), ist der Likelihood-Wert $L$ eines Parametersatzes $\theta$ definiert als die Wahrscheinlichkeit, mit der das Modell basierend auf den Parametern $\theta$ die Beobachtungen reproduziert:

$$L(\theta|y), P(y|\theta)$$

Für einen Katalog mit Ereignissen zu Zeiten ($t_1$, $t_2$, $t_3$, ..., $t_N$) und Orten ($x_1$, $x_2$, $x_3$, ..., $x_N$) gilt

$$P(y|\theta) = \left[\prod_{i=1}^{n} r(x_i, t_i)\right] e^{-N}$$

wobei N die Anzahl der Ereignisse und r die vorhergesagte Seismizitätsrate des Modells ist.

## Experimentelle Einblicke in die Dynamik gravitativer Massenbewegungen: Fragmentierung und Mobilität von Gesteinslawinen

**KL: Was ist das Ziel Deiner Forschung?**

Øystein Thordén Haug (ØTH): Gravitative Massenbewegungen – vor allem große Hangrutschungen und Bergstürze – gefährden weltweit Leben und Infrastruktur in Gebirgsregionen. Meine Doktorarbeit soll das Verständnis fundamentaler Aspekte der Dynamik, insbesondere den Effekt der Fragmentierung auf die Mobilität

**Øystein Thordén Haug** hat sein Studium an der Universität Oslo, Norwegen, 2012 mit einem M.Sc. in Physik abgeschlossen. Im Rahmen seiner Abschlussarbeit am Forschungszentrum „Physics of Geological Processes“ experimentierte er zum Thema „Fragmentierung während vulkanischer Eruptionen“. Seit April 2012 arbeitet er als experimenteller Wissenschaftler am GFZ zu Bruch- und Fragmentierungsprozessen während gravitativer Massenbewegungen. Das Projekt wwird von Dr. Matthias Rosenau und Prof. Onno Oncken (GFZ ) und Prof. Christof Schütte (Freie Universität Berlin) betreut. **Kontakt: thorden@gfz-potsdam.de**

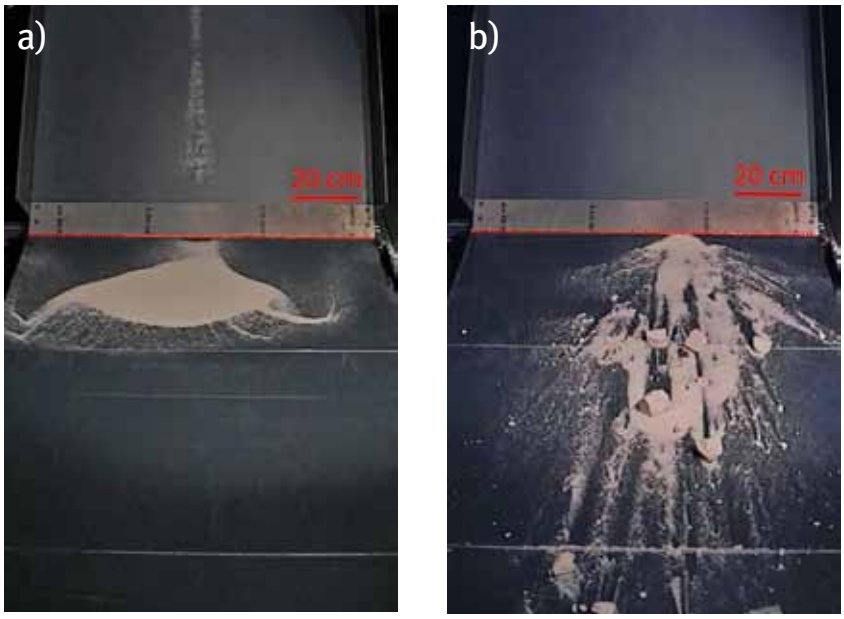
*(Foto: E. Gantz, GFZ)*

von Gesteinslawinen, verbessern. Geländebefunde haben gezeigt, dass die Mobilität mit der Größe der Gesteinslawine zunimmt, eine Beobachtung, die der einfachen Reibungsmechanik zunächst einmal widerspricht. Unterschiedliche Mechanismen werden derzeit diskutiert, die z. B. die Reibung an der Basis großer Lawinen reduziern, aber es besteht bislang kein allgemeingültiges Erklärungsmodell.

**KL: Welche Simulationsmethoden wendest Du an und was zeichnet diese aus?**

ØTH: Ich studiere gravitative Massenbewegungen in einer kontrollierten Laborumgebung, in der Lawinen und Rutschungen in kleinem Maßstab (etwa 1:3000) durch losen Sand bzw. spröde Blöcke (Abb. rechts oben), die über eine schiefe Ebene beschleunigen, simuliert werden. Skalierungsgesetze geben vor, dass die benutzen Materialien mechanisch sehr schwach sein müssen, um unter den Laborbedingungen, also unter Einwirkung einfacher Schwerkraft, zu fragmentieren. Meine erste Herausforderung war demnach ein auf unsere Zwecke abgestimmtes Analogmaterial zu finden. Eine Mixtur aus Quartzsand, der mit Gips zementiert wird, stellt derzeit unser ideales Analogmaterial dar.

In meinen Experimenten kann ich die komplette Entwicklung einer Gesteinslawine in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung unter Anwendung digitaler Hochgeschwindigkeitsfotografie beobachten und analysieren. Mein Aufbau erlaubt hierbei, die Größe der Lawinen über vier Größenordungen hinweg zu variieren. Diese Experimente unter Laborbedingungen sind bislang einmalig und erleichtern den Vergleich mit der Natur. Bei der Übertragung auf die Natur gilt es aber die Eigenarten der experimentellen Methode, wie begrenzte Reproduzierbarkeit und Randeffekte, möglichst quantitativ zu berücksichtigen.




*Ablagerungen experimenteller Lawinen aus (a) losem Sand gegenüber (b) zementiertem Sand. Letzterer weist aufgrund der Fragmentierung eine höhere Mobilität auf, die die Auslaufweite erhöht. Beide Lawinen wurden über eine 45 Grad geneigte Ebene über einen Meter beschleunigt und schlugen entlang der roten gestrichelten Linie auf den horizontalen Boden auf.*

**KL: Welche mathematischen Werkzeuge benutzt du?**

ØTH: Auch wenn ich in erster Linie einen experimentellen Ansatz verfolge, spielen mathematische Werkzeuge eine zentrale Rolle in meinen Studien.

**Box 3: Kreuzkorrelation sequentieller Bilder: Particle Image Velocimetry (PIV)**

Gegeben seien zwei sequentielle Bilder $I_1$ und $I_2$. Das Ziel der PIV-Methode ist es, texturelle Muster aus dem ersten Bild im zweiten wieder zu finden und die Verschiebung zwischen den beiden Positionen relativ zu einem festen Koordinatensystem (z. B. die Ränder des Bildes) zu bestimmen. Dies wird erreicht, indem in Suchfenstern $I_1^{i,j}$ und $I_2^{i,j}$ ($i$ und $j$ referenzieren die Position des Suchfensters) der Euklidische Abstand berechnet wird:

$$R_e(s,t) = \sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1}\left[I_1^{j,j}(m,n) - I_2^{i,j}(m-s,n-t)\right]^2$$

Die quadrierte Klammer kann erweitert werden zu

$$R_e(s,t) = \sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1} I_1^{i,j}(m,n)^2 - 2I_1^{i,j}(s,t)\cdot I_2^{i,j}(m-s,n-t)$$

Nur der mittlere Term dieser Summe ist abhängig von beiden Bilder und wir definieren demnach

$$R(s,t) = \sum_{m=0}^{M-1}\sum_{n=0}^{N-1} 2I_1^{i,j}(s,t)\cdot I_2^{i,j}(m-s,n-t)$$

als die Kreuzkorrelation.

Zum Beispiel wende ich die sogenannte Particle Image Velocimetry (PIV), ein optisches Verfahren zur Ableitung von Geschwindigkeitsfeldern, auf die Bilder der Hochgeschwindigkeitskamera an. PIV ist ein aus der Strömungsmechanik übernommenes Bildkorrelationsverfahren, das über Texturvergleich aus sequentiellen Bildern Bewegungsrichtung und -raten akkurat bestimmt (Box 3, Abb. rechts a + b). Benutzt man wie ein Augenpaar zwei engständige, zueinander geneigte Kameras, lassen sich mit der gleichen Methode dreidimensionale Bilder der Oberfläche der Lawine erzeugen. Aus solchen stereoskopischen Bildern lässt sich z. B. der Masseschwerpunkt leicht berechnen (Abb. rechts c + d).

Die mittels der PIV-Methode abgeleiteten Geschwindigkeitsfelder beinhalten eine Reihe von Informationen über die physikalischen Prozesse hinter den labormaßstäblichen Lawinen. Z. B. erlaubt die Bestimmung der Beschleunigung Rückschlüsse auf die Reibungskräfte an der Basis der Lawine. Auch kann die interne Verformung (Box 4) einer Lawine visualisiert und analysiert werden, um Aufschluss über die interne Dissipation von Energie zu erhalten.

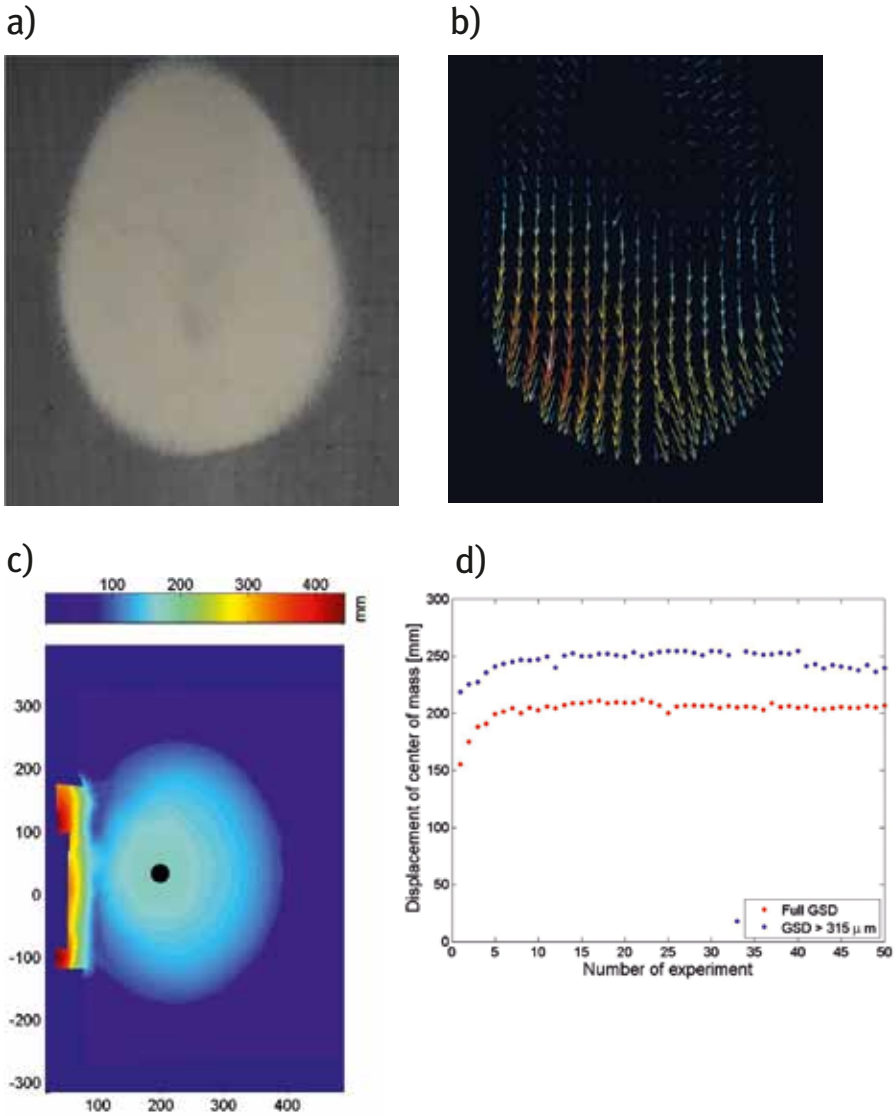
Auch erlaubt der experimentelle Ansatz die Durchführung zahlreicher Wiederholungsmessungen, um die natürliche Variabilität zu dokumentieren. Um solche große Datensätze zu bewältigen, nutze ich Methoden der Statistik zur Bestimmung von Unsicherheiten im Vergleich mit der Natur. Schlussendlich plane ich, meine experimentellen Ergebnisse mit empirischen und wenn möglich analytischen Lösungen zu beschreiben sowie mit numerischen Modellen zu vergleichen. ■

**Box 4: Berechnung der Deformation mittels Vektoranalysis**

Der infinitesimale Verformungstensor ε wird aus dem Gradienten des Versatzfeldes ∇u bestimmt:

$$\varepsilon = \tfrac{1}{2}(\nabla u + \nabla u^T), \quad \text{where} \quad \nabla u = \begin{bmatrix} \frac{\partial u_1}{\partial x_1} & \frac{\partial u_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial u_2}{\partial x_1} & \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}$$

Skalare Größen, die aus diesem infinitesimalen Verformungstensor abgeleitet werden, geben dann Hinweise auf Änderungen im Volumen oder Winkeln und werden als Deformationskarten dargestellt.




*Beispiele typischer Daten aus dem experimentellen Ansatz. a) Ursprungsbild und b) mittels PIV (siehe Box 3) abgeleitete Geschwindigkeitsverteilung an der Oberfläche einer Sandlawine. c) Mittels PIV abgeleitetes Höhenmodell einer Lawinenablagerung (Farbskala = Höhe in mm). Der schwarze Punkt markiert die Lage des Masseschwerpunkts. d) Eine Serie von 50 Wiederholungsmessungen zur Entfernung des Masseschwerpunkts von Sandlawinen in Bezug auf die Startposition (in mm). Die Serienmessung demonstriert sowohl die Anwesenheit von Randeffekten zu Beginn der Serie als auch die sehr gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. (GSD: Grain Size Distribution = Korngrößenspektrum)*

## Astrium baut zwei neue Forschungssatelliten für NASA/GFZ-Mission GRACE-FO

Astrium, Europas führendes Raumfahrtunternehmen, wird zwei neue Forschungssatelliten für das Jet Propulsion Laboratory JPL (Pasadena, Kalifornien) der amerikanischen Weltraumbehörde NASA bauen. Die entsprechende Vereinbarung wurde Ende 2012 in Friedrichshafen unterzeichnet. Die Mission GRACE-FO (GRACE = Gravity Recovery and Climate Experiment, FO = Follow On) wird ab August 2017 für mindestens fünf Jahre die äußerst erfolgreichen Messungen der GRACE-Satellitenzwillinge, die seit 17. März 2002 im All sind, fortsetzen.

Die GRACE-Satellitenmission liefert seit 2002 einen wichtigen Beitrag zur globalen Klimaforschung. Aus den zeitlichen Änderungen des Schwerefelds leiten die Geowissenschaften neue Erkenntnisse ab über dynamische Vorgänge im Erdinneren, über die Tiefen- und Oberflächenströmungen in den Ozeanen und über die Veränderung der Eisbedeckung in Arktis und Antarktis und in den Gebirgen. Mit der ursprünglichen GRACE-Mission wurde erstmals beobachtet, welche Massen in Form von Wasser, Eis, Wasserdampf in Bewegung sind; sogar Grundwasserpegel lassen sich mit GRACE global und langfristig verfolgen.

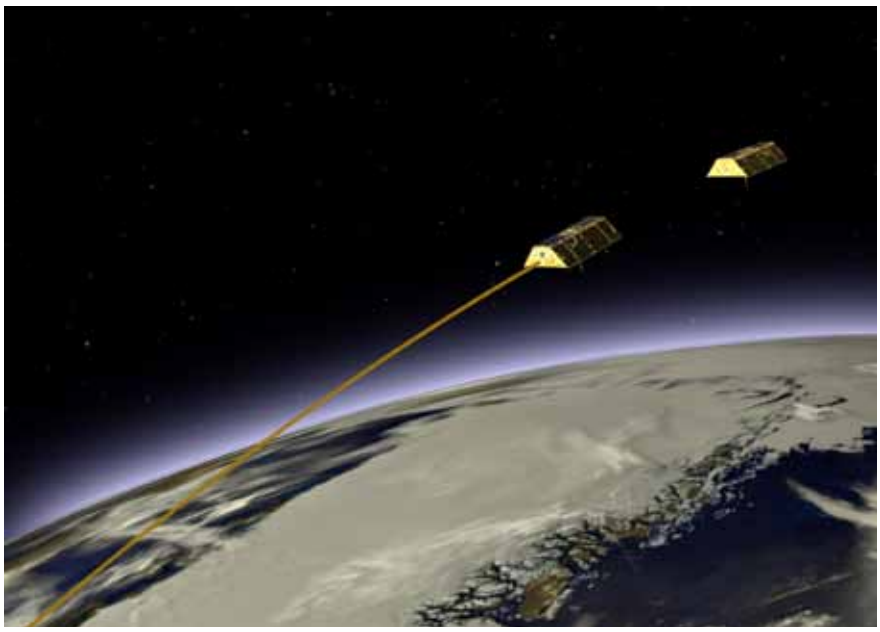
Die beiden etwa 3 x 2 x 0,8 m großen und jeweils rund 580 kg schweren GRACE-FO-Satelliten werden wie ihre Vorgänger die Erde in einem Abstand von 220 km auf einer polaren Umlaufbahn in rund 500 km Höhe umrunden. Die beiden Satelliten messen dabei ständig und sehr genau den Abstand, den sie zueinander haben. Da dieser Abstand sich unter dem Einfluss der Erdgravitation verändert, lässt sich mit dieser Methode das Schwerefeld unseres Planeten kontinuierlich vermessen (vgl. Artikel von Ch. Förste in diesem Heft, S. 6-13).

Die Positionsbestimmung durch GNSS-Empfänger (Global Navigation Satellite System) und die präzise Abstandsmessung zwischen den beiden GRACE-FO-Satelliten mittels einer Mikrowellenverbindung („Satellite-to-Satellite“) im Bereich weniger Tausendstel Millimeter ermöglichen die außergewöhnlich hohe Genauigkeit der Messergebnisse. Im Unterschied zu der ursprünglichen GRACE-Mission werden die neuen Satelliten zusätzlich Abstandmessungen mit einem neuen Laser Ranging Interferometer (LRI) des Albert-Einstein-Instituts Hannover machen, das noch bis zu 50 mal genauer misst – als Technologieexperiment für künftige Generationen von Gravitationsforschungssatelliten. Das zugehörige Preliminary Design Review wurde Ende Mai 2013 erfolgreich bei JPL in Pasadena durchgeführt.

Während der gesamten Missionsdauer von mindestens fünf Jahren werden die Messungen alle 30 Tage ein aktualisiertes Modell des Erdgravitationsfelds liefern. Außerdem erstellt jeder der beiden Satelliten täglich bis zu 200 Vertikalprofile der atmosphärischen Temperaturverteilung und des Wasserdampfgehalts.

Die deutschen Beiträge für GRACE-FO werden federführend vom GFZ realisiert und von Prof. Frank Flechtner, Leiter der GFZ-Sektion „Globales Geomonitoring und Schwerefeld“, koordiniert. Am GFZ werden darüber hinaus die wissenschaftlichen Daten der Mission ausgewertet.

Die Mittel für die deutsche Beteiligung an der deutsch-amerikanischen Satellitenmission stehen seit kurzem bereit, so dass die GRACE Follow-On-Satelliten jetzt gebaut werden können. ■

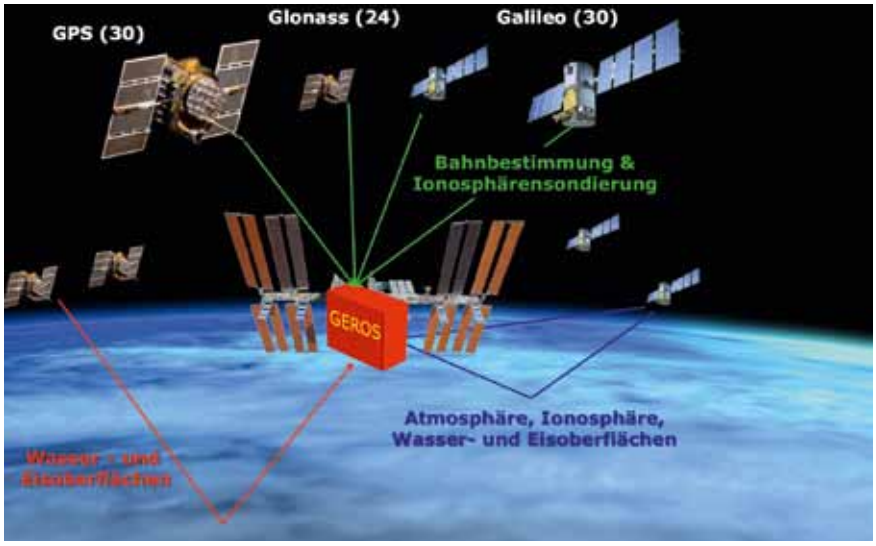


*Gravity Recovery and Climate Experiment – Follow On (Abbildung: Astrium)*

**Kontakt:**
Prof. Frank Flechtner
GFZ-Sektion „Globales Geomonitoring und Schwerefeld“

E-Mail:
frank.flechtner@gfz-potsdam.de

## Experiment zur Klimaforschung an Bord der Internationalen Raumstation ISS




*GEROS-ISS: GNSS-Fernerkundung an Bord der ISS*

Dr. Jens Wickert, GFZ-Sektion „GPS/Galileo Erdbeobachtung“ koordinierte den Vorschlag eines internationalen Wissenschaftlerteams aus Deutschland, Dänemark, Schweiz, Spanien und den USA für ein innovatives Experiment GEROS-ISS zur Klimaforschung an Bord der ISS. Der Vorschlag konnte sich im Rahmen einer Ausschreibung der Europäischen Weltraumbehörde ESA gegen hochkarätige Konkurrenz aus ganz Europa durchsetzen. GEROS-ISS wurde als einziges Experiment für erste Studien zur Umsetzung empfohlen.

GEROS-ISS (GNSS REflectometry, Radio Occultation and Scatterometry onboard ISS) wird von Ozeanoberflächen reflektierte Signale von Navigationssatelliten (GPS, Galileo, GLONASS, Beidou, QZSS) nutzen, um klimarelevante Eigenschaften dieser Oberflächen, wie geometrische Höhe, Meeresströmungen oder Wellenhöhe, die mit der Windgeschwindigkeit korreliert werden kann, zu erfassen. Zusätzlich wird angestrebt, Atmosphäreneigenschaften wie Temperatur und Wasserdampfgehalt der Atmosphäre sehr genau zu bestimmen, eine Methode, die mit dem deutschen Satelliten CHAMP wesentlich am GFZ entwickelt wurde.

Am 11. Juni 2013 wurde Dr. Wickert zum Vorsitzenden einer internationalen Wissenschaftlergruppe gewählt, die die ersten Schritte für die Umsetzung von GEROS-ISS steuern soll. Die verantwortungsvolle Arbeit der Science Advisory Group erfolgt in enger Kooperation mit der ESA und soll sicherstellen, dass die wissenschaftlichen Ziele der neuen Mission erreicht werden.

Aktuell bereitet die Expertengruppe Industriestudien zur konkreten technischen Umsetzung von GEROS auf der ISS vor, um die Machbarkeit der geplanten neuartigen Messungen näher zu untersuchen und einen exakten Kostenrahmen zu ermitteln. Der weitere Verlauf von GEROS und die endgültige Umsetzung sind von dem Ergebnis dieser Studien abhängig. Bei erfolgreichen Studien und planmäßigem Verlauf wird der Start von GEROS-ISS für 2018 erwartet.

*Dr. Jens Wickert (GFZ, links) und Dr. Achim Helm (EADS) in der originalgetreuen Nachbildung des Europäischen Columbus-Moduls der ISS bei der ESA in Nordwijk bei Amsterdam, Niederlande*

## GFZ-Beteiligung am Aufbau des neuen Forschungszentrums Skolkovo bei Moskau

Das GFZ ist am Aufbau eines Zentrums für Weltraumgeodäsie, Navigation und Robotertechnik am Forschungszentrum Skolkovo, eines der größten russischen Entwicklungsprojekte, beteiligt. Skolkovo ist nach den Olympischen Winterspielen in Sotschi 2014 das derzeit größte russische Entwicklungsprojekt. Ziel ist der Aufbau verschiedener Teilzentren für Forschung, Ausbildung und Innovation für die heutigen Schlüsseltechnologien. Unweit von Moskau wird eine neue große Innovationsstadt entstehen, die aus einer Universität und einem Technologiepark bestehen soll.

Zusammen mit der TU Berlin war das GFZ an der dreistufigen internationalen Ausschreibung mit einem erfolgreichen Antrag für die Bildung eines Center for Space Geodesy, Navigation and Robotics beteiligt. Neben zahlreichen russischen Universitäten und Forschungsinstituten sind das amerikanische JPL der NASA und das DLR mit dem Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof Antragspartner. An zwei wichtigen Projektbereichen des neuen Zentrums sind GFZ-Wissenschaftler des GFZ-Departments „Geodäsie und Fernerkundung“ in führender Position beteiligt: Geodesy and Earth Observations (Prof. Harald Schuh, Prof. Frank Flechtner) und Global Navigation Satellite Systems (Dr. Jens Wickert). Vor der endgültigen Bildung der Zentren stehen umfangreiche Vertragsverhandlungen, die im Sommer 2013 beginnen. ■

## IUGG-Sekretariat am GFZ

Am 7. Juni 2013 fand die feierliche Eröffnung des Sekretariats der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) am GFZ statt. Das in der GFZ-Sektion „GPS/Galileo-Erdbeobachtung“ verankerte Sekretariat ist das Informationszentrum der IUGG und ihrer Partner, organisiert Veranstaltungen, publiziert Literatur und koordiniert die Weiterentwicklung der Organisation.
Geowissenschaftliche Fragestellungen wie die Erkundung von Bodenschätzen, die Entwicklung von Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren, die Auswirkungen des Klimawandels und der Umweltschutz erfordern internationale und fächerübergreifende Zusammenarbeit. Die IUGG widmet sich seit fast hundert Jahren der Förderung, Koordination und Kommunikation der Erforschung der Erde und des erdnahen Weltraums. Als internationale Organisation und Interessensvertretung der Geophysikerinnen und Geophysiker organisiert die IUGG zahlreiche internationale Veranstaltungen wie Konferenzen und Trainingskurse, initiiert Forschungsprojekte und vernetzt ihre Mitglieder mit wissenschaftlichen Organisationen, Universitäten und Forschungsinstituten. Die Erhöhung des Frauenanteils in der Wissenschaft, die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Stärkung der internationalen Zusammenarbeit gehören zu den Zielen der IUGG. ■

**Weiterführende Informationen:**
http://www.iugg.org

## Das Hochwasser vom Juni 2013 in Deutschland

*Elbe-Hochwasser in Pirna im Juni 2013 (Foto: Wikipedia, Bernd Gross)*

**Vergleichbare Intensität – unterschiedliche Auswirkungen**
Das Rekordhochwasser im Süden und Osten Deutschlands – nach Ausdehnung und Intensität das größte seit mindestens sechzig Jahren – hat die Einzugsgebiete von Donau und Elbe mit vergleichbar hoher Intensität getroffen. Analysen des Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) lassen aber erwarten, dass die Hochwasserfolgen dennoch in beiden Regionen sehr unterschiedlich ausfallen werden.
Die Berechnungen lassen mittelschwere Auswirkungen an Donau und Lech erwarten. Die wichtigste Ausnahme ist hier der Landkreis Deggendorf, für den aufgrund der Dammbrüche trotz der relativ hohen Resilienz schwere Folgen zu erwarten sind. Während die Hochwasserfolgen am Rhein vernachlässigbar sind, wird mit schweren bis sehr schweren Auswirkungen an Elbe und Mulde gerechnet. Besonders betroffen sind hier die Landkreise Sächsische Schweiz-Osterzgebirge, Nordsachsen und Anhalt-Bitterfeld sowie Leipzig und Dresden. Die aktuelle Situation in den betroffenen Elbe-Abschnitten Sachsen-Anhalts, Brandenburgs und Niedersachsens sind bei der Abschätzung der Folgen noch nicht berücksichtigt.

Die Fähigkeit einer Gesellschaft, mit schwerwiegenden Ereignissen wie Naturkatastrophen umzugehen und die Folgen effektiv zu bewältigen, wird unter dem Begriff der Resilienz zusammengefasst. Mit einem Index für die Resilienz, den CEDIM mit beobachteten Auswirkungen wie Evakuierungen und Verkehrsunterbrechungen kombiniert, können erste vorläufige Schätzungen zur Schwere der Hochwasserfolgen und der Fähigkeit der Katastrophenbewältigung der betroffenen Landkreise vorgenommen werden. Dieses Konzept wurde für das aktuelle Hochwasser auf die Flüsse Donau, Elbe und Rhein, sowie Lech und Mulde übertragen. Der in CEDIM entwickelte Index für die Resilienz basiert auf sozialen, ökonomischen und institutionellen Daten sowie auf Informationen aus einer Befragung vom Augusthochwasser 2002 (Elbe) betroffener Haushalte. Für

die Schätzung der Folgen wird der Index mit aktuellen Angaben zu den von Evakuierung betroffenen Personen pro Landkreis und den hochwasserbedingten Verkehrsbehinderungen kombiniert. Setzt man die Berechnungen in Beziehung zu den schon bekannten Evakuierungsmaßnahmen und Verkehrsstörungen in den untersuchten Landkreisen, bestätigt sich der hier angenommene klare Zusammenhang zwischen hoher Resilienz und geringen Hochwasserauswirkungen. Die Ergebnisse zeigen eine hohe Resilienz in den Landkreisen an der bayerischen Donau und am Lech, hohe bis mittlere Resilienz an Oberrhein und Unterelbe und mittlere bis geringe Resilienz an Niederrhein, Elbe und Mulde.

Diese Information wird in Beziehung gesetzt zur Hochwasserintensität (berechnet als Jährlichkeit des maximalen Hochwasserabflusses im betroffenen Landkreis). Daraus wird eine Aussage über die Schwere der Hochwasserauswirkungen abgeleitet. Aus hydrologischer Sicht übertrifft das aktuelle Hochwasser 2013 das Augusthochwasser 2002 und das Ereignis vom Juli 1954. An Elbe und Mulde sowie an der bayerischen Donau werden fast überall Jährlichkeiten von über 100 Jahren erreicht oder überschritten.

CEDIM ist eine interdisziplinäre Forschungseinrichtung im Bereich des Katastrophenmanagements und wird von den Helmholtz-Zentren GFZ und KIT gemeinsam betrieben. Es trägt bei zur Earth System Knowledge Platform (ESKP) der Helmholtz-Gemeinschaft, mit der ab der zweiten Jahreshälfte 2013 aktuelle Informationen sowie Hintergrundwissen unter anderem zu extremen Wetter- und Klimaereignissen online im Internet bereitgestellt werden sollen. ■

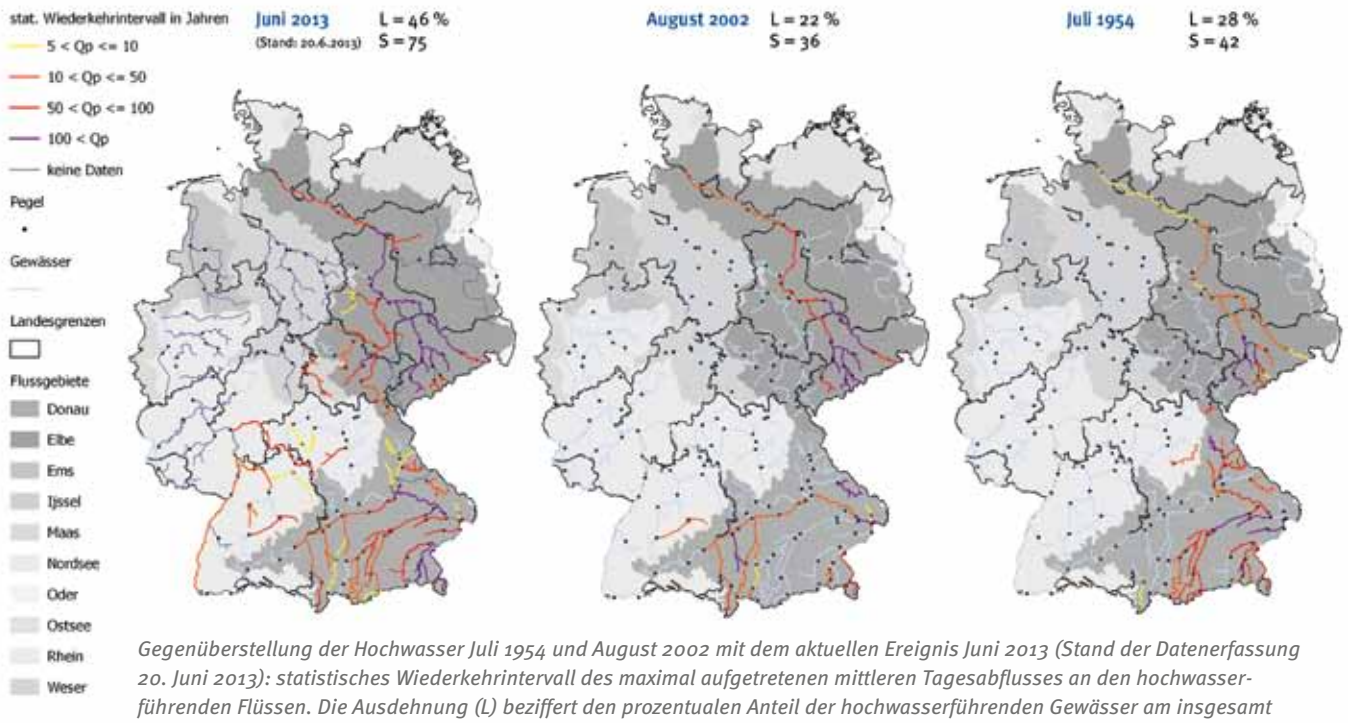
**Ausführlicher Bericht:**
http://www.cedim.de/download/FDA_Juni_Hochwasser_Bericht2.pdf

**Kontakt:**
CEDIM-Geschäftsstelle:
cedim@gfz-potsdam.de

**Ursachen und vergleichende Einordnung zu vergangenen Hochwasserereignissen**

Ein umfangreicher Tiefdruckkomplex führte vom 27. Mai bis 3. Juni 2013 beständig feuchte Luft nach Mitteleuropa. In der Folge kam es in Deutschland, Tschechien, Österreich und der Schweiz besonders an den Nordrändern des Erzgebirges, des Thüringer, Bayerischen und Oberpfälzer Waldes sowie der Alpen zu anhaltenden und intensiven, jedoch nur vereinzelt rekordverdächtigen Regenfällen. Insbesondere die Kombination mit den äußerst ungünstigen Vorbedingungen aufgrund der flächendeckenden und außergewöhnlich hohen Bodenfeuchte führte zu dem extremen Hochwasserereignis. Nach einem sehr feuchten Mai wiesen etwa 40 % der Landesfläche Deutschlands neue Bodenfeuchterekorde auf – im Vergleich der Bodenfeuchten für den Monat Mai der letzten 50 Jahre. Folglich konnte der gesättigte Boden die neuerlichen Niederschläge nur sehr begrenzt aufnehmen.

Das aktuelle Hochwasserereignis betrifft insbesondere die Einzugsgebiete




*Gegenüberstellung der Hochwasser Juli 1954 und August 2002 mit dem aktuellen Ereignis Juni 2013 (Stand der Datenerfassung 20. Juni 2013): statistisches Wiederkehrintervall des maximal aufgetretenen mittleren Tagesabflusses an den hochwasserführenden Flüssen. Die Ausdehnung (L) beziffert den prozentualen Anteil der hochwasserführenden Gewässer am insgesamt betrachteten Gewässernetz in Deutschland. Die Ereignisstärke (S) kombiniert die räumliche Ausdehnung der hochwasserführenden Gewässer mit dem statistischen Wiederkehrintervall des maximal aufgetretenen mittleren Tagesabflusses.*

der Elbe mit Mulde und Saale und der Donau mit Inn, Isar und Lech. Das Ereignis reiht sich in eine Folge großer flussgebietsübergreifender Hochwasser ein. Es ist hinsichtlich der Saisonalität, der vorherrschenden Großwetterlage und der auslösenden Ursachen mit den Extremereignissen vom Juli 1954 und August 2002 vergleichbar. Das aktuelle Hochwasserereignis übersteigt die Stärke und Ausdehnung des bisherigen sommerlichen Rekordereignisses vom Juli 1954. Das Juni Hochwasser 2013 weist im Donaugebiet überwiegend höhere Abflüsse als die Vergleichsereignisse auf. An der Elbe traten nach dem Stand der Datenerfassung zum 11. Juni im Abschnitt unterhalb von Dresden bis zur Einmündung der Saale und im unteren Abschnitt der Mulde höhere Scheitelabflüssen als im August 2002 und Juli 1954 auf. Ein weiterer Unterschied liegt im gleichzeitigen Auftreten von extremen Hochwasserabflüssen in der Elbe, Mulde und Saale. Inzwischen wurden auch für den Elbeabschnitt unterhalb der Einmündung der Saale bis Neu Darchau neue Rekordwasserstände verzeichnet.
Die ausgeprägte räumliche Ausdehnung des Hochwassers in sehr hoher Intensität stellt die Hochwasserbewältigung vor außergewöhnliche Herausforderungen, insbesondere in Hinblick auf den Einsatz und die Koordination von Hilfskräften, Geräten und Material. Für eine verläßliche Abschätzung der Schäden ist es zum derzeitigen Zeitpunkt zu früh. Erste Schadenschätzungen liegen für Deutschland mit rund 12 Mrd. Euro in der Größenordnung des Hochwassers 2002 – der bislang teuersten Naturkatastrophe in Deutschland.

**Danksagung**
Die langjährigen und ereignisbezogenen Abflussdaten wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt, dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, dem Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden Württemberg und der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes über die Bundesanstalt für Gewässerkunde zur Verfügung gestellt. ■

**Kontakt:**
Prof. Bruno Merz:
bmerz@gfz-potsdam.de

Dr. Kai Schröter:
kschroet@gfz-potsdam.de

## Wasser – Georessource und Lebensgrundlage

**Einblicke in die interdisziplinäre Arbeitsgruppe Gesellschaft – Wasser – Technik an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften**
Wasser technisch ausgereift zu gewinnen, möglichst nutzbringend zu verwenden und gerecht zu verteilen ist eine der großen Herausforderungen der Zukunft: der Zugang zu sauberem Trinkwasser und sanitären Einrichtungen nimmt den ersten Platz der UN-Entwicklungsziele ein. Eine umweltverträgliche Versorgung mit der Georessource Wasser ist angesichts von Bevölkerungswachstum, fortschreitender Industrialisierung und Klimawandel vielerorts nur durch innovative Techniken, nachhaltige Konzepte und politische Strategien möglich.

Um sauberes, trinkbares und zur Bewässerung geeignetes Wasser vorzuhalten, sind insbesondere in ariden Regionen technische Systeme zur Gewinnung, Speicherung und Verteilung unerlässlich. In der ehemaligen Sowjetunion wurde z. B. im zentralasiatischen Fergana-Tal

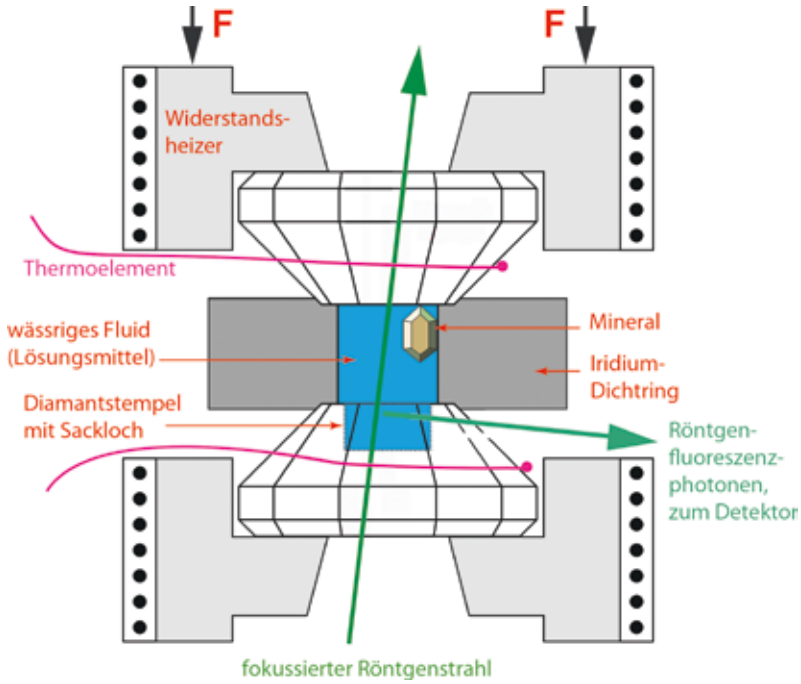
*Staumauer der Toktogul-Talsperre in Kirgisistan (Foto: A. Gafurov, GFZ)*

ein riesiges Bewässerungssystem eingerichtet. Durch Nutzung der Wassermassen aus den Flüssen Amudarja und Syrdarja entstand im dichtbesiedelten Tal eines der größten Baumwollanbaugebiete der Welt. Stau-Kaskaden werden zudem intensiv zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt. Auf Kosten des schwindenden Aralsees: seine Zuflüsse führen nicht mehr ausreichend Wasser und der Wasserhaushalt einer ganzen Region ist nachhaltig gestört. Die an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften angesiedelte interdisziplinäre Arbeitsgruppe untersucht in Kooperation mit der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) sowie der Österreichischen und der Israelischen Akademie der Wissenschaften an Beispielen in Zentralasien, im Nahen Osten sowie in Deutschland die technischen, ökologischen, vor allem aber die gesellschaftlichen Anforderungen an wassertechnische Großprojekte. Neben zahlreichen universitären Partnern und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wirkt das GFZ maßgeblich an der Entwicklung von entsprechenden Handlungsoptionen mit. Ziel ist die Beratung von Politik und relevanten Organisationen als Beitrag zu einer modernen wissensbasierten Entwicklungszusammenarbeit. ■

**Weitere Informationen zur Arbeitsgruppe:**
http://www.bbaw.de/forschung/gwt/

## Extremes Wasser

Die Erde ist der einzige uns bekannte Planet, der Wasser in gewaltigen Mengen und in allen drei Phasenzuständen aufweist. Aber der irdische Allerweltsstoff Wasser hat sehr ungewöhnliche Eigenschaften, die dann zutage treten, wenn man ihn unter hohen Druck und hohe Temperaturen bringt. Eine deutsch-finnisch-französische Forschergruppe veröffentlichte im März 2013 in der neuen Ausgabe der Proceedings of the National Academy of Science (PNAS), was geschieht, wenn man Wasser unter Druck- und Temperaturbedingungen bringt, wie sie in der tiefen Erde herrschen. Bei Drücken über 22 MPa und Temperaturen über 374 °C, jenseits des kritischen Punkts, wird Wasser zu einem sehr aggressiven Lösungsmittel, ein Umstand, der entscheidend für die Physikochemie des Erdmantels und der Erdkruste ist.




*Prinzipieller Aufbau einer Diamantstempelzelle*

„Ohne Wasser im Erdinneren gäbe es keine Stoffkreisläufe und keine Tektonik. Aber wie das Wasser im oberen Erdmantel und in der Erdkruste wirkt, ist immer noch Gegenstand intensiver Forschung“, sagte Dr. Max Wilke vom Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ, der zusammen mit seinem Kollegen Dr. Christian Schmidt und einem Team der TU Dortmund die Experimente durchführte. Die Forschergruppe brachte dazu das Wasser ins Labor. Zunächst wurde die mikroskopische Struktur von Wasser in Abhängigkeit von Druck und Temperatur experimentell mithilfe von Röntgen-Raman-Streuung untersucht. Dazu wurde die Diamantstempelzelle des GFZ an der Europäischen Synchrotronstrahlungsquelle ESRF in Grenoble benutzt, in denen sehr kleine Wasserproben eingeschlossen, geheizt und auf immer höhere Drücke gebracht wurden. Die Analyse der Daten erfolgte mit Hilfe von molekulardynamischen Simulationsrechnungen durch den GFZ-Wissenschaftler Dr. Sandro Jahn.

Die Studie zeigt, dass die Struktur des Wassers sich kontinuierlich von einer geordneten vernetzten Struktur zu einer ungeordneten, gering vernetzten Struktur bei überkritischen Bedingungen entwickelt. Die Kenntnis dieser strukturellen Eigenschaften des Wassers in der tiefen Erde ist eine wichtige Grundlage zum Verständnis von chemischen Verteilungsprozessen in metamorphen und magmatischen Prozessen. Die Studie ermöglicht eine bessere Abschätzung des Verhaltens von Wasser unter Extrembedingungen bei geochemischen und geologischen Prozessen. Man nimmt an, dass die besonderen Eigenschaften von überkritischem Wasser auch das Verhalten von Magma steuern. ■

Sahle Ch. J., Sternemann C., Schmidt C., Lehtola S., Jahn S., Simonelli L., Huotari S., Hakala M., Pylkkänen T., Nyrow A., Mende K., Tolan M., Hämäläinen K., Wilke M. (2013): Microscopic structure of water at elevated temperatures and pressures. PNAS, http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1220301110

## Erdbebenlücke vor den Toren Istanbuls

Erdbebenforscherinnen und -forscher haben jetzt einen 30 km langen und zehn km tief reichenden Bereich entlang der Nordanatolischen Verwerfungszone südlich von Istanbul identifiziert, der Ausgangspunkt für ein starkes Erdbeben sein könnte. Die Seismologengruppe um Prof. Marco Bohnhoff, GFZ-Sektion „Geomechanik und Rheologie“, berichtet in der aktuellen Online-Ausgabe des Wissenschaftsmagazins Nature, dass dieser potentielle Erdbebenherd in nur 15 bis 20 km Entfernung zur historischen Altstadt Istanbuls liegt.

Die Istanbul-Marmara-Region im Nordwesten der Türkei mit mehr als 15 Mio. Einwohnern sieht sich einer hohen Wahrscheinlichkeit für ein Erdbeben der Magnitude 7 oder stärker ausgesetzt. Um die vor einem Starkbeben ablaufenden Prozesse an einer kritisch geladenen Verwerfungszone besser zu verstehen, wurde unter der Federführung des GFZ gemeinsam mit dem Kandilli-Erdbebenobservatorium aus Istanbul ein seismisches Messnetz auf den Prinzen-Inseln im Marmarameer vor Istanbul errichtet. Die Prinzen-Inseln bieten die einzige Möglichkeit, die unterhalb des Meeresbodens verlaufende Erdbebenzone aus wenigen Kilometern Entfernung zu überwachen.

Aus den jetzt vorliegenden Messdaten folgern die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler um Marco Bohnhoff, dass der Bereich vor der historischen Altstadt Istanbuls in der Tiefe verhakt ist. Sie identifizierten einen 10 km tief reichenden Block entlang der Verwerfungszone, der seit Messbeginn vor über vier Jahren keine seismische Aktivität aufweist. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass das erwartete Marmara-Erdbeben dort seinen Ursprung nehmen könnte.

Dafür spricht auch, dass genau in diesem Bereich die Bruchzone des letzten starken Erdbebens der Region im Jahre 1999 endete – vermutlich an derselben Struktur, die die fortschreitende Verschiebung der Anatolischen Platte im Süden gegen die Eurasische Platte im Norden nun schon seit 1766 aufhält und dabei Spannung aufbaut. Die Resultate werden auch mit Erkenntnissen von anderen Verwerfungszonen wie z. B. der San Andreas-Verwerfung in Kalifornien verglichen, um die physikalischen Prozesse vor einem Erdbeben besser zu verstehen.

*Beginn der GONAF-Pilotbohrung auf der Halbinsel Tuzla vor den Toren Istanbuls (Foto: GFZ)*

Gegenwärtig intensiviert das GFZ seine Aktivität zur Überwachung der Erdbebenzone vor Istanbul weiter. Gemeinsam mit dem Türkischen Katastrophenschutz AFAD werden derzeit rund um das östliche Marmarameer mehrere 300 m tiefe Bohrungen abgeteuft, in die dann hochempfindliche Bohrlochseismometer eingesetzt werden. Mit diesem Geophysical borehole Observatory at the North Anatolian Fault GONAF lässt sich die Messgenauigkeit und die Detektionsschwelle für Kleinstbeben nochmals um ein Vielfaches verbessern. Außerdem liefern die neuen Messdaten auch Erkenntnisse über die zu erwartende Bodenbewegung im Fall eines Erdbebens in der Region. Eine Vorhersage von Erdbeben ist wissenschaftlich nicht möglich.

Aber Studien wie die vorliegende liefern die einzige Möglichkeit, Erdbeben im Vorfeld bestmöglich in Bezug auf Ort, Magnitude und Bruchverlauf zu charakterisieren und so das Schadensrisiko besser abzuschätzen. ■

M. Bohnhoff, F. Bulut, G. Dresen, P. E. Malin, T. Eken, M. Aktar (2013): „An earthquake gap south of Istanbul”, Nature Communications 4, DOI: 10.1038/ncomms2999, 18. Juni 2013

## Forschung als Motor für die Energiewende

Bundesforschungsministerin Prof. Johanna Wanka stellte am 4. März 2013 in Berlin die Nationale Plattform zur Energiewende vor. Mit der neuen Plattform werden die einzelnen Forschungsaktivitäten zu diesem Thema nun gebündelt, ganz im Sinn der Ethikkommission: sie empfehlen, die Energiewende in Deutschland als Gemeinschaftswerk zu begreifen.

Die Nationale Forschungsplattform besteht aus drei Teilen: Die erste Initiative kommt aus der Wissenschaft selbst mit dem Projekt „Energiesysteme der Zukunft“. Hier wird das Wissen zu Energiethemen aufbereitet, Energieszenarien ausgearbeitet und neue Forschungsthemen identifiziert. Das Projekt wird von der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech), der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina und der Union der deutschen Akademien der Wissenschaften getragen. Die zweite Ebene der Plattform bildet das „Forschungsforum Energiewende“. In diesem Forum kommen unter Moderation und Koordination des BMBF gemeinsam mit dem Wirtschafts- und Umweltministerium alle Beteiligten der Energiewende mit der Forschung zusammen – also hochrangige Partner aus Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft. Als dritte Säule entsteht ein Koordinierungskreis der großen Forschungseinrichtungen sowie der Vertreter der Hochschulen (Hochschulrektorenkonferenz, Deutsche Forschungsgemeinschaft). Ziel ist es, dass die Wissenschaft aus dem, was in den anderen Projekten erarbeitet wird, in eigener Verantwortung Schlüsse für ihre Schwerpunkte in der Energieforschung zieht.

Die breitgefächerte Forschung zum Thema Geo-Energie am GFZ lässt sich gut in diesen Rahmen einbringen. Von der Geothermie über unkonventionelle fossile Brennstoffe bis zur geologischen Speicherung von Treibhausgasen, ergänzt um Forschungsarbeiten zur Struktur von Sedimentbecken, zur tiefen Biosphäre und Klima bieten die Geowissenschaften ein großes Spektrum an Themen für die jetzt aufgestellte Nationale Forschungsplattform Energiewende. ■

## Internationale Zusammenarbeit

*Das GFZ unterhält formelle Kooperationen mit 64 Ländern: 37 außereuropäisch, 27 europäisch*

Das GFZ hat zur Erfüllung seiner Mission – die Erforschung des Systems Erde – von jeher ein weltumspannendes Netzwerk wissenschaftlicher Kooperationen. Derzeit unterhält das GFZ in über 60 Nationen formalisierte bilaterale Partnerschaften mit Forschungsinstitutionen und Unternehmen. Aufgrund seiner exzellenten Forschungsbedingungen ist das GFZ zudem eine attraktive Adresse für ausländische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Aktuell arbeiten und forschen über 200 ausländische Forscherinnen und Forscher aus 49 Ländern am GFZ.

Ein besonderes Interesse der bilateralen Zusammenarbeit gilt der gezielten Kooperation mit europäischen Forschungsinstitutionen. Ergänzend zu den bereits bestehenden intensiven Kontakten zur Polnischen Akademie der Wissenschaften fand auf Einladung des GFZ am 3. Dezember 2012 ein hochrangiges Treffen mit dem Polish Geological Institute, PGI (Polnischer Geologischer Dienst) am GFZ statt. In einer von beiden Seiten unterzeichneten Absichtserklärung wurden die Ressourcenforschung, die $CO_2$-Speicherung und die Wasserforschung als prioritäre Themen einer zukünftig engeren Zusammenarbeit definiert.

Auch mit Frankreich konnten die bilateralen Kontakte nachhaltig intensiviert werden. So wurden im März 2013 mit Unterzeichnung eines entsprechenden Kooperationsvertrags die in 2011 begonnenen Verhandlungen mit dem Institut National des Sciences de l'Univers/Centre National de la Recherche Scientifique (INSU/CNRS) zur Gründung eines gemeinsamen International Associated Laboratory erfolgreich abgeschlossen. Neben der Fortsetzung der Gemeinschaftsaktivitäten im Rahmen des IPOC-Netzwerks (Intergrated Plate Boundary Observatory Chile), erfolgen zukünftig auch bilaterale Forschungsprojekte im Marmarameer bei Istanbul, Türkei, und eine engere Zusammenarbeit in der Satellitenforschung. Die Zusammenarbeit dient in erster Linie dem Austausch und der Förderung junger Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler.

Einen exzellenten Start erlebte die vom GFZ angestoßene Initiative zur Bildung eines europäischen Netzwerks von Spitzeninstitutionen der Geoforschung. Nach dem Auftakttreffen hochrangiger Vertreter des italienischen INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), der ETH Zürich, des Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP), des spanischen Institut de Ciencies de la Terra Jaume Almera (ICTJA) und des niederländischen GEORES-Consortiums, im September 2012 am GFZ, fand bereits im April 2013 die erste Sitzung des Steering Committee für das neugegründete „Nat-Lab"-Netzwerk statt.

Global galt in den letzten Monaten Südafrika, Indien, China und Russland das besondere Interesse des GFZ. Anlässlich des Abschlusses des Deutsch-Südafrikanischen Wissenschaftsjahrs besuchte der südafrikanische Wissenschaftsminister Hon. Min. Derek Hanekom am 15. April 2013 das GFZ. Begleitet wurde er vom Vizepräsidenten des Nationalen Forschungsrats Südafrikas, Dr. Gansen Pillay. Dem hochrangigen Besuch vorausgegangen war das Abschlusskolloquium für das vom GFZ koordinierte Forschungsprogramm Inkaba yeAfrica (www.inkaba.org), dass Ende November 2012 am GFZ stattfand. Das Programm gab bisher etwa 200 Studierenden sowie Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern aus beiden Ländern Zugang zu Spitzenforschung und reichhaltigen Bildungsangeboten. Durch dieses Angebot und mit rund 70 wissenschaftlichen Publikationen in internationalen Fachzeitschriften sowie zahlreichen Beiträgen bei Tagungen und Fachmessen wurde Inkaba yeAfrica zum Flaggschiff der deutsch-südafrikanischen Zusammenarbeit.

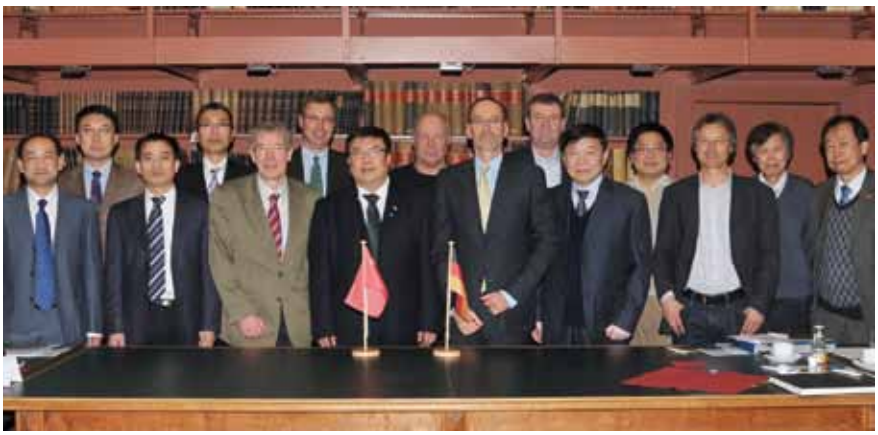
*PGI-Direktor Prof. Jerzy Nawrocki und wissenschaftlicher Vorstand des GFZ, Prof. Reinhard Hüttl nach der Unterzeichnung eines Letter of Intent (LoI) zur zukünftigen Zusammenarbeit von PGI und GFZ (Foto: E. Gantz, GFZ)*

*Hon. Min. Derek Hanekom und Prof. Reinhard Hüttl (Foto: E. Gantz, GFZ)*

Mit Indien konnten die bereits bestehenden guten Kontakte weiter ausgebaut werden. In diesem Kontext steht der Besuch einer Reihe hochrangiger indischer Delegationen am GFZ. Den Auftakt machte am 14. Februar 2013 der Staatssekretär im Indischen Energieministerium, Uma Shankar, gefolgt von Dr. Shaylesh Nayak, Staatssekretär im indischen Ministerium für Geowissenschaften (MoES) am 9. Mai 2013 und einer hochrangigen indischen Wissenschaftlerdelegation am 30. Mai 2013. Die Besuche dienten der Vorbereitung mehrerer Kooperationsvorhaben, u. a. zwischen dem MoES, dem National Geophysical Research Institute (NGRI) und dem GFZ.

*Besuch des Staatssekretärs im Indischen Energieministerium, Uma Shankar, und Prof. Reinhard Hüttl am GFZ (vordere Reihe, 3. und 4. von links) (Foto: E. Gantz, GFZ)*

Auch die bereits vielfältigen Kooperationen des GFZ mit China werden zukünftig um eine weitere Komponente erweitert. Dies war das Ziel der vom Vize-Präsidenten Dr. Li Ming angeführten Delegation der China Academy of Space Technology, CAST, die am 21. März 2013 das GFZ besuchte. Im Rahmen dieses Treffens wurden die Vorbereitung eines Memorandum of Understanding (MoU) zur zukünftigen Zusammenarbeit und der Austausch von (Nachwuchs-)Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern vereinbart.



*Besuch des Vize-Präsidenten der China Academy of Space Technology, Dr. Li Ming am GFZ (vordere Reihe, 4. von links). Rechts daneben Prof. Harald Schuh, der die Verhandlungen auf GFZ-Seite leitete. (Foto: E. Gantz, GFZ)*

Zur Intensivierung der Wissenschaftskooperation mit Russland fand vom 8. bis 10. November 2012 in Moskau ein von GFZ und dem Helmholtz-Büro Moskau organisierter Workshop mit Vertretern der Russischen Akademie der Wissenschaften und Universitäten statt. Das Treffen bildete den Auftakt für eine engere Zusammenarbeit im Bereich der mineralischen Analytik und Rohstoffforschung. Im März 2013 wurde unter Federführung des GFZ dazu ein MoU mit führenden russischen Forschungsinstitutionen geschlossen. Im August 2013 wird der wissenschaftliche Vorstand des GFZ, Prof. Reinhard Hüttl Partnerinstitute in Moskau, Krasnojarsk und Novosibirsk besuchen.

Die Aktivitäten zwischen der Helmholtz-Gemeinschaft und dem Oman haben sich seit Unterzeichnung des Letter of Intend (LoI) im November 2012 ebenfalls sehr positiv weiterentwickelt. Zwischen dem 31. März und 6. April 2013 besuchte Prof. Hüttl auf Einladung der Omanischen Botschaft in Berlin den Oman. Im Zentrum des Besuchs standen Gespräche bei dem Research Council (TRC) und der GuTech (German University for Technology). Aktuell bereiten sich die drei Helmholtz-Zentren GFZ, GEOMAR und UFZ darauf vor, gemeinsam mit dem TRC eine organisatorische Grund- und Managementstruktur für das Institute of Advanced Technology Integration (IATI) zu entwickeln. ■

**Kontakt:**
**Internationale Beziehungen**
Dr. Ludwig Stroink
stroink@gfz-potsdam.de

# Ausgezeichnet

## GRACE-PI ist neuer Sektionsleiter am GFZ – Professur mit TU Berlin

Seit dem 1. März 2013 ist **Prof. Dr. Frank Flechtner** neuer Leiter der Sektion *Globales Geomonitoring und Schwerefeld* am GFZ. Zum gleichen Termin wurde er an der TU Berlin zum Professor für Physikalische Geodäsie bestellt. Flechtner ist der Co-Principal Investigator (Co-PI) im deutsch-amerikanischen Satellitenprogramm GRACE und deutscher Projektmanager bei der Nachfolgemission GRACE-FO, zwei der international wichtigsten Missionen zum Erdschwerefeld. Die gemeinsame Berufung mit der TU Berlin stärkt die seit Jahren bestehende Kooperation zwischen TU Berlin und GFZ im Bereich der Satellitenforschung und ist ein wichtiger Baustein in der Forschungsallianz Geo.X.

Prof. Flechtner ist seit 1992 am GFZ tätig. Sein Schwerpunkt liegt in Entwicklung, Betrieb und Auswertung von Schwerefeldsatellitenmissionen (GRACE, GRACE-FO, GOCE, Next Generation Gravity Missions) für die Modellierung klimarelevanter Prozesse in Hydrologie, Glaziologie oder Ozeanographie. Hinzu kommen die Kombination der Satellitenmessungen mit terrestrischer Gravimetrie (Flugzeug, Supraleitgravimeter) für räumlich höchstauflösende Modellierung, die Verbesserung des globalen terrestrischen Referenzrahmens innerhalb des Global Geodetic Observation System (GGOS) und die Altimetrie-Auswertung für Meeresspiegeluntersuchungen. ■

## Gemeinsame Professur mit RWTH Aachen

**Prof. Dr. Magdalena Scheck-Wenderoth,** Leiterin der GFZ-Sektion *Sedimentbeckenanalyse*, übernimmt im Rahmen einer gemeinsamen Berufung mit dem GFZ und der RWTH Aachen eine Professur für Sedimentbeckenanalyse an der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik. Die dadurch mögliche Kooperation zwischen beiden Einrichtungen eröffnet neue Forschungsperspektiven bei gleichzeitiger Integration der Ergebnisse in die Lehre. Die RWTH Aachen beschäftigt sich mit Fragen der Energieversorgung und -wandlung. Im Bereich der Geowissenschaften stehen dabei fossile Kohlenwasserstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle) und geothermische Energie im Mittelpunkt des Interesses. Diese Energieträger stellen weltweit und in Deutschland den Großteil der Energieversorgung dar und werden größtenteils aus Sedimentbecken gewonnen. Daher ist deren Analyse ein zentrales Thema der Geowissenschaften an der RWTH Aachen. In der GFZ-Sektion „Sedimentbeckenanalyse“ werden die komplexen Wechselwirkungen zwischen Absenkung, tektonisch und klimatisch gesteuerter Sedimentverfüllung, Spannungsfeld, thermischem Feld und Fluidmigration erforscht. Vor dem Hintergrund der neu geführten Energiedebatte sind zunehmend Nutzungsarten von Geo-Energie strategisch wichtig (stoffliche Speicherung, Kohlenwasserstoffexploration und Geothermie). Die gemeinsame zukunftsgerichtete Erforschung von Sedimentbecken untersucht daher, inwieweit die geologisch erworbene Prägung eines komplexen Beckensystems mit historisch abgelaufenen Prozessen korreliert werden kann, um schließlich Prognosen im Sinn eines optimierten Ressourcenmanagements und einer prozessorientierten Risikoanalyse vornehmen zu können.

Seit Januar 2013 ist Prof. Scheck-Wenderoth zudem neue Generalsekretärin des Internationalen Lithosphären-Programms ILP. Die beiden Trägergesellschaften des ILP, die International Union of Geophysics and Geodesy (IUGG) und International Union of Geological Sciences (IUGS) haben sie zur Nachfolgerin von Prof. Roland Oberhänsli ernannt, der im Sommer 2012 zum neuen Präsidenten von IUGS gewählt wurde. Frau Scheck-Wenderoth war bereits viele Jahre als Leiterin der Task Force „Sedimentary Basins“ in ILP aktiv. Das Sekretariat des ILP hat seit über 15 Jahren seine Heimat am GFZ (www.scl-ilp.org). ■

## IRM Global Risk Award 2013 an TRIDEC

*Verleihung des IRM Global Risk-Award 2013; v.l.n.r.: Magnus Lindkvist (Gastgeber), Dorit Kerschke (CeGIT), Martin Hammitzsch (CeGIT) (Foto: Andrew Wiard)*

Das **FP7-Projekt TRIDEC** (Collaborative, Complex und Decision Support in Evolving Crises) wurde mit dem IRM Global Risk Award 2013 in der Kategorie „Managing Risks across Boundaries“ ausgezeichnet. TRIDEC wird vom **Zentrum für Geoinformationstechnologie**

**(CeGIT)** am GFZ koordiniert. Das Institute of Risk Management (IRM) ist eine weltweit führende, unternehmensübergreifende Non-for-Profit-Organisation in der Risiko-Managementausbildung. Die Preisträger wurden am 28. Februar 2013 in den renommierten Grand Connaught Rooms in London, England, ausgezeichnet. Rund 350 führende internationale Risiko-Fachleute nahmen teil. Die Auszeichnung wurde für das CeGIT von Dorit Kerschke und Martin Hammitzsch entgegengenommen. Das TRIDEC-Projekt konkurrierte erfolgreich gegen größere renommierte, global operierende Unternehmen und Organisationen. ■

## Dr. Hauke Marquardt erhält Hermann Credner-Preis der DGG

Die Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften (DGG) ehrt den GFZ-Wissenschaftler **Dr. Hauke Marquardt**, GFZ-Sektion „Chemie und Physik der Geomaterialien“, mit dem Hermann Credner-Preis 2013. Der Preis wird im Rahmen der DGG-Tagung „Geo13Pilsen“ am 17. September 2013 in Pilsen, Tschechien, verliehen.
Der Preis wird jährlich von der DGG an herausragende Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler zur Förderung weiterer Forschungsarbeiten vergeben und ist mit 5000 Euro sowie einem Stipendium für den Besuch einer Tagung dotiert. ■

## Ehrendoktorwürde an ehemaligen GFZ-Mitarbeiter verliehen

**Dr. Reinhart Neubert** wurde am 3. Dezember 2012 von der Physikalisch-Astronomischen Fakultät der Universität Jena für seine Pionierleistungen in der

Laserforschung die Ehrendoktorwürde verliehen. Auf den Tag genau 50 Jahre zuvor, am 3. Dezember 1962, wurden in Jena erstmals einige eindrucks- und anspruchsvolle Laserexperimente im Rahmen des Physikalischen Kolloquiums öffentlich vorgeführt – nur wenige Wochen nach dem gelungenen Bau der ersten Laser. Reinhart Neubert war an dieser Sternstunde der Physik in Jena maßgeblich beteiligt. Er hatte im Rahmen seiner Dissertation den ersten Helium-Neon-Laser in Deutschland gebaut. Laser dieser Art sollten über 30 Jahre lang das Rückgrat der Laserphysik bleiben. Reinhart Neubert, der 1935 in Dresden geboren wurde, hat sein Leben lang in der Laserphysik und -technologie gearbeitet. Nach seinen Jenaer Jahren zog er 1970 nach Potsdam und war bis zur Pensionierung am GFZ beschäftigt. Hier war er vor allem für die Bestimmung von Satellitenbahnen durch Laser-Impulslaufzeitmessung zuständig. ■

*Anlässlich des Neujahrsempfangs der Stadt Potsdam am 18. Januar 2013 trug sich **Prof. Dr. Dr.h.c Rolf Emmermann**, Gründungsvorstand und langjähriger Wissenschaftlicher Vorstand des GFZ, in das Goldene Buch der Stadt Potsdam ein. Oberbürgermeister Jann Jakobs hob die Verdienste Prof. Emmermanns um den Wissenschaftsstandort Telegrafenberg Potsdam hervor.*
*(Foto: M. Thomas, PNN)*

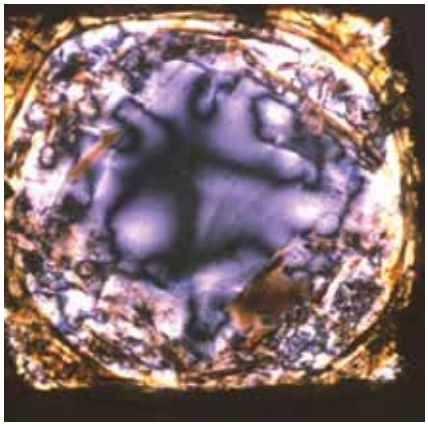
## Neue Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe am GFZ

*Feldarbeit im Rahmen einer Studie zur Ökologie mikrobieller Gemeinschaften des Methankreislaufes in einem subarktischen Palsamoor: Susanne Liebner und Lars Ganzert (Finnish Forest Research Institute) beim Installieren eines Temperaturloggers zum ganzjährigen Aufzeichnen von Bodentemperaturprofilen (Foto: Mette M. Svenning, Universität Tromsø)*

Die Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe *MicroCene* (Microbial Communities of the Terrestrial Subsurface: Functional Repertoire and Distribution Patterns in Pleistocene and Holocene Deposits) wird in den nächsten fünf bis sechs Jahren auf Basis molekularer Methoden mikrobielle Gemeinschaften in pleistozänen und holozänen Ablagerungen von Permafrost- und Moorkernen untersuchen. Die Ergebnisse dieser Nachwuchsgruppe werden grundlegendes Wissen zum funktionellen Repertoire und zu Verbreitungsmustern mikrobieller Gemeinschaften des Kohlenstoffkreislaufs, insbesondere des Methankreislaufs, in Organik reichen Ökosystemen liefern und tiefe Permafrost- und Moorablagerungen als potentielles Archiv mikrobieller Gemeinschaften charakterisieren. Damit wird ein wichtiger Beitrag zur Rekonstruktion und zur Prognose des Kohlenstoffkreislaufs in klimatisch relevanten, terrestrischen Ökosystemen geleistet.

Die Gruppe um **Dr. Susanne Liebner** ist in der GFZ-Sektion Geomikrobiologie angesiedelt und kooperiert mit der Universität Potsdam, Institut für Biochemie und Biologie. Neben der Gruppenleiterin werden zwei Doktoranden, ein PostDoc und eine TA im Rahmen von MicroCene forschen, wofür vom Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft jährlich 125 000 Euro zur Verfügung gestellt werden. ■

## Helmholtz-Russia Joint Research Group bewilligt

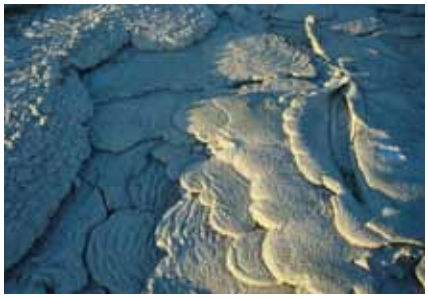


*Diamant mit Karbonateinschlüssen, aufgenommen mit einem Polarisationsmikroskop, Bildbreite 3 mm (Foto: Andrei Shiryaev, IPCE Moskau)*

In der Helmholtz-Außenstelle in der Russischen Föderation in Moskau fand im November 2012 die Endauswahl der fünften Ausschreibung des Förderprogramms „Helmholtz-Russia Joint Research Groups“ (HRJRG) statt. Das Förderprogramm betreibt die Helmholtz-Gemeinschaft gemeinsam mit der russischen Förderorganisation „Russian Foundation for Basic Research“ (RFBR).

Das vom GFZ-Wissenschaftler **Dr. Max Wilke** eingereichte Projekt „Structural properties of carbonate-silicate melts and their effect on fractionation processes in the deep Earth investigated by synchrotron radiation, spectroscopic and ion probe methods“ gehört zu den sechs Vorhaben, die zur Förderung ausgewählt wurden. Die Zusammenarbeit mit Dr. Andrei Shiryaev vom IPCE Moskau, dem IEM Chernogolovka (beide Russische Akademie der Wissenschaften), dem Kurchatov-Institut Moskau, sowie DESY Hamburg, ESRF Grenoble und ETH Zürich hat zum Ziel, grundlegende Eigenschaften von Geomaterialien zu untersuchen. Im Fokus stehen dabei Materialien, die für Bildungsprozesse von karbonathaltigen bzw. karbonatitischen Schmelzen im Erdmantel entscheidend sind. Die Relevanz von Karbonaten als eine wichtige Komponente des Erdmantels wird durch karbonatische Einschlüsse in Diamanten belegt, welche durch kimberlitische Magmen aus großen Tiefen gefördert wurden. Karbonatitische Magmen treten an Vulkanen wie dem aktiven Oldoinyo Lengai in Tansania und an vielen Vulkanen in ähnlichem tektonischem Milieu (Spreizungszonen) wie z. B. dem Kaiserstuhl im Oberrheingraben auf. Die spezielle chemische Zusammensetzung dieser Magmen stabilisiert exotische Minerale, wie z. B. Bastnäsit und Pyrochlor, und ermöglicht eine Anreicherung von seltenen, ökonomisch wichtigen Elementen wie z. B. den seltenen Erden und Niob.

Die Zusammenarbeit in der neu eingerichteten Forschergruppe soll helfen, die atomaren strukturellen Eigenschaften der Schmelzen und deren Einfluss auf die chemische Entwicklung der Magmen besser zu verstehen. Die chemischen und isotopischen Verteilungsprozesse zwischen Mineralen und Schmelzen in karbonatitischen Magmen sind dabei wichtige Kontrollparameter.



*Erstarrte Lava im Krater des Karbonatitvulkans Ol Doinyo Lengai, Tansania (Foto: Thomas Kraft, Kufstein)*

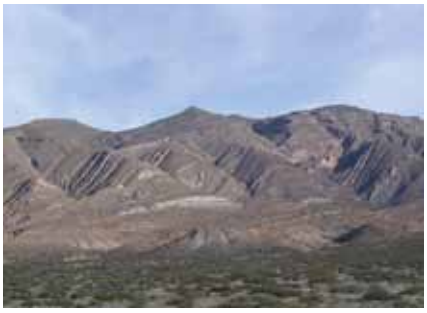
Um diese Prozesse zu verstehen, bilden Laborexperimente, welche die Bedingungen in der Natur simulieren, einen wichtigen Schwerpunkt. In diesen Experimenten werden Proben unter Bedingungen, wie sie in der tiefen Erde herrschen, mittels intensiver Röntgenstrahlung – sogenannter Synchrotronstrahlung – strukturell charakterisiert. In weiteren Experimenten werden die chemischen und isotopischen Verteilungsgleichgewichte ermittelt. Die Forschungsergebnisse werden dazu beitragen, die Bildungsprozesse von karbonatischen Magmen und deren Rolle im globalen Kohlenstoffzyklus besser eingrenzen zu können.

Das Projekt startete im Frühjahr 2013 und wird mit rund 390 000 Euro durch die Helmholtz-Gemeinschaft und einer Million Rubel durch die RFBR für eine Dauer von drei Jahren gefördert. Sowohl auf russischer als auch auf deutscher Seite werden mit den Mitteln mehrere Personalstellen für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler finanziert. Darüber hinaus stehen Mittel für einen intensiven Austausch und gemeinsame Experimente an den Synchrotronstrahlungseinrichtungen bei DESY, dem Kurchatov-Institut und der ESRF zur Verfügung. ■

## Helmholtz-Gemeinschaft fördert internationale Forschergruppe zur Untersuchung der Anden

Im Rahmen eines neuen Förderprogramms unterstützt die Helmholtz-Gemeinschaft Forschergruppen, die gemeinsame Projekte mit ausländischen Partnereinrichtungen betreiben. Acht dieser so genannten „Helmholtz International Research Groups“ wurden in einer ersten Runde im Januar 2013 ausgewählt, darunter ein Gemeinschaftsprojekt des GFZ mit Argentinien zur Erforschung der Anden.

In der Helmholtz International Research Group *Geodynamic evolution of the Neuquén Andes: Implications for geo-resources* arbeiten die GFZ-Wissenschaftler **Dr. Javier Quinteros** und **Dr. Stephan V. Sobolev** gemeinsam mit ihren Partnern Prof. Victor A. Ramos und Dr. Ruben Somoza von CONICET, Universidad de Bu-



*Agrio-Falten- und Überschiebungsgürtel, östliche Neuquén-Anden, Argentinien (Foto: V. Ramos, CONICET)*

enos Aires, Argentinien, zusammen. Das GFZ-Team erhält über eine Laufzeit von zunächst drei Jahren bis zu 50 000 Euro jährlich. Die ausländischen Partner steuern für den Ausbau der Kooperation jeweils Fördermittel in gleicher Höhe bei. Das Projekt zielt auf ein besseres Verständnis der episodischen West-Ost-Wanderung des Magmabogens in den Neuquén-Anden mit Hilfe von thermomechanischer Subduktionsmodellierung. Zur Zeit existieren verschiedene Hypothesen zu der Ursache dieses Phänomens. Einige Autoren meinen, dass Änderungen des Subduktionswinkels (z.B. auf Grund von Variationen innerhalb der Struktur der abtauchenden Platte) die Hauptursache für die Wanderung des Magmabogens sind. Andere nehmen eine krustale Erosion weiter südlich an, um die beobachteten Episoden zu erklären. Es herrscht derzeit keine Übereinkunft über den Einfluß unterschiedlicher Prozesse auf die Migration und Expansion des Magmabogens. In dem Projekt wird daher der Einfluß verschiedener Faktoren auf die West-Ost-Wanderung des Magmabogens quantifiziert, um die Entwicklung der Neuquén-Anden seit 70 Mio. Jahren zu erforschen: 1) Variationen in der Zusammensetzung der abtauchenden Platte und deren Einfluß auf die Position der Front der Dehydratisierungsschmelzen; 2) Einfluß der Subduktionsgeschwindigkeit auf den Pfad, den Fluide und Schmelzen im Mantelkeil nehmen können; 3) Subduktion verdickter ozeanischer Kruste (z. B. Tiefseerücken, Plateaus); 4) Subduktionserosion und Terranakkretion.

Fragestellungen hoher Komplexität lassen sich heutzutage am besten in internationaler Zusammenarbeit untersuchen. Die Helmholtz-Gemeinschaft baut daher in ausgewählten Themenfeldern ihre weltweiten Kooperationen aus. Mit den „Helmholtz International Research Groups“ ermöglicht die Helmholtz-Gemeinschaft nun als Pilotmaßnahme gemeinsame Forschungsprojekte mit ausländischen Partnereinrichtungen weltweit. ■

## Starthilfe für Post-Docs

Mit einem neuen Förderprogramm unterstützt die Helmholtz-Gemeinschaft frisch promovierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler beim Einstieg in die akademische Laufbahn. Ein Expertengremium wählte Ende 2012 die ersten 37 Kandidatinnen und Kandidaten für das neue Postdoktoranden-Programm aus. Darunter sind die GFZ-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler **Dr. Marzieh Baes** (GFZ-Sektion „*Geodynamische Modellierung*“), **Dr. Katharina Marquardt** (GFZ-Sektion „*Chemie und Physik der Geomaterialien*“) und **Dr. Christoff Andermann** (GFZ-Sektion „*Geomorphologie*“). Sie erhalten bis zu 300 000 Euro für zwei bis drei Jahre und können damit ein selbst definiertes Forschungsprojekt verfolgen, um sich in ihrem Forschungsgebiet zu etablieren.

Die Helmholtz-Gemeinschaft hat das Postdoktoranden-Programm 2012 zum ersten Mal ausgeschrieben. Sie bietet damit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern am Beginn ihrer Laufbahn hervorragende Karriereaussichten in der Forschung. Die Helmholtz-Postdoktoranden können selbstständig forschen, ihre Ideen realisieren und profitieren von den sehr guten Arbeitsbedingungen und der Ausstattung in einem Helmholtz-Zentrum. Außerdem stellt ihnen das jeweilige Zentrum in der Anfangsphase eine Mentorin oder einen Mentor zur Seite. ■

## Kandidat des GFZ mit Helmholtz International Fellow Award ausgezeichnet

**Prof. Jérôme Gaillardet** vom Institut de Physique du Globe de Paris der Universität Paris Diderot erhielt am 8. Januar 2013 den „Helmholtz International Fellow Award“. Herr Gaillardet wurde durch das GFZ nominiert. Der Preis ist mit 20 000 Euro dotiert und kann genutzt werden, um Kooperationen mit dem GFZ und anderen Helmholtz-Einrichtungen aufzubauen. Gastgeber für Herrn Gaillardet am GFZ ist Prof. Friedhelm von Blanckenburg.

Prof. Gaillardet ist ein weltweit führender Wissenschaftler auf dem Gebiet der chemischen und physikalischen Transportprozesse von großen Flüssen auf dem Planeten Erde. Insbesondere befasst er sich mit den Auswirkungen, die große Flüsse wie der Amazonas, der Kongo und der Mackenzie auf die Umwelt haben als auch wie Umweltveränderungen die Eigenschaften dieser Flüsse verändern. Eine 1999 erschienene Publikation „Global Silicate weathering and $CO_2$ consumption rates deducted from the chemistry of large rivers“, bisher fast fünfhundertmal zitiert (ein für die Geowissenschaften überragender Wert), hat erstmals die Menge an atmosphärischem Kohlendioxid, die die ständige Umwandlung von Gesteinen im Boden verbraucht, hochgenau quantifiziert. Die genaue Kenntnis dieses Prozesses ist für das Verständnis der Klimaregulierung des Planeten Erde über geologische Zeiträume unerläßlich.

In weiteren wichtigen Arbeiten hat Prof. Gaillardet ermittelt, welche Mengen an Stoffen in diversen Klimazonen der Erde über die großen Flusssysteme transportiert werden, und wie die stabilen Isotope des Elements Bor benutzt werden können, um den pH-Wert der Ozeane über vergangene Klimazyklen hinweg zu rekonstruieren. Letzterer Beitrag ist für

das Verständnis der Ozeanversauerung durch $CO_2$-Emissionen von hoher Wichtigkeit.

Gaillardet hat sich auch für die globale Vernetzung dieser Forschung im großen Stil verdient gemacht. Zu diesen Verdiensten gehört vor allem die Koordination des „CRiTEX“ Programms, in dem französische Universitäten und Forschungseinrichtungen den Wasser- und Stoffhaushalt von Flüssen und Grundwasser in Observatorien zehn Jahre lang monitoren werden. Zudem ist Prof. Gaillardet in einem weltweiten Netz von „Critical Zone“-Observatorien aktiv. Die GFZ-Sektion „Oberflächennahe Geochemie“ partizipiert an dieser globalen Observatorienstruktur. Insbesondere die gewaltigen Sedimentströme des Amazonasbeckens sind von GFZ-Forschern in Zusammenarbeit mit französischen Observatorien quantifiziert worden. Diese Kooperation soll ausgebaut werden. ■

## Zwei neue Humboldt-Stipendiaten am GFZ

**Dr. Chao Xiong** von der Wuhan-Universität verstärkt seit dem 1. März 2013 für zwei Jahre die GFZ-Sektion „Erdmagnetfeld“. Der Humboldt-Stipendiat aus China wirkt bei der Vorbereitung der bevorstehenden ESA-Satellitenmission Swarm mit.

Herr Xiong wird im Team von Prof. Hermann Lühr bei der umfangreichen Datenauswertung nach dem Start der drei Swarm-Satelliten Ende 2013 mitarbeiten. Zudem wird er die Zusammenarbeit zwischen dem GFZ und der Wuhan-Universität insbesondere auf dem Gebiet der Ionosphärenforschung ausbauen. Zwischen den beiden Institutionen wurde bereits im August 2010 ein Memorandum of Understanding unterzeichnet.

Der Geologe und Geochemiker **Dr. Waliur Rahaman** vom Nationalen Zentrum für Antarktis- und Ozeanforschung in Goa, Indien, ist Gastforscher bei Prof. Friedhelm von Blanckenburg, Leiter der GFZ-Sektion „Oberflächennahe Geochemie“. Seit

*Dr. Helmut Schwarz (Präsident der Humbodt-Stiftung), Joachim Gauck (Bundespräsident) und Humboldt-Stipendiat Dr. Waliur Rahaman (v.l.n.r.) beim Jahrestreffen der Alexander von Humboldt-Stiftung am 6. Juni 2013 im Garten des Schloss Bellevue in Berlin.*

dem 29. April 2013 erforscht Rahaman hier anhand von Lithiumisotopen und kosmogenen Nukliden Verwitterungs- und Erosionsvorgänge im Himalaya. Im Rahmen seines Humboldt-Forschungsstipendiums für Postdoktoranden kann er zwei Jahre an einer selbst gewählten Forschungsinstitution in Deutschland wissenschaftlich arbeiten. ■

## 150 Jahre IAG

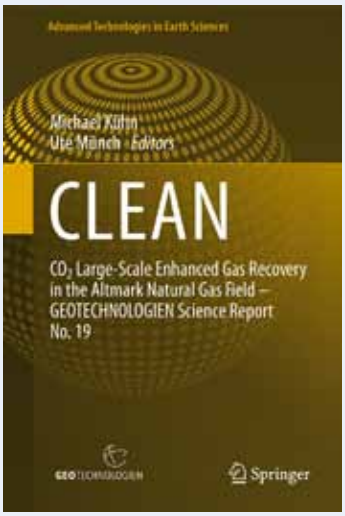
Vom 1. bis 6. September 2013 findet in Potsdam die scientific assembly der internationalen geodätischen Vereinigung IAG statt. Damit wird gleichzeitig der 150. Jahrestag der IAG-Gründung am Ort der Entstehung gefeiert. Das Deutsche GeoForschungsZentrum GFZ richtet die Veranstaltung im Auftrag der IAG aus. Die Ausstellung zur IAG-Konferenz „Von der Pendelmessung zur GRACE-Mission“ kann vom 2. bis 30. September 2013 während der Öffnungszeiten der Bibliothek des Wissenschaftsparks „Albert Einstein“ auf dem Potsdamer Telegrafenberg besucht werden: Montag bis Donnerstag 9:00 bis 16:30 Uhr, Freitag 9:00 bis 15:00 Uhr. ■

**Konferenzprogramm und Anmeldung:**
www.iag2013.org
Konferenzsektretariat (Tel.):
0341-235 22 64

## Nachruf

Mit Trauer und Anteilnahme geben wir Nachricht vom Tod unseres ehemaligen Mitarbeiters **Prof. Dr. Peter Bankwitz** der am 23. Juni 2013 im Alter von 82 Jahren verstarb.
Herr Prof. Bankwitz war vom 1. September 1955 bis zu seinem Eintritt in den Ruhestand am 30.September 1996 zunächst am Geotektonischen Institut, ab 1969 im Zentralinstitut für Physik der Erde und ab dem 1. Januar 1992 am GeoForschungsZentrum GFZ beschäftigt. Im Rahmen seiner Forschungen auf dem Gebiet der Geotektonik hat er sich internationale Anerkennung erworben. Durch seine Mitarbeit in vielen bedeutenden Gremien hat er zum Ansehen des GFZ wesentlich beigetragen. Mit Herrn Prof. Bankwitz verlieren die Geowissenschaften einen herausragenden Wissenschaftler. Wir werden dem Verstorbenen ein ehrendes Andenken bewahren.

# Bücher




## CLEAN

**$CO_2$ Large-Scale Enhanced Gas Recovery in the Altmark Natural Gas Field – GEOTECHNOLOGIEN Science Report No. 19**
**Series: Advanced Technologies in Earth Sciences**

Kühn, Michael; Münch, Ute (Hrsg.)
Springer, 2013, 199 Seiten, engl.
ISBN: 978-3-642-31677-7

**Über das Buch:**
Das Verbundprojekt CLEAN ($CO_2$ Large-Scale Enhanced Gas Recovery in the Altmark Natural Gas Field) war ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (F&E) von insgesamt 16 Institutionen der deutschen Wissenschaft und Wirtschaft, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des GEOTECHNOLOGIEN-Programms im Zeitraum von 01.07.2008 bis 30.06.2011 gefördert wurde. Es handelte sich bei diesem F&E-Vorhaben um das wissenschaftliche Begleitprogramm zu einem EGR (Enhanced Gas Recovery)-Pilotprojekt. Hierzu wurden seitens des Lagerstättenbetreibers (GDF SUEZ E&P Deutschland GmbH) das nahezu vollständig abgebaute, strukturell und hydraulisch vom Hauptfeld isolierte Teilfeld Altensalzwedel ausgewählt und die zur Durchführung des Pilotprojekts erforderliche ober- und untertägige Infrastruktur eingerichtet bzw. bereitgestellt.

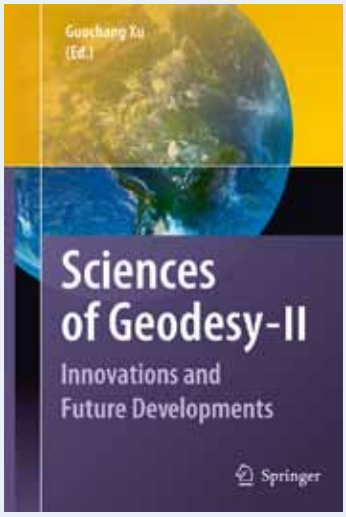
In dem vorliegenden Buch sind alle wissenschaftlichen Ergebnisse, die anhand von Labor- und Feldversuchen oder aber auch durch Modellierungen zum Thema geologische Speicherung von $CO_2$ in der Altmark gewonnen wurden, ausführlich dargelegt. Der generelle Nutzen der erfolgten Arbeiten besteht vorrangig in der optimierten Nutzung des potenziellen unterirdischen Speicherraums und der Verringerung von Risiken bei künftigen EGR- bzw. $CO_2$-Speichervorhaben. Speziell für den Standort Altmark ist das wesentliche Resultat, dass die technischen, logistischen und konzeptionellen Voraussetzungen für die Durchführung eines EGR-Pilotprojekts mit $CO_2$-Injektion gegeben sind. ■

## Sciences of Geodesy - II

Innovations and Future Developments
Xu, Guochang (Hrsg.)
Springer, 2013, 391 Seiten, engl.
ISBN: 978-3-642-28000-9

**Über das Buch:**
In der Fachbuchreihe „Sciences in Geodesy“ werden die verschiedenen wissenschaftlichen Teilgebiete der modernen Geodäsie vorgestellt. Jedes Kapitel ist einem einzelnen Spezialgebiet gewidmet und wurde von einem international bekannten Experten der entsprechenden Fachrichtung verfasst. Darin sind Geschichte, Theorie, Forschungsgegenstand und Anwendungen sowie zukünftige Entwicklungen des jeweiligen Spezialgebiets dargestellt. Hinzu kommen Ausführungen über die genutzten Technologien und Darstellungen von besonders interessanten Forschungsergebnissen der letzten Jahre.

Nachdem im Jahr 2010 das erste Buch dieser Fachbuchreihe veröffentlicht wurde, ist in diesem Jahr Band II erschienen. Er umfasst Kapitel über die Berechnung Greenscher Funktionen für Auflasteffekte der Ozeangezeiten, die Anwendung der Allgemeinen Relativitätstheorie in den geodätischen Weltraumverfahren, globale terrestrische Bezugssysteme, Fotogrammetrie, regionale Schwerefeldmodellierung, die mathematische Ausgleichsrechnung in der Geodäsie und die Very Long Baseline Interferometry (VLBI) in Geodäse und Astrometrie. ■



## Aktuelle Scientific Technical Reports (STR) des GFZ

**Sippl, Christian (2013):** Shallow and deep structure of the Pamir-Hindu Kush region from local seismic data. Scientific Technical Report; 13/08. - NUR ONLINE ERSCHIENEN. DOI: 10.2312/GFZ.b103-13083; urn:nbn:de:kobv:b103-13083

**Pulz, Eberhard (2013):** Entwicklung einer Kalibriereinrichtung für dreiachsige Fluxgate-Magnetometer am Deutschen GeoForschungsZentrum Potsdam. Scientific Technical Report; 13/07. - NUR ONLINE ERSCHIENEN. DOI: 10.2312/GFZ.b103-13074; urn:nbn:de:kobv:b103-13074

**Schwab, Markus J. [Hrsg.]; Lamparski, Piotr [Hrsg.]; Brauer, Achim [Hrsg.]; Błaszkiewicz, Mirosław [Hrsg.] (2013):** 2nd Annual ICLEA Workshop 2013: Dynamics of climate and landscape evolution of cultural landscapes in the Northern Central European Lowlands since the last ice age; Abstract volume & Excursion guide. Scientific Technical Report; 13/04. DOI: 10.2312/GFZ.b103-13047; urn:nbn:de:kobv:b103-13047

**Maercklin, Nils; Haberland, Christian; Ryberg, Trond; Schulze, Albrecht; Weber, Michael (2013):** Seismic data of the DESERT controlled array II: (CSA-2; Arava Valley, Jordan, Oct./Nov. 2001). Scientific Technical Report: Data; 13/03. - NUR ONLINE ERSCHIENEN; GIPP Experiment- and Data Archive. DOI: 10.2312/GFZ.b103-13036; urn:nbn:de:kobv:b103-13036

**Neumann, Carsten; Weiß, Gabriele; Itzerott, Sibylle; Kühling, Matthias; Fürstenow, Jörg; Luft, Laura; Nitschke, Peter (2013):** Entwicklung und Erprobung eines innovativen, naturschutzfachlichen Monitoringverfahrens auf der Basis von Fernerkundungsdaten am Beispiel der Döberitzer Heide, Brandenburg: Abschlussbericht. Scientific Technical Report; 13/02. - NUR ONLINE ERSCHIENEN. DOI: 10.2312/GFZ.b103-13024; urn:nbn:de:kobv:b103-13024

**Pandey, Shantanu (2013):** High resolution 3D Rayleigh wave velocity model of China and surrounding area. Scientific Technical Report; 13/01. DOI: 10.2312/GFZ.b103-13010;urn:nbn:de:kobv:b103-13010

Die Reports stehen unter einer Creative Commons-Lizenz als offen zugängliche Publikationen zur Verfügung.
ISSN: 2190-7110

Sie erscheinen in begrenzter Auflage in gedruckter Form. Gedruckte Exemplare sind gegen eine Schutzgebühr von 10 Euro erhältlich bei:

**Bibliothek des Wissenschaftsparks Albert Einstein**
Telegrafenberg A17
14473 Potsdam
0049-0331-288-1914 (Fax)
bib@gfz-potsdam.de