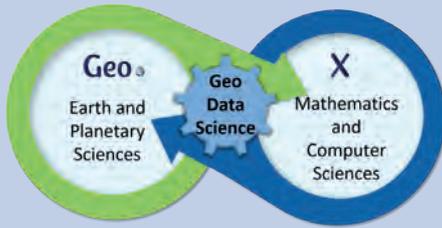


# Interview



## Geo-Data-Science-Projekte im Geo.X-Netzwerk

Geo.X bündelt als Forschungsnetzwerk die geowissenschaftliche Fachkompetenz von Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen in Berlin und Potsdam und vernetzt diese im Akademieprogramm der Geo.X Young Academy mit weiteren Wissenschaftsdisziplinen.

Im ersten Themenschwerpunkt der Akademie lernen und forschen derzeit 28 Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler („Fellows“) in einem neuen Themenfeld: Geo Data Science. Geowissenschaftliche Fragestellungen, wie z. B. die Echtzeitbewertung von Vulkanausbrüchen, die Vorhersage von Hochwasserereignissen oder die Verbesserung von Windparametern für die Sturmvorhersage können mit modernen Methoden der Informatik und Mathematik auf eine neue Ebene gehoben werden.

Dies setzt voraus, dass die Fellows sich in fachfremde Methoden und Datensätze einarbeiten und Forschende aus den verschiedenen Disziplinen und Institutionen

in ihrem Projekt zusammenbringen. Daher sind in den Akademieprojekten Seniorwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler aus mindestens zwei Geo.X-Partnereinrichtungen beteiligt. Das GFZ ist insgesamt in 19 Projekte eingebunden.

**Lisa Rheinheimer** arbeitet seit November 2017 in der Geo.X-Geschäftsstelle und ist Ansprechpartnerin für die Young Academy. Sie hat vier Fellows der Young Academy zu ihrer aktuellen Arbeit und ihren Erfahrungen in diesem spannenden Arbeitsfeld befragt. Die Interviews wurden auf Englisch geführt und ins Deutsche übersetzt.

## ► Interview mit Fellows der Geo.X Young Academy

**Als Fellows der Geo.X Young Academy verbindet euch alle das Thema „Geo Data Science“. Die Ausschreibung dazu verlangte, ein eigenes Forschungsvorhaben vorzuschlagen. Was hat euch daran angesprochen?**

**Fiona Clubb:** Die Offenheit des Aufrufs war einer der Hauptgründe, warum ich mich mit großer Freude für diese Position beworben habe. Ich schätze die Freiheit sehr, meine eigenen Forschungsfragen zu definieren und selbstständig Kooperationen anzustoßen.

**Irina Zhelavskaya:** Für mich war dieses Konzept auch perfekt, da ich damals schon wusste, an welchem Projekt ich weiterarbeiten wollte und es gleichzeitig ins interdisziplinäre Paradigma passt.

Ich habe während meiner Masterarbeit angefangen an der Schnittstelle zwischen Raumfahrtphysik und maschinellem Lernen zu arbeiten. Deshalb war ich bestrebt, damit weiterzumachen.

**Sébastien Valade:** Ich war von der Tatsache fasziniert, dass wir als Geowissenschaftler ausdrücklich dazu aufgefordert wurden, auf die Disziplinen Mathematik und Computerwissenschaften zuzugehen. Mein Projekt entwickelt sich dadurch in Richtungen, die ich mir nie vorgestellt hätte.

**Seid ihr als Young Academy eine feste Gruppe? Wie funktioniert das Gruppengefühl, wenn man an solch unterschiedlichen Themen arbeitet? Arbeitet ihr auch zusammen?**

**Sébastien:** Mit den Fellows, die unserem Forschungsgebiet am nächsten sind, teilen

wir Tipps und Tricks und arbeiten manchmal gemeinsam an Publikationen. Darüber hinaus entstehen interessante Ideen, auch aus weit voneinander entfernten Bereichen, die zu möglichen disziplinübergreifenden Projekten führen.

**Irina:** Milad und ich zum Beispiel arbeiten an einem gemeinsamen Projekt, bei dem wir unsere Kompetenzen kombinieren. Das Projekt beschäftigt sich mit der Ausgabe von GNSS-Windgeschwindigkeiten mithilfe von neuronalen Netzen. Milad ist ein Experte in der Physik dahinter und ich helfe ihm beim Aufbau von neuronalen Netzwerkmodellen. Bei der letzten Jahrestagung der European Geosciences Union (EGU) hat Milad über unsere Methode berichtet, und wir sind jetzt in der Vorbereitungsphase einer Veröffentlichung zum gemeinsam entwickelten Modell.

**Data Science ist aktuell in aller Munde und wird in vielen Bereichen angewandt. Wie seid ihr im Einzelnen dazu gekommen? Was macht ihr jetzt genau? Wieviel Data Science steckt da jetzt wirklich in eurem Projekt?**

**Sébastien:** Data Science ist so ein Schlagwort, das meiner Meinung nach differenzierter behandelt werden muss. Viele klassische Datenwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler verarbeiten vor allem



Seit Anfang 2018 ist **Fiona Clubb** aus Edinburgh Postdoc-Fellow der Geo.X Young Academy. In der Arbeitsgruppe „Global Change – Land Surface Dynamics“ an der Universität Edinburgh, UK, hat sie im Rahmen ihrer Promotion ein neues Verfahren zum Extrahieren von Kanalnetzwerken aus hochauflösenden LIDAR-Daten für die Identifizierung vom Übergang zwischen Murgang und Flusstal als Überschwemmungsinitiationspunkt entwickelt. Ihr Young-Academy-Projekt „Fusion of high-resolution point cloud and spectral data for deriving topographic metrics“ knüpft an diese Methodik an. Sie arbeitet an der Universität Potsdam mit Prof. Bodo Bookhagen zusammen und kooperiert mit Prof. Jürgen Döllner (Hasso Plattner Institut) und Prof. Jean Braun (GFZ).

fremde Daten aus offenen Datenbanken, die sie nicht selbst erhoben haben, und versuchen daraus neue Erkenntnisse zu erzielen. Wenn Data Science also meint, einfach ein paar komplexe mathematische Modelle anzuwenden, ist das erstmal nicht das, was ich mache.

Für mich sind die Datenerhebung und die Datenströme der Ausgangspunkt meiner Wissenschaft. Vulkanische Unruhen sind oft durch Bodenverformungen gekennzeichnet, die in einigen Fällen dem Ausbruch um mehrere Monate vorausgehen können. Satellitenradarinterferometrie (InSAR) wird zunehmend zur Messung der Deformation aus dem Weltraum verwendet, insbesondere in vulkanischen Umgebungen, in denen die bodengestützte Überwachung begrenzt ist. Die Satellitenkonstellation Sentinel-1 ermöglicht mit einem stetigen Strom von Radardaten eine routinemäßige Überwachung von Vulkanen weltweit (Abb. 1). Um jedoch operative Anforderungen zu erfüllen, muss eine schnelle und flexible Verarbeitungsstrategie entwickelt werden. Gemessen an der Menge der Daten, arbeite ich sozusagen mit Big Data. Ziel im Rahmen meines Projekts ist es, ein automatisiertes Vulkan-Überwachungssystem einzurichten, bei dem die kontinuierliche Echtzeitverarbeitung und das Webpublishing der Ergebnisse aus Vulkanobservatorien für das Risikomanagement dienen und unser Verständnis von vulkanischen Prozessen vor und während einer Eruption verbessern können.

**Sébastien Valade** ist seit April 2017 Postdoc-Fellow der Young Academy. Nach dem Bachelor in Geologie und Ingenieurgeologie hat er sich im Masterstudium der Vulkanologie zugewandt und am „Laboratoire Magmas et Volcans“ und der Blaise Pascal Universität in Clermont-Ferrand, Frankreich, promoviert. Bevor er nach Berlin/Potsdam kam, war er Postdoc-Fellow am „Laboratory of Experimental Geophysics“ der Universität Florenz, Italien. Sein aktuelles Projekt „Near real-time detection of volcano deformation from space: development of a web-based monitoring system using Sentinel-1 SAR data“ bearbeitet er an der TU Berlin am Institut für Informatik bei Prof. Olaf Hellwich in Kooperation mit Prof. Thomas Walter, Dr. Sabrina Metzger und Prof. Torsten Dahm am GFZ.



**Wieviel Vorerfahrung hattet ihr bereits in den Methoden, die ja doch eher aus der Informatik und Mathematik stammen? Wie schwierig war es, sich diese noch zusätzlich anzueignen? Wie geht ihr mit Problemen um?**

**Irina:** Ich habe mich bereits relativ früh damit beschäftigt. In meinem Masterstudium gab es die Möglichkeit, Vorlesungen in Data Science zu belegen. Außerdem war ich zu einem Austausch am MIT. Dort konnte ich verschiedene Kurse über Statistik, Data Mining und maschinelles Lernen besuchen. Bis zum Ende des Studiums hatte ich bereits an mehreren Projekten zu diesem Thema teilgenommen und wusste, dass ich für die Doktorarbeit auch ein angewandtes Projekt durchführen wollte, das maschinelles Lernen beinhaltet. Heutzutage ist Data Science in Form von Modellen, die ich erstellt habe, und Methoden, die ich anwende, ein wesentlicher Teil meiner Arbeit und alle meine wissenschaftlichen Projekte basieren darauf. Als Teil meiner Doktorarbeit entwickelte ich ein globales Modell zur Plasmadichte (Anzahl von Teilchen in einer Volumeneinheit), das

mithilfe von neuronalen Netzwerken aus sehr geringen Punktdichtemessungen von zwei Satelliten erzielt wurde. Dieses auf neuronalen Netzwerken basierte Modell ist in der Lage, die globale Dynamik von Plasma für verschiedene geomagnetische und solare Windbedingungen im Weltraum auszugeben (Abb. 2). Dadurch ist es viel besser als alle anderen bereits existierenden Modelle zur Plasmadichte. Für die Entwicklung eines solchen Modells ist es essentiell, Methodik- und Fachwissen in beiden Disziplinbereichen anzuwenden. Es gibt jedoch immer noch Dinge, die ich lernen und verbessern möchte, vor allem zur Deep-Learning-Methode, die zu meinen Studienzeiten noch ein neues Feld war.

Ich habe auch einige andere Methoden ausprobiert, die aber nicht gut funktioniert haben. Im Grunde genommen ist es meine Aufgabe, die Parameter zu finden, die diese Dynamik am besten beschreiben, und das Modell dadurch effektiver zu machen. Die Schwierigkeit ist, dass neuronale Netze auch immer eine Blackbox sind und eigene interne Parameter haben, wie beispielsweise

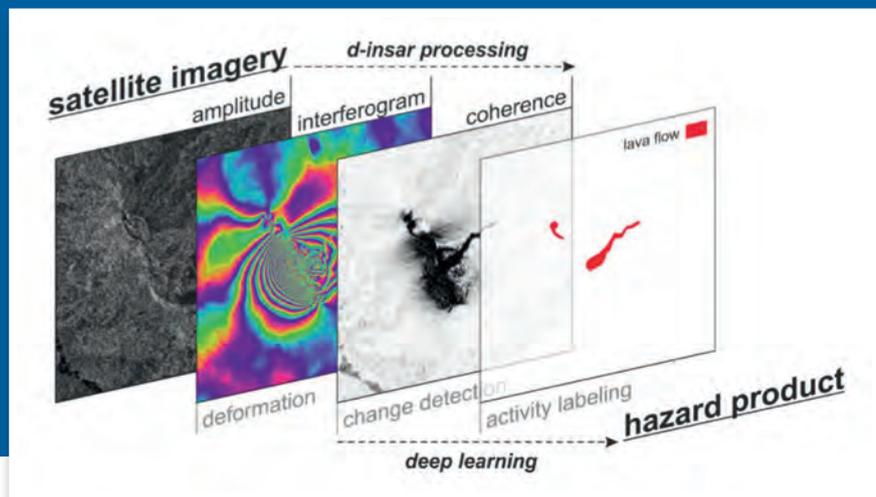


Abb. 1: Schematische Darstellung der Verarbeitung von Satellitenbildern (z. B. aus Radarinterferometrie), aus denen mithilfe von „Deep Learning“ automatisiert Gefahrenkarten (z. B. Lavafluss) erstellt werden können. Das ist das Ergebnis der Zusammenarbeit der Arbeitsgruppe „Vulkangefahren“ am GFZ und dem Fachgebiet „Computer Vision and Remote Sensing“ der TU Berlin. (Abbildung: Sébastien Valade)

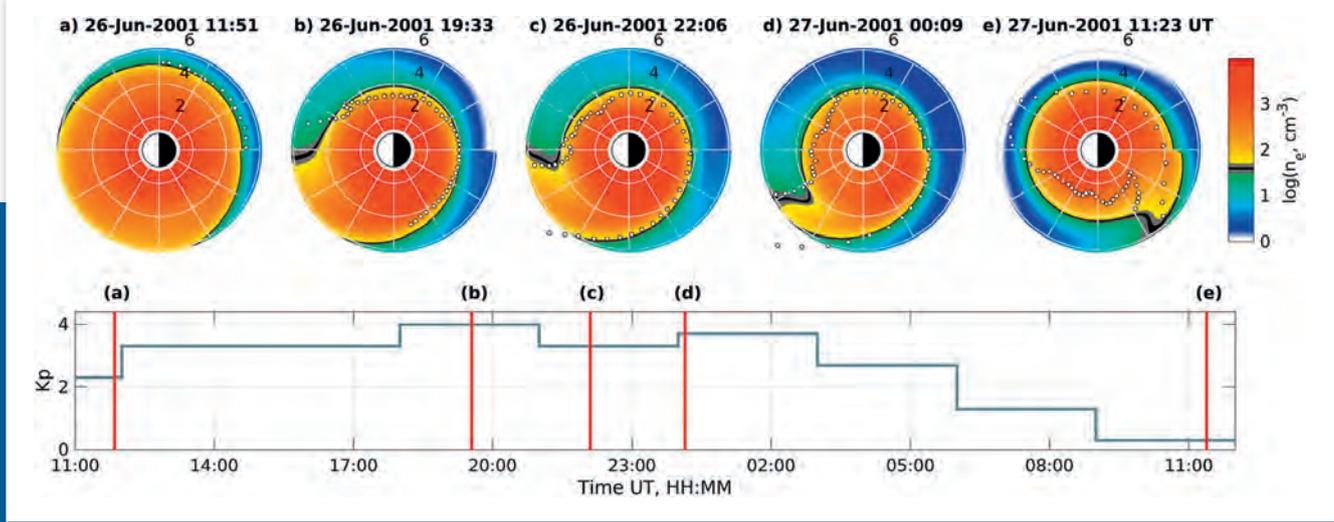


Abb. 2: Obere Reihe: Beispiel einer globalen Elektronendichte-Rekonstruktion durch das neuronale Netzwerkmodell für ein geringes geomagnetisches Störungsintervall während des 26./27. Juni 2001. Die weißen Punkte zeigen die äußere Grenze der Plasmasphäre, abgeleitet von den IMAGE-Satellitendaten, mit denen das Modell abgeglichen wird. Die Farbgebung repräsentiert die Plasmadichte, und die graue und die schwarze Linie repräsentieren die äußere Grenze der Plasmasphäre, die aus dem Modell abgeleitet wurde. Das neuronale Netzwerk erfasst die Erosion der Plasmasphäre auf der Nachtseite und die Bildung einer Wolke im Nachmittagsbereich. Untere Reihe: Der geomagnetische Kp-Aktivitätsindex ist grau dargestellt; rote vertikale Linien entsprechen den Dichte-Momentaufnahmen in der oberen Reihe, wie durch Buchstaben angezeigt. Die Sonne ist hierbei auf der linken Seite. (Abbildung aus Zhelavskaya, I. S., Shprits, Y. Y., Spasojevic, M. (2017): Empirical modeling of the plasmasphere dynamics using neural networks. - Journal of Geophysical Research: Space Physics, 122, 11,227–11,244. <https://doi.org/10.1002/2017JA024406>.)

se die Neuronenanzahl, versteckte Ebenen und ähnliches. Das hat zur Folge, dass mit großem Aufwand sachgemäße Validierungsverfahren betrieben werden. Gerade Kreuzvalidierung ist extrem zeitaufwendig und es wäre ein großer Gewinn, die Modelle so zu optimieren, dass sie trotz geringem Zeitaufwand belastbare Ergebnisse liefern.

**Wie sieht die interdisziplinäre Mission der Young Academy ganz praktisch in eurem Alltag aus?**

**Sébastien:** Ich mag die Idee der Interdisziplinarität. In der täglichen Arbeit ist Interdisziplinarität jedoch nicht immer so glamourös, da es sich entgegen aller Erwartungen oft um einen langsamen, autodidaktischen Prozess handelt und man nicht ständig dynamisch und interaktiv zusammenarbeitet.

**Fiona:** Mir geht es da ähnlich. Ich arbeite an der Entwicklung von Software zur Analyse von Topographie aus Fernerkundungsdaten. Wir sind eine Gruppe von acht Personen und arbeiten bei der Entwicklung dieser Software eng zusammen. Dennoch verbringe ich etliche Zeit damit, einfach nur alleine dazusitzen und herauszufinden, was ein einzelner Algorithmus tut. Wie Sebastien denke ich, dass es sich auch bei Data-Science-Methoden vor allem um ein Werkzeug handelt und je besser man sich damit auskennt, desto mehr sieht es dann von außen wie etwas wirklich kunstvolles aus.

**Irina:** Ich habe die Erfahrung gemacht, dass eben nicht alles von Anfang an funktioniert. Da hilft dann wirklich die Betreuung durch Professorinnen und Professoren aus verschiedenen Disziplinen, Ansprechpersonen überall zu haben, die in ihrem Feld kompetent sind und Fragen beantworten können.

**Fiona:** Ich finde Interdisziplinarität krank oft daran, dass man aus sehr limitierenden Bildungssystemen kommt, die einen auch auf einen ebenso engen Weg zwingen. Das führt dann dazu, dass man nicht die Bandbreite an Fähigkeiten vermittelt bekommt, die notwendig sind, um ein interdisziplinäres Projekt von Anfang bis Ende durchzuführen. Auf der anderen Seite braucht es für viele Fragestellungen auch extrem spezielles Wissen. Für mich ist das geologische Hintergrundwissen essentiell, da es meine Forschungsfrage vorantreibt. Ohne mein Prozessverständnis über fluviale Systeme, von Flussbettformen, Auenbereichen bis hin zur Terrassenbildung, könnte ich die Ergebnisse meiner Analyse überhaupt nicht beurteilen. Ein Beispiel ist in Abb. 3 zu sehen.

**Fühlt ihr euch als Pioniere, wenn es um Data Science in den Geowissenschaften geht? Wie schätzt ihr den Stellenwert von Geo Data Science in Zukunft ein? Erwartet ihr noch Quantensprünge speziell für die Geowissenschaften in diesem Bereich? Was ist eventuell noch nötig, um das Thema weiter voranzubringen?**

**Fiona:** Ich bin mir nicht sicher, ob ich von mir sagen würde, eine Pionierin zu sein, aber ich denke in meinem speziellen Gebiet der Geomorphologie verwenden nur sehr wenige Kolleginnen und Kollegen Data-Science-Techniken. Ich bemerke aber, dass



Als PhD-Fellow ist Irina Zhelavskaya seit Dezember 2017 Mitglied der Young Academy. Ihr Studium absolvierte sie an der Universität Moskau, Russland, mit Austauschaufenthalten am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Pasadena, USA, zum Thema Computer und Cognitive Sciences. Kombiniert mit ihrem Hintergrund in Mathematik und Computerwissenschaften erforscht sie jetzt „Empirical modeling of the plasmasphere dynamics using neural networks related to naturally driven solar storms“. Am GFZ arbeitet sie in der Sektion „Magnetosphärenphysik“ und wird von Prof. Yuri Shprits in Kooperation mit Prof. Tobias Scheffer von Institut für Informatik sowie Prof. Sebastian Reich vom Institut für Mathematik (beide Universität Potsdam) betreut.



**Milad Asgarimehr** kam im Februar 2017 als Young-Academy-Fellow für seine Doktorarbeit ans GFZ. Sein Bachelor- und Master-Studium absolvierte er in Iran an der Universität von Tafres und der Technischen Universität in Teheran. Seine Schwerpunktfächer Geodäsie und Geomatik bilden die Grundlage für sein Young-Academy-Projekt zu „GNSS Reflectometry Data Assimilation into Severe Weather Predictions“. Dabei geht es vor allem um den Einsatz von Satellitendaten zur Verbesserung von Windparametern für die Sturmvorhersage, aber auch zur Einspeisung in Extremwetter-Modelle. In der GFZ-Sektion „Geodätische Weltraumverfahren“ wird er von Prof. Jens Wickert in Kooperation mit Prof. Sebastian Reich vom Institut für Mathematik an der Universität Potsdam betreut.

die Popularität deutlich zunimmt, insbesondere bei Methoden wie maschinelles Lernen und neuronale Netze. Ich denke, da die Menge der Erdbeobachtungsdaten, die wir sammeln, in Zukunft zunehmen wird, werden Datenwissenschaften zu einem fundamental wichtigen Teil der Geowissenschaften werden. Eine breitere Ausbildung der Studierenden in quantitativen und analytischen Methoden wird unerlässlich sein, um Themen der Geowissenschaften in Zukunft voranzutreiben. Diese Fähigkeiten – kombiniert mit grundlegendem Prozessverständnis – können zu aussagekräftigen Schlussfolgerungen führen.

**Milad:** Ich denke, dass diese systematische Art, interdisziplinäre Datenwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler auszubilden, eine einmalige Chance ist, und in diesem Sinne fühle ich mich als Pionier. Ich glaube, dass bereits einige in der Wissenschaft aktiv Methoden aus Data Science nutzen und die Zahl steigt. Ich gehe davon aus, dass sich in Zukunft noch weitere verschiedene wissenschaftliche Themen im Sinne ihrer Datenauswertungskonzepte überschneiden werden. Uns erwartet eine Zeit, in der Data-Science-Fähigkeiten Grundvoraussetzungen sind und nicht mehr nur als Vorteil gesehen werden.

**Irina:** Die Frage zu Durchbrüchen ist schwer zu beantworten. In der Weltraumphysik versuchen gerade viele Wissenschaftlerinnen und -wissenschaftler anhand von Data-Science-Methoden beispielsweise geomagnetische Stürme vorherzusagen. Das ist eines der schwierigsten Themen im Weltraum. Bisher hat das niemand zufriedenstellend geschafft. Selbst die Deep-Learning-Methoden funktionieren nicht erfolgreich.

Wenn man das Thema Data Science voranbringen will, würde es extrem helfen, eine größere Transparenz zu schaffen, wie beispielsweise maschinelle Lernmethoden wirklich funktionieren. Viele traditionelle Wissenschaftlerinnen und -wissenschaftler hegen ein grundsätzliches Misstrauen gegen die „Black Box“ der neuronalen Netzwerke.

**Wie werdet ihr persönlich mit Data Science weitermachen? Wo seht ihr eure zukünftigen Schwerpunkte?**

**Irina:** Es wäre großartig, in der Wissenschaft zu bleiben. Ich würde gerne an dem weiterarbeiten, was ich gerade mache und in Zukunft Methoden des maschinellen Lernens auf andere Probleme anwenden. Auf jeden Fall werde ich versuchen, in beiden Forschungsfeldern weiter zu arbeiten, sowohl in Data Science, als auch in Weltraumphysik. Ich denke, da steckt ein enormes Potenzial in der Kombination dieser Disziplinen. Am wichtigsten ist mir, reale Probleme mit meinen neuen Fähigkeiten zu lösen.

**Sébastien:** Ich denke, ich bin tief genug in Methoden aus den Data Science eingestiegen, um sie auch auf andere Fragestellungen anwenden zu können. Aber ich glaube, ich würde es nicht mögen. Mich faszinieren die Fragestellungen rund um Vulkane, so dass ich mich darauf spezialisieren werde, maschinelles Lernen auf stetig wachsende Datenmengen in Echtzeit anzuwenden.

**Fiona:** Mein persönliches Interesse an Data Science ist das Potenzial für das „Scale-up“. Derzeit haben wir hochauflösende Daten für die Erdoberfläche, aber wir können nur kleine räumliche Skalen betrachten. Die Entwicklung neuer datengestützter Ansätze wird es uns ermöglichen, Prozesse der Erdoberfläche sowohl bei hohen Auflösungen als auch bei großen räumlichen Skalen zu betrachten, und darauf möchte ich mich in Zukunft konzentrieren.

**Milad:** Ich hoffe, dass ich in der Lage bin, die Lücke von Data Science zu meiner Hauptdisziplin in akademischen oder außerakademischen Positionen zu schließen. ■

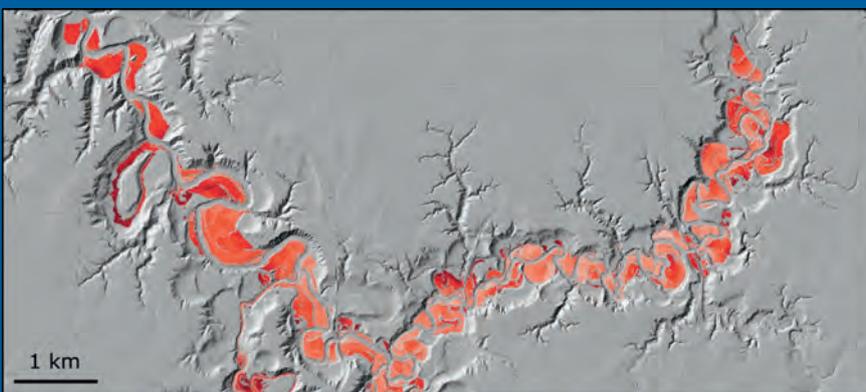


Abb. 3: Darstellung fluvialer Terrassen am Le Sueur River, Minnesota, USA (Abbildung: Clubb, F. J. et al. (2017): Geomorphometric delineation of floodplains and terraces from objectively defined topographic thresholds. - Earth Surf. Dynam., 5, 369-385. <https://doi.org/10.5194/esurf-5-369-2017> CC BY 3.0)

# Netzwerk

## GRACE Follow-On erfolgreich gestartet



Start der GRACE-FO-Satelliten am 22. Mai 2018 an Bord einer Falcon-9-Rakete (Foto: NASA/Bill Ingalls)

Die deutsch-amerikanische Satellitenmission GRACE-FO (Gravity Recovery And Climate Experiment Follow-On) ist erfolgreich gestartet. Am 22. Mai 2018 um 21.47 Uhr (MESZ) hoben die beiden Satelliten an Bord einer Falcon-9-Rakete von SpaceX von der Vandenberg Air Force Base (Kalifornien) ab und wurden in eine polare Umlaufbahn gebracht. Das Raumfahrtkontrollzentrum (German Space Operations Center) des DLR in Oberpfaffenhofen, unterbeauftragt vom GFZ, meldete bereits 30 Minuten später, dass der Kontakt zu beiden Satelliten in ihrem Zielorbit erfolgreich hergestellt wurde. Die Satelliten haben am 19. August 2018 ihre sogenannte „In Orbit Check-out Phase“ beendet, in der die Satelliten und Instrumente intensiv getestet und kalibriert wurden. In der sich nun anschließenden

viermonatigen „Science Phase“ werden erste Schwerfelder gerechnet.

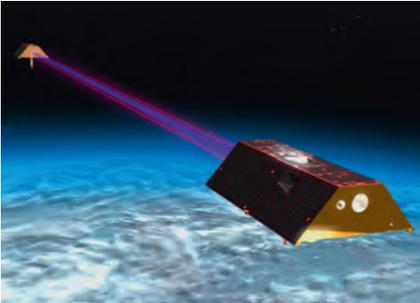
### Satelliten-Tandem dokumentiert globalen Wandel

Das GRACE-Follow-On-Satellitenpaar umrundet die Erde rund 490 km über ihrer Oberfläche. Die Satelliten folgen einander in einer Entfernung von 220 km in einer 90-Minuten-Bahn, die sie über die Pole der Erde führt. Die Mission GRACE Follow-On wird das Erdschwerefeld und dessen räumliche und zeitliche Variationen sehr genau vermessen. Sie ermöglicht damit präzise Aussagen zum globalen Wasserhaushalt wie Veränderungen des Grundwassers, Verluste von Eismassen oder zum Anstieg des Meeresspiegels und liefert damit auch wesentliche Beiträge zum Verständnis des Klimawandels auf unserer Erde, seiner Ur-

sachen und des Einflusses des Menschen auf das Klima. Die Mission setzt die überaus erfolgreichen Messungen der Vorgängermission GRACE, die von 2002 bis 2017 aktiv war, fort. Dies erlaubt es, nicht nur aktuelle Änderungen im System Erde zu erfassen, sondern auch langfristige Trends zu identifizieren, die mitunter erst über mehrere Jahre oder gar Jahrzehnte zutage treten.

GRACE Follow-On ist eine gemeinsame Mission von GFZ, das die deutschen Beiträge zu der Mission leitet, und der US-Raumfahrtagentur NASA. Hier setzt sich die gute Zusammenarbeit zwischen beiden Ländern fort, die bereits bei der Vorgängermission GRACE begonnen hatte. So wurden beispielsweise die beiden Satelliten erneut von Airbus in Friedrichshafen gebaut, im Auftrag des Jet Propulsion Laboratory der NASA in Pasadena (Kalifornien). Auch in Wissenschaft und Technologieentwicklung gibt es vielfältige Kooperationen. Sie werden maßgeblich durch Mittel aus dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie aus dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt.

Das GFZ ist als Missionspartner der NASA führend an der Erhebung und Auswertung der Daten beteiligt. Mehr als 6000 Nutzerinnen und Nutzer weltweit warten gespannt auf die neuen Resultate. Das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) Hannover ist maßgeblich an der Entwicklung eines neuen Laserverfahrens beteiligt, das die Messgenauigkeit von GRACE Follow-On nochmals deutlich steigert und auch bei künftigen Raumfahrtmissionen wie dem satellitengestützten Gravitationswellen-Observatorium LISA eingesetzt werden soll. Die Laser Verbindung über die Distanz von 220 km zwischen den beiden Satelliten wurde am 14. Juni 2018 erstmals erfolgreich getestet und liefert seitdem hochpräzise Daten – mit Nanometer-Genauigkeit. Eine deutlich verbesserte Abstandsmessung zwischen den beiden Satelliten bedeutet, dass auch die erhobenen Schwerfelddaten nochmals genauer sind.

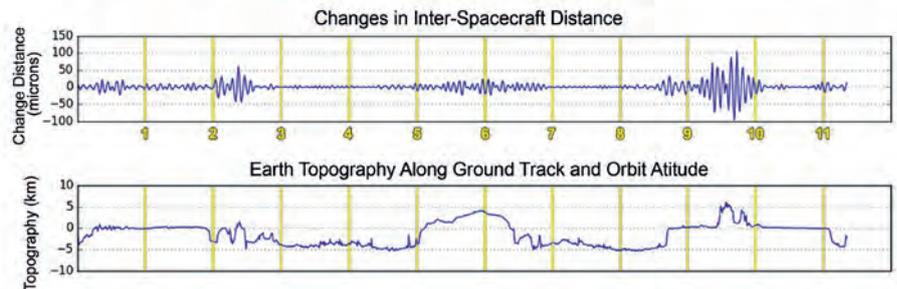
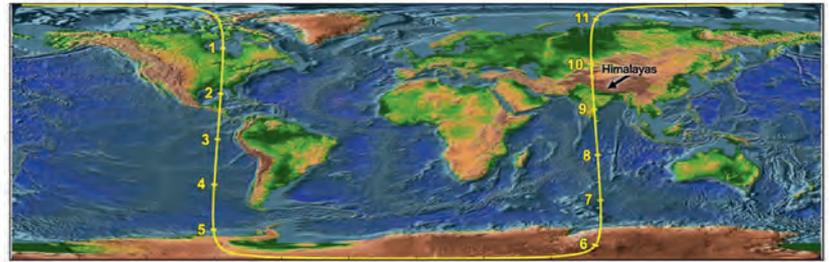


Die hochgenaue Abstandsmessung erfolgt mit Mikrowellen. An Bord der GRACE-FO-Satelliten ist auch ein im Wesentlichen in Deutschland entwickeltes Laser Ranging Interferometer (LRI), das erstmals den Abstand von zwei Satelliten mit Nanometer-Genauigkeit vermisst. Das LRI ist ein Technologie-Demonstrator für zukünftige Missionen.

### Messprinzip

Grundlage der Forschungen dieser Mission ist der Umstand, dass die Massenverteilung im Erdkörper und auf der Oberfläche unseres Planeten nicht überall gleich ist. Im Erdinneren bewegen sich glutflüssige Gesteinsmassen, Wassermassen fließen in den Ozeanen und auf den Kontinenten, und auch die Luftmassen sind in stetiger Bewegung. Da die Anziehungskraft eines Körpers von seiner Masse abhängt, hat die ungleiche Massenverteilung unseres Planeten ein ungleichförmiges Feld der Gravitation zur Folge.

Die hintereinander fliegenden Satelliten der Mission GRACE-FO werden daher, zeitlich etwas versetzt, mal stärker und mal schwächer angezogen – je nachdem, wie viel Masse sich unter ihnen befindet. Dies führt zu einer kleinen Änderung des Satellitenabstands, der dank eines präzisen Mikrowellenverfahrens bis auf einige Tausendstel Millimeter genau bestimmt wird. Zum Vergleich: Bezogen auf die Strecke Potsdam – Hannover kann eine Längenänderung erfasst werden, die dem Zehntel des Durchmessers eines menschlichen Haars entspricht. Als Ergebnis können damit auch geringe Massenunterschiede im System Erde erfasst werden. Da die beiden Satelliten kontinuierlich die Erde



Entlang der Bodenspur der Satellitenbahn (oben) ändert sich der Abstand zwischen den beiden GRACE-FO-Satelliten mit der Variation der Massen im Untergrund (beispielsweise Gebirge). Die mit dem Mikrowellenverfahren während einer Erdumrundung am 30. Mai 2018 gemessenen Änderungen (Mitte) stimmen gut mit den topographischen Gegebenheiten entlang des Orbits überein (unten). (Abbildungen: NASA/JPL-Caltech/GFZ)

umkreisen, können sowohl örtliche als auch zeitliche Änderungen des Schwerfelds dokumentiert werden.

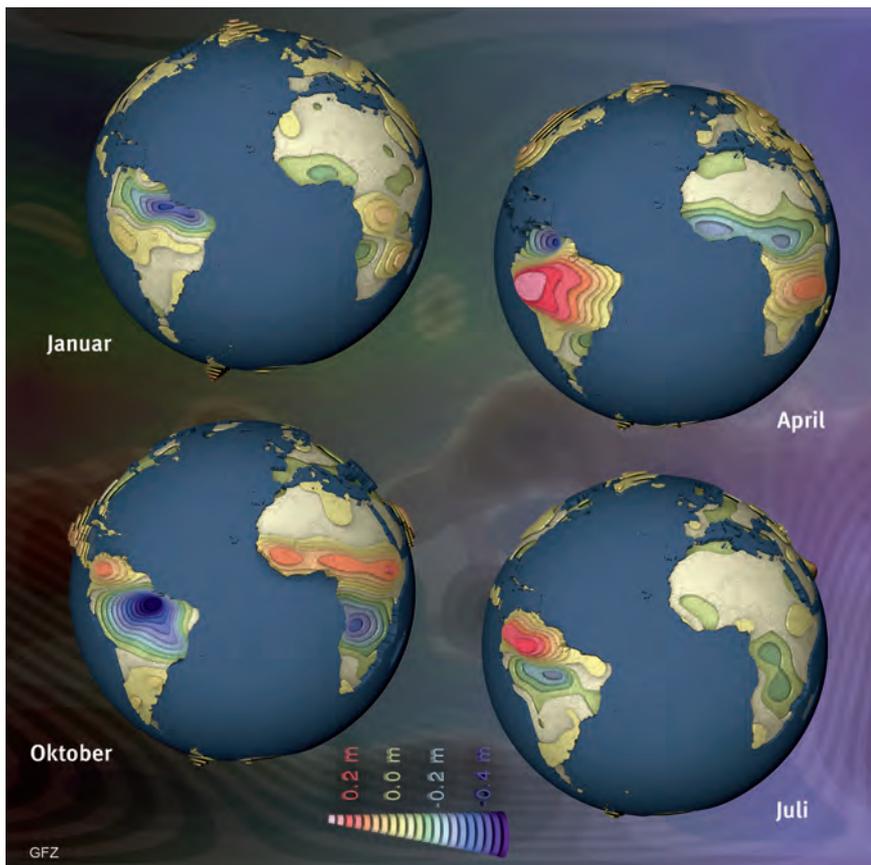
### Monatliche Schwerfeldkarten

Primäres Missionsziel ist die Erstellung globaler monatlicher Schwerfeldkarten. Mit Hilfe dieser Daten können verschiedene Veränderungen im System Erde rekonstruiert werden. Mit der Vorgängermission GRACE konnte beispielsweise gezeigt werden, dass der Eismassenverlust in Grönland zwischen 2002 und 2016 rund 270 Mrd. Tonnen pro Jahr betrug. GRACE-FO wird die Entwicklung in Grönland, aber auch in der Antarktis und anderen Eisregionen, weiterhin verfolgen und aktuelle Daten liefern. Überdies kann die Mission Veränderungen der Grundwasserstände in großen Becken erfassen – ohne, dass Messungen vor Ort erforderlich sind. Dazu gehören sowohl Verluste, wie sie jüngst in Kalifornien oder im Nahen Osten beobachtet wurden, als auch zunehmende Wassermassen im Untergrund. Dieser Fall ist für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ebenso spannend, denn ein gut gefüllter Grundwasserleiter hat zur

Folge, dass nach ergiebigen Regenfällen weniger Wasser versickert und damit die Überflutungsgefahr steigt. GRACE-FO soll helfen, diese Bedrohung frühzeitig zu erkennen.

Die Messdaten sind auch für den marinen Bereich von großer Bedeutung. Dort dienen sie etwa dazu, den Meeresspiegelanstieg zu erforschen. Anhand von Schwerfelddaten lässt sich ermitteln, wie groß der Anteil von zusätzlichem Wasser – beispielsweise von schmelzenden Gletschern – an den steigenden Pegeln ist und welcher Anteil auf die wärmebedingte Ausdehnung des vorhandenen Meerwassers zurückzuführen ist. Weiterhin werden die Daten von GRACE-FO herangezogen, um Ozeanströmungen zu erforschen.

Ein weiteres Ziel ist die Messung von Zustandsparametern der Atmosphäre mit Hilfe der sogenannten GPS-Radiookkultation. Die Methode basiert auf dem Umstand, dass die von GRACE-FO empfangenen Funksignale hinter der Erde verschwindender GPS-Satelliten infolge temperatur- und

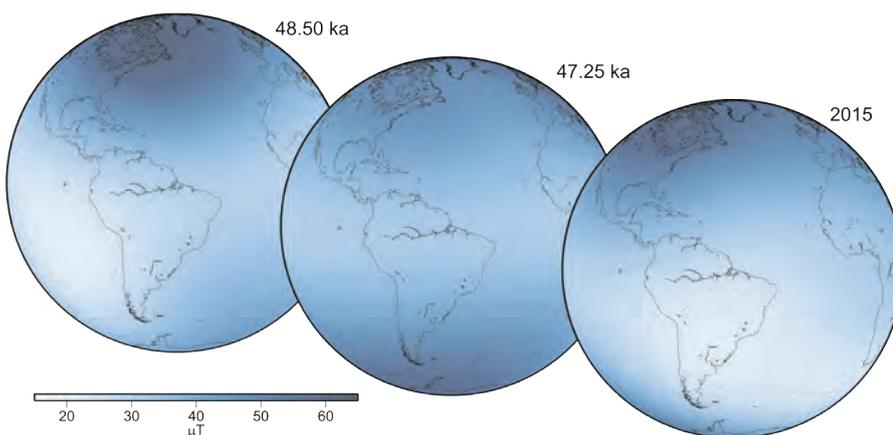


Beispiel für saisonale Schwankungen, berechnet aus GRACE-Daten: Wassermassenänderungen in Südamerika und Afrika im Januar, April, Juli und Oktober 2011 (im Uhrzeigersinn, beginnend oben links; Abb.: M. Rother, GFZ)

feuchtebedingter Dichteänderungen der Atmosphäre unterschiedlich stark gebrochen werden. Diese Änderungen lassen sich aus den GPS-Signalen, die an Bord der Satelliten aufgezeichnet werden, rekonstruieren. Die Atmosphärenmessungen von GRACE-FO werden vom GFZ mit einer Verzögerung von etwa zwei Stunden an verschiedene internationale Wetterzentren geliefert, um deren tägliche Vorhersagen zu verbessern.

Die Mission ist geplant für eine Dauer von zunächst fünf Jahren, eine Verlängerung ist möglich. Die sehr guten Erfahrungen bei GRACE lassen auf einige zusätzliche Jahre hoffen – diese würden die Zeitreihen von Veränderungen des globalen Wasserkreislaufs dann auf 20 bis günstigstenfalls 30 Jahre verlängern. Damit können Fragen zum Erhalt der anthropogenen Lebensräume im Zusammenhang mit dem globalen Wandel wesentlich zuverlässiger beantwortet werden als heute. ■

### Die erdmagnetische südatlantische Anomalie ist offenbar kein Anzeichen für eine beginnende Polumkehr



Magnetfeldstärke an der Erdoberfläche zu drei Zeitpunkten, vor 48 500 und vor 47 250 Tausend Jahren vor heute sowie im Jahr 2015. Das Erdmagnetfeld wies in der Vergangenheit ähnliche Gebiete sehr schwacher Feldstärke wie in der heutigen südatlantischen Anomalie über Südamerika und dem südlichen Atlantik auf, beispielsweise vor 48 500 Jahren. Die damalige Anomalie entwickelte sich nicht zu einer Feldumkehr, etwa 1000 Jahre später zeigte das Feld wieder deutlich gleichmäßiger verteilte Feldstärken.

Das Erdmagnetfeld schützt unseren Lebensraum vor Strahlung aus dem Weltraum, insbesondere vor dem Strom geladener Teilchen des Sonnenwinds. Seit Beginn der systematischen Messungen im Jahre 1840 nimmt die globale Stärke des Magnetfelds um rund 5 % pro Jahrhundert ab. Über dem

südlichen Atlantik und Südamerika bildete sich seitdem eine ausgeprägte Schwächezone, die als südatlantische Anomalie bezeichnet wird. Forschende diskutieren kontrovers, ob sie ein Anzeichen für eine beginnende magnetische Polumkehr ist. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

des GFZ und der Universitäten von Island, Liverpool und Nantes zeigen nun jedoch anhand der Rekonstruktion des Erdmagnetfelds der Vergangenheit, dass die südatlantische Anomalie vermutlich kein Vorbote einer Polumkehr ist.

Im Bereich dieser Anomalie ist das Erdmagnetfeld deutlich schwächer als in vergleichbaren Breiten in anderen Regionen auf dem Globus. Der Schutz vor Strahlung aus dem Weltraum ist hier entsprechend abgeschwächt. Das führt beispielsweise dazu, dass über dieser Region häufiger als andernorts Satellitenausfälle beobachtet werden und Passagiere auf Langstreckenflügen erhöhten Strahlungsdosen ausgesetzt sind.

Umkehrungen des Magnetfelds sind ein häufiges Phänomen der Erdgeschichte. Der Prozess einer Umkehr der Polarität des Erdmagnetfelds geht stets mit einer Phase sehr geringer Feldstärken einher, also einer Phase erhöhter Strahlungsdosen aus dem All. In ihrer neuen Studie, veröffentlicht in der Fachzeitschrift *PNAS*, rekonstruiert das Autorenteam Änderungen des Erdmagnetfelds der Vergangenheit basierend auf paläomagnetischen Messdaten aus Sedimentbohrkernen und vulkanischen Gesteinen, die über die ganze Erde verteilt sind. Die im Gestein enthaltenen magnetischen Minerale wie Magnetit oder Hämatit

„speichern“ die Ausrichtung und Stärke des Erdmagnetfelds zur Zeit ihrer Bildung. Für einen Zeitraum von 50 000 bis 30 000 Jahren vor heute gibt es besonders viele Daten, weshalb die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für diesen Zeitraum die Änderungen im Erdmagnetfeld weltweit modellieren konnten. Für diesen Zeitraum ähnelte demnach die Verteilung der Intensität des Magnetfelds mindestens zwei Mal dem heutigen Feld, mit schwachen Werten über dem Südatlantik oder Südamerika. In beiden Fällen nahm die Feldstärke in diesen Schwächezonen nach einiger Zeit wieder zu und die Anomalien verschwanden, ohne dass es zu einer Polumkehr kam.

Vor 41 000 Jahren ereignete sich eine kurzfristige Polumkehr, eine sogenannte magnetischen Exkursion. Sie wird nach ihrem Entdeckungsort als Laschamp-Exkursion bezeichnet. Zu dieser Zeit änderte das Erdmagnetfeld vermutlich für weniger als 1000 Jahre seine Polarität. Zu Beginn der Laschamp-Exkursion weist das Feld eine deutlich andere Verteilung von Schwächezonen auf als heute.

Aus der Betrachtung der vergangenen 50 000 Jahre schließen die Autorinnen und Autoren, dass die heutige südantlantische Anomalie nicht als Beginn einer Feldumkehr gedeutet werden kann. Auf Zeiten, die anders als der Beginn der Laschamp-Exkursion eine Verteilung von Schwächezonen zeigten, die der heutigen Verteilung ähneln, folgte keine Polumkehr und die Schwächezonen verschwanden wieder. Wie lange die heutige südantlantische Anomalie noch anhält, können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht sagen. Die Feldstärke könnte noch über einige Jahrhunderte weiter abnehmen. Die letzte Polumkehr hin zur heutigen Ausrichtung des Erdmagnetfelds fand vor 780 000 Jahren statt. Bevor sich das Magnetfeld erneut umkehrt, könnten noch Jahrtausende vergehen. ■

#### Originalstudie:

Brown, M., Korte, M., Holme, R., Wardinski, I., Gunnarson, S. (2018): Earth's magnetic field is probably not reversing. - *PNAS*. DOI: [10.1073/pnas.1722110115](https://doi.org/10.1073/pnas.1722110115)

## Neueinschätzung der Erdbebengefährdung Deutschlands

Deutschland hat ein neues Kartenwerk zur Erdbebengefährdung. Obwohl die Gefährdung durch Erdbeben in Deutschland relativ gering ist, ist sie keinesfalls vernachlässigbar. Bedeutende Schadenbeben mit Magnituden größer 6 sind innerhalb Deutschlands sowie in unmittelbarer Nachbarschaft immer wieder aufgetreten. Bereits 1981 wurde die erste Erdbebenbaunorm bauaufsichtlich eingeführt. Das neue Kartenwerk ersetzt die vor rund zwanzig Jahren konzipierte alte und bis jetzt gültige Erdbebenzonierung. Die vorgelegten Karten zeigen, welche Bodenerschütterungen für verschiedene Schwingungsperioden in Deutschland für vorgegebene Wahrscheinlichkeiten zu erwarten sind. Die Zonierung weist anhand eines wesentlich verbesserten Gefährdungsmodells und aktualisierter Datenbestände mit umfassender Einbeziehung aller zu berücksichtigender Unsicherheiten solide und robuste Berechnungen auf.

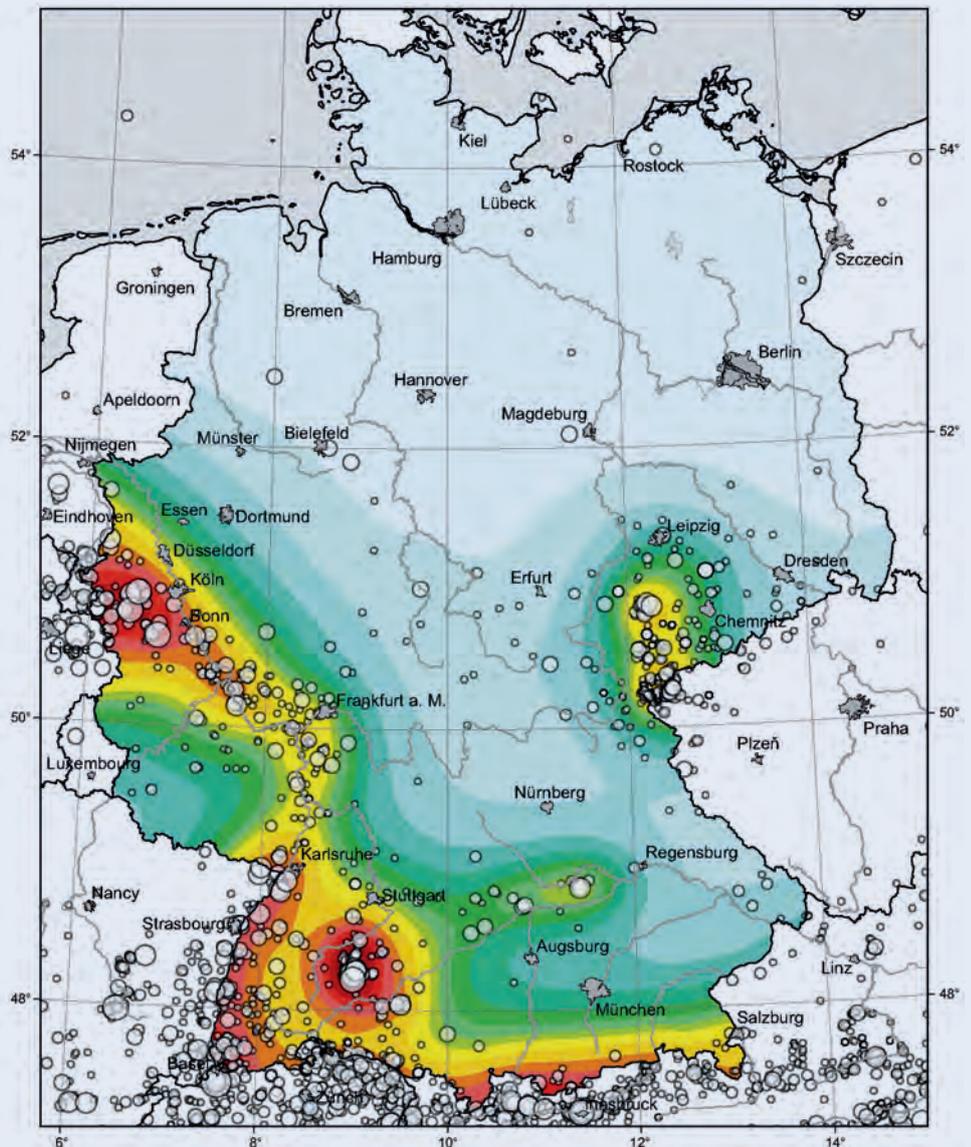
Die wichtigste Eingangsgröße dabei ist die Erdbebentätigkeit der letzten rund 1000 Jahre auf dem Gebiet der heutigen Bundesrepublik samt einer Umgebung von mindestens 300 km. Zur Erarbeitung dieser Datenbasis gehörte das akribische Studium der Quellen vieler dieser historischen Beben. Dabei zeigte sich, dass in frühere Gefährdungsberechnungen „Fake Beben“ eingegangen waren: Naturereignisse wie Stürme, plötzliche Bodensenkungen oder Nachrichten entfernter starker Erdbeben, die fälschlicherweise als lokale Erdbeben überliefert wurden. Mehr als 60 % der im bisherigen deutschen Erdbebenkatalog aufgeführten Schadenbeben haben in manchen Gebieten nie stattgefunden. Spätere Chronisten oder Autoren verschiedener Erdbebenkataloge haben die Fehler übernommen.

Die Gefährdungskarten wurden am GFZ im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik und in enger Abstimmung mit Mitgliedern des entsprechenden DIN-Normenausschusses berechnet. Die Neueinschätzung wird weitreichende wirtschaftliche Folgen haben, denn die Karten werden Bestandteil des Nationalen Anhangs (NA) der neuen DIN-Norm DIN EN 1998-1/NA werden. Bauende müssen darauf achten, ihre Gebäude entsprechend den darin beschriebenen Lastannahmen erdbebengerecht auszulegen.

In der Praxis heißt dies, dass die Erdbebenlastannahmen in Form berechneter Bodenbeschleunigungen oberhalb eines Schwellwerts mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10 % Prozent innerhalb einer angenommenen Standzeit von 50 Jahren dem Konstruktionsentwurf zugrunde zu legen sind. Weniger sperrig

als die Angabe der Überschreitenswahrscheinlichkeit in Prozent innerhalb einer Standzeit ist die Angabe mittlerer Wiederholungsperioden erwarteter Bodenerschütterungen. Diese folgen aus den Gesetzen der Statistik. So ergibt die oben genannte Überschreitenswahrscheinlichkeit eine Wiederholungsperiode von 475 Jahren. Soll die Sicherheit erhöht werden, also die Überschreitenswahrscheinlichkeit geringer sein, werden Karten für höhere Wiederholungsperioden berechnet: so für 975 Jahre und 2475 Jahre. Diesen entsprechen, auf die Standzeit von fünfzig Jahren bezogen, Wahrscheinlichkeiten von 5 oder nur mehr 2 % für das Überschreiten der zugehörigen Bodenerschütterungen.

Neben den in Deutschland und den Nachbargebieten immer wieder auftretenden signifikanten natürlichen, tektonischen Erdbeben werden zudem seismische Ereignisse infolge menschlicher Aktivitäten im Untergrund beobachtet. Auslöser hierfür sind Kohle-, Erz- oder Salzbergbau, Öl- und Gasförderung oder auch Geothermiebohrungen. Das Auftreten dieser induzierten seismischen Ereignisse ist stark zeitabhängig. Sie verringern sich, können mit dem Abschluss der menschlichen Aktivitäten im Untergrund enden oder werden durch technische Verbesserungen in ihrer Intensität vermindert. Das ist einer der Gründe, weshalb die induzierten seismischen Ereignisse nicht in die Berechnungen eingingen. In mühevoller Kleinarbeit wurden im Vorfeld des Projektes nicht nur historische Bebenaufzeichnungen ausgewertet, um die Seismizitätsdatenbasis der letzten 1000 Jahre zu verbessern, sondern in die Berechnungen sind insbesondere die Unsicherheiten in Modellen und Parametern erstmals derart umfänglich im Rahmen einer regionalen Studie eingeflossen. Hinter dem neuen Kartenwerk stecken eine jahrelange Puzzlearbeit mit Quellenstudium, modernste statistische Methoden und Auswerteverfahren von Datenbanken zu Starkbebenaufzeichnungen sowie eine enge Kooperation mit dem Bauingenieurwesen. Damit stehen noch verlässlichere



Karte der Erdbebengefährdung der Antwortbodenbeschleunigung für eine mittlere Wiederholungsperiode von 475 Jahren, vorgesehen für den Nationalen Anhang der erdbebengerechten Baunorm DIN EN 1998-1/NA. Dargestellt sind die Mittelwerte der Spektralamplituden der Schwingungsperioden von 0,1 s, 0,15 s und 0,2 s anhand der Mittelwerte aus den Resultaten der Anwendung eines logischen Baumes mit 4040 Endzweigen. Der Gefährdungskarte sind die katalogisierten tektonischen Erdbeben der letzten rund 1000 Jahre überlagert.

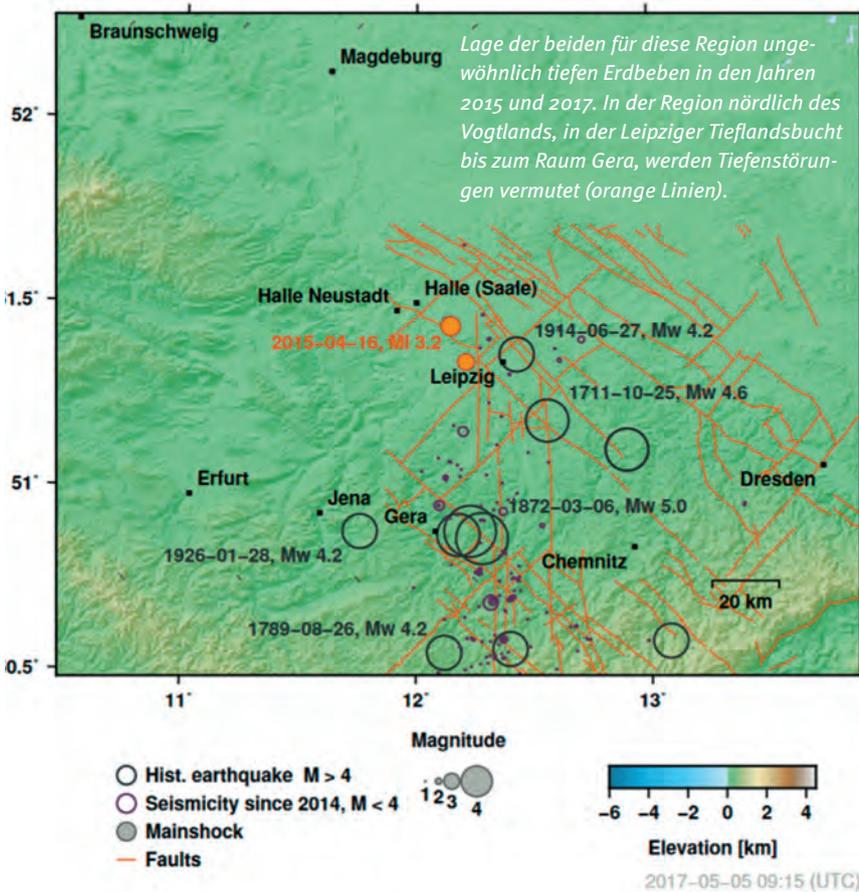
Gefahrenereinschätzungen als bisher für deutsche und europäische Baunormen zur Verfügung. ■

**Originalstudie (open access):**

Grünthal, G., Stromeyer, D., Bosse, C., Cotton, F., Bindi, D. (2018): The proba-

bilistic seismic hazard assessment of Germany—version 2016, considering the range of epistemic uncertainties and aleatory variability. - Bulletin of Earthquake Engineering. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0315-y>.

## Erdbeben zwischen Halle und Leipzig 2015 und 2017: Neue Studie erfasst erstmals tiefe Prozesse und beurteilt die Folgen möglicher Schadensbeben auf die Metropolregion



Ein Team von Wissenschaftlern aus Potsdam, Leipzig, Halle und Hannover hat in einer aktuellen Studie die Ursache von ungewöhnlich tiefen Erdbeben in den Jahren 2015 und 2017 in der Metropolregion Leipzig-Halle untersucht und diese im *Journal of Seismology* veröffentlicht. Dabei haben die Geophysiker der Universität Leipzig, des Landesamts für Geologie und Bergbau in Halle und Wissenschaftler der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover (BGR) unter Federführung des GFZ neue Methoden angewandt. Diese ermöglichten es erstmals, Details der Bruchmechanik dieser schwachen Beben aufzulösen und in einen tektonischen Zusammenhang zu setzen.

Daraus wird deutlich, dass großräumige, geologische Verwerfungssysteme zwischen Halle und Leipzig, welche die gesamte Erdkruste durchziehen und bisher als nicht aktiv eingestuft wurden, durch Erdbeben reaktiviert werden könnten. Sollte sich

diese These erhärten, dann wären auch Erdbeben, die zu Schäden in der Metropolregion führen könnten, möglich. Die Wissenschaftler untersuchen Szenarien für Schadensbeben und mahnen mehr Forschung zur besseren Vorbereitung auf solche Fälle an.

In den Jahren 2015 und 2017 gab es zwei Erdbeben – jeweils mit einer Magnitude von ungefähr 3 – zwischen Halle und Leipzig, welche von der Bevölkerung bis in 50 km Entfernung zum Epizentrum gespürt wurden, aber zu keinen Schäden geführt hatten. Die zwei Erdbeben waren die bisher stärksten instrumentell aufgezeichneten Beben soweit nördlich der Erdbebenzone zwischen dem Vogtland und Gera. Der Seismologie-Verbund Mitteldeutschland, der Zusammenschluss seismologisch tätiger Einrichtungen in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, überwacht diese Region schon seit 1996 und hat seitdem immer wieder schwächere Erdbeben um Leipzig

lokalisiert. Das Besondere an den Beben in den Jahren 2015 und 2017 ist, dass diese weithin spürbar waren und ungewöhnlich tief in der Unterkruste zwischen 22 und 29 km unter der Erdoberfläche ihren Ursprung hatten. Erdbeben in dieser Tiefe können Hinweise auf größere Verwerfungen sein und die Möglichkeit von stärkeren Erdbeben wahrscheinlicher machen.

In der Region um Halle und Leipzig war bisher die Frage, auf welchen Verwerfungen solche Erdbeben stattfinden und wie diese im Raum orientiert sein könnten. Dazu wurden nun bei der Untersuchung der Bruchmechanik der Beben von Halle und Leipzig erstmals neue Verfahren eingesetzt, die am GFZ speziell für die Auswertung schwacher Beben entwickelt wurden. Dies hat gezeigt, dass beide Beben sehr wahrscheinlich auf derselben Bruchfläche nur wenige Kilometer voneinander entfernt aufgetreten sind. Die Forscher sehen daher durchaus die Möglichkeit, dass die Segmente der Bruchzone zwischen den bisherigen Ereignissen in Zukunft brechen könnten. Um die Auswirkungen einschätzen zu können, wurden Szenarien solcher möglichen Erdbeben entwickelt und die Wellenausbreitung sowie erwartete Bodenbewegungen simuliert. Die Ergebnisse alarmieren das Team: Erdbeben wie das von Roermond im niederländisch-deutschen Grenzgebiet im Jahr 1992 (Magnitude 5,3) würden in der Leipziger Bucht zu ähnlich starken Bodenbewegungen und Schäden führen. Auf solche Ereignisse ist die Region nicht gut vorbereitet. Die Autoren schlagen neben einer Intensivierung der bisherigen Erdbebenbeobachtung vor, mehr geophysikalische Forschung zu betreiben, um mögliche Konsequenzen für die Region zu minimieren. ■

### Originalstudie:

Dahm, T., Heimann, S., Funke, S., Wendt, S., Rappsilber, I., Bindi, D., Plenefisch, T., Cotton, F. (2018 online): Seismicity in the block mountains between Halle and Leipzig, Central Germany: centroid moment tensors, ground motion simulation, and felt intensities of two  $M \approx 3$  earthquakes in 2015 and 2017. - *Journal of Seismology*. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10950-018-9746-9>

## Schwache Erdbeben durch Gasaustritte im Untergrund



Die türkische Metropole Istanbul gilt als besonders erdbebengefährdet. Seismische Daten in der Istanbul-Marmara-Region zeigen: Erdbeben befördern Entgasungen, die dann weitere Erschütterungen auslösen können.  
(Foto: G. Kwiatek, GFZ)

Der Großraum Istanbul mit rund 15 Mio. Einwohnern gilt als besonders erdbebengefährdet. Um das Risiko richtig einschätzen zu können, müssen Forscherinnen und Forscher die Prozesse im Untergrund entschlüsseln. Einen weiteren Fortschritt hierbei hat nun ein internationales Team mit Beteiligung des GFZ erzielt. Unterhalb des Marmara-Meeres orteten sie Erdbeben, die nicht unmittelbar durch tektonische Spannungen hervorgerufen wurden, sondern durch aufsteigendes Erdgas. Sie berichten davon im Fachjournal *Scientific Reports*.

Das Autorenteam analysierte seismische Daten, die nach einem Erdbeben im westlichen Teil des Marmara-Meeres am 25. Juli 2011 mit einer Magnitude von 5,1 aufgezeichnet wurden. Wie zu erwarten, ereigneten sich in den folgenden Tagen und Wochen etliche Nachbeben, die jedoch eine geringere Magnitude hatten. Durch ein stärkeres Erdbeben wird die Spannung in der unmittelbaren Umgebung verändert. Das hat weitere Erschütterungen – sogenannte Nachbeben – zur Folge, bei denen die Spannungen dann wieder ausgeglichen werden. So geschah es auch im Sommer 2011 unterhalb des Marmara-Meeres bei Istanbul. Auffällig war jedoch, dass nur wenige der Nachbeben wie üblich im tiefen felsigen Untergrund am Ort des Hauptbebens ihren Ursprung hatten. Stattdessen traten zahlreiche Erschütterungen in sehr geringer Tiefe unterhalb des Meeresbodens auf. Dies war überraschend, denn diese

Schichten bestehen aus weichem Sediment, das sich unter tektonischen Spannungen normalerweise aseismisch verformt und keine ruckartigen Bewegungen macht, wie sie für Erdbeben typisch sind.

Tatsächlich liegt hier ein anderer Mechanismus zugrunde, wie die Autorinnen und Autoren erläutern. Demnach hat das Hauptbeben die Spannungen wie beim Anschlag einer Glocke in Unordnung gebracht, so dass ein Erdgasreservoir, das sich in unmittelbarer Nähe zur tektonischen Störung befindet, unter erhöhten Druck geriet. Infolgedessen strömte Gas aus und bewegte sich nach oben, wo es schwächere Erdbeben ausgelöst hat.

Das GFZ hat gemeinsam mit weiteren internationalen Partnerinstituten für das Observatorium GONAF (Geophysical Observatory at the North Anatolian Fault) etliche Messgeräte weiter östlich im Großraum Istanbul aufgebaut. Sie sollen die Bewegungen der tektonischen Platten, Spannungen in der Erdkruste und Erschütterungen sehr genau erfassen und so letztlich eine realistische Risikoanalyse für das bevorstehende Starkbeben vor den Toren der Megacity ermöglichen. Grundsätzlich gilt, dass das dort die Wahrscheinlichkeit für ein großes Erdbeben mit einer Magnitude von 7 oder mehr bis zum Jahr 2040 bei 35 bis 70 % liegt und somit als sehr hoch einzuschätzen ist. Die Erdbebengefahr für die Metropolregion Istanbul ändert sich durch die neuen

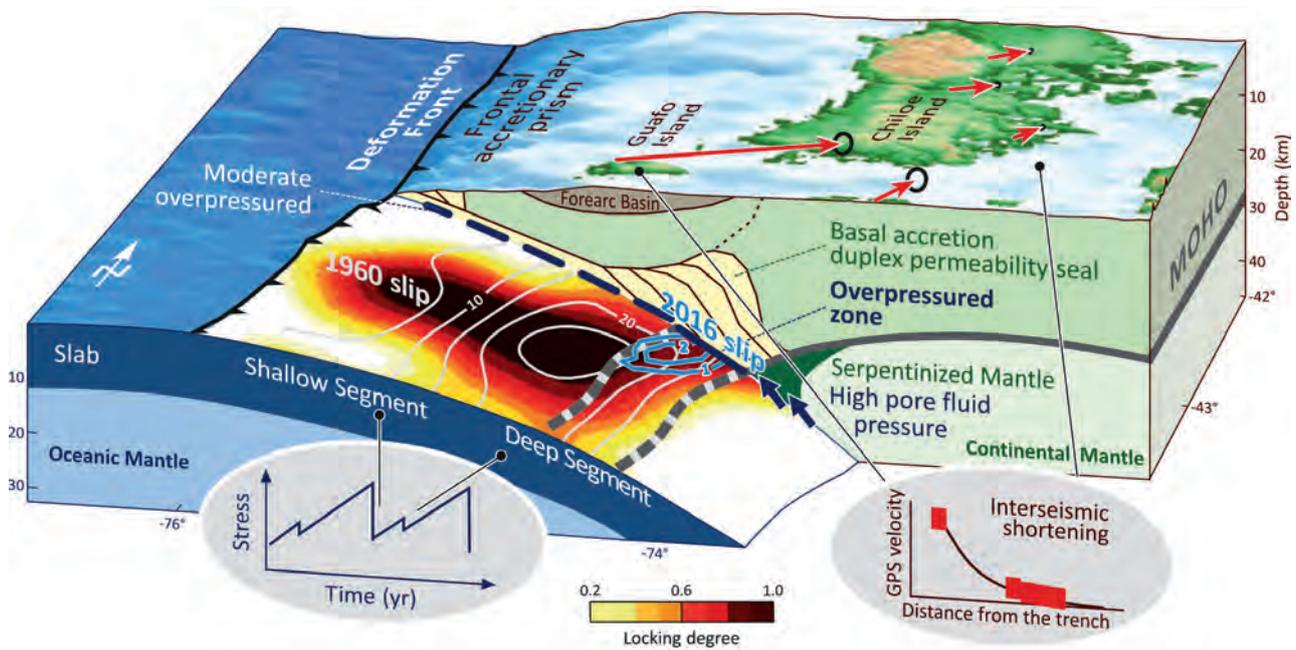
Befunde nicht unbedingt. Doch sie müssen in verschiedene Erdbeben-Szenarien einbezogen werden, um diese realistischer zu machen. Durch die räumliche Nähe der Gaslagerstätten zur Nordanatolischen Störungszone besteht ein zusätzliches Gefährdungspotenzial. Aus der Lagerstätte wird gefördert, weshalb in geringer Entfernung an Land große Gastanks stehen. Dort besteht bei einem starken Erdbeben erhöhte Explosionsgefahr oder es könnte zu Gasleckagen kommen. Solche Gefährdungen erhöhen das Risiko für die Bevölkerung, infolge eines Erdbebens zu Schaden zu kommen. ■

### Originalstudie:

Géli, L., Henry, P., Grall, C., Tary, J.-B., Lomax, A., Batsi, E., Riboulot, V., Cros, E., Gürbüz, C., Işık, S. E., Sengör, A. M. C., Le Pichon, X., Ruffine, L., Dupré, S., Thomas, Y., Kalafat, D., Bayrakci, D., Coutellier, Q., Regnier, T., Westbrook, G., Saritas, H., Çifçi, G., Çağatay, M. N., Özeren, M. S., Görür, N., Tryon, M., Bohnhoff, M., Gasperini, L., Klingelhoefer, F., Scalabrin, C., Augustin, J.-M., Embriaco, D., Marinaro, G., Frugoni, F., Monna, S., Etioppe, G., Favali, P., Bécel, A. (2018): Gas and seismicity within the Istanbul seismic gap. - *Scientific Reports*, 8, 6819. DOI: 10.1038/s41598-018-23536-7

Weitere Informationen zum geophysikalischen Observatorium GONAF:  
<https://www.gonaf-network.org/>

## Aquaplaning im Gesteinsuntergrund



Das schwerste Erdbeben, das jemals gemessen wurde, ereignete sich an einem Herbstsonntag vor 58 Jahren bei Valdivia in Chile. Am 22. Mai 1960 um 15:11 Uhr Ortszeit bebte die Erde dort zehn Minuten lang. Messgeräte weltweit registrierten eine Momentmagnitude von 9,4 bis 9,6. Mehr als ein halbes Jahrhundert später, am 25. Dezember 2016, gab es das erste große Beben, das sich in der gleichen geologischen Bruchzone ereignete. Es hatte eine Magnitude von 7,6. Ein internationales Team unter Leitung des GFZ hat jetzt einen Mechanismus identifiziert, der vermutlich beiden Beben zu Grunde liegt und berichtet darüber in der Fachzeitschrift *Nature Geoscience*. Das Team nutzte für seine Arbeit nicht nur geologische Daten, sondern auch Radar-Satellitenaufnahmen, GPS-Messungen und Schwerefelddaten.

Der Studie zufolge lag der Bebenherd von 2016 an der unteren Grenze einer Gesteinsunebenheit, die zwei Erdkrustenplatten miteinander verhakt – ungefähr so wie bei einem Klettverschluss. Über längere Zeit betrachtet bewegt sich die so genannte Nazca-Platte mit 68 mm pro Jahr gegen die Südamerikanische Platte und taucht unter diese ab – sie wird subduziert. Dieser Vorgang geschieht aber nicht gleichmäßig, sondern in Etappen: Die meiste Zeit sind

die beiden Erdplatten an den jeweiligen Grenzen der Platten ineinander verhakt, während die weiter entfernten Regionen weiter „schieben“. Dadurch baut sich eine enorme Spannung auf, der sich immer wieder plötzlich in gewaltigen Erdbeben entlädt. Den Ergebnissen des Teams zufolge hatte das 1960-er Beben seinen Ursprung an der oberen Grenze der verhakten Zone. Die Bruchzone ist seitdem wieder verheilt. In ihrer Arbeit stellen die Forscherinnen und Forscher ein mechanisches Modell vor, wonach sich die größte Spannung an der unteren Grenze der Unebenheiten nach und nach aufbaut. Das 2016-er Beben löste diese Spannung. Je nach Ausmaß der Unebenheit und abhängig von den Reibungsparametern an den Grenzflächen beider Platten prognostiziert das mechanische Modell die Zeitdauer, in der es zu erneuten Brüchen in der Tiefe oder in flacheren Zonen kommt.

Die Spanne von 56 Jahren zwischen beiden großen Beben weist nach dem Modell darauf hin, dass der Druck von Flüssigkeiten (hauptsächlich Wasser) an der Untergrenze der verhakten Zone dem des umgebenden Gesteins – dem so genannten lithostatischen Druck – nahekommt. Dagegen ist der Wasserdruck an der oberen Grenze etwas niedriger.

Vor Chile taucht die Nazca-Platte unter die Südamerikanische Platte ab. Das Bild zeigt die Zone, wo die beiden Platten verhakt (engl. locked) sind und wo es 1960 in geringer Tiefe (engl. shallow) bebte und 2016 in größerer Tiefe zu einem Beben kam.

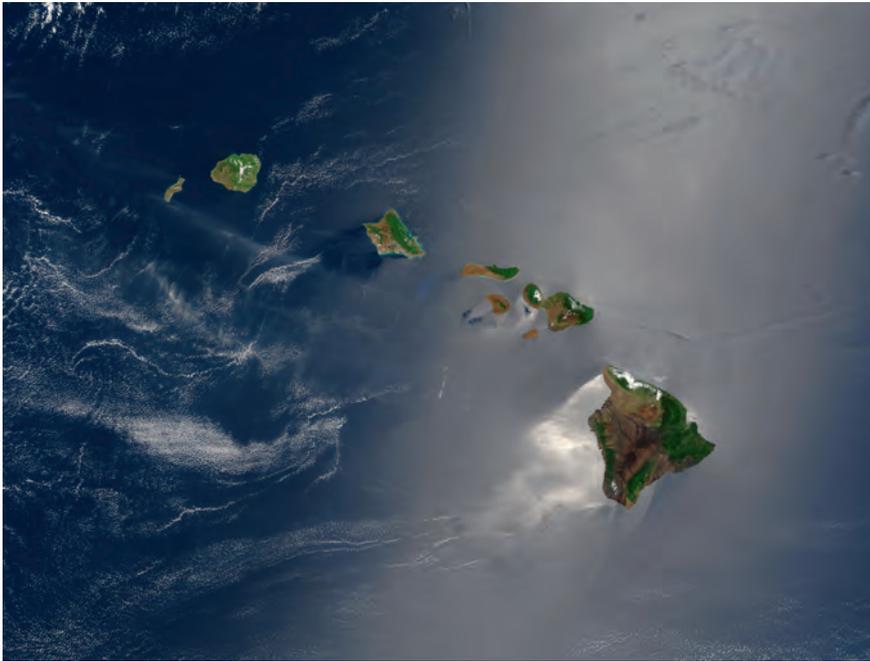
Steigt nun der Wasserdruck so hoch, dass er dem lithostatischen Druck gleichkommt, dann setzt ein Effekt wie Aquaplaning ein und das verhakte Gestein löst sich – mit potenziell verheerenden Folgen.

Die Forscherinnen und Forscher gehen davon aus, dass sich ihr Modell auch auf andere Subduktionszonen weltweit anwenden lässt, wo gegenwärtig Erdkrustenplatten miteinander verhakt sind. ■

### Originalstudie:

Moreno, M., Li, S., Melnick, D., Bedford, J. R., Baez, J. C., Motagh, M., Metzger, S., Vajedian, S., Sippl, C., Gutknecht, B. D., Contreras-Reyes, E., Deng, Z., Tassara, A., Oncken, O. (2018): Chilean megathrust earthquake recurrence linked to frictional contrast at depth. - *Nature Geoscience*, 11, pp. 285–290. DOI: 10.1038/s41561-018-0089-5

## Weiterer Hinweis auf rasche Bewegung des Hawaii-Hotspots



Satellitenbild des südöstlichsten – jüngsten – Teils der Hawaii-Emperor-Kette im Nordpazifik

Die Inselkette von Hawaii besteht aus mehreren Vulkanen, die von einem Hotspot gespeist werden. In den Geowissenschaften bezeichnet ein solcher „heißer Fleck“ ein Phänomen, bei dem mächtige Ströme, die in etwa schlauchförmig sind, heißes Material aus dem tiefen Erdmantel bis an die Oberfläche transportieren. Wie ein Schweißbrenner frisst sich das Material durch die Erdkruste und bildet Vulkane. Lange Zeit wurde angenommen, dass diese Hotspots ortsfest sind. Bewegt sich die tektonische Platte darüber hinweg, entsteht eine Kette von Vulkanen, wobei der jüngste Vulkan an dem einen Ende, der älteste an dem anderen zu finden ist.

Dieses Konzept wurde zunächst auch für die Hawaii-Inseln angenommen. Sie sind das jüngste Ende der Hawaii-Emperor-Kette, die sich durch den Nordpazifik zieht. Doch bald gab es Zweifel ob der Hotspot wirklich ortsfest ist. Den größten Widerspruch rief ein markanter Knick von rund 60 Grad in dieser Vulkankette hervor, der vor 47 Mio. Jahren entstand. Wenn man diesen Knick allein mit einer plötzlichen Änderung der Bewegung der Pazifischen Platte zu erklären versucht, würde man zu jener Zeit auch eine deutlich veränderte

Bewegungsrichtung relativ zu benachbarten tektonischen Platten erwarten. Doch dafür gab es bisher keine Hinweise. Neuere Studien hatten nahegelegt, dass offenbar zwei Prozesse wirksam waren: Zum einen hat die Pazifische Platte ihre Bewegungsrichtung verändert. Zum zweiten hat sich der Hawaii-Hotspot in der Zeit vor 60 bis rund 50 Mio. Jahren vor heute relativ rasch nach Süden bewegt – und stoppte dann. Wenn man diese Bewegung des Hotspots berücksichtigt, wird nur eine geringere Änderung der Plattenbewegung benötigt, um die Vulkankette zu erklären.

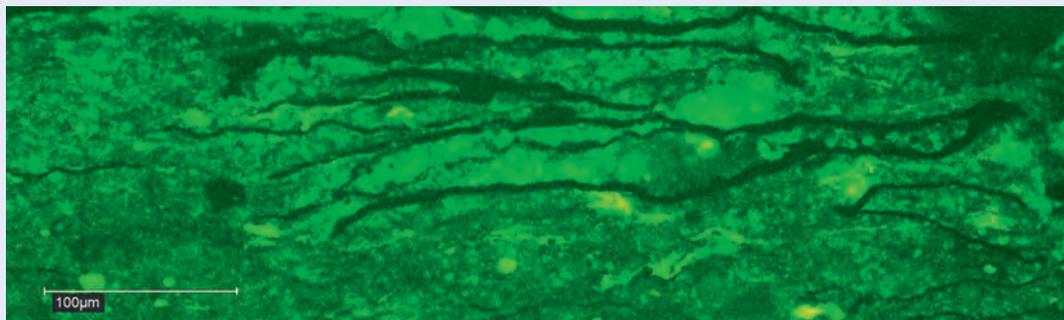
Diese Hypothese wird nun von einer aktuellen Studie gestützt, an der das GFZ beteiligt ist. Das internationale Team hat neue Altersdatierungen von Vulkanen der Rurutu-Vulkankette ausgewertet, zu der beispielsweise auch die vulkanischen Inseln von Tuvalu im Westpazifik gehören. Desweiteren zogen sie entsprechende Daten von der Hawaii-Emperor-Kette und der Louisville-Kette im Südpazifik hinzu. Anhand der geografischen Lage und des Alters von Vulkanen dieser drei Ketten können die Forscherinnen und Forscher in die geologische Vergangenheit blicken und ermitteln, wie sich die drei Hotspots

im Lauf der Jahrmillionen relativ zueinander bewegt haben. Aus den neuen Daten, die im Fachjournal *Nature Communications* veröffentlicht wurden, geht hervor: Die Hotspots unter der Rurutu- sowie der Louisville-Kette bewegten sich nur wenig relativ zueinander, der Hotspot unter der Hawaii-Emperor-Kette hingegen bewegte sich zwischen 60 und 48 Mio. Jahren vor heute beträchtlich gegenüber den anderen beiden Hotspots. Dies macht es sehr wahrscheinlich, dass sich hauptsächlich der Hawaii-Hotspot bewegt hat – den geodynamischen Modellrechnungen zufolge mit einer Geschwindigkeit von einigen Zehner Kilometern pro Jahrmillion. Paläomagnetische Daten stützen diese Interpretation, schreibt das Team weiter. Noch haben die Modelle zur Bewegung der Pazifischen Platte und der Hotspots einige Ungenauigkeiten. Mit weiteren Geländedaten und Informationen über die Vorgänge tief im Erdmantel hoffen die Autorinnen und Autoren, künftig noch genauer erklären zu können, wie es zu dem Knick in der Hawaii-Emperor-Kette kam. ■

### Originalstudie:

Konrad, K., Koppers, A., Steinberger, B., Finlayson, V., Konter, J., Jackson, M. G. (2018): On the Relative Motions of Long-lived Pacific Mantle Plumes. - *Nature Communications*, 9, 854. DOI: [10.1038/s41467-018-03277-x](https://doi.org/10.1038/s41467-018-03277-x)

## Altes Gestein täuscht Erdölpotenzial nur vor



*Mikroskopische Aufnahme des Alaunschiefers aus St. Petersburg, Russland. Fluoreszierendes, durch Uran verändertes organisches Material zwischen schwarz erscheinenden Fossilien (Aufnahme: H.-M. Schulz, GFZ)*

Gesteine mit dem Potenzial zur Erdölbildung sind häufig reich an Uran. Diesen Umstand machen sich Förderfirmen zunutze, indem sie deren Strahlung über Probebohrungen messen. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der GFZ-Sektion „Organische Geochemie“ haben nun zusammen mit dänischen und russischen Kolleginnen und Kollegen herausgefunden, dass sich die radioaktive Strahlung zerstörerisch auf das Gestein und dessen Erdölbildung auswirkt. Das Team entwickelte darüber hinaus eine Methode, den Zerstörungsprozess zu quantifizieren. Diese Erkenntnisse können Erdölfirmen vor verlustreichen Bohrungen bewahren. Die Ergebnisse der Studie sind in der Fachzeitschrift *Geochimica et Cosmochimica* veröffentlicht.

Erdöl entsteht, wenn organisches Material, vor allem Algen, abgelagert und über geologisch lange Zeiträume nach und nach zersetzt wird. Damit ein Erdölvorkommen groß genug ist, um für die Förderung interessant zu sein, muss der Anteil an organischem Material im Ausgangsgestein möglichst hoch sein – das gilt beispielsweise für Tonstein, der häufig Erdöllagerstätten speist. Tonstein ist meist gleichzeitig reich an Uran, was sich die Erdölindustrie für ihre Bohrlochmessverfahren zunutze macht. Normalerweise beträgt der Urangehalt in dunklem Tonstein (Schwarzschiefer) 20 ppm, also 20 Teile pro Million Teile. Besondere

Ablagerungsbedingungen können aber Urangehalte bis zu mehreren Hundert ppm erzeugen.

In der Studie untersucht das Team den sogenannten Alaunschiefer an mehreren Bohrlöchern entlang der nördlichen Ostsee. Mit bis zu 400 ppm an Uran ist dieses Gestein Hauptquelle für Öl und Gas in der Region. Die Bohrkern decken die enorme Zeitspanne von fast 500 Mio. Jahren ab. Damit reichen sie bis in das geologische Zeitalter des frühen Kambriums zurück – die Zeit der „kambrischen Explosion“, in der fast alle heutigen Tierstämme entstanden. An diesen Bohrkernen konnten die Forschenden die komplexen Wechselwirkungen zwischen Uranstrahlung und organischem Material im Gestein über lange Zeiträume erstmals umfassend untersuchen.

Sie zeigten, dass der Alaunschiefer weniger Öl und stattdessen mehr Gas produziert. Die Ölbildung korreliert negativ mit dem Urangehalt, sprich: je mehr Uran, desto weniger Öl. Das war vor einer halben Milliarde Jahre noch anders. Das Gestein entließ in der Anfangszeit tatsächlich Erdöl. Doch Millionen Jahre andauernde Bombardierung mit Strahlen hinterlässt Spuren. Der damals im Flachwassermeer der heutigen Ostsee abgelagerte Biofilm muss aufgrund des Ausgangsmaterials Plankton ursprünglich aus langkettigen Kohlenwasserstoffen bestanden haben, woraus im Laufe der Zeit tatsächlich Erdöl entstand. Die Strahlung hat die Ketten jedoch immer weiter zerlegt, regelrecht

zerschnitten. Heute gibt es also Erdgas, das aus kurzkettingen Kohlenwasserstoffen besteht. Die Uranstrahlung ist hingegen weiterhin hoch.

Misst nun ein Erdölunternehmen erhöhte Strahlung, scheint es im Untergrund ein Potenzial für Erdöl zu geben. Das war zwar in der Vergangenheit auch tatsächlich vorhanden, nur ist heute davon im Gestein nicht unbedingt mehr viel zu finden. Eine Förderbohrung auf Erdöl wäre also nicht mehr lohnend. Das Fazit der Studie: Um den tatsächlichen Öl- und Gasgehalt in Gesteinen zu bestimmen, müssen die Ausgangsbedingungen rekonstruiert werden. Erst wenn bekannt ist, wie das organische Material vor 400 Mio. Jahren ausgesehen hat, können genauere Abschätzungen zum Öl- und Gaspotenzial einer Lagerstätte getroffen werden. Die in der Studie vorgeschlagene Methode der Quantifizierung des Abbauprozesses könnte den übertriebenen Optimismus in Sachen Gasreserven in Nordeuropa dämpfen. Diese Erkenntnisse ermöglichen es damit, zielgenauer nach Vorkommen zu suchen und aussichtslose, teure Bohrungen zu vermeiden. ■

### Originalstudie:

Yang, S., Schulz, H.-M., Horsfield, B., Schovsbo, N. H., Noah, M., Panova, E., Rothe, H., Hahne, K. (2018): On the changing petroleum generation properties of alum shale over geological time caused by uranium irradiation. - *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 229, pp 20–35. DOI: 10.1016/j.gca.2018.02.049

## Was hat das globale Klima mit Erosionsraten zu tun?

Nicht wirklich viel, sagt eine Gruppe von Forschenden und widerlegt damit eine frühere Studie



Durch Gletscher geformtes Tal in den Westalpen (Foto: T. Schildgen, GFZ)

Die Idee wirkt sehr plausibel: Das globale Klima und die Erosionsraten sind miteinander gekoppelt, auch wenn man noch nicht weiß, was dabei Ursache und was Effekt ist. Eine neue Studie stellt allerdings diese Kopplung generell in Frage. Forscherinnen und Forscher des GFZ und der Universitäten Potsdam, Grenoble und Edinburgh haben sich 30 Orte erneut angeschaut, an denen es nach Einsetzen der Eiszeitzyklen zu verstärkter Erosion gekommen sein soll. Nahezu überall erwiesen sich die Belege als nicht haltbar. Die Studie erschien im Fachjournal *Nature*.

Erosion und Klima können über zwei mögliche Mechanismen miteinander gekoppelt sein: Zum einen können höhere Erosionsraten zu erhöhter Gesteinsverwitterung und zu einer verstärkten Ablagerung von organischem Kohlenstoff in Sedimentbecken führen. Beide Prozesse entziehen der Atmosphäre  $\text{CO}_2$  und verursachen dadurch eine Abkühlung des globalen Klimas. Zum anderen wurden erhöhte Erosionsraten seit einigen Millionen Jahren mit Kalt- und Warmzeitzyklen in Verbindung gebracht, da man seit dem Eintreten von Eiszeiten eine Zunahme an weltweiten Sedimentationsraten in den Ozeanen beobachtete. Vorrückende Gletscher schaben demnach die Landschaft ab und das aus den Gletschern austretende Schmelzwasser der Warmzeiten transportiert die Sedimente ins Meer. Eiszeitzyklen führen also zu verstärkter Sedimentation.

Trotz dieser plausiblen Kopplung von Gletschern und Sedimentation gibt es Studien, die zeigen, dass die Sedimentationsraten

in den vergangenen Jahrmillionen, trotz starker Eiszeitzyklen, nahezu unverändert blieben. Die scheinbare Zunahme an Sedimentationsraten, so die Studien, seien die Folge von unterschiedlich stark erhaltenen Materialien, von natürlichen Pausen in der Ablagerung und auch von unterschiedlichen Messintervallen.

Vor wenigen Jahren erschien jedoch eine Studie, die auf Grundlage eines globalen Thermo-chronologie-Datensatzes, eine Methode bei welcher die Abkühlungsgeschichte der Gesteine nachverfolgt wird, auf eine annähernde Verdopplung der Erosionsraten in Gebirgen seit dem Einsetzen der Eiszeitzyklen rückschloss. Damit schien die Kopplung „Globales Klima und Erosionsraten“ endgültig bestätigt – bis jetzt die Gruppe unter der Leitung von Taylor Schildgen vom GFZ genauer hinschaute. Das Team nahm dreißig Stellen weltweit unter die Lupe, von denen man angenommen hatte, sie zeigten auf Grundlage von Thermo-chronologie-Analysen höhere Erosionsraten.

An 23 Stellen, so die neuesten Ergebnisse, waren diese Schlussfolgerungen falsch, es war zu einem systematischen Fehler gekommen. In den meisten Fällen wurden Datenpunkte kombiniert, die auf unterschiedlichen Seiten großer tektonischer Störungen liegen und somit sehr unterschiedliche Abkühlungsgeschichten haben. Die örtlich unterschiedlichen Erosionsraten wurden in eine zeitliche Zunahme an Erosionsraten uminterpretiert. Vier weitere Orte, die untersucht wurden, wiesen zwar tatsächlich höhere Erosionsraten auf, diese kamen aber nicht durch Klimaänderungen zustande,

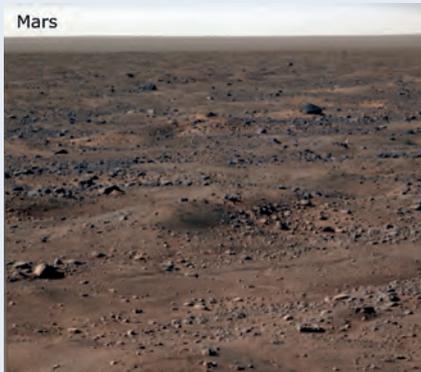
sondern durch verstärkte Gebirgsbildung. So blieben von ursprünglich 30 Orten mit höheren Erosionsraten am Ende nur drei übrig, die tatsächlich durch das Einsetzen der Eiszeit beeinflusst wurden.

Die Gruppe zieht aus ihren Ergebnissen den Schluss, dass die derzeitigen Thermo-chronologiedaten noch nicht fein genug aufgelöst sind, um valide Urteile für die letzten Millionen Jahre abzuleiten. Gleichwohl sei eine Synthese der vorhandenen Daten wichtig, um die Mechanismen der Klimaänderung und der Erosionsraten zu entschlüsseln. Diese Synthese müsse aber die jeweils spezifischen Gegebenheiten am Ort der Probenahme im Blick haben. ■

### Originalstudie:

Schildgen, T. F., van der Beek, P. A., Sinclair, H. D., Thiede, R. C. (2018): Spatial correlation bias in late-Cenozoic erosion histories derived from thermo-chronology. – *Nature*, 559, pp 89–93. DOI: [10.1038/s41586-018-0260-6](https://doi.org/10.1038/s41586-018-0260-6)

## Leben unter extremer Trockenheit



Der zentrale Teil der Atacama-Wüste in Südamerika gilt als eine der trockensten Regionen der Erde. Mitunter regnet es nur einmal pro Jahrzehnt, im Schnitt sind es weit weniger als 20 mm Niederschlag im Jahr. Infolge der Trockenheit ist der Untergrund sehr salzig und enthält kaum Nährstoffe – und dennoch sind darin Mikroorganismen zu finden. Allerdings war bislang unklar, ob diese Einzeller dauerhaft dort leben können oder ob sie etwa vom Wind angeweht wurden und alsbald zugrunde gehen. Umfangreiche Analysen eines internationalen Forschungsteams zeigen nun: Selbst in den trockensten Gebieten der Atacama-Wüste gibt es dauerhaft lebensfähige Mikroorganismen, die nach episodischen Regenfällen regelrecht aufblühen und aktiven Stoffwechsel betreiben. Diese Erkenntnisse haben nicht allein Bedeutung für die Evolution des irdischen Lebens und für die Entwicklung der Erdoberfläche. Sie liefern auch wichtige Hinweise für die Frage, ob auf anderen Himmelskörpern – insbesondere dem Wüstenplanet Mars – Leben möglich ist, schreibt das Team im Fachjournal *PNAS*.

Die Studie stützt sich auf Proben, die zwischen 2015 und 2017 an sechs verschiedenen Orten in der Atacama-Wüste entnommen worden waren – von etwas feuchteren Bedingungen an der Küste bis

hin zu extremer Trockenheit im Inneren der Atacama. Diese Veränderung sollte sich in der Lebensfreundlichkeit – Habitabilität – und schließlich in der Menge und Diversität der Organismen widerspiegeln.

Um ein umfassendes Bild zu erhalten, wandten die Forscherinnen und Forscher eine Vielzahl unterschiedlicher Analysemethoden an. Hierbei kamen sowohl die Fähigkeiten verschiedener geowissenschaftlicher Institute im Raum Berlin-Potsdam zusammen als auch die internationaler Partner. Das GFZ hat maßgeblich mit Analysen der intrazellulären und extrazellulären DNA beigetragen. Auf diese Weise konnte gezeigt werden, welche Mikroorganismen tatsächlich in den verschiedenen Standorten in der Atacama-Wüste leben und vermutlich auch stoffwechselaktiv sind, beziehungsweise welche Organismen nur noch durch ihre nackte DNA im Sediment repräsentiert werden und somit ein Signal aus der Vergangenheit darstellen. Weitere Untersuchungen, wie z. B. Enzymtests haben gezeigt, dass die mutmaßlich lebenden Mikroorganismen in den meisten Fällen auch tatsächlich aktiven Stoffwechsel betreiben.

Für die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ist es nicht allein wichtig, wo es mikrobielles Leben gibt, sondern auch, ob es Änderungen im Lauf der Zeit gibt. Und sie

hatten Glück: Kurz vor dem ersten Feldeinsatz im April 2015 hatte es geregnet. Diese Feuchtigkeit hatte einen positiven Einfluss auf das Leben und die Aktivität in der Wüste. Dies lässt sich klar anhand der Proben aus den Folgejahren belegen, die im Februar 2016 und im Januar 2017 entnommen und untersucht wurden. Es wurde deutlich, dass einige Zeit nach einem Niederschlagsereignis die Häufigkeit und die biologische Aktivität der Mikroorganismen zurückgeht. Doch die Organismen, es sind überwiegend Bakterien, sterben nicht vollständig ab. Nach Ansicht der Autorinnen und Autoren befinden sich vor allem in den tieferen Schichten der Atacama-Wüste Einzeller, die dort seit Jahrmillionen aktive Lebensgemeinschaften bilden und sich evolutionär an die harten Bedingungen angepasst haben.

Die Erkenntnisse aus der südamerikanischen Wüste sind für die Frage nach Leben auf anderen Planeten sehr nützlich, gerade in Bezug auf den Mars. Auch dort war das Klima anfangs feucht, es gab ausgedehnte Gewässer, die Wüstenbildung setzte erst später ein. Heute gibt es dort zwar keinen Regen mehr, doch gelegentlich kommt es zu nächtlichem Schneefall, wodurch tags darauf flüssiges Wasser in die oberflächennahen Schichten gelangt. Weiterhin gibt es Nebel, an manchen Hängen auch salzige Lösungen, die sporadisch herabfließen und so Flüssigkeit zur Verfügung stellen. Allerdings ist die Belastung durch harte Strahlung an der Oberfläche wesentlich größer als auf der Erde. Ausgehend von den Ergebnissen der Studie kommen die Autorinnen und Autoren deshalb zu dem Schluss: Wenn früher unter besseren Umweltbedingungen einmal Leben auf dem Mars existiert haben sollte, dann könnte es den Übergang hin zu sehr trockenen Bedingungen gemeistert haben und sich womöglich bis heute in Nischen unter der Oberfläche erhalten haben. ■

**Originalstudie:** Schulze-Makuch, D., Wagner, D., Kounaves, S. P., Mangelsdorf, K., Devine, K. G., de Vera, J.-P., Schmitt-Kopplin, P., Grosart, H.-P., Parro, V., Kaupenjohann, M., Galy, A., Schneider, B., Airo, A., Frösler, J., Davila, A. F., Arens, F. L., Cáceres, L., Solís Cornejo, F., Carrizo, D., Dartnell, L., DiRuggiero, J., Flury, M., Ganzert, L., Gessner, M. O., Grathwohl, P., Guan, L., Heinz, J., Hess, M., Keppler, F., Maus, D., McKay, C. P., Meckenstock, R. U., Montgomery, W., Oberlin, E. A., Probst, A. J., Sáenz, J. S., Sattler, T., Schirmack, J., Sephton, M. A., Schloter, M., Uhl, J., Valenzuela, B., Vestergaard, G., Wörmer, L., Zamorano, P. (2018): Transitory microbial habitat in the hyperarid Atacama Desert. - *PNAS*, 115 (11), pp. 2670–2675. DOI: 10.1073/pnas.1714341115

## Tauender Permafrost produziert mehr Methan als erwartet



Gewinnung der Proben: Permafrost-Aufschluss im sibirischen Lenadelta. Ein Teil der Proben stammt von dort. (Foto: UHH/CEN/I. Preuss)

Mit einem Laborversuch über sieben Jahre konnte ein Forscherteam erstmals nachweisen, dass deutlich mehr Methan in tauenden Permafrostböden gebildet werden kann, als bisher angenommen. Die Ergebnisse des internationalen Forscherteams mit GFZ-Beteiligung wurden im Fachmagazin *Nature Climate Change* veröffentlicht. Sie ermöglichen verbesserte Hochrechnungen, wie viel Treibhausgase durch ein Auftauen des arktischen Permafrosts weltweit produziert werden können. Methan ( $\text{CH}_4$ ) ist ein wirkungsvolles Treibhausgas, das rund 30 Mal klimaschädlicher ist als Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ). Beide Gase werden in tauenden Permafrostböden gebildet, wenn fossile Tier- und Pflanzenreste im Boden von Mikroorganismen zersetzt werden. Methan entsteht aber nur, wenn kein Sauerstoff vorhanden ist. Bisher galt, dass mehr Treibhausgase entstehen, wenn die Böden trocken und belüftet sind, also Sauerstoff verfügbar ist. Die neuen Untersuchungen zeigen jetzt, dass wassergesättigte Permafrostböden

ohne Sauerstoff sogar doppelt so klimaschädlich wirken können wie trockenere Böden – die Rolle des Methans wurde stark unterschätzt. Erstmals konnte direkt im Labor gemessen und beziffert werden, wie viel Methan langfristig in tauendem Permafrost gebildet wird. Drei Jahre lang musste das Team warten, bis die rund vierzigtausend Jahre alten Proben aus der sibirischen Arktis schließlich Methan produzierten. Insgesamt hat das Team den Permafrost sieben Jahre lang beobachtet: Eine Langzeitstudie ohne Beispiel.

Ergebnis: Unter Luftabschluss wird genauso viel Methan produziert wie  $\text{CO}_2$ . Da Methan aber weitaus klimawirksamer ist, fällt es sehr viel stärker ins Gewicht. Bisher wurde vermutet, dass im Permafrost unter Sauerstoffabschluss nur sehr geringe Mengen Methan gebildet werden, da es nicht gemessen werden konnte. Es dauert extrem lange, bis sich in tauendem Permafrost stabile Kulturen von methanbildenden Mikroorganismen

entwickeln. Deshalb war der Nachweis der Methanbildung bisher so schwer. Durch die Kombination aus prozessbasierten und molekular-mikrobiologischen Methoden konnte die Studie erstmals direkt zeigen, dass die methanbildenden Mikroorganismen im tauenden Permafrost einen entscheidenden Einfluss auf das Treibhausgasbudget haben.

Mit den neuen Daten verbesserte das Team nun Rechenmodelle, die abschätzen, wie viel Treibhausgas sich langfristig im Permafrost bildet – und erstellte eine erste Hochrechnung: Bis zu einer Gigatonne Methan und 37 Gigatonnen Kohlendioxid könnten im Permafrost Nordeuropas, Nordasiens und Nordamerikas bis zum Jahr 2100 entstehen, schätzen die Autorinnen und Autoren. Die Prognose enthält aber Unsicherheiten. Wie tief werden die Böden bis dahin tatsächlich auftauen? Werden sie eher trocken oder nass sein? In jedem Fall machen die neuen Daten jetzt genauere Prognosen zu den Auswirkungen tauender Permafrostböden auf unser Klima möglich. ■

### Originalstudie:

Knoblauch, C., Beer, C., Liebner, S., Grigoriev, M. N., Pfeiffer, E.-M. (2018): Methane production as key to the greenhouse gas budget of thawing permafrost. - *Nature Climate Change*, 8, pp. 309–312. DOI: [10.1038/s41558-018-0095-z](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0095-z) (Geologische Rundschau), DOI: [10.1007/s00531-017-1543-0](https://doi.org/10.1007/s00531-017-1543-0).

# Ausgezeichnet

## Neue kommissarische Leitung für GFZ-Sektion



Zum 1. März 2018 übernahm **Dr. Cornelia Schmidt-Hattenberger**, kommissarisch die Leitung der GFZ-Sektion „Geologische Speicherung“. Sie folgt damit auf Dr.

Axel Liebscher, der die Sektionsleitung seit 2016 innehatte.

Cornelia Schmidt-Hattenberger ist seit 1993 am GFZ. Der Schwerpunkt ihrer Forschungsarbeit liegt auf der CO<sub>2</sub>-Speicherung in tiefliegenden, mit Salzwasser getränkten Sandsteinschichten. Weiterhin beschäftigt sie sich mit geoelektrischen Verfahren, wie der elektrischen Widerstandstomographie, die Schnittbilder der Leitfähigkeitsverteilung liefern und mit der Entwicklung von Multi-Parameter-Messkonzepten. Cornelia Schmidt-Hattenberger studierte und promovierte an der Friedrich-Schiller-Universität Jena im Bereich Physik. ■

## Wahl in die Leopoldina



**Prof. Liane G. Benning**, Leiterin der GFZ-Sektion „Grenzflächen-Geochemie“, ist als Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften – Leopoldina gewählt

worden. Die Forscherin ist seit Oktober 2014 in Deutschland und ist Professorin für Grenzflächen-Geochemie am GFZ und der FU Berlin. Sie hält weiterhin eine Professur für Experimentelle Biogeochemie an der School of Earth and Environment der University of Leeds (UK). Zu ihren Forschungsschwerpunkten gehören unter anderem Bio-Geo-Interaktionen in Schnee und Eis der Polarregionen sowie Reaktionen an Grenzflächen zwischen Mineralen und Fluiden, um die Bildung von Mineralen an der Erdoberfläche besser zu verstehen.

Die Leopoldina ist eine übernationale Wissenschaftlervereinigung. Mehr als ein Viertel ihrer Mitglieder kommt aus dem

Ausland. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden auf Vorschlag von Akademiemitgliedern in einem mehrstufigen Auswahlverfahren durch das Präsidium in die Akademie gewählt. Sie sind Experten ihres Fachgebiets. Mit gegenwärtig über 1500 Mitgliedern in mehr als 30 Ländern ist die Leopoldina die mitgliederstärkste Akademie in Deutschland. ■

## Wahl in die Leibniz-Sozietät



**Prof. Marco Bohnhoff**, Leiter der GFZ-Sektion „Geomechanik und Rheologie“, wurde aufgrund seiner wissenschaftlichen Leistung zum Mitglied der Leibniz-Sozietät der

Wissenschaften zu Berlin e. V. gewählt. Zum Leibniz-Tag 2018, am 5. Juli 2018, wurde ihm die Urkunde vom Präsidenten Gerhard Banse überreicht. Die Leibniz-Sozietät ist eine Vereinigung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus den Natur-, Geistes-, Sozial- und Technikwissenschaften zur Förderung von Forschung und Wissensaustausch. Laut Satzung können nur Personen als Mitglied gewählt werden, die auf ihrem Fachgebiet „hervorragende wissenschaftliche Leistung“ erbringen. ■

## Zwei neue Gastprofessuren



**Prof. Daniel Harlov**, GFZ-Sektion „Chemie und Physik der Geomaterialien“, wurde als Gastprofessor an die Fakultät für Georesourcen der China

University of Geosciences (CUG) in Wuhan, China berufen. Herr Harlov wird dort den Aufbau eines neuen Forschungslabors für Mineralexploration in der Fakultät für Georesourcen unterstützen. Neben seiner wissenschaftlichen Arbeit auf dem Gebiet der Entstehung von Erzvorkommen, die er in Kooperation mit Fakultätsmitgliedern und Studierenden der Universität durchführt, wird er in der Lehre tätig sein sowie die Kooperation zwischen der CUG-Wuhan und internationalen Forschungseinrichtungen und Universitäten

fördern. Daniel Harlov bereits Gastprofessor im Department für Geologie der University of Johannesburg in Südafrika. ■



**Prof. Mahdi Motagh**, GFZ-Sektion „Fernerkundung“, ist als Gastprofessor an die Wuhan-Universität in China berufen worden. Motagh, der bereits eine gemeinsame Be-

berufung für Radarfernerkundung von GFZ und Leibniz Universität Hannover innehat, wird eng mit dem GNSS (Global Navigation Satellite Systems)-Forschungszentrum der Universität Wuhan zusammenarbeiten. Außerdem ist geplant, die Zusammenarbeit zwischen der Universität und dem GFZ im Bereich der Radarfernerkundung zu stärken. Insbesondere sollen Satellitendaten genutzt werden, um Deformationsprozesse der Erdoberfläche zu analysieren, die mit verschiedenen Geogefahren und Ingenieursanwendungen in Verbindung gebracht werden, wie beispielsweise Erdbeben, Hangrutschungsprozessen oder auch menschlicher Aktivität in Städten. ■

## Kooperation mit dem Royal Ontario Museum in Toronto



**Dr. Michael Wiedenbeck**, Leiter des SIMS-Labors am GFZ, ist vom Royal Ontario Museum in Toronto, Kanada, zum Research Associate ernannt worden. Die Ernennung erlaubt es

ihm, die dortige Sammlung in enger Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des Museums für seine Forschung zu nutzen.

Mit dem Sekundär-Ionenmassenspektrometer (SIMS) untersuchen Wiedenbeck und sein Team die Isotopenzusammensetzung eines breiten Spektrums von Materialien, bei einer Probengröße im Pikogramm-Bereich (ein Pikogramm entspricht einem billionstel Gramm). Die Isotopenzusammensetzung eines Materials kann dabei beispielsweise Auskunft über das Alter geben.

Das Royal Ontario Museum ist das Museum mit den größten Sammlungen zu Kunst, Kultur und Natur in Kanada und zählt zu den renommiertesten Häusern Nordamerikas. Es beherbergt mehr als zwölf Millionen Objekte und Proben, von Objekten der Ureinwohner Nordamerikas bis hin zu Teilen von Meteoriten. Von besonderem Interesse für Michael Wiedenbeck ist dabei die außerordentliche Sammlung an Mineralen. ■

### Ehrung für Verdienste beim Betrieb von GRACE



**Franz-Heinrich Massmann**, aus der GFZ-Sektion „Globales Geomonitoring und Schwerfeld“ wird mit dem „Award for Outstanding Achievement“ geehrt. Damit

zeichnet ihn die International SpaceOps Organization für die Verdienste beim Betrieb der Satelliten-Mission GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) aus. Ursprünglich war die deutsch-amerikanische Mission für fünf Jahre geplant. Bis zu ihrem Ende im Herbst 2017 hatte sie mehr als 15 Jahre lang Daten zum Schwerfeld der Erde geliefert. Dies ist maßgeblich dem GRACE Operations Team zu verdanken, das neue Prozeduren und bis dahin nicht vorgesehene Methoden entwickelt hat, um den Betrieb trotz alternder Hardware möglichst lange aufrecht zu erhalten. In dem ausgezeichneten Team sind neben dem GFZ auch das Jet Propulsion Laboratory der NASA, die Universität von Texas, Airbus und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) vertreten. ■

### Christoph Reigber erhält William Nordberg Medal



Das International Committee on Space Research (COSPAR) verlieh die William Nordberg Medal des Jahres 2018 an **Prof. Christoph Reigber**, den früheren Direktor

des GFZ-Departments „Geodäsie“ (ehemals „Geodäsie und Fernerkundung“) und eme-

ritierten Professor der Universität Potsdam. Die Überreichung des Preises erfolgte im Rahmen der Eröffnungsfeierlichkeiten zur 42. wissenschaftlichen Versammlung von COSPAR am 15. Juli 2018 in Pasadena, Kalifornien.

Mit dieser Auszeichnung, benannt nach dem österreichisch-amerikanischen Physiker und Pionier der ersten NASA Wetter- und Fernerkundungssatelliten, würdigt COSPAR alle zwei Jahre eine Wissenschaftlerin oder einen Wissenschaftler, die oder der sich besonders um die Anwendung der Weltraumforschung verdient gemacht hat. Christoph Reigber hat maßgeblich an der Entwicklung, Nutzung und internationalen Koordination von Satellitenverfahren für die Geodäsie und Geodynamik mitgewirkt. Er war über viele Jahre Präsident der COSPAR/ IAG Kommission CSTG (International Coordination of Space Techniques for Geodesy and Geodynamics), sowie Vorsitzender der Leitungsgremien des Internationalen Erdrotationsdienstes (IERS) und des Internationalen GNSS Dienstes (IGS) der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG). Seit den 1970er Jahren hat Christoph Reigber mit seinen Arbeitsgruppen insbesondere die detaillierte Bestimmung des Schwerfeldes der Erde vorangetrieben und mit seinen späteren Initiativen zur Realisierung der Satellit-zu-Satellit-Tracking-Missionen CHAMP und GRACE maßgeblich dazu beigetragen, der Satellitengeodäsie zwei neuartige, insbesondere für die Klimaforschung bedeutsame Anwendungsfelder zu erschließen: die Erfassung von großräumigen Massenbewegungen in der Geosphäre über die Ausmessung zeitlicher Veränderungen des Schwerfeldes, sowie die Bestimmung von Zustandsgrößen der niederen Atmosphäre über die Auswertung von GNSS-Radiookkultationsmessungen. ■

### Zwei neue Helmholtz-Nachwuchsgruppen am GFZ

Mit den Helmholtz-Nachwuchsgruppen unterstützt die Helmholtz-Gemeinschaft die frühe Selbstständigkeit junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und bietet ihnen eine verlässliche Karriereperspektive. Das GFZ war im vergangenen Jahr erneut sehr erfolgreich bei der Einwer-

bung von Helmholtz-Nachwuchsgruppen. So ist es gelungen, in diesem hoch kompetitiven Auswahlverfahren mit **Dr. Patricia Martínez-Garzón** aus der GFZ-Sektion „Geomechanik und Rheologie“, und **Sergey Lobanov, PhD**, aus der GFZ-Sektion „Chemie und Physik der Geomaterialien“, zwei neue Nachwuchsgruppen auf zukunftsweisenden Forschungsfeldern einzuwerben.



Die Nachwuchsgruppe von Patricia Martínez-Garzón „SAIDAN: Seismic and Aseismic Deformation in the Brittle Crust: Implications for Anthropogenic and Natural Hazard“, zu

Deutsch: „Seismische und aseismische Deformationen in der spröden Erdkruste: Auswirkungen auf anthropogene und natürliche Risiken“ startete im Januar 2018 und beschäftigt sich mit Deformationsprozessen in der oberen Erdkruste, wie beispielsweise Erdbeben. Die Nachwuchsgruppe kooperiert unter anderem mit der Ruhr-Universität Bochum, dem California Institute of Technology und der University of Southern California. Patricia Martínez-Garzón ist seit 2011 am GFZ. Sie hat hier bereits zu ihrer Promotion gearbeitet und war als Postdoktorandin tätig.



Sergey Lobanov startete am 1. Juli 2018 mit seiner Nachwuchsgruppe „CLEAR: The color of the Earth's mantle: Physical properties of the deep Earth through spectroscopic studies at high pressure and temperature“, zu Deutsch: „Die Farbe des Erdmantels: Physikalische Eigenschaften der tiefen Erde, bestimmt mit spektroskopischen Studien unter hohem Druck und hohen Temperaturen“.

Er erforscht Eigenschaften des Erdmantels und Erdkerns, wie z. B. die thermische und elektrische Leitfähigkeit. Dafür kooperiert er unter anderem eng mit der Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften.

Die Helmholtz-Gemeinschaft schreibt pro Jahr die Förderung von bis zu 20 Nach-

# Bücher

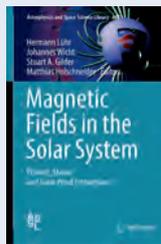
wuchsgruppen aus, von denen im vergangenen Jahr 16 angenommen wurden. Bewerberinnen und Bewerber müssen nach Ihrer Promotion zwischen zwei und sechs Jahren wissenschaftlich tätig gewesen sein und über Auslandserfahrung verfügen. Sie können sich mit einem Forschungsvorhaben bewerben, das in einem der sechs Helmholtz-Forschungsbereiche angesiedelt ist. ■

## Viktor Rözer erhält Preis für seine Forschung

Die Allianz Reinsurance, die Rückversicherung der Allianz-Gruppe, hat einen Preis für Doktorandinnen und Doktoranden sowie Postdoktorandinnen und Postdoktoranden ausgelobt, deren Forschung sich mit Extremwetterereignissen und deren Auswirkungen im Rahmen des Klimawandels beschäftigt. Eine sechsköpfige Jury wählte aus allen Bewerbungen vier Personen aus, die ihre Forschung in einem Vortrag präsentierten. **Viktor Rözer** aus der GFZ-Sektion „Hydrologie“ belegte den ersten Platz für seine Arbeit zu Sturzfluten in urbanen Regionen und die dadurch entstehenden Schäden an Wohnhäusern, die er im Rahmen seiner Promotionsarbeiten am GFZ und der Universität Potsdam durchführt. Der Preis wurde 2017 erstmalig vergeben, eine weitere Preisvergabe für 2018 ist geplant. ■

## Ausbildungsabschluss mit Auszeichnung

**Antonia Cozacu** hat ihre Ausbildung zur Geomatikerin am GFZ-eScience-Zentrum (vormals Zentrum für GeoInformations-Technologie CeGIT) als Jahrgangsbeste des Landes Brandenburg abgeschlossen. Am 20. Juli 2018 überreichte ihr Bernd Sorge, Vorsitzender des Landesvereins der Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement DVW, im Rahmen einer feierlichen Zeugnisübergabe in Frankfurt an der Oder den Nachwuchsförderpreis 2018. ■

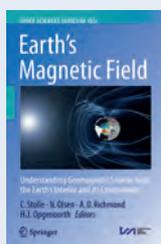


## Magnetic Fields in the Solar System: Planets, Moons and Solar Wind Interactions

Lühr, H., Wicht, J., Gilder, S., Holschneider, M. (Eds.) (2018): Magnetic Fields in the Solar System: Planets, Moons and Solar Wind Interactions, (Astrophysics and Space Science Library; 448), Springer, 413 p. ISBN: 978-3-319-64291-8 (Hardcover); 978-3-319-64292-5 (e-Book)

### Über das Buch schreibt der Verlag:

This book addresses and reviews many of the still little understood questions related to the processes underlying planetary magnetic fields and their interaction with the solar wind. With focus on research carried out within the German Priority Program "PlanetMag", it also provides an overview of the most recent research in the field. [...] The book takes a synergistic interdisciplinary approach that combines newly developed tools for data acquisition and analysis, computer simulations of planetary interiors and dynamos, models of solar wind interaction, measurement of ancient terrestrial rocks and meteorites, and laboratory investigations. ■



## Earth's Magnetic Field: Understanding Geomagnetic Sources from the Earth's Interior and its Environment

Stolle, C., Olsen, N., Richmond, A.D., Opgenoorth, H. (Eds.) (2017): Earth's Magnetic Field: Understanding Geomagnetic Sources from the Earth's Interior and its Environment, (Space Sciences Series of ISSI; 60), Springer, 626 p. ISBN: 978-94-024-1224-6

### Über das Buch schreibt der Verlag:

This volume provides a comprehensive view on the different sources of the geo-

magnetic field both in the Earth's interior and from the field's interaction with the terrestrial atmosphere and the solar wind. It combines expertise from various relevant areas of geomagnetic and near Earth space research with the aim to better characterise the state and dynamics of Earth's magnetic field. [...] The collected articles are based on the current constellation of ground and space observations, and on state-of-the-art empirical models and physics-based simulations. Thus, it provides an in-depth overview over recent achievements, current limitations and challenges, and future opportunities in the field of geomagnetism and space sciences. ■



## Auf den Spuren des wissenschaftlichen Wirkens von Friedrich Robert Helmert: Zum 175. Geburtstag

Itzerott, S., Brall, A., Flechtner, F., Ilk, K.-H., Ihde, J., Leicht, J., Mai, E., Reigber, C., Reinhold, A., Rummel, R., Schuh, H. (2018): Auf den Spuren des wissenschaftlichen Wirkens von Friedrich Robert Helmert: Zum 175. Geburtstag, (Scientific Technical Report STR; 18/03), Potsdam, Deutsches GeoForschungs-Zentrum GFZ, 224 p., DOI: <http://doi.org/10.2312/GFZ.b103-18037>

### Über die Veröffentlichung:

Das Jahr 2017 war auf dem Potsdamer Telegraphenberg, der langjährigen Heimat von Prof. Friedrich Robert Helmert, durch mehrere Jubiläen geprägt, die mit Festveranstaltungen und Kolloquien gewürdigt wurden. Eine Ausstellung im Haus der Brandenburgisch-Preußischen Geschichte in Potsdam präsentierte die Entwicklung der Geodäsie als Wissenschaft in den letzten beiden Jahrhunderten der Öffentlichkeit. Die Leistungen von Helmert, sowohl als Wissenschaftler, Hochschullehrer, geodätischer Beobachter wie auch als Organisator wissenschaftlicher Projekte spielten dabei eine besondere Rolle. Der vorliegende Band stellt die unterschiedlichen Bereiche des Lebens und Wirkens von F. R. Helmert vor und spannt den Bogen bis in die heutige Zeit der Satellitengeodäsie und des Einsatzes von Hochleistungsrechnern für geodätische Aufgaben. ■