

Ausgabe 02/2013 – ISSN 1436-753X

AkademieAktuell

ZEITSCHRIFT DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

Schwerpunkt

Planet Erde

Neue Erkenntnisse
aus den
Geowissenschaften



Bayerische
Akademie der Wissenschaften



NACHHALTIGKEIT

Von der Ästhetik des Barock geprägt, vom Licht der Aufklärung durchflutet: *Kloster Irsee* bietet seinen Gästen aus Wissenschaft und Hochschule einen einzigartigen Rahmen für akademische Begegnungen und außergewöhnliche Konferenzen.

in ihrer schönsten Form



Kloster Irsee

Schwäbisches
Tagungs- und Bildungszentrum

Eine Einrichtung
des Bezirks Schwaben

Als Tagungs- und Bildungszentrum des Bezirks Schwaben hat sich *Kloster Irsee* einen auch international beachteten Namen erworben. Die aktive Teilnahme am Umweltpaket Bayern und die wiederholte Auszeichnung mit dem Bayerischen Umweltsiegel in Gold sind Ausweis eines nachhaltigen Engagements für ökologische Belange und kulturelle Werte.

Konzentrierte Ruhe, festliches Ambiente und eine gehobene Gastronomie stehen als Dreiklang für begeisterte Seminarteilnehmer, gelungene Tagungen und unvergessliche Feste. Folgen Sie unserem Motto: *porta patet, cor magis* – Die Tür steht offen, mehr noch das Herz. Wir in *Kloster Irsee* freuen uns auf Sie!

WWW.KLOSTER-IRSEE.DE

Liebe Leserinnen, liebe Leser!

DIE ERDE IST EIN KOMPLEXES System, in das der Mensch seit der Industriellen Revolution immer stärker eingreift – mit ganz unterschiedlichen Folgen. Die Geowissenschaften helfen uns, Prozesse, wechselseitige Beeinflussungen und Veränderungen im System unseres Planeten besser zu verstehen. Sie machen geodynamische Prozesse ebenso sichtbar wie globale Umweltveränderungen, die seit einigen Jahren unter dem Begriff „globaler Wandel“ besonders ins Bewusstsein gerückt sind.



ABB.: ARCHIV

Gerade Langzeitveränderungen auf der Erde, etwa der Meeresspiegelanstieg, die Entwicklung der Gletscher oder die Bewegung der Kontinente, lassen sich jedoch nicht kurzfristig, sondern nur über lange Beobachtungszeiträume und exakte Messreihen dokumentieren – das ist eine typische Akademieaufgabe. An der Bayerischen Akademie der Wissenschaften bilden die Geowissenschaften daher einen bedeutenden Forschungsschwerpunkt, und sie haben hier zugleich eine lange Tradition: Bereits seit 1868 engagiert sich die Akademie in der Erd- und Landesvermessung. Damals nahm sie an dem großen Projekt der Mitteleuropäischen Gradmessung teil, woraus sich die Internationale Erdmessung entwickelt hat. Heute ist sie mit hochmodernen Geräten insbesondere in der Satellitengeodäsie, der Geophysik, der Gletscherforschung und der Meteorologie aktiv, aber auch in der geowissenschaftlichen Hochdruckforschung oder der Geomorphologie. In dieser Ausgabe stellen wir Ihnen unter dem Motto „Planet Erde“ neue Erkenntnisse aus den Arbeitsgebieten unserer Mitglieder und Kommissionen vor. Viele der Vorhaben entstehen in internationaler Kooperation und bearbeiten Fragestellungen überall auf der Welt – u. a. in Österreich, Island, Japan, Zentralasien, Südamerika, in der Sahara oder in der Antarktis.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre bei dieser Reise um den Globus und danke allen Autorinnen und Autoren für ihre Mitwirkung an dieser Ausgabe.

Prof. Dr. Karl-Heinz Hoffmann
Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften



ABB.: JESSE ALLEN/NASA-IMAGES

Unser Titel

Der 135 km² große Naivashasee im Südwesten Kenias ist einer der wenigen Süßwasserseen des Landes. Hier befindet sich das Zentrum der kenianischen Blumenindustrie, die Rosen, Lilien oder Nelken v. a. für den europäischen Markt produziert – mit großen Folgen für das Ökosystem. Die Aufnahme, die 2008 mit dem Instrument ASTER des NASA-Satelliten Terra gemacht wurde, zeigt die Gewächshäuser und Blumenfelder am See: abgeerntete oder brachliegende Flächen in Braun und Rosa, bepflanzt in Grün.

INHALT

Heft 45

Ausgabe
02-2013

AKTUELL

- 5 **SuperMUC: Erweiterung kommt 2014/15; Terrakottakrieger und Grabkammer; Think big: Großgeräte in der Physik**

THEMA

- 6 **Die ungewisse Zukunft der Gletscher**
Von Reiner Rummel und Christoph Mayer
- 12 **Forschungsobjekt Vernagtferner**
Von Ludwig Braun, Heidi Escher-Vetter, Christoph Mayer und Markus Weber
- 16 **Schieben, krachen, explodieren – Island, wo die Erde sich bewegt**
Von Christof Völksen
- 21 **Geodätische Erdsystemforschung**
Von Florian Seitz
- 23 **Le monde est bleu comme une pomme de terre**
Von Johannes Bouman, Denise Dettmering, Martin Fuchs, Verena Lieb, Michael Schmidt und Florian Seitz
- 28 **Die Gestalt der Erde**
Von Detlef Angermann, Manuela Seitz, Mathis Bloßfeld, Laura Sánchez und Florian Seitz
- 32 **Hochdruckforschung mit Neutronen – ein neues Fenster zum Erdinnern**
Von Hans Keppler und Nico Walte
- 36 **Afghanistan – zehn Jahre Aufbauarbeit**
Von Andreas Dittmann
- 40 **Die zentrale Sahara – 10.000 Jahre zwischen Weide und Wüste**
Von Roland Baumhauer

- 44 **Klima im Wandel: Bedeutung, Unsicherheiten, Risikopotentiale**
Von Jucundus Jacobeit
- 46 **Die resiliente Stadt**
Von Theo Kötter

NEUERSCHEINUNG

- 50 **„Ego enim abiectis paene omnibus studiis vitae genus immutavi“**
Von Magnus Ulrich Ferber

JUNGES KOLLEG

- 54 **Grundlagen eines europäischen Vertragsrechts**
Von Stefan Arnold

PERSONEN

- 56 **Neue Mitglieder 2013**
Von Ellen Latzin
- 60 **Andreas Kraus †**
Von Ludwig Holzfurtner
- 62 **Kurz notiert**
Von Sabine Willner

VORSCHAU

- 64 **Termine Juni bis Oktober 2013**

INFO

- 66 **Auf einen Blick**
- 66 **Impressum**

32



50



ABB.: VULKANISATOR/FOTOLIA.COM; AUS.: K. JÄTTNER; KASPAR SCHOPPE, 2004

Think big: Großgeräte in der Physik

Ob Neutronenquelle oder Teilchenbeschleuniger – Großgeräte der Physik standen im Mittelpunkt eines Symposiums des BAdW Forums Technologie, das Andrzej Buras und Stephan Paul (beide TU München) am 19. April 2013 in der Akademie organisiert hatten. Derartige Geräte liefern neue Erkenntnisse z. B. in der Astronomie, der Medizintechnik oder zur effizienten Energiespeicherung. Auch 85 Schülerinnen und Schüler von bayerischen Gymnasien waren mit Stipendienmitteln zu dem Symposium eingeladen, in Verbindung mit einer Exkursion auf den Forschungscampus in Garching. Dort besichtigten sie das Leibniz-Rechenzentrum der Akademie, die Forschungsneutronenquelle Heinz Maier-Leibniz der TU München und das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik. ■



Arbeiten an einem Dipolmagneten des derzeit leistungsstärksten Teilchenbeschleunigers weltweit am CERN in Genf.

SuperMUC: Erweiterung kommt 2014/2015

Am 11. April 2013 unterzeichneten die Akademie und IBM den Vertrag über die Erweiterung des Höchstleistungsrechners SuperMUC am Leibniz-Rechenzentrum in Garching. Die Rechenleistung des SuperMUC, der erst im Juli 2012 als schnellster Rechner Europas in Betrieb ging, wird sich verdoppeln und dann 6,4 Petaflops betragen, also 6,4 Billionen Gleitkommaoperationen pro Sekunde. Auch Haupt- und Hintergrundspeicher des Rechners werden bis Anfang 2015 erweitert. „SuperMUC war schon kurz nach der Inbetriebnahme vollständig ausgelastet, und es gibt bereits erste Anwendungen, die praktisch den gesamten Rechner effizient nutzen können“, sagt LRZ-Leiter Arndt Bode. „Insbesondere in den Bereichen Bio- und Lebenswissenschaften erwarten wir in Zukunft einen deutlich erhöhten Bedarf an Rechenleistung.“ SuperMUC ist besonders universell und durch seine innovative Warmwasserkühlung äußerst energieeffizient einsetzbar.

Andreas Pflieger,
Vertriebsleiter Wissenschaft und Forschung bei IBM Deutschland, LRZ-Leiter Arndt Bode, IBM Deutschland-Chefin Martina Koederitz, Akademiepräsident Karl-Heinz Hoffmann und Staatsminister Wolfgang Heubisch (v. l. n. r.) nach der Vertragsunterzeichnung.

Weitere Infos: www.lrz.de/presse/ereignisse/2013-04-10_supermuc-vertrag-erweiterung



ABB.: A. HEDDERGOTT

Terrakottakrieger und Grabkammer

Das Museum für Abgüsse Klassischer Bildwerke und das Leibniz-Rechenzentrum der Akademie zeigten am Internationalen Museumstag am 12. Mai 2013, wie man modernste Technik in den Geisteswissenschaften einsetzen kann: Die detailgenaue Digitalisierung eines Terrakottakriegers war im Visualisierungszentrum (V2C) des LRZ ebenso zu sehen wie die virtuelle Rekonstruktion eines Römerkastells und einer antiken Grabkammer im türkischen Karaburun. Anhand virtueller Modelle demonstrierten Archäologen auch den Vergleich und die Analyse von Statuen und Abgüssen. „Mit den Beispielen aus der Museumswelt erschließt das V2C des LRZ modernste Hochttechnologie für Anwendungen in den Kulturwissenschaften“, erklärte LRZ-Leiter Arndt Bode. ■



ABB.: LRZ



Überblick

Die ungewisse Zukunft der Gletscher

Ein modernes Hochgebirgsumweltlabor: Seit 50 Jahren betreibt die Akademie Gletscherforschung, insbesondere auch am Vernagtferner in den Öztaler Alpen. Er dürfte heute einer der am besten erforschten Gletscher weltweit sein.

VON REINER RUMMEL UND CHRISTOPH MAYER



einmalige Messreihe unterschiedlicher Parameter des Vernagtferners in den Öztaler Alpen und zusätzlicher Datensätze ausgewählter Gletscher in den Ostalpen. In den kommenden Jahren soll die vermehrte Nutzung moderner Satellitenmessverfahren und die Verknüpfung mit Bodenmessungen und erweiterten Modellansätzen den Schluss vom lokalen System Vernagtferner auf das Verhalten der Gletscher in anderen Regionen unserer Erde erleichtern.

Gletscherforschung an der Akademie

1962 entstand auf Initiative von Richard Finsterwalder (1899–1963, Akademiemitglied seit 1952) die Kommission für Glaziologie, die heutige Kommission für Erdmessung und Glaziologie. Sie begann ihre Arbeiten mit der systematischen geodätischen Erfassung verschiedener Gletscher der bayerischen und österreichischen Alpen. Schon lange vorher beschäftigten sich Hermann von Schlagintweit (1826–1882; Akademiemitglied ab 1862) und seine Brüder im 19. Jahrhundert mit Gletscherforschung in den Alpen und in Asien. Sie beschrieben unter anderem auch den Vernagtferner nach seinem letzten schnellen Vorstoß bis in das Rofental im Jahr 1845 – zu einer Zeit, als mit den Arbeiten von Louis Agassiz (1807–1873) überhaupt erst die Erforschung der Eiszeiten begann.

Der Beginn der Messreihe des Vernagtferners geht zurück auf Sebastian Finsterwalder (1862–1951; Akademiemitglied ab 1903), einen herausragenden Mathematiker mit ausgeprägtem Interesse an geodätischen Messverfahren und der Vermessung und Kartierung von Gletschern. Mit seiner ersten Vermessung aus dem Jahr 1889 begann die wissenschaftliche Beobachtung des Vernagtferners, die heute mehr als 120 Jahre umfasst und seit 50 Jahren von der Akademiekommission betreut wird. Bisher wurden 12 Kartierungen erstellt sowie über längere Zeiträume die Eisbewegung und die Eisdicke im Zungenbereich bestimmt. Seit 50 Jahren werden jeweils die jährlichen und saisonalen Massenbilanzen dokumentiert. Die Daten werden parallel mit komplementären Verfahren erhoben, der geodätischen und der glaziologischen Methode. Seit 1974 (im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 81 der DFG) werden diese Beobachtungen durch die Erfassung des Abflusses aus dem Gletschergebiet erweitert und um zunehmend komplexere meteorologische Aufzeichnungen ergänzt. Der Vernagtferner wurde so zum modernen Hochgebirgsumweltlabor.

Abb. 1: Lager an der Gorbunov Station (2009), oberhalb des Fedtschenko Gletschers in 4.200 m Höhe. Der Fedtschenko Gletscher im Pamir (Tadschikistan) ist einer der größten Gebirgsgletscher der Welt (72 km lang) und wurde 1928 schon von Richard Finsterwalder eingehend untersucht. Die Kommission für Erdmessung und Glaziologie befasst sich seit 2009 wieder mit der wissenschaftlichen Untersuchung des Gletschers.

NACH DEM ENDE des letzten Gletscherhochstandes um 1850 hat sich die Fläche der Alpengletscher in den zurückliegenden 150 Jahren beinahe kontinuierlich und mittlerweile sogar beschleunigt verkleinert, nur sporadisch unterbrochen von kurzen Gletschervorstößen. Obwohl der momentane Rückzug evident erscheint, so ist er dennoch in seinen Wechselwirkungen mit Atmosphäre, Wasserhaushalt und fester Erde komplex und in diesem Bezugssystem immer noch nicht voll verstanden. Eine grundlegende Voraussetzung für die Erforschung solcher Wechselwirkungen im Erdsystem sind lange, umfassende und sehr genaue Messreihen. Dank des Weitblicks einiger ihrer Mitglieder verfügt die Bayerische Akademie der Wissenschaften heute über eine weltweit

Modellvorstellung eines Gletschers

Gletscher stehen in Wechselwirkung mit den anderen Komponenten des Erdsystems: über den Strahlungshaushalt, den Niederschlag und die Verdunstung mit der Atmosphäre, über die Eisschmelze und den Abfluss mit dem regionalen Wasserhaushalt und, da die Eismassen Schutzschild, Auflast und Erosionsursache sind, auch mit der festen Erde. Jeder Gletscher hat jedoch sein eigenes charakteristisches Verhalten, das geprägt ist sowohl von der Beschaffenheit des Untergrunds und der Umgebung wie auch vom lokalen Klima, d. h. den Windverhältnissen, dem Feuchtetransport und der Strahlungsbilanz vor Ort. Damit ergibt sich die in Abbildung 2 dargestellte Grundstruktur eines theoretischen Gletschermodells mit den Wechselwirkungen zur Umwelt und den Komponenten des Erdsystems.

Vom Einzelgletscher zum Klimaindikator

Das Mikroklima und die lokale Beschaffenheit von Untergrund und Umgebung tragen wesentlich zur Komplexität des Gletscherverhaltens bei und erschweren den Schluss vom Verhalten eines Einzelgletschers auf das einer ganzen Gletscherregion. Es ist jedoch unbestritten, dass die Gletscherentwicklung ein sehr wichtiger Klimaindikator ist. Zudem tragen diese Änderungen zum beobachteten mittleren Meeresspiegelanstieg um circa 3 mm pro Jahr bei. Die Ursachen hierfür sind einerseits

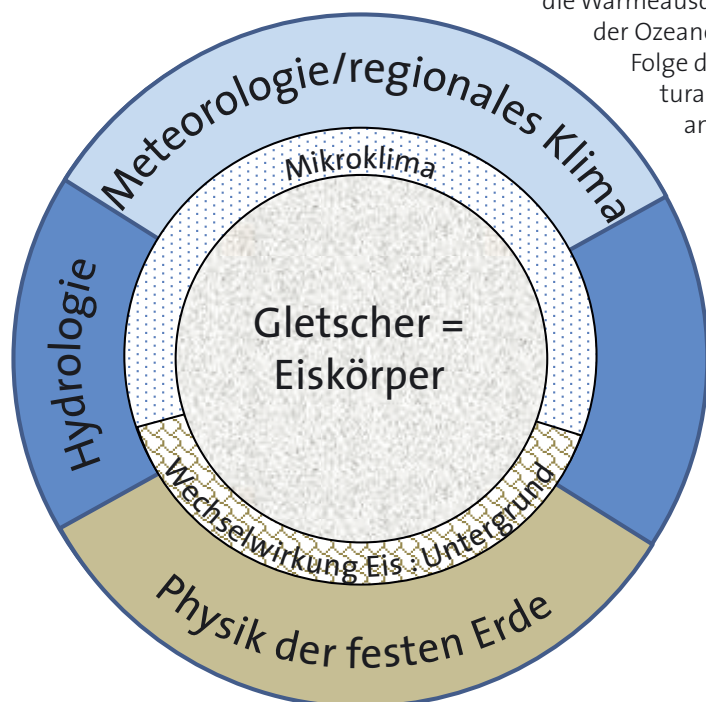
die Wärmeausdehnung der Ozeane als direkte Folge des Temperaturanstiegs und andererseits

der Masseneintrag in die Ozeane durch das Abschmelzen der Eisgebiete als indirekte Folge.

Beim Masseneintrag denkt man vielleicht in erster Linie an das Abschmelzen der großen Eisschilde Grönlands und der Antarktis. Es mag daher überraschen, dass Gebirgsgletscher (also die Gletscher *ohne* die Eisschilde Grönlands und der Antarktis) zwar nur 0,5 % zum gesamten Eisvolumen der Erde beitragen, ihr Anteil am Meeresspiegelanstieg aus der Eisschmelze derzeit jedoch mit bis zu 70 % beziffert wird. In einer aktualisierten Studie wurden 2011 die Einzelbeiträge zum Meeresspiegelanstieg erneut bilanziert, wobei man von einem momentanen Meeresspiegelanstieg pro Jahr zwischen 2,6 mm (aus Gezeitenpegeln) und 3,2 mm (abgeleitet aus der gemeinsamen Analyse von Satellitenaltimetrie und Gezeitenpegeln) ausgeht. Die Ergebnisse zeigen einen Masseneintrag durch Eisschmelze in die Ozeane, der etwa doppelt so groß ist wie der Anstieg in Folge der Wärmeausdehnung der Ozeane, d. h. ca. 1,75 mm pro Jahr gegenüber 0,9 mm pro Jahr. In dieser Bilanz liegt der Beitrag der Gebirgsgletscher immerhin bei ca. 1,0 mm pro Jahr.

Der Klimatologe Atsumu Ohmura skizzierte 2011 in der Zeitschrift „Surveys in Geophysics“ den Weg von einer globalen Inventur aller Gebirgsgletscher zu repräsentativen Aussagen des regionalen Gletscherverhaltens. Insgesamt gibt es ca. 200.000 Gletscher weltweit, von denen rund 110.000 mit Lage und Größe im World Glacier Inventory (WGI) aufgenommen sind. Von 27 vergletscherten Regionen sind laut Ohmura nur für 16 einigermaßen vollständige Erhebungen verfügbar. Gleichzeitig liegen aber weltweit nur für 35 Gletscher jährliche und saisonale Massenbilanzen über einen Zeitraum von mehr als 30 Jahren vor. Das Wissen über die Beziehung zwischen der Klimaentwicklung und der Gletscherreaktion stützt sich ganz wesentlich auf diesen zahlenmäßig und regional beschränkten Datensatz, wobei große Anstrengungen unternommen werden, vor allem die regionale Verteilung von Massenbilanzreihen gleichmäßiger auszudehnen. Trotzdem bilden die existierenden, langfristigen Reihen auch weiterhin das Fundament der derzeitigen und zukünftigen Untersuchung der klimabezogenen Gletscherreaktion.

Abb. 2: Konzeptionelles Schema eines Gletschermodells im Erdsystem.



Gletscherforschung aus dem All

Der Vernagtferner im Ötztal dürfte weltweit einer der am besten erforschten Gletscher sein. Um vom Hauslabor Vernagtferner auf allgemeingültigere Aussagen über das Verhalten der Gletscher zu schließen, ist primär der Vergleich



mit Messdaten und Erhebungen aus anderen vergletscherten Gebieten der Erde nötig. Daher beteiligten sich die Wissenschaftler der Kommission seit Anbeginn gezielt an Expeditionen und Messkampagnen zu anderen Gletscher- und Eisregionen. Beispiele sind die systematische und langfristige Erfassung der verbliebenen bayerischen Alpengletscher, die regelmäßige Kartierung einer Auswahl repräsentativer Ostalpengletscher, die Teilnahme an Expeditionen in die Polargebiete und die Arbeiten im Tien Shan, im Himalaya, dem Pamir und im Karakorum. Schon heute werden diese Felddaten zusammen mit Erkenntnissen aus Fernerkundungsmethoden bearbeitet und sollen künftig verstärkt mit modernen Satellitenmessverfahren kombiniert und analysiert werden.

Eines der drei praktizierten Verfahren zur Massenbilanzierung von Gletschern, die geodätische Methode, wurde durch Richard Finsterwalder etabliert. Dabei werden Änderungen der Oberflächegeometrie und damit Volumenänderungen des Gletschers erfasst, die aus unterschiedlichen Verfahren gewonnen werden können (z. B. Photogrammetrie oder Laserscanning). Das Satellitenmessverfahren InSAR, d. h. der interferomet-

rische Einsatz von Synthetic Aperture Radar (SAR), beruht auf dem gleichen Ansatz. Aus der wiederholten Aufnahme von Gletscherflächen lässt sich analog zum terrestrischen Verfahren die Massenbilanz erstellen, allerdings parallel und gleichzeitig für eine nahezu beliebig große Auswahl von Einzelgletschern. Zudem macht es die differentielle Nutzung von InSAR möglich, die Oberflächenfließgeschwindigkeiten der Eismassen zu rekonstruieren. Neben Volumenänderungen und Fließgeschwindigkeiten aus InSAR lassen sich auch andere Parameter wie Oberflächentemperatur, Feuchte, Windgeschwindigkeit, Schneebedeckung oder Schneeschichtung aus Satellitendaten ableiten, also wichtige Eingangsinformationen für die Modellierung der Klima-Gletscher-Beziehung. Einen programmatischen Rahmen für die Erforschung der Kryosphäre aus dem All bietet das erdwissenschaftliche Programm der Europäischen Raumfahrtagentur ESA „The Changing Earth“ (2005).

Ein völlig neues und äußerst erfolgreiches Welt-raummessverfahren ist die Satellitengravimetrie. Die amerikanisch-deutsche Satellitenmission GRACE befindet sich seit 2002 in einer Umlaufbahn und misst die zeitlichen Veränderungen der Erdanziehung. Die Ursachen dieser Veränderungen sind unter anderem das Ungleichgewicht in der Massenbilanz der Eismassen und als

Abb. 3: Einstrom des Nalifkin Gletschers in den Fedtschenko Gletscher bei 4.400 m Meereshöhe. An dieser Stelle führte Richard Finsterwalder 1928 Geschwindigkeitsmessungen auf dem Gletscher durch.

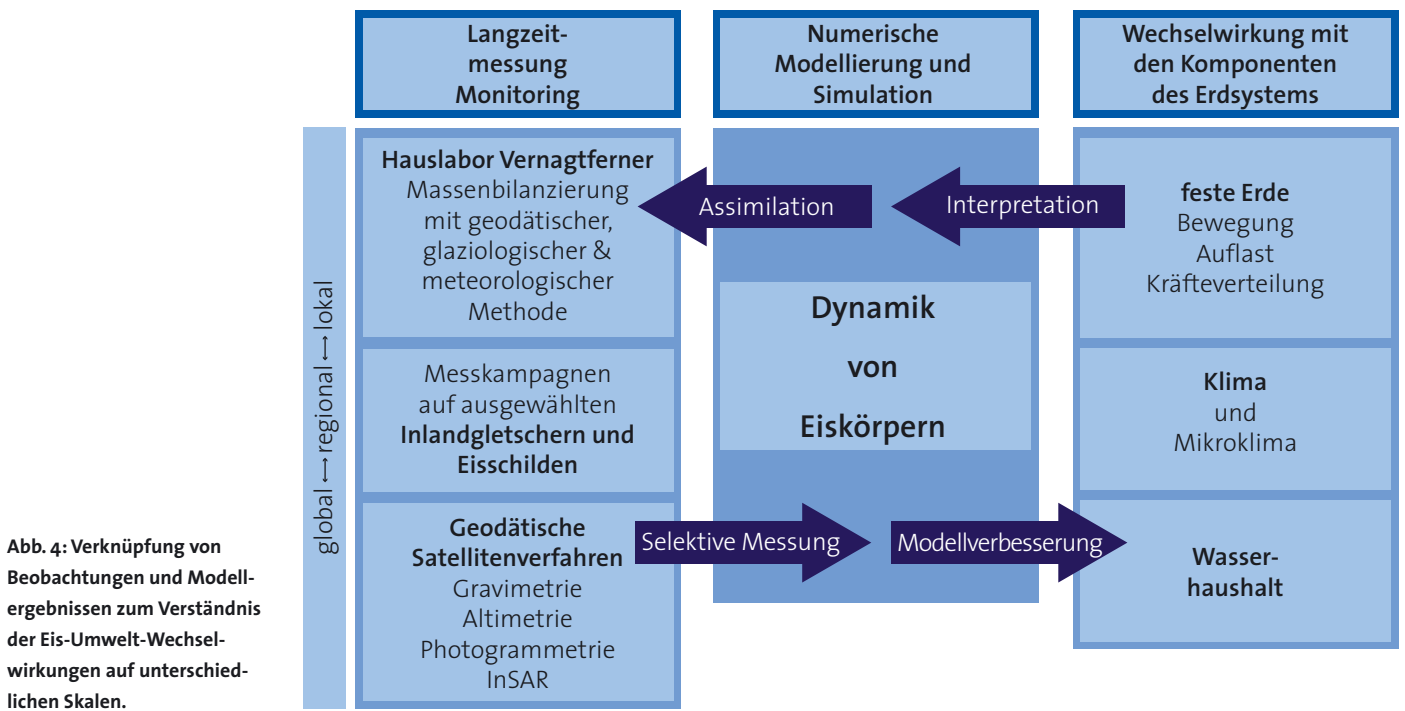


Abb. 4: Verknüpfung von Beobachtungen und Modellergebnissen zum Verständnis der Eis-Umwelt-Wechselwirkungen auf unterschiedlichen Skalen.

Folge hiervon der Masseneintrag des Schmelzwassers in die Ozeane sowie Veränderungen des kontinentalen Wasserhaushalts. Mit diesem Messverfahren gelingt es nun erstmals, den regional unterschiedlichen Gesamtbetrag der Veränderungen des Meeresspiegels aufzugliedern in den Beitrag des Masseneintrags in die Ozeane und den der thermischen Ausdehnung. Erst 2012 gelang es, mit GRACE eine zuverlässige Eismassenbilanz für Grönland und die Antarktis aufzustellen und unabhängig davon über satellitengestützte Höhenmessungen (Altimetrie) und ein regionales Klimamodell zu verifizieren. Leider ist die räumliche Auflösung der Satellitengravimetrie auf Gebietsgrößen mit Radien von einigen Hundert Kilometern beschränkt, und auch zukünftige Missionen werden kaum in der Lage sein, diese beschränkte Auflösung signifikant zu verbessern. Das heißt, eine Massenbilanzierung einzelner Alpengletscher ist mit Satellitengravimetrie nicht machbar.

Gravimetrische Massenbilanz – ein neuartiger Ansatz

Indem sie moderne Ansätze der Satellitenfernerkundung nutzt, wird die Kommission in den kommenden Jahren eine zusätzliche Brücke bauen von der lokalen Skala des Fernagfeners hin zur Analyse des Verhaltens ausgewählter Gletscherregionen. Doch auch das Spektrum der am Fernagfener selbst eingesetzten Messverfahren wird erweitert: Neben dem Aufbau von Referenzpunkten zur hochgenauen Posi-

tionsbestimmung mit GPS und Geschwindigkeitsmessungen mit GPS auf dem Eis wird dies insbesondere die gravimetrische Massenbilanzierung sein. Analog zur Satellitengravimetrie lässt sich Gravimetrie auch direkt auf dem Eis realisieren. Doch während die glaziologische und die hydrologische Methode die Massenbilanz nur indirekt ermitteln und die geodätische Methode Volumen- und nicht Massenveränderungen feststellt, ist der gravimetrische Ansatz eine echte Massenbilanzierung. Aber gerade der Vergleich von Volumen- und Massenveränderungen liefert zusätzlich hilfreiche Informationen zur Entwicklung eines Gletschers, etwa zur Verdichtung der Schnee- zu Eismassen und zur Zerklüftung.

Vom Gletscher zum Modellgletscher

Neben der Erweiterung der Messverfahren wird in den kommenden Jahren eine Vertiefung der numerischen Modellierung ein Schwerpunkt der Kommissionsarbeiten sein. Vor allem die möglichst realitätsnahe numerische Beschreibung des Modells der Wechselwirkungen zwischen dem Eiskörper und der Atmosphäre, dem Wasserhaushalt und der festen Erde unter Berücksichtigung der spezifischen Bedingungen, die sich aus Untergrundbeschaffenheit, Topographie und Mikroklima ergeben (Abb. 2), ist dabei ein wesentliches Ziel. Die Aufgabe lautet: numerische Beschreibung und Analyse des Systems „gekoppelte Massenbilanz, Energiebilanz, Eisdynamik und Untergrund“ und Assimilation der Messdaten. Die gute Anbindung an das Leibniz-Rechenzentrum der Akademie und die Modellierungsarbeiten in der Geophysik der LMU München bieten hierfür hervorragende Ausgangsvoraussetzungen.

Bisher existieren verschiedene Modelle, die sehr spezifische Prozesse mit unterschiedlicher Umsetzung physikalischer Prinzipien beschreiben. Für die Analyse der Energieflüsse an der Oberfläche des Gletschers werden völlig andere Ansätze benötigt als für die Beschreibung der Deformation des Eises. Basales Gleiten basiert auf anderen physikalischen Grundgleichungen als die Abflussgenerierung durch Eisschmelze. Zudem wirken die einzelnen Mechanismen auf sehr unterschiedlichen Zeitskalen. Während sich die kurzweilige Strahlung im Sekundentakt ändert, sind Änderungen der Eisauflast auf den Untergrund nur über Jahrzehnte und mehr signifikant. Dies alles gilt es zu bedenken, wenn ein Gletscher – und in viel stärkerem Maße ein vergletschertes Gebiet – modellhaft beschrieben werden soll. In einem ersten Ansatz ist es daher sinnvoll, die Wechselwirkung der Oberflächenmassenbilanz (Energie- und Massenhaushalt) mit der Dynamik eines Gletschers zu verknüpfen. Dazu gibt es bereits wichtige Vorarbeiten, die weiterentwickelt und präzisiert werden. Aufbauend auf einem solchen gekoppelten Bilanz-Dynamikmodell können sukzessive weitere Bausteine eingefügt und so ein flexibles, vielseitig einsetzbares Systemmodell entwickelt werden. Die vielfältigen Untersuchungsgebiete der Glaziologie an der Akademie ermöglichen es, solch ein Modell auf unterschiedlichen Skalen zu testen und zu validieren. Diese Arbeiten erfordern allerdings eine Kombination der existierenden Kompetenz in der Glaziologie mit der Kapazität und der Erfahrung in anderen Gruppen und einen intensiven Austausch, um zu einem erfolgreichen Ergebnis zu kommen.

Messen, modellieren und vorhersagen

Im Niederländischen lässt sich schön formulieren „meten is weten“, das heißt „messen ist wissen“. Natürlich ist das möglichst umfassende Messen der Veränderungen von Gletschern eine Grundvoraussetzung für das Verständnis von deren Veränderungsprozessen. Nur aus einer gleichwertigen Behandlung von Messung und Modellierung wird es jedoch möglich werden, zu belastbaren Vorhersagen zu kommen, um so die klassische Kette von Messprozess – Modell – Vorhersage – verbesserte Messansätze – besseres Modell usw. fortzuführen. In Abbildung 4 ist dieser Zusammenhang dargestellt unter dem Thema „Die Erforschung des physikalischen Verhaltens von Eiskörpern in ihrer Beziehung zu den Messverfahren und zu den Komponenten des Erdsystems“.

Ausblick

Die Glaziologie an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften hat bemerkenswerte Erkenntnisse zum Verhalten der Gletscher in den Ostalpen hervorgebracht. Fünfzig Jahre Kommissionsarbeit, zahllose Messkampagnen der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vor Ort, aber auch die Arbeiten der frühen Akademiemitglieder Hermann von Schlagintweit, Sebastian Finsterwalder und Albrecht Penck schufen hervorragende Voraussetzungen für die nun folgende Phase der Gletscherforschung an der Akademie. Eine Übersicht über die bisher geleisteten Arbeiten und die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind in einem Sonderheft der „Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie“ zum 50. Jahrestag der Forschung am Vernagtferner zusammengefasst. Es bleiben noch viele Fragen, die bisher nur ansatzweise beantwortet sind.

Beispiele sind:

- Verabschieden sich alpine Gletscher aus den hochalpinen Tälern?
- Beschleunigt sich dieser Prozess?
- Was sind die Ursachen des Rückzugs und der zwischenzeitlichen Vorstöße?
- Wie verändern sich die hydrologischen Regimes der Alpenregion?
- Was sind die Auswirkungen auf Gebirgsbildung, Erosion, Umwelt, Bewuchs?

Was die Methodik anbelangt, ist die Absicht,

- Modellierung und Datenassimilation zu verstärken,
- neuartige Messverfahren, etwa die terrestrische Gravimetrie, am Gletscher zu testen,
- über Satellitenverfahren und Messkampagnen vor Ort vom Hauslabor zu grundsätzlichen Aussagen zu Gebirgsgletschern zu kommen, um damit gleichzeitig
- eine Brücke zu anderen Klimaindikatoren, z. B. dem Meeresspiegel, zu schlagen.

Die Arbeiten der Kommission werden bis zum Jahr 2015 aus dem Akademienprogramm von Bund und Ländern finanziert. In diesem Rahmen wurden die Forschungen in regelmäßigen Abständen von externen Gutachtern evaluiert. Durch die Zusammenlegung von Erdmessung und Glaziologie im Jahr 2010 wurde in der Akademie eine größere Forschungseinheit geschaffen; eine stärkere Anbindung an die beiden Münchner Universitäten erschließt ergänzende Fachkenntnis. Damit sind die Rahmenbedingungen geschaffen für die nun anstehende, neue Phase der Gletscherforschung an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. ■

DIE AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Reiner Rummel ist Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und leitet ihre Kommission für Erdmessung und Glaziologie. Er hatte bis vor kurzem den Lehrstuhl für Astronomische und Physikalische Geodäsie an der TU München inne.

Dr. Christoph Mayer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der fernerkundlichen und geophysikalischen Beobachtung von Gletschern weltweit.

Forschungsobjekt Vernagtferner

Seit 50 Jahren erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Akademie mit komplexen Methoden den Vernagtferner im österreichischen Ötztal. Was haben wir daraus über die Wasserspende alpiner Gebiete gelernt – und was bleibt zu tun?

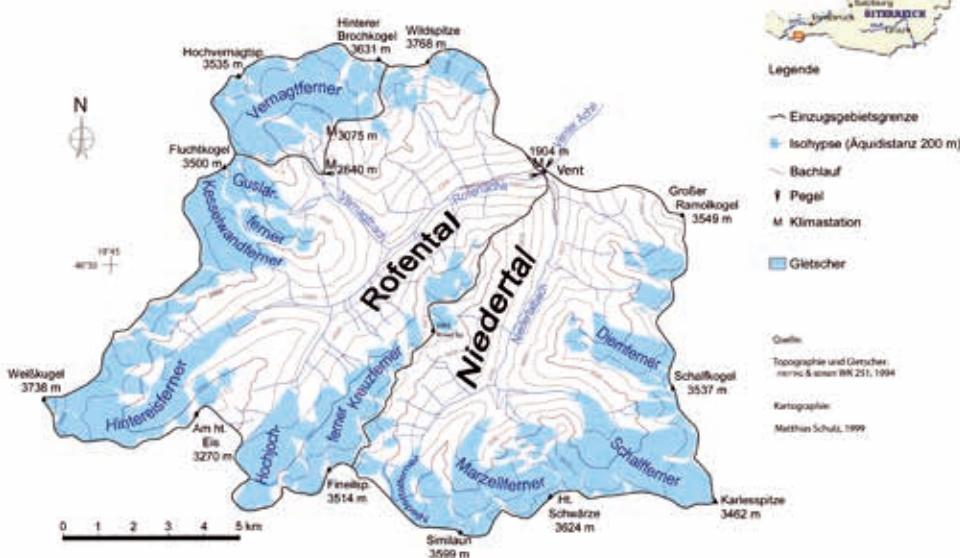
VON LUDWIG BRAUN, HEIDI ESCHER-VETTER, CHRISTOPH MAYER
UND MARKUS WEBER

1962 RICHTETE DIE Akademie ihre Kommission für Glaziologie ein, um den Zusammenhang zwischen Gletscher- und Klimaschwankungen zu untersuchen. Damit wurde dieses Forschungsgebiet an der Bayerischen Akademie der Wissenschaften institutionell verankert. Im Blickpunkt des Interesses lag von Anfang an das hintere Ötztal, wo Forscher der Universität Innsbruck unter der Leitung von Herfried Hoinkes und der Technischen Universität München vom Institut für Photogrammetrie und Kartographie unter der Leitung von Richard Finsterwalder schon seit Jahrzehnten tätig waren. Diese Forschungen wurden während der Internationalen Hydrologischen Dekade (1965–1974) intensiviert, und zwar mit dem Ziel, den Wasser-, Eis- und Wärmehaushalt des damals zu 44 % vergletscherten Einzugsgebietes der Rofenache mit einer Fläche von 98 km² quantitativ zu erfassen (Abb. 1). Ursprünglich war vorgesehen, dass die Kommission ausgewählte Gletscher des Niedertals untersuchen sollte. Da

Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet der Kommission im hinteren Ötztal (Österreich).

Übersichtskarte

Die Einzugsgebiete des Vernagtbachs, der Rofenache und der Venter Ache



die Abflussmessstelle des Niedertalbachs jedoch nicht realisiert werden konnte, wurde dafür das Rofental mit seinen wichtigsten Gletschern Hintereis-, Kesselwand- und Vernagtferner umso intensiver vermessen und mit glaziologischen und hydrometeorologischen Methoden erforscht.

1973 errichtete die Kommission mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft auf 2.640 m Höhe die Pegelstation Vernagtbach (Abb. 2). Nun konnten zum ersten Mal drei sich ergänzende Methoden zur Bestimmung des Gletschermassenhaushaltes eingesetzt werden:

- die geodätische Methode, die auf der mittleren Höhenänderung der Gletscheroberfläche basiert, abgeleitet aus dem Vergleich von Kartierungen des Gletschers in Abständen von mehreren Dekaden (Abb. 3),
- die direkte glaziologische Methode, bei der die Jahresbeträge von Akkumulation, d. h. Massengewinn vor allem durch Schneeniederschlag, und Ablation, also Massenverlust, in erster Linie durch Schmelze, erfasst werden (Abb. 3),



von 15 km² berechnen (Abb. 5 und 6). Der Vergletscherungsanteil am Gesamtgebiet ist von 77 % im Jahr 1889 auf 50 % im Jahr 2011 zurückgegangen. Dabei wiesen die Gletschermassenbilanz und der Abfluss bis etwa 1980 ein nahezu zyklisches Verhalten mit einer Periodenlänge von ca. 30 Jahren auf. Danach zeigt sich aber ein klarer Trend zu immer größeren Gletschermassenverlusten und höheren Abflüssen. Hierfür ist nicht der Gebietsniederschlag das bestimmende Element, sondern die Eisschmelze, die über den Energiehaushalt gesteuert wird.

Abb. 2: An der Pegelstation Vernagtbach wird der Gletscherabfluss seit 1974 kontinuierlich bestimmt.

Folgen für die Wasserspende im Alpenraum

Im Rahmen des Verbundprojektes GLOWA-Danube hat die Kommission für Glaziologie zwischen 2001 und 2010 die Abflussgenese im Einzugsgebiet des Inns als wichtig

Abb. 3: Veränderungen der Eismasse des Vernagtferners, bestimmt durch die geodätische Methode (grün) und die glaziologische Methode (blau).

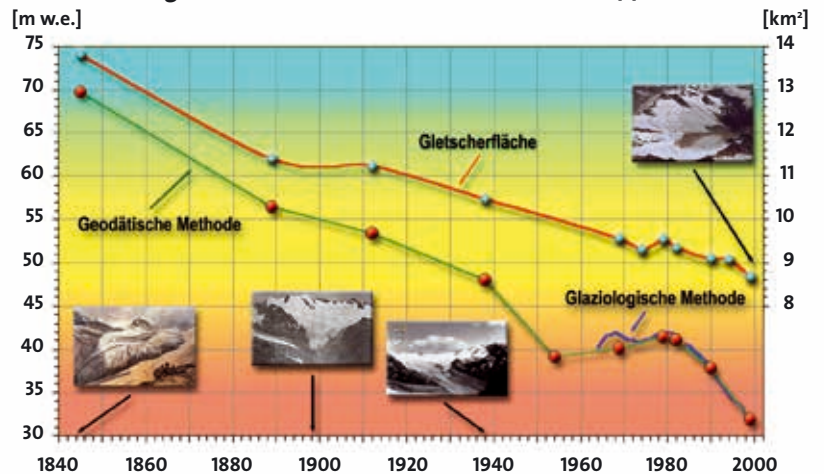
- die hydrologisch-meteorologische Methode, welche die Veränderungen des Eisvorrats aus der hydrologischen Bilanz von Niederschlag und Abfluss ermittelt und vor allem eine detaillierte, zeitlich hoch aufgelöste Analyse der Schmelzwasserproduktions- und Abflussprozesse beinhaltet.

Die gewonnenen Abflussdaten illustrieren eindrücklich, dass das Einzugsgebiet im Winter nur sehr geringe Wasserspenden aufweist, während im Sommer sehr viel Wasser abfließt (Abb. 4). Seit dem Anfang der Messungen haben sich sowohl die Abflussmengen als auch die täglichen Schwankungen kontinuierlich erhöht. Dies ist das Resultat von immer höheren Schmelzraten, bedingt durch die Vergrößerung der aperen, d. h. schneefreien Eisoberfläche des Gletschers und die gleichzeitige Verkleinerung der Firngebiete, die früher als Zwischenspeicher des Schmelzwassers dienten und den Abfluss verzögerten.

Bestimmung des Wasserhaushaltes über lange Zeiträume

Da die Abflussverhältnisse der letzten 40 Jahre und die langzeitigen Veränderungen der Oberfläche des Vernagtferners bekannt sind, können heute Abflussmodelle angewendet werden, die alle Komponenten des Wasserhaushaltes über mehr als 100 Jahre (1895–2011) für das Einzugsgebiet „Gletscherthor“ mit einer Fläche

Änderung der Gesamtfläche und des spezifischen Wasservorrats des Vernagtferners seit seinem Höchststand um 1844



Pegelstation Vernagtbach

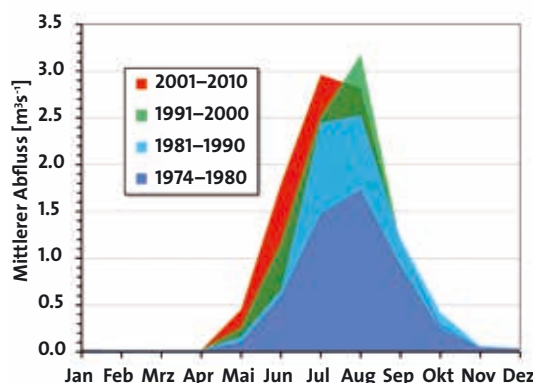


Abb. 4: Mittlere monatliche Abflusswerte an der Pegelstation Vernagtbach und deren Veränderungen seit 1974.

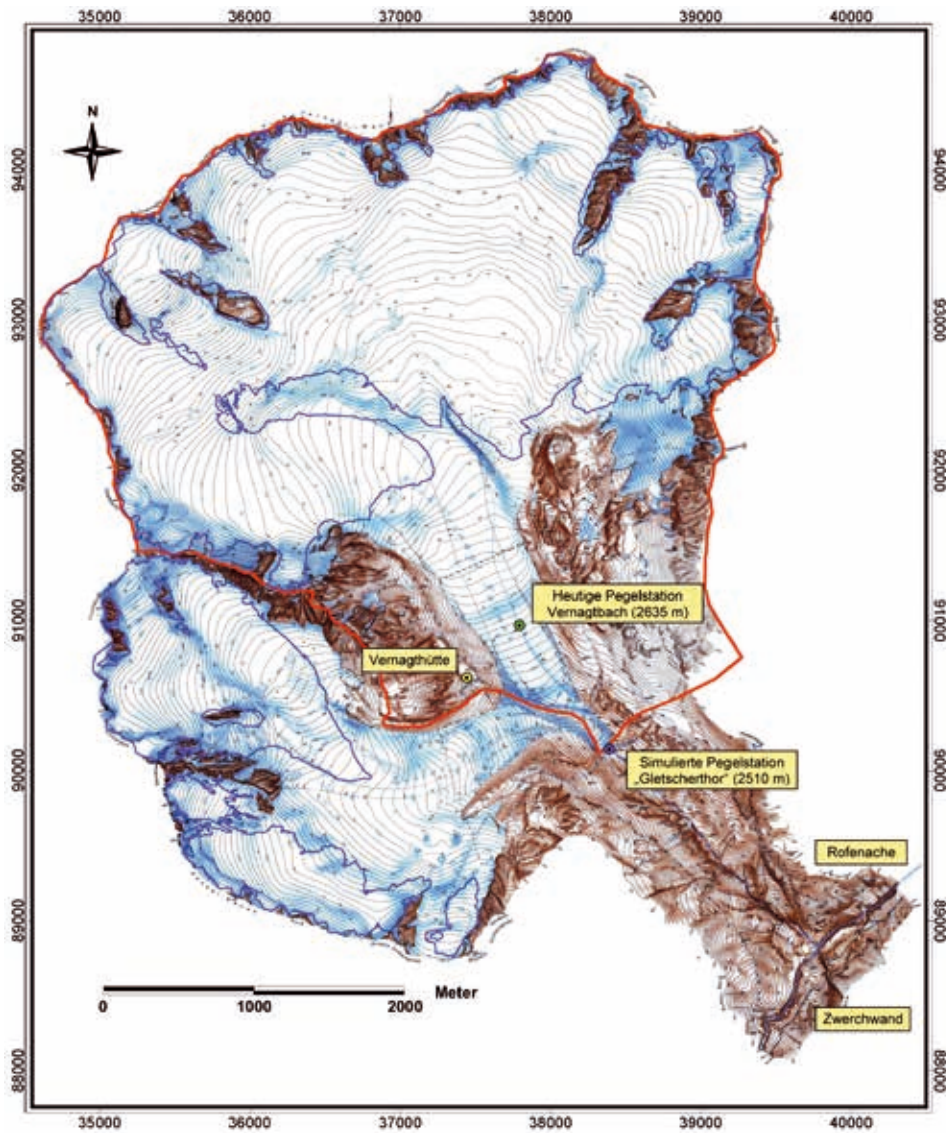
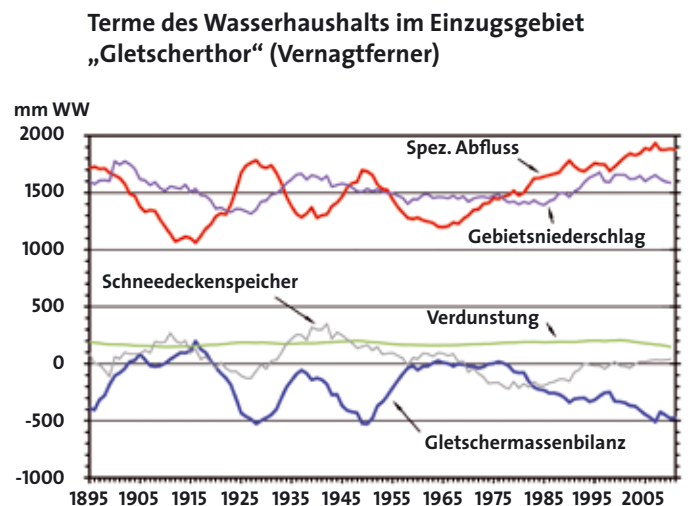


Abb. 5: Einzugsgebiet des Vernagtferners bei der Position „Gletscherthor“, ca. 1 km unterhalb der heutigen Pegelstation Vernagtbach, mit der Ausdehnung des Vernagt- und Guslarferners in den Jahren 1889 und 1999 (blaue Markierung).

tigstem Zubringer der oberen Donau im Detail untersucht. Für verschiedene Klimaszenarien konnte die zukünftige Größe der Gletscherflächen und der Gletscherspenden berechnet werden. Dabei hat sich gezeigt, dass in den eher trockenen zentralen Ostalpen der Gletscherschwund bis 2030 außerordentlich stark ausfallen wird, praktisch unabhängig vom gewählten Klimaszenario. Der Großteil des Vernagtferners wird in den kommenden zwei Dekaden weggeschmolzen sein (Abb. 7).

Dies hat Konsequenzen für die Wasserspende aus dem Hochgebirge, die sowohl für die Rofenache bei Vent als auch weiter stromabwärts berechnet wurde. Von 1991 bis 2000 lag der Eisschmelzanteil im Kopf-einzugsgebiet der Rofenache in den Sommermonaten Juli und August

Abb. 6: Entwicklung des Wasserhaushalts im 15 km² großen Einzugsgebiet „Gletscherthor“ des Vernagtferners. Kurven geglättet über neun Jahre.

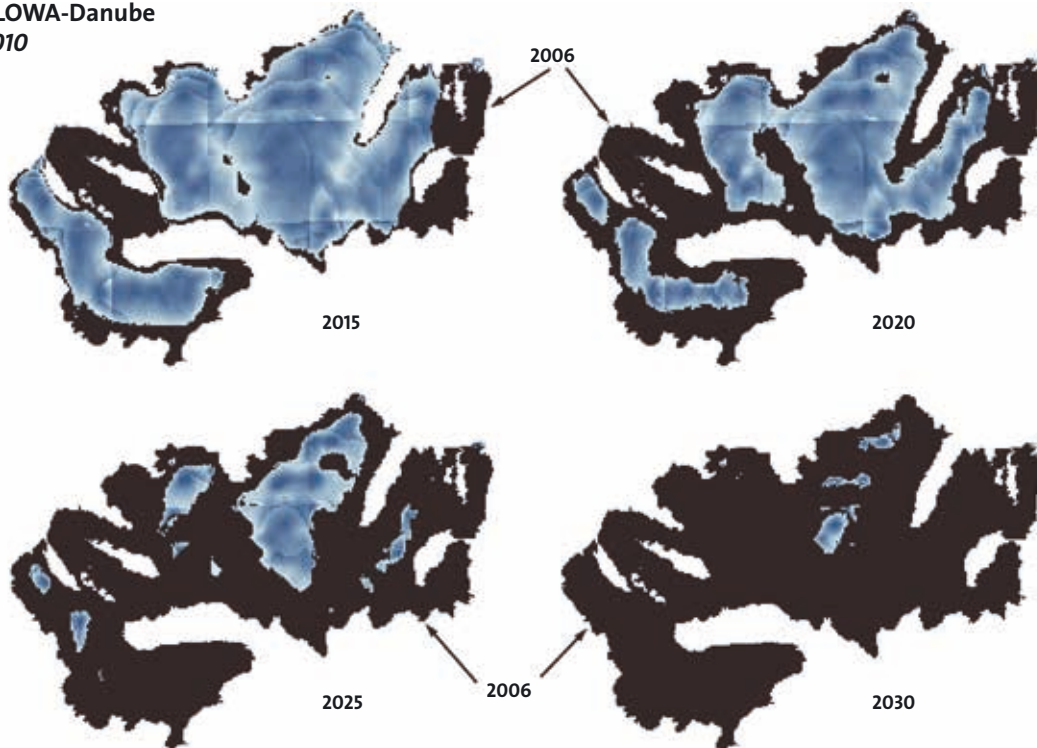


bei bis zu 50 % des gesamten Abflusses. Für die aktuelle Dekade (2011–2020) prognostiziert das Szenario noch höhere Abflüsse mit einem Eiswasseranteil von knapp 80 % der Wasserspende im August. In den darauf folgenden Dekaden werden aber die Gletscherflächen so stark abnehmen, dass die Wasserspenden sukzessive geringer werden und allmählich von der Schneeschmelze und vom Regenabfluss geprägt sind. Die mittlere monatliche Eisschmelze im Sommer wird in 40 bis 50 Jahren weniger als 10 % des Gesamtabflusses betragen.

Weiter stromabwärts entlang des Inns wird der Rückgang der Wasserspenden aufgrund des Gletscherschwundes weniger merklich sein, da die Bedeutung der Schneeschmelze und des Regenabflusses im feucht-gemäßigten Klima der nördlichen Alpen und des Alpenvorlandes gegenüber der Eisschmelze bereits jetzt viel größer ist. Nach den Szenarien der Klimatologen werden die Niederschläge im Winter eher zunehmen und im Sommer abnehmen. Es ist somit zu erwarten, dass die Abflüsse im Winterhalbjahr eher höher und im Sommer geringer ausfallen.

Was bleibt zu tun?

Die hier präsentierten Resultate sind gestützt auf Modellrechnungen und die Kenntnis der derzeitigen Eisreserven im Hochgebirge. Es ist aber ein Gebot der Stunde, diese Prognosen ge-

**GLOWA-Danube
2010**

DIE AUTOREN

Dr. Ludwig Braun ist organisatorischer Leiter der Abteilung Glaziologie der Kommission für Erdmessung und Glaziologie, Dr. Heidi Escher-Vetter und Dr. Christoph Mayer sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Abteilung.

Dr. Markus Weber hat bis Ende 2010 das Projekt GLOWA-Danube betreut.

Abb. 7: Zukünftige Ausdehnung des Vernagtferners, modelliert im Rahmen des GLOWA-Danube-Projektes.

genüber der Realität zu überprüfen und die verwendeten Methoden auch in anderen Klimaregionen anzuwenden. Dazu ist es nötig, das Gletscher-Monitoring weiterzuführen und zugleich die Modelle weiterzuentwickeln, z. B. durch Berücksichtigung von eisdynamischen Prozessen in der physikalisch basierten Modellierung der Gletscher. Der Zusammenschluss der beiden Akademiekommissionen für die Internationale Erdmessung und für Glaziologie zur „Kommission für Erdmessung und Glaziologie“ im Jahr 2010 erlaubt es, zusätzlich zur glaziologischen Methode derzeit auch gravimetrische Methoden und exakte Positionsbestimmungen einzusetzen, um die weitere Entwicklung des Vernagtferners zu verfolgen (Abb. 8). Außerdem werden gravimetrische Messungen auf andere noch stark vergletscherte Gebiete angewandt, z. B. Island (s. den Beitrag von Christof Völksen auf S. 16–20). Die Kommission plant, die Untersuchungen mit Hilfe von Satellitendaten (GRACE, GOCE) und weiterentwickelten, detaillierten Niederschlag-Abflussmodellen auf Gebiete wie den Pamir und den Hindukusch, aber auch die Polargebiete auszuweiten. ■

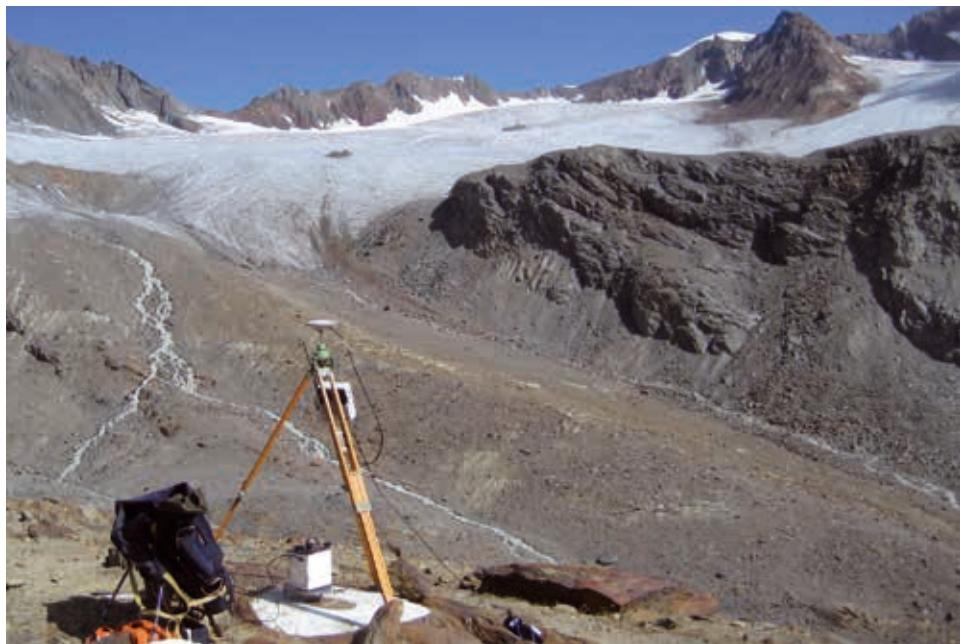


Abb. 8: GPS-Station und Gravimeter auf massivem Fels (Referenzpunkt für Gravimetermessungen auf dem Vernagtferner).

Info

www.glowa-danube.de

Themenband 45/46 der Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie „Gletscherforschung am Vernagtferner“ erscheint ca. Juni 2013 mit 22 Beiträgen.



Geodynamik

Schieben, krachen, explodieren – Island, wo die Erde sich bewegt

Geodätische Forschungsarbeiten der Akademie auf Island, u. a. zu den vulkanischen Aktivitäten des Eyjafjallajökulls, der im April 2010 den Flugverkehr in Europa lahmlegte.

VON CHRISTOF VÖLKSEN

IM ROMAN „DIE REISE zum Mittelpunkt der Erde“ lässt Jules Verne seine Figuren durch den Vulkan Snæfellsjökull in das Innere der Erde steigen. Die Vulkaninsel Island im Nordatlantik wählte er nicht von ungefähr als Schauplatz seines Buches: Zahlreiche Vulkane bedecken Island, und regelmäßig rückt der eine oder andere in das Interesse der Welt. Vielfach ist vergessen, dass der Ausbruch der Laki-Krater im Sommer 1783 mit ihrem Ausstoß giftigen Schwefeldioxid

weite Teile Europas gravierend beeinflusste. Monatlang überdeckte eine Gaswolke Europa, das Klima kühlte sich merklich ab. Missernten und Hungersnöte plagten weite Teile des Kontinents. Aber auch unmittelbar auf Island starben viele Menschen an Hunger, da Wiesen durch den Niederschlag des Vulkans vergiftet wurden und das Vieh verendete. Diskutiert wurde damals eine großangelegte Evakuierung der Bevölkerung von Island nach Dänemark, die aber dann doch nicht umgesetzt wurde. In frischer Erinnerung geblieben ist der Ausbruch des Eyjafjallajökulls seit März 2010, denn zum einen wurde für einige Tage der Flugverkehr zwi-



Island die einzigartige Möglichkeit, Teile des Mittelatlantischen Rückens an der Oberfläche zu untersuchen. Diese Struktur durchzieht Island als so genannte „Neovulkanische Zone“ vom Nordosten der Insel bis in den Südwesten. Die Erdkruste ist an dieser Stelle sehr dünn, Magma befindet sich oftmals in nur geringer Tiefe. Daher liegen innerhalb dieser divergierenden Plattengrenze fast alle aktiven Vulkane, die durch oberflächennahes Magma gespeist werden.

Daneben wird Island immer wieder von Erdbeben erschüttert, die hauptsächlich in den sog. Transformstörungen auftreten, also Zonen, an denen sich die tektonischen Platten seitlich aneinander vorbeischieben. Mit etwa 2 cm pro Jahr driften die beiden Kontinentalplatten auseinander, und ständig entsteht an der Nahtstelle zwischen den Kontinenten neues Land, manchmal begleitet von vulkanischen Eruptionen. Noch immer sind 11 % der Landfläche von Gletschern bedeckt, und mit dem Vatnajökull ist hier auch der größte Gletscher Europas vertreten. Die vielen Gletscher haben die Insel geformt und gaben dem „Eisland“ seinen Namen (isl.: Ísland).

Abb. 1: Erneuter Ausbruch des Vulkans Eyjafjallajökull am 13. Mai 2010.

Lange Tradition geodätischer Arbeiten

schen Nordamerika und Europa unterbrochen, und zum anderen ist es eine Herausforderung, den Namen des Vulkans richtig auszusprechen. Island ist ein „Hot Spot“ der Geoforschung, und das auch im wahrsten Sinne des Wortes. Seit 2001 engagiert sich die Kommission für Erdmessung und Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften an Forschungsarbeiten zur Geodynamik in Island.

Tektonik der Insel

Der Mittelatlantische Rücken als Trennungslinie zwischen Nordamerikanischer und Eurasischer Platte wird durch einen Hot Spot, der direkt unter Island liegt, an die Oberfläche gedrückt. Hot Spots sind thermische Anomalien, die vom Mantel der Erde bis in die Lithosphäre reichen. Dieser Vorgang führte zur Bildung der Insel, und damit bietet

Dass sich deutsche Geodäten an den Forschungsarbeiten in Island beteiligen, hat eine lange Tradition: Bereits 1937 führte eine Expedition deutsche Geodäten und Geophysiker nach Island. Damals wurden erstmals Untersuchungen zu Oberflächendeformationen in den Riftzonen (s. auch Abb. 2) der Insel und erste Schweremessungen durchgeführt. Island ist für die Geodäsie ein spektakuläres Forschungsobjekt, da man mit jeder Vermessung immer nur eine Momentaufnahme der augenblicklichen Situation erhält. Wiederholt man die Messung wenige Jahre später, so kann man sicher sein, dass sich wieder Veränderungen nachweisen lassen. Bereits 1962 hat die TU Braunschweig, zwei Jahre später auch die TU Hannover, geodätische Arbeiten aufgenommen – immer mit

dem Ziel, Oberflächendeformationen und auch Schwereänderungen mit höchstmöglicher Präzision zu bestimmen. Damals wurden zur Vermessung Winkel beobachtet und Distanzen zwischen Punkten mit den ersten modernen Entfernungsmessern bestimmt. Die erzielten Genauigkeiten lagen bereits bei einigen Zentimetern, allerdings war ein hoher messtechnischer Aufwand nötig, und man musste häufig mehrere Tage an einem Punkt verweilen.

Eine Wendung nahmen die geodätischen Forschungsarbeiten mit der Einführung des Global Positioning Systems (GPS). Mit Hilfe der relativen Positionierung, einem speziellen Auswerteverfahren, können Raumvektoren zwischen zwei gleichzeitig vermessenen Punkten mit einer Genauigkeit von einem Zentimeter oder sogar noch besser bestimmt werden. Und dies gelingt nicht nur über wenige Kilometer, sondern oft bis zu 100 Kilometern und mehr. Mit GPS kann man bei jedem Wind und Wetter genaueste Messungen durchführen, und es ist nahezu überall einsetzbar (Abb. 3). Deutsche und englische Wissenschaftler führten seit dem Ende der 1980er Jahre erste GPS-Messkampagnen im Nordosten der Insel durch. Es gelang, horizontale und vertikale Punktverschiebungen von wenigen Zentimetern als Folge einer Spalteneruption des Vulkansystems Krafla nachzuweisen. 1993 wurde in Island mit GPS ein neues Landesnetz eingerichtet, und in den folgenden Jahren konnte durch wiederholte Messungen die Geodynamik über das ganze Land erfasst werden.



Abb. 2: Spalte, die als Folge der Plattentektonik auf Island entstanden ist.

DER AUTOR

Dr.-Ing. Christof Völksen ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für Erdmessung und Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Einer seiner Forschungsschwerpunkte liegt auf der Erfassung geodynamischer Prozesse in Island mit Methoden der Satellitengeodäsie.

GPS-Permanentstationen

Heute bilden permanent eingerichtete und kontinuierlich mit GPS beobachtende Stationen das Rückgrat bei der Bestimmung geodätischer Referenzsysteme. Mit ihrer Hilfe können erst genaue Satellitenbahnen der GPS-Satelliten bestimmt werden, die wiederum die Genauigkeit der Koordinatenbestimmung wesentlich erhöhen. Daher wurden im Rahmen des International GNSS Service (IGS) auch in Island – 1996 zunächst in Reykjavik und 1997 dann in Höfn – zwei GPS-Permanentstationen aufgebaut, um ein globales geodätisches Referenzsystem zu realisie-

ren. Für die Bestimmung der Geodynamik bieten permanente Stationen einen wesentlichen Vorteil: Mit ihrer Hilfe gelingt es, fortlaufende (z. B. Plattentektonik) oder auch episodische Prozesse (z. B. Erdbeben) kontinuierlich zu erfassen. Auf Initiative des isländischen Wetterdienstes (Veðurstofnun Íslands), der auch die geophysikalischen Untersuchungen in Island zentral koordiniert, wurde 1999 das aus GPS-Permanentstationen bestehende ISGPS-Netz eingerichtet. Es wird aus derzeit mehr als 25 Stationen gebildet, die vor allem auf die geodynamischen Brennpunkte Islands verteilt sind. Die Kommission für Erdmessung und Glaziologie (KEG) der Akademie beteiligt sich seit 2001 an der Auswertung der Daten und kann somit die Bewegungsänderungen der Stationen kontinuierlich erfassen. Im Sommer 2006 wurde das Netz durch eine weitere Station ergänzt (Abb. 4). Mitarbeiter der KEG bauten am See Mývatn, im Nordosten Islands, in unmittelbarer Nähe zum Vulkan Krafla eine GPS-Permanent-

station für geodynamische Studien auf. Nach einer Modernisierung der Station kann der neue Empfänger seit 2011 zusätzlich auch die Signale des russischen GLONASS und des europäischen Satellitennavigationssystem Galileo verarbeiten.

Ergebnisse zur Geodynamik auf Island

Aus den Daten einer GPS-Permanentstation wird für jeden Tag eine Position mit Hilfe der relativen Positionierung bestimmt. Aufgrund der Plattentektonik verändern sich die Positionen täglich nur um einen minimalen Betrag, aber horizontale Bewegungen von ein paar Millimetern pro Jahr können schon nach wenigen Jahren zuverlässig abgeleitet werden. In Abbildung 5 sind sowohl die horizontalen als auch die vertikalen Bewegungen der isländischen Stationen dargestellt, die über einen Zeitraum von nahezu zehn Jahren bestimmt wurden. Die schwarzen Pfeile zeigen die tatsächlich ermittelten horizontalen Bewegungen relativ zur fixierten Eurasischen Platte, die östlich der Plattengrenze liegt. Die grauen Pfeile zeigen hingegen die Bewegungen des plattentektonischen Modells NUVEL-1A relativ zur Eurasischen Platte, daher sollte östlich der Plattengrenze keine Bewegung sichtbar sein.

Abweichungen vom Modell deuten auf weitere mögliche geodynamische Prozesse hin. Die beobachteten horizontalen Deformationen stimmen weitgehend mit dem Modell überein. Größere Abweichungen gibt es in unmittelbarer Nähe der Plattengrenze im Bereich der Riftzone. Daneben treten vor allem am südlichsten Gletscher, Mýrdalsjökull, horizontale Deformationen auf, die vom Zentrum des Gletschers wegweisen. Tatsächlich überdeckt der Gletscher die Caldera des Vulkans Katla, der für subglaziale Eruptionen bekannt ist. Vulkane sind häufig mit unterirdischen Magmakammern verknüpft, die sich vor einem Ausbruch wie eine Blase mit Magma füllen, die Oberfläche aufwölben und erst bei einem Überdruck Magma aus der Kammer entweichen lassen. Ein solches Modell könnte die beobachteten Deformationen gut erklären. Abbildung 5 zeigt aber ebenso deutliche vertikale Höhenänderungen von etwa 10 Millimetern pro Jahr am Mýrdalsjökull und am südlichen Rand des Vatnajökulls. Im zentralen Teil Islands sind sogar Raten von bis zu 25 Millimetern pro Jahr sichtbar.

Abb. 4: Die GPS-Permanentstation MYVA im Nordosten Islands. Die 2006 eingerichtete Station beobachtet die Signale der Satellitensysteme GPS, GLONASS und Galileo.

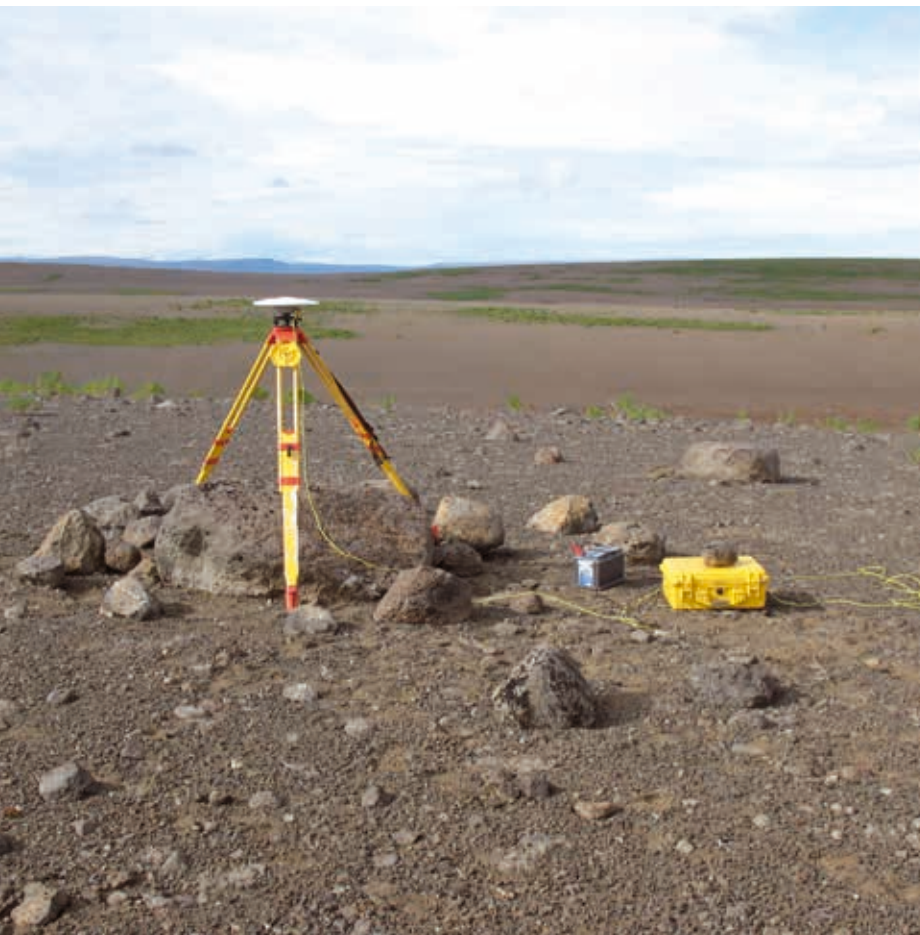


Abb. 3: Vermessungsarbeiten mit einem geodätischen GPS-Empfänger in Island. Die Punkte sind oftmals schwer zu erreichen und müssen mit Geländewagen angefahren werden.

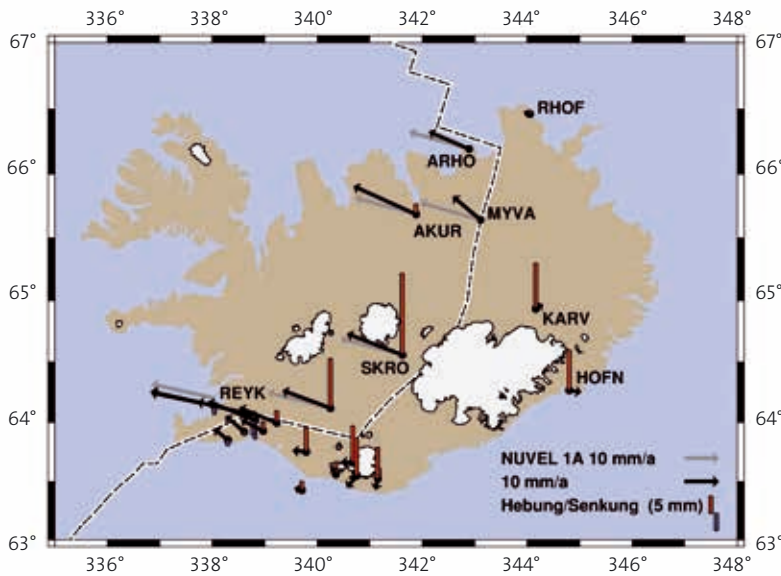


Abb. 5: Horizontale und vertikale jährliche Bewegungsraten in Island. Zumeist folgen die horizontalen Deformationen dem Modell der Plattentektonik. Signifikante Hebungen von bis zu 25 Millimetern pro Jahr (z. B. an der Station SKRO) sind gerade im Bereich der Gletscher sichtbar.

Am Mýrdalsjökull ist die Höhenänderung durch vulkanische Aktivität erklärbar. Im zentralen Teil Islands und am Vatnajökull nimmt man, unterstützt durch geophysikalische Modellrechnungen, derzeit an, dass durch das Abschmelzen der Gletscher eine Entlastung der Erdkruste stattfindet: Das Abschmelzen des Eises leitet eine isostatische Ausgleichsbewegung ein, die weite Teile zwischen den Gletschern in Island erfasst und zu Hebungen führt.

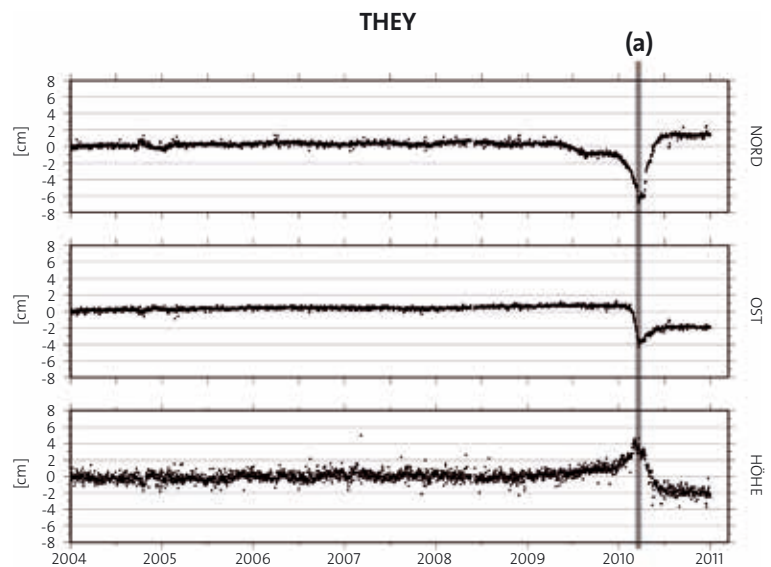
Durch GPS-Permanentstationen werden in aller Regel langsam ablaufende, kontinuierliche Prozesse abgeleitet. Man erhält für die jeweilige analysierte Station eine Zeitreihe mit den täglichen Koordinatenänderungen und leitet daraus eine lineare Geschwindigkeit für die horizontalen und vertikalen Bewegungen ab. Dabei können die horizontalen Komponenten für jeden Tag mit einer Genauigkeit von etwa 2 bis 4 Millimetern und die Höhe mit etwa 5 bis 8 Millimetern bestimmt werden. In Abbildung 6 ist die Zeitreihe der Station Thorvaldseyri (THEY) zwischen 2004 und 2011 dargestellt, die auf der Südseite und in einer Entfernung von etwa zehn Kilometern vom Gipfel des Vulkans Eyjafjallajökull eingerichtet wurde. Zunächst zeigt die Zeitreihe einen linearen Verlauf bis Anfang 2009. Danach treten deutliche Deformationen von

Abb. 6: Aus GPS-Beobachtungen abgeleitete Positionsänderungen der Station Thorvaldseyri (THEY). Mitte 2009 treten erste Positionsänderung als Folge der unterirdischen Aktivität des Vulkans Eyjafjallajökull auf. Bis zum Ausbruch im Frühjahr 2010 nehmen die Änderungen stark zu und klingen erst im Sommer ab.

bis zu 6 Zentimetern in den horizontalen und vertikalen Komponenten auf, die als Vorläufer der anstehenden Eruption gewertet werden können. Die Richtung der Bewegungen kehrt sich erst nach dem Ausbruch des Vulkans im April 2010 um. Nach dem Ende der Eruption nehmen die täglichen Bewegungen ihren üblichen linearen Verlauf an. Obwohl die aufgezeichneten Deformationen nur wenige Zentimeter betragen, konnten sie doch eindeutig der vulkanischen Aktivität des Vulkans zugeordnet werden. Dies ist ein typisches Beispiel für einen episodischen Prozess, der auch als Indikator für ein Frühwarnsystem genutzt werden kann. Im Zusammenspiel mit anderen Sensoren, z. B. Seismometern, können damit vulkanische Prozesse zuverlässiger erfasst und dokumentiert werden.

Ausblick

Geodätische Verfahren der Satellitengeodäsie zur Positionsbestimmung sind aufgrund ihrer hohen Präzision heute ein geeignetes Werkzeug, um geodynamische Prozesse zu erfassen. Während die Geodäsie in den vergangenen Jahrzehnten maßgeblich an der Verfeinerung der Messtechnik gearbeitet hat, steht heute immer mehr auch die Interpretation der Prozesse im System Erde im Vordergrund. Im Zusammenspiel mit der geophysikalischen Modellierung können Einflussfaktoren dieser Prozesse besser abgeschätzt und eingegrenzt werden. Dafür ist Island ein idealer Ort, da hier eine Vielzahl geodynamischer Prozesse gleichzeitig abläuft und sich viele Fragestellungen ergeben, die in der Geoforschung noch zu beantworten sind. Auch in glaziologischer Hinsicht ist Island äußerst interessant, daher beteiligt sich die Kommission in den kommenden Jahren auch an glaziologischen Arbeiten an den Gletschern Mýrdalsjökull und Vatnajökull.



Überblick

Geodätische Erdsystemforschung

Neue Herausforderungen durch den globalen Wandel:

Die Geodäsie ist eine moderne Wissenschaft zur Beobachtung und Analyse des Systems Erde. Durch ihre Ergebnisse können wir Prozesse und Veränderungen im komplexen System unseres Planeten besser verstehen.

VON FLORIAN SEITZ

IM JAHR 2012 feierte das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI) in München den 60. Jahrestag seiner Gründung. Das Institut wurde 1952 nach einem Beschluss der Deutschen Geodätischen Kommission (DGK) bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften eingerichtet. Heute ist das DGFI eine selbständige Forschungseinrichtung und national wie international vielseitig vernetzt. In den vergangenen sechs Jahrzehnten hat das Institut bemerkenswerte Ergebnisse in der geodätischen Grundlagenforschung erzielt, und sein Name ist heute in der geowissenschaftlichen Fachgemeinschaft weltbekannt.

Erstes Weltnetz der Satellittriangulation

Das DGFI war am ersten Weltnetz der Satellittriangulation mit Stationen in Europa, Afrika und Australien beteiligt und hatte großen Anteil an der Entwicklung dynamischer Methoden der Satellitengeodäsie zur präzisen Bahnbestimmung, Punktpositionierung und Schwerefeldmodellierung. Ein Schwerpunkt der Arbeiten des DGFI ist seit jeher die Realisierung von globalen und regionalen terrestrischen Referenzsystemen für Lage und Höhe. Mit dem Aufkommen immer neuer technischer Möglichkeiten der Erdbeobachtung – insbesondere durch Satelliten – und des wissenschaftlichen Rechnens entwickelte sich die Geodäsie während der letzten Jahrzehnte zu einer wichtigen Disziplin für die Erforschung des Systems Erde.

Die Erde: ein komplexes System, in das der Mensch aktiv eingreift.

ABB. A. BALAZH/FOTOLIA.DE

Herausforderung globaler Wandel

In Zusammenhang mit dem globalen Wandel stehen die Geowissenschaften vor neuen Herausforderungen. Großräumige Veränderungsprozesse im Erdsystem haben zunehmend große Auswirkungen auf Umwelt und Lebensbedingungen, und katastrophale Folgen von Naturkatastrophen häufen sich. Die Erforschung von Vorgängen und Wechselwirkungen im System Erde gewinnt immer mehr an Bedeutung. Eine Grundvoraussetzung dafür, die Prozesse noch besser zu verstehen, sind verlässliche Beobachtungsdaten von Abläufen und Veränderungen auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen.

Über hochgenaue Beobachtungen mit terrestrischen, flugzeug- und satellitengetragenen gravimetrischen und geometrischen Messinstrumenten erfasst die Geodäsie das Schwerfeld, die Oberflächegeometrie und die Rotation der Erde einschließlich ihrer Orientierung im Weltraum. Daneben lassen sich aus den Messsignalen weitere Parameter ableiten, die Zustände der Atmosphäre und des Ozeans beschreiben (z. B. Elektronendichte in der Ionosphäre, Wasserdampfgehalt der Troposphäre, Wellenhöhe). Die konsequente technologische Entwicklung der Beobachtungsverfahren sowie die Auswertung, Aufbereitung und Nutzbarmachung der heterogenen Daten sind traditionelle Aufgaben der Geodäsie. Seit einigen Jahren wird dieses Aufgabenspektrum ergänzt durch die physikalische Interpretation der Beobachtungen. Geodynamische Prozesse und globale Umweltveränderungen bilden sich in zeitlichen Veränderungen geodätischer Parameter

ab. Daher liefert die Analyse der Zeitreihen, die aus der Auswertung und Kombination geodätischer Beobachtungsverfahren gewonnen werden, wichtige Informationen und Beiträge zur Erforschung des Systems Erde. Durch die Nutzung von Satellitenbeobachtungsverfahren und eine lange Beobachtungshistorie stellt die Geodäsie eine hervorragende globale Datenbasis für die Feststellung von Langzeitveränderungen bereit.

Heute gehört das DGFI auf mehreren Forschungsgebieten zu den führenden internationalen Forschungseinrichtungen. Hierzu zählen insbesondere die Realisierung globaler Referenzsysteme, die Beobachtung von Meeresspiegeländerungen über Satellitenaltimetrie und die Schwerfeldbestimmung. Seit dem Jahr 2010 ist das Institut Kooperationspartner im Centrum für Geodätische Erdsystemforschung (CGE). Im CGE arbeitet das DGFI mit der TU München (Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie) und der Abteilung Erdmessung der Kommission für Erdmessung und Glaziologie der Akademie im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprogramms zusammen. Ziel ist es, eine konsistente, hochgenaue und langzeitstabile geodätische Datenbasis für die Erforschung des Systems Erde bereitzustellen. Hierzu gehören insbesondere statische und zeitvariable Parameter einschließlich Genauigkeitsangaben der geometrischen Figur, des Schwerfelds und der Rotation der Erde sowie ein einheitliches, globales und langzeitstabiles Bezugssystem als fundamentales Rückgrat für eine konsistente Referenzierung aller Parameter. Nach den Vorgaben der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) wird für das globale Referenzsystem eine Genauigkeit von 1 mm in der Position und 0,1 mm für Bewegungen pro Jahr angestrebt. Diese Genauigkeit ist notwendig, um teilweise sehr kleine Veränderungen (z. B. die Veränderung des Meeresspiegels mit wenigen mm pro Jahr) verlässlich feststellen und interpretieren zu können. Am DGFI wird eine von weltweit nur zwei Realisierungen des Internationalen Terrestrischen Referenzsystems (ITRS) berechnet. Dazu lesen Sie mehr auf S. 28–31 in dieser Ausgabe. Der zweite Artikel des DGFI auf S. 23–27 stellt Arbeiten des Instituts zur Schwerfeldbestimmung im Rahmen der ESA-Mission GOCE vor. ■

WWW

Informationen zu den Forschungsaktivitäten des DGFI finden Sie unter www.dgfi.badw.de.

DER AUTOR

*Prof. Dr.-Ing. Florian Seitz,
Inhaber des Lehrstuhls für
Geodätische Geodynamik an
der TU München, leitet seit
2012 das Deutsche Geodätische
Forschungsinstitut (DGFI) in
München.*

Das Schwerefeld der Erde

Le monde est bleu comme une pomme de terre

Blau wie eine Orange und rund wie eine Kartoffel: aktuelle Forschungen zur Figur der Erde.

VON JOHANNES BOUMAN, DENISE DETTMERING, MARTIN FUCHS, VERENA LIEB, MICHAEL SCHMIDT UND FLORIAN SEITZ



DAS SCHWEREFELD DER Erde wird hauptsächlich durch die Anziehungskraft der Erdmassen verursacht: diese sind jedoch auf dem Globus nicht gleich verteilt. Daher ist die Erde keine Kugel, sondern lässt sich am besten als sog. Geoid darstellen. Dieses physikalische Modell der Erdfigur fällt geometrisch in etwa mit dem mittleren Meeresspiegel der Weltmeere zusammen. Grob gesprochen gleicht das Geoid einem zweiachsigen Ellipsoid, dessen kleinere Halbachse (in Richtung der Rotationsachse der Erde) um etwa 21 km kleiner ist als die größere Halbachse, die

in der Äquatorebene liegt. Wegen dieser Erdabplattung ist die Erdanziehungskraft an den Polen stärker als am Äquator. Da sich aber die unregelmäßige Massenverteilung des Erdkörpers (z. B. Gebirgsketten oder Tiefseegräben) erkennbar im Schwerefeld der Erde widerspiegelt, weicht das Geoid von einem regelmäßigen Ellipsoid mit abgeflachten Polen ab. Diese Abweichungen werden als Geoidhöhe bezeichnet und betragen

Abb. 1: Seit 2009 umrundet der Satellit GOCE die Erde, um die mittleren Strukturen des Erdschwerefeldes genauer als je zuvor zu messen.

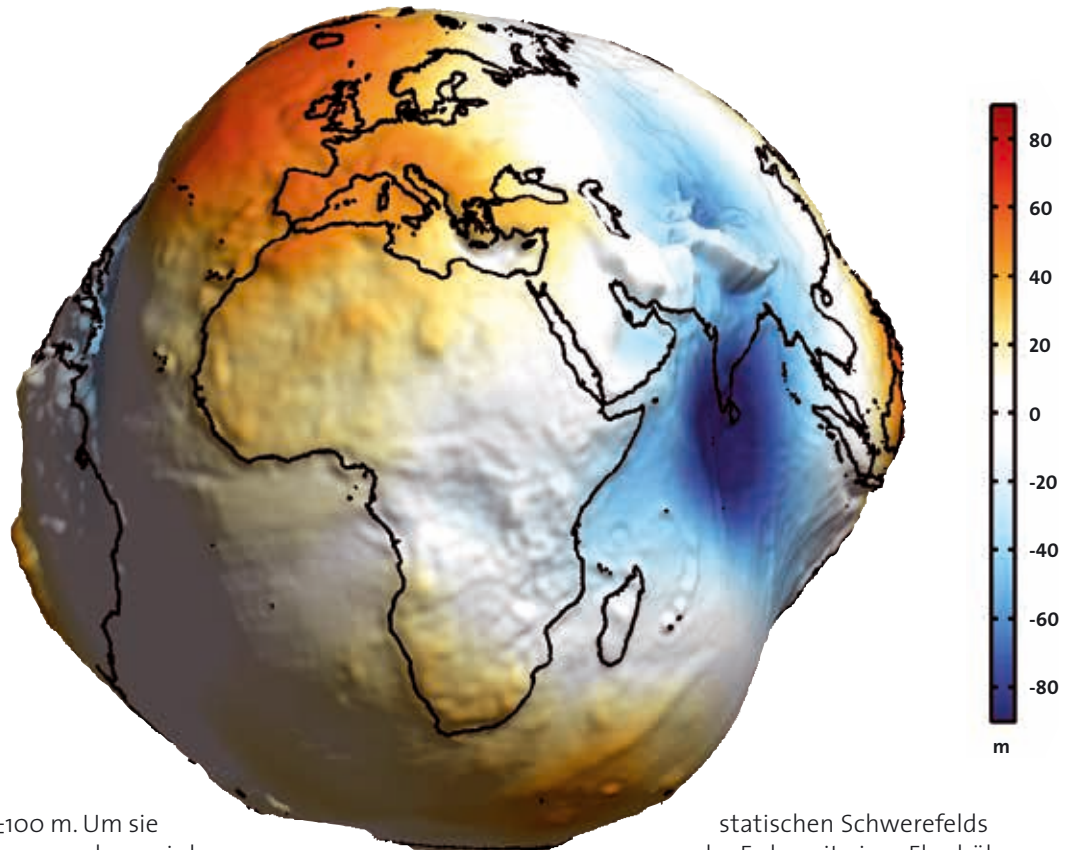


Abb. 2: Geoidhöhen (in Meter) über einem Näherungsellipsoid.

bis zu ± 100 m. Um sie sichtbar zu machen, wird üblicherweise eine stark überhöhte Darstellung genutzt (Abb. 2). Paul Éluard beschrieb sehr poetisch: „Die Erde ist blau wie eine Orange“ (L'Amour, la poésie, 1929). Heute wissen wir – sie ist auch rund wie eine Kartoffel! Das Schwerfeld ist jedoch nicht statisch, sondern verändert sich durch dynamische Prozesse im Erdsystem. So werden lokale Massenvariationen durch Änderungen in der Atmosphäre, im globalen Wasserkreislauf oder der festen Erde direkt im Erdschwerfeld abgebildet und somit auch quantitativ messbar. Die Stärke des Gravitationsfeldes der Erde nimmt mit zunehmender Entfernung von der Erde ab. Daher lassen sich mit Schwerfeld-Satellitenmissionen je nach gewählter Flughöhe nur die groben bis mittleren Strukturen des Gravitationsfeldes beobachten.

Die Satellitenmissionen GRACE und GOCE

Die Satellitenmissionen GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment, NASA/DLR) und GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer, ESA) vermessen seit Jahren das Schwerfeld der gesamten Erde. Die Zielsetzung der beiden Missionen ist jedoch unterschiedlich: Während GRACE seit mehr als zehn Jahren erfolgreich die Veränderungen des Gravitationsfeldes über die Zeit hinweg beobachtet, ermöglicht GOCE (Abb. 1) seit 2009 eine hochgenaue und detaillierte Bestimmung des

statischen Schwerfeldes der Erde; mit einer Flughöhe von 235 km ist GOCE der am niedrigst fliegende Erdbeobachtungssatellit. Eine hochpräzise Bestimmung der Satellitenbahn erzielt man mit dem Global Positioning System (GPS). Aus der Analyse der Flugbahn lassen sich großräumige Strukturen des Schwerfeldes erkennen. Das Herzstück der Mission ist jedoch ein Gradiometer, das sechs unabhängige Schweregradienten misst (Abb. 3), aus denen sich feinere Strukturen des Erdschwerfeldes bestimmen lassen. Das Ziel der GOCE-Mission ist eine räumliche Auflösung des Erdschwerfeldes bis ca. 100 km bei einer Genauigkeit von 1 mGal ($= 10^{-5} \text{ m/s}^2$), was etwa einem Millionstel der Schwerebeschleunigung auf der Erdoberfläche entspricht.

Globale Schwerfeldmodellierung

Das globale Schwerfeld der Erde wird üblicherweise mathematisch in Form von sog. Kugelfunktionen dargestellt. Über viele Jahre war das Earth Gravity Model (EGM) 2008 mit einer räumlichen Auflösung von etwa 10 km das genaueste Modell. EGM2008 basiert auf einer Kombination von GRACE, terrestrischen Schweredaten und Satellitenaltimetrie. Insbesondere durch GOCE wurde jedoch für mittlere räumliche Auflösungen eine deutliche Verbesserung erzielt. In Regionen, in denen nur wenige terrestrische Schwerfeldmessungen vorhanden sind (z. B. in großen Teilen Afrikas, Südamerikas und Asiens), können große Abweichungen zwischen EGM2008 und den GOCE-Messungen auftreten. Diese weisen

auf Modellfehler in EGM2008 hin. In Europa und Nordamerika sind die Unterschiede zwar kleiner, aber auch hier zeigt sich eine deutliche Verbesserung durch die GOCE-Mission.

Regionale Schwerefeldanwendungen

Beobachtungsdaten der Satellitenmission GOCE eignen sich sehr gut zur Modellierung globaler Schwerefelder, weil sie die gesamte Erde abdecken. Allerdings ist die räumliche Auflösung an der Erdoberfläche durch die Flughöhe der Satelliten begrenzt. Erheblich bessere Auflösungen kann man mit lokalen Messverfahren (beispielsweise terrestrischen Schweremessungen oder Fluggravimetrie) erreichen, deren bodennahe Messungen deutlich kleinere räumliche Abstände aufweisen. Informationen über das Schwerefeld über den Ozeanen lassen sich aus Messungen der Satellitenaltimetrie gewinnen. Die Daten all dieser Verfahren liegen allerdings nicht global, sondern immer nur für bestimmte Regionen vor und weisen zusätzlich unterschiedliche Genauigkeiten auf. Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über geeignete Beobachtungsverfahren sowie deren räumliche Auflösung. Eine globale Auswertung mit Kugelfunktionen ist daher ungeeignet. Am

Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut (DGFI) werden regionale Ansätze erarbeitet, die auf Reihenentwicklungen in lokalisierenden Basisfunktionen beruhen. Die optimierte Kombination heterogener Datentypen, um daraus den maximalen Informationsgehalt zu erzielen, ist ein Forschungsschwerpunkt am DGFI. In der Kombination werden die Daten der verschiedenen Verfahren statistisch gewichtet und gezielt für bestimmte Gebiete kombiniert.

Marine Schwerefelder und Topographie des Meeresbodens

Das Erdschwerefeld der Ozeane lässt sich mit großer Genauigkeit und hoher räumlicher Auflösung aus Messungen der Satellitenaltimetrie bestimmen (Abb. 4). Bei diesem Verfahren wird der Abstand zwischen Satellit und Meeresoberfläche aus der Laufzeit von Radarimpulsen gemessen. Wenn man die Satellitenposition kennt, kann man daraus mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern die Höhe des Meeresspiegels bestimmen. Durch die Kombination verschiedener Altimetriemissionen mit unterschiedlichen Eigenschaften lässt sich eine gleichmäßige räumliche Auflösung von etwa 5 km erreichen.

DIE AUTOREN

Dr. Johannes Bouman, Dr. Denise Dettmering, Martin Fuchs, Verena Lieb und Prof. Dr. Michael Schmidt sind wissenschaftliche Mitarbeiter des Deutschen Geodätischen Forschungsinstituts (DGFI) in München.

Prof. Dr.-Ing. Florian Seitz, Inhaber des Lehrstuhls für Geodätische Geodynamik an der TU München, leitet das Institut seit 2012.

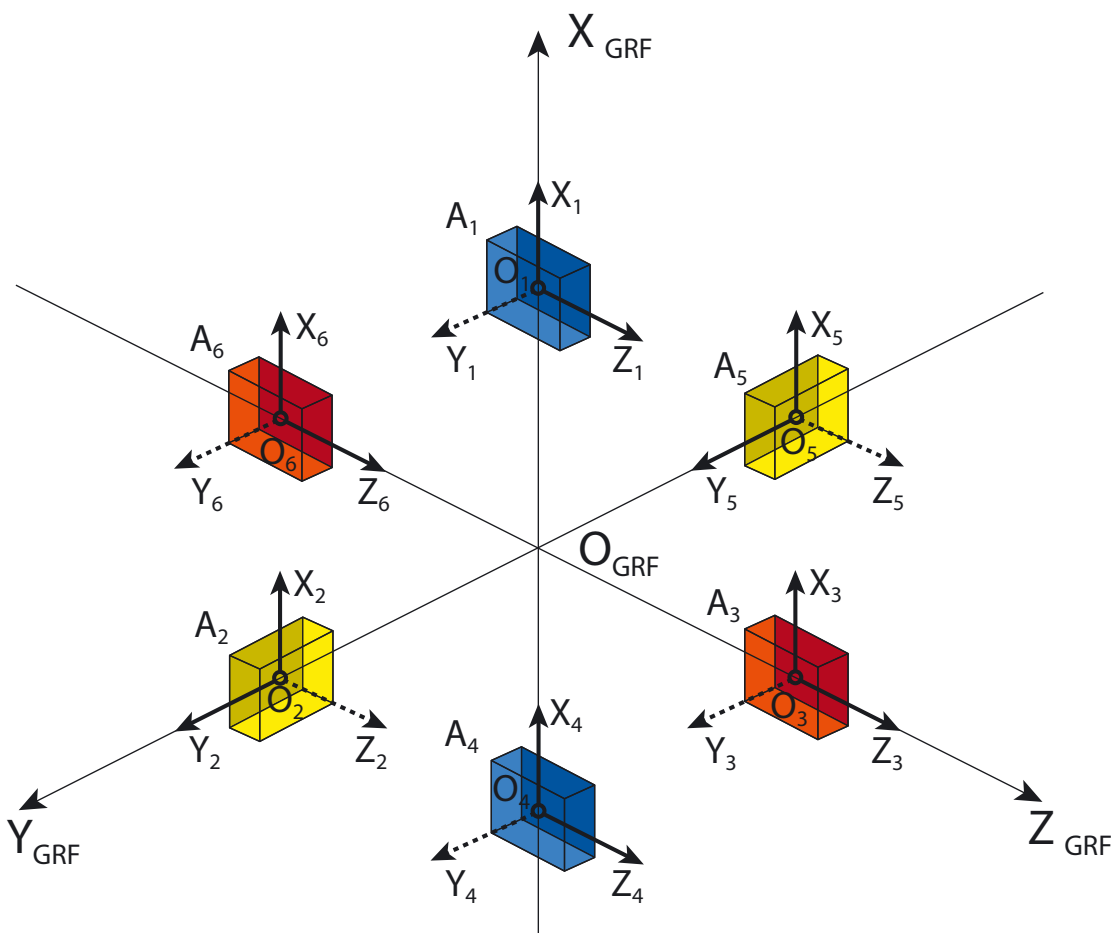


Abb. 3: Gradiometerprinzip. Die paarweisen Differenzen zwischen den Beschleunigungsmessern liefern die Schweregradienten.

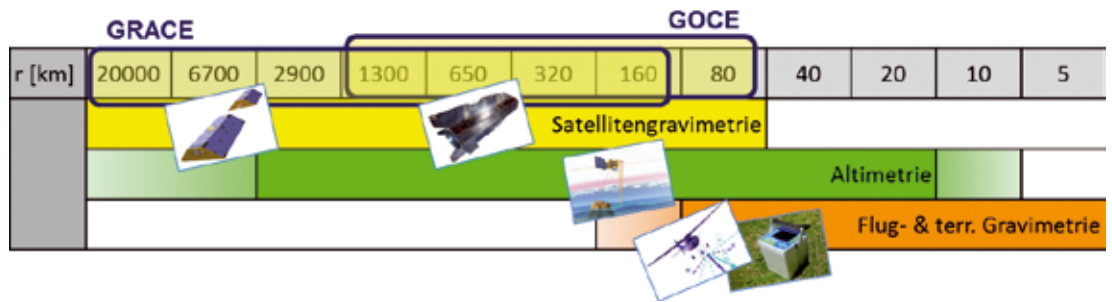
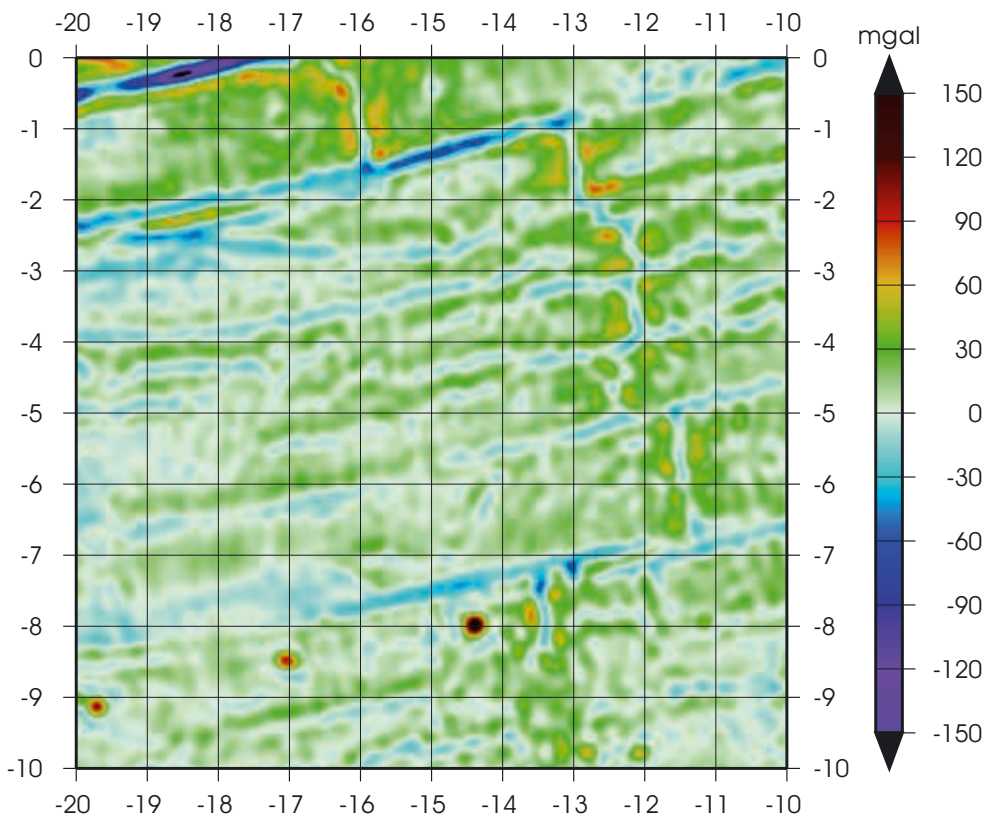


Abb. 4: Gravimetrische Beobachtungsverfahren liefern an der Erdoberfläche unterschiedliche räumliche Auflösungen r .

Die Ableitung von Schwereinformation aus Altimetermessungen beruht auf der Annahme, dass die Meeresoberfläche in guter Näherung eine Äquipotentialfläche des Schwerfelds (das Geoid) darstellt und somit aus deren Abtastung eine direkte Verbindung zum Gravitationspotential hergestellt werden kann. Hydrodynamische Prozesse wie z. B. der Golfstrom rufen allerdings Abweichungen zwischen Meeresspiegel und Geoid hervor, die bis zu 2 m betragen können (sog. dynamische Ozeantopographie). Diese Abweichungen müssen in der Schwerfeldberechnung aus Altimetermessungen als Korrekturgröße berücksichtigt werden. Die hochauflösenden regionalen Schwerfeldmodelle, die

Abb. 5: Schwereanomalien aus einem regionalen Schwerfeldmodell des DGFI, basierend auf Daten der Altimetermissionen ERS-1 und CryoSat sowie GOCE-Messungen.



man auf diese Weise erhält, bilden im Bereich der Ozeane deutlich erkennbare submarine Massenstrukturen des Erdkörpers ab. Vor allem zeigt sich die Topographie des Meeresbodens. In Abbildung 5 ist ein Gebiet um die Insel Ascension dargestellt (roter Punkt bei -8° südlicher Breite und $-14,5^\circ$ westlicher Länge), das sich direkt über dem Mittelatlantischen Rücken befindet. Die beiden weiter westlich gelegenen „Erhebungen“ sind unterseeische Berge, die nicht über die Meeresoberfläche herausragen. Die linienhaften blauen Strukturen stellen Gräben dar und sind in diesem Fall die Strukturen des Mittelatlantischen Rückens, der im Untersuchungsgebiet von Nordwest nach Südost verläuft.

2011: Tōhoku-Erdbeben in Japan

Das DGFI beschäftigt sich im Rahmen seiner Arbeiten zur geodätischen Erdsystemforschung intensiv damit, durch die Kombination von GRACE- und GOCE-Beobachtungen die räumliche Auflösung von Veränderungen des Erdschwerfeldes zu verbessern. Solche Veränderungen ergeben sich beispielsweise durch starke Erdbeben, die sich meist auf lokale Strukturen der Erdkruste auswirken und sich deshalb auf kleinen räumlichen Skalen des Erdschwerfeldes abbilden. Das Erdbeben von Tōhoku, das am 11. März 2011 einen zentralen Teil Japans um etwa 4,3 m horizontal versetzte und vertikal um 66 cm absinken ließ, war mit einer Stärke von 9,0 auf der Moment-Magnitude eines der stärksten Erdbeben der neuzeitlichen Aufzeichnungen. Die während des Erdbebens freigesetzte Energie, die über Jahrhunderte aufgebaut worden war, führte zu einer Deformation der Platten-

ABB.: DGFI

struktur tief im Erdinneren. Beobachtungen von Veränderungen des Erdschwerefeldes, die durch Erdbeben verursacht werden, ermöglichen Rückschlüsse auf Deformationsprozesse im Erdinneren. Diese Erkenntnisse tragen substantiell dazu bei, die Prozesse der Plattenbewegung besser zu verstehen und entsprechende Modelle zu verbessern. Abbildung 6 zeigt die mit dem Tōhoku-Erdbeben verbundene Änderung des Erdschwerefeldes.

erlauben es, den Eismassenverlust exakter zu bestimmen. Da GOCE über eine hohe räumliche Auflösung verfügt, ist es möglich, die räumlichen Strukturen detailliert darzustellen und erstmals auch die Eismassenveränderung zweier benachbarter Gletscher in einer regionalen Auswertung zu bestimmen.

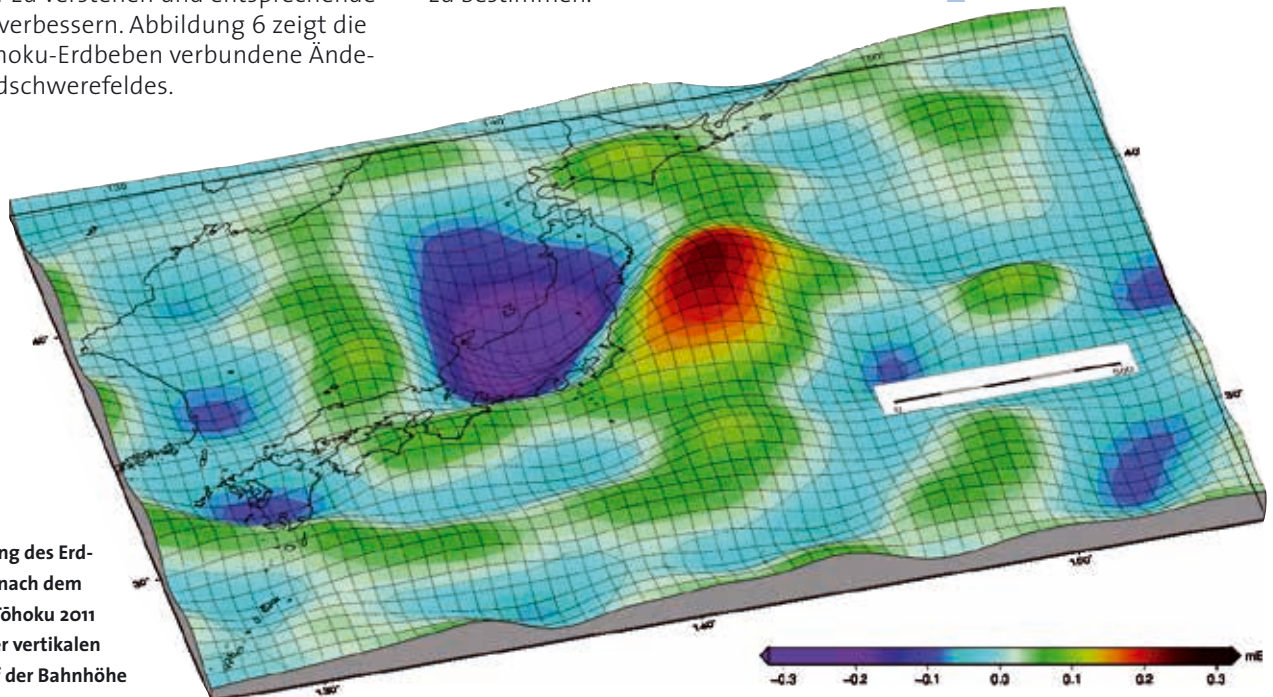


Abb. 6: Änderung des Erdschwerefeldes nach dem Erdbeben von Tōhoku 2011 als Funktion der vertikalen Gradienten auf der Bahnhöhe von GOCE (1 mE = 10⁻⁹ s⁻²).

Eisschmelze in der Antarktis

Auch Abschmelzprozesse in Arktis und Antarktis, die durch den Klimawandel verursacht werden, lassen sich direkt in zeitlichen Variationen des Erdschwerefeldes erkennen. Große Eismassen werden von den Gletscherzungen Grönlands und der Antarktis ins Meer geleitet und tragen zum globalen Meeresspiegelanstieg bei. Die Massenverlagerungen spiegeln sich in der Veränderung des Erdschwerefeldes in Form eines langzeitlichen regionalen Trends wider. Aus Beobachtungsdaten von GRACE und GOCE kann der Massenverlust der Gletscher ermittelt werden. Zwei Gletschergebiete der West-Antarktis (Pine-Island und Thwaites-Gletscher) haben große Eismassen verloren, wobei sich die Fließgeschwindigkeit der Gletscher über die letzten Jahre signifikant erhöht hat (Abb. 7). Kombinierte Beobachtungsdaten von GRACE und GOCE

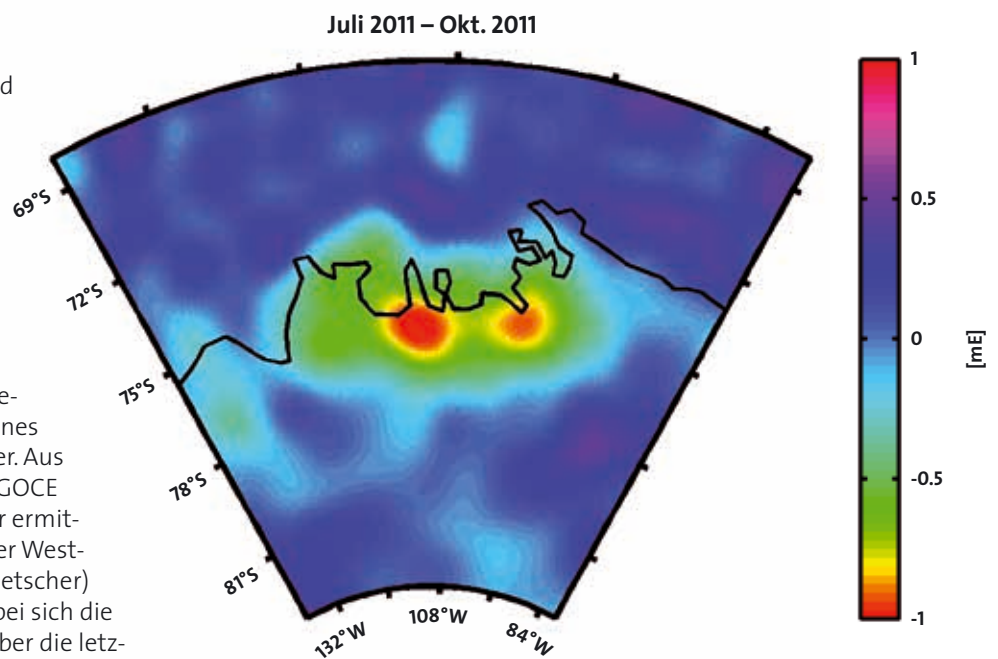


Abb. 7: Westantarktis – Änderung des Erdschwerefeldes durch Eisschmelze in den vertikalen Gradienten relativ zur Referenzepoche 2008.0 auf der Bahnhöhe von GOCE.

Die Gestalt der Erde

Hochgenaue Referenzsysteme sind fundamental für viele Bereiche des täglichen Lebens. Beispielsweise bilden sie die Voraussetzung für die Nutzung von Navigationssystemen. Auch zahlreiche Aussagen zum globalen Wandel setzen ein stabiles Referenzsystem voraus.

VON DETLEF ANGERMANN, MANUELA SEITZ, MATHIS BLOSSFELD,
LAURA SÁNCHEZ UND FLORIAN SEITZ

GEODÄTISCHE Referenzsysteme und deren Realisierungen, die als Referenzrahmen bezeichnet werden, bilden die Grundlage für die Beschreibung der Gestalt der Erde sowie von Vorgängen auf der Erdoberfläche, im erdnahen Raum und im Erdinnern. Sie sind damit wesentlich für nahezu alle Arbeiten in der geodätischen Positionierung, der Navigation, für die Referenzierung von Geoinformationsdaten und für wissenschaftliche Untersuchungen des Systems Erde. Dazu gehören beispielsweise die Bestimmung der Bewe-

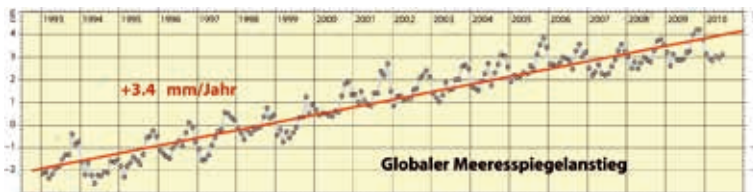


Abb. 1: Meeresspiegelanstieg aus Daten der Satellitenaltimetrie von 1993 bis 2010.

gung der Lithosphärenplatten, der Variation des Meeresspiegels, periodischer, episodischer und säkularer Bewegungen der Erdoberfläche sowie von Veränderungen der Erdrotation und der Orientierung der Erde im Weltraum.

Geodätische Referenzsysteme werden definiert durch eine Auswahl von Konstanten, Modellen und Parametern, die zur Festlegung geodätischer Größen (z. B. Positionskordinaten und deren zeitliche Veränderungen, also Geschwindigkeiten) erforderlich sind. Vereinbarte Konstanten sind u. a. die Lichtgeschwindigkeit oder die geozentrische Gravitationskonstante GM . Als geometrisches Modell für die Beschreibung der Bewegung von Körpern (Punkten) auf der Erde wird ein dreidimensionales Koordinatensystem verwendet. Dieses wird durch die Festlegung eines Koordinatenursprungs (im Massenzentrum der Erde), dreier orthogonaler Basisvektoren und einer Längeneinheit beschrieben. Das so definierte Referenzsystem wird durch einen Referenzrahmen festgelegt, also durch eine Anzahl

auf der Erdoberfläche vermarkter Vermessungspunkte, deren Positionen und Geschwindigkeiten man mittels geodätischer Raumberechnungsverfahren mit hoher Präzision bestimmen kann.

Die hohen Genauigkeiten der Raumberechnungsverfahren im Bereich von wenigen Millimetern (global) erlauben es heute, auch Folgen des Globalen Wandels wie z. B. den Meeresspiegelanstieg quantitativ zu erfassen. Seit nahezu 20 Jahren liefert die Satellitenaltimetrie wertvolle Beobachtungen für die Bestimmung des gegenwärtigen Meeresspiegelanstiegs, der nach Berechnungen am Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut (DGFI) heute gut 3 mm pro Jahr beträgt (Abb. 1). Dieser Wert steht in Einklang mit anderen wissenschaftlichen Studien und Ergebnissen, etwa dem bekannten Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von 2007. Dem IPCC-Bericht ist auch zu entnehmen, dass der gegenwärtige Anstieg etwa doppelt so groß ist wie das Langzeitmittel für das 20. Jahrhundert von 1,7 mm pro Jahr, was auf eine Beschleunigung dieses Phänomens hindeutet. Ein hochgenaues und langzeitstabiles Referenzsystem ist hier von fundamentaler Bedeutung, um verlässliche Aussagen treffen zu können.

In der Geodäsie sind zwei Arten von Referenzsystemen gebräuchlich: raumfeste Systeme, mit denen man Vorgänge im Weltraum (z. B. die Navi-





schen Produkten) international hervorragend koordinieren. Auch das DGFI ist über diese Dienste intensiv vernetzt. Zahlreiche seiner Mitarbeiter gestalten zudem an maßgeblichen Positionen innerhalb der Dienste die Zielrichtung künftiger internationaler Forschungsaktivitäten mit. Abbildung 2 zeigt das Geodätische Observatorium Wettzell im Bayerischen Wald mit den Raumb Beobachtungsverfahren VLBI, SLR und GNSS. Die gegenwärtige weltweite Stationsverteilung der vier Beobachtungsverfahren ist in Abbildung 3 dargestellt.

Realisierung des terrestrischen Referenzsystems

Das terrestrische Referenzsystem wird durch den Internationalen Terrestrischen Referenzrahmen (engl.: International Terrestrial Reference Frame, ITRF) realisiert,

der einen Satz von Positionen und Geschwindigkeiten der Beobachtungsstationen umfasst. Den ITRF berechnet man, indem man Stationskoordinaten (Positionen und Geschwindigkeiten) kombiniert, die aus den Beobachtungen der geodätischen Raumb Beobachtungsverfahren VLBI, SLR, GNSS und DORIS abgeleitet werden. Bei der Kombination werden die individuellen Stärken der verschiedenen Verfahren optimal ausgeschöpft. Die Beobachtungen der verschiedenen Verfahren beziehen sich in der Regel nicht auf gemeinsame Referenzpunkte. Für die Kombination werden daher terrestrisch oder mit GPS gemessene Differenzvektoren (engl.: local ties) zwischen benachbarten Instrumenten verschiedener Raumverfahren benötigt. Realisierungen des terrestrischen Referenzsystems werden vom Internationalen Erdrotations- und Referenzsystemdienst (engl.: International Earth Rotation and Reference Systems Service, IERS) seit 1988 in Abständen von einem bis zu fünf Jahren veröffentlicht.

Die aktuelle Realisierung: ITRF2008

Die neueste Realisierung des terrestrischen Referenzsystems, der ITRF2008, wurde 2011 vom ITRS-Produktzentrum (Institute Géographique National [IGN], Frankreich) veröffentlicht. Er wurde von zwei Kombinationszentren des IERS, dem DGFI

gation von Raumfahrzeugen) beschreibt, und erdfeste Systeme, welche zur Referenzierung von Vorgängen auf der Erdoberfläche dienen.

Geodätische Raumb Beobachtungsverfahren

Raumb Beobachtungsverfahren sind Messverfahren, die mit Hilfe extraterrestrischer Objekte (z. B. Satelliten, Mond, Quasare) die Beobachtung von Vorgängen im Erdsystem ermöglichen. Wichtige geodätische Anwendungen sind die Bestimmung von Stationspositionen auf der Erdoberfläche und deren zeitlicher Veränderung, die Bestimmung von Quasarpositionen, die Beschreibung der Rotation der Erde und ihrer Orientierung im Weltraum sowie die Bestimmung des zeitvariablen Erdschwerefeldes. Für die Realisierung von geodätischen Referenzsystemen werden heute vier Raumb Beobachtungsverfahren verwendet: Interferometrie auf sehr langen Basislinien (engl.: Very Long Baseline Interferometry, VLBI), Laserentfernungsmessungen zu Satelliten (engl.: Satellite Laser Ranging, SLR), Globale Navigationssysteme wie GPS, GLONASS oder Galileo (engl.: Global Navigation Satellite System, GNSS) und das französische Doppler-Messverfahren zu Satelliten (engl.: Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite, DORIS).

Die Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG) hat wissenschaftliche Dienste für diese Raumb Beobachtungsverfahren eingerichtet, welche die Arbeiten (Stationsbetrieb, Datenmanagement, Auswertung und Bereitstellung von geodäti-

Abb. 2: Das Geodätische Observatorium Wettzell wird gemeinsam vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und der Forschungseinrichtung Satellitengeodäsie (FESG) an der TU München betrieben. In der Aufnahme von 2011 sind die kürzlich installierten Twin-Teleskope, das 20-m-Radioteleskop sowie die Kuppeln der zwei Lasermesssysteme deutlich zu sehen.

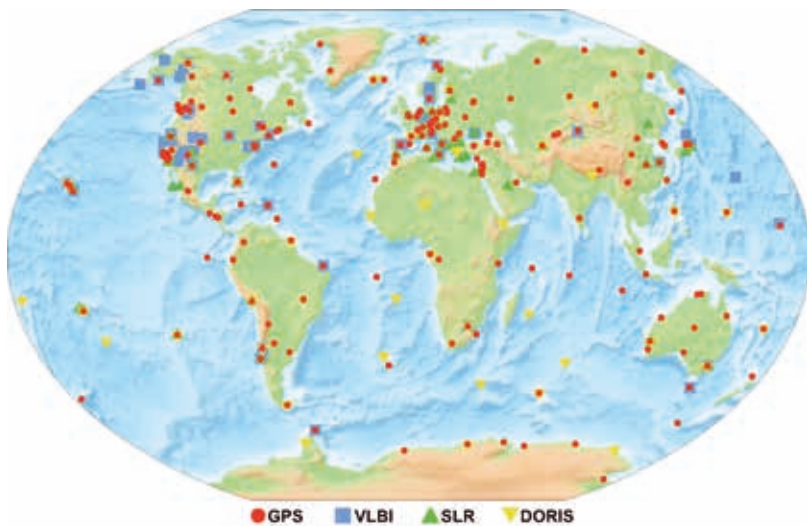


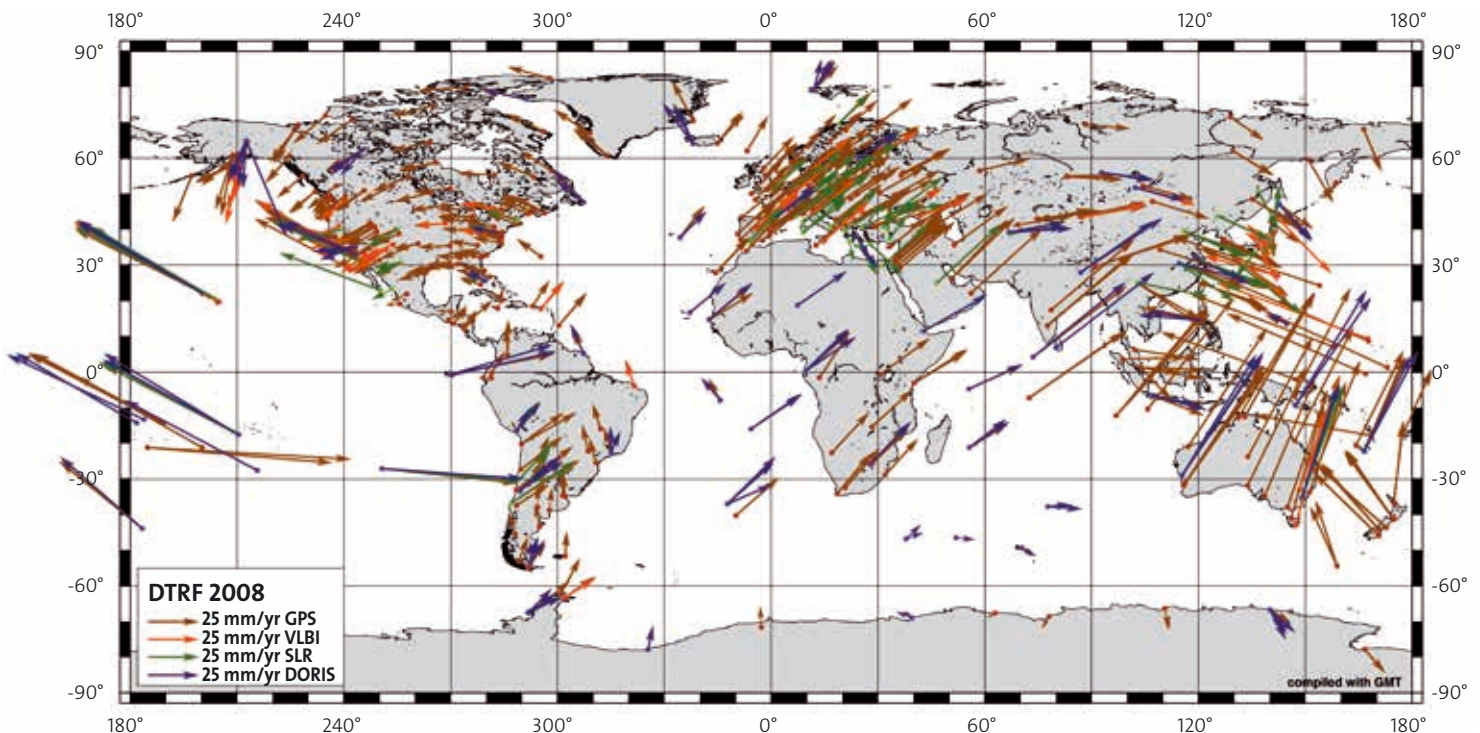
Abb. 3: Globale Beobachtungsnetze der geodätischen Raumbeobachtungsverfahren.

und dem IGN, berechnet. Die Eingangsdaten für den ITRF2008 sind Zeitreihen wöchentlicher GPS-, SLR- und DORIS-Lösungen sowie 24-stündiger VLBI-Kampagnen in Form ausgeglichener Stationskoordinaten und Erdorientierungsparameter (EOP), die von den internationalen Diensten der IAG zur Verfügung gestellt wurden. Die Daten der Raumverfahren liegen für unterschiedliche Zeitspannen von 12 bis 29 Jahren vor (Tab. 1).

Tab. 1: Eingangsdaten für den ITRF2008.

Technik	Daten	Zeitspanne
GPS	wöchentlich	1980 – 2009
VLBI	24-stündig	1983 – 2009
SLR	wöchentlich	1993 – 2009
DORIS	wöchentlich	1997 – 2009

Abb. 4: Horizontale Stationsgeschwindigkeiten der am DGFI berechneten Lösung DTRF2008.



Das DGFI und das IGN haben durch Kombination der Raumbeobachtungsdaten jeweils eine Lösung für den ITRF2008 berechnet. So ist die unentbehrliche Qualitätskontrolle der Ergebnisse gewährleistet. Ein Vergleich beider Lösungen zeigt eine mittlere Übereinstimmung der Stationspositionen von besser als 3 mm und der Geschwindigkeiten von besser als 1 mm pro Jahr. Abbildung 4 zeigt die horizontalen Geschwindigkeiten der am DGFI berechneten Lösung DTRF2008.

Verdichtung des ITRF in Lateinamerika und in der Karibik

Der ITRF wird durch regionale Referenzrahmen verdichtet, um a) den Zugang des globalen Referenzrahmens auf regionaler bzw. nationaler Ebene zu ermöglichen, b) die Grundlage für wissenschaftliche Anwendungen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung zu gewährleisten und c) die Erzeugung und Nutzung präziser georeferenzierter Daten zu unterstützen.

Das DGFI ist maßgeblich an den Arbeiten zum regionalen Referenzrahmen für Lateinamerika und die Karibik (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, SIRGAS) beteiligt. Das SIRGAS-Netz besteht gegenwärtig aus etwa 300 kontinuierlich beobachtenden GNSS-Stationen. Die Beobachtungen dieser Stationen werden wöchentlich von den SIRGAS-Analyse-

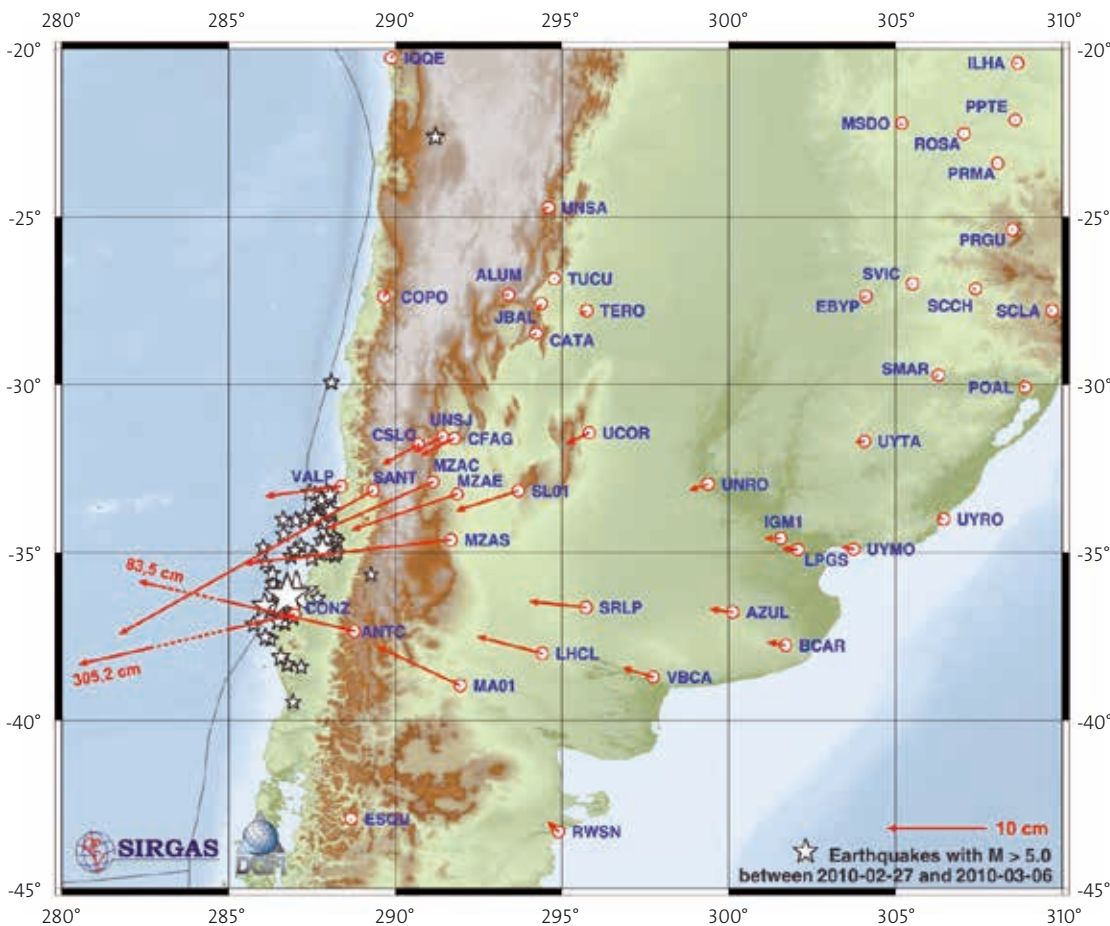


Abb. 5: Punktverschiebungen, verursacht durch das Maule-Erdbeben ($M_w=8,8$) vom 27. Februar 2010 in Chile.

zentren prozessiert, um die folgenden Produkte zu berechnen und bereitzustellen: wöchentliche Lösungen für Stationspositionen als Beitrag zu globalen GPS-Lösungen sowie für Anwendungen in Lateinamerika (z. B. GPS-Positionierung, Vermessung, Kataster, etc.) und Mehrjahreslösungen mit Stationspositionen und konstanten Geschwindigkeiten für die Bestimmung der Kinematik des Netzes. Die operationelle Infrastruktur von SIRGAS ist möglich dank der aktiven Beteiligung vieler lateinamerikanischer und karibischer Institutionen, die nicht nur die Messungen ihrer Stationen zur Verfügung stellen, sondern auch SIRGAS-Analysezentren betreiben, um die Verarbeitung der Beobachtungsdaten routinemäßig durchführen zu können.

Am 27. Februar 2010 ereignete sich in Chile in der Nähe von Concepción das Maule-Erdbeben mit einer Magnitude von $M_w=8,8$ auf der Momentenskala. Dieses Erdbeben verursachte an der chilenischen Küste Punktverschiebungen von über drei Metern, auch im Osten von Argentinien waren Veränderungen von einigen Zentimetern noch deutlich messbar (Abb. 5). Als Konsequenz ist der jüngste terrestrische Referenzrahmen ITRF2008 in weiten Teilen Südamerikas nicht mehr als Referenz nutzbar. Deshalb muss für aktuelle Positionierungsarbeiten auf die wöchentlichen SIRGAS-Lösungen zurückgegriffen werden.

Schlussbemerkungen

Dank der hervorragenden Zusammenarbeit der zahlreichen beteiligten Institutionen konnten in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte sowohl bei den geodätischen Raumberechnungsverfahren als auch bei der Entwicklung verbesserter Auswerteverfahren und Kombinationsmethoden für die Berechnung der Referenzrahmen erzielt werden. Mit den heute verfügbaren Genauigkeiten hat sich das Spektrum der Geodäsie enorm ausgeweitet, bis hin zur quantitativen Erfassung von Veränderungen im System Erde z. B. als Folgen des globalen Wandels.

Das DGFI beschäftigt sich intensiv mit der Forschung auf dem Gebiet der Referenzsysteme, um weitere Fortschritte zu erzielen. Zu nennen ist etwa die Verfeinerung der Kombinationsmethodik bei der Berechnung des terrestrischen Referenzrahmens, um z. B. nichtlineare Stationsbewegungen besser berücksichtigen zu können. Ein zentrales Thema ist die Bestimmung des raumfesten und des erdfesten Referenzrahmens in einer gemeinsamen Ausgleichung, um eine Konsistenz beider Referenzrahmen und der sie verbindenden Erdorientierungsparameter zu erreichen.

DIE AUTOREN

Dr.-Ing. Detlef Angermann, Dr.-Ing. Manuela Seitz, Mathis Bloßfeld und Laura Sánchez sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut (DGFI).

Prof. Dr.-Ing. Florian Seitz, Inhaber des Lehrstuhls für Geodätische Geodynamik an der TU München, leitet das Institut seit 2012.

Bayerisches Geoinstitut

Hochdruckforschung mit Neutronen – ein neues Fenster zum Erdinnern




Abb. 1: Alles Wasser an der Erdoberfläche stammt letztlich aus vulkanischen Gasen. Im Bild eine Eruption des Stromboli nördlich von Sizilien.

Bislang wissen wir noch wenig über das Verhalten von Wasser und Kohlenstoff im Erdinnern. Hochdruckexperimente mit Neutronen könnten hier entscheidende neue Erkenntnisse liefern, sie waren aber bisher aufgrund von technischen Schwierigkeiten nur in sehr begrenztem Umfang möglich. Das Bayerische Geoinstitut in Bayreuth baut gegenwärtig eine neuartige Apparatur an der Forschungsneutronenquelle FRM II in Garching, die Experimente mit Neutronen unter bisher nicht zugänglichen Druck- und Temperaturbedingungen ermöglichen wird. Diese Arbeiten werden, wie alle Aktivitäten des Instituts, von der Kommission für geowissenschaftliche Hochdruckforschung der Akademie wissenschaftlich begleitet.

VON HANS KEPPLER UND NICO WALTE

Die Erde – der Planet des Wassers

Die Erde ist der einzige Planet im Sonnensystem, dessen Oberfläche zu einem großen Teil von Ozeanen aus Wasser bedeckt ist. Die Existenz von flüssigem Wasser ist wahrscheinlich eine Voraussetzung für die Entstehung von Leben. Woher das Wasser auf der Erde kommt und seit wann es Ozeane gibt, ist daher eine ganz entscheidende Frage in der Erdgeschichte. Lange gab es hier zwei konkurrierende Vorstellungen: Das Wasser könnte entweder aus der Entgasung des Erdinnern stammen oder erst nach der Entstehung der Erde durch wasserreiche Objekte wie Kometen angeliefert worden sein. Durch moderne Isotopen-geochemische Untersuchungen konnte diese Frage mittlerweile mit großer Sicherheit geklärt werden: Das Verhältnis von Deuterium zu Wasserstoff auf der Erde ist grundsätzlich verschieden von dem in den meisten Kometen. Dagegen entspricht dieses Verhältnis sehr genau dem in chondritischen Meteoriten, die wahrscheinlich Überbleibsel sind von dem Material, aus dem sich die Erde gebildet hat. Das Wasser war daher wohl bereits seit der Entstehung der Erde auf unserem Planeten vorhanden und ist durch vulkanische Gase, die zum großen Teil aus Wasserdampf bestehen, an die Erdoberfläche transportiert worden (Abb. 1).

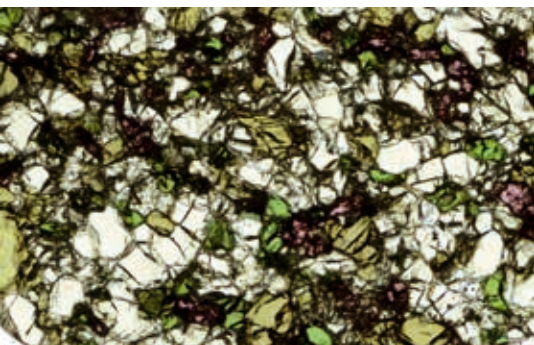


Abb. 2: Ein Bruchstück des Erdmantels von einem Vulkan in Pali-Aike, Patagonien. Die einzelnen Mineralkörner sind etwa 1 mm groß, das helle, fast farblose Mineral ist Olivin ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$).

Lange glaubte man, dass die Entgasung des Erdinnern eine Einbahnstraße sei: Wasser, das einmal an die Oberfläche gelangt ist, bleibe dort, und da der Entgasungsprozess der Erde bereits sehr lange andauert, sei das Erdinnere praktisch „trocken“. Dies scheint auf den ersten Blick auch der Fall zu sein. Explosive Vulkaneruptionen bringen häufig Bruchstücke des Erdmantels an die Erdoberfläche. Solche – oft auffallend grüne – Bruchstücke kann man auch leicht in den Basaltsteinbrüchen der Oberpfalz oder der Eifel finden (Abb. 2). Sie bestehen normalerweise aus



Abb. 3: Transport der 6-Stempel-Hochdruckpresse zur Neutronenleiterhalle Ost am Heinz Maier-Leibnitz Zentrum für Neutronenforschung in Garching.

Mineralen wie Olivin ($(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, die in ihrer chemischen Formel kein Wasser enthalten – sie sind also nominal wasserfrei. Bereits vor über 50 Jahren ist einigen Wissenschaftlern aber aufgefallen, dass chemische Analysen dieser Mantel-Mineralen oft Hinweise auf Spuren von Wasser enthalten. Lange Zeit war jedoch unklar, ob dieses Wasser nicht einfach eine oberflächliche Verunreinigung der Proben ist. Erst durch Anwendung von Infrarotspektroskopie konnte nachgewiesen werden, dass das Wasser in diesen Mineralen in Form von OH-Punktdefekten tatsächlich chemisch in der Kristallstruktur gelöst ist und eindeutig aus dem Erdmantel stammt. Die Konzentrationen sind sehr gering – typischerweise einige 100 ppm (d. h. einige 0,01 Gewichts-Prozent) von Wasser.



Abb. 4: Aufstellung der 6-Stempel-Hochdruckpresse. Der Positioniertisch von SAPHiR ist in einer Grube versenkt, so dass die Probenposition auf einer Höhe mit dem späteren Neutronenstrahl liegt.

Einige 100 ppm Wasser – das klingt nicht spektakulär. Integriert man diese Menge jedoch über das gesamte Volumen des Erdmantels, der von ca. 30 km Tiefe bis zur Kern-Mantel-Grenze in 2.900 km Tiefe reicht, so erhält man ein Wasserreservoir, das vergleichbar ist mit der Masse aller Ozeane zusammen. Der Austausch zwischen diesem tiefen Wasserreservoir und der Oberfläche hat über geologisch lange Zeiträume das Volumen der Ozeane gesteuert. Darüber beeinflusst Wasser jedoch – selbst in geringen Spuren – die Dynamik des Erdinnern. Bereits wenige Prozent Wasser reduzieren den Schmelzpunkt der Gesteine im Erdmantel um mehrere 100 °C. Viele Vulkane, etwa der Mount St. Helens, der Vesuv oder der Ätna, befinden sich daher nicht dort, wo der Mantel besonders heiß ist, sondern dort, wo ihm durch Krustenplatten, die in den Mantel zurücktauchen, Wasser zugeführt wird und dadurch das Gestein aufschmilzt. Darüber hinaus reduzieren selbst geringste Spuren von Wasser, die in der Kristallstruktur von Silikaten als OH-Defekte gelöst sind, die Festigkeit dieser Minerale um Größenordnungen. Es gibt numerische Modelle, die darauf hindeuten, dass es Plattentektonik auf der Erde nur gibt, weil der Mantel Spuren von Wasser enthält. Plattentektonik gibt es auf keinem anderen Planeten des

Sonnensystems. Die Erde ist der Wasserplanet – nicht nur wegen der Ozeane.

Wie genau Wasser im Erdmantel gespeichert wird, wie es die Struktur und die Eigenschaften von Silikatschmelzen beeinflusst und das Deformationsverhalten von Gesteinen ändert, ist bisher noch unzureichend untersucht. Ein Grund dafür ist, dass Röntgenstrahlen, die man normalerweise zu Strukturuntersuchungen verwendet, für Protonen praktisch blind sind. Neutronen wären für solche Untersuchungen sehr gut geeignet, ihre Anwendung in Hochdruckexperimenten ist aber dadurch begrenzt, dass man für Neutronen große Probenvolumina braucht, die sich mit konventionellen Hochdruckapparaturen nicht realisieren lassen.

Das neue Instrument SAPHiR am FRM II

Die Simulation der Bedingungen im tiefen Innern der Erde und anderer Planeten ist eine große Herausforderung für Untersuchungen mit Neutronen. Hierfür müssen die Proben unter einem extrem hohen Druck von 30 bis über

150 kbar (30.000 bis 150.000 Atmosphären) und hohen Temperaturen von 1.200 bis 2.000 °C beobachtet werden. Für diese Experimente wurde das Instrument SAPHiR (Six Anvil Press for High Pressure Radiography and Diffraction) gebaut. Sein Herzstück ist eine neuentwickelte Vielstempelpresse mit einem Koordinatentisch, der die exakte Ausrichtung des Instruments im Neutronenstrahl ermöglicht. Vor kurzem wurde die 70 Tonnen schwere Einheit von Positioniertisch und Presse an der FRM II-Neutronenquelle in Garching als erstes Instrument in der neuen Instrumentenhalle Ost aufgestellt und in Betrieb genommen (Abb. 3 und 4). Zur Erzeugung des Drucks pressen sechs große Stempel mit einer kombinierten Druckkraft von bis zu 2.400 Tonnen (24 MN) auf einen zentralen, würfelförmigen Probenbereich (Abb. 5). Trotz der enormen Presskräfte können die Stempel zueinander mit einer Präzision von besser als einem Mikrometer (tausendstel Millimeter) positioniert werden, was die Kontrolle der extremen Kräfte auf der Probe ermöglicht.

Der Neutronenstrahl wird durch einen Neutronenleiter, eine evakuierte Glasröhre mit einer speziellen neutronenreflektierenden Schicht, an

fähigkeit von Neutronen und die gleichzeitige Empfindlichkeit für leichte Elemente können mit dieser Methode z. B. die Verteilung von Fluiden (Wasser, CO₂) und von Schmelzen zwischen den Kristallen abgebildet und die Wechselwirkungen zwischen wässrigen Fluiden und Silikatschmelzen untersucht werden.

Das zweite Verfahren ist die Neutronenbeugung. Die Neutronen werden wegen ihres Wellencharakters in den Kristallgittern der Probe nach dem Bragg'schen Gesetz gestreut und mit speziellen Detektoren gemessen. Hierdurch werden die Kristallstrukturen bestimmt, wobei besonders die Positionen der leichten Elemente wie Wasserstoff und Kohlenstoff aufgelöst werden können. Abgesehen von der Kristallstrukturanalyse kann man mit dieser Methode auch das Fließverhalten von Mineralen im Erdinnern untersuchen.

Durch die exakte Kontrolle der Pressenstempel kann eine Probe extrem langsam und kontinuierlich um Bruchteile eines Mikrometers pro Minute verkürzt werden. Gleichzeitig wird mit unterschiedlich angeordneten Detektorbänken die elastische Veränderung im Kristallgitter gemessen. Durch die Messung kleinster Unter-

schiede parallel und senkrecht zur Verkürzungsachse wird der Spannungszustand der Kristalle bestimmt. Kombiniert mit dem Wissen über die Verformungsgeschwindigkeit der Probe erhält man ein Fließgesetz, das den Zusammenhang zwischen angelegter Spannung und der Verformungsgeschwindigkeit der Gesteine im tiefen Erdinnern beschreibt. So kann man z. B. den Einfluss einer kleinen Menge gelösten Wassers oder von beginnender Aufschmelzung auf die Festigkeit von Mantelgesteinen untersuchen, was für das Verständnis großräumiger Deformationsprozesse wie der Mantelkonvektion und der Plattentektonik notwendig ist. Die Neutronenmessungen an SAPHiR werden im Jahr 2014 starten, sobald die neue Osthalle am FRM II

mit Neutronen versorgt wird. Der Aufbau von SAPHiR und die Durchführung des Projekts werden durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert.



die Probe gebracht, bis auf wenige Millimeter Durchmesser fokussiert und durch die Stempelrücken auf die Proben geleitet. SAPHiR verwendet zwei unterschiedliche Neutronenmessverfahren. In der Radiographie wird die Probe mit Neutronen durchstrahlt, wobei ähnlich wie bei einer Röntgenaufnahme ein Abbild der inneren Struktur entsteht. Durch die hohe Durchdringungs-

Abb. 5: Geöffnete Hochdruckpresse. Die sechs Primärstempel übertragen ihre Kraft von bis zu 800 Tonnen pro Achse auf die Probenumgebung. Der eng fokussierte Neutronenstrahl wird zwischen den Stempeln auf die Probe geleitet.

DIE AUTOREN

Prof. Dr. Hans Keppler ist Professor für experimentelle Geophysik am Bayerischen Geoinstitut in Bayreuth und Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Dr. Nico Walte ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts und leitet den Aufbau von SAPHiR.

Afghanistan – zehn Jahre Aufbauarbeit

Seit 2002 engagieren sich deutsche Geowissenschaftler beim Aufbau akademischer Strukturen in Afghanistan – die Bilanz aus Sicht der Geographie fällt positiv aus.

VON ANDREAS DITTMANN

Vertreter der wichtigsten ethnischen Gruppen Afghanistans im Kabul Bazaar: Tadjiken mit Turbanen, dazwischen ein Hazara-Junge, rechts außen ein Usbeke, links außen im Hintergrund ein Paschtunen-Junge.

DER AUFBAU akademischer Strukturen in Afghanistan ist im Rahmen der deutschen Aktivitäten in den „Stabilitätspakt Afghanistan“ eingebettet. Die ersten Maßnahmen begannen bereits unmittelbar nach Niederschlagung des Taliban-Regimes im Jahre 2002. Deutschland agiert dabei nicht als Kooperationspartner für alle wissenschaftlichen Disziplinen in Afghanistan, sondern nur für einige ausgewählte Fächer, in denen entweder eine lange Tradition der Zusammenarbeit besteht oder für die sich afghanische Wissenschaftler dezidiert Deutschland als Partner gewünscht hatten. Die Gesamtkoordination der deutschen Maßnahmen verantwortet seit 2002 der Deutsche Akademische Austauschdienst (DAAD) mit Mitteln des Auswärtigen Amtes. Dazu hat der DAAD für die im Afghanistan-Aufbau engagierten Fächer jeweils Fachkoordinatoren bestimmt, die in Rücksprache mit dem DAAD die verschiedenen Aktivitäten organisieren. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Wissenschaftleraustausch, die Betreuung von Promotionsvorhaben afghanischer Kandidaten, die Ausstattung mit Lehrmaterialien und Laborbedarf, die Entsendung von Kurz- und Langzeitdozenten nach Afghanistan sowie verschiedene Maßnahmen der Nachwuchsförderung für afghanische Bachelor- und Master-Studierende. Deutschland engagiert sich derzeit in den folgenden Fächern:

- Geographie (Fachkoordination: Universität Gießen)
- Geologie (Fachkoordination: Universität Bonn)
- Wirtschaftswissenschaften (Fachkoordination: Universität Bochum)
- Mathematik und Physik (Fachkoordination: Universität Würzburg)
- IT-Wissenschaften (Fachkoordination: TU Berlin) und
- Deutsch (Fachkoordination: Universität Bochum)



Traditionsreiche Partnerschaft mit Afghanistan

Von Anfang an war die Universität Bonn in besonderer Weise in die Afghanistan-Aktivitäten des DAAD eingebunden. Ein wesentlicher Grund dafür liegt in der langen Tradition der wissenschaftlichen Partnerschaft: Bereits 1962 wurde ein erstes Kooperationsabkommen zwischen den Universitäten Kabul und Bonn geschlossen, also drei Jahre, bevor auf staatlicher Ebene zwischen dem damaligen Königreich Afghanistan und der Bundesrepublik Deutschland entsprechende Vereinbarungen getroffen wurden. An der Universität Bonn waren damals die Fächer Geographie, Geologie, Meteorologie, Biologie, Chemie und Medizin beteiligt. Leider gelang es 2002 nicht, alle früheren Fachkooperationen zu reaktivieren. Feste Kooperationspartner an der Universität Bonn, die dafür eine eigene „Kabul-Kommission“ einrichtete, blieben die Fächer Geographie und Geologie sowie anfangs auch die Biologie, während angesichts der erheblichen und sich immer weiter verschärfenden organisatorischen und logistischen Probleme die Chemie, Meteorologie und Medizin schließlich ausschieden. Eine besondere Rolle nahm die Biologie ein, deren DAAD-Fachkoordinator Clas M. Naumann vom „Zoologischen Forschungsmuseum Alexander Koenig“ in Bonn nur wenige Jahre nach Beginn des Wiederaufbauprogramms verstarb und für den als Fachkoordinator innerhalb Deutschlands sich bisher kein Nachfolger finden ließ. Zwar gibt



Die entsprechenden Koordinationsgespräche wurden daher, eingebettet in verschiedene „Summer Schools“ und „Winter Academies“, in Deutschland durchgeführt. Danach stand relativ rasch fest, dass die Hauptherausforderungen für eine Installation wissenschaftlicher Institutionen in Afghanistan in drei Bereichen bestanden: unzureichende Infrastruktur- und Lehrmittelausstattung, veraltete und überfrachtete Curricula und ein Generationsproblem im Bereich der Lehrenden, was vor allem seinen Ausdruck darin fand, dass ein tragfähiges Fundament an Lehrenden mit guter Ausbildung in den mittleren Jahrgängen fehlte. Es gab einerseits Kollegen, die zwar über eine solide geowissenschaftliche Ausbildung verfügten, z. T. sogar im Ausland studiert hatten, sich

Blick von Osten auf Kabul Anfang 2002. Im Vordergrund die wichtigste Verbindungsstraße, die Jadda Maiwand, vor dem späteren Verkehrsinfarkt.



es sowohl in der Botanik als auch in der Zoologie nach wie vor viele richtungsweisende Projektideen und Vorschläge für eine nachhaltige Zusammenarbeit einzelner engagierter Wissenschaftler, die Fachkoordination bedarf jedoch der offiziellen Verankerung an einer Universität, was bisher nicht gelungen ist. In einigen Fällen konnte aber die Fachkoordination Geographie (Universität Gießen) Projektideen aus der Biologie über den Umweg der Vegetationsgeographie (botanische Projekte) oder der Tiergeographie (biologische Projekte) realisieren.

Aus- und Weiterbildung afghanischer Geographen

Im Fach Geographie lassen sich in der akademischen Zusammenarbeit mit afghanischen Akteuren insgesamt vier Phasen unterscheiden: In der ersten Phase ging es zunächst darum, sich gegenseitig kennen zu lernen und die äußeren Rahmenbedingungen für künftige Kooperationen abzustecken. Vom ursprünglichen Plan, dazu Auftaktveranstaltungen an der Universität Kabul zu organisieren, musste man wegen des desolaten Zustandes der Universitätsgebäude im Stadtteil Aliabad, unzuverlässiger Elektrizitätsversorgung und nicht zuletzt aufgrund der prekären Sicherheitslage wieder Abstand nehmen.

aber bereits an oder in unmittelbarer Nähe der Altersgrenze befanden und daher nicht mehr lange für den Aufbau einer neuen Wissenschaftlergeneration in Afghanistan zur Verfügung stehen würden. Andererseits wurde ein Großteil der Lehre an den Universitäten von zwar jungen und zum überwiegenden Teil hochmotivierten Hochschullehrern getragen (in Afghanistan allgemein als „professors“ bezeichnet), deren höchster akademischer Abschluss jedoch ein Bachelor-Degree war. In der Aus- und Weiterbildung dieser für die zukünftige Entwicklung der Universitätslandschaft in Afghanistan wichtigen Gruppe sahen die deutschen Fachkoordinatoren eine ihrer zentralen Aufgaben.

Eine besondere Gruppe unter den an afghanischen Universitäten Lehrenden stellen die zur Zeit der sowjetischen Besetzung Afghanistans mit Sowjet-Stipendien ausgestatteten Wissenschaftler dar, die an verschiedenen Universitäten (in den Geowissenschaften insbesondere in Odessa) Magisterabschlüsse erlangt hatten. Diese mit einer soliden Grundausbildung ausgestatteten Kolleginnen und Kollegen in die deutschen Wiederaufbaumaßnahmen einzugliedern, war in den Anfangsjahren nicht immer ganz leicht, da die potentiellen Ansprechpartner kaum über Englischsprachkenntnisse verfügten und umgekehrt die Russischkenntnisse der deutschen Partner ebenfalls sehr zu wünschen übrig ließen. Hinzu kam, dass die mit ehemaligen sowjetischen Stipendien ausgestatteten Wissenschaftler im Kollegenkreis zunächst immer noch das mit negativem Image behaftete Flair einer Russlandfreundlichkeit umgab. Dennoch gelang es über Jahre verteilt, in den Geowissenschaften und insbesondere in der Geographie den Großteil der afghanischen Wissenschaftler in Aufbau- und Ausbauprogramme zu integrieren und über Weiterbildungsmaßnahmen zu fördern. Dass der DAAD für das Fach Geographie in den Anfangsjahren immer ausreichend Mittel zur Verfügung stellte, hat diese Aufgabe wesentlich erleichtert. Schließlich konnten alle Geographinnen und Geographen der Universität Kabul und der überwiegende Teil der Geologen und Hydrometeorologen zu Tagungen und Workshops nach Deutschland eingeladen werden.

Der Geographieprofessor Walid Noori auf dem Weg zur Kabul University im Stadtteil Aliabad, einem der am stärksten zerstörten Stadtviertel.



Modernisierung der Lehrpläne

Die Möglichkeit, einen Großteil der afghanischen Geowissenschaftler in Aufbauprojekte zu integrieren, hat wesentlich dazu beigetragen, dass die Hauptaufgabe der zweiten Kooperationsphase ebenso rasch wie erfolgreich umgesetzt werden konnte. Es handelte sich dabei um die Modernisierung bzw. Neuerstellung von Curricula. Die früheren Lehrpläne waren sowohl hoffnungslos überaltert als auch stundenmäßig überfrachtet. Über 20 Jahre Krieg und wechselnde Machthaber hatten ihre Spuren hinterlassen: So fanden sich hier 2002 z. B. noch überdimensionierte Lehreinheiten für Dialektik als sowjetisches Erbe oder das umfangreiche gemeinsame Gebet aller Kollegen, das die Taliban verordnet hatten.

Vielfach war es daher notwendig, völlig neue Curricula zu entwickeln. Die Geographen sind heute besonders stolz darauf, dass ihr Fach das erste in Afghanistan ist, für das in der Nach-Taliban-Zeit ein moderner Lehrplan entwickelt werden konnte. Seit 2005 studieren an der Universität Kabul Studentinnen und Studenten nach dem neuen Bachelor-Curriculum Geographie. Es folgten die Fächer Geologie und Hydrometeorologie. Aufbauend auf diesen konstruktiven Erfahrungen gelang es schließlich 2008 auch, für den Master-Studiengang Geographie das erste Master-Curriculum für Afghanistan zu entwickeln. Für eine international anerkannte Implementierung des Master-Studiengangs ist nun also der akkreditierte Studienplan vorhanden, es fehlt jedoch derzeit noch an geeigneten Lehrkräften: Die Vorgaben des afghanischen „Ministry of Higher Education“ sehen vor, dass für die Durchführung eines Master-Studiengangs eine Mindestzahl von promovierten Lehrenden zur Verfügung steht. Bislang können Masterabschlüsse in Afghanistan jedoch nur in Religion und in den Sprachwissenschaften (Dari und Paschtu) erlangt werden. Ambitioniertes Ziel der Fachkoordination Geographie ist es, dass Geographie demnächst als drittes Master-Studienfach hinzukommt.

Doktoranden und Gastdozenten an der Universität Kabul

Parallel zur zweiten Phase, die auch von einer fortgesetzten Ausstattung mit Lehr- und Labor-materialien geprägt war, liefen als dritte Phase verschiedene Promotionsförderungen. Mittlerweile wurden zwei Dissertationen im Fach Anthropogeographie abgeschlossen, die Kollegen sind nun am Department of Geography der Kabul University tätig. Weitere Promotionsprojekte befinden sich derzeit im Stadium der Umsetzung, so dass die begründete Hoffnung besteht, mit diesen promovierten Lehrkräften an der Universität Kabul in absehbarer Zeit einen Master-Studiengang Geographie installieren zu können.

Für eine Übergangszeit kann der nach wie vor bestehende Mangel an Fachkräften und entsprechend moderner, international qualitativ vergleichbarer Lehre nur durch Gastdozenten kompensiert werden. Während es in den ersten Jahren möglich war, eine Fülle von Kurzzeitdozenten für den Einsatz in Afghanistan zu gewinnen, geht deren Zahl und Bereitschaft in den letzten Jahren – nicht zuletzt aufgrund von Sicherheitsbedenken – merklich zurück. Inhaltlich bestand besonders große Nachfrage für die Lehrinhalte GIS, Fernerkundung, Stadtplanung sowie Kulturgeographie und Politische Geographie. Dass die Fachkoordination für Geographie nach den beachtlichen Anfangserfolgen auch unter mittlerweile erschwerten Bedingungen fortgesetzt werden konnte, ist im Wesentlichen der Tatsache zu verdanken, dass für das Fach Geographie mit Hilfe des DAAD eine serielle Kurzzeitdozentur über mittlerweile drei Semester am Department of Geography der Kabul University existiert. Hier engagiert sich Berthold Oehm (Universität Würzburg) mit ebenso großem Einsatzwillen wie Fachverstand. Geplant ist, in der nächsten Zeit die bisherigen Kurzzeitdozenten in eine Langzeitdozentur überzuleiten. Es wäre dies die erste Langzeitdozentur in den Geowissenschaften in Afghanistan überhaupt.

Deutsch-afghanische Forschungsprojekte

Die vierte, derzeit noch laufende Phase der Kooperation wird durch zwei Maßnahmenbündel gekennzeichnet, die bislang nur z. T. schon umgesetzt werden konnten, teilweise noch eine Zukunftsvision darstellen. Die beiden Hauptziele sind – insbesondere für die nächsten zehn Jahre ab 2014 –, die Kooperationen auch auf andere Universitäten des Landes über Kabul hinaus auszuweiten und gemeinsame Forschungsprojekte zu implementieren. Wie intensiv sich diese Maßnahmen umsetzen lassen werden, hängt

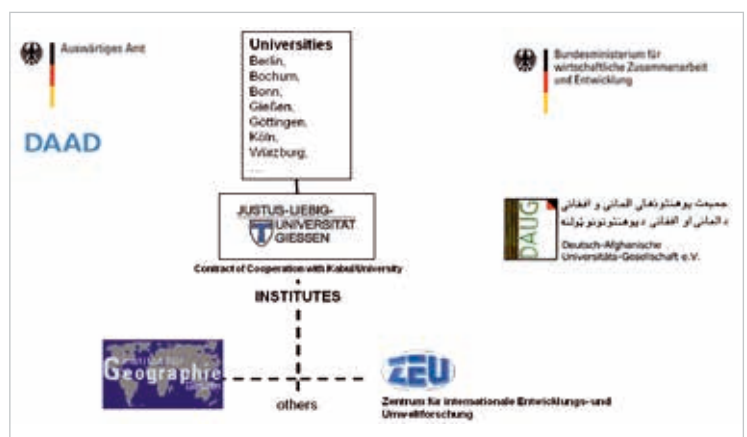
ganz wesentlich davon ab, wie die wichtigsten Förderer die zweite Dekade des Afghanistan-Aufbaus definieren und in welchen Bereichen Schwerpunkte gesetzt werden können. Für eine Ausweitung der Universitätspartnerschaften kommen in den Geowissenschaften vor allem der Norden des Landes mit der Universität Balkh bei Masar-i-Sharif und die Herat University in Frage. Da sich auch nach 2014 das deutsche Entwicklungsengagement im Norden konzentrieren wird, wurden bereits erste Kooperationsvereinbarungen mit der Balkh University getroffen. Geographische Kooperationen werden sich hier allerdings nur in Zusammenarbeit mit anderen Fächern, insbesondere mit Geschichte, realisieren lassen, da in allen sog. Provinzuniversitäten im Gegensatz zur Kabul University die Ausbildung von Lehrerinnen und Lehrern gegenüber der Ausbildung von Fachwissenschaftlern deutlich im Vordergrund steht.

Wesentlich weiter ist hingegen die Entwicklung der Durchführung von gemeinsamen Forschungsprojekten von afghanischen und deutschen Wissenschaftlern. Insbesondere durch Unterstützung der VW-Stiftung und der DAUG gelangen hier in der letzten Zeit wichtige erste Projekterfolge. Dazu gehören eine umfassende Bestandsaufnahme im Bereich der Squatter-Settlements von Kabul sowie Untersuchungen zur Basarwirtschaft in Kabul. Nachdem einige Förderer, die Afghanistan aus ihren bisherigen Planungen ausgeklammert hatten, das Land nun auch offiziell zu Zentralasien zählen, erweitert sich das Spektrum der Implementationsmöglichkeiten für künftige Forschungsprojekte erheblich, so dass sich ausgesprochen positive Perspektiven für eine Fortsetzung der akademischen Aufbauarbeit in Afghanistan abzeichnen.

DER AUTOR

Prof. Dr. Andreas Dittmann leitet den Bereich *Anthropogeographie und Geographische Entwicklungsforschung* des *Instituts für Geographie an der Justus-Liebig-Universität Gießen*. Er leitet seit 2002 als *DAAD-Fachkoordinator* den *akademischen Wiederaufbau in Afghanistan im Fach Geographie* und ist zudem *engagiert als Präsident der Deutsch-Afghanischen Universitäts-Gesellschaft e.V. (DAUG)*.

Die deutschen Akteure und Kooperationspartner im akademischen Afghanistan-Wiederaufbau.



Die zentrale Sahara – 10.000 Jahre zwischen Weide und Wüste

Von den großen Seen des Holozäns zur heutigen Wüste: An der Universität Würzburg erforscht eine Arbeitsgruppe seit langem die zentrale Sahara. Aus dem heutigen Kenntnisstand zur Reliefgeschichte können wir ablesen, wie sich Klima und Landschaft dieser Region während der letzten 10.000 Jahre verändert haben.

VON ROLAND BAUMHAUER



Abb. 1: Karte der südlichen zentralen Sahara mit den wichtigsten Landschaften und Oasen (Zahlen in Klammern geben die Höhen ü. NN an).



GEOMORPHOLOGEN untersuchen die Landformen auf der Oberfläche der Erde oder anderer Planeten sowie die dazugehörigen formbildenden Prozesse. Seit 1977 arbeitet eine Arbeitsgruppe des Instituts für Geographie der Universität Würzburg geomorphologisch in der zentralen Sahara. Dazu führte sie in wechselnder Zusammensetzung mehr als 15 mehrmonatige Expeditionen insbesondere in die südliche zentrale Sahara durch. Obwohl der komplette Untersuchungsraum zwischen 1992 und 2000 aufgrund von bürgerkriegsähnlichen Unruhen für Forschungsarbeiten nicht zugänglich war und seit 2009 wieder komplett gesperrt ist, reichen unsere heutigen Kenntnisse dennoch aus, die Umriss der klimatischen Entwicklung dieses Raumes

nachzuzeichnen, und zwar für die jüngeren Zeitabschnitte bereits mit einer recht hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung und Kontinuität der ausgeprägten Klimazustände und Klimaänderungen. Um einen Eindruck davon zu geben, soll hier die Landschafts- und Paläoumweltentwicklung während des Holozäns, also der letzten 10.000 Jahre, umrissen werden.

Die südliche zentrale Sahara

Die südliche zentrale Sahara liegt zwischen 17° und 23° N und 11° und 15° E. Sie zeigt einen typischen Ausschnitt der geomorphologischen Grundstrukturen der Flachlandschaften der südlichen Sahara: Weitgespannte Sandebenen (sog. Sandtennen) gehen nach Süden in ausgedehnte Sandseen (sog. Ergs) mit markanten Längsdünen über, die durch Passatwinde geformt werden. Die Sandtennen werden durch Schichtstufen in Nordsüdrichtung gegliedert, die sich teilweise in isolierte Massive oder flache Plateaus auflösen. Diese Schichtstufen vermitteln zwischen den Plateaulandschaften von Manguéni, Djado und Tchigai südlich des Murzuk-Beckens im Norden und den zum Einflussgebiet des Tschadsees überleitenden und bereits dem Sahel angehörenden Altdünenregionen im Süden (Abb. 1).



Die Seen des Holozäns

Seit Beginn des letzten Hochglazials, also vor rund 18.000 bis 20.000 Jahren, herrschten in der südlichen zentralen Sahara extrem aride, d. h. trockene klimatische Bedingungen. Das ist belegt durch die bis zu 400 bis 600 km südlich der heutigen Saharagrenze liegenden Altdünen der Sahel- und Sudanzone, die sich unter den heute dort herrschenden klimatischen Bedingungen nicht mehr bewegen und mittlerweile bewachsen sind. Um die Wende vom Pleistozän zum Holozän, also vor rund 11.000 bis 12.000 Jahren, vollzog sich jedoch in der südlichen zentralen Sahara ein tiefgreifender Klima- und Landschaftswandel: Das belegen weiträumige limnische Ablagerungen in der Region, also Ablagerungen aus Seen. Es begann mit der Einschwemmung eines bodenähnlichen Sediments vor rund 12.000 Jahren im südlichen Teil der zentralen Sahara und etwa 1.000 Jahre später weiter nördlich. Auf feinsandige und siltig-tonige Sedimente mit eingelagerten humosen Bestandteilen, Holzkohlen und Mollusken folgen teilweise mächtige Kieselgurablagerungen (sog. Diatomite, Abb. 4). Deren Sedimentation begann zwischen 8000 und 7500 v. Chr. (In den Geowissenschaften werden die Alter üblicherweise in kalibrierten „konventionellen Radiocarbonaltern“ angegeben und damit in realen Kalenderjahren, die sich stets auf das Jahr AD 1950 beziehen; für diesen Beitrag wurden die Daten zur besseren Orientierung in Jahre vor Christus umgerechnet).

Die größte Ausdehnung und maximale Wassertiefen von bis zu 30 m erreichten die frühholozänen Seen gegen 7000 v. Chr. In dieser Zeit war der größte Teil der Sandtenne der Ténéré sowie der Dünenenken im Erg du Ténéré und des Grand Erg de Bilma mit Seen bedeckt, die

nach Norden in eine geschlossene Sumpfbzone übergangen. Die Funde von Kieselalgen (Diatomeen) aus jener Zeit dokumentieren, dass diese Stillwasserseen nährstoffarm waren und das ganze Jahr über Wasser führten.

Bis zum Mittelholozän blieben die klimatischen Verhältnisse im südlichen Teil der Zentral-sahara zur Seebildung ausreichend feucht, dann schwächten sie sich während mehrerer kurzer arider Phasen bis etwa 4500 bis 3500 v. Chr. kontinuierlich ab und wichen spätestens seit 3000 v. Chr. im gesamten Raum vollaren Verhältnissen. Daran gekoppelt war eine tiefgreifende Veränderung der paläoökologischen Verhältnisse, beginnend im Bereich der Plateaus südlich des Murzuk-Beckens: Seit 6000 v. Chr. begann die Umwandlung der weiträumigen Seenlandschaft zu einer durch Sümpfe und ephemere Seen geprägten Landschaft, die schließlich in lokale Sumpfareale in der Ténéré und den südlicheren Ergs überging (Abb. 6). Hochoflösende limnische Tone in Seggedim im Vorland des nördlichsten Teils der Schichtstufe von Bilma (Abb. 1) belegen, dass der entscheidende Wechsel in der Klima- und Landschaftsentwicklung hin zu den aktuellen ariden Verhältnissen um 5300 v. Chr. begann. Und 4500 v. Chr. war die Umstellung des frühholozänen Süßwassermilieus in der Region um Seggedim zu einer Sebhka, also einem abflusslosen Salzsumpf, bereits endgültig vollzogen.

Auch der in Seggedim bis zum Ende des Frühholozäns nachweisbare sehr enge Kontakt zwischen sudanischer und saharischer Vegetation war spätestens seit 4500 v. Chr. nicht mehr vor-

Abb. 2 und 3: Bohrarbeiten im See von Ayama, dem letzten noch existierenden, grundwassergespeisten See etwa 50 km nördlich von Bilma, sowie in der Sebhka von Seggedim.



Abb. 4: Vom Passat stark ausgeblasene, frühholozäne Diatomite (weiß) in der Stufenfußdepression von Kafra. Im Hintergrund ist die aufgelöste Schichtstufe von Kafra zu erkennen.

handen. Vielmehr kennzeichnen die Befunde aus Pollenanalysen bereits seit 5000 v. Chr. eine Vegetation, die dem heutigen Vegetationsgrundtypus entspricht. Bis in das mittlere Holozän herrschten daher in der südlichen zentralen Sahara deutlich andere klimatische Bedingungen als heute. Sie sind auf die Überlagerung des Südwest-Monsuns mit seinen heftigen Starkregen und den von Norden kommenden atlantischen (mediterranen) Zyklonen mit ihrem Landregen zurückzuführen, deren Verzahnung erst am Ende des Frühholozäns sukzessive nachließ. Diesen Befund bestätigen auch bodenkundliche Untersuchungen: Ausgehend von der heutigen nördlichen Sahelzone

Nigers zeigen die auf den Altdünen des letzten Hochglazials der Sandtanne der Ténéré (vgl. Abb. 1) entwickelten frühholozänen Paläoböden eine Veränderung der Merkmale und Eigenschaften sowohl in Nordsüd- als auch in Westostrichtung. Insbesondere die Abnahme der Mächtigkeit und der Verwitterungsintensität deuten darauf hin, dass die Verwitterungsdauer durch späteres Ein- und früheres Aussetzen der frühholozänen Feuchtphase abnahm, ebenso schwächte sich die Humidität von Süden nach Norden ab.

Von der Weide zur Wüste

In der Zusammenschau der Befunde kann man für die Wende

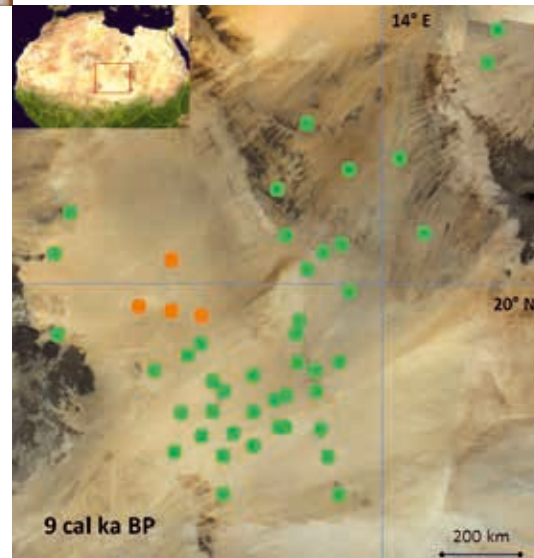


Abb. 5: Kernbohrung mit einem Kullenberg-Lot im Vorland der Schichtstufe von Emi Bao bei Seggedim.



vom Pleistozän zum Holozän von einer jährlichen Niederschlagsrate von mindestens 400 mm pro Jahr ausgehen. Die Niederschläge waren, wie beschrieben, an eine Interaktion der Monsunfront mit atlantisch-mediterranen Zyklonen aus einer im Vergleich zu heute erheblich südlicher liegenden Westwinddrift gebunden. Im Laufe des Frühholozän und verstärkt im

Mittelholozän deuten die Befunde auf einen mit der Zeit zunehmenden Niederschlagsgradienten von S (SW) nach N (NE) und eine größere Saisonalität der Niederschläge hin, die kaum mehr 200 mm pro Jahr erreicht haben dürften. Diese fielen vorwiegend als Starkregen und weisen auf eine nachlassende Verschmelzung von Monsunfront und Westwinddrift hin. Ab 4500 v. Chr. bis 4000 v. Chr. in den nördlichen Abschnitten der südlichen zentralen Sahara und ab 3000 v. Chr. in den südlichen Ergs herrschten nur noch monsunale Niederschläge vor, die für einen flächenhaften Grundwasserspiegelanstieg, z. B. für die Ausbildung permanenter oder auch periodischer Seen, nicht mehr ausreichten. Interaktionen zwischen Westwinddrift und Monsunfront traten, wie es auch aktuell episodisch der Fall ist, nur noch in Ausnahmefällen auf, brachten dann allerdings hohe Niederschläge bis in die südliche Zentralsahara.

sen bis 2000 v. Chr. abschwächte – also später als in der südlichen zentralen Sahara –, bevor dann seit 2000 v. Chr. der starke Wechsel zu den aktuellen Verhältnissen erfolgte. Ebenso wie in der Zentralsahara betonen die Untersuchungen in der Ost- und Westsahara die Zonalität der paläoklimatischen Verhältnisse und die Verlagerung der Landschaftsgürtel. Sie schließen aus paläoökologischen Untersuchungen auf Ökosystemstrukturen während des frühholozänen Feuchteoptimums in der Ostsahara, wie sie aktuell bei etwa 13° N existieren, und daran gekoppelt eine nordwärtige Verschiebung der Sahelgrenze in Ostafrika um rund 600 km. Dieser Befund deckt sich nicht nur weitgehend mit den bisher vorliegenden Ergebnissen über die Verbreitung der frühholozänen Feuchtzeitböden in der südlichen zentralen Sahara, sondern entspricht auch pollenanalytischen Befunden aus dem Bohrprofil Seggedim. Man kann daher mindestens bis 20° N

DER AUTOR

Prof. Dr. Roland Baumhauer hat den Lehrstuhl I für Geographie – Physische Geographie an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg inne. Er ist Mitglied der Kommission für Geomorphologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

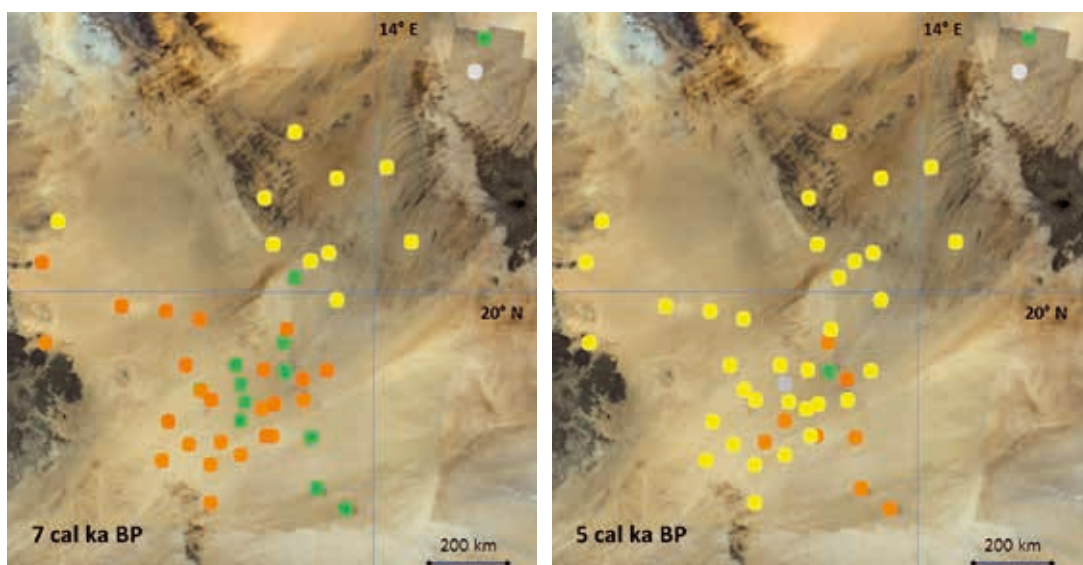


Abb. 6: Aus Proxydaten abgeleitete Paläoumweltbedingungen in der südlichen zentralen Sahara um 7000, 5000 und 3000 v. Chr., untergliedert nach den hygrischen Kategorien: grün = feucht (mit ubiquitären Seebildungen), orange = Übergangsphase (feuchter als aktuell mit regional verbreiteten Sumpf- und Seebildungen), gelb = trocken (entspricht mind. der aktuellen Aridität), grau = keine Daten.

Vergleiche mit West- und Ostsahara

Während also die Trockenheit in der zentralen Sahara kontinuierlich zunahm und sich anschließend früh und sehr schnell der Übergang zu den aktuellen vollariden Verhältnissen vollzog, sehen die Befunde aus der westlichen Sahara anders aus: Hier postuliert die Forschung eine weitere feuchte Phase um 2500 v. Chr., bevor dann der Wechsel zu den heutigen vollariden Verhältnissen erfolgte. Im Gegensatz dazu zeigen die Ergebnisse aus der Ostsahara ebenfalls nur eine früh- bis mittelholozäne Feuchtzeit, die gegen 7500 v. Chr. einsetzte und sich mit mehreren zwischengeschalteten Trockenpha-

sen im frühen Holozän von einer (sahelischen) Savannenvegetation ausgehen, die bereits seit 5000 v. Chr. durch einen Wechsel zu saharischen Florenelementen gekennzeichnet war. Diese in der Vegetation sichtbare Aridisierung wird auch auf die regelmäßige Einflussnahme des Menschen im Kontaktbereich der sudanischen zur saharischen Vegetation seit dem mittleren Holozän zurückgeführt. Erst dadurch (und möglicherweise deshalb zeitlich früher) hat sich im Zusammenspiel mit der einhergehenden Klimaverschlechterung der Typus der sahelischen Savanne entwickelt.

Klima im Wandel: Bedeutung, Unsicherheiten, Risikopotentiale

Geowissenschaftliche Forschungen erweitern nicht nur unsere Kenntnisse der Erdgeschichte, sondern dienen auch dazu, Grundlagen und Folgen des Klimawandels zu untersuchen.

VON JUCUNDUS JACOBEIT

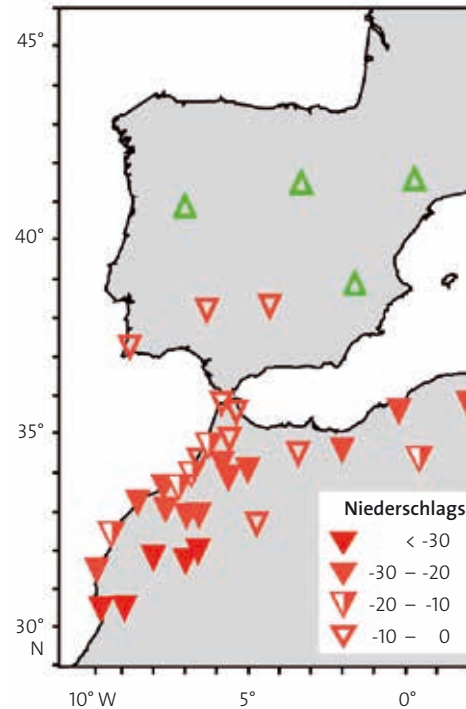
ÄNDERT SICH UNSER Klima, ist dies nicht nur bedeutsam, weil die klimatischen Verhältnisse ein zentraler Bestimmungsfaktor für den gesamten Naturhaushalt und die Lebensgrundlage menschlicher Gesellschaften sind, sondern weil sich damit eine Fülle unterschiedlicher Prozesse und Phänomene verbindet: Nicht allein die globale Mitteltemperatur ist zu betrachten, vielmehr sind weitere wichtige Klimaelemente wie Niederschlag oder Wind betroffen, und es kann zu besonders markanten Veränderungen bei klimatischen und meteorologischen Extremereignissen kommen. All dies wird häufig mit großen regionalen Unterschieden verbunden sein. Nicht zuletzt hat der Klimawandel auf der Erde zahlreiche Auswirkungen, etwa Änderungen des Meeresspiegels, des Eisvolumens, des Wasserhaushalts, der Vegetationsbedeckung oder der Geomorphodynamik.

Einen besonderen Akzent hat das Forschungsfeld des Klimawandels durch die menschlichen Eingriffe ins Klimasystem bekommen, wobei hier vor allem die Freisetzung klimawirksamer Spurengase (anthropogen verstärkter Treibhauseffekt), unterschiedliche Partikelemissionen und landnutzungsbedingte Veränderungen der Erdoberflächenbeschaffenheit zum Tragen kommen. Angesichts der skizzierten Bedeutung von Klimaänderungen ist es von großem Interesse, etwas über den bevorstehenden Klimawandel zumindest der kommenden Jahrzehnte zu erfahren, wie er sich unter Bedingungen der menschlichen Einflussnahme mutmaßlich entwickeln dürfte.

Klimaprojektionen

Das künftige Klima lässt sich zwar nicht real vorhersagen wie etwa das morgige Wetter, aber unter bestimmten Szenario-Annahmen der weiteren menschlichen Aktivitäten lassen sich mit globalen Klimamodellen die entsprechend veränderten großskaligen Verhältnisse im Klimasystem simu-

lieren; dabei sind nicht konkrete Einzelzustände von Belang, sondern deren längerfristige Statistik unter geänderten Randbedingungen. Derartige Klimaprojektionen können auf zwei Wegen auf die regionale Ebene herunterskaliert werden: entweder, indem höher aufgelöste regionale Modelle (angetrieben durch ein globales Modell) herangezogen werden (dynamisches Downscaling), oder, indem man statistische Verfahren einsetzt, die aus großskaligen Modellprädiktoren regionale oder lokale Klimaänderungen abschätzen (statistisches Downscaling). Die Abbildung zeigt ein Beispiel aus dem Mittelmeerraum, der als besonders klimasensitiv gilt und bei fortschreitender globaler Erwärmung in weiten Teilen des Südens und Ostens von teils empfindlichen Niederschlags-einbußen betroffen sein könnte. Die hier zugrundeliegenden statistischen Methoden sind in jüngster Zeit immer weiter fortentwickelt und auf zusätzliche Größen (Starkniederschläge, Trockenperioden) ausgeweitet worden. Darüber hinaus werden in Augsburg derzeit auch Forschungsprojekte bearbeitet, in denen der Klimawandel und seine Auswirkungen regional oder thematisch alternativ fokussiert werden, etwa mit Blick auf atlantische Warm- und Kaltwasserereignisse vor der Westküste Afrikas, auf hochwasserträchtige Gebietsniederschläge im süddeutsch-österreichischen Raum (insbesondere im Zusammenhang mit sog. Vb-Zyklonen), auf die Feinstaubbelastung im Freistaat Bayern (soweit von meteorologischen



Die resiliente Stadt

Städte sind heute zunehmend Natur- und anderen Risiken ausgesetzt und benötigen daher eine hohe Widerstandsfähigkeit.

Fachleute bezeichnen diese Fähigkeit auch als Resilienz. Sie entwickeln Strategien, um Städte besser gegen Risiken zu schützen, etwa Überschwemmungen. Vor allem das Elbehochwasser von 2002 und das Oderhochwasser von 2005 haben gezeigt, wie wichtig das ist.

VON THEO KÖTTER

Resilienz – die neue Nachhaltigkeit?

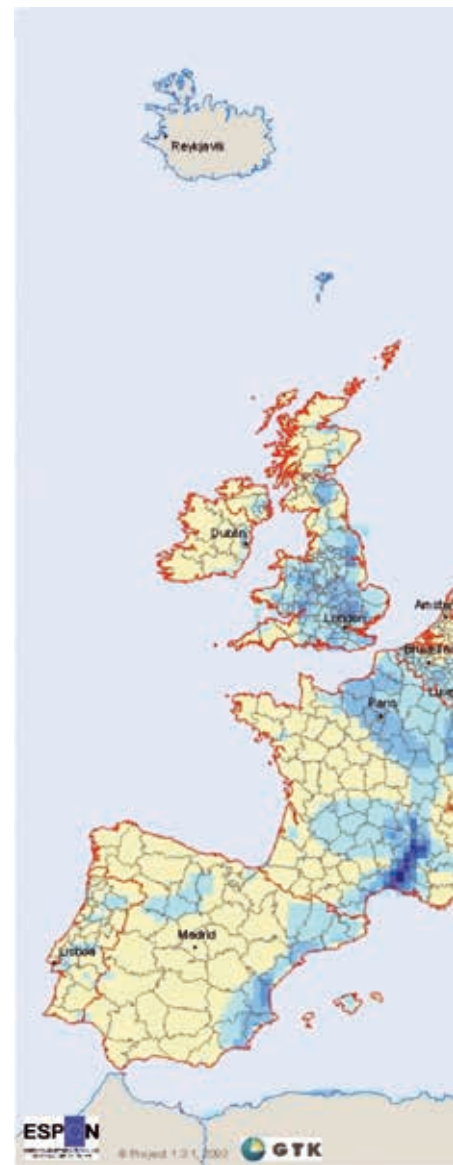
Stadtplaner müssen sich zunehmend mit Unsicherheiten und Risiken für die Stadtentwicklung auseinandersetzen: Fortschreitender Ressourcenverbrauch, Klimawandel, Globalisierung der Wirtschaft, demographischer Wandel und soziale Fragmentierung sowie Naturrisiken stellen neue Herausforderungen an die städtebauliche Planung. Die Auswirkungen dieser oftmals kumulativen Einflüsse und ihre Wechselwirkungen auf das komplexe System Stadt sind in der Summe kaum bekannt, passende Strategien noch nicht entwickelt und erprobt. „Es ist mehr auf Sicht zu fahren“, riet 2012 daher Klaus Töpfer, ehemaliger Bundesbauminister und ehemaliger Exekutivdirektor des Umweltprogramms der UN, denn in Zeiten wachsender Unsicherheiten gehe es darum, in Alternativen zu denken.

Eine nachhaltige Stadtentwicklung erfordert daher geeignete Strategien, mit denen Unsicherheiten langfristig begegnet werden kann. Und sie benötigt Resilienzstrategien mit gesellschaftlichem, ökologischem und ökonomischem Bezug. Am Beispiel von Hochwasserrisiken sollen in diesem Beitrag die wesentlichen Handlungsoptionen diskutiert werden.

Klimawandel und Hochwasserrisiken in Städten

Eine wesentliche Folge des Klimawandels wird die langfristige Veränderung von Niederschlagsmustern sein, Extremereignisse werden zunehmen. Überschwemmungen gehören daher zu denjenigen Naturkatastrophen, die Städte auch in Mitteleuropa stark bedrohen (Abb. 1). Dabei haben in Deutschland vor allem das Elbehochwasser im Jahr 2002 und das Oderhochwasser von 2005 die öffentliche Wahrnehmung geprägt und deutlich gemacht, dass Städte einen inte-

Abb. 1: Große Überschwemmungsereignisse in Europa, 1985 bis 2002.

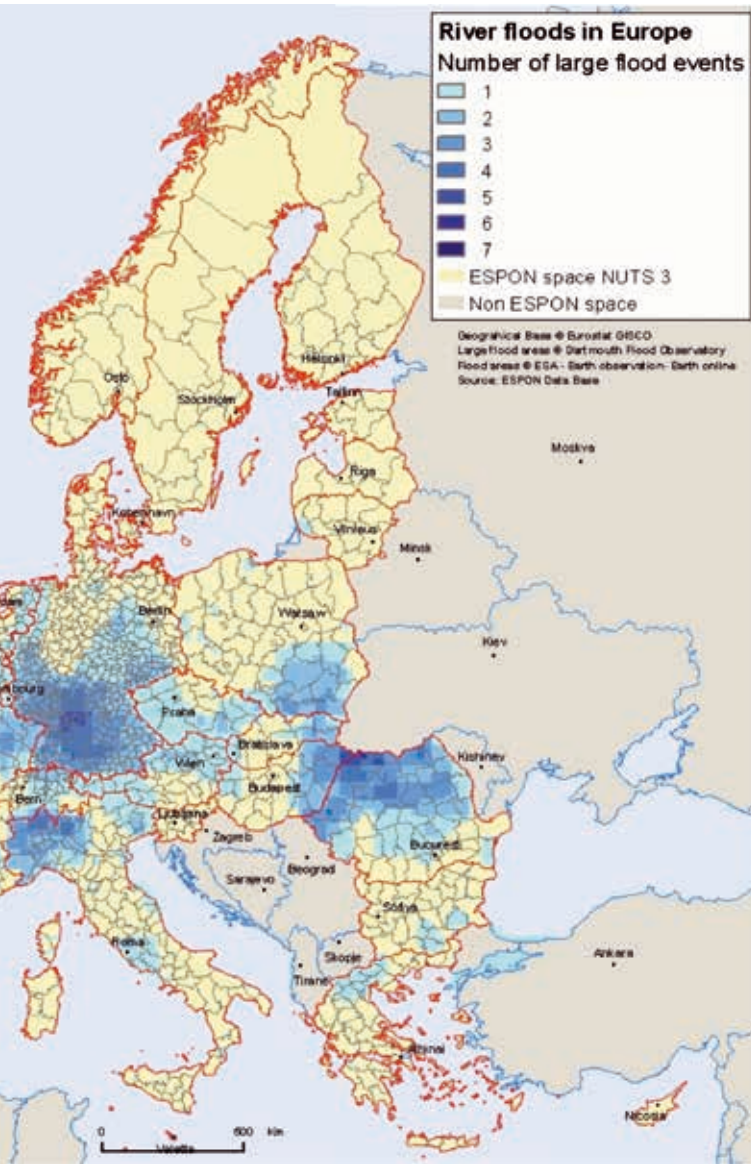


grierten Resilienzansatz brauchen, bei dem der Regional- und Stadtplanung eine zentrale Rolle zuwächst. Hochwasserschutz umfasst ein Bündel abgestimmter Maßnahmen mit präventiven und adaptiven Strategien, und zwar sowohl auf regionaler als auch auf kommunaler Ebene.

Überschwemmungsrisiken einer Stadt

Urbane Räume sind ganz erheblich durch Überschwemmungen gefährdet, vor allem wegen ihrer hohen Siedlungs- und Infrastrukturdichte sowie ihrer Konzentrationen von Einwohnern und Arbeitsplätzen. Hinzu kommt, dass zahlreiche Städte historisch wegen der verkehrlichen und strategischen Lagegunst an Flüssen entstanden sind und ihre Siedlungsbereiche sich im Laufe der Zeit zunehmend in potentielle Überschwemmungsbereiche hinein ausgedehnt haben. Das Überschwemmungsrisiko einer Stadt wird maßgeblich geprägt durch:

1. die Intensität und Dauer eines Hochwasserereignisses (Hazard)
2. die Anfälligkeit ihrer Infrastruktur, Gebäude, Wirtschaft und Bevölkerung (Vulnerabilität) gegenüber Hochwassergefahren sowie



haltigkeit bezeichnet. Städtische Resilienz kann als Widerstands-, Anpassungs- und Innovationsfähigkeit verstanden werden, Natur- und andere Risiken und deren Folgen zu bewältigen. Dabei müssen in der Stadtentwicklung kritische Reflexion und Folgenbewertung zur Selbstverständlichkeit jedes Planungsprozesses werden, so dass Lernprozesse etabliert werden können.

Risiko kann schließlich als Interaktion zwischen einem Hazard und einer vulnerablen Gesellschaft bzw. einem vulnerablen Raum einschließlich der Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse (z. B. Hochwasserereignisse) sowie der Fähigkeit zur Folgenbewältigung (Resilienz) betrachtet werden. Auf Grundlage der Begriffsklärungen lassen sich die unterschiedlichen Maßnahmen des präventiven Hochwasserschutzes systematisieren und den jeweiligen Phasen des Resilienz-Zyklus zuordnen (Abb. 3).

Risiken durch Siedlungs- und Infrastrukturentwicklungen

Für das erhöhte Hochwasserrisiko werden vor allem sektorale, rein technisch orientierte Gewässerausbaumaßnahmen und die Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsflächen der letzten Jahrzehnte verantwortlich gemacht. Einerseits hat die wachsende Flächenversiegelung die Abflussspitzen ansteigen

3. ihre Fähigkeit, die Folgen von Hochwasserereignissen zu bewältigen (Resilienz)

Dabei bezeichnet Vulnerabilität die Anfälligkeit und Verwundbarkeit der Menschen und des Raums gegenüber Hazards und kann daher nur durch einen integrierten Ansatz mit sozialen, ökonomischen und physikalischen Kriterien vollständig erfasst und bewertet werden. Aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht bieten sich für eine quantitative Analyse statistische Methoden an, mit denen etwa die Wahrscheinlichkeiten bestimmter Schadensfälle (Tod und Verletzung von Menschen, Einsturz von Gebäuden oder sonstige Schadensfälle) in Abhängigkeit von der Intensität der jeweiligen Katastrophen abgeschätzt werden können. Dabei wird vor allem Bezug auf die physischen Eigenschaften der Umwelt und ihrer Schutzgüter genommen, um die Wahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses zu ermitteln.

Resilienz bezeichnet die Belastbarkeit und Widerstandsfähigkeit z. B. einer Stadt oder eines Raumes und wird gelegentlich auch als die neue Nach-

Abb. 2: Siedlungsentwicklung und potentielle Überschwemmungsbereiche am Beispiel der Stadt Bonn.

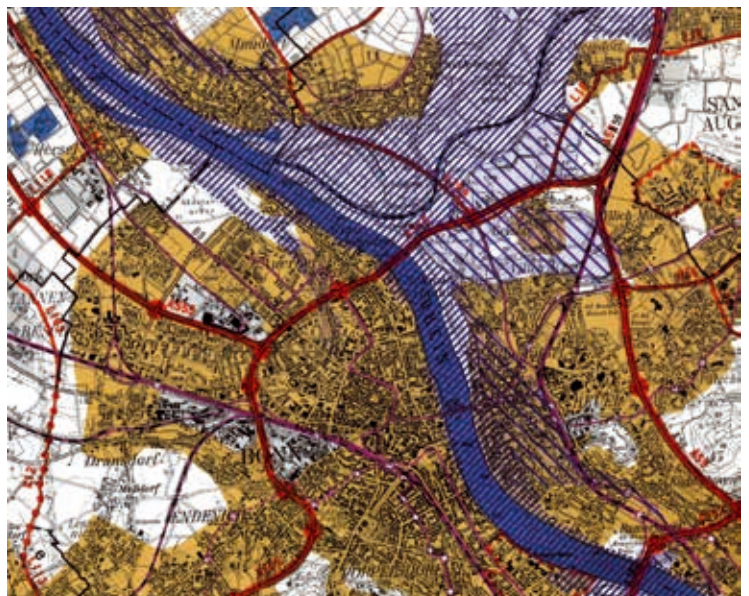


Abb. 3: Resilienz-Zyklus beim Hochwasserschutz.

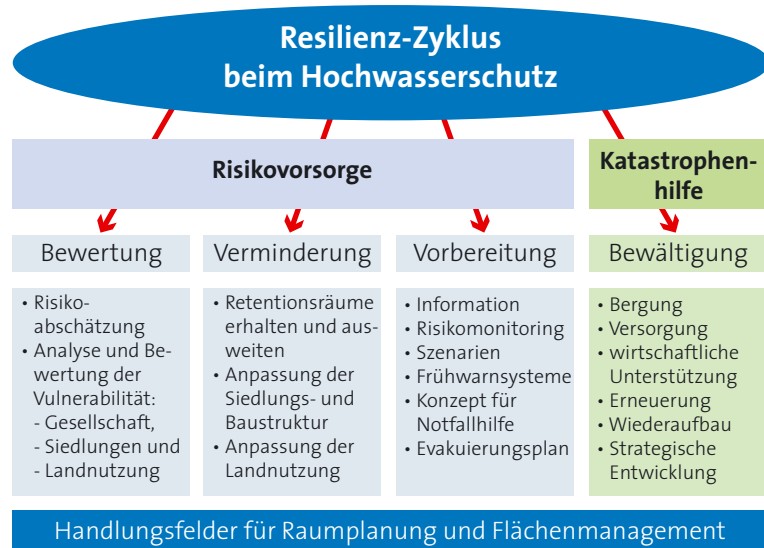
und damit auch die Anzahl der extremen Hochwasserereignisse zu nehmen lassen. Andererseits haben zahlreiche Siedlungserweiterungen in überschwemmungsgefährdeten Bereichen in Flusstälern die Vulnerabilität der Städte und Siedlungen erhöht. Das Hochwasserrisiko von Siedlungen wird daher durch natürliche und anthropogene Faktoren geprägt, die wiederum auf Standort- und Flächennutzungsentscheidungen zurückzuführen sind.

Einen bedeutsamen Einfluss auf Anzahl und Ausmaß der Hochwasserereignisse hat der Anteil der versiegelten Fläche im jeweiligen Wassereinzugsgebiet. Die tägliche Flächenumwidmungsrate in Deutschland beträgt derzeit etwa 80 Hektar. Insgesamt hat sich die Siedlungsfläche in den vergangenen 70 Jahren mehr als verdoppelt und damit auch das Überschwemmungsrisiko erheblich erhöht.

Tab. 1: Maßnahmen, um die Vulnerabilität von Städten zu verringern und ihre Resilienz gegenüber Hochwassergefahren zu erhöhen.

Die wesentlichen planerischen, baulichen und organisatorischen Maßnahmen, die nötig sind, um die Vulnerabilität von Städten zu verringern und zugleich die Resilienz gegenüber Hochwassergefahren zu erhöhen, stellt Tabelle 1 dar.

Handlungsfelder	Maßnahmen
Verringerung der Vulnerabilität	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherung und Erweiterung von Retentionsflächen durch Schaffung neuer und Freihaltung bestehender Polder • Deichrückverlegung • Wiederherstellung großer Ströme • Renaturierung der Gewässer • Steuerung der Landnutzung und der Landbewirtschaftung (Extensivierung) • Begrenzung und Rücknahme der Bebauung und Bodenversiegelung • Rückhaltung in der Fläche durch dezentrale Regenwasserbewirtschaftung (Versickerung und Regenwassernutzung) • Technische Maßnahmen (Hochwasserdeiche, Talsperren etc.)
Erhöhung der Resilienz	<ul style="list-style-type: none"> • Steuerung der Siedlungsentwicklung • Freihaltung potentieller Überschwemmungsbereiche von Bebauung • Anpassungsmaßnahmen an Gebäuden • Information der Öffentlichkeit • Erhöhung des Problembewusstseins • Hochwasservorhersage und -warnung • Technische Maßnahmen (Hochwasserwände) • Evakuierungsplanung



Steuerungsmöglichkeiten der Wasserwirtschaft

In Folge der dramatischen Überschwemmungsereignisse sind in Deutschland die fach- und raumplanerischen Handhaben für den präventiven Hochwasserschutz erheblich erweitert worden: So müssen nunmehr alle hochwassergefährdeten Gebiete, die durch ein statistisch alle 100 Jahre auftretendes Hochwasser überschwemmt werden könnten, ermittelt und in Regional- und Bauleitplänen gekennzeichnet werden.

In diesen Überschwemmungsgebieten dürfen die Gemeinden grundsätzlich keine Neubaugebiete mehr ausweisen. Es besteht ein striktes Planungsverbot, von dem lediglich unter ganz engen Voraussetzungen Ausnahmen nach dem Wasserhaushaltsgesetz zulässig sind. Zudem besteht eine Verpflichtung zur Aufstellung von Hochwasserschutzplänen auf Basis von Hochwassersimulationen (Abb. 4).

Steuerungsmöglichkeiten bei Stadterweiterungen

Um das Risiko von Hochwasserereignissen zu minimieren, kommt der langfristigen Disposition der Flächennutzung mit dem Flächennutzungsplan der Städte und Gemeinden eine strategische Bedeutung zu. Dabei ist der Grundsatz zu beachten, vor allem durch Sicherung oder Rückgewinnung von Auen, Rückhalteflächen und überschwemmungsgefährdeten Bereichen für den vorsorgenden Hochwasserschutz an Gewässern zu sorgen.

Auch bei der Bebauungsplanung gibt es Steuerungsmöglichkeiten. So sind bei der Konzeption neuer Baugebiete folgende Maßnahmen in Bezug auf den vorsorgenden Hochwasserschutz einzubeziehen und sorgfältig abzuwägen:

- kompakte flächensparende Bauweise
- Begrenzung der Bodenversiegelung
- grundwasserschonende Bauweisen durch Vermeidung von Keller- und Tiefgeschossen
- Anlagen für die Sammlung und Nutzung von Regenwasser (Zisternen, Regenwassernutzung in Gebäuden etc.)
- Sicherung vorhandener versickerungsfähiger Oberflächen
- versickerungsfähige Gestaltung der Oberflächen von Erschließungsanlagen und Grundstücken

Würden etwa 15 % der derzeit an das Kanalisationsnetz angeschlossenen Siedlungs- und Verkehrsflächen im gesamten Rheineinzugsgebiet auf eine dezentrale Bewirtschaftung umgestellt, ließe sich ein Rückhaltepotential von rund 500 Mio. Kubikmetern für ein viertägiges Niederschlagsereignis schaffen. Durch Retentionspolder und Überschwemmungsgebiete durch Deichrückverlegungen können im Rheineinzugsgebiet hingegen lediglich 350 Mio. Kubikmeter Speicherraum entwickelt werden. Dies unterstreicht die Bedeutung der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung in den Städten.

Darüber hinaus sind auch ökonomische Vorteile eines solchen Systems sowohl für die privaten Grundstückseigentümer als auch für die Gemeinden zu nennen. Deshalb rechnet die Stadt München bis zum Jahr 2020 bei einer Abkoppelung von 15 % der befestigten Flächen vom Kanalnetz mit einer Kosteneinsparung von immerhin 500 Mio. Euro.

Abb. 4: Hochwassersimulation in Siedlungsbereichen am Beispiel der Stadt Bonn.



Fazit

Das Ziel einer resilienten Stadt verlangt eine neue Bewertung der tradierten Siedlungs- und Baustrukturen sowie auch der bisherigen Leitbilder im Städtebau. Als wesentliche Resilienz-Kriterien sind die Exposition der Stadt, die Effizienz der Flächennutzung (Dichte), die Diversität (Nutzungsmischung) und die Redundanz (kritische Infrastrukturen) zu nennen, die sich auch im Hinblick auf die

Beurteilung von Hochwasserrisiken als hilfreich erweisen.

Darüber hinaus ergeben sich weitere institutionelle und planungsstrategische Anforderungen der resilienten Stadt. Städtische Resilienz wird dabei als ein stetiger Lern- und Anpassungsprozess von Politik, Verwaltung und Bürgern zu betrachten und zu gestalten sein. Die Diskussion des präventiven Hochwasserschutzes verdeutlicht zudem, dass Resilienz als neuer Qualitätsbegriff das Postulat der Nachhaltigkeit im Kontext der Stadtentwicklung zu ergänzen und zu konkretisieren vermag.

- Anlagen zur Sammlung, Rückhaltung und Versickerung des Regenwassers mit und ohne gedrosselte Ableitung (Flächenversickerung, Muldenversickerung, Mulden-Rigolen-System, Schachtversickerung)

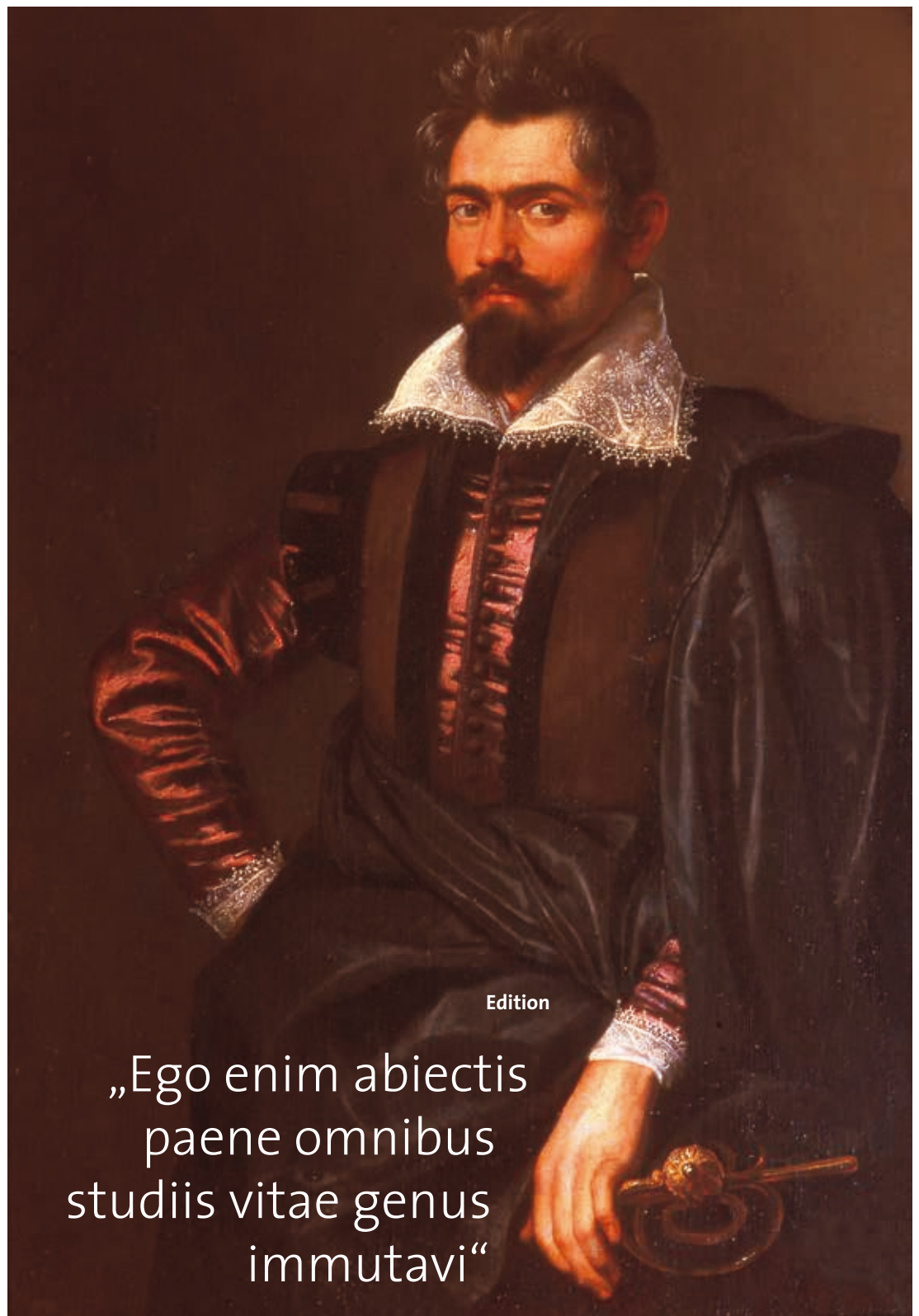
Steuerungsmöglichkeiten durch ökologischen Stadtumbau

Auch bei bereits bestehenden Siedlungen kann der vorsorgende Hochwasserschutz durch Regenwasserbewirtschaftung auf den Grundstücken gefördert werden. Wird im Rahmen des ökologischen Stadtumbaus der durchschnittliche Versiegelungsanteil in Siedlungsgebieten von derzeit etwa 30 % verringert und zugleich eine systematische Versickerung von Regenwasser ermöglicht, können die Abflussspitzen um 15 bis 40 % im Vergleich zu konventionell entwässerten Siedlungsflächen verringert werden.

DER AUTOR

Prof. Dr.-Ing. Theo Kötter hat seit 2003 die Professur für Städtebau und Bodenordnung an der Universität Bonn inne und forscht u. a. über nachhaltige Stadt- und Dorfentwicklung, Strategien der „Sozialen Stadt“ und des Stadtumbaus sowie integriertes Flächenmanagement. Er ist Mitglied der Deutschen Geodätischen Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Kaspar Schoppe. Gemälde von
Peter Paul Rubens, 1603
(Florenz, Galleria Palatina).



Edition

„Ego enim abiectis
paene omnibus
studiis vitae genus
immutavi“

Der Oberpfälzer Kaspar Schoppe war eine der
schillerndsten Gestalten der ersten Hälfte
des 17. Jahrhunderts in Bayern. Sein Briefwechsel
ist nun vollständig ediert.

VON MAGNUS ULRICH FERBER

SPÄTHUMANIST, Kontroverstheologe und Diplomat – bereits diese drei völlig divergierenden Beschreibungen seiner Persönlichkeit machen deutlich, wie schwer es fällt, Kaspar Schoppe (1576–1649) mit den gängigen Mustern von Karrierewegen seiner Zeit zu fassen. Ein genauere Blick auf sein Wirken erschwert eine klare Positionierung Schoppes noch mehr: Der Sohn eines reformierten pfälzischen Beamten wurde nach seiner Konversion zum Katholizismus im Jahre 1598 ein glühender Verfechter eines starken Papsttums – aber auch ein immer erbitterter Gegner des Jesuitenordens. Freiwillig lebte er im Zölibat, lehnte es allerdings ab, Kleriker zu werden. Offen versuchte er, das politische Denken Machiavellis zu rehabilitieren, und bemühte sich gleichzeitig um eine Freilassung des Utopisten Campanella.

Freiheitsliebender Polemiker

Zwei Grundzüge des Vielschreibers (er veröffentlichte mehr als 80 Werke) prägen seine Persönlichkeit durchgängig: Schoppe war zum einen immer darauf bedacht, sich seine Freiheit zu bewahren. Obwohl er sowohl für den Papst als auch für den späteren Kaiser Ferdinand II. diplomatisch tätig war, band er sich nie vollständig und auf Dauer an einen Patron. Zuweilen agierte er vollständig auf eigene Faust. Die daraus folgenden finanziellen Nachteile nahm er billigend in Kauf. Entsprechend unbeständig reiste er auch durch Europa, neben Deutschland war er in Spanien und vor allem in Italien aktiv. Zum Zweiten verfügte Schoppe über ein kaum zu bremsendes polemisches Talent, das er gegen alle möglichen Seiten zum Einsatz brachte. Dies führte schließlich dazu, dass er seine letzten Lebensjahre fast isoliert in einer Art Exil in Padua verbringen musste.

Autobiographische Texte und 1.496 Briefe

All seine Brüche und Seitenwechsel (seine *vitaegenus* wechselte er nicht nur einmal!) musste Schoppe dabei vor sich und seinen Zeitgenossen rechtfertigen. So entstanden mehrere autobiographische Texte des Oberpfälzers – und das in einem Zeitalter, als dies eher selten praktiziert wurde. Den wichtigsten davon, die zuvor nur handschriftlich in Florenz greifbare *Philotheca Scippiana*, legte der pensionierte Leiter des

Historischen Archivs der Europäischen Union ebendort, Klaus Jaitner, 2004 in einer zweibändigen Ausgabe mit einer Übersetzung von Ursula Jaitner-Hahner vor. Die Edition stellt schon aufgrund ihrer dichten Kommentierung eine wahre Fundgrube zur europäischen Kulturgeschichte dieser Zeit dar. Die dieser Edition vorangestellte Einleitung bietet zudem auf 196 Seiten eine höchst fundierte Biographie Schoppes, die all den unterschiedlichen Facetten des Oberpfälzers Rechnung trägt.

Dabei griff Jaitner bereits auf Zitate aus den 1.496 Briefen von und an Schoppe zurück, die er in seinen intensiven Recherchen nach dem Briefnachlass des Polemikers gesammelt hat. Diese Schreiben liegen nun in einer fünfbändigen Volledition vor, die wie die *Philotheca* in der Reihe „Bayerische Gelehrtenkorrespondenz“ erschienen ist, die von der Kommission für bayerische Landesgeschichte bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften herausgegeben wird.

Mühsame Rekonstruktion des Briefnachlasses

Der Wert der Edition ergibt sich schon daraus, dass von Schoppe kein geordneter Nachlass existiert. Die mühevolle Arbeit Jaitners ermöglicht es nun erstmals, schnell einen Überblick über das nachweisbare Korrespondentennetz Schoppes zu erhalten. Wichtigster Bestandteil des Briefcorpus sind die sehr regelmäßig jede Woche abgesandten Schreiben des Gelehrten an den in Rom wirkenden Arzt Johannes Faber aus Bamberg, dessen Briefsammlung sich in der Obhut der Accademia Nazionale dei Lincei in Rom befindet. Gerade in den Jahren 1608 bis 1621 macht diese Korrespondenz den Hauptteil von Schoppes nachweisbarem Briefnachlass aus. Kaum minderwichtig sind die Briefe aus dem Nachlass Schoppes, die sich in der Bibliotheca Medicea Laurenziana in Florenz befinden und vor allem die Jahre ab 1635 beleuchten. Daneben treten allerdings über 60 weitere Provenienzen. Diese aufgespürt zu haben, ist eine beachtliche wissenschaftliche Leistung des Bearbeiters.

Briefe als kulturhistorische Quelle

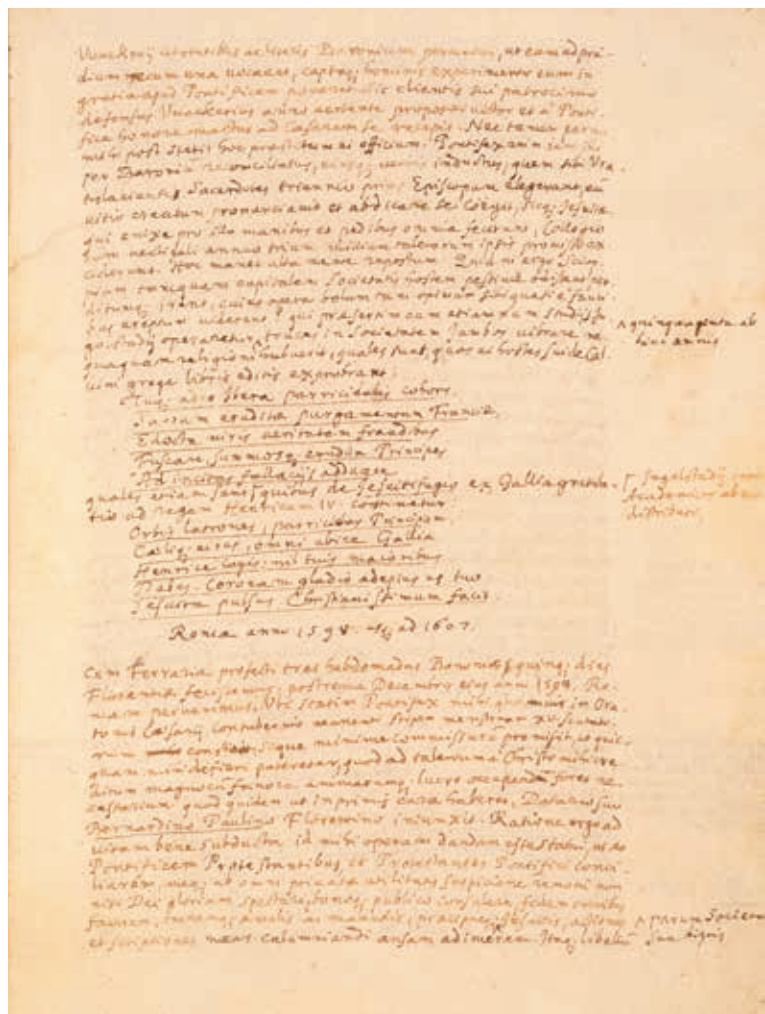
Der Biographie Schoppes entsprechend, der bereits in seiner Studienzeit in Altdorf, Heidelberg und Ingolstadt sein herausragendes philologisches Talent unter Beweis stellte, beginnt die Briefsammlung als typisch späthumanistisches Corpus. Gerade Schoppes wichtigster Lehrer und Förderer, der Altdorfer Professor Konrad Ritters-

hausen, führte seinen Schüler mustergültig in die *res publica litteraria* ein. Schoppes Konversion verhinderte allerdings eine akademische Karriere. Das im Titel erwähnte Zitat („Denn ich veränderte unter Aufgabe fast aller Studien meine Lebensweise“), das sich in einem Schreiben an seinen Studienfreund Kreckwitz vom 7. April 1598 findet, markiert deutlich seine Abkehr von den humanistischen Studien und seine Hinwendung zur Politik, wenn er im weiteren Verlauf des Schreibens auf seine Teilnahme an einer diplomatischen Mission des Kaisers nach Rom zu sprechen kommt. Dieses Beispiel macht im Vergleich zu Schoppes *Philotheca* auch deutlich, wie wichtig Briefe als historische Quelle sind. In seiner Autobiographie verschweigt der Oberpfälzer seine Konversion nämlich, da er in seinen letzten Jahren das Projekt eines Nationalkonzils verfolgte, das die Einheit der westlichen Christenheit wiederherstellen sollte – wie so viele von Schoppes Plänen eine reichlich unrealistische Vorstellung, die schon im Ansatz scheiterte. Briefe als zeitnahe Quelle mit Ort und Datum vermögen dagegen die jeweilige Situation genauer zu beschreiben, auch wenn diese ebenso wie Autobiographien nicht frei von Selbststilisierungen sind, was quellenkritisch beachtet werden muss. Gleichzeitig lässt sich aus den Briefen die Meinung eines Autors schneller und kompakter eruieren als in seinem Werk, das im Falle Schoppes allein schon deshalb schwer greifbar ist, da er sich bei seinen Veröffentlichungen unzähliger Pseudonyme bediente.

Der im Brief an Kreckwitz formulierte Bruch mit der späthumanistischen Gelehrtenwelt war bei Schoppe tatsächlich konsequent: Seine spätere Polemik gegen Joseph Justus Scaliger, einen der führenden Philologen seiner Zeit, führte zu einer ersten Isolierung Schoppes. Wie aus den Korrespondenzen hervorgeht, fand er nur unzureichend Rückhalt etwa unter katholischen Gelehrten, um seine Angriffe auf den Leidener Professor für

seine eigene wissenschaftliche Positionierung zu nutzen. Sein unbestreitbares philologisches Talent nutzte er später vor allem zu Überlegungen über den Unterricht, die in einigen Schulen auch angewandt wurden. Soweit Schoppe in seinen Briefen die lateinische Sprache nutzte, erweist er sich als Verfechter eines an Cicero orientierten Stils. Zugleich hält er sich in seinen Briefen mit Polemik eher zurück.

Sein Ausscheiden aus der *res publica litteraria* machte Schoppe allerdings durch seine Tätigkeit als Diplomat und publizistischer Propagandist wett. Gerade sein Aufenthalt auf dem Reichstag von 1608 als Informant des Papstes und seine Bemühungen um die Schaffung eines Bündnisses katholischer Reichsfürsten fanden weithin Beachtung. Zeitgleich veröffentlichte er heftige Angriffe gegen die Protestanten, so dass in ihm eine Figur sichtbar wird, die den Dreißigjährigen Krieg erkennbar herbeisehnte, um die konfessio-



Schriftprobe von Kaspar Schoppe aus dem Jahr 1644.

DER AUTOR

Dr. Magnus Ulrich Ferber ist Mitarbeiter am Editionsprojekt „Bayerische Gelehrtenkorrespondenz“ der Kommission für bayerische Landesgeschichte bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

nelle Frage eindeutig auf den Schlachtfeldern beantworten zu lassen. Nach 1630, als Schoppe auf dem Regensburger Kurfürstentag zum letzten Mal versuchte, auf die Reichspolitik Einfluss zu nehmen, ist sein Briefwechsel allerdings von den publizistischen Auseinandersetzungen mit den Jesuiten und seiner Unterstützung des angeblichen Sultans Jahja gekennzeichnet, der die Herrschaft des Osmanischen Reiches unter christlichen Vorzeichen anstrebte. Mit diesem eher phantastischen Plan verband Schoppe sogar apokalyptische Vorstellungen, die seine letzten Lebensjahre ebenso wie seine Hoffnung auf greifbare Resultate der Alchemie prägten. All die hier kurz skizzierten Themen werden in den Korrespondenzen breit diskutiert und machen das Briefcorpus zu einer wichtigen kulturgeschichtlichen Quelle.

Weitgespanntes Korrespondentennetz

Da Briefe über einen Absender und einen klar definierten Empfänger verfügen, geben sie bekanntlich auch über beide Seiten Auskunft. Bei einem gesammelten Briefcorpus wie der vorliegenden Schoppe-Korrespondenz steht somit nicht nur der Oberpfälzer Publizist, sondern ebenso sein Korrespondenznetz im Fokus, zumal Schoppes Briefpartner in beiden Funktionen, also als Absender wie auch Empfänger, in Erscheinung treten. Der wichtigste unter ihnen, der bereits erwähnte Johannes Faber, war seit 1600 Direktor der Vatikanischen Gärten und verfügte in Rom über wichtige Kontakte zur Kurie. Entsprechend gehören etwa die Kardinäle Dietrichstein, Baronius und Bandini zu den Briefpartnern Schoppes. Zuweilen schreibt Schoppe an Päpste und Kaiser sowie andere Potentaten. Auch sein zwischenzeitlicher Patron Herzog Ferdinand Gonzaga ist mit zahlreichen Briefen in der Korrespondenz vertreten. Zudem äußert sich Schoppe zur Genealogie der Wittelsbacher in Schreiben an Herzog Wilhelm V. und den bayerischen Hofhistoriographen Matthäus Rader, die für die Landesgeschichtsschreibung des 17. Jahrhunderts äußerst aufschlussreich sind. Auch Diplomaten gehören zu den Briefpartnern Schoppes. Außerdem finden sich gerade in der Frühzeit mit Konrad Rittershausen, Bonaventura Vulcanius oder Justus Lipsius bedeutende Späthumanisten unter seinen Korrespondenten. Selbstredend sandte auch Campanella Briefe an

seinen Unterstützer Schoppe ab. In seiner letzten Lebensphase tauchen vermehrt Benediktiner als Korrespondenten Schoppes auf, die ihn in seinem Kampf gegen den Jesuitenorden unterstützten. Daneben treten wichtige Freunde wie der Mailänder Kartäuser Matteo Valerio und der Florentiner Philologe Pietro Vettori. Historikern, die im Umfeld dieser Personen Forschungen betreiben, steht mit der Schoppe-Korrespondenz nun eine leicht greifbare Quelle zur Verfügung, die ihre Arbeit erleichtert. Dennoch gibt es aufgrund der Überlieferungssituation schmerzliche Lücken: Kaum eine Korrespondenz ist vollständig erhalten, meist fehlen die Antworten einer Seite. Zudem wäre beispielsweise der Austausch Schoppes mit Jahja, als dessen Diplomat sich der Oberpfälzer verstand, eine interessante Quelle, doch liegt uns leider kein Schreiben zwischen den beiden vor.

Beeindruckendes Panoptikum europäischer Eliten

Die meist italienischsprachigen Schreiben bietet Jaitner in den ersten vier Bänden der vorliegenden Edition in chronologischer Reihenfolge in Volledition. Ausführliche Regesten erleichtern den Zugang zu den Texten. Noch wichtiger dafür sind die verschiedenen Indizes, die den gesamten fünften Band ausfüllen: Dort finden sich auf den Seiten 2.487 bis 2.808 ausführliche Biographien der in den Briefen erwähnten Personen, die schon für sich genommen ein beeindruckendes Panoptikum europäischer Eliten der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts darstellen. Es folgen Quellen- und Literaturverweise sowie ein ausführliches Register.

Klaus Jaitner ist damit eine beeindruckende Edition gelungen, die einen schnellen Rückgriff auf die Person Kaspar Schoppe und sein Umfeld ermöglicht. Bleibt zu wünschen, dass das Editionsprojekt „Bayerische Gelehrtenkorrespondenz“ auf diese Weise der Wissenschaft noch viele weitere Briefquellen zur Verfügung stellen kann. ■

Edition

Klaus Jaitner (Bearb.), Kaspar Schoppe. Autobiographische Texte und Briefe. Band II: Briefe, fünf Teilbände (Bayerische Gelehrtenkorrespondenz II/II, 1–5), München 2012, C.H. Beck, 56* und 3.281 S.

Tagung

Grundlagen eines europäischen Vertragsrechts

Das Vertragsrecht gehört zum Kernbestand freiheitlich-demokratischer Rechtsordnungen. Es wird heute zunehmend vom europäischen Recht geprägt. Welche Konsequenzen ergeben sich daraus? Diesem hochaktuellen Thema widmete sich eine Tagung des Jungen Kollegs der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

VON STEFAN ARNOLD

Justitia mit Augenbinde, in der linken Hand die Waage, in der rechten das Richtschwert. Darstellung von Maarten van Heemskerck, 1556.

DIE TAGUNG „Rechtsphilosophische und rechtstheoretische Grundlagen eines europäischen Vertragsrechts“ fand im Rahmen der Workshops des Jungen Kollegs am 21. Februar 2013 unter der Leitung von Stefan Arnold (stellvertretender Sprecher des Jungen Kollegs, LMU München) in München statt. Neben den sechs hochkarätigen Sprechern fanden über 30 Teilnehmer den Weg in den Sitzungssaal der Philosophisch-historischen Klasse – ein schöner Erfolg für das Junge Kolleg, das zunehmend außerhalb der Akademie Aufmerksamkeit zu gewinnen scheint.

Die große Resonanz dürfte freilich auch in der hohen Aktualität des Tagungsthemas begründet sein. Das europäische Vertragsrecht ist zwar schon lange Realität geworden, denn viele Bereiche des Vertragsrechts sind partiell bereits durch europäisches Vertragsrecht bestimmt. Doch ist die Debatte um ein „Europäisches Bürgerliches Gesetzbuch“ neu entflammt: Mit ihrem Vorschlag vom 11. Oktober 2011 strebt die Europäische Kommission ein „Gemeinsames Europäisches Kaufrecht“ an. Der Entwurf sieht in wesentlichen Kernpunkten des Kaufrechts ein einheitliches Regelungsregime vor. Dabei liegt die Sprengkraft des Vorschlags sicher auch darin begründet, dass er den Prototyp des Vertrags betrifft, nämlich den Kaufvertrag.

Interdisziplinäre Fragestellung

Diese aktuelle Thematik wurde auf der Tagung mit Grundlagenfragen des Rechts verbunden. Es sollte nicht um eine Abhandlung des europäischen Vertragsrechts innerhalb der Grenzen rechtswissenschaftlicher Dogmatik gehen, vielmehr wurde insbesondere eine Verbindung zur Rechtsphilosophie geschaffen. Die Rechts-

philosophie ist keine Teildisziplin der Rechtswissenschaften, sie gehört der Philosophie an. Als Zweig der Philosophie zeichnet sich die Rechtsphilosophie dadurch aus, dass sie sich spezifisch juristischer Grundsatzfragen in philosophischer Manier annimmt. So verwirklichte die Veranstaltung ein zentrales Anliegen des Jungen Kollegs: Es ist der Interdisziplinarität verpflichtet, geht an die Grenzen der einzelnen Fächer und überschreitet sie auch, wenn dies einen fruchtbaren Austausch zwischen den Disziplinen ermöglichen kann.

Als Sprecher traten bei der Tagung herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf, die sich nicht nur durch ihre hochkarätige Forschung in den Rechtswissenschaften auszeichnen, sondern gerade auch durch ihre Beiträge zu Grundlagenfragen des Rechts und ihren oft interdisziplinären Forschungsansatz.

Rechtsphilosophie und Vertragsrecht

Stefan Arnold widmete seine Einführung dem Verhältnis von Rechtsphilosophie und Vertragsrecht. Er betonte, dass die Rechtsphilosophie keine unverrückbaren Wahrheiten freilegen könne. Vielmehr gehe es ihr um das Nachdenken über die grundlegenden Fragen des Rechts. Die Tagung solle vor allem als Aufforderung begriffen werden, die Entwicklung des europäischen Vertragsrechts auch mit Blick auf die grundlegenden Fragen des Rechts zu begleiten.





Die Privatrechtsgesellschaft

Karl Riesenhuber (Bochum) sprach über „Privatrechtsgesellschaft und Europäisches Vertragsrecht“. Er erarbeitete die Grundlagen der insbesondere von Franz Böhm entwickelten Lehre von der Privatrechtsgesellschaft. Die Privatrechtsgesellschaft sei auch in normativer Hinsicht begrüßenswert, weil ihr die der Erfahrung nach beste Synthese von Freiheit und Gleichheit gelinge. Riesenhuber untersuchte außerdem einzelne Aspekte des europäischen Vertragsrechts – unter anderem die Frage nach einer einheitlichen oder nach Gruppen differenzierten Ausgestaltung des Vertragsrechts, die Frage nach der Drittwirkung der Grundfreiheiten sowie mög-

liche Funktionen verhaltensökonomischer Begründungsansätze.

Gerechtigkeitskonzepte

Brigitta Lurger (Graz) stellte in ihrem Vortrag explizit die in der jüngeren Debatte oft gemiedene Frage nach der Gerechtigkeit des Vertragsrechts. Sie betonte die Schwierigkeit, eine Balance zwischen Vertragsfreiheit und Prinzipien der Fairness, der Solidarität und der Eigenverantwortung zu finden. Lurger untersuchte auch mögliche Ziele und Wirkungen staatlicher Eingriffe in Verträge und zeigte Perspektiven für die Einbindung anderer Disziplinen auf.

Das Vertragsrecht aus ökonomischer Sicht

Gerald Spindler (Göttingen) untersuchte die Thematik „Optionales oder zwingendes europäisches Vertragsrecht – eine kritische Analyse aus ökonomischer Sicht“. Er leuchtete Möglichkeiten und Grenzen aus, die für eine ökonomische Analyse des europäischen Vertragsrechts bestehen. Skeptisch beurteilte er aus ökonomischer Sicht die praktischen Erfolgchancen eines optionalen Instruments, das von den Parteien gewählt werden müsse, um Geltung zu erlangen.

Rechtsgewinnung

Carsten Herresthal (Regensburg) befasste sich mit einem Teilaspekt der methodologischen Herausforderungen, die fragmentarische supranationale Rechtsordnungen mit sich bringen: Er untersuchte die Rechtsgewinnung innerhalb einer solchen Rechtsordnung. Ein kohärentes euro-

päisches Kaufrecht zieht seiner Analyse zufolge weitreichende methodologische Konsequenzen nach sich und erfordert insbesondere die Weiterentwicklung der Methoden des Unionsrechts zur Auslegung und Fortbildung eines kohärenten europäischen Vertragsrechts.

Der Vertragsbegriff im Europarecht

Lorenz Kähler (Bremen) widmete sich dem Vertragsbegriff im Europarecht. Dabei beleuchtete er das europäische Vertragsrecht mit Blick auf normtheoretische Komponenten einer Definition des Vertrags. Er vertrat die These, dass die Entwicklung einer solchen Definition nicht gesetzlich erfolgen sollte, sondern Wissenschaft und Rechtsprechung vorzubehalten sei. Zugleich entwickelte er eine Vertragsdefinition, die an den Rechtsfolgen eines Vertrages anknüpft und damit dessen präskriptiven Aspekt beinhaltet.

Gibt es ein Konzept des Vertrags im europäischen Vertragsrecht?

Diese Frage stellte zum Abschluss der Tagung Thomas Gutmann (Münster). In eindringlicher rechtsphilosophischer Analyse begründete er die These, dass dem europäischen Vertragsrecht ein solches Konzept – das beispielsweise in einer liberal-kantianisch fundierten Vertragstheorie begründet sein könnte – abhandengekommen sei.

Kontroverse Diskussionen

Die stets pointiert vorgetragenen Thesen der Sprecher führten zu angeregten, teils sehr kontrovers geführten Diskussionen. Auch hier offenbarte sich das Grundanliegen der Tagung, die Entstehung des europäischen Vertragsrechts nicht durch endgültig festgezurrte Einsichten, sondern durch entwicklungssoffenes Nachdenken in einem Diskurs über Grundlagenfragen des Rechts zu begleiten. ■

DER AUTOR

Dr. Stefan Arnold, LL. M. (Cambridge) ist als Akademischer Rat a. Z. am Institut für Internationales Recht der LMU München tätig. Seit 2011 ist er Mitglied im Jungen Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und derzeit dessen stellvertretender Sprecher. Er forscht über „Vertrag und Verteilung – Die Bedeutung der iustitia distributiva im Vertragsrecht“.

Literatur und WWW

Stefan Arnold (Hrsg.), Grundlagen eines europäischen Vertragsrechts (≈Schriften zum Gemeinschaftsprivatrecht), sellier european law publishers, ca. 150 S., ISBN 978-3-86653-236-6, 39,00 € (erscheint im September 2013)

www.sellier.de/pages/de/buecher_s_elp/europarecht/953.htm

Die Finanzierung dieses Tagungsbandes wird von der Bayerischen Akademie der Wissenschaft unterstützt.

Gelehrten-gemeinschaft

Neue Mitglieder 2013

Am 15. Februar 2013 wählte die Akademie fünf neue Mitglieder, zwei Männer und drei Frauen.

VON ELLEN LATZIN

DIE BAYERISCHE AKADEMIE der Wissenschaften ergänzt sich einmal im Jahr durch Zuwahlen in den beiden Klassen, der Mathematisch-naturwissenschaftlichen und der Philosophisch-historischen Klasse. Gewählt werden können laut Satzung nur Gelehrte, deren Leistung „eine wesentliche Erweiterung des Wissensbestandes“ darstellt. Die Akademie besitzt das Selbstergänzungsrecht, d. h. Mitglied kann nur werden, wer auf Vorschlag von Akademiemitgliedern ohne äußeres Zutun und ausschließlich nach seinem wissenschaftlichen Ansehen gewählt wird. Eine Selbstbewerbung ist nicht möglich. Für die Wahl ist eine Dreiviertelmehrheit unter den Anwesenden der zuständigen Klasse sowie eine Zweidrittelmehrheit im Plenum erforderlich. Die Zahl der Plätze ist begrenzt. Ordentliche Mitglieder haben ihren Dienstort bzw. Wohnsitz in Bayern, sie allein sind stimmberechtigt sowie zur regelmäßigen Teilnahme an den Arbeiten und Sitzungen in der Akademie verpflichtet. Korrespondierende Mitglieder kommen aus dem übrigen Bundesgebiet oder aus dem Ausland. Derzeit hat die Akademie 175 ordentliche und 148 korrespondierende Mitglieder.

Neue Mitglieder aus der Informatik ...

Claudia Eckert ist Direktorin der Fraunhofer Einrichtung für Angewandte und Integrierte Sicherheit (AISEC), die sie seit 2008 neu aufgebaut hat. Zugleich hat sie – nach Professuren in Bremen und Darmstadt – den Lehrstuhl für Sicherheit in der Informatik und Informationstechnik an der TU München inne. Sie studierte an der Universität Bonn und wurde 1993 mit der Arbeit „Konzepte und Verfahren zur Konstruktion sicherer, verteilter Systeme“ an der TU München promoviert. Dort habilitierte sie sich anschließend auch, und zwar zum Thema „Sichere verteilte Systeme: Modelle und System-Architekturen“.

Claudia Eckert zählt zu den besten Informatikerinnen Deutschlands. Bereits als Lehrstuhlinhaberin an der TU Darmstadt baute sie die Fraunhofer Institute für Sichere Informationstechnologie in Darmstadt und Bonn sowie das



Claudia Eckert

Darmstädter CASED-Sicherheitszentrum auf, die sie jeweils auch leitete. Mit ihren Arbeiten zur Angriffserkennung durch maschinelle Lerntechniken, zu sicheren Multiparty-Protokollen für das Cloud-Computing sowie zum Einsatz und zur Weiterentwicklung von virtuellen Maschinen zur Erhöhung der Systemsicherheit hat sie das Gebiet der Sicherheit in der Informatik und Informationstechnik ebenso geprägt wie durch ihre Standardlehrbücher, etwa das Werk „IT-Sicherheit. Konzepte – Verfahren – Protokolle“. Daneben hat sie ihre wissenschaftlichen Arbeiten bei rund 120 begutachteten Konferenzen veröffentlicht. Sie entwickelt ferner Konzepte und Methoden zur Erhöhung der Sicherheit von System-Architekturen sowie datenschutzgewährende Verfahren insbesondere für den Einsatz im medizinischen Umfeld. Hier arbeitet sie mit dem Münchner Klinikum rechts der Isar zusammen.



Liqiu Meng

Claudia Eckert ist u. a. Vizepräsidentin der Gesellschaft für Informatik sowie Mitglied in zahlreichen Beiräten zur Sicherheit in der Informatik, darunter die Deutsche Gesellschaft für Recht und Informatik (DGRI), die Gesellschaft für Datenschutz und Datensicherheit e.V. (GDD) sowie die Schutzkommission des Bundesinnenministeriums.

... der Kartographie ...

Liqiu Meng studierte an der Military University of Information Engineering im chinesischen Zhengzhou Kartographie. Als chinesische Regierungsstipendiatin kam sie 1988 an die Universität Hannover, wo sie am Institut für Kartographie zum Dr.-Ing. promoviert wurde. Sie habilitierte sich anschließend an der Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) in Stockholm für Geoinformationwissenschaften.

Seit 1998 hat sie den Lehrstuhl für Kartographie an der TU München inne und gehört zu den weltweit führenden Wissenschaftlerinnen auf dem Gebiet der kartographischen Modellierung und Visualisierung von Geodaten. Sie befasst sich mit der Formalisierung kartographischen Wissens, mit neuen Methoden der Generalisierung von Geodaten für mobile Anwendungen und mit der Entwicklung raumzeitlicher Geodatenstrukturen für die Abfrage in Echtzeit. Auf

der Grundlage einer Zeichentheorie und der visuellen Wahrnehmungstheorie hat sie mit ihrem Team eine Reihe von auf den Betrachter ausgerichteten Entwurfsmustern entwickelt und implementiert. Dabei werden das Kartenbild dem Bewegungsmuster und der Geschwindigkeit, der Karteninhalt und die Symbole der Gedächtniskapazität des Betrachters angepasst. Echtzeitanwendungen in der Kartographie erfordern sehr hohe Suchgeschwindigkeiten nach Einträgen in Datenbanken mit Größen im Gigabytebereich. Das Team um Frau Meng hat Mustererkennungsverfahren zur Klassifizierung von raumzeitlichen Eigenschaften in großen Beständen mit Geodaten entwickelt, mit denen sich durch die Kombination von Klassifizierung und Indexierungsverfahren die Suchgeschwindigkeit erheblich steigern lässt.

Liqiu Meng ist Koautorin des 600-seitigen deutschsprachigen Standardwerks der Kartographie und Initiatorin und Mitherausgeberin der Buchreihe „Lecture Notes in Geoinformation and Cartography“ mit mehr als 60 Bänden. Ihre Arbeiten wurden u. a. mit der Carus-Medaille der Leopoldina in Anerkennung ihrer „innovativen Forschung und Entwicklung kartographischer Visualisierungsmethoden“ ausgezeichnet.

Seit 2008 ist Liqiu Meng Vizepräsidentin für Internationale Allianzen der TU München, außerdem gehört sie dem Senat der Helmholtz-Gemeinschaft an.

... der Mathematik ...

Barbara Wohlmuth ist Inhaberin des Lehrstuhls für Numerische Mathematik an der TU München. Sie studierte Mathematik in Grenoble und an der TU München, wo sie auch promoviert wurde. Nach ihrer Habilitation in Augsburg folgte sie einem Ruf an die Universität Stuttgart, bevor sie 2010 nach München zurückkehrte. Gastprofessuren führten sie u. a. nach Frankreich und Hongkong, sie war außerdem Gast am Courant Institute in New York und an der Université Pierre et Marie Curie in Paris.

Die international hoch angesehene Mathematikerin arbeitet auf dem Gebiet der numerischen Lösung partieller Differentialgleichungen. Partielle Differentialgleichungen sind das klassische Werkzeug zur Beschreibung grundlegender Naturgesetze, z. B. der Strömungen von Flüssigkeiten und Gasen. Während die eigentlichen Differentialgleichungen oft für eine große Klasse

von Problemen in unveränderter Form gelten, werden die spezifischen Verhältnisse im Einzelfall durch unterschiedliche Rand- und Anfangsbedingungen charakterisiert. Sie legen die Lösungen an den Rändern des Lösungsgebietes fest. Die numerische Behandlung genau dieser Bedingungen ist das zentrale Arbeitsgebiet von Barbara Wohlmuth. Bekannt wurde sie durch ihre grundlegenden Arbeiten zu den so genannten Mortar-Methoden, die es erlauben, eine nur näherungsweise gültige Beschreibung der Randbedingungen bei gleichzeitiger Kontrolle des daraus resultierenden Fehlers zu verwenden.

Zu ihren aktuellen Forschungsprojekten gehören Multiphasenprobleme in der Physik, Optionsbewertung in der Finanzmathematik, Kontaktprobleme elastoplastischer Körper mit Reibung, Akustikkopplung sowie Kapillareffekte in porösen Medien. Hinzu kommen mathematische Analysen der verwendeten Verfahren, die für die Kontrolle der Fehler unerlässlich sind und oft für ganze Verfahrensklassen einheitlich durchgeführt werden können.

Barbara Wohlmuth ist Mitherausgeberin der wichtigsten Fachzeitschriften ihres Fachgebiets und hat mehr als 150 Veröffentlichungen vorgelegt. Für ihre Forschungen erhielt sie u. a. im vergangenen Jahr den Leibniz-Preis der DFG,



Barbara Wohlmuth

ABB.: A. HEDDERGOTT



Heinrich Vahrenkamp

ferner den Sacchi-Landriani-Preis der Accademia di Scienze e Lettere, Mailand. Die Fachschaft Mathematik der TU München verlieh ihr 2012 den Preis für herausragende Lehre.

Claudia Eckert, Liqiu Meng und Barbara Wohlmuth wählte die Akademie zu ordentlichen Mitgliedern der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse.

... der Anorganischen Chemie ...

Zum korrespondierenden Mitglied der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse wurde **Heinrich Vahrenkamp** gewählt. Er studierte in Bonn und an der LMU München Chemie und wurde mit einer Arbeit über „Chemische und spektroskopische Untersuchungen an Borverbindungen“ promoviert. Nach Stationen in Marburg und an der University of Wisconsin in Madison, USA, habilitierte er sich über „Metallorganische Lewis-Basen“. Von 1973 – damals jüngster Ordinarius für Chemie in Deutschland – bis 2005 hatte er den Lehrstuhl für Anorganische Chemie an der Universität Freiburg inne. Das Freiburger Institut für Anorganische und Analytische Chemie entwickelte sich unter seiner Leitung zu einer der Spitzenadressen der Anorganischen

Chemie in Deutschland. Seit seiner Emeritierung ist er als Gastprofessor u. a. an verschiedenen chinesischen Universitäten, in Neuseeland, Finnland, Kanada, Argentinien und Thailand aktiv.

Er ist ein äußerst vielseitiger, produktiver Wissenschaftler. Seine Forschungsschwerpunkte sind u. a. die Chemie der Cluster-Verbindungen, die Kernresonanzspektroskopie, die Elektrochemie, die Kristallstrukturanalyse und in den letzten 20 Jahren v. a. die Bioorganische Chemie des Elements Zink. Mit seinen Untersuchungen zur Synthese und Reaktivität chiraler Cluster von Übergangsmetallen erregte er weltweites Aufsehen. Insgesamt hat er mehr als 460 wissenschaftliche Aufsätze veröffentlicht, setzt sich aber – etwa durch zahlreiche Vorträge weltweit – auch intensiv für die öffentliche Vermittlung chemischer Forschungsergebnisse ein. Für seine Arbeiten erhielt er u. a. den Max-Planck-Forschungspreis, den Wilhelm-Klemm-Preis der Gesellschaft Deutscher Chemiker und den Preis der Wissenschaftlichen Gesellschaft zu Freiburg für die Darstellung wissenschaftlicher Ergebnisse in allgemein verständlicher Form.

Heinrich Vahrenkamp war u. a. als Fachgutachter der DFG sowie sechs Jahre im Senatsausschuss der DFG für Sonderforschungsbereiche und als Sprecher von drei Landes-Schwerpunktprogrammen tätig. Er hat ferner als Herausgeber der Zeitschrift „Chemische Berichte“ und als Gutachter der Volkswagen-Stiftung gewirkt.

... und der Alten Geschichte

Zum ordentlichen Mitglied der Philosophisch-historischen Klasse wählte die Akademie **Martin Zimmermann**. Er ist seit 2002 Inhaber des Lehrstuhls für Alte Geschichte an der LMU München und gehört zu den führenden deutschen Althistorikern seiner Generation. Nach dem Studium der Geschichte und Germanistik in Kiel wurde er an der Universität Tübingen promoviert und habilitierte sich dort 1997.

Sein Forschungsschwerpunkt ist die historische Landeskunde Kleinasiens. Er hat, ausgehend von einer exzellenten Quellenkenntnis, eine profunde Darstellung der Landschaft Lykien im Südwesten Kleinasiens in hellenistischer und Kaiser-Zeit verfasst, mit der er diesen Raum nicht nur erstmals althistorisch erschloss, sondern zugleich auch eine exemplarische Studie einer „modernen“ Landesgeschichte vorlegte. Ein zweites Forschungsfeld liegt in der Geschichte der Hohen Kaiserzeit. Er beschäftigte sich hier mit den Formen der Repräsentation römischer Kaiser und untersuchte dabei das

Werk des Historikers Herodian, einer zentralen Quelle für die römischen Kaiser von Marc Aurel bis in die Mitte des 3. Jhdts., die er in dem Buch „Kaiser und Ereignis. Studien zum Geschichtswerk Herodians“ neu bewertete. Auch mit den drastischen Gewaltdarstellungen, die in verschiedenen Quellengattungen der Hohen Kaiserzeit zu finden sind, hat er sich auseinandergesetzt. Dass die altertumswissenschaftliche Forschung die hellenistische Polis heute neu bewertet, geht maßgeblich auch auf Martin Zimmermann zurück. In dem von ihm initiierten DFG-Schwerpunktprogramm „Die hellenistische Polis als Lebensform“ befasste er sich insbesondere mit der Chora von Pergamon und arbeitete heraus, wie effizient und stabil gerade hellenistische Städte funktionierten.

Martin Zimmermann war seit 1989 an archäologischen Feldforschungen auf dem Gebiet der antiken Polis Kyaneai beteiligt und leitete von 1999 bis 2005 das DFG-Projekt „Kleinasiatische Häfen und ihr Hinterland. Wege der Akkulturation an der lykischen Küste“ mit jährlichen Feldforschungen in Lykien. Er gehört dem Wissenschaftlichen Beirat der Gerda Henkel Stiftung an, ist Sprecher des Graduiertenkollegs „Formen von Prestige in den Kulturen des Altertums“ sowie ordentliches Mitglied des Deutschen Archäologischen Instituts.

DIE AUTORIN

Dr. Ellen Latzin leitet die Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.



Martin Zimmermann

Bayerische Geschichte

Andreas Kraus †

Zum Tod des Landeshistorikers.

VON LUDWIG HOLZFURTNER



AM 15. NOVEMBER 2012 verstarb in Greifenberg Andreas Kraus. Der in seinem 91. Lebensjahr stehende Wissenschaftler hatte 27 Jahre an den Universitäten Regensburg und (seit 1977) München gelehrt, war seit mehr als vier Jahrzehnten ordentliches Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und hatte als 1. Vorsitzender von 1978 bis 1993 die Kommission für bayerische Landesgeschichte geleitet.

Der Lebensweg des am 5. März 1922 in Erding geborenen Altbayern Kraus war indessen keineswegs so geradlinig. Nach dem Zweiten Weltkrieg, während dessen er in der Luftwaffe seinen Dienst leisten musste, studierte er von 1946 bis 1949 in München Klassische Philologie und Geschichte; Max Spindler wurde damals sein akademischer Lehrer. Seine berufliche Laufbahn begann er als Gymnasiallehrer, was er bis 1961 blieb. In den Jahren 1956 bis 1958 führte ihn ein Forschungsauftrag nach Rom. Schon damals stand die Geschichte der Historiographie im Mittelpunkt seiner wissenschaftlichen Tätigkeit.

Seine Habilitationsschrift befasste sich mit der Bedeutung der wissenschaftlichen Akademien für die historische Forschung während der Aufklärung. Diese Thematik hat er auch später nie ganz aufgegeben, obgleich ihm deswegen wiederholt, vor allem im Zusammenhang mit seiner Berufung nach München, eine veraltete Sichtweise vorgeworfen wurde.

Tatsächlich steht die Ära Kraus in ihrer Anfangszeit für personelle und fachliche Konflikte. Ganz und gar nicht der erwünschte Nachfolger seines Vorgängers Karl Bosl, weder auf dem Lehrstuhl noch im Vorsitz der Kommission, sah er sich vielen Widerständen ausgesetzt, die sich auch auf die Zahl seiner Hörer und Schüler auswirkten. Erst eine neue Generation an Studenten stand ihm mit weniger Vorbehalten gegenüber; dass die Zahl seiner Schüler dennoch überschaubar blieb, lag freilich weniger an diesen Gegensätzen,

die den Abiturienten der 1980er Jahre nicht mehr viel bedeuteten, sondern an den hohen wissenschaftlichen Ansprüchen, die er an seine Schüler stellte. Wer sich bei ihm um eine akademische Abschlussarbeit bewarb, musste schon mit der ziemlich direkten Frage rechnen, ob er denn ordentlich Latein könne – und was Andreas Kraus, seinerseits ein exzellenter Latinist, unter „ordentlich“ verstand, bekam man bald zu spüren.

Was sich nachteilig auf die Quantität auswirkte, hatte aber positive Aspekte auf einer anderen Seite: Der Anteil der Habilitierten unter den Kraus-Schülern ist ungewöhnlich hoch, ebenso wie seine Doktoranden auch zahlreiche andere Spitzenpositionen in der Wissenschaft und Verwaltung einnehmen. Bis in die jüngste Zeit wurden die Lehrstühle für Bayerische Geschichte an der Universität München ausschließlich mit seinen Schülern besetzt; seine Nachfolger im Vorsitz der Kommission für bayerische Landesgeschichte kommen ebenfalls bis heute aus diesem Umkreis. Seine Schüler vertreten innerhalb der bayerischen Geschichte aber durchaus unterschiedliche Fachrichtungen, sie operieren mit verschiedenen Forschungsansätzen und profilierten sich auch in anderer Weise individuell – und alles andere wäre für Kraus völlig untypisch gewesen. Er setzte Normen im Niveau, nicht in der Richtung.

Denn dass ihm die Forschungsansätze und Methoden seines Vorgängers auf dem Lehrstuhl fremd geblieben wären, wie ihm zuweilen vorgeworfen wird, trifft nicht den tatsächlichen Sachverhalt. Er kannte diese sehr wohl und wusste sie seinen Schülern zu vermitteln, aber er sah auch ihre zuweilen begrenzte Tragweite. Wo sie zielführend waren, durften sie eingesetzt werden, vor allem bei den Forschungen, die dem Historischen Atlas von Bayern nachfolgen mussten. Einige Arbeiten seiner Schüler, einschließlich einer Habilitationsschrift, präsentieren sich geradezu als eine Synthese der Methoden seines Vorgängers mit seinen eigenen. Kraus konnte das akzeptieren, seine Verpflichtung den historischen Tatsachen gegenüber und seine wissenschaftliche Souveränität stand über kleinkrämerischem Schuldenken, er förderte solche Ansätze und sorgte auch für die Publikation der Ergebnisse.

Die ganze bayerische Geschichte konnte freilich nach seiner Auffassung nicht auf diese Weise verarbeitet werden. Vor allem in der Leitung der Kommission kam dies zum Ausdruck. Hier galt sein Bemühen ebenso der Fortführung und Vollendung der laufenden Projekte, allen voran des Historischen Atlas von Bayern, an den er viele

seiner Schüler und Mitarbeiter herangeführt hat, sowie der Edition der bayerischen Geschichtsquellen, die sich zu Beginn seiner Zeit als Vorsitzender noch im Wesentlichen auf die „Quellen und Erörterungen zur bayerischen Geschichte“ und damit die mittelalterlichen Quellen beschränkte. Hier bewirkte Andreas Kraus eine deutliche Erweiterung, es kam mit den „Quellen zur neueren Geschichte Bayerns“ eine vollkommen neue Reihe hinzu, die in mehreren Abteilungen die Quellen des 16. bis einschließlich des 19. Jahrhunderts erfasst.

Denn nichts war Kraus fremder als das Verharren auf dem Erlernten und Gewohnten. Als er den Vorsitz der Kommission für bayerische Landesgeschichte übernahm und sich damit auf deren wissenschaftliche Horizonte einstellen musste, äußerte er einmal, dass er nun auf seine alten Tage doch noch zum Mediävisten werden müsse. Das war allerdings mehr sein typischer, hintergründig-grantelnder altbayerischer Humor, denn mediävistische Themen waren ihm vorher nicht fremd gewesen. Auch in seiner Regensburger Zeit waren wiederholt Dissertationen zum bayerischen Mittelalter entstanden, und er hatte mehrfach in den seinerzeit erbitterten Streitigkeiten um die bayerische Geschichte der Agilolfingerzeit Stellung bezogen. Er vertrat immer eine enorme, von nur wenigen anderen erreichte Bandbreite in Methodik und Thematik, der Fülle und Länge der bayerischen Geschichte mit ihren über eineinhalb Jahrtausenden Dauer verpflichtet.

Sein persönlicher Einsatz kannte lange kaum Grenzen. Erst nach seinem 80. Geburtstag zog er sich aus der wissenschaftlichen Arbeit zurück, im Bewusstsein, dass er seinen eigenen Ansprüchen wohl nicht mehr genügen konnte. Dass er sich der Gesundheit und dem Wohlergehen seiner Mitarbeiter verpflichtet fühlte, tat dem keinen Abbruch. Und bei aller Präferenz für das traditionelle Familienbild, das einer tief verwurzelten und konservativ geprägten katholischen Gläubigkeit entsprang, war er es auch, der zwei – bis heute hier tätige – wissenschaftliche Mitarbeiterinnen an der Kommission fest verpflichtete. Die persönliche Qualifikation ging vor sein konservatives Gesellschaftsverständnis.

Es war nie leicht, Andreas Kraus auf einen Nenner zu bringen, und es wird wohl auch so bleiben. Ihn einfach als einen „Konservativen“ zu stem-peln, wird ihm nicht gerecht.

DER AUTOR

Prof. Dr. Ludwig Holzfurtner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für bayerische Landesgeschichte bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften und apl. Professor an der LMU München.

Akademie intern

Kurz notiert

VON SABINE WILLNER

Runde Geburtstage

90 Jahre

Prof. em. Dr. h. c. Walter Kohn, Ph. D., Physik, am 9. März 2013.

Hon.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Reimar Lüst, Physik, am 25. März 2013.

85 Jahre

Prof. em. Dr. Dr. h. c. mult. Eberhard Witte, Betriebswirtschaftslehre, am 3. Januar 2013.

Prof. em. Dr. Dr. h. c. Peter Lerche, Öffentliches Recht, am 12. Januar 2013.

Prof. em. Dr. Dr. phil. h. c. Mario Rainer Lepsius, Soziologie, am 8. Mai 2013.

Prof. em. Dr. Dr. iur. h. c. Wolfgang Fikentscher, LL. M., Bürgerliches und Handelsrecht, Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht sowie Privatrechtsvergleichung, am 17. Mai 2013.

80 Jahre

Prof. em. Dr. Dietrich Herm, Geologie und Paläontologie, am 18. Januar 2013.

Konishi Masakazu, Bing Professor of Behavioral Biology, am 17. Februar 2013.

Prof. em. Dr. Ernst Kunz, Mathematik, am 10. März 2013.

Prof. em. Dr. Silvio Panciera, Lateinische Epigraphik, am 21. März 2013.

Prof. em. Dr. Erich Wolfgang Streissler, Volkswirtschaftslehre, Ökonometrie und Wirtschaftsgeschichte, am 8. April 2013.

Prof. em. Dr. Manfred Neumann, Volkswirtschaftslehre, am 16. Mai 2013.

Hon.-Prof. em. Dr. Dr. h. c. Joachim E. Trümper, Physik, am 27. Mai 2013.

75 Jahre

Prof. em. Dr. h. c. mult. Donald E. Knuth, Mathematik, am 10. Januar 2013.

Prof. em. Dr. Elke Blumenthal, Ägyptologie, am 25. Januar 2013.

Prof. a. D. Dr. Claus Wilcke, Altorientalistik, am 23. Februar 2013.

Prof. em. Dr. Widmar Tanner, Zellbiologie und Pflanzenphysiologie, am 3. Mai 2013.

Prof. em. Dr. Willem J. M. Levelt, Ph. D., Experimentelle Psychologie und Psycholinguistik, am 17. Mai 2013.

70 Jahre

Prof. em. Dr. Otto Kresten, Byzantinistik, am 27. Januar 2013.

Hon.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Wolf Singer, Physiologie, am 9. März 2013.

Prof. Dr. Hendrik Birus, Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft, am 16. April 2013.

Prof. a. D. Dr. Wolf Dieter Blümel, Physische Geographie, am 12. Mai 2013.

Prof. Malcolm Burrows, Ph. D., Sc. D., F. R. S., Neurobiologie, am 28. Mai 2013.

65 Jahre

Prof. Dr. Drs. h. c. Hans-Werner Sinn, Nationalökonomie und Finanzwissenschaft, am 7. März 2013.

Prof. Dr. Heinrich Römer, Zoologie, am 13. März 2013.

Verstorben

Hon.-Prof. a. D. Dr. Werner Sundermann, Iranistik, * 22. Dezember 1935 † 12. Oktober 2012.

Prof. Dr. h. c. Itzchak Parnas, Ph. D., Neurobiologie, * 11. November 1935 † 29. November 2012.

Prof. Carl R. Woese, Ph. D., Biologie, * 15. Juli 1928 † 30. Dezember 2012.

Prof. em. Dr. Dr. h. c. mult. Gottfried Landwehr, Experimentalphysik, * 22. August 1929 † 24. Januar 2013.

Prof. Ronald Dworkin, Ph. D., Law, * 11. Dezember 1931 † 14. Februar 2013.

Prof. em. Dr. Rudolf Sellheim, Orientalistik, * 15. Januar 1928 † 9. März 2013.

Prof. em. Dr. Hans-Jürgen Bolle, Meteorologie und Geophysik, * 29. Januar 1929 † 13. März 2013.

Ehrendoktorwürden

Prof. em. Dr. Dr. h. c. mult. Claus-Wilhelm Canaris, Bürgerliches Recht, Handels- und Arbeitsrecht sowie Rechtsphilosophie, Ehrendoktorwürden der Universidad Iberoamericana, Santo Domingo, und der Universidad Autónoma de Santo Domingo.

DIE AUTORIN

Sabine Willner M. A. bacc. phil. ist Mitarbeiterin der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

Mitgliedschaften

Prof. Dr. Michael Brenner, Jüdische Geschichte und Kultur, Mitglied der Accademia Nazionale Virgiliana di Science Lettere e Arti, Mantua.

Hon.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Wolf Singer, Physiologie, Ehrenmitglied der Biologischen Sektion der Ungarischen Akademie der Wissenschaften.

Prof. Dr. Michael F. Zimmermann, Kunstgeschichte, ordentliches Mitglied der Academia Europaea / The Academy of Europe, London.

Orden, Preise und Ehrungen

Prof. Jutta Allmendinger, Ph. D., Bildungssoziologie und Arbeitsmarktforschung, Schader-Preis 2013.

Hon.-Prof. Dr. Peter Gruss, Bayerischer Maximiliansorden für Wissenschaft und Kunst.

Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Jörg Hacker, Molekulare Infektionsbiologie, Bayerischer Maximiliansorden für Wissenschaft und Kunst.

Ausgeschiedene Mitarbeiter

Adelheid Spennesberger, technische Angestellte am Leibniz-Rechenzentrum, am 31. Dezember 2012.

Agathe Fiedler, Mitarbeiterin in der Akademieverwaltung, am 17. Februar 2013.

Gisela von Klaudy, Mitarbeiterin in der Akademieverwaltung, am 28. Februar 2013.

Nina Fischer, M. Sc., Mitarbeiterin in der Akademieverwaltung, am 22. März 2013

Namvar Jahanmehr, technischer Angestellter am Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung (WMI), am 31. März 2013.

Brigitte Sturm, Mitarbeiterin in der Akademieverwaltung, am 30. April 2013.

Neue Mitarbeiter

Josephine Fechner M. A., wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für Keilschriftforschung und Vorderasiatische Archäologie, am 1. Januar 2013.

Samyo Rode M. A., wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für zentral- und ostasiatische Studien, am 1. Januar 2013.

Kathrin Kraller B. A., wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für die Herausgabe eines altokzitanischen Wörterbuches, am 15. Januar 2013.

Christian Wolf M. A., Mitarbeiter in der Akademieverwaltung, am 20. Februar 2013.

Dr. Anja Wendt, wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für Erdmessung und Glaziologie, Abteilung Erdmessung, am 1. April 2013.

Heike Bein, Mitarbeiterin in der Akademieverwaltung, am 15. April 2013.

Dr. Benno van Dalen, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsprojekt „Ptolemaeus Arabus et Latinus“ (Kommission für Wissenschaftsgeschichte), am 1. Mai 2013.

Guido Drexel M. A., wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Rechenzentrum (LRZ), am 1. Mai 2013.

Dr. Christian Friedl, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für die Herausgabe der Urkunden Kaiser Friedrichs II., am 1. Mai 2013.

Dr. David Juste, wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsprojekt „Ptolemaeus Arabus et Latinus“ (Kommission für Wissenschaftsgeschichte), am 1. Mai 2013.

Dr. Martin Schulz, wissenschaftlicher Mitarbeiter der Kommission für das Corpus Vasorum Antiquorum, am 1. Mai 2013.

Dienstjubiläen

25-jähriges Dienstjubiläum

Hannelore Apel, Mitarbeiterin in der Verwaltung des Leibniz-Rechenzentrums (LRZ), am 1. Januar 2013.

Rudi Peeger-Pilger, technischer Angestellter am Leibniz-Rechenzentrum (LRZ), am 13. Januar 2013.

Annegrit Specht, Mitarbeiterin in der Akademieverwaltung, am 1. März 2013.

Dr. Gertraud Zull, wissenschaftliche Mitarbeiterin der Kommission für bayerische Landesgeschichte, Institut für Volkskunde, am 13. Mai 2013.

Weitere Personalien

PD Dr. habil. Dietrich Einzel, **Dr. Johannes John**, **Katrin Otte** und **Drs Marijke Ottink**, Wahl zu Sprechern der hauptberuflich tätigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Akademie.

Dr. habil. Andreas Erb, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung (WMI), wurde zum Honorarprofessor für Experimentalphysik an der Universität Leipzig ernannt.

PD Dr. Petra Maurer, Mitarbeiterin der Kommission für zentral- und ostasiatische Studien, wurde zur außerplanmäßigen Professorin an der Ludwig-Maximilians-Universität München ernannt.

Prof. a. D. Dr. Gerhard Regn, Romanische Philologie, wurde zum Honorarprofessor an der Universität Köln ernannt.

Dr. Mathias Weiler, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Walther-Meißner-Institut für Tieftemperaturforschung (WMI), Preis der Dimitris N. Chorafas Foundation für seine Doktorarbeit.

Juni bis Oktober 2013

JUNI 2013

Donnerstag, 27. Juni 2013

Die Innenwelt des Bienenvolkes – ein selbstgeschaffenes Universum

Vortrag von Prof. Dr. Jürgen Tautz (Würzburg) im Rahmen der Reihe „Die faszinierende Welt der Insekten“.

*Plenarsaal
18.00 Uhr*

JULI 2013

Montag, 1. Juli 2013

Kronprinz Rupprecht von Bayern als militärischer Führer im Ersten Weltkrieg

Vortrag von Prof. Dr. Holger Afflerbach (Leeds), Stipendiat des Historischen Kollegs München im Kollegjahr 2012/2013.

*Plenarsaal
19.00 Uhr*

Dienstag, 9. Juli 2013

Der Superorganismus: Kommunikation und Kooperation in Ameisengesellschaften

Vortrag von Prof. Dr. Bert Hölldobler (Würzburg/Tempe/BAdW) im Rahmen der Reihe „Die faszinierende Welt der Insekten“.

*Plenarsaal
18.00 Uhr*

Mittwoch, 10. Juli bis Freitag, 12. Juli 2013

Gefährdete Sprachen

19. LIPP-Symposium der Graduiertenschule Sprache & Literatur München, Klasse für Sprache in Kooperation mit der Kommission für Mundartforschung.

Kontakt: symposium2013@lipp.lmu.de
Programm: www.lipp-lmu.de/Gastprogramm/Symposium/19-LIPPSymposium

*Phil.-hist. Saal
ganztägig*

Mittwoch, 17. Juli bis Freitag, 19. Juli 2013

Mythos und Mythologie: Von Vico bis zum frühen Schelling

Tagung der Kommission zur Herausgabe der Werke von Schelling, organisiert von Prof. Dr. Frank Büttner (LMU München/BAdW), Prof. Dr. Friedrich Vollhardt (LMU München), Dr. Arne Zerbst (BAdW), in Kooperation mit der Internationalen Schelling-Gesellschaft und der Deutschen Gesellschaft für die Erforschung des 19. Jahrhunderts.

*Phil.-hist. Saal
ganztägig*

Dienstag, 23. Juli 2013

Schlechte Augen, kluge Köpfe: Über das Heimfindervermögen der Insekten

Vortrag von Prof. Jochen Zeil Ph. D. (Canberra/BAdW) im Rahmen der Reihe „Die faszinierende Welt der Insekten“.

*Plenarsaal
18.00 Uhr*

AUGUST 2013

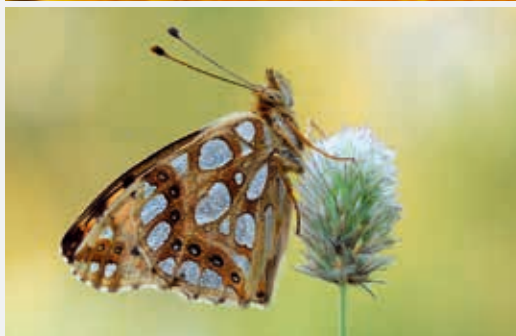
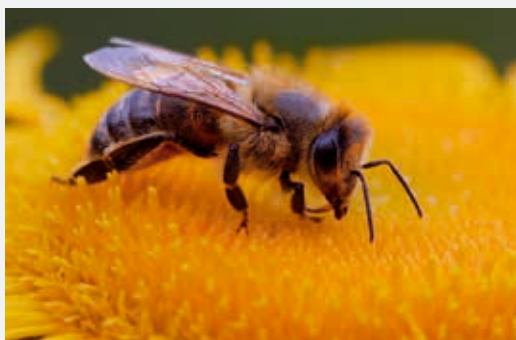
Dienstag, 6. August 2013

Julius Wellhausen (1844–1918) in seinen Briefen

Lesung von Prof. Dr. Rudolf Smend (Göttingen/BAdW) über die Edition der Briefe von Julius Wellhausen, anlässlich des 21. Weltkongresses der alttestamentlichen Wissenschaft in München.

*Plenarsaal
18.30 Uhr*

Nahezu eine Million Insektenarten sind heute bekannt, Millionen unentdeckter Arten werden noch vermutet. Eine Vortragsreihe gibt noch bis Ende Juli Einblick in die faszinierende Welt der Insekten und stellt aktuelle Forschungen über deren visuelle, kommunikative, kooperative und kognitive Fähigkeiten vor. Vier Vorträge der Reihe werden von BR alpha aufgezeichnet und voraussichtlich im Herbst 2013 ausgestrahlt.



SEPTEMBER 2013

Freitag, 20. September 2013

Modelling of Self-Healing Materials

Workshop im Rahmen des Jungen Kollegs der Akademie; Organisation: Prof. Dr.-Ing. Julia Mergheim (Erlangen/Junges Kolleg der BAdW).

*Sitzungssaal
ganztägig*

Dienstag, 24. September 2013

Die Bologna-Reform – eine gute Idee schlecht umgesetzt?

Fishbowl-Diskussion in Kooperation mit der Bayerischen EliteAkademie, u. a. mit Liqiu Meng (TU München/BAdW), Hans-Ulrich Küpper (LMU München/Bayerische EliteAkademie); Moderation: Heike Schmoll (FAZ).

*Vorbibliothek und Bibliothek
16.30 Uhr*

Nur mit Einladung

Montag, 30. September 2013

Erfolgsmodell Europa? Visionen versus Krisen (Arbeitstitel)

Podiumsdiskussion in der Reihe „aktuell & kontrovers“, mit Prof. Dr. Claus Leggewie (Duisburg-Essen), Prof. Dr. Jutta Limbach, Prof. Dr. Werner Weidenfeld (LMU München), Prof. Dr. Andreas Wirsching (LMU München/BAdW); Moderation: Kurt Kister (Süddeutsche Zeitung).

*Plenarsaal
18.00 Uhr*

OKTOBER 2013

Dienstag, 8./Mittwoch, 9. Oktober 2013

Heuristic Mechanisms in Natural and Artificial Cognitive Systems

Workshop im Rahmen des Jungen Kollegs der Akademie; Organisation: Prof. Dr. Alexandra Kirsch (Tübingen/Junges Kolleg der BAdW).

*Sitzungssaal
ganztägig*

Mittwoch, 23. Oktober 2013

Verteilungskampf oder Solidarität? Generationengerechtigkeit im Zeichen des demografischen Wandels

Podiumsdiskussion in Kooperation mit der Initiative „Geisteswissenschaft im Dialog“, anlässlich des Wissenschaftsjahres 2013, „Die demografische Chance“, u. a. mit Prof. Dr. Dieter Frey (LMU München/BAdW).

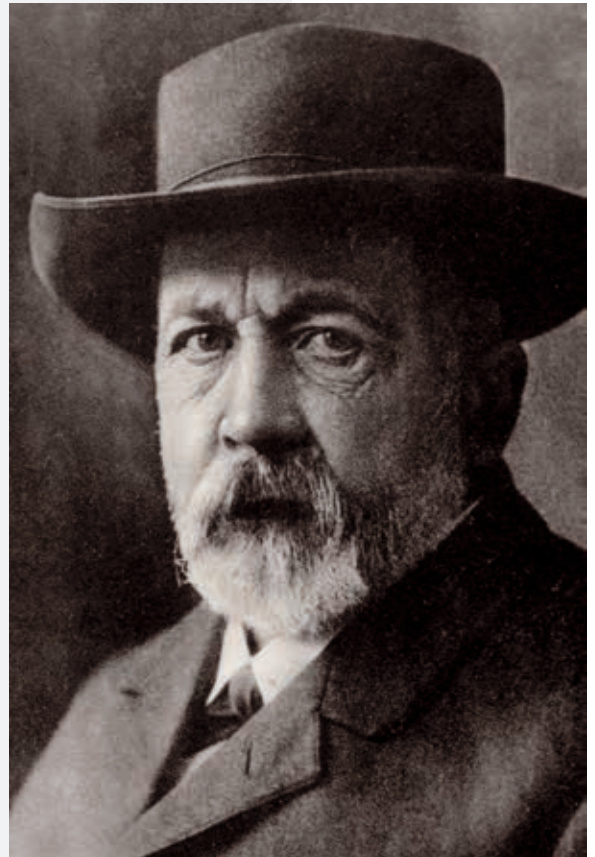
*Plenarsaal
18.00 Uhr*

Montag, 28. Oktober 2013

Akademientag 2013: Die Gegenwart der Aufklärung

Vorträge, u. a. von Friedrich Wilhelm Graf (München/BAdW) und Informationsstände, u. a. der Schelling- und der Fichte-Kommission der BAdW.

*Berlin-Brandenburgische
Akademie der Wissenschaften
Jägerstr. 22/23
10117 Berlin
12.00–18.00 Uhr*



Wenn es eine Zentralfigur der neuzeitlichen Wissenschaft vom Alten Testament gibt, ist es Julius Wellhausen (1844–1918). Der Theologe und Orientalist war u. a. Professor in Greifswald, Halle, Marburg und Göttingen. Bislang gibt es noch keine Biographie Wellhausens. In der Lesung am 6. August 2013 entsteht aus ausgewählten Briefen ein Bild seiner Person und seines Lebenswerks.

Kurzfristige Änderungen und Ergänzungen finden Sie unter www.badw.de/aktuell/termine

Auf einen Blick

Die Bayerische Akademie der Wissenschaften, gegründet 1759 von Kurfürst Max III. Joseph, ist eine der größten und ältesten Wissenschaftsakademien in Deutschland. Sie ist zugleich Gelehrten-gesellschaft und Forschungseinrichtung von internationalem Rang.



Eisbohrerarbeiten auf dem Vernagtferner. Mit heißem Dampf werden 10 bis 16 m tiefe Löcher in das Eis gebohrt, um die Abschmelzung an diesen Stellen mit Hilfe von Pegelstangen zu bestimmen.

Sie interessieren sich für die Veranstaltungen des Hauses oder die Zeitschrift „Akademie Aktuell“? Gerne nehmen wir Sie in unseren Verteiler auf.

KONTAKT

Dr. Ellen Latzin
Tel. 089-23031-1141
presse@badw.de

Gelehrte Gesellschaft ...

Die Mitglieder bilden die Gelehrte Gesellschaft der Akademie. Satzungsgemäß müssen sie durch ihre Forschungen zu einer „wesentlichen Erweiterung des Wissensbestandes“ beigetragen haben. Eine Selbstbewerbung ist nicht möglich. Die ordentlichen Mitglieder, mit Wohnsitz oder Dienort in Bayern, sind

stimmberechtigt und zur Teilnahme an den Sitzungen und Arbeiten der Akademie verpflichtet. Derzeit hat die Akademie 175 ordentliche und 148 korrespondierende Mitglieder sowie ein Ehrenmitglied. Dem exzellenten Nachwuchs in Bayern dient das Junge Kolleg, das den Mitgliedern neben finanzieller Unterstützung ein hochkarätiges Forum für den interdisziplinären Austausch bietet. Sie treffen sich u. a. regelmäßig mit dem Präsidenten und ihren Mentoren in der Akademie.

... und außeruniversitäre Forschungseinrichtung

Die rund 330 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Akademie betreiben in 36 Kommissionen Grundlagenforschung in den Geistes- und Naturwissenschaften. Der Schwerpunkt liegt dabei auf langfristigen Vorhaben, die die Basis für weiterführende Forschungen liefern und die kulturelle Überlieferung sichern, darunter kritische Editionen, wissenschaftliche Wörterbücher sowie exakt erhobene Messreihen. Die Akademie, die seit 1959 im Nordostflügel der Münchner Residenz beheimatet ist, ist ferner Trägerin des Leibniz-Rechenzentrums, eines von drei nationalen Höchstleistungsrechenzentren, und des Walther-Meißner-Instituts für Tieftemperaturforschung. Beide Einrichtungen haben ihren Sitz in Garching bei München.

Mit regelmäßigen Veranstaltungen – auch in Kooperation mit Universitäten und anderen Wissenschaftseinrichtungen – wendet sich die Akademie an das wissenschaftliche Fachpublikum, aber auch an die interessierte Öffentlichkeit: Vortragsreihen, Podiumsdiskussionen oder Gesprächs-abende informieren über neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Forschung.

Impressum

HERAUSGEBER

Prof. Dr. rer. nat. Karl-Heinz Hoffmann
Präsident der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (BAW)

KONZEPT UND CHEFREDAKTION

Dr. Ellen Latzin
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der BAdW

ART DIRECTION

Tausendblauwerk, Michael Berwanger
info@tausendblauwerk.de
www.tausendblauwerk.de

VERLAG UND ANSCHRIFT

Bayerische Akademie der Wissenschaften
Alfons-Goppel-Straße 11, 80539 München
Tel. 089-23031-0
info@badw.de

ISSN 1436-753X

ANZEIGEN

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit der BAdW

HERSTELLUNG

Landesamt für Vermessung und Geoinformation
Alexandrastraße 4, 80538 München

REDAKTIONSSCHLUSS DIESER AUSGABE

9. Mai 2013

Erscheinungsweise: 4 Hefte pro Jahr. Der Bezugspreis ist im Mitgliedsbeitrag der Freunde der BAdW enthalten. Die Texte dürfen nur mit Genehmigung der BAdW reproduziert werden, um ein Belegexemplar wird gebeten. Die Wiedergabe der Abbildungen ist mit den Inhabern der Bildrechte abzuklären. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben die Meinung der Autoren wieder. Sie finden das Magazin auch unter www.badw.de.

Junges Kolleg der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Bewerbungsschluss: 15. September 2013

Voraussetzung für die Aufnahme in das Kolleg sind eine herausragende Promotion sowie eine kreative und zukunftsweisende Forschungsidee, die zum fächerübergreifenden Austausch geeignet ist. Vorschlagsberechtigt sind die Leitungen der Universitäten in Bayern, die Dekane oder Dekaninnen dieser Universitäten sowie die Leitungen der Max-Planck-Institute und anderer wissenschaftlicher Einrichtungen in Bayern. Eine Eigenbewerbung ist ebenfalls möglich. Es sind zwei wissenschaftliche Gutachten von fachlich qualifizierten Personen beizufügen, die auch bereit sind, das Forschungsvorhaben als Mentoren zu unterstützen.

Als Bewerberin oder Bewerber sollten Sie zum Zeitpunkt der Aufnahme das 34. Lebensjahr nicht überschritten haben. Sie arbeiten in Bayern in der Regel an einer wissenschaftlichen Hochschule oder einer wissenschaftlichen Einrichtung und übernehmen die Verpflichtung, an den Veranstaltungen des Kollegs teilzunehmen. Dabei wird Ihnen Gelegenheit gegeben, Ihre Forschungen im fachübergreifenden Gedankenaustausch mit den Kollegiatinnen und Kollegiaten und mit Spitzenwissenschaftler/innen zu diskutieren.

Das Junge Kolleg ist mit einem Forschungsstipendium in Höhe von jährlich 12.000 € pro Person dotiert und zunächst auf eine Förderdauer von drei Jahren angelegt. Bei einer erfolgreichen Evaluierung kann die Förderung um bis zu drei Jahre verlängert werden. Die Mittel können zum Lebensunterhalt oder auch für die Forschungsarbeiten eingesetzt werden.

Bewerbungen mit dem im Internet bereitgestellten Antragsformular, Lebenslauf, einer Liste schon erschienener oder im Manuskript vorliegender Veröffentlichungen und aussagekräftigen Angaben über den bisherigen wissenschaftlichen Werdegang sowie einer überzeugenden, auf fünf Seiten zusammengefassten Begründung Ihres Forschungsvorhabens (die Unterlagen werden nicht zurückgeschickt) sowie den beiden oben genannten Gutachten sind bis **15. September 2013** zu richten an den Präsidenten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Alfons-Goppel-Str. 11, 80539 München. Fügen Sie bitte außerdem eine elektronische Fassung auf einem Datenträger bei oder senden Sie Ihre Bewerbung per E-Mail an: personal@badw.de.



Bayerische
Akademie der Wissenschaften

Weitere Informationen zum Jungen Kolleg finden Sie im Internet unter

www.badw.de/foerderkolleg