

System Erde

GFZ-Journal

GFZ

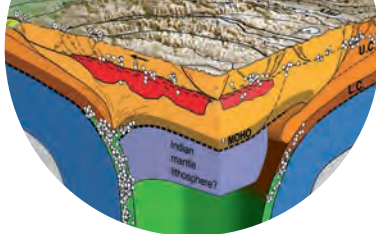
Helmholtz-Zentrum
POTS DAM

2013 – Heft 2

SCHWERPUNKT

Zentralasien





Inhalt



Titelbild

Gebirgsregion in der Autonomen Provinz Kuhistoni-Badachson, Tadschikistan

Das Foto entstand während einer Exkursion von GFZ-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftlern des „Zentrums für Frühwarnung“ gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen aus Zentralasien. Ziel der Fahrt war die Suche nach geeigneten Standorten für geplante seismische Strong-Motion-Stationen (Foto: D. Bindi, GFZ).

6

Können Kontinente untertauchen?

Kontinentkollision und -subduktion – Tektonik, Tiefenstruktur und geodynamische Prozesse unter dem Pamir, Tien Shan und Hindukusch
Bernd Schurr, James Mechie, Xiaohui Yuan, Felix M. Schneider, Christian Sippel

12

Ultrahochdruck-Eklogite aus dem nordwestlichen Himalaya: eine Studie zu den Druck-Temperatur-Zeit-Bedingungen ihrer Exhumation

Franziska D. H. Wilke

18

Noch Sekunden bis zu Erschütterung: Ein Erdbebenfrühwarnsystem für Bischkek

Tobias Boxberger, Marco Pilz, Sagynbek Orunbaev, Massimiliano Pittore, Kevin Fleming, Claus Milkereit, Stefano Parolai, Dino Bindi

Impressum

Herausgeber:

Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard Hüttl
Dr. Stefan Schwartze

Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam

Redaktion:

Dr. Dietlinde Friedrich (Koordination)
Dr. Oliver Bens
Franz Ossing (V.i.S.d.P.)

Layout:

UNICOM Werbeagentur GmbH
Grit Schwalbe, GFZ

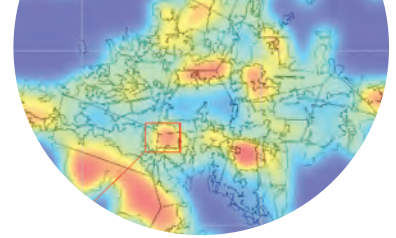
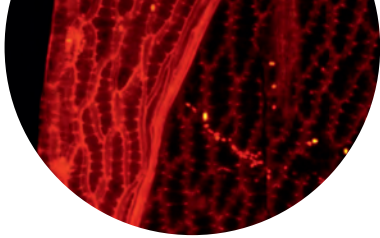
Druck:

Druckerei Arnold, Großbeeren

© Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ 2013
ISSN 2191-8589



Alle Artikel auch im Internet verfügbar:
systemerde.gfz-potsdam.de



24

Risikoanalysen in Zentralasien

Massimiliano Pittore, Marc Wieland, Dino Bindi, Shahid Ullah, Marco Pilz, Kevin Fleming, Stefano Parolai

32

Massenbewegungen in Zentralasien – Lawinen aus Boden und Gestein

Marco Pilz, Sigrid Roessner, Christoph Janssen, Robert Behling, Stefano Parolai, Annamaria Saponaro, Maike Schäbitz

38

Wie steht es um die Gletscher in Zentralasien?

Ein Lagebericht auf der Grundlage satelliten- und bodengestützter Messungen
Daniel Farinotti, Andreas Güntner, Franz Barthelmes, Sergiy Vorogushyn, Doris Düthmann

44

Geochemische Untersuchungen an Moränen des Inylchek-Gletschers im Tien Shan

Knut Hahne, Rudolf Naumann, Samuel Niedermann, Hans-Ulrich Wetzel, Silke Merchel, Georg Rugel

50

Konflikte um die Georessource Wasser in Zentralasien

Analyse und Neuausrichtung von Entwicklungspfaden im Ferganatal
Sebastian Hoehstetter, Oliver Bens, Christine Bismuth

56

Paläoklima, Umwelt und Klimawandel in Zentralasien

Jens Mingram, Stefan Lauterbach, Sushma Prasad, Gerd Helle, Birgit Plessen, Georg Schettler

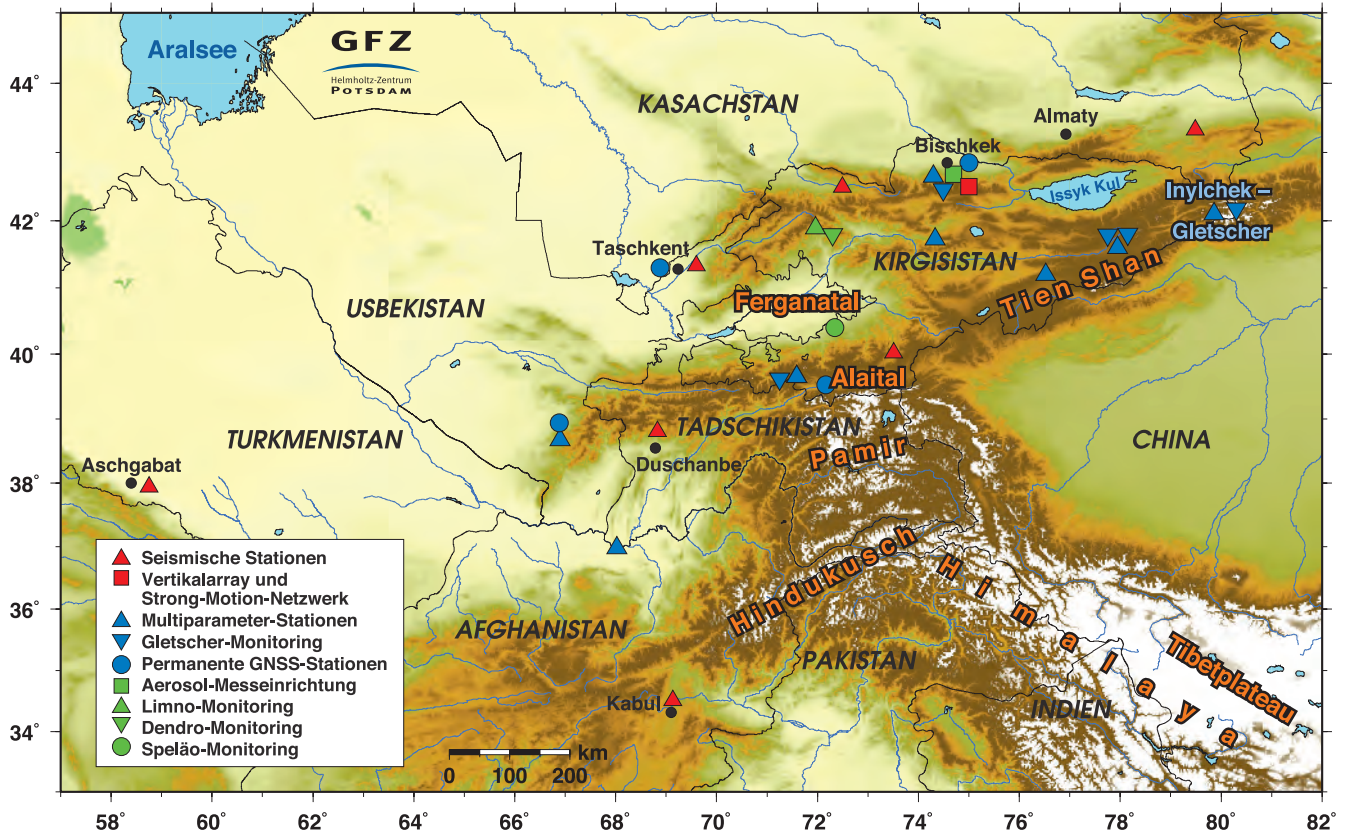
66 Netzwerk

- 66 Forschen in Zentralasien – Interviews mit vier Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern
- 70 Das Zentralasiatische Institut für Geowissenschaften (ZAIAG)
- 72 Wissenstransfer: Aus- und Weiterbildung in Zentralasien
- 74 SWARM – Satellitentrio zur Erforschung des Erdmagnetfelds
- 75 Satellit GOCE verglüht
- 75 Grönlands Eis schmilzt – auch von unten
- 76 Sauerstoff, Phosphor und frühes Leben auf der Erde

- 76 Einweihung des neuen Sekundärionen-massenspektrometer-Labors
- 77 150 Jahre internationale Kooperation in der Geodäsie
- 77 CO₂-Einspeisung am Pilotstandort Ketzin
- 79 ICDP-Konferenz in Potsdam
- 79 Internationale Zusammenarbeit

81 Ausgezeichnet

85 Bücher



Erdsystem-Observatorium Zentralasien

Observatorien sind ein Schlüsselwerkzeug für das Verständnis des Systems Erde, die Beobachtung von Naturgefahren und die Analyse weltweiter Veränderungen. Das GFZ installiert und betreibt daher gemeinsam mit internationalen Partnerinstitutionen im Erdsystem-Observatorium Zentralasien eine umfangreiche permanente Instrumentierung.

Editorial

Zentralasien – ein Reallabor und Observatorium für die Geowissenschaften



Der Schwerpunkt dieses GFZ-Journals System Erde liegt auf Zentralasien. Der Zusammenstoß von Indien und Eurasien, eine Kontinent-Kontinent-Kollision, war seit Gründung des Deutschen GeoForschungs-Zentrums GFZ Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Standen zunächst die seismologisch-tektonischen Vorgänge im Vordergrund, so hat sich Zentralasien im Laufe der Jahre als eine Region erwiesen, in der sich die internen und auf der Oberfläche ablaufenden Vorgänge im System Erde in einer solchen Weise konzentrieren, dass sich dieses Gebiet ideal als Erdsystem-Observatorium eignet.

Mit der Receiver-Function-Methode ausgewertete Datensätze belegten bereits in der Mitte der 1990er-Jahre, dass der Zusammenstoß von Indien und Eurasien Wirkungen bis weit über den Nordrand des Himalaya hinaus erzeugte. GPS-Messungen im Gebiet des Pamir und Tien Shan ergaben zusätzlich Belege für ein hochdynamisches Verhalten dieses Teils von Eurasien.

Die Gründung des in der kirgisischen Hauptstadt Bischkek ansässigen Zentralasiatischen Instituts für angewandte Geowissenschaften (ZAIAG) durch das GFZ und die kirgisische Regierung im Jahre 2004 erweiterte das geowissenschaftliche Arbeitsfeld wesentlich. Zu der eher grundlagenorientierten geophysikalisch-plattentektonischen Forschung gesellte sich nun der Aspekt des globalen Wandels. Zentralasien mit seinen Gletschern, aber auch seinen ariden Gebieten, zeigt sich als hochsensible Region, die auf die globale Klimaänderung sehr empfindlich reagiert. Davon sind alle Nationen Zentralasiens betroffen. Wasser ist die wichtigste Ressource und hat daher ein hohes Konfliktpotential. Der Abfluss aus den Gletschern bildet die wichtigste Quelle verfügbaren Wassers. Die nachhaltige Nutzung von Wasser ist daher eine Schlüsselaufgabe der Entwicklung dieser großen Region. Zugleich ist Zentralasien aufgrund seiner aktiven und dynamischen Tektonik hochgradig gefährdet durch Erdbeben und Hangrutschungen.

Wir haben es in Zentralasien mit einer engen Verknüpfung von Prozessen der Atmosphäre, der Erdoberfläche und der Tektonik zu tun, die hier in ihren wechselseitigen Interaktionen zu beobachten und zu analysieren sind. Das geht weit über die Erforschung von Naturgefahren hinaus: Geowissenschaftliche Forschung und gesellschaftliche Daseinsfürsorge sind hier aufs Engste miteinander verbunden.

Das spiegelt sich im weiten Spektrum der hier eingesetzten Werkzeuge, Verfahren und Methoden wider: Geländearbeit im Hochgebirge, Mikrozonierung urbaner Gebiete, permanentes Monitoring sowie Modellierung tektonischer und klimatischer Prozesse, Befliegung mit Hubschraubern, welt-raumgestützte Erdbeobachtung liefern Daten und Informationen, mit denen die Vorgänge in dieser Region exemplarisch geowissenschaftlich erschlossen werden. Dass diese Arbeiten in großen, internationalen Verbänden vor sich gehen, ist dabei schon nahezu selbstverständlich. Über die naheliegende wissenschaftliche Zusammenarbeit mit den zentralasiatischen Staaten hinaus sind weltweit Partner insbesondere in die Messkampagnen und deren Auswertungen eingebunden. Einen Einblick in diese Arbeiten will das vorliegende Heft geben.

Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard F. Hüttl
Wissenschaftlicher Vorstand

Dr. Stefan Schwartz
Administrativer Vorstand

Können Kontinente untertauchen?

Kontinentkollision und -subduktion – Tektonik, Tiefenstruktur und geodynamische Prozesse unter dem Pamir, Tien Shan und Hindukusch

*Bernd Schurr, James Mechie, Xiaohui Yuan, Felix M. Schneider, Christian Sippl
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam*

The Pamir and Hindu Kush seismic zones, at the northwest corner of the India-Asia collision zone, are unique in that they are the only seismic zones in the heart of a continent with deep earthquakes at 90 to 250 km depth. Since 2008, the GFZ has operated several temporary seismological networks in the central Asian region in Tajikistan, Kyrgyzstan and most recently Afghanistan, together with local partners. The aims of these experiments have been to try to understand these deep seismic zones and to elucidate the crustal and mantle structure beneath the region. To date, the analysis of the seismological data shows that under the Pamir, the cold Asian mantle lithosphere descends (subducts), together with the lower crust and a part of the overlying middle crust, in a strongly curved, cone-shaped arc. At about 90 to 100 km depth, the middle crust detaches from the lower crust, pools and subsequently either stays there or rises back towards the surface due to its buoyancy. Only the lower crust descends completely to greater depths. Mineral reactions within the lower crust are most probably responsible for the deep earthquakes. Thus, in answer to the question posed by the title, only the lower continental crust seems able to descend (subduct), together with the continental lithospheric mantle, back deep into the Earth. The bulk of the crust (i.e. the upper and middle crust) remains at crustal levels and contributes to crustal thickening and mountain building.



Mit der Theorie der Plattentektonik können die groben Bewegungs- und Verformungsmuster unserer Kontinente und Ozeane erklärt werden. Zwar unterscheiden sich ozeanische Platten mit ihrer dünnen, basaltischen Kruste und kontinentale Platten mit ihrer mächtigen, granitischen Kruste in ihren physikalischen und mechanischen Eigenschaften deutlich, trotzdem ist ihr Verhalten, zumindest an divergenten und konservativen Plattengrenzen, sehr ähnlich. In intrakontinentalen Riftzonen brechen Kontinente auseinander und an mittelozeanischen Rücken entsteht neue Ozeankruste jeweils entlang langer, schmaler Grabensysteme. An Transformergrenzen gleiten ozeanische oder kontinentale Platten als Blattverschiebungen aneinander vorbei. Nur an konvergenten Plattenrändern ist das Verhalten dieser zwei Krustentypen grundverschieden. Ozeanische Platten tauchen aufgrund ihrer großen Dichte in Subduktionszonen unter und werden im Erdmantel verschluckt. Kontinentale Lithosphäre ist dagegen leichter als die darunter liegende Asthenosphäre und anstatt abzutauchen werden kollidierende Platten zusammengefaltet und verdickt. Das resultierende Verformungsfeld an der Oberfläche ist meist komplex und auf eine Vielzahl von Störungen in oft hunderte bis tausende Kilometer breiten Gürteln verteilt. Der Himalaya und die dahinter liegenden zentralasiatischen Gebirge sind ein beeindruckendes Beispiel für diese Prozesse. Sie entstanden durch den Zusammenstoß der Indischen mit der Eurasischen Platte (Kind und Yuan, 2010), der vor rund 50 Mio. Jahren begann und bis heute die beiden Kontinente mit Raten von mehreren Zentimetern pro Jahr ineinander verkeilt. Die Verformungsgürtel in Kollisionszonen sind meist seismisch sehr aktiv. Allerdings lässt sich, im Gegensatz zu Subduktionszonen, aufgrund der Vielzahl aktiver Störungen kaum vorhersagen, wo Erdbeben auftreten. So stammen zwar nicht die stärksten, aber die mit Abstand verheerendsten Erdbeben aus innerkontinentalen Lagen und nicht etwa von Plattengrenzen des Subduktions- und Transformtypus. Beispiele aus der jüngeren Geschichte sind etwa das Muzaffarabad-Beben in Pakistan von 2005 und das Wenchuan-Beben in China von 2008, die mit jeweils über

70 000 Opfern ein Vielfaches von z.B. dem 2011er Beben in Japan mit nachfolgendem Tsunami forderten. Die Forschungsarbeiten des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ haben daher das Ziel, die Tektonik und die geodynamischen Prozesse von Gebirgsregionen besser zu verstehen, um z.B. das seismische Gefährdungspotential genauer quantifizieren zu können (vgl. auch Artikel von Pittore et al. und Boxberger et al. in diesem Heft).

Die Prozesse, die zur Verkürzung der Lithosphäre führen, sind noch in vielen Details unverstanden. Es ist klar, dass wenn die Oberkruste verkürzt und verdickt wird, die tieferliegenden Schichten, inklusive des obersten Erdmantels, ebenfalls verdickt werden. Trotzdem ist die Lithosphärenschicht bei vielen Gebirgen sehr dünn, was bedeutet, dass ein Teil der Lithosphäre verlorengegangen sein muss. Numerische Modellierungsstudien geben hierfür eine Reihe möglicher Erklärungen. In einem Modell wird unter bestimmten Bedingungen kontinentale Lithosphäre mit oder ohne Kruste zum Beispiel dann subduziert, wenn sie nach dem Schließen eines Ozeanbeckens am Ende des plattentektonischen Wilson-Zyklus von einer schweren ozeanischen Platte mit nach unten gezogen wird. Ultrahochdruckgesteine zeugen von einem solchen, zumindest kurzzeitigen Aufenthalt von Krustengesteinen in über 100 km Tiefe (vgl. Artikel von F. Wilke in diesem Heft).

Die Frage, ob und wie kontinentale Kruste subduzieren kann, ist bei der Rekonstruktion der tektonischen Geschichte von Gebirgen von großer Bedeutung. Hierbei werden die Gebirge unter der Voraussetzung, dass das gesamte Krustenmaterial bei der Verkürzung erhalten bleibt, in Computermodellen wieder auseinandergefaltet. Wenn man zeigen kann, dass ein Teil der Kruste im Erdmantel verschwindet, muss dieser Verlust an Krustenmaterial in den Modellen berücksichtigt werden. Auch für die Geochemie ist die Beantwortung dieser Frage wichtig, denn verschluckte kontinentale Kruste mit den darin enthaltenen radioaktiven und inkompatiblen Elementen, leicht schmelzenden Mineralen und möglicherweise Wasser würde auch massiv die Chemie des Erdmantels kontaminieren und zu dessen Heterogenität beitragen.

Links: Blick von Sary Tash (Kirgisistan) über das Alaital auf die bis zu 7000 m hohe Pamirfront. Am Ende des Tals verläuft die Pamirhauptüberschiebung, entlang der vermutlich die asiatische Platte verschluckt wird (Foto: B. Schurr, GFZ).

Left: View from Sary Tash (Kyrgyzstan) across the Alai valley towards the mountains of the Pamir range with peaks up to 7000 m high. The Main Pamir Thrust, down which the Asian plate presumably disappears, runs along the base of the mountains.

Pamir und Hindukusch

Die Gebirgszüge Pamir und Hindukusch in Zentralasien sind sehr gut geeignet, um die oben skizzierten Fragen zu untersuchen (Abb. 1). Sie befinden sich im nordwestlichen Teil der indisch-eurasischen Kollisionszone, nördlich von Himalaya und Karakorum und somit im Hinterland des durch Indiens Vorrücken gebildeten Orogens. Diese entlegene Region wurde trotz ihrer geodynamischen Bedeutung bisher nur wenig untersucht.



Kontakt: B. Schurr
(schurr@gfz-potsdam.de)

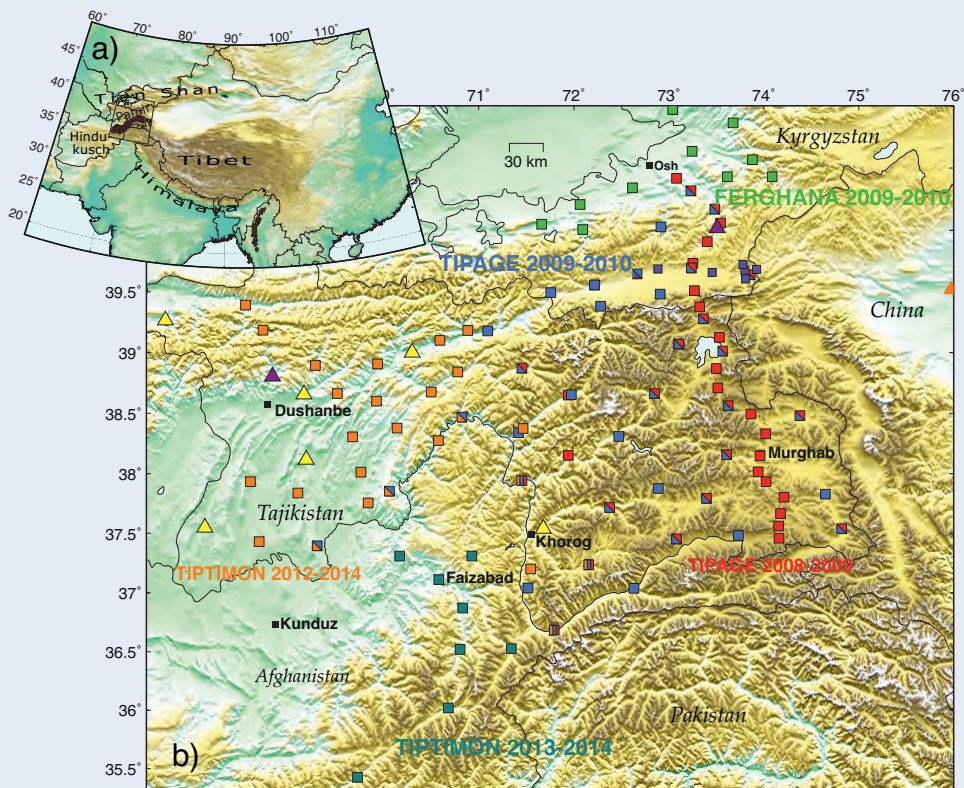


Abb. 1: a) Topographie hervorgerufen durch die Kollision zwischen der indischen und asiatischen Platte. Der Pamir befindet sich in der nordwestlichen Ecke der Kollisionszone. Rote Kreise zeigen Erdbeben in 100 km oder mehr Tiefe. Die Karte zeigt, dass die Tiefherdbeben auf die Flanken der Kollisionszone beschränkt sind und z. B. nicht unter Himalaya und Tibet auftreten. b) Übersichtskarte der zentralasiatischen Gebirge mit den zwischen 2008 bis 2013 installierten temporären Seismometernetzen.

Fig. 1: a) Topography induced by the collision between the Indian and Asian plates. The Pamir is located in the northwestern corner of the collision zone. Red circles show earthquakes at depths of 100 km or more. The map shows that the deep earthquakes are confined to the syntaxes of the collision zone and are absent from e.g. beneath the Himalaya and Tibet. b) Location map of the mountain ranges in the central Asian region showing the temporary seismological networks installed between 2008 and 2013

Der Pamir liegt zum größten Teil in der früheren Sowjetrepublik Tadschikistan. Er war für westliche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler lange Zeit nicht zugänglich, zuerst auf Grund seiner Randlage im Grenzgebiet zu Afghanistan, Pakistan und China und später, nach Tadschikistans Unabhängigkeit, wegen eines dort jahrelang wütenden Bürgerkriegs. Erst die, zumindest für Tadschikistan, ruhigeren Zeiten nach der Jahrtausendwende erlaubten intensivere Arbeiten vor Ort. Die Lage des Hindukuschs im Nordosten Afghanistans macht die Arbeit dort aus politischen Gründen bis heute sehr schwierig.

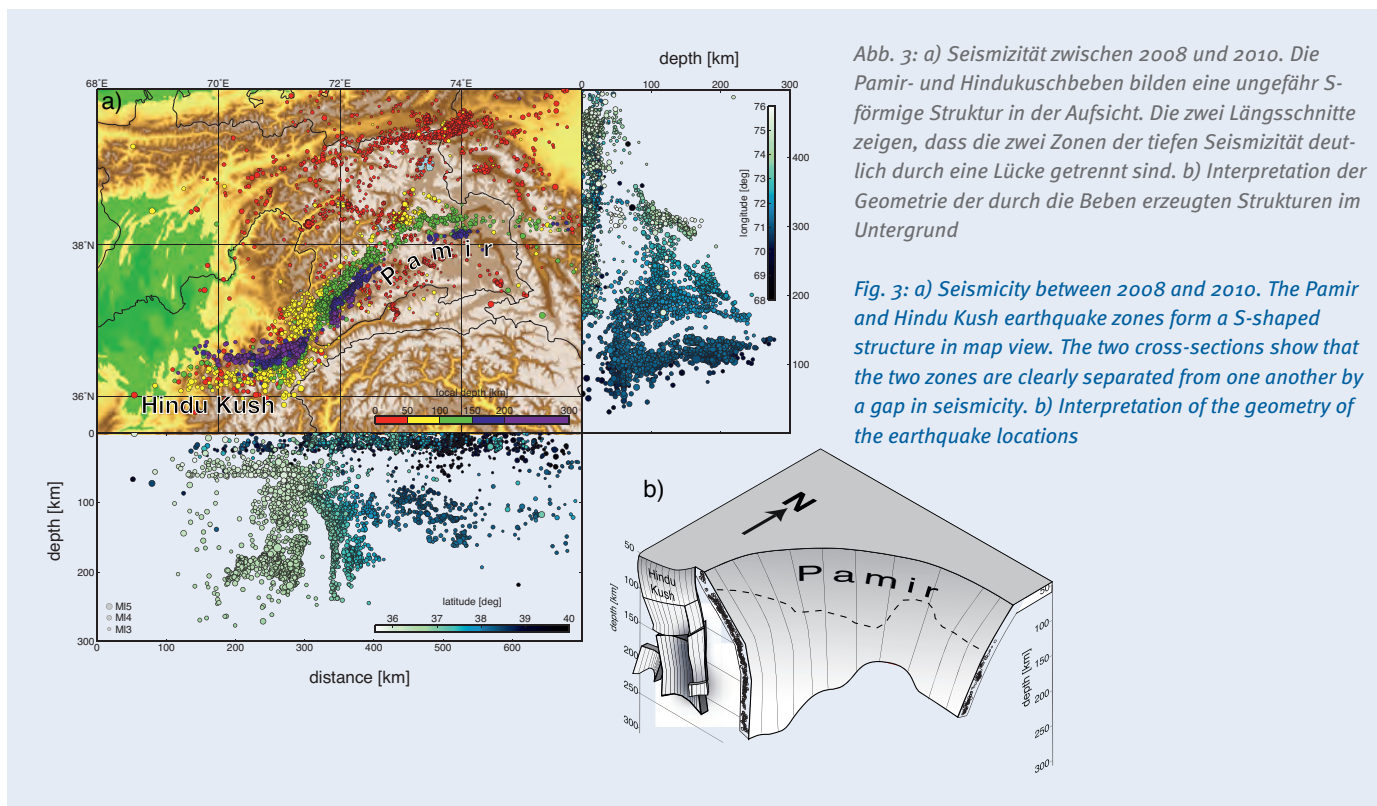
Was Pamir und Hindukusch von allen anderen Gebirgen unterscheidet, sind die dort häufig auftretenden tiefen Erdbeben (90 bis 250 km Tiefe). Diese sind einzigartig für ihre Lage im Herzen eines Kontinents. Zwar kennt man seit Langem Erdbeben im Erdmantel in sogenannten Wadati-Benioff-Zonen, allerdings treten diese praktisch ausschließlich dort auf, wo eine ozeanische Platte verschluckt wird. Gesteine verformen sich bei den im Erdmantel herrschenden hohen Drücken und Temperaturen plastisch und somit aseismisch, d. h. ohne Erdbeben zu erzeugen. Erst die in ozeanischen Platten reichlich eingebundenen Fluide, die beim Vordringen der Gesteine in größere Tiefen bei Mineralumwandlungen freigesetzt werden und dabei den Umgebungsdruck absenken, ermöglichen Sprödbrüche und somit Erdbeben – so zumindest die gängige Vorstellung der Prozesse in diesen unzugänglichen Tiefen. Da solche Fluidreservoirs in

kontinentalen Platten fehlen, verlaufen die dynamischen Prozesse dort ruhig. Tatsächlich sind nahezu alle Faltengebirge, die durch den Zusammenstoß von Kontinenten entstanden sind, in größeren Erdmanteltiefen aseismisch, inklusive z. B. Himalaya und Tibet (Abb 1a). Nur Pamir und Hindukusch stellen eine Ausnahme dar. Die Gründe hierfür sind noch unklar. In jedem Fall ermöglichen die Erdbeben einen direkteren und genaueren Einblick in die in diesen Tiefen ablaufenden Prozesse,



Abb. 2: Seismische Station auf dem östlichen Pamirplateau in Rangkul, Tadschikistan (Foto: B. Schurr, GFZ)

Fig. 2: Seismological station at Rangkul, Tajikistan, in the eastern Pamir plateau



als es in irgendeinem anderen Faltegebirge möglich ist. Die Erdbebenquellen selbst zeugen vor Ort von den Gesteinsverformungen und dem dort herrschenden Spannungsfeld und ihre ausgesendeten Wellen durchdringen die darüber liegenden Strukturen und ermöglichen so geophysikalische Abbilder von hoher Auflösung.

Um sich diese besondere Situation zu Nutze zu machen, hat das GFZ seit 2008 mehrere temporäre seismische Netzwerke in Tien Shan, Pamir und Hindukusch und den an die Gebirge angrenzenden Becken installiert (Abb.1; Mechie et al., 2012, Haberland et al., 2012). Diese Netze produzierten die ersten modernen, digitalen seismologischen Daten der Region. Die Seismographen wurden in die Erde eingegraben und mit einer Photovoltaikanlage mit Strom versorgt (Abb.2). Über einen Zeitraum von ein bis zwei Jahren konnten so kontinuierlich und autark kleinste Bodenbewegungen registriert werden.

Erdbebenverteilung

Abb.3 zeigt die Verteilung von über 9000 Erdbeben, die während der ersten Projektphase von 2008 bis 2010 aufgezeichnet und detektiert wurden. Die Region ist eine der seismisch aktivsten der Erde. Um diese hohe Anzahl von Ereignissen auswerten zu können, wurde ein automatisierter Prozess entwickelt und implementiert, der aus den kontinuierlichen Seismogrammen über mehrere Stufen die abgebildeten Hypozentren bestimmt (Sippl et al., 2013a). Die tiefe Seismizität formt mehrere wohl

definierte Flächen von nur rund 10 km Mächtigkeit und komplexer Geometrie (Abb.3b). Die Erdbeben unter dem Pamir lassen sich zu einem eng gekrümmten 90°-Bogen zusammenfügen, der sich nach Norden und Westen an die den Gebirgsbogen flankierenden Störungssysteme anbinden lässt. Diese Geometrie ist ein deutlicher Hinweis dafür, dass die Erdbeben in Gesteinen eurasischer Provenienz auftreten und nicht Teil der Indischen Platte sind, wie zuvor zum Teil angenommen wurde. Die Pamirzone ist von der Hindukuschzone deutlich durch eine sich nach oben verjüngende seismische Lücke getrennt. Die Zuordnung der Hindukuschbeben lässt sich nicht eindeutig klären, weil die stark streuenden Lokalisierungen – vor allem der flacheren Ereignisse – eine Anbindung sowohl an die Indische als auch die Eurasische Platte erlauben würden. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass sich die hier abgebildeten Hindukuschbeben außerhalb der seismischen Netze befinden und ihre Tiefenlage deshalb nicht immer gut bestimmt ist. Seit dem Frühjahr 2013 sind acht weitere Seismographen direkt über dem Hindukuschbeben in der afghanischen Provinz Badkhschan installiert (Abb.1). Diese neuen Daten sollen unter anderem dazu beitragen, die Herkunft der Hindukuschbeben und ihre Verbindung zum Pamir zu klären.

Tiefe Struktur der Gebirge

Die Laufzeiten der von den Erdbeben ausgesendeten Wellen können in einem tomographischen Verfahren dazu verwendet werden, die seismischen Geschwindigkeiten dreidimen-

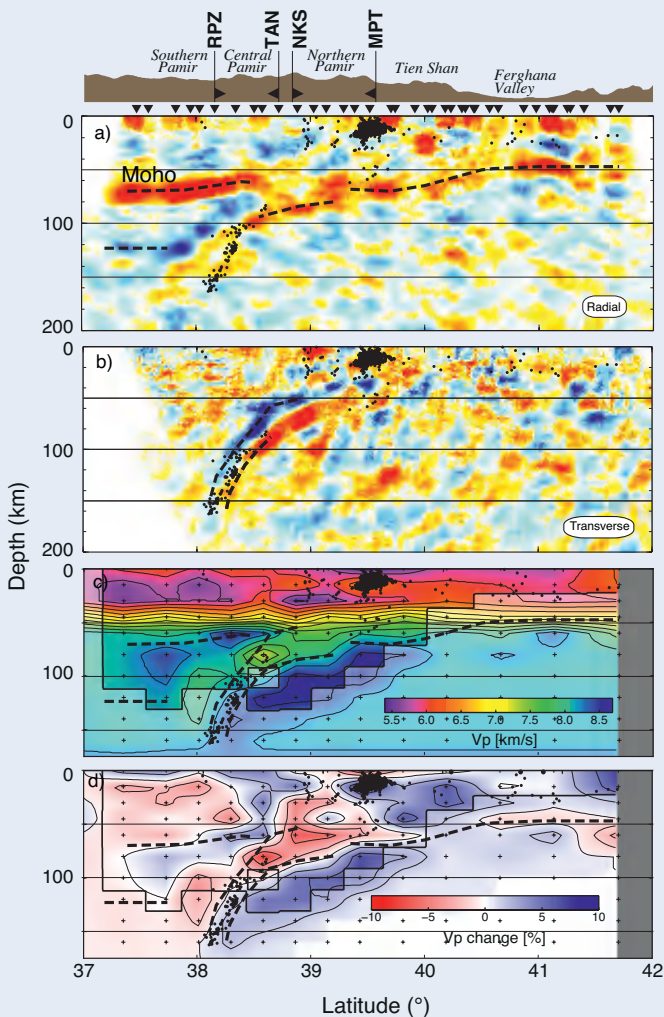


Abb. 4: Nord-Süd-Profil durch den Tien Shan und östlichen Pamir. a) CCP (common conversion point)-Stapelung der Radialkomponente von Receiver Functions. b) Transversalkomponente mit 60° Dipkorrektur. c) Schnitt durch das Tomographiemodell, absolute Geschwindigkeiten, d) Geschwindigkeiten relativ zu einem eindimensionalen Hintergrundmodell

Fig. 4: N-S profile through the Tien Shan and eastern Pamir. a) CCP stack of the radial-component receiver functions. b) CCP stack of the transverse-component receiver functions with 60° dipping layers. c) Cross-section through the tomography model, showing absolute velocities. d) Cross-section through the tomography model, showing relative velocities with respect to a 1-D background model

sional abzubilden. Diese sind einerseits Indikatoren für die Gesteinszusammensetzung – ein starker Kontrast (Impedanz) wird z. B. durch die unterschiedlichen Mineralgehalte von Krusten- und Mantelgesteinen hervorgerufen. Andererseits sind sie, bei gleicher oder ähnlicher Lithologie, auch empfindlich für Temperaturunterschiede, wobei kältere Gesteine höhere seismische Geschwindigkeiten aufweisen. Abb. 4c und 4d zeigen ein Nord-Süd-Profil durch das tomographische Modell in absoluten seismischen Druckwellengeschwindigkeiten (v_p) und Abweichungen relativ zu einem Hintergrundmodell (Sippl et al., 2013b). Dieses Profil quert den Tien Shan, das Alaital mit der Pamirhauptüberschiebung (MPT) und den gesamten Pamir. Wie erwartet, wird ein starker Geschwindigkeitsgradient durch die Krusten-Mantel-Grenze (auch Mohorovičić-Diskontinuität oder Moho) hervorgerufen (Abb. 4d). Im Erdmantel sieht man eine

seismisch schnelle (blau in Abb. 4c und 4d) Struktur nach Süden abtauchen. Die seismischen Geschwindigkeiten sind typisch für kalte Mantelgesteine und diese Anomalie bildet höchstwahrscheinlich kalte (weil sie ursprünglich näher an der Erdoberfläche war) eurasische Mantellithosphäre ab. Parallel darüber sieht man eine Zone mit sehr niedrigen Geschwindigkeiten bis in 90 km Tiefe, so niedrig, dass die Abweichung nicht allein von Temperaturunterschieden herrühren kann. Diese Niedriggeschwindigkeitszone stellt mit größter Wahrscheinlichkeit Krustengestein dar, das von der kalten Lithosphärenplatte nach unten gezogen wurde. Die Erdbeben befinden sich direkt unterhalb der Niedriggeschwindigkeitszone. Das vermutete Krustengestein ist klar durch einen kleinen Mantelkeil von der Oberplatte getrennt. Betrachtet man die gesamte dreidimensionale Struktur, sieht man, dass sich die tiefe Zone mit Krustengeschwindigkeiten um den ganzen Pamirbogen verfolgen lässt, im Südwesten aber der Mantelkeil verschwindet und die Niedriggeschwindigkeitszone zu einem sehr tiefen „Mohograben“ wird (Abb. 5). Dabei scheinen sich die Erdbeben direkt an den unteren Rand der Niedriggeschwindigkeitszone anzuschmiegen.

Eine weitere, von der Tomographie unabhängige Methode zur Abbildung von seismischen Strukturen sind die Receiver Functions (Kind und Sodoudi, 2013). Hier macht man sich zu Nutze, dass an Geschwindigkeitskontrasten, wie z. B. der Moho, seismische Druckwellen (P-Wellen) von Fernbeben teilweise in Scherwellen (S-Wellen) konvertiert werden (und umgekehrt). Mit der Receiver Function-Methode werden diese Konversionen in den Seismogrammen isoliert und mit einem Migrationsverfahren wieder zurück projiziert, um dadurch ein Abbild des Untergrunds zu schaffen. Während die Tomographie ein verschwommenes, kontrastarmes Bild des Untergrunds erzeugt, liegt die Stärke der Receiver Function-Methode in der Abbildung der Kontraste. Daher ergänzen sich beide Methoden in idealer Weise. Abb. 4a und 4b zeigen das migrierte Bild der radial ausgerichteten Q- und transversalen T-Komponenten entlang ungefähr desselben Nord-Süd-Profiles über den Ostpamir wie bei der Tomographie (Schneider et al., 2013). Rote Phasen zeugen von einem Kontrast, bei dem sich die Geschwindigkeiten von unten nach oben verringern, wie es z. B. bei der Kruste-Mantel-Grenze zu erwarten wäre. Im Abbild der Radialkomponente ist demzufolge auch die Moho die dominierende Struktur (Abb. 4a). Man sieht eine stufenweise Krustenverdickung von ungefähr 45 km Mächtigkeit am Rand des Ferganabeckens, über 60 km unter dem Tien Shan, bis zu ungefähr 75 km unter dem Südpamir. Dieser ungefähre Verlauf wurde unabhängig davon durch das Modellieren von Tauchwellen und reflektierten Phasen einzelner Erdbeben entlang desselben Profils bestätigt (Mechie et al., 2012). Die Kruste unter dem Pamir zählt damit zu den dicksten weltweit und diese große Mächtigkeit ist eine direkte Konsequenz des Zusammenstoßes von Indien mit Asien. Ungefähr unter dem Zentralpamir sieht man in Abb. 4a eine weitere rote Phase nach Süden abtauchen. Diese Phase könnte das gesuchte Signal für die möglicherweise verschluckte Kruste sein, scheint aber eine geringere Neigung als die Erdbebenzone zu haben. Allerdings werden in dem hier verwandten Migrationsverfahren nur Konverter, die etwa horizontal liegen, wie z. B. die Moho, richtig abgebildet, stark geneigte Strukturen aber falsch. Für das in Abb. 4b dargestellte Profil wurde dies korrigiert. Hier wurden die korrekten Strahlverläufe der seismischen Wellen

verwendet, die sich durch eine nach Süden geneigte Struktur ergeben. Außerdem wurde hier die Transversalkomponente (T) verwendet, die bei horizontaler Schichtung an sich keine Energie trägt, bei geneigten Strukturen aber ein besonders klares Signal liefert. Das Bild aus den T-Komponenten zeigt eine deutlich nach Süden geneigte blau-rote Doppelphase, ein Hinweis auf eine Niedriggeschwindigkeitszone eingebettet in ein Hochgeschwindigkeitssubstrat. Diese scheint die tiefen Erdbeben einzuhüllen. Das Modellieren der von der Niedriggeschwindigkeitszone stammenden konvertierten Phasen mit synthetischen Seismogrammen ergab, dass die Schicht etwa 11 km dick sein muss. Für einen Vergleich mit der Tomographie wurden die horizontalen und geneigten Hauptkonverter aus den beiden Receiver Function-Profilen interpretiert und auf die Tomographieschnitte kopiert (Abb. 4). Man findet im Allgemeinen eine sehr gute Übereinstimmung, was eine kombinierte Interpretation der Datensätze ermöglicht, die in Abb. 5 skizziert ist. Demnach taucht unter dem Pamir asiatische Mantellithosphäre in einem stark gekrümmten Bogen, wie in einem Trichter ab. Mit ihr werden wahrscheinlich die untere Kruste und ein Teil der darüber liegenden mittleren Kruste ebenfalls in die Tiefe transportiert. In Tiefen zwischen ungefähr 90 bis 100 km

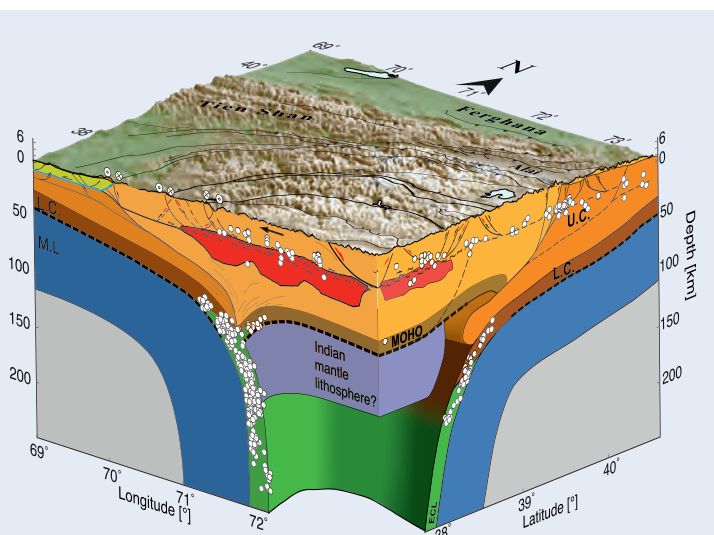


Abb. 5: Interpretatives Modell: Unter dem Pamir taucht kalte asiatische Mantellithosphäre (M. L.) in einem stark gekrümmten Bogen, wie in einem Trichter ab. Mit ihr werden die untere Kruste (L. C.) und ein Teil der darüber liegenden mittleren Kruste (U. C.) ebenfalls in die Tiefe transportiert. In Tiefen zwischen ungefähr 90 bis 100 km löst sich die mittlere von der unteren Kruste, um sich dort zu sammeln und zu verweilen oder auf Grund ihres Auftriebs wieder nach oben zu wandern. Nur die untere Kruste wird ganz verschluckt. Mineralumwandlungen sind hier wahrscheinlich für die Erdbeben verantwortlich.

Fig. 5: Interpretative model. Under the Pamir, the cold Asian mantle lithosphere descends (subducts), together with the lower crust and a part of the overlying middle crust, in a strongly curved, cone-shaped arc. At about 90-100 km depth, the middle crust detaches from the lower crust, collects there and either stays there or due to its buoyancy rises back towards the surface. Only the lower crust descends completely to greater depths. Mineral reactions within the lower crust are most probably responsible for the deep earthquakes.

löst sich die mittlere von der unteren Kruste, um sich dort zu sammeln und zu verbleiben oder auf Grund ihres Auftriebs wieder nach oben zu wandern. Diese Ansammlung von Material aus der mittleren Kruste erzeugt die markante Niedriggeschwindigkeitszone unterhalb des Zentralpamirs, die in der Tomographie sichtbar ist. Wahrscheinlich unterscheidet sich die Zusammensetzung der Gesteine aus der mittleren Kruste deutlich von denen aus der unteren. Der darin enthaltene Quarz wird bei den in der Tiefe herrschenden Temperaturen hoch duktil. Weil er leichter als die basaltischere untere Kruste ist, kann er sich von dieser ablösen. So bewegt sich nur die untere Kruste weiter in den Erdmantel. Mineralumwandlungen in der unteren Kruste sind wahrscheinlich für die in dieser Region registrierten Erdbeben verantwortlich. Unklar bleibt, welche Mineralumwandlungen hier stattfinden und warum die Tiefherdbeben nur hier auftreten. Ebenso konnte die Beziehung der Pamir- zur Hindukuschzone im Rahmen dieser Untersuchungen nicht endgültig geklärt werden. Ähnlich detaillierte Bilder des Untergrunds wie für den Pamir fehlen im Hindukusch. Die aktuell vom GFZ in Afghanistan installierten Seismographen sollen diese Lücke in den Meßdaten schließen.

Die im Titel gestellte Frage „Können Kontinente untertauchen?“ ist wohl nicht mit einem einfachen Ja oder Nein zu beantworten. Vermutlich wird nur ein kleiner Teil der Kruste zusammen mit der Mantellithosphäre verschluckt. Der größte Teil bleibt oben und trägt zur Krustenverdickung und Gebirgsbildung bei. Ganze Kontinente können also nicht einfach verschwinden. Dass unter extremen Bedingungen Material kontinentaler Kruste in den Mantel aufgenommen werden kann, scheinen die hier vorgestellten Ergebnisse im Pamir jedoch zu belegen.

Literatur

- Haberland, C., Abdybachaev, U., Schurr, B., Wetzel, H.-U., Roessner, S., Sarnagoev, A., Orunbaev, S., Janssen, C. (2011): Landslides in Southern Kyrgyzstan: Understanding Tectonic Controls. - *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 92, 20, 169-176, 10.1029/2011EO200001.
- Kind, R., Yuan, X. (2010): Seismic Images of the Biggest Crash on Earth. - *Science*, 329, 5998, 1479-1480, 10.1126/science.1191620.
- Kind, R., Sodoudi, F. (2013): Die Erde durchleuchten: Modellierung von seismischen Signalen. - *System Erde*, 3, 1, 26-31.
- Mechie, J., Yuan, X., Schurr, B., Schneider, F., Sippl, C., Ratschbacher, L., Minaev, V., Gadoev, M., Oimahmadov, I., Abdybachaev, U., Moldobekov, B., Orunbaev, S., Negmatullaev, S. (2012): Crustal and uppermost mantle velocity structure along a profile across the Pamir and southern Tien Shan as derived from project TIPAGE wide-angle seismic data. - *Geophysical Journal International*, 188, 2, 385-407, 10.1111/j.1365-246X.2011.05278.x.
- Schneider, F., Yuan, X., Schurr, B., Mechie, J., Sippl, C., Haberland, C., Minaev, V., Oimahmadov, I., Gadoev, M., Radjabov, N., Abdybachaev, U., Orunbaev, S., Negmatullaev, S., GIPP (2013): Seismic imaging of subducting continental lower crust beneath the Pamir. - *Earth and Planetary Science Letters*, 375, 1, 101-112, 10.1016/j.epsl.2013.05.015.
- Sippl, C., Schurr, B., Yuan, X., Mechie, J., Schneider, F., Gadoev, M., Orunbaev, S., Oimahmadov, I., Haberland, C., Abdybachaev, U., Minaev, V., Negmatullaev, S., Radjabov, N. (2013): Geometry of the Pamir-Hindukush intermediate-depth earthquake zone from local seismic data. - *Journal of Geophysical Research*, 118, 4, 1438-1457, 10.1002/jgrb.50128.
- Sippl, C., Schurr, B., Typel, J., Angiboust, S., Mechie, J., Yuan, X., Schneider, F., Sobolev, S. V., Ratschbacher, L., Haberland, C. (2013): Deep burial of Asian continental crust beneath the Pamir imaged with local earthquake tomography. - *Earth and Planetary Science Letters*, 384, 165-177, 10.1016/j.epsl.2013.10.013.

Ultrahochdruck-Eklogite aus dem nord-westlichen Himalaya: eine Studie zu den Druck-Temperatur-Zeit-Bedingungen ihrer Exhumation

Franziska D. H. Wilke

Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Using petrology, isotope geochemistry and thermochronology, continental rocks were investigated that have been subducted and metamorphosed under ultra high-pressure (UHP) conditions. The metamorphic conditions during burial and exhumation of eclogites, schists and gneisses from the tectonically and climatically influenced north-western Himalaya, from the Kaghan Valley in Pakistan, were analysed, and ages and rates of exhumation determined. A multi-stage exhumation path is evident. It is shown that the UHP rocks initially experienced very rapid exhumation of up to 14 cm/a from mantle depths (~140 km) to the base of the continental crust (~40 km) where exhumation slows down to 1 to 2 mm/a. The initial exhumation is buoyancy driven and as fast as recent plate movements (ca. 10 cm/a). Changes in the exhumation rate point to changes in buoyancy and to particular processes forcing further exhumation and final exposure such as thrusting, folding and back sliding. Similar processes have been recognized at Tso Moriri, Ladakh, NW India where comparable rock assemblages occur and where research is in progress.



Ansicht von Saleh Gali, nördliches Kaghan-Tal, Pakistan (Foto: P. O'Brien, Universität Potsdam)

View of Saleh Gali, northern Kaghan Valley, North Pakistan

Die großen Gebirgszüge, wie wir sie heute kennen, sind bei Subduktions- und Kollisionsprozessen tektonischer Platten über Jahrmillionen entstanden. Allgemein kann man zwischen zwei Typen von Subduktionszonen unterscheiden: während der pazifische Typ die langandauernde Subduktion von ozeanischer Kruste in den Mantel umfaßt, ist der alpine Subduktionstyp durch die Versenkung einer ozeanischen Platte mit anschließender Kollision eines mitgeführten Kontinents mit einem anderen Kontinent, Mikrokontinent oder Inselbogen charakterisiert. Mit der Subduktion ozeanischer Kruste geht eine mineralische Umwandlung (Metamorphose) der Gesteins- und Sedimentabfolgen unter Hochdruck (HP: high pressure; bis etwa 8 bis 16 kbar) aber bei niedriger Temperatur (LT: low temperature; bis etwa 500 °C) einher. Kommt es im Anschluß zur Kollision von Kontinenten, kann die vorderste Kante des kollidierenden Körpers bis in den Erdmantel mit hinunter gezogen werden, so dass felsisches Krustenmaterial unter Hochdruck oder sogar Ultrahochdruck (UHP: ultra high-pressure; ab 27 kbar) metamorph überprägt wird (Gilotti, 2013). Terrane, die derlei hochgradig metamorphe Gesteine beinhalten, sind z. B. der nordwestliche Himalaya oder auch nördlich Teile der Varisziden in Europa, z. B. im Erzgebirge (Massonne und O'Brien, 2003).

Bei der Subduktion bzw. Kollision entstehen typische Gesteine, wie z. B. Gneise, Glimmerschiefer, Blauschiefer und Eklogite, die an der Erdoberfläche als anstehendes Gestein, in Geschieben (vgl. auch Artikel von K. Hahne in diesem Heft) oder als Sediment auftreten. Oberflächennahe Abläufe, die zur morphologischen Strukturierung eines Orogens führen, sind ansatzweise verstanden, während Prozesse im Erdinnern weit weniger bekannt sind. Informationen hierüber können jedoch aus den Festgesteinen, ihren Mineralen und wiederum deren chemischen Komponenten gewonnen werden, da diese die Entstehung und Entwicklung der Gebirgsbildung „mitemlebt“ und die Informationen gespeichert haben. Die hier vorgestellten Arbeiten tragen zur Validierung geophysikalischer Ergebnisse und geodynamischer Modellierungen bei und versuchen, ungelöste Fragen der Geodynamik schrittweise zu beantworten.

UHP-Gesteine in kontinentalen Kollisionszonen

Es existieren einige Modelle, mit denen das Vorkommen von UHP-Gesteinen in kontinentalen Kollisionszonen erklärt werden könnte. Davon sind insbesondere zwei für den Himalaya von Bedeutung (Abb. 1), da sie den inversen metamorphen Gradienten – d. h. hochgradig metamorphe Gesteine (HP/UHP) liegen über Gesteinen mit niedrigerem Metamorphosegrad (HP/LP) – erklären könnten. In einem dieser Modelle führt der Auftrieb von subduzierter, leichter Kruste zur Separation des oberen,

felsischen Krustenmaterials vom unteren, basischeren (und damit dichteren) Krustengestein sowie vom noch dichteren oberen Erdmantel (Abb. 1a). Hierdurch kommt es zur Stapelung von Krustenmaterial in der Subduktionszone. Der sich bildende Stau könnte zu Zugspannungen und zum Abbruch der subduzierten Platte führen (slab break-off). Durch den zeitlichen Verzögerung und durch Hitzeeinwirkungen des aufsteigenden asthenosphärischen Mantels wäre eine Erwärmung des gestapelten Gesteins möglich. Eine andauernde Subduktion würde nach dem slab break-off unter einem flacheren Winkel stattfinden, so dass sich in der Folge keine weiteren UHP-Gesteine mehr bilden sondern „nur“ noch HP-Gesteine. Demzufolge würden UHP-Gesteine zuoberst und über HP-Gesteinen liegen, wie es im Himalaya beobachtet wird. Durch Stapelung und Faltung von geologischen Einheiten wäre ein finaler Aufstieg von vormals tief subduzierten Gesteinen gewährleistet.

In einem zweiten Modell wird angenommen, dass es eine Rückkopplung zwischen Klima, insbesondere der Erosion durch den Monsun, und Tektonik gibt (Abb. 1b). Beim sogenannten „channel flow“-Modell werden duktile HP-Gesteine zwischen kompakten und rigiden Krustengesteinen herausgepresst (extrudiert). Oberflächennahe Prozesse, wie die verstärkte Erosion bei hohen Niederschlagsmengen an der Extrusionsfront, führen zur Kanalisation von partiell geschmolzenem Gestein. Die notwendige partielle Schmelzbildung in den kristallinen Sequenzen setzt eine lange Verweildauer der subduzierten Gesteine in größeren Tiefen voraus. Generell bestünde eine gegenseitige Abhängigkeit zwischen Klima und Tektonik insofern, als mit der Hebung der tektonischen Barriere, hier dem Tibetplateau, der Monsun initiiert wird und dieser wiederum die Hebung unterstützt.

Arbeitsablauf und Schwierigkeiten

Um die Exhumation von UHP-Gesteinen zu quantifizieren und die Mechanismen dahinter zu verstehen, muss ein Druck-Temperatur-Zeit-Pfad (P-T-t) rekonstruiert werden. Mit dem Wechsel zwischen subduktionsbedingten zu kollisionsbedingten Prozessen kommt es zu mehreren metamorphen Überprägungen des Gesteins, was die Rekonstruktion des P-T-t-Pfads deutlich erschwert, aber auch detaillierte Untersuchungen ermöglicht. Problematisch ist in diesem Zusammenhang auch die Datierung von mehrfach metamorph überprägten Gesteinen, da z. B. (1) mehrere ineinander übergehende Generationen von datierbaren Mineralen vorliegen oder ältere Generationen partiell zeitlich zurückgesetzt worden sein können und (2) es generell schwierig ist, das Alter datierbarer Minerale einem bestimmten metamorphen Stadium zuzuschreiben. Die Erstellung



Kontakt: F. Wilke
(fwilke@gfz-potsdam.de)

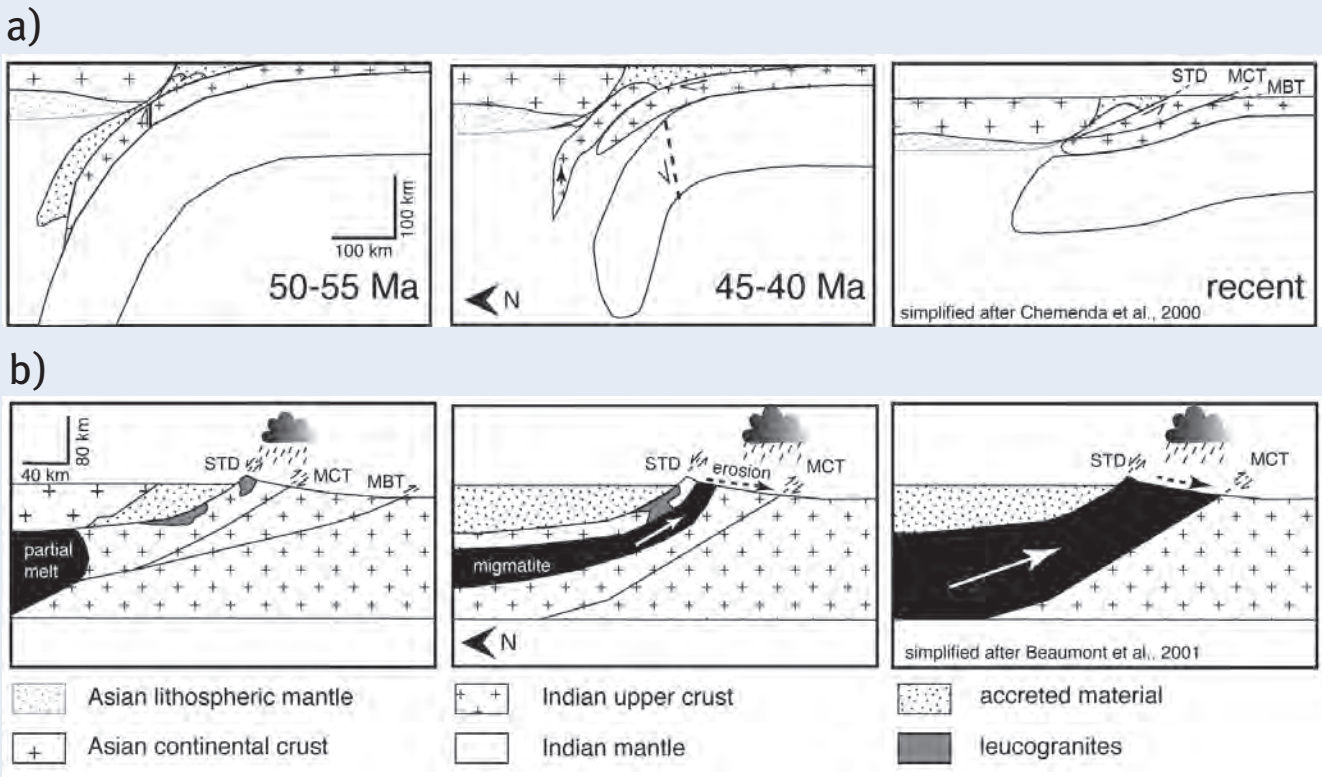


Abb. 1: a) Leichte, kontinentale Kruste wird aufgrund von Auftriebskräften nach der Subduktion wieder exhumiert; b) Gesteine mit einem geringen Grad an partieller Schmelze werden durch gerichtete Erosion zwischen rigidem Krustenmaterial extrudiert.

Fig. 1: a) Less dense continental crust become exhumed due to buoyancy; b) crystalline sequences with a presence of partial melt extrude between rigid upper and lower crustal bodies, supported by an enhanced erosion at the extrusion front.



Abb. 2: Aufschluss bei Saleh Gali: gefalteter und beprobter Eklogit (Foto: P. O'Brien, Universität Potsdam)

Fig. 2: Outcrop at Saleh Gali: outcrop of sampled folded eclogite



Abb. 3: Anschliff eines Eklogits von Saleh Gali; rot: Granat; vertikale dunkle Lagen: Klinopyroxene und Amphibole; horizontale dunkle Adern: späte Amphibole (Foto: F. Wilke, GFZ)

Fig. 3: Hand specimen of an eclogite from Saleh Gali; red: garnet, dark vertical layers: clinopyroxene and amphiboles, horizontal veins: late amphiboles

eines aussagekräftigen P-T-Pfads hatte daher erste Priorität. Es wurden detaillierte petrographische und, mittels Mikrosonde, geochemische Analysen durchgeführt, um die Mineralparagenesen während der metamorphen Stadien und die chemischen Zonierungen in den Mineralen herauszuarbeiten. Auf dieser Grundlage wurden geothermobarometrische Berechnungen

durchgeführt und zur Implementierung von Fraktionierungs- und Zonierungsinformationen ein thermodynamisches Modell erstellt. Nachfolgende Isotopenanalysen von verschiedenen Mineralen und Spaltspurendatierungen ergaben Alter über einen großen Druck- und Temperaturbereich, die eine Aussage zur Aufstiegsgeschwindigkeit erlauben.

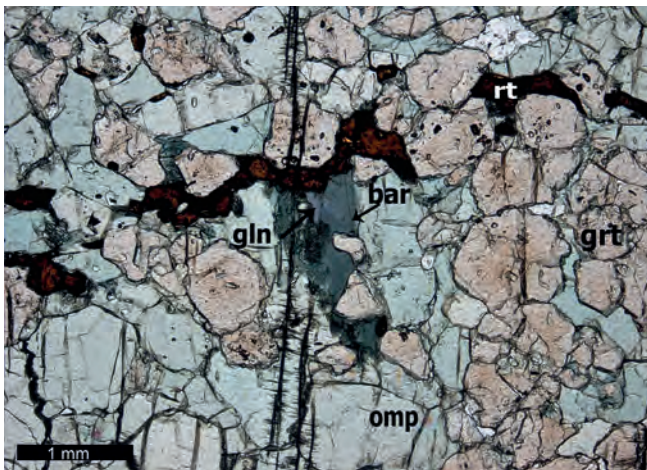


Abb. 4: Dünnschliff des Saleh Gali-Eklogits mit petrographischen Beweisen für eine eklogitfazielle Metamorphose (Granat: grt, Omphazit: omp, Rutil: rt) sowie blauschiefer- (Glaukophan: gln) und amphibolitfazieller (Barroisit: bar) Überprägung (Foto: F. Wilke, GFZ)

Fig. 4: Thin section of the Saleh Gali eclogite showing evidence for eclogite facies peak metamorphism (garnet: grt, omphacite: omp, rutile: rt), blueschist- (glaucofan: gln) and amphibolite facies (barroisite: bar) overprints

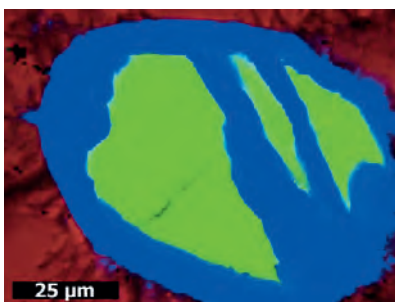


Abb. 5: Ramanspektroskopiekarte eines Coesit (grün) und Quarz (blau) in Omphazit von einem Eklogit aus Saleh Gali (Aufnahme: F. Wilke, GFZ, M. Ziemann, Universität Potsdam)

Fig. 5: Colour-coded Raman map showing coesite (green) rimmed and crosscut by quartz (blue), hosted in omphacite from a Saleh Gali eclogite

Probennahme und Analysen

Im oberen Kaghan-Tal im nördlichen Pakistan (Titelbild) wurden Eklogite im Norden (Abb. 2 und 3) und niedriggradigere Metabasite im Süden gefunden, was auf prägnante Unterschiede in der Metamorphose auf kleinem Raum schließen läßt, die durch tektonische Stapelung bedingt ist. Um Einflüsse der Gesamtgesteinschemie auf den P-T-t-Pfad auszuschließen und den Charakter der Ursprungsgesteine (Protolith) aller Metabasite zu bestimmen, wurden Haupt-, Spuren und

Seltenerdanalysen von den Proben am Deutschen GeoForschungszentrum GFZ und an der Universität Potsdam angefertigt. Die Ergebnisse belegen, dass alle Proben petrogenetisch verwandt sind, obwohl im Mikroskop deutliche textuelle Unterschiede und unterschiedliche Ausprägungen von Alteration erkennbar sind. Nach ihrer Geochemie konnten die Metabasite den in Kaschmir vorliegenden, nicht metamorph überprägten Panjal Traps – ein permo-triassischer kontinentaler Flutbasalt – zugeordnet werden.

Die Druck- und Temperaturbedingungen der verschiedenen Eklogite aus dem Kaghan-Tal wurden mit konventionellen Geothermobarometern an Granat-Klinopyroxen-Phengit- und Plagioklas-Hornblende-Gleichgewichten bestimmt (Abb. 4). Diese Methode erfordert sehr genaue Mikrosondenanalysen, die am GFZ angefertigt wurden. Für die Eklogite ergaben sich Gleichgewichtskonditionen innerhalb des Coesitfelds von 30 bis 36 kbar. Coesit, eine Hochdruckmodifikation von Quarz, ist ein Indexmineral für UHP-Metamorphose. Er liegt als Einschluss z. B. im Klinopyroxen (Omphazit) in den Eklogiten des nördlichsten Kaghan-Tals vor und wurde mittels Ramanspektroskopie an der Universität Potsdam bestätigt (Abb. 5). Während ihres Aufstiegs – ihrer Exhumation – wurden die Eklogite retrograd überprägt. Dies ist durch die Neubildung von Amphibolen, Plagioklasen, Biotit und Titanit belegt. Von großer Bedeutung war das Auftreten sekundären Glaukophans (Abb. 4), einem Na-Amphibol, der von Na-Ca- und Ca-Amphibolen (Barroisit, Pargasit) ummantelt ist. Glaukophan ist im Coesitfeld nicht stabil und kann sich daher nur später gebildet haben. Er zeigt relativ niedrige Temperaturen nach der UHP-Metamorphose an. Der umgebene Mantel von Na-Ca- und Ca-Amphibolen zeigt einen Temperaturanstieg an. Ilmenit, der wiederum Rutil ummantelt, unterstützt diese Beobachtung. Plagioklas-Hornblende-Thermometrie und modellierte Phasendiagramme, die auf der Gesamtgesteinschemie von Coesit- und Glaukophan führenden Eklogiten basieren, halfen diesen Teil des komplexen Exhumationspfads quantitativ zu beschreiben (Abb. 6 links). Die Exhumation beginnt bei etwa 640 bis 790 °C in 100 bis 140 km (30 bis 36 kbar) Tiefe. Während des nachfolgenden Aufstiegs auf 40 bis 35 km (10 bis 17 kbar) werden die Eklogite simultan auf 580 bis 630 °C abgekühlt, bevor sie in etwa 35 km Tiefe erneut auf 650 bis 720 °C aufgeheizt werden (Abb. 6 links).

Die Metabasite aus dem südlichsten Teil des Kaghan-Tals zeigen petrographisch keine Anzeichen für eine frühere eklogitfazielle Überprägung. Die metamorphen Bedingungen lagen bei 650 bis 750 °C und 8 bis 9 kbar und sind damit vergleichbar mit denen der späteren, amphibolitfaziellen Überprägung der Eklogite im nördlichen Kaghan-Tal. Dies impliziert, dass beide Gesteinseinheiten erst nach der UHP-Metamorphose der nördlichen Eklogite tektonisch zusammengefügt worden sind.

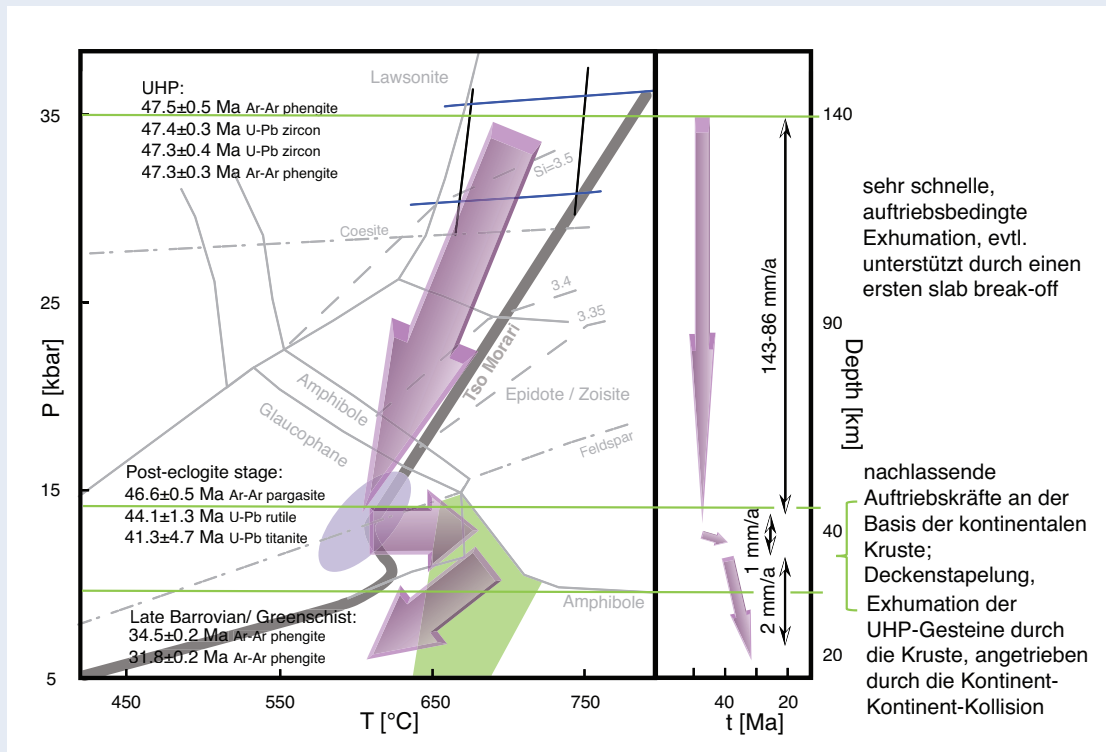


Abb. 6: Links: Phasendiagramm, errechnet aus der Gesamtgesteinschemie eines Saleh Gali-UHP-Eklogiten und der chemischen Zusammensetzung von Phengit (dunkelblaue Box) und Amphibolen (violette und grünes Feld); große Pfeile zeigen den von uns abgeleiteten P-T-Pfad (Wilke et al., 2010a). Rechts: Das Gefälle der Pfeile im P-t-Diagramm visualisiert die Exhumationsgeschwindigkeit, welche aus der Geochronologie und Petrologie abgeleitet werden konnte. Man erkennt deutlich die sehr schnelle Exhumation von bis zu 14 cm/Jahr von etwa 140 km auf etwa 40 km tiefe und die danach abfallende Exhumationsgeschwindigkeit auf 1 bis 2 mm/Jahr (Wilke et al., 2010b).

Fig. 6: Phase diagram (left site) for bulk rock chemistry of the UHP eclogite from Saleh Gali and chemical characteristics of phengite (dark blue box) and amphiboles (lilac and green area). Large arrows show our preferred P-T-path (Wilke et al., 2010a). On the right, the slope of the arrows in the P-t-diagram show the exhumation velocities inferred from geochronology and petrology. Very rapid exhumation with up to 14 cm/a slowing down to 1 mm/a at the base of the continental crust (Wilke et al., 2010b).

Rekonstruktion der Exhumationsgeschichte

Mit diesen Untersuchungsergebnissen zu den Druck- und Temperaturbedingungen konnte anschließend der Zeitpunkt der metamorphen Stadien näherungsweise ermittelt werden. Um Exhumationsstufen sowohl unter hohen als auch niedrigeren Temperaturen zu datieren, mußten die passenden Minerale mit unterschiedlichen Methoden, mittels U-Pb und Ar-Ar datiert werden. Die U-Pb-Alter von Zirkonen aus felsischen Gneisen, die die Eklogite umgeben, wurden mittels Laser-ICP-MS an der Universität Frankfurt/Main bestimmt. Für die Zirkonkerne ergaben sich Alter von $276 \pm 37/-39$ und 303 ± 20 Mio. Jahren. Damit wurden diese zeitgleich, als Teil einer bimodalen Sequenz, zu den permo-triassischen Panjal Trap-Basalten gebildet und bestätigen so gleichzeitig die oben formulierte Interpretation, dass die Protolith der Kaghan-Tal-Eklogite den Panjal Traps zuzuordnen sind. Die Ränder der Zirkone sind $47,25 \pm 0,43$ Ma und $47,42 \pm 0,25$ Mio. Jahre alt. Sie reflektieren Zirkonwachstum bei metamorphen Bedingungen, was an sichtbaren Überwachungsstrukturen, durch Kathodolumineszenzstrahlung, erkennbar ist. Eine definitive Zuordnung des Zirkonrands zur UHP-Metamorphose ist aber aufgrund des Fehlens von Einschlüssen

von Coesit nicht möglich. Stattdessen wurde das Alter der UHP-Metamorphose durch $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Plateaualter von $47,25 \pm 0,26$ Mio. Jahren an Si-reichen Phengiten, separiert aus Coesit-führenden Eklogiten, an der Universität Potsdam bestimmt (Abb. 6). Sekundär gebildete Ca-Amphibole, ebenfalls aus einem Eklogit separiert, ergaben ein $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter von $46,65 \pm 0,24$ Mio. Jahren. Dies zeigt, dass die Exhumation sehr schnell nach der UHP-Metamorphose stattgefunden haben muss. Die Geschwindigkeit liegt, eingerechnet der Unsicherheiten bei der Geothermobarometrie und der Geochronologie, bei etwa 86 bis 143 mm/Jahr (Abb. 6 rechts; Wilke et al., 2010b). Anhand der U-Pb-Alter von Rutil und Titanit ($44,1 \pm 1,3$ und $41,3 \pm 4,7$ Mio. Jahren) kann angenommen werden, dass die Gesteine für einen längeren Zeitraum bei gleichbleibenden Temperaturen, ähnlich der Bildung des Ca-Amphibols, in rund 40 km Tiefe verblieben. Durch diese Verlangsamung der Exhumationsgeschwindigkeit auf rund 1 mm/Jahr kommt es zur petrologisch sichtbaren Aufheizung unter amphibolitfaziellen Bedingungen. Phengite mit einem signifikant niedrigeren Si-Gehalt als der aus der UHP-Metamorphose, zeigen ein $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Alter von $34,47 \pm 0,20$ und $31,77 \pm 0,20$ Mio. Jahren. Sie repräsentieren Phengite, die durch Fluide zeitlich partiell zurückgesetzt wurden. Mit diesem

Alter ergibt sich eine unwesentlich höhere Exhumationsrate von 2 mm/Jahr bei oberen grünschieferfaziellen Bedingungen (550 bis 580 °C; 35 bis 20 km Tiefe). Biotite beginnen bei diesen Bedingungen die Phengite zu überwachsen und zu verdrängen. Ihr Alter beträgt 28 bis 29 Mio. Jahre. Biotite, die ein Alter von 22 Mio. Jahre zeigen, deuten bereits die finale Exhumation des Kristallins an. Entlang einer reaktivierten ehemaligen Aufschiebungsstörung glitt der während der Kollision aufgeschobene Inselbogen ab und legte die UHP-Gesteine frei.

Um auch diese jüngste Phase der Exhumierung zu quantifizieren, wurden Spaltspurendatierungen (AFT: apatite fission track) und U-Th/He-Datierungen an Apatiten durchgeführt. Die Spaltspuren wurden an der Universität Potsdam ausgezählt, die U-Th/He-Datierungen wurden am Department of Geology, University of Kansas, USA, durchgeführt. Die ermittelte Schließungstemperatur, also die Temperatur, bei der das Alter der Minerale gespeichert wurde, liegt für die AFT-Datierungen bei rund 110 °C, für die U-Th/He-Datierungen bei rund 68 °C. Für den nördlichsten Teil des Kaghan-Tals wurden Spaltspuren-Alter zwischen 24,5 ± 3,7 und 15,6 ± 2,1 Mio. Jahren und U-Th/He-Alter von 21,0 ± 0,6 bzw. 5,3 ± 0,2 Mio. Jahren ermittelt. Da die Abschiebung des Inselbogens auf etwa 25 Mio. Jahre datiert ist (z. B. Treloar et al., 2003), reflektieren diese Alter eindeutig die nachfolgende Abkühlung. Für das südliche Kaghan-Tal wurden jüngere Spaltspuren-Alter von 7,6 ± 2,1 bis 4,0 ± 0,5 Mio. Jahren ermittelt, was, wie bereits bei der petrographisch und petrologischen Untersuchung angedeutet, auf eine räumlich und zeitlich entkoppelte Entwicklung dieser beiden Teile des Kaghan-Tals schließen lässt. Diese jüngsten Abkühlungsalter sind sehr wahrscheinlich miozäner Hebung und Erosion zuzuschreiben, die entlang einer südlicheren Aufschiebungsstörung eine neue orographische Barriere entstehen ließ (Wilke et al., 2012).

Eine wesentliche Erkenntnis dieser Studien ist, dass sich der S-förmige P-T-Pfad, der für die UHP-Eklogite aus den Kaghan-Tal in Pakistan ermittelt wurde, direkt mit dem aus dem Tso Morari-Areal in Indien vergleichen lässt (Abb. 6 links). Beide Pfade beschreiben die Exhumation aus Mantel- in Krustentiefen unter den sich ändernden Bedingungen. Inzwischen konnte zudem gezeigt werden, dass die UHP-Gesteine aus beiden Lokalitäten zur gleichen Zeit, vor 47 bis 43 Mio. Jahren gebildet worden sind (Donaldson et al., 2013). Die offensichtlichen Ähnlichkeiten in der Bildung und Exhumation von Kaghan- und Tso Morari-Eklogiten lässt die Vermutung zu, dass diese Prozesse eventuell allgemeingültig für UHP-Areale weltweit sind. Hierzu bedarf es aber noch weiterer Untersuchungen, die aktuell an Proben vom Tso Morari-Areal durchgeführt werden. Sicher scheint, dass ein einzelner Mechanismus, wie der „channel flow“, bis in Manteltiefen subduzierte Gesteine kaum wieder an die Oberfläche bringen kann. So konnte auch gezeigt werden, dass (1) keine Schmelze zur Reduzierung der Viskosität im Gesteinsverband vorhanden war und (2) der größte Teil der Exhumation der UHP-Gesteine schon vor der Initiierung des Monsuns (vor etwa 18 Mio. Jahren) stattgefunden hatte und damit (3) die benötigte

starke Erosionsrate an der Extrusionsfront fehlte. Ein positives Feedback zwischen Klima und Exhumation für die UHP-Areale im nordwestlichen Himalaya gab es also offenbar nicht.

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institut für Erd- und Umweltwissenschaften der Universität Potsdam: Patrick J. O'Brien, U. Altenberger, R. Oberhänsli, M. Konrad-Schmolke, M. J. Timmerman, M. Sudo, E. R. Sobel und Chr. Fischer sowie A. Gerdes von der Universität Frankfurt und D. Stockli, Jackson School of Geosciences, Texas, USA. Mein besonderer Dank gilt O. Appelt und D. Rhede vom GFZ.

Literatur

- Beaumont, C., Jamieson, R. A., Nguyen, M. H., Lee, B. (2001): Himalayan tectonics explained by extrusion of a low-viscosity crustal channel coupled to focused surface denudation. - *Nature*, 414, 6865, 738-742, 10.1038/414738a.
- Chemenda, A. I., Burg, J.-P., Mattauer, M. (2000): Evolutionary model of the Himalaya-Tibet system: geopoem: based on new modelling, geological and geophysical data. - *Earth and Planetary Science Letters*, 174, 3-4, 397-409, 10.1016/S0012-821X(99)00277-0.
- Donaldson, G. D., Webb, A. A. G., Menold, C. A., Kylander-Clark, A. R. C., Hacker, B. R. (2013): Petrochronology of Himalayan ultrahigh-pressure eclogite. - *Geology*, 41, 8, 835-838, 10.1130/G33699.1.
- Gilotti, J. A. (Ed.) (2013): Continental crust at mantle depths. - *Elements*, 9, 4, 243-320.
- Massonne, H. J., O'Brien, P. J. (2003): The Bohemian Massif and the NW Himalaya. - In: Carswell, D. A., Compagnoni, R., (Eds.), *Ultrahigh pressure metamorphism*, (EMU notes in mineralogy ; 5), Budapest, 145-187.
- Treloar, P. J., O'Brien, P. J., Parrish, R. R., Khan, M. A. (2003): Exhumation of early Tertiary, coesite-bearing eclogites from the Pakistan Himalaya. - *Journal of the Geological Society*, 160, 3, 367-376, 10.1144/0016-764902-075.
- Wilke, F., O'Brien, P., Altenberger, U., Konrad-Schmolke, M., Ahmed Khan, M. (2010 a): Multi-stage history in different eclogite types from the Pakistan Himalaya and implications for exhumation processes. - *Lithos*, 114, 1-2, 70-85, 10.1016/j.lithos.2009.07.015.
- Wilke, F., O'Brien, P., Gerdes, A., Timmerman, M., Such, M., Ahmed Khan, M. (2010 b): The multistage exhumation history of the Kaghan Valley UHP series, NW Himalaya, Pakistan from U-Pb and 40Ar/39Ar ages. - *European Journal of Mineralogy*, 22, 5, 703-719, 10.1127/0935-1221/2010/0022-2051.
- Wilke, F., Sobel, E. R., O'Brien, P. J., Stockli, D. F. (2012): Apatite fission track and (U-Th)/He ages from the Higher Himalayan Crystallines, Kaghan Valley, Pakistan: Implications for an Eocene Plateau and Oligocene to Pliocene exhumation. - *Journal of Asian Earth Sciences*, 59, 14-23, 10.1016/j.jseaes.2012.06.014.

Noch Sekunden bis zu Erschütterung: Ein Erdbebenfrühwarnsystem für Bischkek

Tobias Boxberger¹, Marco Pilz¹, Sagynbek Orunbaev², Massimiliano Pittore¹, Kevin Fleming¹, Claus Milkereit¹, Stefano Parolai¹, Dino Bindi¹

¹ Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

² Zentralasiatisches Institut für angewandte Geowissenschaften, Bischkek, Kirgisistan

Central Asia belongs to the regions of the world most exposed to high levels of seismic hazard. After the collapse of Soviet Union, the seismic monitoring in this area decreased significantly in quality and quantity since the maintenance of previous analog networks dealt with serious economic difficulties. Moreover, the installation of modern digital network was limited to few cases (e.g. stations in Kazakhstan or the KNET deployed in Kyrgyzstan). In the last decade the situation improved but still the new networks are concentrated in a few regions and devoted mainly to weak-motion seismology. In this article, we describe the installation of a small strong-motion network in the Kyrgyz capital Bishkek, intended for earthquake early warning and rapid response purposes. Low cost strong-motion stations developed at GFZ have been installed in seven buildings spread over the town, each one monitored by several sensing units to accomplish also the task of structural health monitoring. The stations communicate via wireless link and the streams collected by one specific station are communicated to the data management center via internet. Each unit has computational power, allowing for decentralized operations related to on-site early warning. An extension of this network to a regional early warning network for real time risk assessment is expected in the near future.



Frühwarnsysteme leisten weltweit wichtige Dienste im Bereich des Risikomanagements und der Risikominimierung in Regionen, die großen Gefahren durch Naturkatastrophen ausgesetzt sind. So wurden beispielsweise umfangreiche Frühwarnsysteme für Erdbeben in Japan, Mexiko und Taiwan installiert sowie Tsunami-Frühwarnsysteme im Pazifik und – unter Federführung des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ – im Indik in Betrieb genommen. In weiteren gefährdeten Ländern und Regionen wie z. B. Kalifornien, Rumänien und Italien werden aktuell Erdbebenfrühwarnsysteme entwickelt.

Bereits während vergangener katastrophaler Ereignisse haben solche Frühwarnsysteme ihre Notwendigkeit unter Beweis gestellt: So konnte anlässlich des Ometepec-Erdbebens in Mexiko am 20. März 2012 die Zivilbevölkerung frühzeitig gewarnt und die Untergrundbahnen in Mexiko Stadt gestoppt werden. Auch in Japan kommen Erdbebenfrühwarnsysteme seit 2007 erfolgreich zum Einsatz; ihre Wirksamkeit haben sie zuletzt während des Tōhoku-Erdbebens am 11. März 2011 gezeigt: weite Teile Japans waren einer makroseismischen Intensität von 7 (der höchsten Stufe auf der japanischen Intensitätsklassifizierung) ausgesetzt, und auch für große Entfernungen von über 300 km vom Erdbebenherd wurden hohe Bodenbeschleunigungen von über 1g gemessen. Obwohl eine erste, nach wenigen Sekunden berechnete Abschätzung der Magnitude mit 7,2 deutlich zu niedrig lag, konnte bereits nach 8,6 Sekunden, und damit noch bevor die zerstörerischen Scherwellen an der ersten Station des japanischen Netzwerks an Land gemessen wurden, eine Frühwarnung herausgegeben werden und beispielsweise die Shinkansen-Hochgeschwindigkeitszüge rechtzeitig gestoppt werden (Hoshiya und Ozaki, 2012).

In vielen Regionen weltweit kommen trotz einer hohen Gefährdung und eines hohen Risikos keine Frühwarnsysteme zum Einsatz. Ein Beispiel hierfür stellen die zentralasiatischen Staaten Kasachstan, Kirgisistan, Tadschikistan, Turkmenistan und Usbekistan dar. Mit dem Zerfall der früheren Sowjetunion ging ein Niedergang vieler wichtiger Infrastruktureinrichtungen und damit auch die Auflösung einer Vielzahl seismischer Stationen für die Überwachung starker Bodenbewegungen einher.

Links: Installation einer SOSEWIN-Station im Archiv für analoge Seismogramme, Seismologisches Institut, Bischkek, Kirgisistan (Foto: D. Bindi, GFZ)

Left: SOSEWIN installation inside the room where the analog seismograms are archived, Institute of Seismology, Bishkek, Kyrgyzstan

Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, hat das GFZ in enger Kooperation mit dem Zentralasiatischen Institut für Angewandte Geowissenschaften (ZAIAG) in Bischkek, Kirgisistan, Anstrengungen unternommen, ein Überwachungsnetzwerk in der kirgisischen Hauptstadt zu installieren, das sowohl für die Frühwarnung als auch für eine schnelle, koordinierte Reaktion nach einem katastrophalen Ereignis geeignet ist.

Regionale und lokale Frühwarnung

Bei den Erdbebenfrühwarnsystemen muss im Wesentlichen zwischen regionalen und lokalen Konfigurationen unterschieden werden. Für den regionalen Aufbau wird ein dichtes Netzwerk von seismischen Stationen nahe der Erdbebenherdzone installiert, mit denen ein Beben hinsichtlich Ort und Magnitude frühzeitig registriert und eine Warnung herausgegeben werden kann. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass Erdbeben unterschiedliche Arten von seismischen Wellen erzeugen: Raum- und Oberflächenwellen. Die einzelnen Wellentypen eines Erdbebens breiten sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten vom Erdbebenherd aus. An einem bestimmten Punkt auf der Erde kommen sie daher nicht zur selben Zeit an, sondern mit wachsender Entfernung in zunehmend größerem zeitlichen Abstand. Zuerst treffen die relativ harmlosen Primärwellen ein, dann die zerstörerischen Scherwellen und schließlich als letzte die Oberflächenwellen. Die Vorlaufzeit, d. h. die Zeit, die für die Alarmierung der Bevölkerung bleibt, wird dabei definiert als die Zeit, die nötig ist, um das Beben möglichst genau zu charakterisieren, plus der Zeit bis zum Eintreffen der Scherwellen.

Wenn allerdings die Herdzone sehr nahe an einer gefährdeten Stadt liegt, bleibt nur eine sehr kurze Vorlaufzeit. Die Frühwarnung basiert dann nur auf vereinfachten Berechnungen für die Bodenbewegung auf Grundlage weniger Kenngrößen, die aus den ersten Sekunden der Primärwellen berechnet werden. Trotzdem kann diese Zeit genutzt werden, um spezielle, für den Erdbebenfall aufgestellte Verhaltensmaßnahmen der Katastrophenschutzbehörden umzusetzen. Nachweisbar kann so die Wahrscheinlichkeit eine Erdbebenkatastrophe zu überleben deutlich erhöht werden.

Neben den regionalen haben insbesondere auch die lokalen Frühwarnsysteme vom technologischen Fortschritt während der letzten Jahrzehnte profitiert. Seit den 1980er-Jahren fand eine kontinuierliche Entwicklung kostengünstiger seismischer Sensoren statt, die heute in Verbindung mit hoher Rechenleistung und kabelloser Datenübertragung den Aufbau räumlich dichter Netzwerke erlaubt, die sowohl für die Frühwarnung als auch für die permanente Überwachung des strukturellen Zustands wichtiger Gebäude genutzt werden können.



Kontakt: T. Boxberger
(tobias.boxberger@gfz-potsdam.de)

SOSEWIN – ein modernes Sensorsystem

Einer der ersten kabellosen Sensoren für die Überwachung von Gebäuden wurde schon 1998 von Straser und Kiremidjian vorgestellt. Heutzutage ist es möglich, solche Sensoren mit Mikrosteuerbausteinen und Rechnerbauteilen auszustatten und damit ihr Leistungsvermögen deutlich zu erhöhen, um eine dezentrale Schadensanalyse für die überwachten Gebäude durchzuführen.

Im Rahmen der Projekte SAFER (www.saferproject.net) und EDIM (www.cedim.de/EDIM.php) und in Kooperation mit dem Institut für Informatik der Humboldt-Universität Berlin wurden am GFZ neuartige kabellose Sensoreinheiten entwickelt, die zu einem Netzwerk mit dem Namen SOSEWIN (Self Organising Seismic Early Warning Information System) verdichtet werden können (Fleming et al., 2009; Picozzi et al., 2010). Mehrere Hauptziele lagen der Entwicklung dieser Sensoreinheiten zugrunde:

- SOSEWIN steht für ein dezentrales, selbstorganisierendes, vermaschtes, kabelloses Netzwerk, in dem jeder Netzwerkknoten mit einem oder mehreren anderen verbunden ist. Die Informationen werden von Knoten zu Knoten weitergereicht, bis sie das Ziel erreichen.
- Jeder Sensorknoten ist aus kostengünstigen Massenartikeln aufgebaut.
- Jeder Sensorknoten führt eine eigene, einfache Verarbeitung der seismischen Daten durch, übernimmt deren Archivierung und gibt gegebenenfalls selbst eine Warnmeldung heraus.

- Die Entscheidung über das Aussenden einer Frühwarnung wird intern innerhalb des Sensornetzwerks gefällt, wobei man sich die Kommunikation zwischen den einzelnen Sensorknoten des Netzwerks zunutze macht. Das Auslösen eines Alarms kann sowohl innerhalb des Netzwerks erfolgen (d. h. der Alarm wird an jedem Netzwerkstandort ausgelöst) als auch außerhalb (d. h. der Alarm wird über eine Schnittstelle nach außen an ein Lagezentrum übertragen).
- Aufgrund der Selbstorganisationsfähigkeit kann sich das Netzwerk kontinuierlich auf die sich verändernden äußeren Bedingungen einstellen (z. B. Hinzuschaltung/Ab-schaltung/Ausfall einzelner Netzwerkknoten oder ganzer Netzwerkteile nach einem katastrophalen Ereignis, Interferenzprobleme usw.).

Die einzelnen Sensoreinheiten sind dabei aus drei Hardwarekomponenten aufgebaut: ein Digitalumsetzer, ein kabelloser vermittelnder Netzwerkknoten und ein seismischer Sensor. Mit Ausnahme der am GFZ entwickelten Leiterplatte für den Digitalumsetzer sind alle Bauteile Massenartikel, wodurch sich die Anschaffungskosten im Vergleich zu anderen am Markt erhältlichen Seismometern deutlich reduzieren. Abb.1 zeigt eine solche Sensoreinheit und ihren schematischen Aufbau. Die Installation aller Platinen erfolgt in einem kleinen, wasserdichten Metallbehälter (Größe 220 x 140 x 71 mm; 1,75 kg). Allseitige Dualbandantennen mit entgegengesetzter vertikaler Polarisierung garantieren eine optimale Kommunikation mit

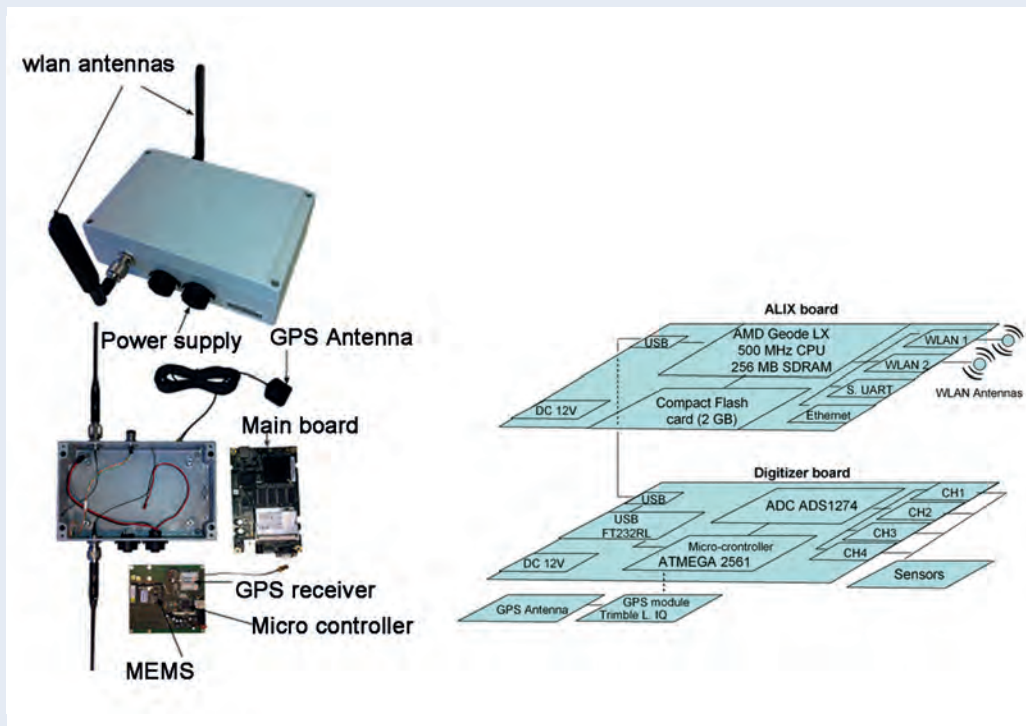


Abb. 1: Eine am GFZ entwickelte, kabellose Sensoreinheit. Die linke Abbildung zeigt das gesamte Bauteil (eine genaue Beschreibung findet sich im Text). Die rechte Seite zeigt einen schematischen Überblick über die interne Netzwerkarchitektur.

Fig. 1: The GFZ-Wireless Sensing Unit. In the left panel, the complete unit is shown (a detailed description can be found in the text). In the right panel, a schematic overview of the internal architecture is shown.

benachbarten Sensoreinheiten. Eine GPS-Antenne ist für eine genaue Zeitsynchronisierung aller Sensorknoten erforderlich. Einschließlich der Aufzeichnung und Echtzeitübertragung der Daten liegt die Leistung einer Sensoreinheit bei rund 4,5 W.

Die Übertragung seismischer Daten zwischen den einzelnen Sensoreinheiten eines Netzwerks basiert auf dem Prinzip der Leitweglenkung, d. h. die Übermittlung erfolgt entlang spezieller Pfade von einer Datenquelle zu einem Empfänger. Im vorliegenden Fall wird die Leitweglenkung dadurch erschwert, dass alle Netzwerkknoten gleichzeitig als Datensender, -übermittler und -empfänger arbeiten können. Hierzu arbeiten die selbstorganisierenden Sensoreinheiten auf Grundlage der OLSR (Optimized Link State Routing)-Protokolle; dies sind proaktive Protokolle, bei denen für jeden Netzwerkknoten ein Überblick über die gesamte Netzwerkarchitektur vorliegt, wodurch die Daten unmittelbar und auf dem effizientesten Weg zu jedem beliebigen Netzwerkknoten und damit zu den Netzwerkschnittstellen und zum Endnutzer übertragen werden können. Die seismischen Daten werden zwischen den Stationen standardmäßig mit einer sogenannten Multi-hop-Strategie mit dem SeedLink-Protokoll übertragen. SeedLink ist ein robustes Protokoll, bei dem die Verbindung zwischen den einzelnen Netzwerkknoten ohne Datenverlust getrennt und wieder verbunden werden kann, da die Datenübertragung genau an dem Punkt wiederaufgenommen werden kann, an dem die Trennung erfolgte.

Darüber hinaus wurde vor kurzem ein weiterer Sensorprototyp in Zusammenarbeit mit der Firma GEMPA fertiggestellt, bei dem jede Sensoreinheit mit einem neuen Datenaquisitionsserver ausgestattet ist (sogenannte Common Acquisition Protocol Server). Gegenüber der Verwendung des SeedLink-Protokolls können damit Daten von mehreren Stationen mittels eines vereinheitlichten Protokolls übertragen werden (z. B. sowohl seismische Daten mit einer hohen Abtastrate als auch Bilder mit einer geringeren Abtastrate). Dies ist ein entscheidender Vorteil für zukünftige Anwendungen im Bereich der gemeinsamen seismischen und bildlichen Überwachung.

Automatische Berechnung der Parameter

Das in jedem Netzwerkknoten installierte Softwarepaket ist identisch mit dem von Fleming et al. (2009) Beschriebenen. In jeder Sensoreinheit werden grundlegende Rechenschritte durch die Frühwarnsoftware durchgeführt. Dies umfasst die Erkennung von Erdbeben, die Vorausberechnung einiger wichtiger Parameter zur Bodenbewegung für die später eintreffenden Scherwellen sowie eine ständige Aktualisierung der Daten in Echtzeit. Der Nachweis, dass ein starkes Beben aufgetreten ist, erfolgt kontinuierlich und rekursiv mittels eines Vergleichs des Kurzzeit-/Langzeitmittelwerts der Amplitude der Bodenbewegung. Für den Fall eines starken Bebens liegt der Kurzzeitmittelwert naturgemäß deutlich höher. Wird ein bestimmter Grenzwert zwischen Kurzzeit- und Langzeitmittelwert

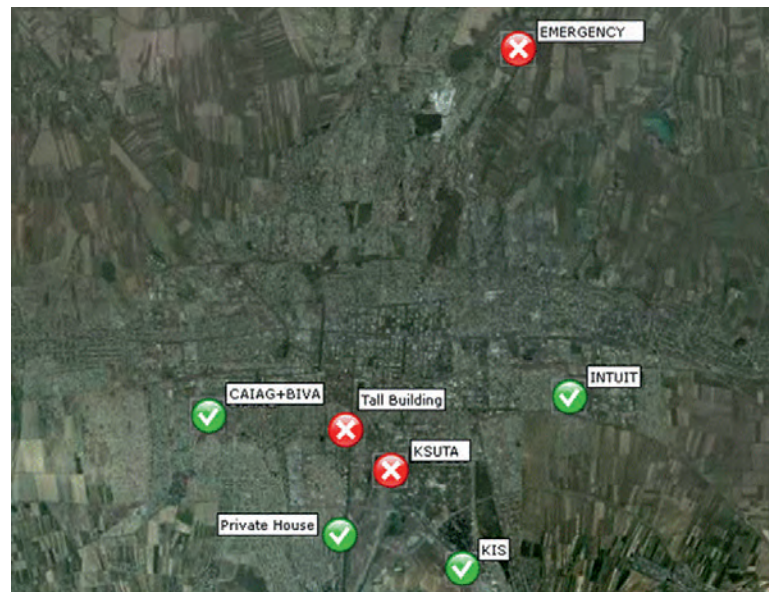


Abb. 2: Standort der Gebäude in Bischkek, in denen Sensoren installiert wurden. Ein grüner Kreis signalisiert, dass alle Sensoren in dem entsprechenden Gebäude und die Kommunikation störungsfrei arbeiten; ein roter Kreis signalisiert, dass derzeit Probleme für mindestens einen Sensor vorliegen.

Fig. 2: Location of the buildings in Bishkek where the wireless sensing units are installed. A green circle indicates that all instruments and the communication work properly. A red circle indicates that there are problems for at least one sensor unit

überschritten, werden die erwarteten maximalen Bodenbewegungsparameter berechnet. Die genaueste Charakterisierung des Bebens basiert auf einer ständigen Aktualisierung der wichtigsten Bodenparameter (dies umfasst die maximale Bodenbeschleunigung, die maximale Bodengeschwindigkeit und den maximalen Bodenversatz).

Der Algorithmus, der die Ausgabe einer sensorspezifischen Frühwarnung steuert, basiert auf den Daten der ersten Sekunden der (relativ ungefährlichen) Primärwellen; daraus wird mittels empirischer Beziehungen die erwartete, maximale standortspezifische Bodengeschwindigkeit für die wenige Zeit später eintreffenden zerstörerischen Scherwellen berechnet. Die Berechnung basiert auf einer möglichst exakten Lokalisierung des Bebens, seiner Magnitude und einer charakteristischen Abschwächung der Bodenbewegung mit zunehmender Entfernung vom Bebenherd. Da nicht nur das Verhalten des Untergrunds allein, sondern auch der physische Zustand des Gebäudes für eventuelle Schäden verantwortlich ist, kann darüber hinaus auch eine Beschreibung der Vulnerabilität des Gebäudes in jeden Netzwerkknoten eingelesen werden, der die Schadensklasse mit Parametern der maximalen Bodenbewegung in Verbindung bringt. Diese sogenannte „fragility curve“ liegt angepasst an den Gebäudetyp als Tabelle vor und wird

von der Auswertesoftware, die auf jedem Sensorknoten läuft, verarbeitet.

Weiterhin wurde in Zusammenarbeit mit der Firma GEMPA ein aktualisiertes Benachrichtigungsverfahren eingeführt, mit dessen Hilfe die Ausgabe von Warnmeldungen der einzelnen Netzwerkknoten gesteuert werden kann, sobald ein gewisser Grenzwert für die Primärwellenbodenbewegung überschritten wird. Die Meldungen werden beim Eingang neuer Informationen fortlaufend aktualisiert. Sind weitergehende Informationen über das möglicherweise instabile Verhalten des Gebäudes verfügbar, beinhalten die ausgegebenen Meldungen auch Informationen über möglicherweise eintretende Gebäudeschäden.

Rund 30 Sensoreinheiten in Bischkek

Die erste Realisierung eines solchen Erdbebenfrühwarnsystems erfolgt seit dem Jahr 2012 unter Leitung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des GFZ in der kirgisischen Hauptstadt Bischkek. Rund 30 der oben beschriebenen Sensoreinheiten wurden in sieben verschiedenen, öffentlichen und privaten Gebäuden im gesamten Stadtgebiet installiert (Abb. 2 und 3). Jedes Gebäude wurde mit mehreren Sensorknoten (zwischen drei und zehn Einheiten pro Gebäude) ausgestattet, die in verschiedenen Stockwerken eingerichtet wurden. Beispielsweise wurden in unserem Partnerinstitut ZAIAG sieben Sensoren installiert. Eine detaillierte Übersicht

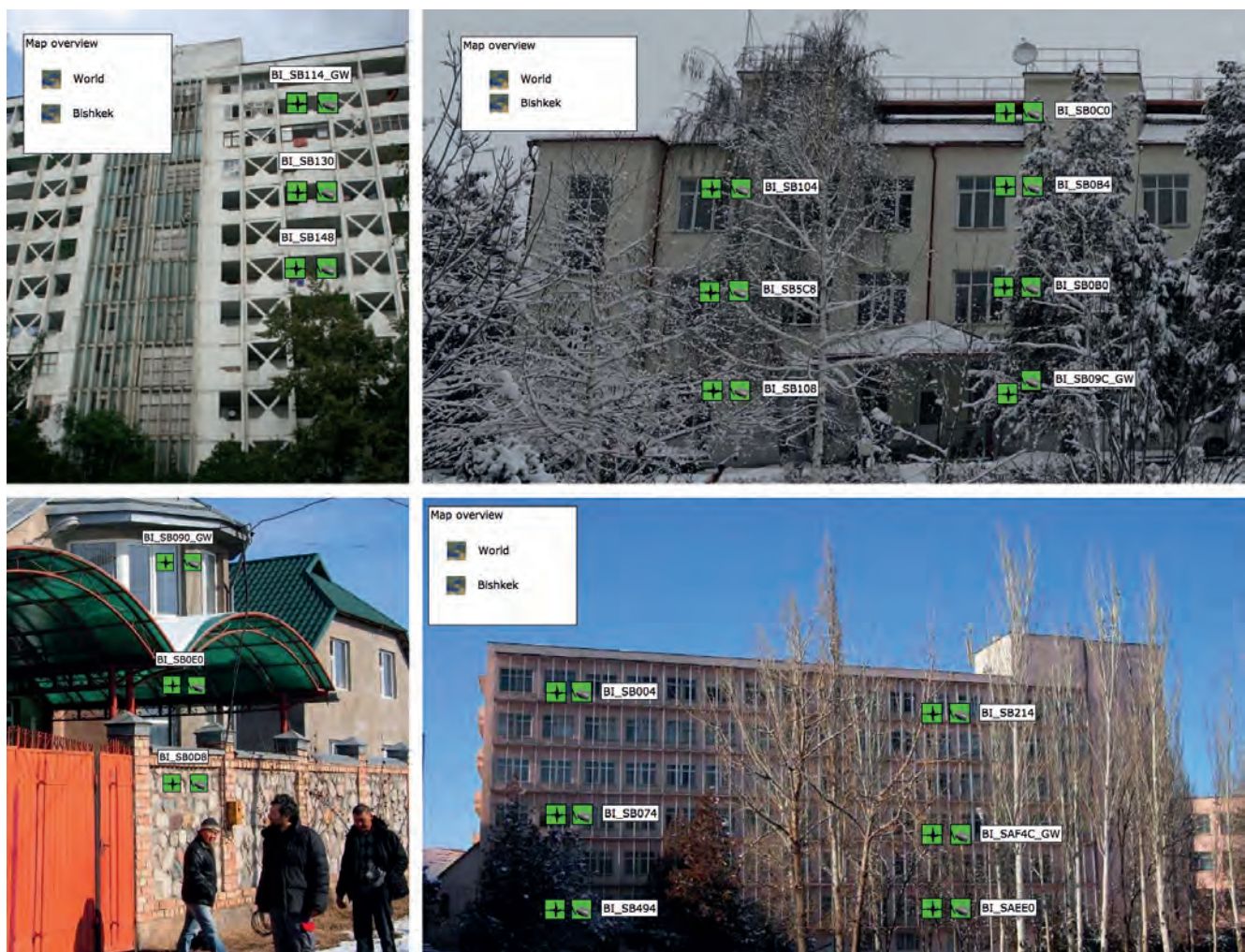


Abb 3.: Frontalaufnahmen von Gebäuden in Bischkek, in denen Teile des Netzwerks installiert wurden (links: Wohngebäude, rechts: öffentliche Gebäude). Die Icons sind Teil der Statusmeldung; Grün: Station ist online, Rot: Station ist offline. Das Fenster mit der Kartenübersicht dient der Navigation zu Detailansichten.

Fig. 3: Example of buildings in Bishkek hosting the sensing units (left: residential buildings; right: public building). The icons are part of the status message, green symbol means the station is online and red respectively the station is offline. The map overview window allows to navigate to the different detail views.

über den Funktionsstatus für die einzelnen Gebäude kann unter <http://lhotse21.gfz-potsdam.de/nagvis> abgerufen werden. Über einen einzigen Netzwerkknoten in jedem Gebäude, der mit dem Internet verbunden ist, werden die Daten von allen Sensoren an das GFZ und das ZAIAG übermittelt. Die Software, die über das Ausgeben einer Frühwarnung entscheidet, befindet sich noch in einer Testphase, so dass in der gegenwärtigen Realisierung nur Datenübertragung in Echtzeit erfolgt.

Ausblick

Dieses lokale Netzwerk stellt den Grundbaustein für ein wesentlich umfangreicheres regionales Netzwerk dar, das in den nächsten Jahren vom GFZ in Zusammenarbeit mit den zentralasiatischen Partnern aufgebaut werden soll. Die Tatsache, dass viele Großstädte in Zentralasien sowohl durch Erdbeben von nahen (d. h. in einer Entfernung von wenigen Zehner Kilometern) als auch von weiter entfernten Verwerfungen gefährdet sind, zeigt, wie wichtig eine Realisierung von sowohl lokalen als auch regionalen Erdbebenfrühwarnsystemen ist. Insbesondere soll auf Grundlage der Ergebnisse von Stankiewicz et al. (2013) in Kürze ein regionales Netzwerk für Bischkek realisiert werden, das optimale Ergebnisse sowohl für die Frühwarnung als auch für eine Schadensabschätzung in Echtzeit liefern soll. Damit kann auch überprüft werden, ob die bestehenden Risikokartierungen gültig sind oder ob gegebenenfalls Aktualisierungen erforderlich sind.

Literatur

- Fleming, K., Picozzi, M., Milkereit, C., Kühnlenz, F., Lichtblau, B.; Fischer, J., Zulfikar, C., Özel, O., SAFER and EDIM working groups (2009): The Self-organizing Seismic Early Warning Information Network (SOSEWIN). - *Seismological Research Letters*, 80, 5, 755-771, 10.1785/gssrl.80.5.755.
- Hoshiba, M., Ozaki, T. (2012): Earthquake Early Warning and Tsunami warning of JMA of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. - *Zisin - Journal of the Seismological Society of Japan*, 64, 3, 155-168, 10.4294/zisin.64.155.
- Picozzi, M., Ditommaso, R., Parolai, S., Mucciarelli, M., Milkereit, C., Sobiesiak, M., Di Giacomo, D., Gallipoli, M. R., Pilz, M., Vona, M., Zschau, J. (2010): Real time monitoring of structures in task force missions: the example of the $M_w=6.3$ Central Italy Earthquake, April 6, 2009. - *Natural Hazards*, 52, 2, 253-256, 10.1007/s11069-009-9481-1.
- Stankiewicz, J., Bindi, D., Oth, A., Parolai, S. (2013): Designing efficient earthquake early warning systems: case study of Almaty, Kazakhstan. - *Journal of Seismology*, 17, 4, 1125-1137, 10.1007/s10950-013-9381-4.
- Straser, E. G., Kiremidjian, A. S. (1998): A modular, wireless damage monitoring system for structures, (Report / John A. Blume Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University; 129), Stanford CA, 154 p., https://blume.stanford.edu/sites/default/files/TR128_Straser.pdf.



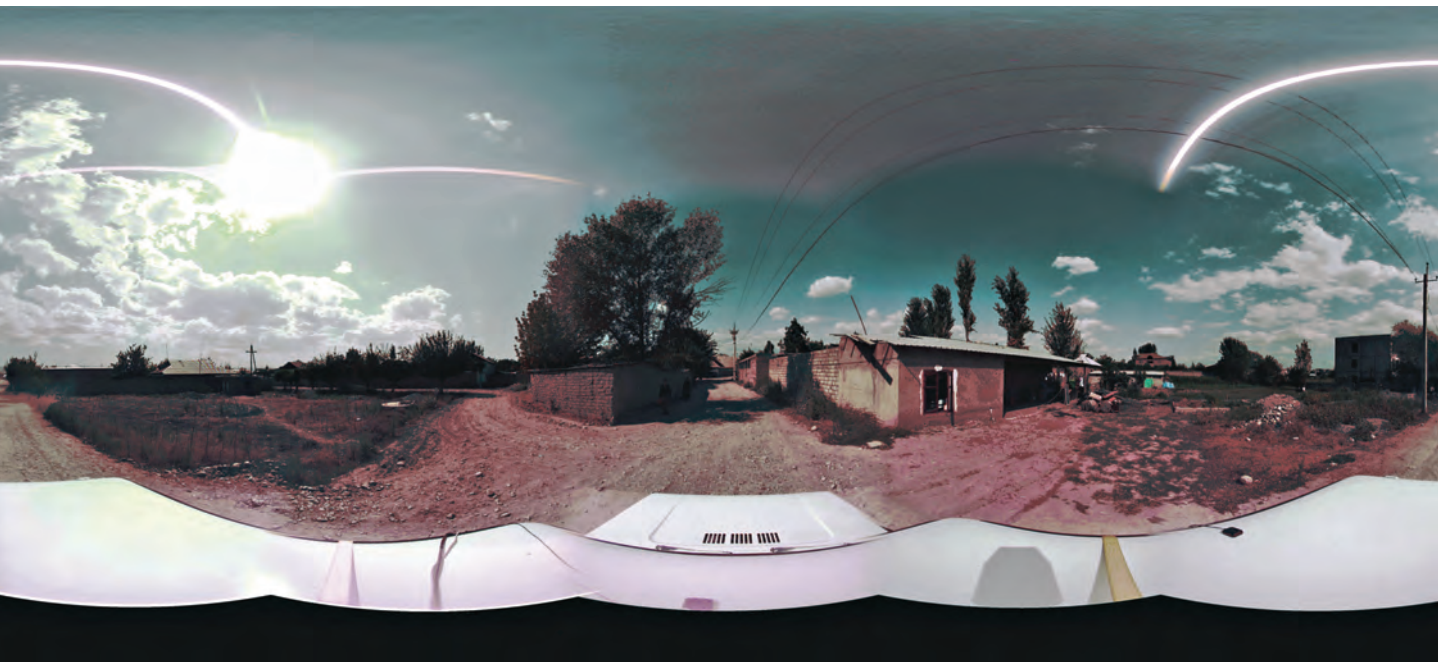
Abb. 4: Installation einer SOSEWIN-Station an der Fassade eines Gebäudes der KSUCTA-Universität in Bischkek (Foto: J. Stankiewicz, GFZ, jetzt ECGS)

Fig. 4: SOSEWIN installation at the facade of the KSUCTA university building in Bishkek

Risikoanalysen in Zentralasien

Massimiliano Pittore, Marc Wieland, Dino Bindi, Shahid Ullah, Marco Pilz, Kevin Fleming, Stefano Parolai
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

The threat to human society arising from earthquakes should never be underestimated, especially in those regions of the world more exposed to this natural hazard. The complex geodynamics of Central Asia make it a natural research laboratory for the geoscience community, but also present a source of serious concern for local populations and their administrations who have already dealt with the devastating consequence of earthquakes in the past. Evaluating expected seismic risk for the exposed communities is a great challenge that calls for a strong, unified effort by researchers and decision makers. The nature of this challenge requires holistic, multidisciplinary approaches and the development of innovative solutions and methodologies, especially in countries where few resources are available for disaster prevention and mitigation. Within several projects the GFZ Centre for Early Warning currently focuses on different components of risk in Central Asia. This article, therefore, provides a brief overview of these research activities, along with a description of an application in the framework of Early Warning and Rapid Response.



Omnidirektionale Kameraaufnahme des Gebäudebestands in Osh, Kirgisistan

Omnidirectional camera survey of the building stock in Osh, Kyrgyzstan

Die Länder Zentralasiens (Kasachstan, Kirgisistan, Tadschikistan und Turkmenistan) teilen nicht nur eine lange und faszinierende kulturelle Geschichte, sondern auch einen hohen Grad an Exposition gegenüber seismischer Gefährdung und anderen Naturgefahren, wie beispielsweise Überschwemmungen oder gravitativen Massenbewegungen.

Das Deutsche GeoForschungsZentrum GFZ ist an mehreren Projekten im Bereich der Katastrophenvorsorge in Zentralasien beteiligt. Das vom GFZ koordinierte Projekt EMCA (Erdbebenmodell Zentralasien), eine regionale Komponente des Projekts GEM (Globales Erdbebenmodell), zielt darauf ab, eine umfassende und grenzüberschreitende Risikoanalyse der gesamten Region durchzuführen. Die Forschungsgruppe des GFZ kann hierbei auf einer langjährigen Kooperation mit lokalen Instituten aufbauen und verwendet bei seiner Arbeit globale Standards, Werkzeuge und Ansätze, welche im Rahmen des GEM-Projekts entwickelt werden. Auch PROGRESS (Potsdam Research Cluster for Georisk Analysis, Environmental Change and Sustainability) befasst sich mit seismischen Risikoanalysen, wobei der Fokus hierbei auf der Expositionsanalyse im weiteren Kontext von Frühwarnsystemen liegt. Das kürzlich gestartete, am GFZ koordinierte EU-Projekt SENSUM (Framework to integrate Space-based and in-situ sENSing for dynamic vUlnerability and recovery Monitoring) befasst sich mit der Optimierung von Verwundbarkeitsanalysen und der Überwachung von Regenerierungsprozessen nach einem Erdbeben durch die Anwendung von Fernerkundung sowie räumlich-zeitlichem Informationsmanagement.

Risiko verstehen

Seismisches Risiko beschreibt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Schadensausmaßes an einem bestimmten Ort und innerhalb eines definierten Zeitraums als Ergebnis eines seismischen Ereignisses. Nach dieser Definition werden drei grundlegende Risikokomponenten unterschieden: Gefährdung, Exposition und Verwundbarkeit. Die Gefährdung beschreibt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Grads an Bodenbewegung an einem bestimmten Ort innerhalb eines definierten Zeitraums. Exposition umfasst die Elemente (Gebäude, Bevölkerung, Infrastruktur), die der Bodenbewegung ausgesetzt sind, und Verwundbarkeit beschreibt die Schadensanfälligkeit der exponierten Elemente bei einem bestimmten Grad an Bodenbewegung.

Es ist wichtig die einzelnen Komponenten separat zu behandeln, um eine realistische Einschätzung der potenziellen Konsequenzen eines Erdbebens zu ermitteln. Diese Information ist von

besonderem Interesse für Entscheidungsträger in der Katastrophenvorsorge, da sie es ermöglicht, verfügbare Ressourcen gezielter einzusetzen und effiziente Präventions- und Reduktionsmaßnahmen zu ergreifen. Seismische Gefährdungsmodelle werden als Grundlage für die Entwicklung von Baustandards für erdbebensicheres Bauen verwendet und generell dafür genutzt, die seismische Gefährdung innerhalb verschiedener Stadien der Stadtentwicklung zu berücksichtigen. Ein detailliertes Inventar der exponierten Elemente und deren Verwundbarkeit ist hingegen essentiell für verlässliche Abschätzungen potenzieller Verluste im Sinn von Gebäudeschäden, menschlichen Verlusten oder wirtschaftlichen Schäden. Diese Abschätzungen können wiederum als Entscheidungsbasis für spezifische Vorsorgemaßnahmen, wie beispielsweise die seismische Umrüstung von Schulen, Krankenhäusern oder Wohnhäusern verwendet werden.

Jeder Schritt einer Risikoanalyse ist mit Unsicherheiten verbunden. Manche sind von aleatorischer Natur, das heißt, sie reflektieren die natürliche Variabilität des physikalischen Phänomens; andere Unsicherheiten sind epistemischer Natur, was sich auf das wissenschaftliche und technische Wissen bezieht, welches den Modellen zugrunde liegt. Während aleatorische Unsicherheiten nicht reduziert werden können, lassen sich epistemische Unsicherheiten durch eine bessere Datengrundlage und verbesserte Modelle reduzieren. Im Kontext der Katastrophenvorsorge kommt es darauf an, alle diese Unsicherheiten zu berücksichtigen, um verlässliche Risikoabschätzungen zu ermöglichen und eine vertrauensvolle Basis für die Kommunikation zwischen wissenschaftlichen Institutionen und Verantwortungsträgern zu schaffen.

Seismische Gefährdungsanalyse

Zentralasien zählt weltweit zu den Regionen mit der höchsten seismischen Gefährdung. Erste Ansätze für eine seismische Zonierungskarte reichen zurück bis ins Jahr 1933. Nach dem Zerfall der Sowjetunion und der langsamen Öffnung der Region gab es erste Ansätze für eine einheitliche, verbesserte, wahr-scheinlichkeitsbasierte Gefährdungsanalyse für Zentralasien. Zwischen 1991 und 1997 wurde vom GFZ, als Beitrag zu GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program), eine neue seismische Zonierung Nordeurasiens realisiert (GFZ-97). In dieser Studie wurde die probabilistische Gefährdung für Zentralasien in Intensitätswerten ermittelt und dann in maximale Bodenbeschleunigung (PGA) konvertiert (Ulomov, 1999).

Im Rahmen von EMCA werden unter Federführung des GFZ neue seismische Gefährdungsanalysen für Zentralasien auf Basis



Kontakt: M. Pittore
(pittore@gfz-potsdam.de)

der Intensitätsskala MSK64 durchgeführt. Die für die Region entwickelten Gleichungen für die räumliche Verteilung der makroseismischen Intensität (Bindi et al., 2011) wurden dafür verwendet, die Wahrscheinlichkeit der Überschreitung jedes Intensitätswerts über eine fixe Zeitperiode zu ermitteln. Die Analysen basieren auf Untersuchungen vergangener seismischer Ereignisse; dies umfasst Informationen, die für verschiedene Orte verfügbar sind, ohne dabei weitere *A-priori*-Annahmen über die seismische Zonierung zu treffen. Das erlaubt es, den Einfluss der seismischen Zonierung zu überprüfen, wenn standardmäßige wahrnehmlichkeitsbasierte seismische Gefährdungsanalysen (PSHA) angewendet werden. Der entsprechende Katalog seismischer Ereignisse wurde im Rahmen des EMCA-Projekts vom nationalen Datenzentrum Kasachstans in Almaty (KNDC) erstellt. Abb.1 zeigt die aus dem Projekt resultierende Gefährdungskarte mit Intensitäten für eine Wiederholperiode von 475 Jahren (10 % Wahrscheinlichkeit der Überschreitung in 50 Jahren). Die Karte unterstreicht die hohe Gefährdung der Region, insbesondere in Kirgisistan (Intensität VII), Tadschikistan (Intensitäten VIII und IX), dem westlichen Teil der Gazli-Region in Usbekistan (VIII und IX) und dem westlichen Turkmenistan (Intensitäten VIII und IX nahe Aschgabat).

Modellierung des exponierten Gebäudebestands

Mit einer sogenannten Expositionsanalyse kann das Inventar von Gebäudetypen einer Stadt erfasst werden, inklusive ihrer strukturellen Merkmale, Anzahl und räumlicher Verteilung. Dies ist eine wichtige Grundlage für die seismische Risikoanalyse. Angesichts hoher Urbanisierungsraten und zunehmend wachsender räumlich-zeitlicher Dynamik in vielen Städten, ist es lokalen Verantwortungsträgern oft nicht möglich, den exponierten Gebäudebestand zu quantifizieren. Um eine harmonisierte regionale Beschreibung der geläufigsten Gebäudetypen für Zentralasien zu ermitteln und einen Wissenstransfer im Bereich der Expositions- und Verwundbarkeitsanalyse zu befördern, hat das GFZ im April 2013 einen Workshop in Bischkek am Zentralasiatischen Institut für angewandte Geowissenschaften (ZAIAG) organisiert. Der Workshop brachte Expertinnen und Experten aus dem Projekt EMCA aus Kirgisistan, Tadschikistan, Usbekistan, Turkmenistan und Kasachstan zusammen mit internationalen Expertinnen und Experten des Projekts GEM. Existierende Gebäudetypen der verschiedenen Länder wurden ausgewertet und repräsentative Gebäudetypklassen ermittelt, die durch detaillierte strukturelle Gebäudemerkmale

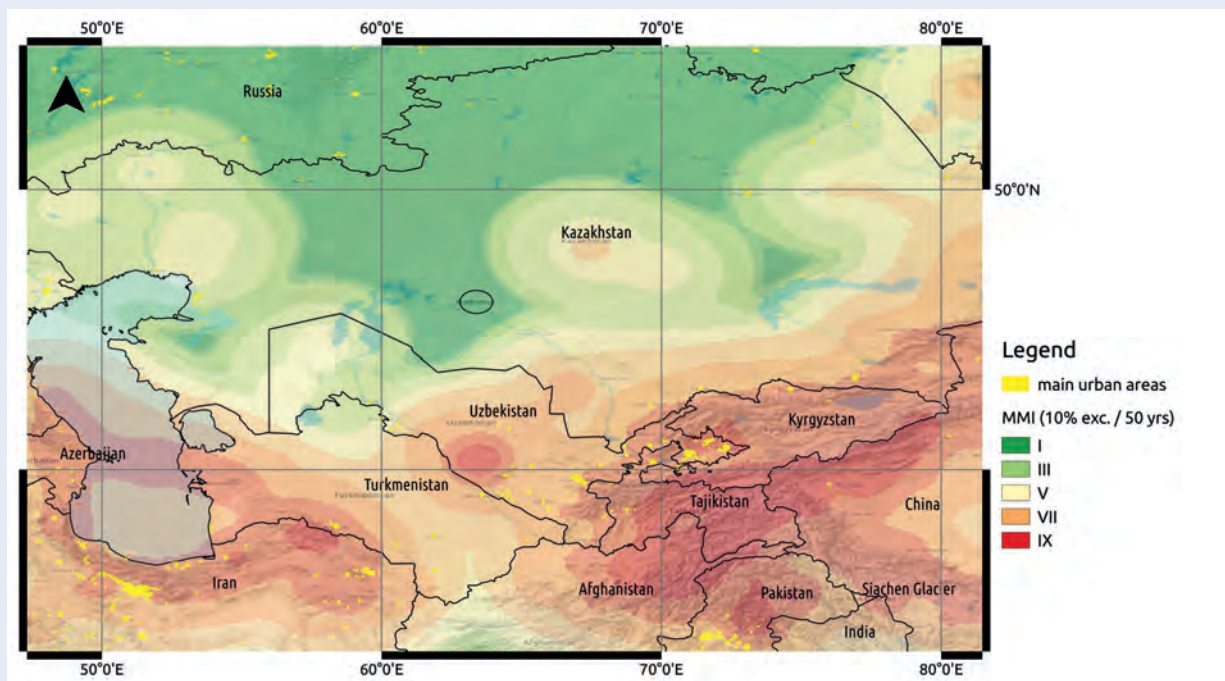


Abb. 1: Seismische Gefährdung in Zentralasien, modelliert nach dem Ansatz der geglätteten Seismizität. Verteilung der makroseismischen Intensität (MMI) mit 10 % Wahrscheinlichkeit der Überschreitung in 50 Jahren. Die urbanen Zentren sind gelb markiert.

Fig. 1: Seismic hazard in Central Asia modeled after the smoothed seismicity approach. Distribution of Macroseismic Intensity (MMI) with 10 % exceedance probability in 50 years. The areas with a higher degree of urbanization are shown marked in yellow.

Tab. 1: Identifizierte Gebäudetypen in Zentralasien und deren Beschreibung auf unterschiedlichen Detailebenen

Tab. 1: Proposed two-levels description of buildings stock in Central Asia

code	Description	subcode	Description
EMCA-1	Load bearing masonry wall buildings	1.1	Unreinforced masonry - buildings with walls of brick masonry, stone, or blocks in cement or mixed mortar (no seismic design) - wooden floors
		1.2	Unreinforced masonry - buildings with walls of brick masonry, stone, or blocks in cement or mixed mortar (no seismic design) - precast concrete floors
		1.3	Confined masonry
		1.4	Masonry with seismic provisions (e.g. seismic belts)
EMCA-2	Monolithic reinforced concrete buildings	2.1	Buildings with monolithic concrete moment frames
		2.2	Buildings with monolithic concrete frame and shear walls (dual system)
		2.3	Buildings with monolithic concrete frames and brick infill walls
		2.4	Buildings with monolithic reinforced concrete walls
EMCA-3	Precast concrete buildings	3.1	Precast concrete large panel buildings with monolithic panel joints - Seria 105
		3.2	Precast concrete large panel buildings with panel connections achieved by welding of embedment plates - Seria 464
		3.3	Precast concrete flat slab buildings (consisting of columns and slabs) - Seria KUB
		3.4	Prefabricated RC frame with linear elements with welded joints in the zone of maximum loads or with rigid walls in one direction - Seria 111, IIS-04
EMCA-4	Non-engineered earthen buildings	4	Buildings with adobe or earthen walls
EMCA-5	Wooden buildings	5.1	Buildings with load-bearing braced wooden frames
		5.2	Building with a wooden frame and mud infill
EMCA-6	Steel buildings	6	Steel buildings

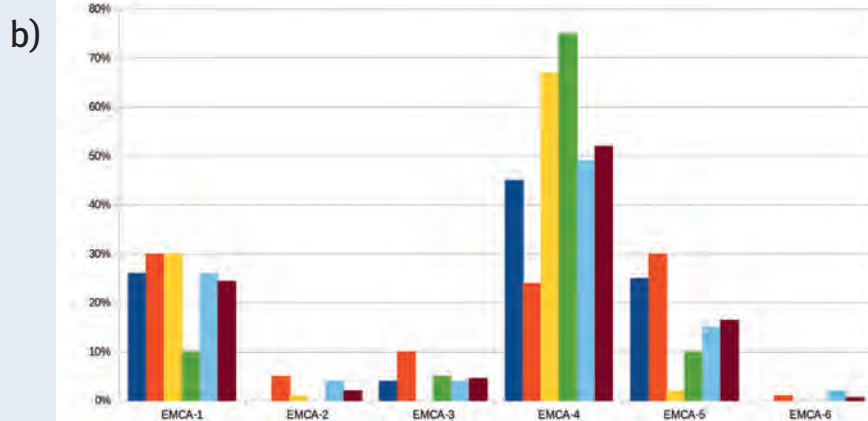
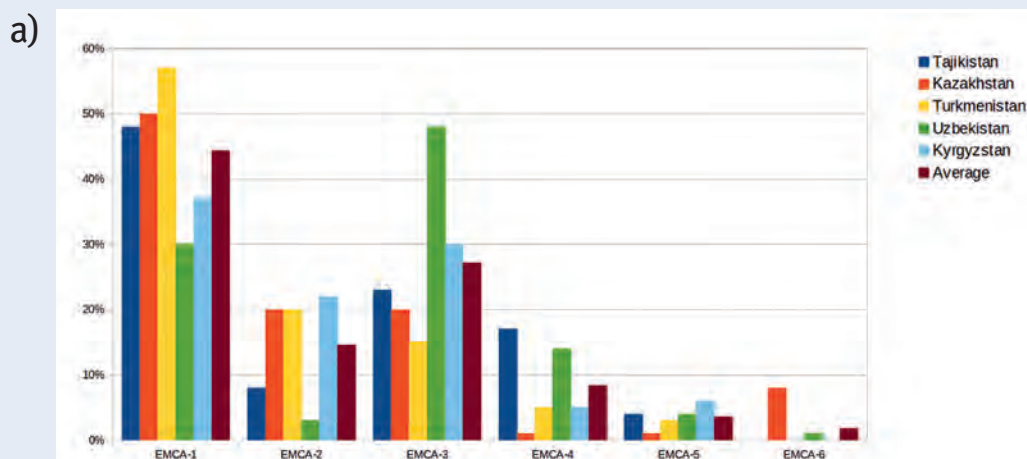


Abb. 2: Geschätzte Verteilung der Gebäudetypen der EMCA-Taxonomie für a) städtische Räume und b) ländliche Räume der verschiedenen zentralasiatischen Länder

Fig. 2: Estimated composition of a) urban and b) rural buildings stock in the different Central Asian countries, in terms of EMCA taxonomy, based on expert assessment

gekennzeichnet sind. Die Gebäudemerkmale wurden nach dem neuen globalen Taxonomiestandard, der im Rahmen von GEM entwickelt wurde, festgelegt. Tab.1 zeigt die identifizierten Gebäudetypen und deren Beschreibung auf unterschiedlichen Detailebenen. Die auf Expertenwissen basierende geschätzte Verteilung der Gebäudetypen für ländliche und städtische Räume der verschiedenen Länder ist in Abb.2 dargestellt. Durchschnittlich annähernd die Hälfte des exponierten Gebäudebestands (44 %) in städtischen Gebieten besteht aus meist nicht verstärktem Mauerwerk. Etwa 30% der Gebäude bestehen aus

Betonplatten-Fertigbau. In ländlichen Regionen dominieren Gebäude aus Erdmaterialien, welche üblicherweise einen hohen Grad an seismischer Verwundbarkeit aufweisen.

Ein neuartiger Ansatz zur Charakterisierung exponierter Elemente auf mehreren Maßstabsebenen, der auf einem mehrstufigen Analyseverfahren verschiedener Bilddatenquellen aufbaut und Stichprobenverfahren nutzt, wurde entwickelt, um aufwendige Vor-Ort-Untersuchungen effizient zu planen und durchzuführen (Abb. 3). In einer Top-down-Analyse werden

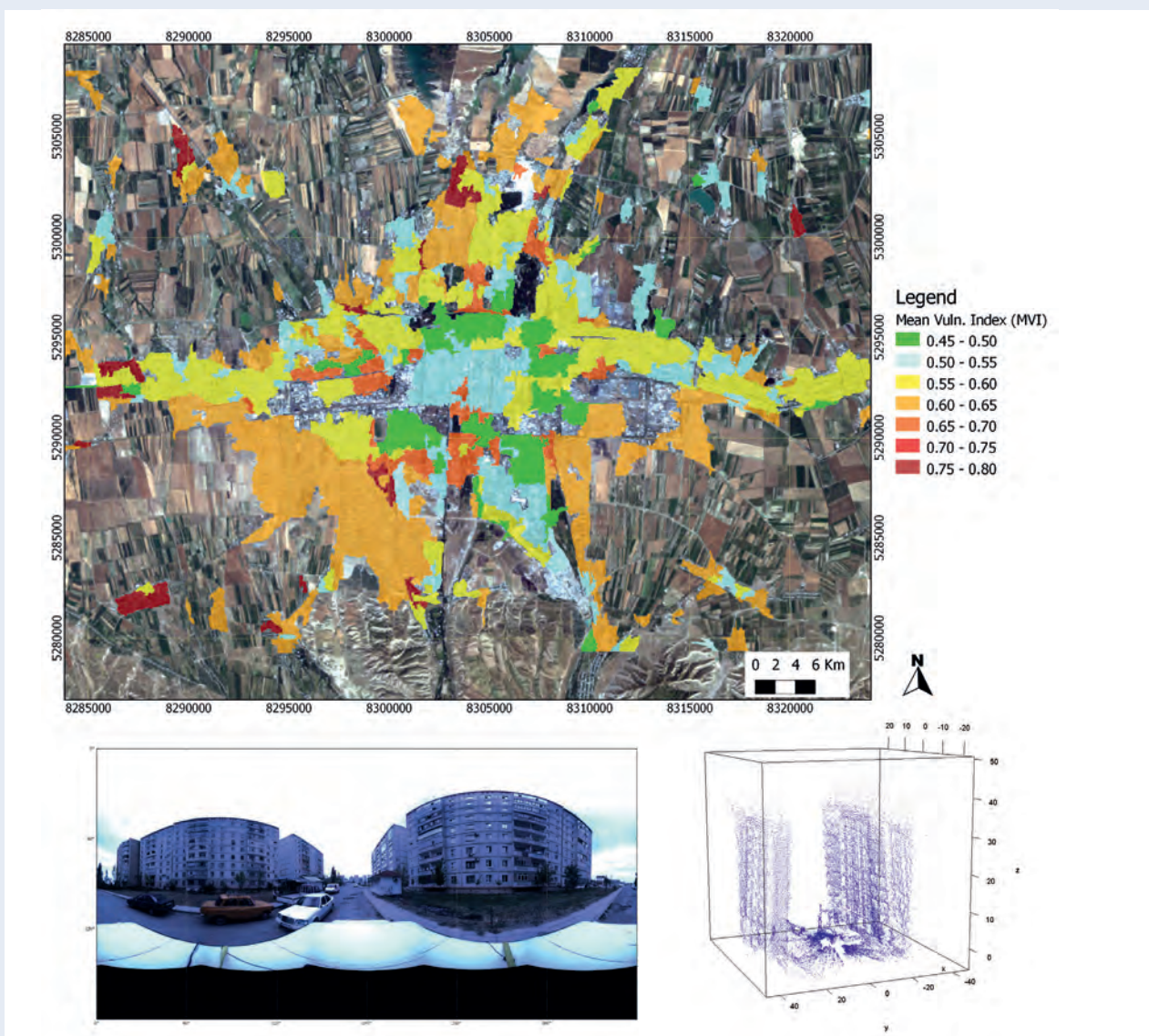


Abb. 3: Räumliche Verteilung der Gebäudeverwundbarkeit in Bishkek (oben). Beispiel eines omnidirektionalen Bilds (unten links) und einer 3D-Gebäuderekonstruktion mittels omnidirektionaler Bildverarbeitung (unten rechts)

Fig. 3: Spatial distribution of vulnerability in Bishkek (upper). In the lower part (left), example of omnidirectional image and (right) three-dimensional reconstruction based on omnidirectional image processing

dabei zunächst frei verfügbare multi-spektrale Satellitendaten analysiert, um eine Stadt großflächig in relativ homogene Stadtstrukturtypen zu unterteilen. Die resultierende Zonierung wird als räumliche Analysebasis für ein geschichtetes Zufallsstichprobenverfahren genutzt, um repräsentative Bereiche für eine detaillierte Vor-Ort-Untersuchung zu identifizieren. Um die Vor-Ort-Untersuchungen des Gebäudebestands schnell und effektiv zu gestalten, wird ein mobiles omnidirektionales Kamerasystem verwendet. Für eine automatische Bildauswertung wurde ein neuartiges Remote Rapid Visual Screening (RRVS)-Verfahren zur manuellen Bildauswertung im Hinblick auf strukturelle Gebäudemerkmale entwickelt. Diese Methode wurde bereits erfolgreich auf verschiedene urbane Räume in Kirgisistan (Bischkek, Osch, Jalalabad) und Tadschikistan (Duschanbe, Khorog) angewandt (Wieland et al., 2012).

Vulnerabilitätsanalyse

Im Rahmen von EMCA wurden Bayesische Netzwerke für die Informationsintegration und eine neuartige wahrscheinlichkeitsbasierte Verwundbarkeitsabschätzung aus Bilddaten verwendet. Für jedes Gebäude, das erfolgreich durch die Satellitendatenanalyse oder durch die Auswertung der omnidirektionalen Kameradaten charakterisiert wurde, kann automatisch *a posteriori* die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Verwundbarkeitsklassen nach der Europäischen Makroseismischen Skala 1998 (EMS-98) ermittelt werden (Pittore und Wieland, 2013). Ausgehend von der Annahme, dass die Stadtstrukturtypen relativ homogen zusammengesetzt sind, kann die Stichprobeninformation in einer Bottom-up-Analyse von einem detaillierten Gebäudemassstab zurück

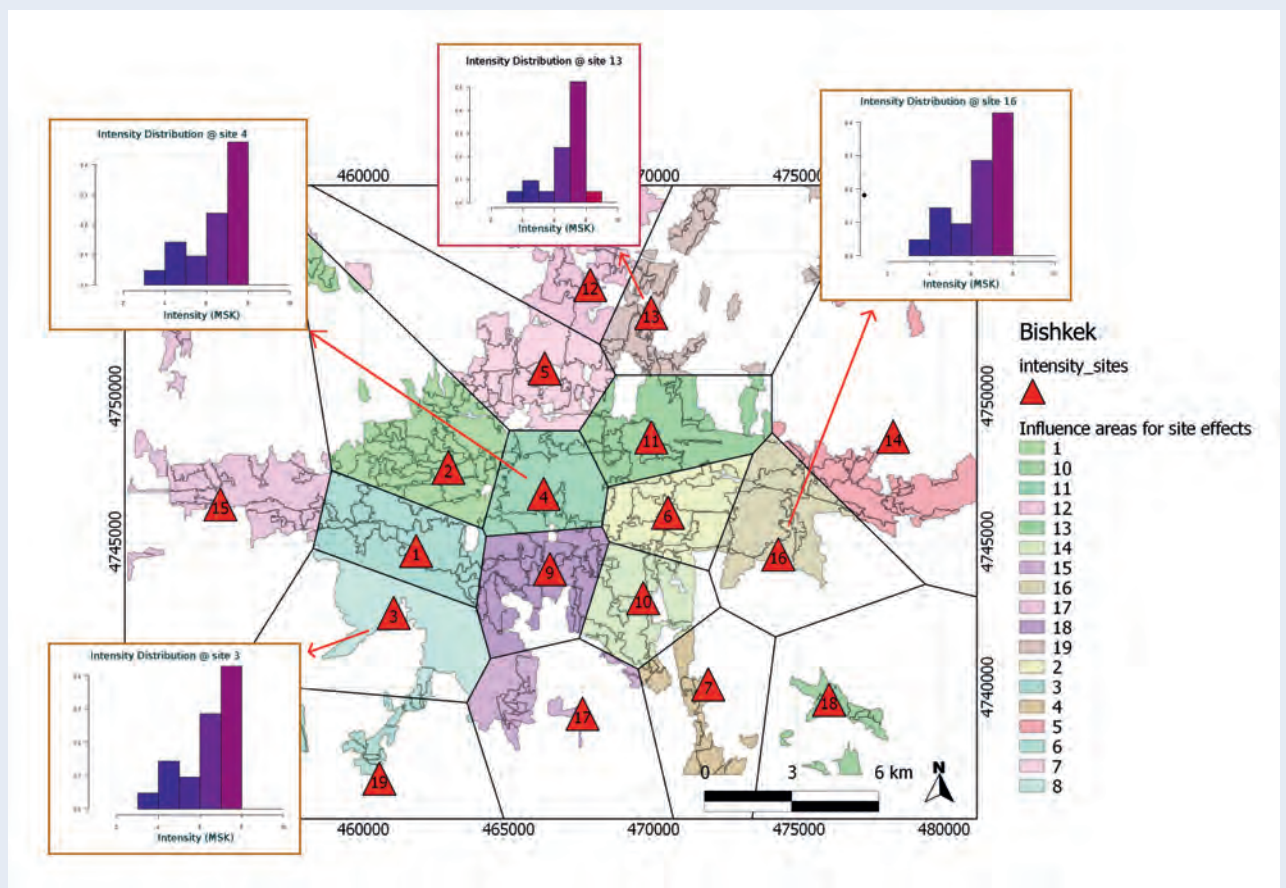


Abb. 4: Zu erwartende Intensitätsverteilung in Bischkek für ein Szenarioerdbeben in der nahegelegenen Issik-Ata-Verwerfung mit einer Magnitude von 7,5

Fig. 4: Expected distribution of macroseismic intensities in Bishkek due to a $M_{7.5}$ scenario earthquake located on the nearby Issik-Ata fault

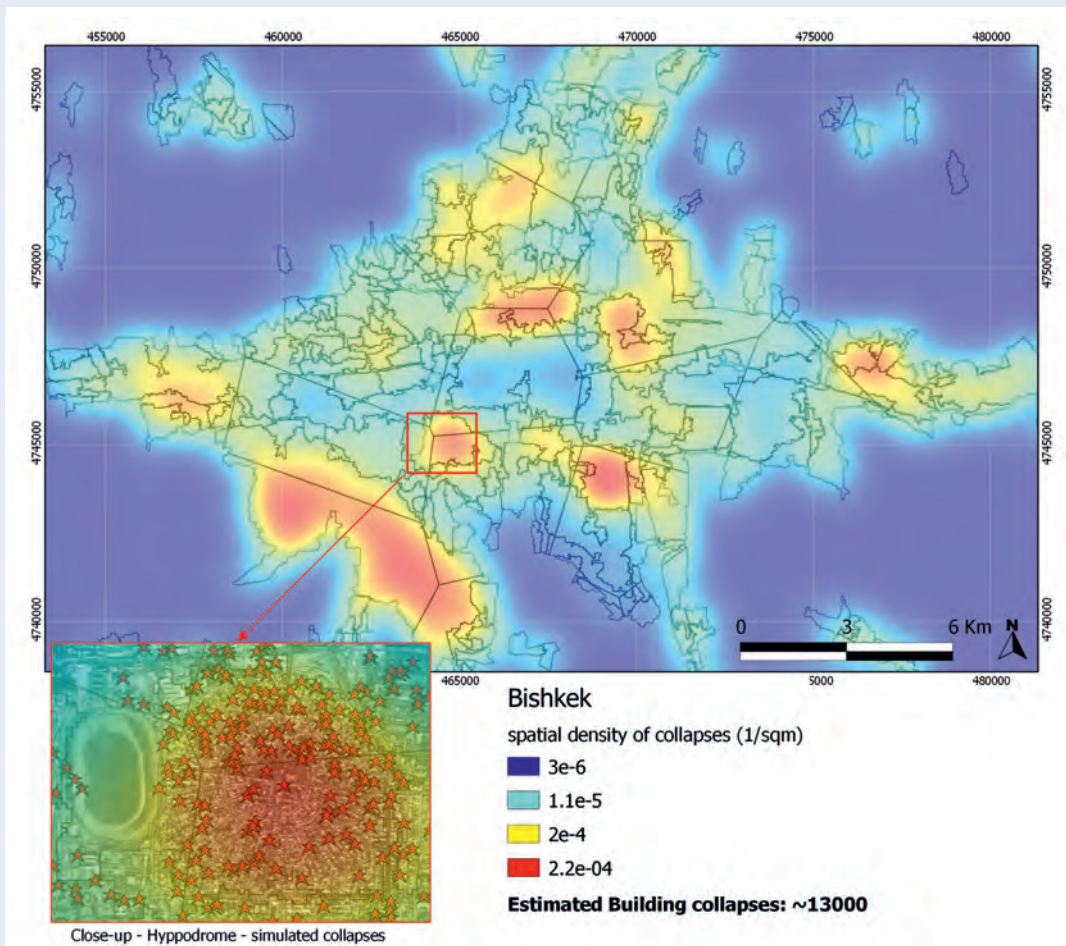


Abb. 5: Zu erwartende räumliche Dichte von Gebäude-einstürzen (Einstürze/m²) für das in Abb. 4 illustrierte Szenarioerdbeben. Mehr als 10 000 Einstürze werden für das Szenario erwartet. Das kleine Fenster zeigt die Simulation der räumlichen Verteilung der Einstürze für eine sehr dicht besiedelte Gegend in Bischkek.

Fig. 5: Expected spatial density of building collapses (collapses/m²) due to the scenario intensities depicted in Fig. 4. More than 10 000 collapses are expected in this scenario. The small inset in the figure shows a spatial simulation of collapse locations in a very populated area of Bishkek.

zu einem aggregierten Nachbarschaftsmaßstab propagiert werden, um flächendeckend für eine ganze Stadt den exponierten Gebäudebestand und dessen Verwundbarkeit zu ermitteln (Abb. 3). Verschiedene Aktivitäten wurden ferner gestartet, um die Entwicklung von analytischen Fragilitätskurven des Gebäudebestands in Zentralasien in Kooperation mit internationalen Partnerinstitutionen voranzutreiben.

Anwendung im Bereich der Frühwarnung und des Rapid Response

Die maximal erzielbare Frühwarnzeit eines Frühwarnsystems ist durch regionale Gegebenheiten limitiert. Dies trifft besonders für Zentralasien zu, da sich hier eine Vielzahl seismischer Verwerfungen relativ nah an urbanen Räumen befinden und dadurch begründet nur sehr kurze Frühwarnzeiten möglich sind. In einem solchen Fall ist entsprechend ein On-site-Anwendungsschema zu empfehlen, bei dem Frühwarnsysteme eher in die Richtung eines Rapid Response ausgerichtet sind (mehr zu

diesem Thema siehe Beitrag von Boxberger et al. in diesem Heft). Innerhalb eines solchen operationalen Kontextes können räumlich detaillierte Schadensszenarien direkt vor bzw. im unmittelbaren Anschluss an ein Erdbeben ausgegeben werden (Picozzi et al., 2013). Die schnelle Bereitstellung wahrscheinlicher Schadensverteilungen liefert nützliche Informationen für die Optimierung der Koordination des Katastrophenmanagements. Die Entwicklung eines Katalogs von Schadensszenarien für die wichtigsten urbanen Räume in Zentralasien wird derzeit ausgearbeitet und konzentriert sich vorerst auf die Landeshauptstädte Bischkek, Duschanbe, Almaty, Taschkent und Aschgabat. Für jede Stadt wird dabei eine Reihe seismischer Ereignisse simuliert, die mit dem ermittelten lokalen Gefährdungspotenzial vergleichbar sind. Die Ereignisse werden als Basis für eine stochastische Simulation für die zu erwartende räumliche makroseismische Intensitätsverteilung (Abb. 4) verwendet (unter Berücksichtigung von lokalen Amplifizierungseffekten, soweit möglich). Die stochastischen Simulationen dienen als Grundlage für eine Berechnung der räumlichen Verteilung der physikalischen Schäden (Abb. 5).

Ausblick

Zentralasien ist eine der seismisch gefährdetsten Regionen der Welt. Aufgrund der besonderen geologischen und geophysikalischen Bedingungen ist diese Region sehr gut geeignet, Methoden für seismische Risikoanalysen zu optimieren und Frühwarnsysteme zum Schutz der Bevölkerung zu testen und zu installieren. Eine enge Zusammenarbeit mit lokalen Forschungsinstituten und Verantwortungsträgern des Katastrophenmanagements ist hierbei von besonderer Bedeutung, ebenso wie das Capacity Building und die Wissens- und Informationsvermittlung der wissenschaftlichen Erkenntnisse bezüglich der zu erwartenden Risiken. Die Forschungsarbeiten im „Zentrum für Frühwarnung“ am GFZ zielen daher darauf ab, die komplexe Natur des seismischen Risikos der Region besser zu verstehen sowie innovative Lösungen für die verlässliche und effiziente Risikoabschätzung zu entwickeln. Vorliegende Ergebnisse im Bereich der Erdbebenfrühwarnung und des Rapid Response sind vielversprechend und die bisherigen Rückmeldungen der lokalen Partner und Endnutzer bestätigen den Forschungsansatz des GFZ. Eine Erweiterung der Forschungsarbeiten in Richtung einer Multi-Gefährdungsanalyse ist vorgesehen.

Literatur

- Bindi, D., Abdrakhmatov, K., Parolai, S., Mucciarelli, M., Grünthal, G., Ischuk, A., Mikhailova, N., Zschau, J. (2012): Seismic hazard assessment in Central Asia: Outcomes from a site approach. - *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 37, 84-91, 10.1016/j.soildyn.2012.01.016.
- Picozzi, M., Bindi, D., Pittore, M., Kieling, K., Parolai, S. (2013): Real-time risk assessment in seismic early warning and rapid response: a feasibility study in Bishkek (Kyrgyzstan). - *Journal of Seismology*, 17, 2, 485-505, 10.1007/s10950-012-9332-5.
- Pittore, M., Wieland, M. (2013): Towards a rapid probabilistic seismic vulnerability assessment using satellite and ground-based remote sensing. - *Natural Hazards*, 68, 1, 115-145, 10.1007/s11069-012-0475-z.
- Ulomov V. I., The GSHAP Region 7 Working Group (1999): Seismic hazard of Northern Eurasia. - *Annali di Geofisica*, 42, 6, 1023-1038, 10.4401/ag-3785.
- Wieland, M., Pittore, M., Parolai, S., Zschau, J., Moldobekov, B., Begaliev, U. (2012): Estimating building inventory for rapid seismic vulnerability assessment: Towards an integrated approach based on multi-source imaging. - *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 36, 70-83, 10.1016/j.soildyn.2012.01.003.

Massenbewegungen in Zentralasien – Lawinen aus Boden und Gestein

Marco Pils, Sigrid Roessner, Christoph Janssen, Robert Behling, Stefano Parolai, Annamaria Saponaro, Maike Schäbitz
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

The strong topographic relief and the presence of weakly consolidated sediments create favorable conditions for the development of mass movements in large areas of Central Asia. At the GFZ German Research Centre for Geosciences we are studying such gravitational mass movements in a multidisciplinary and both process-oriented and application-based way, focusing on better understanding of the triggering and motion-controlling factors. Development of automated remote sensing methods for spatial mapping and monitoring of mass movements using optical and radar remote sensing as well as Bayesian statistics and Geographic Information System (GIS) technology for regional hazard assessment are complemented by temporal monitoring of mass motion processes using seismological methods. The combination of novel passive seismic imaging technologies and the use of wireless sensors allows the rapid construction of inexpensive, spatially dense and self-organizing communication networks that can respond flexibly to changes and continuous data acquisition and transmission over long distances. In addition, geological field data can be used to identify potential shear zones and characterize their structural inventory, focusing on the question if climatic changes (i.e. changes in the mineralogical composition, microstructure and the pore water chemistry) will have effects on the shear strength of the rock and might, in consequence, trigger rapid mass movements.



Gravitative Massenbewegungen wie z. B. Hangrutsche finden im Vergleich zu anderen Naturkatastrophen wie Erdbeben und Überschwemmungen in der Regel keinen breiten Eingang in unsere Medien; jedoch wurden allein in den Jahren zwischen 2004 bis 2010 weltweit insgesamt 2620 Massenbewegungen registriert, die Menschenleben forderten, ein Großteil davon in Asien (Petley, 2012). Hierzu hat das Deutsche GeoForschungsZentrum GFZ im Rahmen seines Erdsystem-Observatoriums Zentralasien einen regionalen Schwerpunkt zur Erforschung der Mechanismen gravitativer Massenbewegungen, der dadurch ausgelösten Gefahren und Risiken sowie der damit einhergehenden Wechselwirkungen eingerichtet.

Die gebirgigen Regionen des Tien Shan und die eingeschlossenen Becken sind als Untersuchungsgebiet bestens geeignet, da sie eine große Bandbreite geodynamischer und klimatischer Rahmenbedingungen aufweisen. Das Gebiet ist als Teil der indisch-asiatischen Plattenkollisionszone nicht nur geodynamisch äußerst aktiv, was im häufigen Auftreten von Erdbeben zum Ausdruck kommt, sondern auch durch klimatische Übergänge von Wüstengebieten zu Gletscherregionen im Einflussbereich von Westwinden und Monsun sowie durch starke topographische Gegensätze (Übergang vom Pamir-Tien Shan-Hochland zu den Tiefländern der Becken von Tadschikistan und Fergana) geprägt. Zudem ist der Siedlungsraum stark begrenzt, was zu einer hohen Bevölkerungsdichte in den fruchtbaren, niedriger gelegenen Gebieten geführt hat. So leben beispielsweise mehr als zehn Millionen Menschen, d. h. rund 20% der gesamten Bevölkerung Zentralasiens, im rund 300 km langen und bis zu 110 km breiten Ferganabecken, das sich über die Territorien von Kirgisistan, Tadschikistan und Usbekistan erstreckt.

Eine hohe Erdbebengefährdung, relativ ertragreiche Niederschläge, wenig verfestigte Sedimente sowie – insbesondere im östlichen Bereich des Ferganabeckens (Abb. 1) – massive Ton- und Lössablagerungen tragen zu einer hohen Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen bei, die häufig Volumina von hunderttausenden bis mehreren Millionen Kubikmeter umfassen. Seit den 1950er-Jahren wurden mehr als

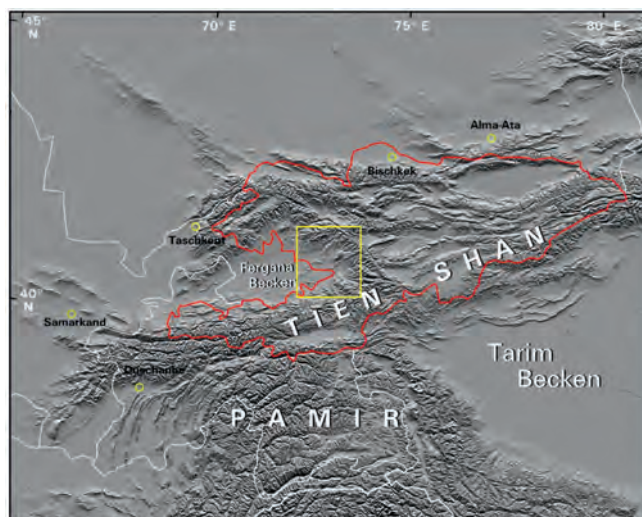


Abb. 1: Topographie von Zentralasien. Die rote Linie kennzeichnet die Landesgrenze Kirgisistans. Gelb markiert ist das stark durch Massenbewegungen gefährdete Gebiet am östlichen Rand des Ferganabeckens.

Fig. 1: Topography of Central Asia. The country border of Kirgizstan is outlined in red. The yellow line depicts the area of high landslide hazard along the Eastern rim of the Fergana Basin.

3000 Hangrutsche in diesem Gebiet registriert. Die meisten dieser Massenbewegungen treten in Form von Rotations- und Translationsrutschungen innerhalb wenig verfestigter quartärer, tertiärer und kreidezeitlicher Sedimente auf. Dabei gibt es grundsätzliche Unterschiede im Bewegungsverhalten der Rutschungen. Besonders gefährlich sind die lawinenartig und in Sekundenschnelle abgehenden Rutschungen, die sich im Bereich von Lössakkumulationen bilden, während Rutschungen in stärker tonhaltigen Sedimenten ein eher kriechendes Bewegungsverhalten aufweisen (Roessner et al., 2005).

Automatische Erfassung von Hangrutschen

Eine genaue, großräumige Erfassung solcher Massenbewegungen bildet einen Forschungsschwerpunkt am GFZ, wobei sich diese im Bereich der Fernerkundung durchgeführten Arbeiten auf die Entwicklung von automatischen Methoden zur Inventarisierung von Massenbewegungen auf der Basis multitemporaler Satellitendaten konzentrieren. Bis zum heutigen Zeitpunkt

Links: Hangrutsch bei der Ortschaft Nasridin im Südwesten Kirgisistans (Foto: M. Schäbitz, GFZ)

Left: Landslide near Nasridin in south-west Kirgizstan



Kontakt: M. Pilz
(pilz@gfz-potsdam.de)

erfolgte in Kirgisistan keine systematische raum-zeitliche Inventarisierung dieser Ereignisse, welche jedoch eine wesentliche Voraussetzung für eine objektive Gefährdungs- und Risiko-einschätzung bildet. Somit sind optische Satellitendaten die einzige, großräumig über einen längeren Zeitraum verfügbare, konsistente Datenquelle, auf deren Grundlage eine Inventarisierung von Massenbewegungen auf regionalem Maßstab vorgenommen werden kann. Für die methodischen Entwicklungen nehmen die räumlich und zeitlich hochauflösenden RapidEye-Satellitendaten eine Schlüsselstellung ein. Eine hohe zeitliche Wiederholungsrate ermöglicht eine genaue Erfassung des Oberflächenzustands in seiner saisonalen Veränderlichkeit; die daraus resultierende multitemporale Datenbasis bildet die Grundlage für die Entwicklung automatischer Methoden zur Identifizierung von Massenbewegungen. Zur längerfristigen Erfassung wurde die Datenbasis darüber hinaus durch Daten anderer optischer Satellitensysteme erweitert, die bis in das

Jahr 1986 zurückreichen und damit eine systematische, raumbezogene Erfassung von Hangrutschereignissen während der letzten 25 Jahre erlauben.

In Verbindung mit weiteren raumbezogenen Datensätzen (z.B. Höhenmodelle und geologische Daten) konnte ein automatisches Verfahren entwickelt werden, um Massenbewegungen detailliert räumlich zu identifizieren. Dabei ermöglicht die computergestützte Analyse von spezifischen zeitlichen Verläufen von Vegetationsänderungen eine genaue Identifizierung der Massenbewegungen und zugleich ihre Unterscheidung von durch andere Landnutzungen (z.B. Landwirtschaft) hervorgerufenen Veränderungen. Dieses Verfahren ist auch in der Lage, Artefakte zu minimieren, die durch radiometrische und geometrische Unterschiede zwischen den multitemporalen Datensätzen bedingt sind. Hierzu wurden entsprechende Methoden zur radiometrischen und geometrischen Korrektur in das automatische Identifizierungsverfahren integriert. Im Ergebnis ermöglicht das Verfahren somit eine automatische Identifizierung von Massenbewegungen und deren Integration in eine GIS-Datenbank (Abb. 2). Für das gesamte Untersuchungsgebiet am östlichen Rand des Ferganabeckens (rund 12 000 km²) konnten für einen Untersuchungszeitraum von 2009 bis 2012 rund 250 Hangrutsche automatisch detektiert werden, die in ihrer Mehrheit durch nachfolgende Feldbegehungen im September 2012 verifiziert werden konnten (Abb. 2).



Abb. 2: Beispielhaftes Ergebnis der automatischen Identifizierung von Massenbewegungen. Die Grenzen der detektierten Hangrutschobjekte sind in schwarz und rot dargestellt und der perspektivischen Satellitenbildansicht überlagert. Die Punkte A und B markieren den Standort und die Blickrichtung der Geländefotos (Fotos: R. Behling, GFZ).

Fig. 2: Exemplary result of automated identification of mass movements. The detected landslide objects are outlined in black and red and overlaid on the perspective satellite data view. The points A and B mark the position and the view direction while taking the field pictures.

Um eine Gefährdungseinschätzung auch für das Auftreten zukünftiger gravitativer Massenbewegungen machen zu können, verfolgt ein neuer Ansatz das Ziel, die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten solcher Hangrutsche auf regionalen, länderübergreifenden Skalen in Beziehung mit dem Vorliegen bestimmter, diese Massenbewegungen auslösende Faktoren zu bringen. Dieser am GFZ entwickelte Ansatz kombiniert neueste Entwicklungen in der GIS-Technologie mit dem schon in anderen Bereichen der Geowissenschaften erfolgreich angewandten Weight-of-evidence-Verfahren auf Grundlage der Bayesschen Konzepte. Die zentrale Annahme ist, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten gravitativer Massenbewegungen höher ist, wenn dieselben Bedingungen bereits in der Vergangenheit zu Hangrutschen geführt haben.

Hierzu werden auf regionaler Ebene für jeden einzelnen Hangrutsch die möglichen, für diese Massenbewegung verantwortlichen Faktoren in dem Maß gewichtet, wie häufig in der Vergangenheit solche gravitativen Massenbewegungen in diesem Gebiet aufgetreten sind. Damit ist es möglich, genau diejenigen Parameter zu identifizieren, die als die Hauptursache für das Abgehen solcher Hanginstabilitäten angesehen werden können. Werden darüber hinaus die einzelnen Faktoren zu einem einzelnen Modell zusammengeführt, so hat sich beispielsweise für den kirgisischen Teil um das Ferganabecken gezeigt, dass insbesondere nach Westen ausgerichtete, flach ansteigende Hänge jüngerer Datums außerordentlich stark gefährdet sind (Abb. 3).

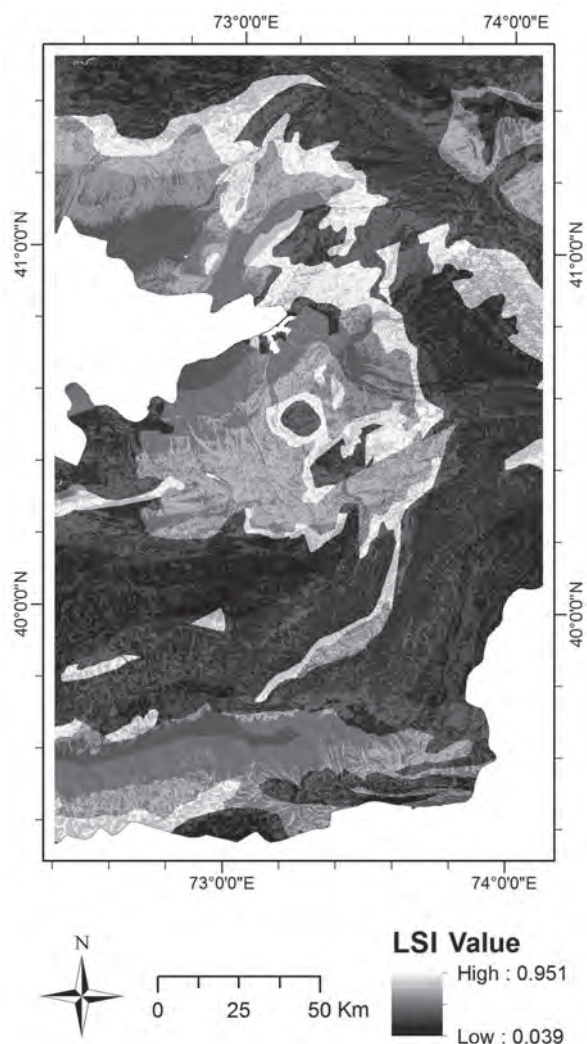


Abb. 3: Mit Bezug auf Gefälle, Hangneigungsrichtung, Stratigraphie, seismische Intensität und Abstand zu seismischen Verwerfungen normierter Suszeptibilitätsindex für Hangrutsche (LSI) für den südwestlichen Teil Kirgisistans um das Ferganabecken

Fig. 3: Normalized Landslide Susceptibility Index (LSI) map for the south-western part of Kyrgyzstan around the Fergana basin with respect to slope gradient, slope aspect, geo-stratigraphy, seismic intensity and distance from faults factors

Im Vergleich zu anderen Verfahren kann diese Methode leicht auch auf andere Regionen übertragen werden. Sie bietet somit eine einfache Möglichkeit, den Einfluss der einzelnen Hangrutsche auslösenden Faktoren zu überprüfen. Es wurde nachgewiesen, dass mit dieser Methodik gefährdete Gebiete mit mehr als achtzigprozentiger Genauigkeit identifiziert werden können.

Bildgebende Verfahren – eine Alternative

Nicht nur auf der regionalen Ebene, auch auf lokaler Ebene gibt es eine Vielzahl geophysikalischer Verfahren zur Charakterisierung potentiell instabiler Hänge; jedoch sind diese lokalen Verfahren oftmals zeitaufwendig und teuer. Weiterhin

kann, insbesondere für lockere Sedimente, die Gleitfläche aufgrund des mangelnden Auflösungsvermögens mit vielen dieser Methoden nur sehr ungenau lokalisiert werden. Neben detaillierten mikrostrukturellen und geochemischen Analysen für die basalen Gleitflächen bieten neuartige bildgebende Verfahren, die im Vergleich zu klassischen Verfahren eine größere laterale und Tiefenausdehnung haben und nur auf dem ständig vorhandenen natürlichen Umgebungsrauschen basieren, eine Alternative, die interne Struktur eines Hangrutsches zu erfassen. Im Gegensatz zu den Erschütterungen eines Erdbebens, dessen Ursprung gewöhnlich in großer Tiefe liegt, sind natürliche und anthropogene Ereignisse an der Erdoberfläche für das Umgebungsrauschen verantwortlich. Die dabei entstehenden Wellen laufen durch den Untergrund – geräuschlos und nicht wahrnehmbar, aber begleitet von minimalen Erschütterungen. Wird dieses Umgebungsrauschen zeitgleich von mehreren seismischen Stationen aufgezeichnet und miteinander verglichen, können Rückschlüsse auf laterale Variationen der Untergrundstruktur gezogen werden, da lokale Heterogenitäten im Untergrund die Ausbreitung dieser kleinsten Erschütterungen beeinflussen können. Bereits seit den 1970er-Jahren ist dieses Verfahren für viele geowissenschaftliche Fragestellungen auf unterschiedlichen räumlichen Skalen eingesetzt worden.

Zur genauen Lokalisierung solcher Heterogenitäten auf kleinen, lokalen Skalen wurde am GFZ ein neuartiges Inversionsverfahren entwickelt, mit dessen Hilfe dreidimensionale Scherwellengeschwindigkeitsmodelle des oberflächennahen Untergrunds nahezu in Echtzeit berechnet werden können. Es eignet sich insbesondere zur Charakterisierung von instabilen Hängen, da es auch bei einer ausgeprägten Geländestructur anwendbar ist (Pilz et al., 2013). Die Scherwellengeschwindigkeit ist ein wichtiger ingenieurseismologischer Parameter, der zur Bewertung von Standorteffekten, d.h. zur Einschätzung der Verstärkung seismischer Wellen, herangezogen wird. Für das Verfahren machen wir uns die Tatsache zu Nutze, dass die an der Erdoberfläche laufenden Wellen des seismischen Rauschens dispersiv sind, d.h. unterschiedliche Wellenlängen pflanzen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fort und verhelfen uns zu Informationen über Heterogenitäten in unterschiedlichen Tiefenbereichen.

Abb. 4 zeigt beispielhaft das Scherwellengeschwindigkeitsprofil, das nach nur dreistündiger Aufzeichnung des seismischen Rauschens für einen Hangrutsch in Südkirgisistan am südöstlichen Rand des Ferganabeckens erhalten wurde. Es wird deutlich, dass die Dynamik und interne Struktur von potenziell instabilen Hängen auch auf kleinen Skalen sehr komplex sein kann. Sowohl oberflächennahe als auch tiefer liegende Schichten können so zeitgleich und mit großer Genauigkeit abgebildet werden.

Neben der ausgeprägten Geländestructur wird aus Abb. 4 deutlich, dass die Dicke der potentiell instabilen Bereiche, unabhängig von der Oberflächentopographie, starke laterale Varia-

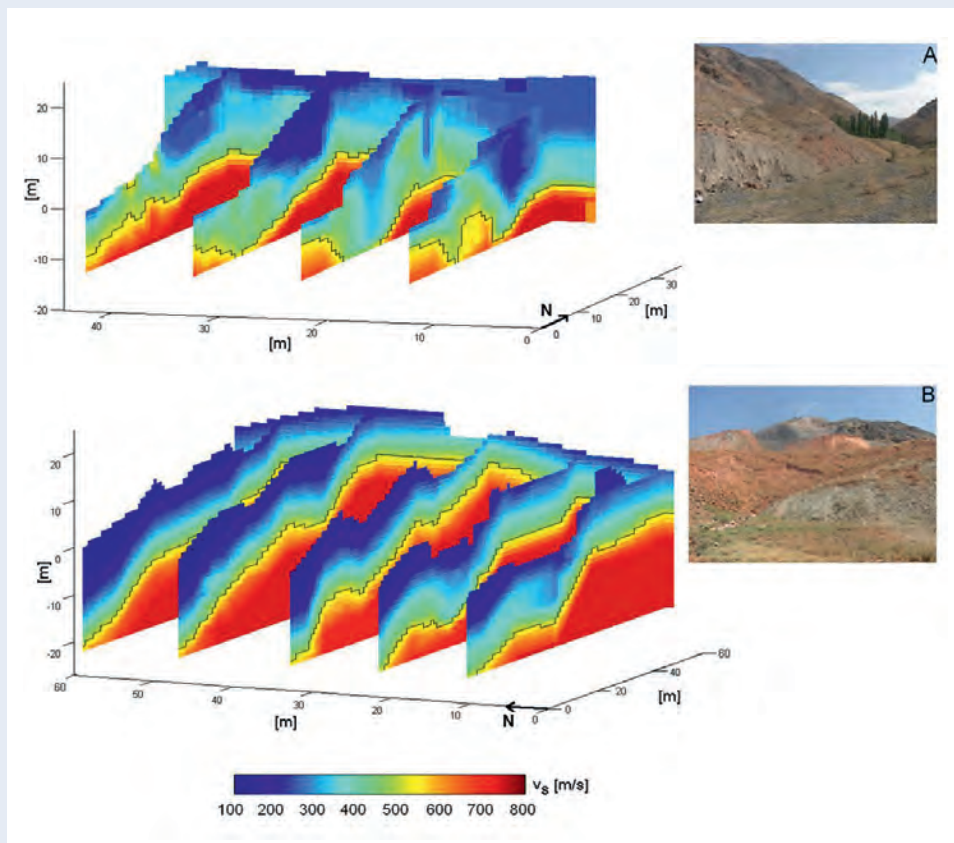


Abb. 4: Links: 3D-Scherwellengeschwindigkeitsmodelle für zwei Messungen auf einem Hangrutsch in Südkirgisistan. Die schwarzen Linien markieren jeweils die ungefähre Grenze zwischen den lockeren Sedimenten mit S-Wellengeschwindigkeiten geringer als 500 m/s und dem harten Gestein. Rechts: Aufnahmen der entsprechenden Meßorte (Fotos: M. Pilz, GFZ)

Fig. 4: Left: 3D shear wave velocity models for two measurements on a landslide in southern Kyrgyzstan. The black line represents the approximate border between the low-velocity sediments with S-wave velocities less than 500 m/s and the high-velocity bedrock. Right: Corresponding images of the respective measurement sites

tionen aufgrund unterschiedlicher Festigkeit und Witterungsbeständigkeit zeigen. Diese Bereiche sind tendenziell durch eine geringe Scherwellengeschwindigkeit gekennzeichnet. Diese obersten, hochaufgelösten, instabilen Bereiche streben beständig hangabwärts. Da sich die einzelnen Bereiche des Hangs in ihrer Fließgeschwindigkeit unterscheiden, kann es zu einem markanten Spannungsaufbau innerhalb der obersten Schichten kommen. Üblicherweise verringert sich vor dem Rutschvorgang an einem Hangrutsch die Scherfestigkeit des Oberflächenmaterials, d. h. im Bereich der Gleitfläche übersteigen die treibenden Kräfte die haltenden. Das macht sich in der Regel in einem signifikanten Abfall der Scherwellengeschwindigkeit bemerkbar. Das vom GFZ neu entwickelte Verfahren kann diese Veränderungen nahezu in Echtzeit erfassen und eignet sich daher als Frühwarnsystem für Hangrutsche.

Alterationsprozesse in Scherzonen

Für die Verminderung der Scherfestigkeit ist eine Reihe von inneren Faktoren verantwortlich, welche die stabilisierenden Kräfte schwächen können. Nach Selby (1982) zählen hierzu unter anderem die Gefügekomponten wie glatte Kornformen und eine eng gestufte Korngrößenverteilungen sowie Änderungen

des (Mikro-)Gefüges infolge langandauernder Kriechvorgänge und physikalisch-chemischer Reaktionen (z. B. die Hydratation von Tonen oder die Lösung von Bindemitteln und Zementen).

Untersuchungen zur Neuentstehung, Transformation und Verteilung von Tonmineralen in Myloniten aus Scherzonen und in Gleitflächen von Hangrutschen in Tuffen (Shuzui, 2001) belegen, dass mit dem Prozess der Fragmentierung des Ausgangsmaterials die Alteration des Materials durch einsickerndes Wasser stark zunimmt. Durch diese Alterationsprozesse wird lokal die Genese von Tonmineralen gefördert. Die fortschreitende Tonmineralentstehung führt schließlich zu einer Abnahme von Porosität und Permabilität und zur Entstehung von quellfähigen Tonmineralen, welche die Scherfestigkeit der Gleitflächen herabsetzen.

Zu einer genauen Untersuchung wurden daher mehrere Profile durch Hangrutsche aufgenommen und für verschiedene Stellen dieser Profile Sedimentproben analysiert (Abb. 5). Umfangreiche geochemische und mikroskopische Untersuchungen lassen einen signifikanten Einfluss von Alterationsprozessen auf die Festigkeit des Gesteins erkennen. In Ton eingewickelte Quarz und Feldspatkörner (sogenannte Kern-Mantelstrukturen) können als ein deutliches Anzeichen für schnelle Gleitbewegungen

des Oberflächenmaterials angesehen werden. Darüberhinaus belegen mikrostrukturelle Analysen mittels Transmissionselektronen-Mikroskopie die Existenz neu gewachsener Tonminerale im Mikrobereich. Insbesondere auf lange Frist können klimatisch bedingte Veränderungen in der mineralogischen Zusammensetzung, im Gefüge und in der Porenwasserchemie Auswirkungen auf die Scherfestigkeit des Gesteins haben. Ein mineralogisches Monitoring gefährdeter Hänge könnte daher helfen, die Ursachen eines Hangrutschs besser einzuschätzen.

Ausblick

Komplexe natürliche Systeme wie Hanginstabilitäten, deren Abrutschen im schlimmsten Fall verheerende Auswirkungen auch auf regionaler oder nationaler Ebene haben kann, erfordern eine große Bandbreite an Forschungsansätzen. Ganz allgemein lassen sich durch den parallelen Einsatz der hier geschilderten Monitoring- und Analyseverfahren exakte Gefährdungseinschätzung und Frühwarnung für von Hangrutschs bedrohte Regionen verbinden. Dies gilt insbesondere auch für Regionen wie Zentralasien, die bisher nicht im Fokus des öffentlichen Interesses stehen. Vor allem die Echtzeitmessung mechanischer Untergrundeigenschaften und ihrer Änderungen bietet lokalen Behörden die Möglichkeit, selbst in dichtbesiedelten Gebieten oder in der Nähe sensibler Einrichtungen schnell zu reagieren. Somit kann – gerade in Zeiten des globalen Wandels und der sich verändernden Umweltbedingungen – das Risiko, das von einem möglichen Hangrutsch ausgeht, für die in allen Staaten Zentralasiens immer noch stark anwachsende Bevölkerung minimiert werden.

In enger Zusammenarbeit mit den Partnern und Behörden vor Ort konzentrieren wir uns in einem nächsten Schritt auf die Übertragung der hier vorgestellten Methoden zur Gefährdungseinschätzung für das Auftreten zukünftiger gravitativer Massenbewegungen auf andere Regionen, um eine grenzüberschreitende, regionale Gefährdungskarte für den Großraum Zentralasien zu entwickeln. Durch mehrere Trainingskurse sollen die Methoden und Forschungsergebnisse auch mit den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern vor Ort geteilt werden, so dass sie in der Lage sind, Gefährdungspotentiale frühzeitig zu erkennen und die erworbenen Kenntnisse selbständig und anwendungsorientiert umzusetzen.

Literatur

- Pilz, M., Parolai, S., Bindi, D. (2013): 3D passive imaging of complex seismic fault systems: evidence of surface traces of the Ikkyk-Ata fault (Kyrgyzstan). - *Geophysical Journal International*, 194, 3, 1955-1965, 10.1093/gji/ggt214.
- Petley, D. (2012): Global patterns of loss of life from landslides. – *Geology*, 40, 10, 927-930, 10.1130/G33217.1.
- Roessner, S., Wetzels, H.-U., Kaufmann, H., Samagoev, A. (2005): Potential of satellite remote sensing and GIS for landslide hazard assessment in Southern Kyrgyzstan (Central Asia). - *Natural Hazards*, 35, 3, 395-416, 10.1007/s11069-004-1799-0.
- Selby, M. J. (1982): *Hillslope materials and processes*, Oxford, 264 p.
- Shuzui, H. (2001): Process of slip-surface development and formation of slip-surface clay in landslides in Tertiary volcanic rocks, Japan. - *Engineering Geology*, 61, 4, 199-220, 10.1016/S0013-7952(01)00025-4.



Abb. 5: Hangrutsch im Süden der Provinz Gansu (Zentralchina), der durch langandauernde Kriechprozesse gekennzeichnet ist. Deutlich trennt die Gleitfläche anstehendes Gestein (Phyllit) vom darüberliegenden Löss (Foto: M. Schäbitz, GFZ).

Fig. 5: Landslides located in the south of the province Gansu (Central China) characterized by long term creeping processes. The sliding surface separates the bedrock (phyllite) from the overlying loess.

Wie steht es um die Gletscher in Zentralasien?

Ein Lagebericht auf der Grundlage satelliten- und bodengestützter Messungen

Daniel Farinotti, Andreas Güntner, Franz Barthelmes, Sergiy Vorogushyn, Doris Düthmann
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Glaciers play an important role in the water cycle of many regions of the world, especially in dry regions such as Central Asia. Glaciers can store water over decades and transfer winter precipitation into the summer months by releasing the accumulated snow and ice as melt water. The question about the state of the glaciers within a region is therefore intrinsically linked to questions about water availability and food security. We assess the current state of all glaciers of the Tien Shan (the main mountain range in Central Asia, feeding its waters to Kyrgyzstan, Kazakhstan, Uzbekistan and China) by three different groups of methods. We considered measurements of the Earth's gravity field, laser altimetry, and direct glaciological measurements, and assessed uncertainties in an ensemble-like approach. The results of all three methods agree well, increasing the confidence in the final estimate. The results indicate that during the period 2003-2009, the glaciers of the Tien Shan were losing mass at a rate of 7.1 ± 5.6 gigatons per year. Cumulated over the period, this corresponds to the water volume stored in Lake Constance (Bodensee).



Massenbilanzmessungen am Suek-Gletscher, Jetim-Bel-Gebirge, Kirgisistan (Foto: D. Farinotti, GFZ)

Mass balance measurements at Suek Glacier, Jetim-Bel Range, Kyrgyzstan

Gletscher – ein entscheidendes Element im Wasserkreislauf Zentralasiens

Gletscher spielen im Wasserkreislauf vieler Regionen der Erde eine zentrale Rolle. Sie speichern Wasserreserven über Jahrzehnte und prägen den zeitlichen Verlauf der Gebirgsabflüsse maßgeblich. So wird vor allem Schnee in der kalten Jahreszeit zurückgehalten und in Form von Schmelzwasser während der Sommermonate wieder freigegeben. Dies ist insbesondere in niederschlagsarmen Gebieten wie beispielsweise Zentralasien von großer Bedeutung, da nur dadurch ausreichend Wasser in den trockenen Sommermonaten zur Verfügung steht. Aktuelle Schätzungen gehen davon aus, dass in Kirgisistan im Jahresdurchschnitt zwar nur 15% des Abflusses aus Gletscherschmelzwasser stammt, dieser Anteil aber während der Sommermonate bis zu 45% betragen kann (z. B. Unger-Shayesteh et al., 2013). Da der Zustand der Gletscher eng mit den Fragen der Wasserverfügbarkeit und Nahrungssicherheit für die regionale Bevölkerung verknüpft ist, setzen hier die Forschungsarbeiten des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ in Zentralasien an. Neben dem Aufbau eines grenzüberschreitenden Monitoringnetzwerks wird die Massenbilanz ausgewählter Gletscher mit Hilfe moderner Monitoringmethoden kontinuierlich überwacht, um so Aussagen zur Auswirkung des globalen Wandels in dieser Region zu treffen und Handlungsoptionen gemeinsam mit den betroffenen Ländern zu entwickeln.

Die hier vorgestellten Arbeiten untersuchen den Zustand der Gletscher im Tien Shan (chinesisch „Himmlische Berge“) – dem Hauptgebirgskamm in Zentralasien, welcher sich zwischen Kirgisistan, Usbekistan, China und Kasachstan erstreckt (Abb. 1) und rund 13 000 Gletscher mit einer Gesamtgletscherfläche von etwa 15 000 km² umfasst. Die Arbeiten wurden im Rahmen des am GFZ koordinierten Projekts „Water in Central Asia“ (CAWa; www.cawa-project.net) durchgeführt und vom Auswärtigen Amt der Bundesrepublik Deutschland als Teil der „Deutschen Wasserinitiative für Zentralasien“ gefördert. Zusätzliche Unterstützung erhielt diese Studie durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF).

Herausforderung: kontinuierliche Messreihen

Die Beobachtung der Gletschermassen Zentralasiens hatte in der Sowjetunion einen hohen Stellenwert. So wurden während etwa drei Jahrzehnten an mehr als einem halben Dutzend Gletschern und mehrmals jährlich Messungen von Schneehöhe und Schmelze (sogenannte Massenbilanzmessungen) durchgeführt, um den Zustand der Gletscher kontinuierlich zu beobachten. Nach dem Ende der Sowjetunion im Jahr 1991 wurden

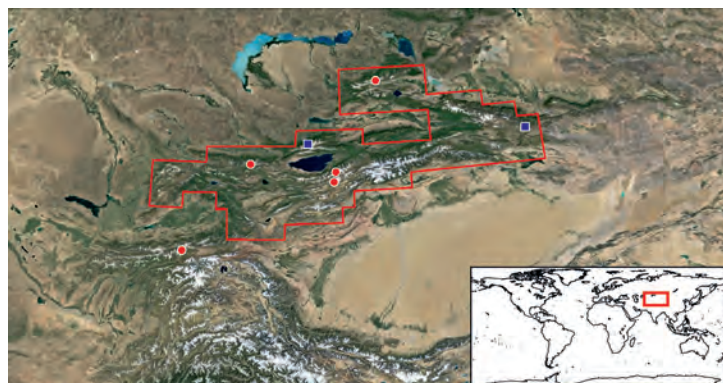


Abb. 1: Satellitenaufnahme Zentralasiens (Landsat). Der in diesem Beitrag berücksichtigte Bereich ist rot umrahmt. Gletscher mit durchgehenden Massenbilanzmessungen sind mit blauen Vierecken gekennzeichnet; rote Kreise markieren Gletscher, deren Messreihen nicht weitergeführt wurden.

Fig. 1: Satellite image of Central Asia (Landsat). The region considered in this study is contoured in red. Glacier with continuous mass balance measurements are shown with blue squares. Red circles mark glaciers for which the time series were interrupted.

jedoch die meisten Messprogramme eingestellt, lediglich zwei Messreihen wurden weitergeführt. Seit einigen Jahren werden die Messprogramme an ausgewählten Gletschern mit Beteiligung des GFZ wieder aufgenommen (Hoelzle et al., 2012), die Etablierung eines Messnetzes mit einer ausreichenden räumlichen Abdeckung ist allerdings noch nicht abgeschlossen.

Fernerkundung ergänzt bodengestützte Methoden

Methoden der Fernerkundung bieten die Möglichkeit, den aktuellen Zustand der Gletscher abzuschätzen und ergänzen die bodengestützten Messstationen. Auf Luft- und Satellitenaufnahmen lassen sich Gletscher relativ gut erkennen. Stehen solche Aufnahmen für zwei Zeitpunkte zur Verfügung, ist eine Aussage über die Flächenentwicklung der Gletscher möglich (z. B. Kriegel et al., 2013; Hagg et al., 2013). Derartige Analysen zeigen für das Untersuchungsgebiet, dass während der letzten 40 Jahre rund 20% der Gletscherfläche abgeschmolzen sind. Für die Wasserverfügbarkeit ist jedoch nicht der Flächenschwund relevant, sondern die Änderung des Volumens, also der Masse des Gletschers. In der Glaziologie spricht man von der sogenannten Gletschermassenbilanz. Traditionell werden Gletschermassenbilanzen durch Feldmessungen mit Pegeln bestimmt. Diese Methode ist aber sehr arbeitsaufwändig und nicht auf größere Gebiete (z. B. eine ganze Bergkette) anwendbar.



Kontakt: D. Farinotti
(daniel.farinotti@gfz-potsdam.de)

Auch hier bietet die Fernerkundung mit der Methode der geodätischen Massenbilanzabschätzung eine Alternative. Dabei werden zwei digitale Höhenmodelle (DHM), die für zwei unterschiedliche Zeitpunkte erstellt wurden, voneinander abgezogen. Nicht vergletscherte Regionen zeigen dabei abgesehen von Erdbeben oder Seespiegelschwankungen keine Änderungen, während bei Gletschern die Höhenänderung der Oberfläche auf Grund von Schneefall und Schmelze meist gut erkennbar ist. Über die Annahme einer Dichte für das Gletschereis kann dann die Massenänderung ermittelt werden.

Seit rund einem Jahrzehnt gibt es eine weitere Möglichkeit, um die Gesamtmassenbilanz einer vergletscherten Region abzuschätzen. Sie basiert auf der Messung des Erdschwerefelds und seiner zeitlichen Änderung. Die Satellitenmission GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment), deren Daten am GFZ prozessiert und zur Verfügung gestellt werden (GFZ Information System and Data Center; isdc.gfz-potsdam.de), erfasst z.B. die durch große Massenänderungen verursachten zeitlichen Schwankungen des Schwerefelds auf globaler Skala und eignet sich somit für eine solche Anwendung.

Umgang mit Unsicherheiten – die „Ensemble Methode“

Unabhängig davon, welche Methodik verwendet wird, ist die Schätzung der Gletschermassenbilanz eines Gesamtgebiets mit großen Unsicherheiten behaftet. Die größten Unsicherheiten stammen dabei nicht etwa aus den Messungen an sich, sondern vielmehr aus den Methoden, mit denen die Messungen über das Gesamtgebiet „übertragen“ (regionalisiert) werden. Mit der „Ensemble Methode“ können diese Unsicherheiten abgeschätzt werden. Vereinfacht formuliert lautet das Prinzip dabei: „Berücksichtige die größtmögliche Anzahl an unterschiedlichen Methoden, welche grundlegenden Plausibilitätsanforderungen genügen. Die Bandbreite, die sich aus den unterschiedlichen Resultaten ergibt, ist eine Schätzung für die Unsicherheit des Schlussergebnisses.“

Diesem Ansatz folgend wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Vielzahl an unterschiedlichen Methoden berücksichtigt (basierend auf den Messungen der Satelliten GRACE und ICESat sowie direkten Messungen). Die einzelnen Methoden und deren Resultate sind im Folgenden kurz beschrieben. Eine Übersicht über die wichtigsten Charakteristiken jeder Methodengruppe ist in Tabelle 1 dargestellt.

GRACE-basierte Abschätzungen

Für die GRACE-basierten Abschätzungen der Unsicherheiten wurden die neuesten Daten der Satellitenmission (Dahle et al., 2012) verwendet. Dabei wurden die Daten von drei Analysezentren berücksichtigt, nämlich des GFZ, des Jet Propulsion Laboratory (JPL) in Pasadena und des Center for Space Research (CSR) in Austin. Sämtliche Rohdaten wurden anschließend mit sieben unterschiedlichen Filtern prozessiert, um den Signalanteil gegenüber Anteilen von Prozessierungs- und Messfehlern zu erhöhen. Die von GRACE gemessenen Daten (Abb. 2a) repräsentieren neben den Massenänderungen der Gletscher auch Änderungen der Wasserspeicherung in anderen Komponenten, z. B. im Grundwasser oder in Flüssen und Seen. Um den glaziologischen Signalanteil zu erhalten, müssen diese anderen Komponenten der terrestrischen Wasserspeicherung abgezogen werden. Dazu wurden Simulationen aus sogenannten Landoberflächenmodellen (LOM) verwendet, also hydrologischen Modellen, welche die Wasserspeicherung an der Erdoberfläche in Abhängigkeit von meteorologischen Randbedingungen berechnen. Da auch diese Modelle mit Unsicherheiten behaftet sind, wurden die Resultate von sechs unterschiedlichen Modellen berücksichtigt (CLM, MOSAIC, VIC, NOAH, ISBA-TRIP, WGHM). Um die Daten dieser Modelle von den gefilterten GRACE-Signalen abziehen zu können, wurden erstere auf die gleiche Weise gefiltert (d.h. mit denselben sieben Filtern) wie die GRACE-Daten (Abb. 2b). Das Restsignal, dessen Amplitude reskaliert wurde, um den Filtereffekt wieder zu entfernen, wurde dann als Gletscheränderungssignal interpretiert. Mögliche Effekte der postglazialen Landhebung auf die Massenab-

Tabelle 1: Übersicht der wichtigsten Charakteristika der einzelnen Methodengruppen
 Table 1: Overview of the most important characteristics of the different methods

	GRACE	ICESat	direkte Messungen
Gemessene Größe	Schwerefeld	Oberflächenhöhe	Gletschermassenbilanz
zeitliche Abdeckung	2002-heute	2003-2009	gletscherabhängig
zeitliche Auflösung	monatlich	saisonal	saisonal/jährlich
Abdeckung	global	diskret (linienförmig)	punktuell
räumliche Auflösung	> 100 km	ca. 100 m	ca. 1 m
Herausforderung	Signalzuweisung	räumliche Aggregation	Regionalisierung

schätzung wurden vernachlässigt. Durch das Berücksichtigen von drei unterschiedlichen Auswertungszentren, sieben unterschiedlichen Filtern und sechs unterschiedlichen LOM ergeben sich insgesamt 126 Möglichkeiten, das gewünschte Signal zu schätzen (Abb. 2c). Betrachtet man alle Möglichkeiten als gleichwertig, ergibt die Schätzung für den Zeitraum 2003 bis 2009, der aus Gründen der Vergleichbarkeit mit den restlichen Methoden gewählt wurde, eine Gletschermassenänderung im Tien Shan-Gebirge von $-6,7 \pm 5,4$ Gigatonnen pro Jahr. Die Resultate in Abb. 2c zeigen jedoch auch, dass nach diesem Zeitraum eine weniger negative Massenbilanz zu verzeichnen war.

ICESat-basierte Abschätzungen

Der von der NASA betriebene Satellit ICESat führte im Zeitraum 2003 bis 2009 Messungen mit einem Laseraltimeter durch. Ein Laseraltimeter misst den Abstand zwischen der Erdoberfläche und dem Satelliten mit hoher Genauigkeit. Hieraus können Karten der Geländehöhe entlang der Flugbahnen des Satelliten erstellt werden. Durch das Wiederholen der Flugbahnen über mehrere Jahre lassen sich so Höhenänderungsraten ableiten – die Grundlage für geodätische Massenbilanzbestimmungen. Ursprünglich für Massenbilanzabschätzungen in den Polarregionen konzipiert, haben sich die Daten auch in den mittleren Breiten bewährt. Problematisch ist allerdings der relativ große

seitliche Abstand der Flugbahnen in diesen Regionen, welcher die räumliche Aggregation der Daten erschwert. In der Literatur sind drei unterschiedliche Methoden zu finden, um aus ICESat-Daten Höhenänderungsraten zu ermitteln (z.B. Gardner et al., 2013). Bei der ersten werden die ICESat-Messungen mit einem DHM, welches zu einem bekannten Zeitpunkt erstellt wurde, verglichen und für jeden Punkt eine Höhenänderung berechnet. Dividiert durch die Zeit zwischen der DHM-Erstellung und der ICESat-Messung ergibt sich eine Änderungsrate. Bei der zweiten und dritten Methode werden hingegen nur ICESat-Messungen verwendet und diese gegen die Zeit aufgetragen. Der Trend in den Messungen ergibt die gesuchte (mittlere) Änderungsrate. Der Unterschied zwischen der zweiten und dritten Methode besteht lediglich darin, dass entweder Messungen, die im Winter oder Messungen, die im Sommer entstanden sind, berücksichtigt werden. Problematisch bei den Wintermessungen ist, dass die Schneedecke das Lasersignal auf unbekannte Weise beeinflusst.

Da in den Gebieten des Tien Shan der typische Abstand zwischen benachbarten ICESat-Spuren im Bereich von einigen zehn Kilometern liegt (Abb. 3), reichen die ICESat-Messungen allein nicht aus, um eine flächendeckende Änderungsrate zu bestimmen. Deswegen wurde anhand der Daten eine Beziehung zwischen Höhe des Messpunkts und Änderungsrate hergeleitet. Für jede der oben genannten Methoden wurden drei unter-

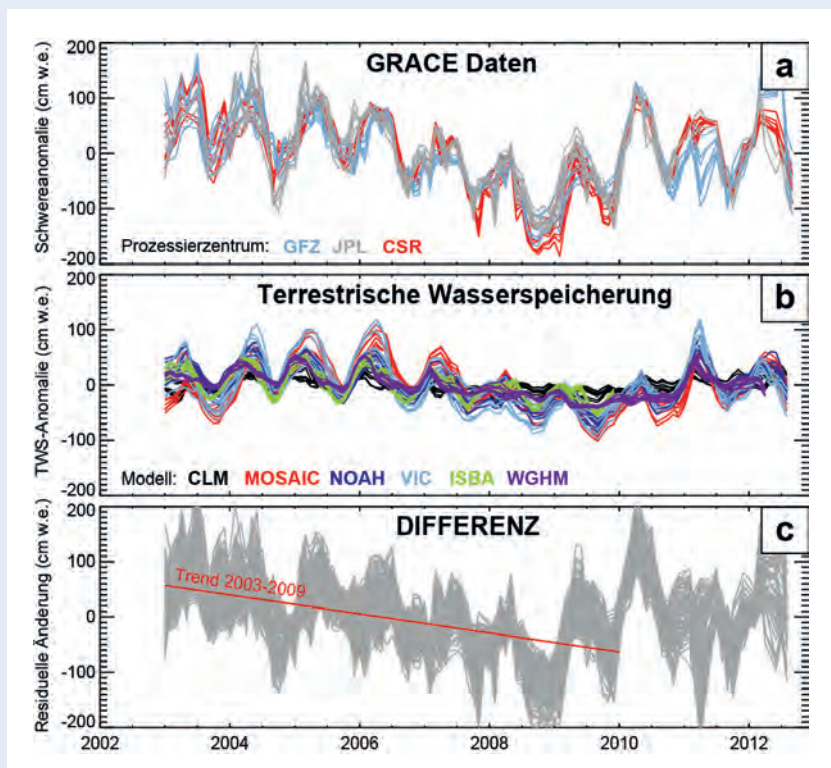


Abb. 2: Zeitreihen der Änderungen im Schwerefeld (a) und in der modellierten terrestrischen Wasserspeicherung (b). Die unterschiedlichen Farben zeigen die Lösung unterschiedlicher Prozessierungszentren, resp. unterschiedlicher Landoberflächen-Modelle. Verschiedene Linien gleicher Farbe zeigen das Resultat unterschiedlicher Filtermethoden. In (c) ist die Differenz zwischen (a) und (b) gezeigt. Die rote Linie zeigt den Trend während der Messperiode 2003 bis 2009, in welcher auch ICESat-Daten zur Verfügung stehen.

Fig. 2: Time series for the deviation in (a) gravity and (b) modeled terrestrial water storage. In (a) and (b) the different colors show the results for different processing centers and different land surface models, respectively. Different lines of the same color show the results for different filtering techniques. Panel (c) shows the deviation between (a) and (b). The red line shows the trend in the period 2003-2009, for which ICESat data are available.

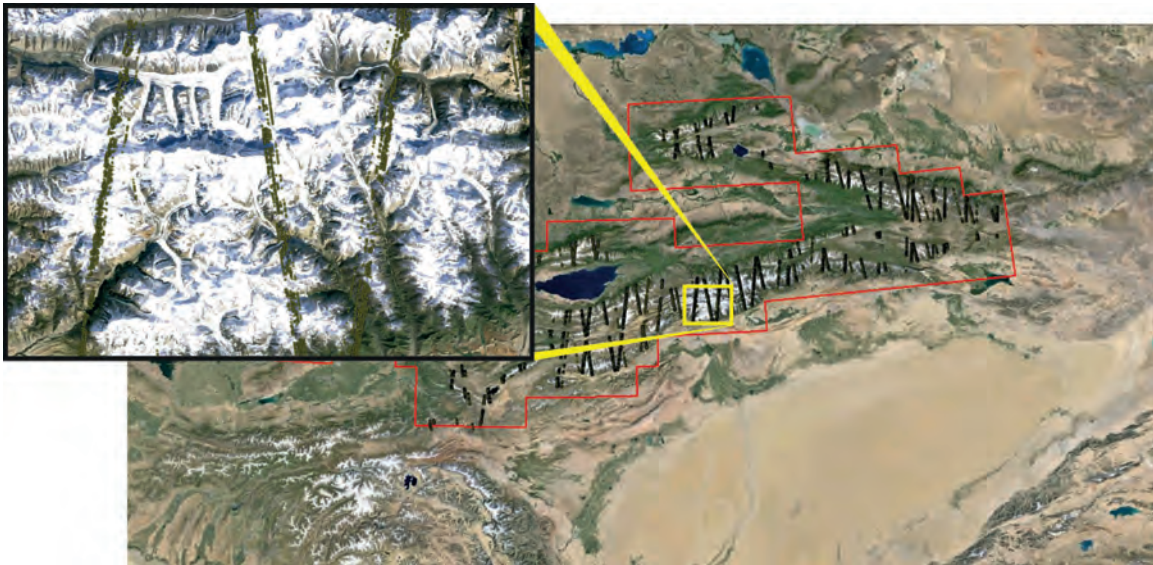


Abb. 3: Räumliche Verteilung der zur Verfügung stehenden ICESat-Daten. Gezeigt sind sämtliche Laseraltimetrie-Messpunkte (schwarz), die im Tien Shan über vergletscherten Flächen liegen. Der Ausschnitt oben links ist eine Vergrößerung im Gebiet des Inylchek-Gletschers.

Fig. 3: Spatial distribution of the available ICESat data. The figure shows all laser measurement points (black) which lie over glaciers in the Tien Shan. The top left panel is an enlargement of the region around Inylchek Glacier

schiedliche Beziehungen erstellt, damit ergeben sich insgesamt neun Möglichkeiten für die Abschätzung der gesuchten Funktion. Da die Lage der Gletscher inklusive ihrer Höhenverteilung bekannt ist, kann in einem zweiten Schritt die Beziehung zwischen Höhe und Änderungsrate verwendet werden, um eine regionale Abschätzung zu generieren. Die Umrechnung von Volumen- auf Massenänderung erfolgt schließlich über die Annahme einer Schnee- und Eisdichte. Aus den beschriebenen Verfahren und wieder dem Prinzip der Ensemble-Schätzung folgend, ergibt sich für den Zeitraum 2003 bis 2009 eine Gletschermassenänderung von $-7,6 \pm 5,1$ Gigatonnen pro Jahr – also geringfügig negativer als bei den GRACE-basierten Ansätzen.

Auf direkten Massenbilanzmessungen basierende Abschätzungen

Von den sieben Gletschermassenbilanz-Messreihen, die einst in Zentralasien bestanden, wurden im Zeitraum 2003 bis 2009 nur zwei fortgeführt. Kombiniert mit den Daten aus dem Zeitraum 1970 bis 1991 ergibt sich aber die Möglichkeit, auch aus diesen Daten eine Serie von Schätzungen für das Gesamtgebiet abzugeben. Der erste Schritt besteht dabei darin, die nicht fortgeführten Messreihen in ihrer zeitlichen Abdeckung

zu erweitern. Dafür wurden sechs unterschiedliche Methoden betrachtet: In der ersten wird der Mittelwert einer Zeitreihe übernommen. In der zweiten wird ein linearer Trend an den Zeitraum 1970 bis 1991 angepasst und in den Zeitraum 2003 bis 2009 extrapoliert. In der dritten wird ein konstantes Verhältnis zwischen den Massenbilanzen der zwei noch gemessenen Gletscher und den restlichen ermittelt, welches dann auf die Messungen des Zeitraums 2003 bis 2009 angewendet wird. In der vierten wird anstelle eines konstanten Verhältnisses eine lineare Regression zwischen den Zeitreihen durchgeführt. Die beiden Zeitreihen der noch gemessenen Gletscher dienen dabei als Eingangsvariablen. Die fünfte und sechste Methode sind hingegen wesentlich komplizierter und beruhen auf Modellrechnungen: Für jeden Gletscher wird ein Modell aufgestellt, das aus meteorologischen Daten Schneefall und Schmelze simuliert. Die Parameter des Modells werden dabei so angepasst, dass die Massenbilanzmessungen für den Zeitraum 1970 bis 1991 optimal reproduziert werden. Sind die Parameter einmal bestimmt, kann das Modell verwendet werden, um die Massenbilanz im Zeitraum 2003 bis 2009 zu berechnen. Der Unterschied zwischen der fünften und sechsten Methode besteht darin, dass einmal nur Jahresbilanzmessungen (d.h. Gletschermassenbilanzmessungen zwischen dem Ende eines Sommers und dem Ende des Sommers im Folgejahr) und einmal

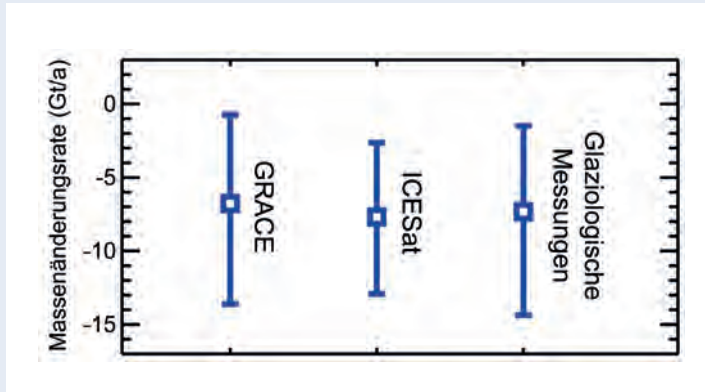


Abb. 4: Übersicht der Resultate, welche von den verschiedenen Methodengruppen geliefert werden. Die Balken zeigen ein 95 %-Konfidenzintervall an.

Fig. 4: Summary of the results yielded by the three groups of methods. The bars indicate a 95 % confidence interval.

sowohl Jahres- wie auch Winterbilanzmessungen (d. h. Messungen zwischen dem Ende eines Sommers und dem Ende eines Winters eines gleichen Jahrs) zur Modellkalibrierung verwendet wurden. Der zweite Schritt des Verfahrens besteht darin, die Massenbilanzzeitreihe, die nun für sieben Gletscher erstellt wurde, auf das Gesamtgebiet zu übertragen. Hierfür wurden drei unterschiedliche Methoden angewendet. Für die ersten vier Methoden des ersten Schritts wurden die jährlichen Massenbilanzen an sich räumlich extrapoliert, während für die Methoden fünf und sechs nur die Modellparameter übertragen wurden. Insbesondere heißt dies, dass für die letzten beiden Methoden jeder der etwa 13 000 Gletscher einzeln modelliert wurde.

Den unterschiedlichen Methoden zufolge betrug die Gletschermassenbilanz des Tien Shan in den Jahren 2003 bis 2009 $-7,3 \pm 6,1$ Gigatonnen pro Jahr, was in Anbetracht der geschätzten Unsicherheit mit den GRACE- und ICESat-basierten Messungen gut übereinstimmt (Abb. 4).

Zusammenfassende Ergebnisse

Die Schätzungen aus GRACE, ICESat und direkten Massenbilanzdaten können als unabhängig betrachtet werden. Die Tatsache, dass alle drei Methodengruppen zu einem ähnlichen Schluss führen, stärkt das Vertrauen in die Schätzungen. Führt man alle Ergebnisse zusammen, so kann die Gletschermassenbilanz des Tien Shan im Zeitraum 2003 bis 2009 mit $-7,1 \pm 5,6$ Gigatonnen pro Jahr angegeben werden. Während der genannten Periode wäre damit ein Wasservolumen abgeschmolzen, welches ausreichen würde, um den Bodensee einmal komplett zu füllen. Dieses Resultat klingt zunächst alarmierend, es muss jedoch betont werden, dass es sich auf einen sehr begrenzten Zeitraum von sieben Jahren bezieht. Die Frage nach der längerfristigen Entwicklung der Gletschermassenbilanz und damit der Wasserverfügbarkeit in dieser Region ist damit noch nicht geklärt. Eine Antwort darauf kann nur durch ein langfristiges Weiterführen der boden- und satellitengestützten Messungen gegeben werden. Die Kooperationen des GFZ mit europäischen und zentralasiatischen Partnern legen dafür den Grundstein.

Die vom GFZ gemeinsam mit US-Kolleginnen und -Kollegen geplante GRACE-Nachfolgemission „GRACE-FO“ wird voraussichtlich 2017 starten. Eine moderne Instrumentierung des neuen Satellitenpaars wird eine deutlich höhere räumliche wie auch zeitliche Auflösung in der Schwerefeldberechnung ermöglichen und somit zu einer verbesserten Abschätzung der Massenbilanz beitragen.

Literatur

- Dahle, C., Flechtner, F., Gruber, C., König, D., König, R., Michalak, G., Neumayer, K.-H. (2012): GFZ GRACE Level-2 Processing Standards Document for Level-2 Product Release 0005, (Scientific Technical Report - Data, 12/02), Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 20 p., 10.2312/GFZ.b103-12020.
- Gardner, A. S., Moholdt, G., Cogley, J., Wouters, B., Arendt, A. A., Wahr, J., Berthier, E., Hock, R., Pfeffer, W. T., Kaser, G., Ligtenberg, S. R. M., Bolch, T., Sharp, M. J., Hagen, J. O., van den Broeke, M. R., Paul, F., (2013): A Reconciled Estimate of Glacier Contributions to Sea Level Rise: 2003 to 2009. - *Science*, 340, 6134, 852-857, 10.1126/science.1234532.
- Hagg, W., Mayer, C., Lambrecht, A., Kriegel, D., Azizov, E. (2013): Glacier changes in the Big Naryn basin, Central Tian Shan. - *Global and Planetary Change*, 110, Part A, 40-50, 10.1016/j.gloplacha.2012.07.010.
- Hoelzle, M., Azizov, E., Barandun, M., Hagg, W., Huss, M., Kriegel, D., Machguth, H., Mandychev, A., Merkushkin, A., Moldobekov, B., Schöne, T., Thoss, H., Vorogushyn, S., Zemp, M. (2012): Re-establishment of long-term glacier monitoring in Kyrgyzstan and Uzbekistan, Central Asia, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-10206, 2012), General Assembly European Geosciences Union (Vienna, Austria 2012).
- Kriegel, D., Mayer, C., Hagg, W., Vorogushyn, S., Dühmann, D., Gafurov, A., Farinotti, D. (2013): Changes in glacierisation, climate and runoff in the second half of the 20th century in the Naryn basin, Central Asia. - *Global and Planetary Change*, 110, Part A, 51-61, 10.1016/j.gloplacha.2013.05.014.
- Unger-Shayesteh, K., Vorogushyn, S., Farinotti, D., Gafurov, A., Dühmann, D., Mandychev, A., Merz, B. (2013): What do we know about past changes in the water cycle of Central Asian headwaters? A review. - *Global and Planetary Change*, 110, Part A, 4-25, 10.1016/j.gloplacha.2013.02.004.

Geochemische Untersuchungen an Moränen des Inylchek-Gletschers im Tien Shan

Knut Hahne¹, Rudolf Naumann¹, Samuel Niedermann¹, Hans-Ulrich Wetzel¹, Silke Merchel², Georg Rugel²

¹ Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

² Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

In this study we present results of the chemical composition of the moraine cover from the Inylchek Glacier in Kyrgyzstan using observations from three field campaigns between 2010 and 2012. The sample locations were selected based on high-resolution remote sensing data. Sampling included the main profile from Lake Merzbacher to Station “Hochgebirgsobservatorium Gottfried Merzbacher”, which is about 8 km in length trending in N-S-direction. Chemical analyses of more than 60 elements, including Rare Earth Elements (an important tool for the discrimination and localisation of source areas of sediments, boulders and out-cropping rocks) were carried out. Based on these data different geochemical material streams have been identified. Generally, two chemical groups of sediments, the North Type/Lake Merzbacher and the South Type/Southern Inylchek can be distinguished. The Lake Merzbacher Type sediments are characterised by a uniform chemical composition, whereas the South Inylchek Type is geochemically more heterogeneous. Toxic elements in the sediments, such as Ni, As, Cd, Tl and U, are moderately enriched. The low sulphur concentration suggests that the main water transport is caused by suspended matter. One erratic granite block was analysed for in situ cosmogenic ¹⁰Be for exposure age dating. The age of 330 ±90 a is conform to a glacier high stand during the “Maunder“ minimum of the solar activity.



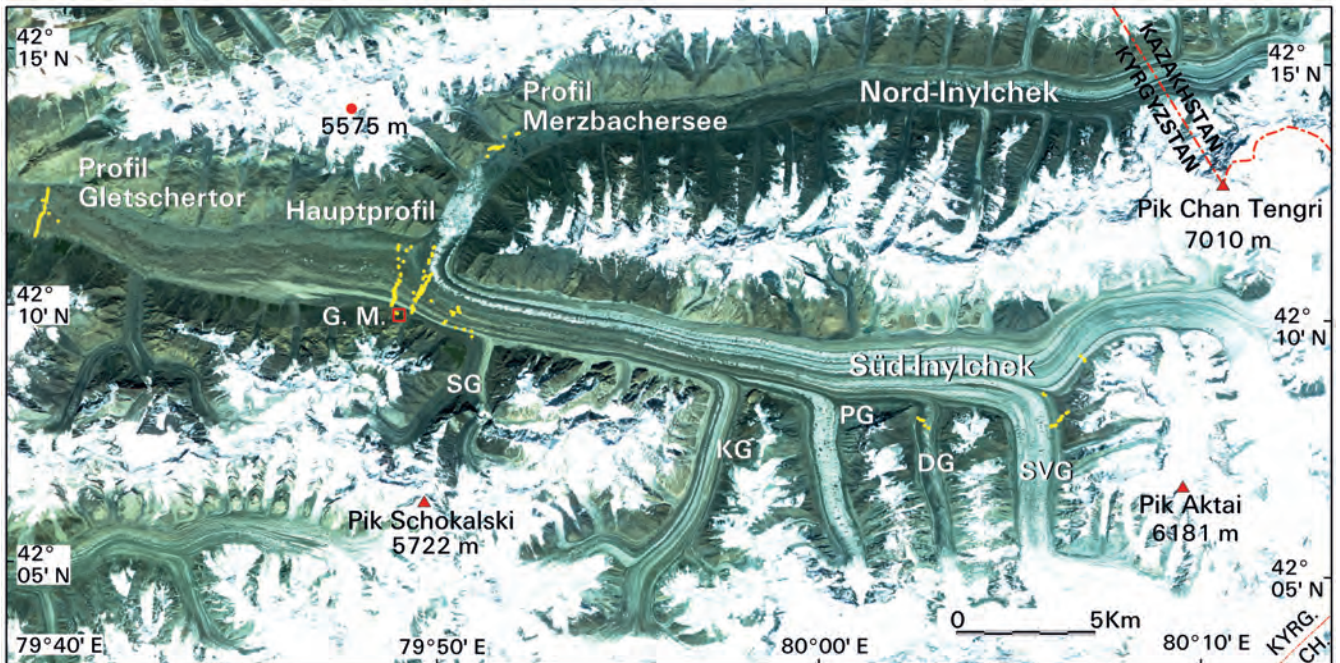


Abb. 1: Inylchek-Gletschersystem. Satellitenkarte, Mosaik hochauflösender RapidEye-Daten¹ (Fußnote S. 46). Gelb: Lage der Profile; G.M.: Hochgebirgsobservatorium „Gottfried Merzbacher“; SG: Schokalski-Gletscher; KG: Komsomol-Gletscher; PG: Proletarski Tourist-Gletscher; DG: Dickij-Gletscher; SVG: Svesdotschka-Gletscher

Fig. 1: Inylchek Glacier system. Satellite image map of high resolution remote sensing RapidEye data¹. Yellow: Position of the profiles; G.M.: High Mountain Observatoray „Gottfried Merzbacher“; SG: Shokalski Glacier; KG: Komsomol Glacier; PG: Proletarski tourist Glacier; DG: Dickij Glacier; SVG: Svesdotshka Glacier

Die vergletscherten Gebirgsketten des Tien Shan in Kirgisistan sind das größte Reservoir für den Wasserhaushalt großer Teile Zentralasiens. Der Inylchek ist einer der längsten Gletscher außerhalb der Polargebiete und sein Gletschersystem mit 815 km² und 65 km Länge das größte des Tien Shan. Nährgebiete sind die Massive des Pik Pobeda (7439 m) und des Khan Tengri (7010 m). Zusätzlich fließen mehrere Seitengletscher vom Koksaa-Tau, der höchsten Gebirgskette des Tien Shan dem Inylchek zu. Im Grenz- und Verschmelzungsbereich seiner beiden wichtigsten Teilgletscher (Nord- und Südinylchek) befindet sich in etwa 3300 m Höhe über NN der jährlich periodisch ausbrechende Merzbacher-Gletschersee, benannt 1928 nach Prof. Gottfried Merzbacher (Universität München, Geograph und Zentralasienforscher), der 1903 diesen Gletschersee erstmals wissenschaftlich beschrieb.

Links: Chan Tengri (7010 m) und Südinylchek-Gletscher
(Foto: K. Hahne, GFZ)

Left: Chan Tengri summit (7010 m) and the South Inylchek-Glacier

Am Zusammenfluss beider Inylchek-Gletscher wurde 2009 das Hochgebirgsobservatorium „Gottfried Merzbacher“ vom Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ in Kooperation mit dem Zentralasiatischen Institut für Angewandte Geowissenschaften (ZAIAG) in Bischkek errichtet.

Die international diskutierten globalen Klimaänderungen führen zur Veränderung der Gletscherdynamik, die damit auch Gegenstand gegenwärtiger komplexer geowissenschaftlicher Forschung ist. Für die zeitliche Entschlüsselung der Glazialdynamik unter dem Einfluss der Klimaänderungen können mit modernen geochemischen Verfahren ermittelbare Expositionsalter geeigneter Geschiebeblöcke in den Moränen einen wichtigen Beitrag leisten. Gleichzeitig bestimmt der Stoffbestand der Sedimentbedeckung des Gletschers die chemische Zusammensetzung der Schmelzwässer mit. Deshalb sind Kenntnisse über die Verteilung toxischer Elemente in Moränen, die hier erstmals vorgestellt werden, auch ein direkter Beitrag zur Beurteilung dieser wichtigen Wasserressourcen in Zentralasien.

Die verschiedenen Teilströme des Südinylchek haben eine unterschiedliche Fließkinematik. Neueste Ergebnisse aus dem GFZ zur Fließgeschwindigkeit ergeben für den oberen Südinylchek



Kontakt: K. Hahne
(knutha@gfz-potsdam.de)



Abb. 2: Einsturztrichter im Eis des Südinylchek-Gletschers. Zum Größenvergleich steht ein Teamkollege am gegenüberliegenden Rand (roter Kreis) (Foto: K. Hahne, GFZ).

Fig. 2: Ice collapse structure of the South Inylchek Glacier. A member of our field team is shown for scale (red circle).

25 cm/Tag im Frühjahr und Herbst sowie 50 cm/Tag im Sommer (Neelmeijer et al., 2013). Unterhalb des erwähnten Zusammenstreffens von Nord- und Südinylchek behindert eine langsam fließende Eismasse den Abfluss. Dadurch wird ein Teil des Südinylchek-Gletschereises in das nördliche Tal abgelenkt. Aus diesen Fließmassen kalben Eisberge in den Merzbacher-See ab. Nur der obere Teil des Südinylchek besteht weitgehend aus Blankeis, nach unten bedeckt eine Decke aus Sedimenten und Geschieben den Gletscher.

Moränen sind die geologischen Archive des Einzugsbereichs und enthalten wichtige Informationen über die Zusammensetzung des Einzugsgebiets und der vom Gletscher überfahrenen Areale (Ableitung von Mischmodellen, Stoffbilanzierung und Herkunft).

Zur Entschlüsselung dieser Archive führte das GFZ umfangreiche Beprobungen von Geschieben und Moränensedimenten durch. Bereits bei den Übersichtsbegehungen war zu erkennen, dass die Vielfalt der Gesteine größer als erwartet war.

Die Lage der Profile wurde mit Hilfe von für die Expeditionen entworfenen Satellitenbildkarten unterschiedlichen Maßstabs (Grundlage Rapid Eye, SPOT, LANDSAT u. a.) ausgewählt (Abbn. 1 und 3). Die Feldarbeiten fanden während der Expeditionen in den Sommermonaten der Jahre 2010 bis 2012 statt.

Die gewonnenen Proben wurden zunächst am GFZ präpariert, danach pulverisiert und homogenisiert. Mittels moderner Analysetechniken (RFA, ICP-AES, ICP-MS) wurden mehr als 60 chemische Elemente analysiert. Die ersten Ergebnisse im Sinn einer Bestandserfassung werden in tabellarischer und graphischer Form wiedergegeben (Tab. 1 und Abb. 4).

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung (arithmetisches Mittel) und Elementverhältnisse von Moränensedimenten nach Typen A bis I. N: Analysen; 1 ppm=0,0001%; 1 ppb=0,001 ppm

Table 1: Chemical composition (means) and element-ratios for the moraine types A-I. N: number of analysed samples; 1 ppm (part per million)=0.0001%, 1 ppb=0.001 ppm

Typ	Methode			Analytik (N)																
	RFA	ICP-MS	SEE	Ca/Si	Fe/Si	Mg/Si	Rb/Sr	Cr/Rb	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	S	Ni	Rb	U	As	Cd	Tl	Eu-Anomalie
A	40	5	5	0,46	0,13	0,09	0,31	0,64	46,5	4,1	3,4	14,1	0,04	42	104	2,6	20	145	479	0,68
B	26	16	16	0,06	0,14	0,06	1,45	0,55	61,1	5,8	2,9	2,4	0,11	47	154	2,8	11	106	619	0,67
C1	7	4	4	0,17	0,17	0,06	0,48	0,68	58,4	6,8	2,9	6,3	0,06	35	97	2,2	11	170	383	0,91
C2	10	6	6	0,46	0,17	0,08	0,44	0,66	47,4	5,5	2,9	14,2	0,04	31	86	1,9	10	180	376	0,88
D	5	4	4	0,24	0,30	0,22	0,22	9,2	48,8	9,7	8,1	7,8	0,03	202	43	1,0	4	116	169	0,98
E	5	5	5	0,27	0,15	0,07	0,57	0,81	53,1	5,2	2,9	9,3	0,09	49	112	2,5	13	119	530	0,67
F	7	3	2	0,13	0,13	0,06	0,39	0,44	58,6	5,3	2,7	5,1	0,09	45	186	3,8	29	131	836	0,54
G	12	6	6	0,08	0,04	0,009	4,02	0,04	71,1	1,9	0,5	3,6	0,02	12	495	15	27	95	2264	0,15
H	7	5	5	0,35	0,12	0,06	0,30	0,51	51,9	4,3	2,5	11,9	0,09	36	135	3,5	48	185	608	0,58
I	8	8	8	0,16	0,13	0,05	0,63	0,56	60,4	5,1	2,6	6,4	0,05	40	128	2,5	16	123	433	0,64

¹ Abb. S. 45: Zusammengestellt aus RapidEye-Datensets: 2011-08-06T063634_RE1_3A-NAC_9741199_138190, 2011-08-06T063634_RE1_3A-NAC_7000485_110917, 2011-08-06T063635_re1_3a-nac_9738777_138190; resampled, Pixelgröße: 5,00 m, Bänder 3, 2, 1 > R, G, B; georeferenziert auf UTM, WGS 84; GFZ-Sektion 1.4 (U. Wetzel, Juli 2012)

Moränenchemie

Chemisch können mehrere Materialströme unterschieden werden. Moränen des Nordinylchek-Gletschers sind homogen zusammengesetzt. Bodensedimente des Merzbacher-Sees sowie Moränen seiner Umgebung enthalten immer einen beträchtlichen Kalkanteil ($\text{CaO}=14,1\%$). Relativ dazu wird Silizium und eine Reihe von Spurenelementen abgereichert. Aus Tabelle 1 geht hervor, dass diese Moränen (Typ A) am hohen Ca/Si -Verhältnis erkennbar sind. Analog zum Kalzium wird das Spurenelement Strontium im Verhältnis zu Rubidium angereichert. Daraus ergeben sich für diesen Morärentyp niedrige Rb/Sr -Verhältnisse. Der Südinylchek-Gletscher fällt bereits im Satellitenbild durch unterschiedliche Farbstrukturierungen auf. Deshalb war es nicht überraschend, lithologisch und chemisch unterschiedliche Moränensysteme anzutreffen, die von Nord nach Süd in folgende geochemische Typen unterteilt werden können (Abb. 3): Der nördlichste Sedimenttyp (Typ B) zeichnet sich durch Si- und K-Vormacht sowie erhöhte Gehalte von vorwiegend in Glimmern fixierten Spurenelementen (V, Rb, Cs, Tl) aus. Die Elementverhältnisse Ca/Si und Rb/Sr kehren sich gegenüber dem Nordinylchek um. Der Herkunftsort der Geschiebe ist eindeutig die Mittelmoräne zwischen Südinylchek und dem Svesdetschka-Gletscher. An diesem lateral weit dispergierten Moränenstrom schließt sich eine auffällige Formation an (Typ C).



Abb. 3: Räumliche Verteilung der Sedimenttypen (B-H) des Südinylchek-Gletschers (Hauptprofil). Daten siehe Tab. 1

Fig. 3: Spatial distribution of the sediment-types (B-H) along the South Inylchek Glacier (main profile). Chemical data see Tab. 1

Es handelt sich um Moränen mit gelbbraun gefärbten Geschieben einer seltenen magmatischen Gesteinsgruppe, die von Monzoniten, Monzodioriten bis hin zu Fe-reichen Noriten reicht. Daher ist es erstaunlich, dass die Chemie der Sedimente lediglich bei den Alkali-Elementen eine leichte Anreicherung aufweist. Das liegt im Wesentlichen daran, dass in dieser Moräne ein beträchtlicher Anteil an grobkörnigem Marmor enthalten ist. Marmor ist, wie alle Kalke, weich und in der Regel spurenelementarm. Er zerfällt leicht in kleine Rhomboeder und wirkt in Sedimenten verdünnend. Eine wichtige Indikatorfunktion für die Identifizierung von Ausgangsgesteinen wird von der Gruppe der Selten-Erd-Elemente (SEE) eingenommen. Die SEE-Verteilung zeigt in Form der sogenannten Europium-Anomalie (Eu/Eu^*) einen signifikanten Unterschied gegenüber den vorherigen Morärentypen (Tab. 1). Sie wird über eine Normierung der SEE-Konzentration auf undifferenzierte Meteorite berechnet. Abweichungen des Eu von einer harmonischen Verteilungskurve der SEE werden als positive oder negative Eu-Anomalie bezeichnet. Dreiwertiges Eu kann während der Bildung von magmatischen Gesteinen in Eu^{2+} überführt werden. Eine damit verbundene Änderung im Ionenradius bewirkt die Trennung von den übrigen chemisch sehr ähnlichen SEE. Wesentlich für die Beurteilung von Liefergebieten ist, dass sich eine erworbene Eu-Anomalie im sedimentären Kreislauf resistent verhält. In unserem Beispiel weisen die Leitgeschiebe aus der C-Moräne eine in der Geologie selten vorkommende positive Eu-Anomalie ($\text{Eu/Eu}^*=1,2$ bis $1,5$) auf. Diese ist als ein magmatisches Signal aufzufassen und stellt einen wichtigen Parameter zur Beurteilung von Ausgangsgesteinen dar. Das vermutete Liefergebiet für diesen markanten Morärentyp, der Dikij-Gletscher, konnte durch eine Hubschrauberbefliegung eingegrenzt werden. Wegen der schwierigen Zugänglichkeit ist die genaue Lage und Geometrie des vom Gletscher angeschnittenen Plutons, aus dem die magmatischen Leitgeschiebe stammen, noch nicht bekannt.

Es folgt eine Moräne (Typ D) mit den höchsten Gehalten von Mg, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Pd, Ir und Pt im Untersuchungsgebiet. Die SEE-Verteilungsmuster sind flach. Auch hier weicht die Eu-Verteilung beträchtlich von der normaler Sedimente ab. Das Ausgangsmaterial dieses Moränenstrangs wird von Vulkangesteinen (Tuffe) aus dem Westteil des Dickij-Gletschers abgeleitet. Unbekannt ist gegenwärtig das Liefergebiet einer weiteren sich südlich anschließenden Moräne (Typ E). Die chemische Zusammensetzung weist die größte Ähnlichkeit zum Typ B auf. Mit scharfer Grenze folgt nach Süden ein charakteristischer, etwa 50 m breiter Streifen dunkel gefärbter Sedimente (Typ F). Dunkle Tonschiefer sind hier die dominanten Geschiebe. Daraus leiten sich die gemessenen erhöhten Gehalte von Rb, Cs, Tl, Pb, Th und U ab. Das Liefergebiet lässt sich anhand des Satellitenbilds am Westrand des Komsomol-Gletschers eingrenzen.

Die zweifellos auffälligste Moräne nahe dem Südrand des Inylchek-Gletschers ist hellgrau gefärbt. Geschiebe bestehen aus Graniten. Blöcke erreichen dabei durchaus eine Größe von mehreren Metern (Abb. 5). Ihre chemische Zusammensetzung wird

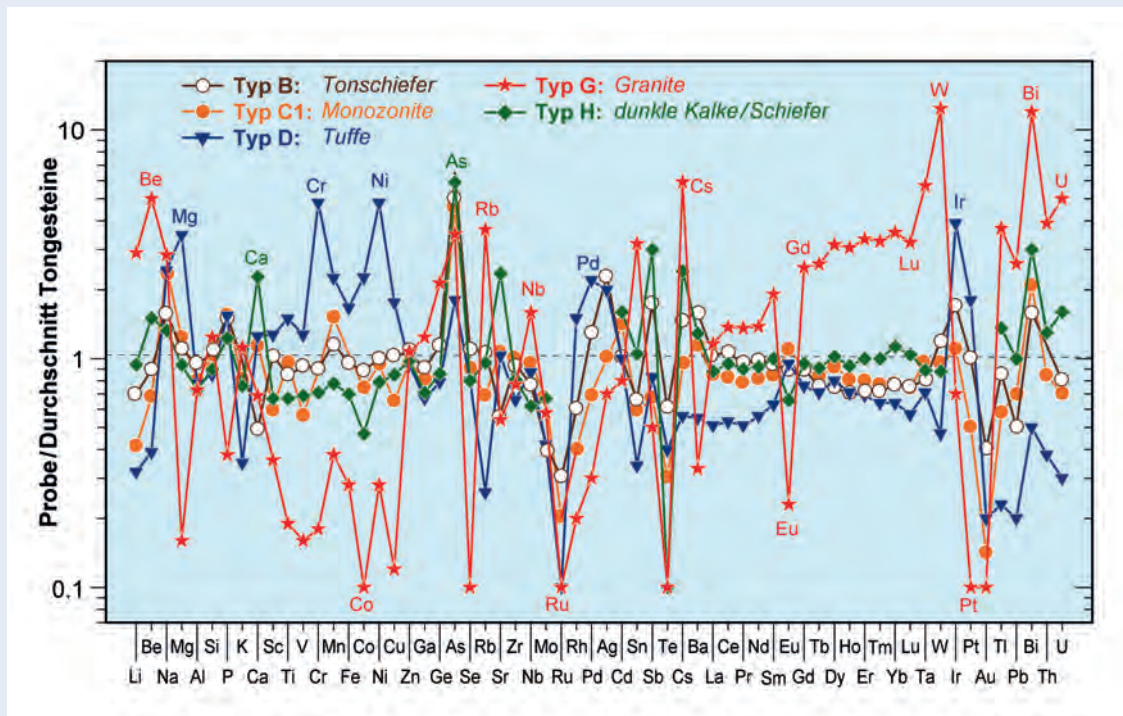


Abb. 4: Chemische Zusammensetzung ausgewählter Moränen. Die Bezugsgröße ist der Durchschnitt für Tongesteine.

Fig. 4: Chemical composition of selected moraines. The normalisation is based on the mean of clay rocks.

erwartungsgemäß von einer Anreicherung lithophiler Elemente (Si, Li, Be, Rb, Sn, Cs, Ta, W, Bi, Tl, Pb, Th und U) bestimmt (Abb. 4). Die Granite sind in einem Massiv zwischen dem Komsol- und Schokalski-Gletscher aufgeschlossen (Abb. 6). Sie sind metallogenetisch gut untersucht und werden in das frühe Perm eingestuft. Dem eigentlichen Gletscherrand ist eine schmale Zone dunkler Sedimente (Typ H) vorgelagert. Ihre Zusammensetzung vermittelt auf den ersten Blick eine Wiederholung der Nordinylchek-Moränen. Dennoch bestehen graduelle Unterschiede. Die Gehalte von As, Cd, Rb, Sb sind höher. Eine stärker negative Eu-Anomalie ist geologisch begründet. Die Quelle ist eine Gesteinseinheit, die sich aus Kalken und klastischen Sedimenten zusammensetzt und vom Schokalski-Gletscher erodiert wird.

Ergebnisse von Hagen (2013) zur Geochemie ausgewählter Proben aus einem Profil unmittelbar am Gletschertor (Typ I) lassen den Schluss zu, dass für den Gesamtstoffbestand des Südinylchek vor allem die Moränentypen B und C wesentlich sind.

Datierungen

Nach einem ersten Überblick über den Stoffbestand wird im Folgenden auf Ergebnisse zur Datierung eines Geschiebeblocks eingegangen.

Altersbestimmungen an erratischen Blöcken auf Moränen sind unter bestimmten Voraussetzungen über durch kosmische Strahlung entstandene Nuklide möglich. Häufig benutzte Nu-

klide sind Edelgase oder das Radionuklid ^{10}Be mit einer Halbwertszeit von 1,387 Mio. Jahren. So werden ^{10}Be und ^{21}Ne *in situ* durch Kernreaktionen (induziert durch sekundäre Neutronen der kosmischen Strahlung) z.B. aus Sauerstoff bzw. Silizium im Quarz (SiO_2) an freiliegenden Gesteinen gebildet. Diese Nuklide dienen als geologische Uhr, d.h. wenn ein quarzführendes Gestein (Granit) von einem Startpunkt kontinuierlich der kosmischen Strahlung ausgesetzt wird, werden ^{10}Be - und ^{21}Ne -Atome akkumuliert. Die Produktionsraten der ^{10}Be - und ^{21}Ne -Atome sind aber äußerst gering; im Probengebiet ca. 50 bzw. 200 Atome pro Gramm SiO_2 und Jahr. Die Bestimmung von Expositionsaltern mit ^{10}Be erfordert deshalb eine auf-



Abb. 5: Granitblock als Geschiebe in der G-Moräne (Foto: K. Hahne, GFZ)

Fig. 5: Erratic block of granite from the G-Moraine



Abb. 6: Erosionskontakt des Südnylchek-Gletschers mit einem Granitmassiv. Auf der linken Seite dokumentiert die Moränenoberkante einen früheren Gletscherhochstand (Foto: K. Hahne, GFZ).

Fig. 6: Evidence of erosion of the South Inylchek Glacier within the granite massif. On the left side the uppermost moraine level is shown. This level represents the historical glacier high stand.

wändige chemische Probenpräparation und Analysetechnik mittels hochempfindlicher Beschleunigermassenspektrometrie (Akhmadaliev et al., 2013).

Als Testprobe wurde ein Granitblock aus der G-Moräne in der Nähe des Observatoriums (79° 48.790' E / 42° 10. 220' N) mit einer 2,5 x 2,5 m großen ebenen Oberfläche ausgewählt. Etwa 1 kg Gestein der obersten 2 cm wurde abgeschlagen und der Quarz separiert.

Ein erster Datierungsversuch über ^{21}Ne mittels empfindlicher Edelgasmassenspektrometrie am GFZ erbrachte kein geologisch interpretierbares Alter, weil aufgrund der relativ hohen Uran- und Thoriumgehalte der Granite zusätzliches Neon aus Folgereaktionen des radioaktiven Zerfalls im Quarz produziert wurde.

Im Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf bestand die Möglichkeit, die Quarzprobe chemisch weiter aufzubereiten und über ^{10}Be im Beschleunigerlabor „DREAMS“ zu datieren. Das Ergebnis erbrachte eine überraschend geringe ^{10}Be -Konzentration von 14900 Atomen/g Quarz. Das Expositionsalter wurde mit dem sogenannten CRONUS-Calculator (<http://hess.ess.washington.edu>) nach vier verschiedenen zeitabhängigen Skalierungsmethoden berechnet, die auch den Einfluss von Magnetfeldschwankungen berücksichtigen. Dabei ergab sich ein mittleres Alter von rund 330 ± 90 Jahren. Unter der Annahme, dass sich der Granitblock nicht mehrfach bewegt hat, d.h. durchgehend der kosmischen Strahlung ausgesetzt war, wurde er um das Jahr 1680 zum ersten Mal durch einen Gletscherhochstand freigelegt. Dieses Intervall liegt in einer besonders kalten Periode der Kleinen Eiszeit im Bereich eines Minimums an Sonnenflecken, dem „Maunder-Minimum“ (1675 bis 1700 AD).

Ausblick

Im Verlauf der geochemischen Untersuchungen an Moränen des Südnylchek-Gletschers stellte sich der Südnylchek als eine Art geochemischer Modellgletscher dar. Ursache ist die geodynamische Entwicklung im Paläozoikum überprägt durch die alpine Überschiebungstektonik. Dadurch kam es im Einzugsbereich zu einer Zufuhr von geochemisch sehr unterschiedlichen Gesteinen.

Es werden die Mittelwerte von toxischen Elementen (Ni, As, Cd, Tl, U) in Moränen vorgestellt. Bezogen auf Tonsteine lässt sich für Arsen eine bis zu siebenfache Anreicherung feststellen, bei Ni, Cd, Tl und U ist sie geringer. Der Schwefelgehalt schwankt zwischen 0,02 und 0,11%. Diese außerordentlich niedrigen Gehalte besagen, dass leicht oxidierbare Sulfide, Trägerminerale der meisten toxischen Elemente, eine vernachlässigbare Komponente in den Moränen darstellen. Die maßgebliche Bindungsform (z.B. des Thalliums) ist silikatisch. Damit erfolgt der Transport im Schmelzwasser nicht vorrangig in gelöster Form sondern in der Gletschertrübe als Schwebefracht.

Der erosive Anschnitt von datierbaren Granitblöcken und ihre Erhaltung in einer ungestörten und langen Moräne, wie sie im Untersuchungsgebiet angetroffen wurden, sind eine ideale Basis für die Ableitung der zeitlichen Glazialentwicklung. Neben geplanten weiteren Datierungen an Graniten mittels kosmogener Nuklide aus verschiedenen Gletscherteilen bieten pyroxenführende Gesteine ein weiteres Potenzial, die Glazialentwicklung des Inylchek über einen längeren Zeitraum zu entschlüsseln.

Zitierte und weiterführende Literatur

- Akhmadaliev, S., Heller, R., Hanf, D., Rugel, G., Merchel, S. (2013): The new 6 MV AMS-facility DREAMS at Dresden. - Nuclear Instruments and Methods in Physics Research: Section B, Beam Interactions with Materials and Atoms, 294, 5-10, 10.1016/j.nimb.2012.01.053.
- Hagen, M. (2013): Geochemische Untersuchungen an Moränenmaterial des Inylchek-Gletschers im Tien-Shan (Kirgistan), Bachelorarbeit, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften, Universität Potsdam.
- Hahne, K., Wetzel, H.-U., Naumann, R., Meixner, A. (2013): Geochemical investigations of sediments and boulders in Moraines of the Inylchek Glacier, Kyrgyzstan. – In: Kenesh, J. (Ed.), Materials Of International Conference “MOUNTAINHAZARDS 2013”: Natural Hazards, Climate Change and Water in Mountain Areas; Bishkek 16-18 September 2013, p. 83.
- Klostermann, J. (1999): Das Klima im Eiszeitalter, Stuttgart, 284 p.
- von Blankenburg, F. (2008): Kosmogene Nuklide in den Geo- und Umweltwissenschaften. - GMIT, 33, 6-18.
- Neelmeijer, J., Motagh, M., Wetzel, H.-U. Detailed spatial and temporal kinematics of the Inylchek Glacier, Kyrgyzstan, constrained by TerraSAR-X time-series analysis. Talk presented at 5th TerraSAR-X / 4th TanDEM-X Science Team Meeting (Oberpfaffenhofen, Germany 2013).

Konflikte um die Georessource Wasser in Zentralasien

Analyse und Neuausrichtung von Entwicklungspfaden im Ferganatal

Sebastian Hoehstetter¹, Oliver Bens¹, Christine Bismuth²

¹ Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

² Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

The Fergana Valley is considered a hotspot for water conflicts – not only within Central Asia but also at the level of global politics. By using the water of the Syr-Darya river and its tributaries, an enormous irrigation system was built up in the Fergana region – a valley formerly characterised by deserts and river oases. This led to the creation of one of the largest cotton growing regions in the world. At present, the system supplies one of the most densely populated regions in Central Asia with water. Huge dam cascades also produce a significant amount of electricity. This has led to disagreements and conflicting interests between upstream and downstream countries. Experiences in many parts of the world have shown that a purely technical approach to solving water-related problems has not always brought about the desired results. In many cases, it even had negative implications for society and environment. Therefore, improved management strategies and integrated policies are needed for dissolving the existing “path dependencies” that limit the range of development options and confine the scope of action available to the Fergana region. The interdisciplinary research group “Society – Water – Technology” at the Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities has dedicated itself to this issue and aims at providing scientific policy advice to decision-makers and stakeholders.



Während Wasser in humiden Breiten meist in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht, sind aride Regionen auf eine Wasserversorgung aus Seen, Flüssen oder Brunnen angewiesen – oder auf Wassertechnik: Stauseen, Wasserleitungen und Tiefbrunnen bieten eine gewisse Unabhängigkeit von saisonalen Verfügbarkeiten bzw. Trockenzeiten. Solche Anlagen schaffen häufig die Voraussetzung für die Erschließung andernfalls unbewohnbarer und landwirtschaftlich kaum nutzbarer Gebiete.

Durch diese technischen Errungenschaften können aber auch neue Abhängigkeiten und Nutzungskonflikte entstehen: Wo beispielsweise früher die Flüsse noch vorwiegend als Trinkwasserressource und zur Bewässerung von Feldern genutzt wurden, sind sie heute in vielen Fällen gleichzeitig eine wertvolle Energiequelle. Eine vielerorts immer intensiver betriebene Landwirtschaft trägt weiter zur Übernutzung der verfügbaren Ressourcen bei. Die so entstehende Knappheit von Wasser wird deshalb bereits als ein großes geopolitisches Risiko betrachtet. Im Fernanatal, das sich auf die zentralasiatischen Staaten Usbekistan, Kirgisistan und Tadschikistan verteilt, lassen sich viele dieser Probleme beobachten. Das Gebiet wird sowohl globalpolitisch als auch aus der Perspektive der Region Zentralasien als „Hot-Spot“ für Wasserkonflikte angesehen.

Deshalb widmet sich die interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gesellschaft – Wasser – Technik“ an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften – unter der Leitung von Reinhard Hüttl und unter Mitwirkung mehrerer Experten des Deutschen GeoForschungsZentrums GFZ sowie der Helmholtz-Zentren Karlsruhe und Leipzig/Halle, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und weiterer Forschungseinrichtungen – explizit den Wasserproblemen dieser Region. Besonderes Augenmerk gilt den Auswirkungen wassertechnischer Großprojekte auf Gesellschaft und Naturressourcen. Eine wichtige Frage bezieht sich auf die sogenannten Pfadabhängigkeiten, die durch die Umsetzung wassertechnischer Großprojekte und damit zusammenhängender wasserpolitischer Entscheidungen entstehen. Mit dem Begriff Pfadabhängigkeiten wird der Umstand beschrieben, dass politische oder infrastrukturelle Weichenstellungen in der Vergangenheit aktuelle und künftige Entwicklungsoptionen wesentlich bestimmen oder eingrenzen.

Links: Trocken gefallene Talsperre in Zentralasien. Das aride Klima der Region und die vielerorts ineffiziente Wassernutzung führen häufig zu Wasserknappheit (Foto: ZAIAG).

Left: Dried up reservoir in Central Asia. The region's arid climate and the in many places inefficient water usage frequently lead to water scarcity.

Einige dieser historischen Pfadabhängigkeiten sowie deren Konsequenzen sollen hier am Beispiel der Wasserpolitik Zentralasiens ausgeführt werden. Zugleich soll deutlich werden, dass durch wissenschaftliche Begleitung wassertechnischer Großprojekte ein entscheidender Beitrag zum Verlassen alter und zur Gestaltung neuer Entwicklungspfade geleistet werden kann.

Historischer Rückblick – Die Ursachen für Fehlentwicklungen im Wassersektor

Die Bewässerungskultur entlang der Seidenstraße zählt zu einer der ältesten der Menschheit. Schon im Neolithikum wurde Wasser mittels Schwerkraftbewässerung auf die Felder geleitet und diente dem Anbau von Winterweizen und Gerste. In der antiken Oasenwirtschaft wurden Reis, Weizen und Wein angebaut, dazu Luzerne als Futtermittel für die Pferdezucht.

Die russische Kolonisation der damals als „Turkestan“ bezeichneten und zunächst nicht scharf abgegrenzten Region in Zentralasien ab Mitte des 19. Jahrhunderts war der Beginn von gravierenden Veränderungen und rief weitreichende Umbrüche in der Gesellschaft hervor, was sich auch in der Land- und der Wasserwirtschaft manifestierte. Die Bewässerungswirtschaft gewann zu dieser Zeit als Mittel zur Erschließung neuer landwirtschaftlicher Nutzflächen an Bedeutung, diente aber zugleich auch als Instrument, um politische Kontrolle über die Gebiete zu erlangen sowie zur Festigung bestehender Machtverhältnisse.

Die Landwirtschaft Zentralasiens war für Russland auch deshalb von besonderem strategischem Interesse, weil dadurch die Versorgung des russischen Reichs mit Gütern ermöglicht wurde, die in anderen Regionen aufgrund der klimatischen Bedingungen nur schwer zu kultivieren gewesen wären. Eine besondere Rolle spielte hierbei schon früh die Baumwolle. Im Jahr 1904 führte die Gründung einer zentralen Landwirtschaftsverwaltung zur Etablierung eines ersten „Baumwollanbauprogramms“, das die Errichtung eines staatlich betriebenen Bewässerungsnetzwerks beinhaltete. Eine wichtige Motivation für das russische Engagement in der Baumwollindustrie war das Ziel der Unabhängigkeit von Importen aus den USA.

In den 1930er-Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts wurde die traditionelle Landwirtschaft kollektiviert. Zunächst blieb der grundsätzliche Status der Bauern unberührt: anstatt das Land für einen entfernten Großgrundbesitzer zu kultivieren, bearbeitete man die Erde nun für den Staat. Erst später setzte eine radikalere Politik mit enormen Auswirkungen auf die ehemalige Oasenwirtschaft ein (Cariou, 2004). Die kleinen Kolchosen wurden zu großen Einheiten zusammengefasst, der Bezug zu den ursprünglichen dörflichen Strukturen ging verloren.



Kontakt: S. Hoehstetter
(sebastian.hoehstetter@gfz-potsdam.de)

Die alten Bewässerungsgärten wurden planiert und machten einem weiten industriellen Agrarraum Platz. Die standortgerechte und weitgehend an die naturräumlichen Verhältnisse angepasste Landbewirtschaftung wurde dem großflächigen Anbau von Baumwolle untergeordnet.

In administrativer Hinsicht war Turkestan bereits 1924 in mehrere „nationale Republiken“ aufgeteilt worden: Turkmenistan, Tadschikistan, Usbekistan, Kirgisistan und Kasachstan entstanden. Die Festlegung der Grenzen dieser Staaten – die später in der Folge des Umbruchs in der UdSSR unabhängig wurden – erfolgte zwar auch auf der Grundlage von Sprache, Ethnie und ökonomischen Kriterien. Die starke territoriale Vermischung der verschiedenen Bevölkerungsgruppen wurde allerdings nicht angemessen berücksichtigt. Dementsprechend kann diese Teilung als Ursache für viele der heutigen Probleme und Konflikte angesehen werden – speziell auch mit Blick auf die Verteilung natürlicher (Geo-)Ressourcen.

Befand sich z.B. die Aufteilung der Wasserressourcen in den Zeiten der ehemaligen Sowjetunion unter Moskauer Kontrolle und war noch vorwiegend auf die Erzeugung von Baumwolle ausgerichtet, so kamen mit dem Zusammenbruch des Systems die Partikularinteressen der jeweiligen Staaten zum Tragen. Die „Wasserbalance“, die schon zu Sowjetzeiten nur durch den Druck der Zentralregierung aufrechterhalten werden konnte, geriet aus dem Gleichgewicht (Eschment, 2011).

Als Grundlage für die Verteilung der Wasserressourcen wurde das am 18. Februar 1992 geschlossene Abkommen der zentralasiatischen Republiken über die Zusammenarbeit beim gemeinsamen Management und Schutz internationaler Wasserressourcen verabschiedet (ICWC 1992). Bis zu einer vertraglichen Neuordnung sollten die Regelungen aus der Sowjetzeit beibehalten werden. Zwar existiert mittlerweile ein Abkommen

zwischen Usbekistan, Kirgisistan und Kasachstan, das die Nutzung der Wasser- und Energieressourcen des durch das Ferganatal fließenden Syr-Darya regeln soll. Die Einhaltung dieses Abkommens wurde aber nie sichergestellt und es kann somit grundsätzlich als gescheitert gelten (ICWC, 2002). Lokale und in vielen Fällen informelle Vereinbarungen ersetzen mittlerweile häufig die fehlenden staatlichen Regelungen (Eschment, 2011).

Die aktuelle Situation – Gesellschaftliche Strukturen und ökologische Folgen

Das Ferganatal präsentiert sich heute als eines der fruchtbarsten Gebiete Zentralasiens und zählt nach wie vor zu den wichtigsten Baumwollanbaugebieten der Welt. Es ist gekennzeichnet durch eine hohe Bevölkerungsdichte – mit stetig steigender Tendenz: Im Ferganatal leben etwa 50 % der gesamten usbekischen Bevölkerung auf 8,7 % des nationalen Territoriums. Über 40 % der gesamten Landfläche werden bewässert. Mehr als 20 kleine grenzüberschreitende Flüsse münden im Ferganatal in den Syr-Darya. Während sich die geopolitische Landschaft in Zentralasien seit der Auflösung der UdSSR tiefgreifend verändert hat, sind die Macht- und Entscheidungsstrukturen in der Region immer noch durch den Einfluss der „alten Eliten“ geprägt. Viele der tradierten Vorgehensweisen des alten Systems leben bis heute fort. So unterliegt der Baumwollanbau in Usbekistan und damit auch im Ferganatal einer staatlichen Quotenregelung, an der sich der Ausbau der Bewässerungssysteme orientiert. Baumwolle ist die wesentliche Devisenquelle für Usbekistan. Die Landwirte vor Ort profitieren jedoch nur in geringem Maß von diesem wirtschaftlichen Nutzen, denn der Staat hält das Monopol auf den Kauf der Baumwolle, während die den Bauern gezahlten Preise weit unter dem Weltmarktniveau liegen. Gleichzeitig bleiben notwendige Investitionen in die Erntetechnik aus, Baumwolle muss in vielen Fällen mühsam per Hand geerntet werden (Abb. 1).

Diese ökonomischen und sozialen Bedingungen ersticken weitgehend private Initiativen zum Erhalt der häufig überdimensionierten bewässerungstechnischen Anlagen. Staatliche usbekische Stellen investieren nicht in ausreichendem Maß in deren Erhalt. Strukturelle Veränderungen wurden in Usbekistan zwar durch die Einrichtung von sogenannten „Wassernutzervereinigungen“ (Water Users Associations, bzw. seit Kurzem Water Consumers Associations) angestoßen, ein echtes Selbst- und Mitbestimmungsrecht der darin zusammengeschlossenen Land- und Wassernutzer hinsichtlich der Wahl der landwirtschaftlichen Anbauprodukte und der Weiterentwicklung der Bewässerungsanlagen wurde diesen Institutionen jedoch nicht übertragen. Die Verteilung der Verantwortlichkeiten für die verschiedenen Bereiche des Wassersektors auf die einzelnen Akteursgruppen ist häufig unscharf geregelt; formelle und informelle Steuerungsprozesse überlagern sich. Im Ergebnis haben die Veränderungen der



Abb. 1: Baumwollernte in Usbekistan (Foto: A. Hamidov, Humboldt-Universität Berlin)

Fig. 1: Cotton harvest in Uzbekistan



Abb. 2: Maroder Zustand von Bewässerungskanälen in Usbekistan (hier: Region Bukhara) (Fotos: A. Hamidov, Humboldt-Universität Berlin)

Fig. 2: Dilapidated condition of irrigation canals in Uzbekistan (here: Bukhara region)

Wasserbewirtschaftung in Usbekistan zu einer ungleichen Wasserverteilung zwischen den verschiedenen Nutzergruppen geführt und soziale und ökonomische Ungleichgewichte geschaffen bzw. verstärkt.

Die Folgen dieser Fehlsteuerungen und der teilweise maroden Infrastruktureinrichtungen (Abb. 2) sind Degradationseffekte bei den Georessourcen Wasser und Boden, insbesondere große Wasserverluste, Wasserverschwendung und die Versalzung der Böden. Besonders drastisch zeigen sich diese Effekte am Beispiel der Entwicklungen im Einzugsgebiet des Aralsees. Durch die exzessive Entnahme von Wasser aus den beiden großen Flüssen Amu-Darya und Syr-Darya trocknete der Aralsee großflächig aus und das ehemalige Seengebiet verwandelte sich in weiten Teilen in eine Salzwüste. Der massive Einsatz von Pestiziden im Baumwollanbau ist eine Ursache von gesundheitlichen Problemen für große Teile der Bevölkerung. Zusätzliche Belastungen für Mensch und Umwelt ergeben sich aus den Auswirkungen des Uranabbaus und der Aluminiumverhüttung.

Die Übernutzung der Georessource Wasser hat neben der Entnahme zu Bewässerungszwecken noch eine zweite anthropogene Ursache: Die Oberliegerstaaten der großen zentralasiatischen Flüsse, also v.a. Kirgisistan und Tadschikistan, sind auf die Nutzung des Wassers zur Erzeugung von Strom als Nutzenergie angewiesen. Vor allem am Naryn, einem der Zuflüsse des Syr-Darya, dienen große Staumauern und Reservoirs der Gewinnung von Strom aus Wasserkraft (Abb. 3). Gleichzeitig haben diese wassertechnischen Einrichtungen aber auch die Aufgabe, die Wassermenge stromabwärts zu regulieren und besonders in trockenen Jahren für einen gleichmäßigen Durchfluss zu sorgen. Konflikte zwischen den Anrainerstaaten sind die Folge.

Aus Abb. 4 wird die Abhängigkeit der Unterliegerstaaten Usbekistan und Turkmenistan von den Wasserzuflüssen aus Tadschiki-

stan und Kirgisistan deutlich. Sie veranschaulicht auch, wie nahezu das gesamte Wasservorkommen aus den Einzugsgebieten des Syr-Darya und des Amu-Darya genutzt wird und den Aralsee letztendlich praktisch kein Wasser mehr erreicht.

Szenarien deuten darauf hin, dass sich die Lage durch klimatische Veränderungen in der Zukunft weiter verschärfen könnte. Bereits in den vergangenen Jahrzehnten war eine signifikante Temperaturerhöhung im Ferganatal und im gesamten Einzugsgebiet des Aralsees festzustellen. Es ist davon auszugehen, dass Extremereignisse – z.B. Trockenperioden oder Starkniederschläge – an Intensität und Häufigkeit zunehmen werden. Ein wahrscheinliches Szenario ist eine Verschiebung hin zu einem insgesamt trockeneren Klima (Dukhovny und de Schutter, 2011). Auch wenn mit diesen Projektionen noch Unsicherheiten verbunden sind, wird daraus doch einmal mehr deutlich, welche Dringlichkeit einer Neustrukturierung des Wassersektors und einem nachhaltigeren Umgang mit dieser knappen Georessource in Zentralasien zukommt.

Entwicklungspfade zu einem nachhaltigeren Wassermanagement

Wie in vielen anderen Regionen der Welt ist die Wasserkrise in Zentralasien eine Krise des Wassermanagements. Allein durch die mitunter eingeschränkte Verfügbarkeit von Wasser sind die großen Probleme nicht zu erklären. Vielmehr gilt die Lage in Gegenden wie dem Ferganatal als ein Beispiel dafür, wie politische Entscheidungen und gesellschaftliche Entwicklungen in der Vergangenheit zu bis in die Gegenwart fortdauernden „Pfadabhängigkeiten“ geführt haben. Die Wahl der sehr wasserintensiven Baumwolle als Hauptanbauprodukt, die daraus resultierende Vernachlässigung des Dienstleistungssektors und die ausbleibende Modernisierung der Wirtschaft, das weitverzweigte und



Abb. 3: Staumauer am Naryn (Kirgisistan) (Foto: A. Gafurov, GFZ)

Fig. 3: Dam at the Naryn River (Kyrgyzstan)

marode Bewässerungssystem, dessen Erhalt sichergestellt werden muss, dazu die starke Abhängigkeit der Oberliegerstaaten von der Wasserkraft als Energiequelle – all das hat ein System zementiert, das einen ineffizienten Umgang mit der Georessource Wasser, eine Degradation der Georessource Boden und eine Vielzahl von Konflikten nach sich zieht. Gesellschaftlich-politische Verhältnisse, die durch Korruption, strikte Zentralität und ein Demokratiedefizit geprägt sind, tragen zusätzlich zum Fortbestand eines sich selbst bedingenden Systems bei (Abb. 5). Ein Abweichen von solchen einmal eingeschlagenen „Pfad“ und die Gestaltung alternativer Entwicklungsoptionen ist schwierig und nur durch Kooperation auf allen gesellschaftlichen Ebenen und durch internationale Zusammenarbeit der betroffenen Staaten zu erreichen.

Ein Neuansatz, der an anderen „Wasser-Hot-Spots“ der Welt bereits Erfolge gezeigt hat, ist das Integrierte Wasserressourcen-Management (IWRM). Der Grundgedanke besteht dabei darin, den Einzugsgebieten von Flüssen als räumlicher Bezugseinheit wasserpolitischer Entscheidungen und strategischer Planungen eine größere Bedeutung einzuräumen als administrativen Gebietsabgrenzungen. Neben wirtschaftlichen Interessen berücksichtigt eine auf IWRM basierende Planung auch weitere Elemente nachhaltiger Entwicklung, insbesondere den Erhalt der natürlichen Ressourcen, gute Regierungsführung, dezentrale Strukturen, Ernährungssicherung, faire Preisgestaltung, effektive Verwaltungsstrukturen und viele mehr (Hüttl und Bens, 2012). Die Etablierung eines Dialogs zwischen allen mit dem Wassermanagement befassten Sektoren und Akteuren, zwischen Versorgern und Verbrauchern wird dazu notwendig sein. Angesichts des komplexen und teilweise verkrusteten Rechts- und Verwaltungssystems und einer Gesellschaft, die durch große soziale Ungleichheit geprägt ist, bedeutet dies z. B. in Usbekistan eine große Herausforderung (Black und King, 2009).

Die interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gesellschaft – Wasser – Technik“ will zu diesem Dialog einen wissenschaftlichen Beitrag leisten. Übergeordnetes Ziel der Arbeitsgruppe ist es, wissenschaftliche Politik- und Gesellschaftsberatung zu betreiben und Handlungsoptionen für eine technisch machbare, ökologisch fortschrittliche und gesellschaftlich faire Wassernutzung bereitzustellen. Das grundsätzliche methodische Vorgehen bei der

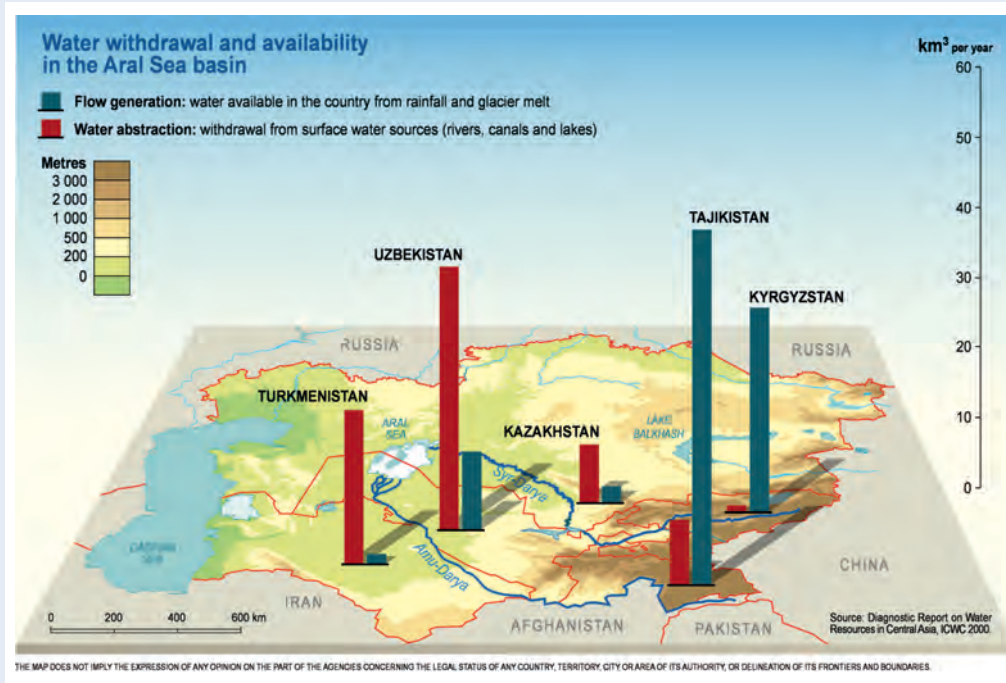


Abb. 4: Wasserdargebot und Wasserverbrauch im Einzugsgebiet des Aralsees¹

Fig. 4: Water withdrawal and availability in the Aral Sea basin¹

¹ Quelle: Philippe Rekacewicz, UNEP/GRID-Arendal; http://www.grida.no/graphicslib/detail/water-withdrawal-and-availability-in-aral-sea-basin_85d9

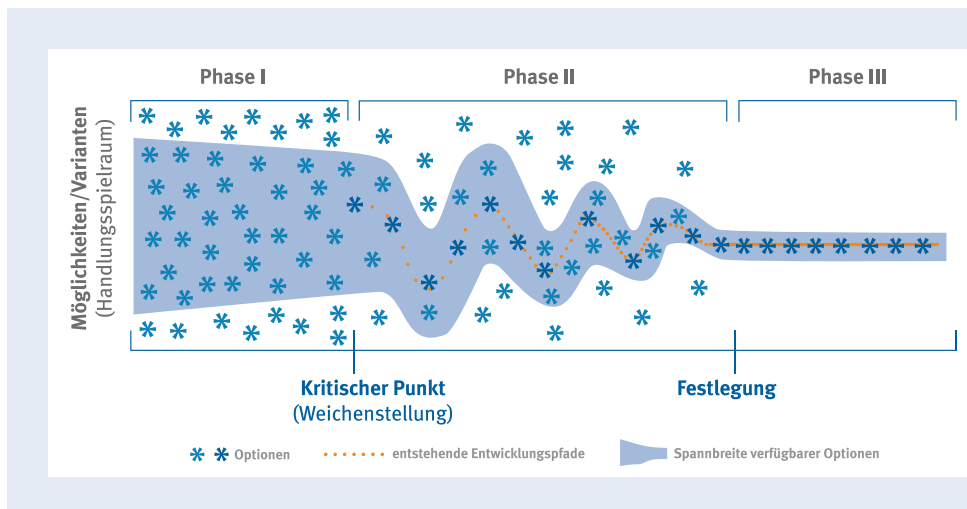


Abb. 5: Schematische Darstellung zur Entstehung von Entwicklungspfaden: Entscheidungen für bestimmte Optionen engen den späteren Handlungsspielraum ein²

Fig. 5: Schematic representation of the emergence of development paths: Decisions for particular options limit the future scope of action²

Beantwortung dieser Fragen besteht in einer Synthetisierung vorliegender Forschungsergebnisse und Publikationen, also in der Ergebniskompilation, -reflexion und -bewertung. Weitere Erkenntnisse werden durch den direkten Kontakt mit Schlüsselakteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik gewonnen. Fakten, Daten und Positionen der Stakeholder vor Ort werden durch die Projektgruppe aufgenommen, bewertet und schließlich unter übergreifenden Gesichtspunkten zusammengefasst.

Die Beiträge und Ergebnisse aus den Geowissenschaften finden dabei in besonderer Weise Berücksichtigung. So werden z.B. in Projekten wie dem am GFZ koordinierten „Regional Research Network Water in Central Asia“ (CAWa) bereits seit Jahren die Grundlagen für ein grenzüberschreitendes Wasserressourcenmanagement in Zentralasien auf der Basis modernster Verfahren und Erkenntnisse erarbeitet. Darauf werden die Empfehlungen der Akademie-Arbeitsgruppe aufbauen.

Darüber hinaus wird das Ziel verfolgt, mittels Schwerefeldsatellitenmissionen in Zukunft eine der entscheidenden Datenlücken im Ferganatal weiter zu schließen: Ein faktenbasiertes Wassermanagement wird dort durch den fehlenden Zugang zu Wasserbilanzdaten und durch die komplexe und von Grundwasserströmen geprägte hydrologische Situation erschwert. Schwerefeldsatelliten wie GRACE, die u. a. Variationen im kontinentalen Wasserkreislauf erfassen, tragen entscheidend zur Verbesserung dieser Situation bei (Flechtner und Förste, 2012, vgl. auch Beitrag von Farinotti et al. in diesem Heft). Als „interdisziplinäres“ Vorhaben im besten Sinn leistet die Arbeitsgruppe einen Beitrag dazu, solche natur- und geowissenschaftlichen Methoden mit Erkenntnissen der Sozial- und Gesellschaftswissenschaften zusammenzuführen. So können Mechanismen identifiziert werden, die für eine funktionale Kontinuität von wassertechnischen Großprojekten und ein nachhaltiges Management der Georessource Wasser grundlegend sind.

Literatur

- Black, M., King, J. (2009): Der Wasseratlas: ein Weltatlas zur wichtigsten Ressource des Lebens, Hamburg, 128 p.
- Cariou, A. (2004): Le jardin saccagé: Anciennes oasis et nouvelles campagnes d'Ouzbékistan. - *Annales de Géographie*, 113, 635, 51–73.
- Dukhovny, V. A., de Schutter, J. L. G. (Eds.) (2011): *Water in Central Asia – Past, Present, Future*, Boca Raton, 410 p.
- Eschment, B. (2011): *Wasserverteilung in Zentralasien: ein unlösbares Problem?*, Friedrich Ebert Stiftung, Berlin, 28 p., <http://library.fes.de/pdf-files/id/o8201.pdf>
- Flechtner, F., Förste, C. (2012): „Schwerkraft ist Klima“: Beobachtung von Massentransporten im System Erde mit GRACE und GRACE-FO. - *System Erde*, 2, 1, 12-15, 10.2312/GFZ.syserde.02.01.2.
- Hüttel, R. F. J., Bens, O. (Eds.) (2012): *Georessource Wasser - Herausforderung Globaler Wandel: Beiträge zu einer integrierten Wasserressourcenbewirtschaftung in Deutschland*, acatech STUDIE, Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 262 p.
- ICWC (1992): *Agreement between the Republic of Kazakhstan, the Kyrgyz Republic, the Republic of Tajikistan, Turkmenistan and the Republic of Uzbekistan on co-operation in interstate sources' water resources use and protection common management*.
- ICWC (2002): *II. Diagnostic Report on Water Resources in Central Asia*, 61 p., http://aoa.ew.eea.europa.eu/virtual-library-viewer/answer_0543207904
- Sydow, J., Schreyögg, G. (Eds.) (2009): *The Hidden Dynamics of Path Dependence: Institutions and Organizations*, Basingstoke, 304 p.

Weitere Informationen

<http://www.bbaw.de/forschung/gwt>

² Quelle: verändert nach Sydow und Schreyögg (2009), S. 8

Paläoklima, Umwelt und Klimawandel in Zentralasien

Jens Mingram, Stefan Lauterbach, Sushma Prasad, Gerd Helle, Birgit Plessen, Georg Schettler
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam

Central Asia holds a key position for understanding the interplay of geodynamic and climate processes. The region provides a natural laboratory to monitor environmental risks related to water excess and shortage, and high seismicity. Here we investigate natural climate archives (lake sediments, trees, speleothems), and develop regional monitoring systems as a key requirement for the palaeoclimatic interpretation of analytical data derived from these archives. As there is no modern analogue for the predicted future climate change investigating palaeo-records is particularly important to understand the natural recurrence frequency of disastrous events like floods, droughts, landslides and earthquakes and the full range of natural climatic variability. Results from lake sediment core analyses indicate that the regional climate was, in contrast to monsoonal Asia, characterized by a rather moderate drying trend since the mid-Holocene. We got similar results, plus details of interannual rainfall patterns, from speleothems for the last 5000 years. Tree-ring features of Central Asian long-lived tree species like juniper provide annually resolved information on past climate dynamics and adaption to recent global change. They can be likewise used for dating palaeoseismic events. Dust monitoring aims at a better understanding of the long-range transport of mineral aerosols across Eurasia in relation to seasonal changes in the hemispherical atmospheric circulation, and on the impact of aeolian dust on lake ecosystems and tree growth.



Zentralasien mit seinen bis über 7000 m aufragenden Gebirgen befindet sich an der klimatischen Schnittstelle zwischen dem Einfluss der Zonal Westerlies, des sibirisch-polaren Systems sowie der asiatischen Monsun-Klimadynamik. Damit ist es eine Schlüsselregion für das Verständnis der Kontinent-Atmosphären-Wechselbeziehung Eurasiens. In einem integrierten Ansatz aus Untersuchungen von Paläoklimaarchiven (Seesedimente, Baumringe, Speläotheme) und parallelem See-, Dendro-, Speläo- und Staubmonitoring sollen neben der regionalen Klimavariabilität auf unterschiedlichen Zeitskalen sowie anthropogenen Rückkopplungsprozessen auch Amplituden und Wiederholraten von klimatisch und tektonisch verursachten Extremereignissen (Dürren, Hochwasser, Erdbeben, Bergstürze) untersucht werden. Natürliche Klimaarchive eröffnen die Möglichkeit, weit über den zeitlichen Rahmen instrumenteller oder historischer Daten hinaus zu agieren und somit auch den natürlichen Hintergrund der Klimavariabilität zu verstehen. In einer klimatisch und ökologisch sensitiven Hochgebirgsregion wie Zentralasien, in der zudem gesellschaftliche Prosperität noch in hohem Maß von natürlichen Ressourcen abhängt, ist dieses Verständnis von besonderer Bedeutung, um die Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels auch auf regionaler Ebene abschätzen zu können.

Gibt es Änderungen in der isotopischen Signatur und damit der Herkunft feuchter Luftmassen? In welchem Maß sind auch scheinbar noch unberührte Seen bereits durch äolischen Eintrag von Nährstoffen und Schadstoffen belastet? Wie alt und wie stabil sind natürliche Bergsturzseen wie z.B. der Sary-Chelek? Wie reagieren Bäume auf den Klimawandel im Hochgebirge, und welche Arten passen sich besonders gut an? Wie sah die natürliche Vegetation Zentralasiens vor dem massiven Eingriff des Menschen aus, und gibt es noch Refugien? Wie weit schmolzen die Gletscher in früheren Warmphasen, und wie schnell kehrten sie zurück? Das alles sind Fragen, die lange Datenreihen erfordern und die das Deutsche GeoForschungs-Zentrum GFZ in Zusammenarbeit mit Partnern aus der Region in seinem Forschungsprogramm bearbeitet. Unsere Untersuchungen konzentrieren sich derzeit auf Kirgisistan (Abb. 1) und werden vom Zentralasiatischen Institut für Angewandte Geowissenschaften (ZAIAG) in Bischkek maßgeblich unterstützt.

*Links: Arbeitsplattform auf dem Sary-Chelek-See
(Foto: J. Mingram, GFZ)*

Left: Lake Sary-Chelek with working raft

See-Monitoring in Kirgisistan

Sedimentablagerungen aus Seen können eine Fülle an Daten zu Umwelt- und Klimaveränderungen liefern. Die zeitliche Auflösung reicht dabei von nur Stunden dauernden Ereignissen über Jahreszeiten bis hin zu lückenlosen Sedimentprofilen von zehntausenden und mehr Jahren. Die mit verschiedensten sedimentologischen, biologischen, chemischen und physikalischen Methoden gewonnenen Daten sind jedoch noch keine realen Klimadaten, sondern sogenannte Proxydaten, d. h. sie bilden reale Klimaparameter wie z. B. Lufttemperatur oder Jahresniederschlag indirekt und gefiltert ab. Zum Verständnis der in einem See ablaufenden sehr komplexen Prozesse – und letztendlich zur Rekonstruktion realer Klimadaten – können die aus Sedimenten gewonnenen Proxydaten an Instrumentendaten geeicht werden. Das kann entweder mit Hilfe einer größeren Anzahl von Seen aus unterschiedlichen Klimabereichen geschehen, oder über den Vergleich von Daten aus einem langen, saisonal aufgelösten Sedimentprofil eines Sees. Problematisch ist dabei, dass in aller Regel nur die üblichen meteorologischen Daten von Wetterstationen verfügbar sind und im Fall von Ländern wie Kirgisistan mit ausgedünnten Stationsnetzen die Daten zumeist auch nicht aus der Nähe der untersuchten Seen stammen. Abhilfe schafft hier nur ein eigenes, auf die Bedürfnisse der Seesedimentanalyse zugeschnittenes Monitoringprogramm. Langfristig angelegte Strukturen wie das Erdsystem-Observatorium Zentralasien des GFZ bilden die ideale Grundlage für ein solches Monitoring, das normalerweise den zeitlichen Rahmen von befristeten Projekten sprengt.

Im Sommer 2011 wurde eine erste Thermistorenkette zur Aufzeichnung der Wassertemperaturen im 3000 m hoch gelegenen Son-Kul ausgebracht. Wind, Wetter und Vandalismus können dabei das Seemonitoring immer wieder erschweren. Strömungen in den Tiefen eines Sees können Moorings (im Seeboden verankerte und mittels Auftriebskörpern im Wasser „stehende“ Seile mit daran befestigten Geräten) versetzen, ebenso driftendes Eis, das die Oberflächenbojen erfasst und mit ihnen das Mooring verschleppt oder zerstört. Neugierige Besucher wollen ein Souvenir mitnehmen, oder Angler entwenden eine Boje oder ein Stück Seil und vernichten damit die Daten eines Jahres und tausende Euro an Werten. Daher wurden besonders wertvolle und empfindliche Geräte für Eis und Besucher unerreichbar verankert. An der Seeoberfläche befindet sich keine Boje zum Auffinden und Bergen des Moorings, sondern das gesamte System hängt an einem sogenannten „Releaser“, der es erst nach Empfang eines codierten Schallimpulses an die Seeoberfläche zurückschickt.



Kontakt: J. Mingram
(jens.mingram@gfz-potsdam.de)



Abb. 1: Karte mit Paläoklima-Untersuchungsstandorten des GFZ in Kirgisistan

Fig. 1: Map with palaeoclimate investigation sites of GFZ in Kyrgyzstan

Das Monitoringprogramm konzentriert sich auf den Sary-Chelek und seine südlichen Nebenseen, da hier im Herbst 2013 die ersten rezenten jahreszeitlich geschichteten Sedimente (Warven) gewonnen werden konnten. Seit September 2013 stehen im Sary-Chelek zwei Moorings mit Temperaturloggern bei 200 m und 90 m Wassertiefe, eine automatische Sedimentfalle bei 90 m Wassertiefe (Abb. 2), und ein Mooring mit Leitfähigkeits- und Sauerstoffgehaltsloggern bei 200 m Wassertiefe. Im Aram-Köl, einem der Nebenseen des Sary-Chelek, hängt zudem eine einfache Zylinderfalle und ein weiteres Mooring mit Temperatur-, Leitfähigkeits- und Sauerstoffloggern. Seespiegeländerungen können über im Wasser angebrachte Drucksensoren erfasst werden. Zur Aufzeichnung von Wetterdaten wurde direkt am Seeufer eine kleine Wetterstation aufgebaut, die neben den Standardparametern Luftdruck, Lufttemperatur, Niederschlag (nur Regen), rel. Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und Windgeschwindigkeit auch die Globalstrahlung und die sogenannte photosynthetisch aktive Strahlung (engl. Photosynthetically Active Radiation, PAR) misst. Auf dem Gelände der Wetterstation wurden dazu noch zwei Passiv-Staubsammler aufgestellt, deren Proben monatlich gewonnen werden.

Neben den automatisch laufenden Langzeitmessungen, für die einmal jährlich zum Auslesen der Daten, Proben- und Batteriewechsel alle Moorings gehoben werden müssen, werden während jeder Feldsaison Profile diverser Wasserparameter an

verschiedenen Stellen des Sees mit Sonden gemessen (Abb. 3), eine Driftboje mit Datentransfer via Satellit gibt Auskunft über die Oberflächenströmungen des Sees, und mittels Unterwasserkamera werden Videoaufnahmen des Seebodens gemacht.



Abb. 2: Ausbringen einer automatischen Sedimentfalle (Technicap PPS 3/3) mit 0,125 m² Auffangöffnung auf dem Sary-Chelek (Foto: J. Mingram, GFZ)

Fig. 2: Deploying of an automatic sediment trap (Technicap PPS 3/3) with 0.125 m² collecting aperture at Lake Sary-Chelek

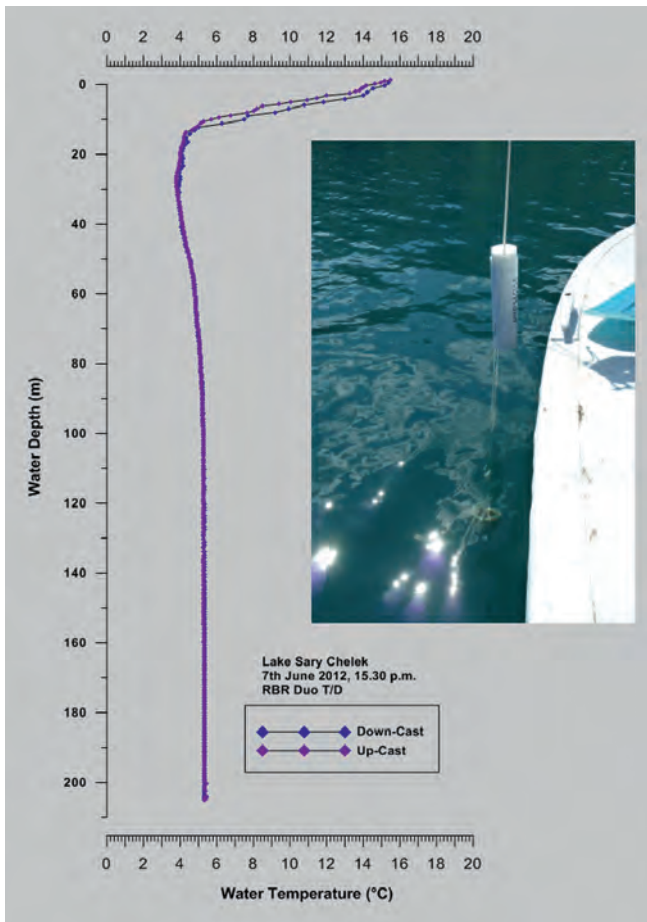


Abb. 3: Schnelle Sonde (RBR Duo T/D) zur Messung von Temperatur und Druck, und das erste vollständige Temperaturprofil des Sary-Chelek vom Juni 2012 (Foto: J. Mingram, GFZ)

Fig. 3: Fast-response probe (RBR Duo T/D) for measurement of temperature and pressure, and very first complete temperature profile of Lake Sary-Chelek obtained in June 2012

Staubmonitoring

Atmosphärische Staubeinträge stellen eine wesentliche Komponente in der Sedimentzusammensetzung zentralasiatischer Seen dar. Seit Sommer 2010 führt das GFZ kontinuierliche Messungen der Korngrößenzusammensetzung des Staubs und meteorologischer Parameter in einer hohen zeitlichen Auflösung mittels einer mobilen Messstation im nördlichen Vorgebirge des Tien Shan auf einer Höhe von 1740m durch (Abb.4). Die Daten werden täglich unter Nutzung des BEGAN-Satellitensystems an das GFZ übermittelt. Zusätzlich wird die Partikelfraktion $>2,5\mu\text{m}$ mit Hilfe eines „High-Volume-Impactors“ über Intervalle von drei Tagen zur anschließenden analytischen Bearbeitung gesammelt. Aus den gewonnenen Daten, der Berechnung von „Rückwärts-Trajektorien“ und optischen Satellitendaten werden

Zusammenhänge zwischen der Staubkonzentration, physikalischen, chemischen und isotopischen Staubparametern und der saisonalen Variabilität der atmosphärischen Zirkulation über Eurasien, bzw. zu den Quellgebieten des Staubs unter dem gegenwärtigen Klimaregime abgeleitet (Schettler et al., J. Asian Earth Sci., in review).

Am Nordrand des Tien Shan überlagern lokale tageszeitliche Variationen von Temperatur, Windrichtung und -stärke Variationen in der hemisphärischen Zirkulation. Besonders im Sommer herrscht lokal Wind aus nördlichen Richtungen vor, der sich im Lauf des Tages verstärkt, sich nachts abschwächt und vornehmlich hangabwärts aus südlichen Richtungen weht. An der Meßstation geht damit eine Verringerung der Staubkonzentration einher.

Die regionale Staubkonzentration wird durch Silt ($2\mu\text{m}$ bis $<63\mu\text{m}$) dominiert. Die Massekonzentration dieser Partikelfraktion übersteigt die feinerer Partikel um das nahezu Zehnfache. Über das Jahr zeigt die Korngrößenzusammensetzung der Siltfraktion typischerweise ein Maximum zwischen 2 und $4\mu\text{m}$ und ein Minimum bei $8\mu\text{m}$ (Abb. 5). Der Gehalt an löslichen Salzen in der dominanten Siltfraktion betrug für den Monitoringzeitraum Juli 2010 bis Oktober 2012 im Mittel 14% und variierte zwischen 1 und 47%. Dabei überstieg der Molanteil von Nitrat mit durchschnittlich 60% den von Sulfat (28%) und Chlorid (10%). Die hohen Nitrat- und Sulfatgehalte reflektieren eine extensive Wechselwirkung des karbonathaltigen Staubs mit Salpetersäure- und Schwefelsäureaerosolen in der Atmosphäre. Es kann zwischen primärem pedogenem Gips und sekundär gebildetem Calciumsulfat unterschieden werden. Saisonale hohe Nitrat- und erhebliche Gehalte an löslichem Phosphor und Eisen belegen einen signifikanten Einfluss des äolischen Nährstoffeintrags auf die aquatischen Ökosysteme Zentralasiens.



Abb. 4: Mobile Staubmonitoringstation bei Bishkek (Foto: G. Schettler, GFZ)

Fig. 4: Mobile dust monitoring station near Bishkek

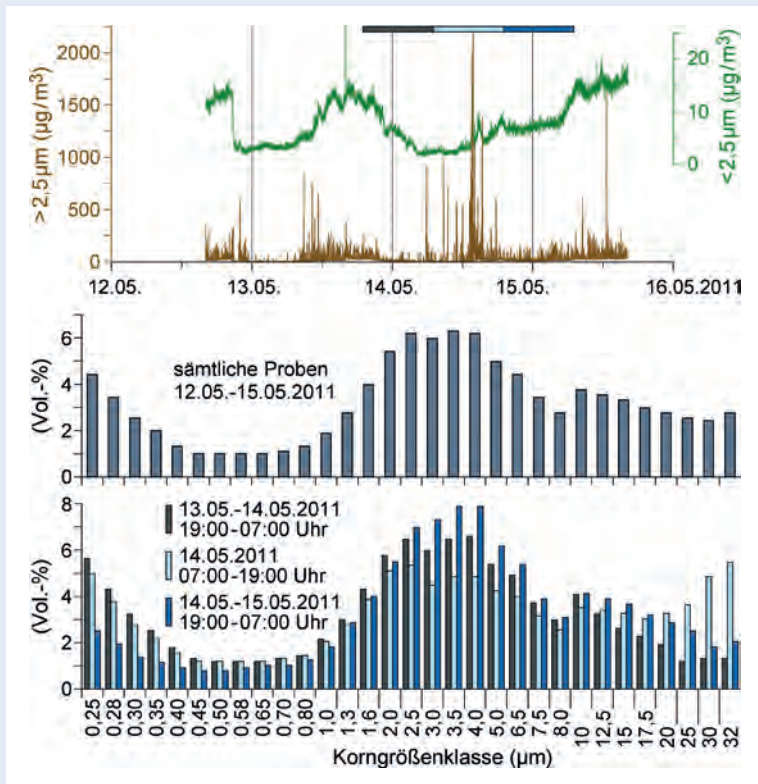


Abb. 5: Tageszeitliche Variationen in der Korngrößenzusammensetzung und der atmosphärischen Staubkonzentration für einen ausgewählten Zeitraum von drei Tagen im Mai 2011

Fig. 5: Diurnal variations in the atmospheric dust concentration and grain-size composition for a selected 3-days monitoring period in 2011

Eine weitere Charakteristik des Staubs stellt die erhebliche Anreicherung volatiler Spurenmetalle (Cd, Pb, Tl, Bi, Sn) gegenüber der mittleren Zusammensetzung der oberen Erdkruste dar (Tab. 1). Die Spurenelementanreicherung ist anthropogenen Ursprungs und reflektiert die Emission dieser Elemente während der Hochtemperaturverbrennung organischen Materials und während metallurgischer Prozesse.

Die Staubzusammensetzung und lokale meteorologische Daten werden mit der Herkunft der Luftmassen korreliert, die die Beobachtungstation erreichen. Zwischen dem 7. und 10. April 2011

verlagerte sich z.B. die Herkunft der Luftmassen und ihre Trajektorien südwärts (Abb. 6). Diese Veränderungen in der hemisphärischen Zirkulation korrelierten mit einer Verringerung der Luftfeuchte, einer Vergrößerung in der Korngrößenzusammensetzung, einer Zunahme im Gehalt an pedogenem Gips und Calciumkarbonat sowie einem verringerten Anteil an Partikeln von industriellen Emissionen. Eine Verringerung des Nitratgehalts wurde nicht festgestellt, weil die Luftmassen Lokalitäten mit hohen NO_x-Emissionen entlang des Persischen Golfs und entlang der urbanen Zentren in Usbekistan (Taschkent, Ferganabecken) passierten.

Tab. 1: Ausgewählte chemische Charakteristiken (Me/Al[Staub]/Me/Al[UCC]; UCC = Zusammensetzung der oberen kontinentalen Kruste (Upper continental crust composition) nach Rudnick und Gao (2003)) der mittels High-Volume-Impactor während eines Intervalls vom 12. bis 15. Mai 2011 gesammelten Staubfraktion (>2,5 µm)

Tab. 1: Selected chemical characteristics (Me/Al[Dust]/Me/Al[UCC]; UCC = Upper continental crust composition after Rudnick und Gao (2003)) of dust collected from 12th to 15th of May 2011 using an High-Volume Impactor

Cd/Al	Pb/Al	Zn/Al	Bi/Al	Sn/Al	Tl/Al	Ni/Al	Cu/Al	V/Al	Co/Al	Sc/Al
171	19,2	6,6	9,5	4,0	1,4	3,3	3,0	1,2	1,1	1,1

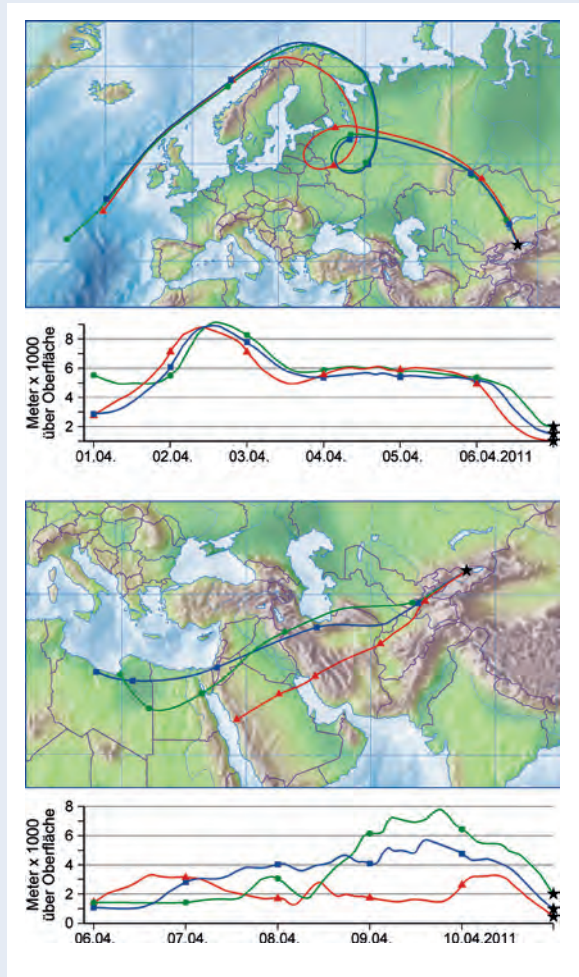


Abb. 6: Beispiel für die Herkunftsverlagerung und Trajektorien der Luftmassen, die Anfang April 2011 Kirgisistan erreichten; Berechnungen basierend auf dem Modell NOAA HYSPLIT (Draxler, R. R. und Hess, G. D., 1997), Job IDs: 385608 und 315661

Fig. 6: Example of backward trajectory calculations based on NOAA HYSPLIT model (Draxler, R. R. and Hess, G. D., 1997), Job IDs: 385608 and 315661 for two periods in April 2011

Paläoklimaforschung an Seesedimenten aus Kirgisistan

Als Teil der paläoklimatischen Forschungsaktivitäten in Zentralasien werden zurzeit im Rahmen des BMBF-geförderten Projekts „Central Asian Climate Dynamics“ (CADY) mehrere Seesedimentbohrkerne analysiert, die während der vergangenen beiden Jahre in Kooperation mit dem ZAIAG aus dem Son Kul, dem Chatyr Kul und dem Sary-Chelek gewonnen werden konnten. Zur Anwendung kommen dabei am GFZ vorrangig sedimentologisch-geochemische Analysemethoden (z. B. Mikrofaziesanalysen anhand von Großdünnschliffen, geochemische Untersuchungen mittels hochauflösendem μ XRF-Scanning, Messungen des organischen Kohlenstoffgehalts und der Verhältnisse stabiler Isotope ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) in den Sedimenten), die durch mikropaläontologische (TU Braunschweig und Senckenberg Forschungsstation für Quartärpaläontologie, Weimar) und biogeochemische Untersuchungen (Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena) ergänzt werden. Ziel dieser Arbeiten ist die möglichst umfassende Rekonstruktion der regionalen Klimaentwicklung während der letzten 10 000 Jahre.

Die Analyse eines Sedimentbohrkerns aus dem Son Kul in Zentralkirgisistan, der etwa den Zeitraum der letzten 6000 Jahre abdeckt, zeigt deutliche, teils zyklische Veränderungen verschiedener Proxyparameter, die höchstwahrscheinlich in direktem Zusammenhang mit Klimaveränderungen stehen. So lässt sich anhand der biogeochemischen Daten feststellen, dass die Klimaentwicklung im kirgisischen Tien Shan seit dem Mittelholozän durch einen nur relativ leichten Rückgang der Sommerniederschläge gekennzeichnet ist. Dies ist weitgehend konsistent mit anderen regionalen Paläoklimadatensätzen und steht vermutlich mit dem dominanten regionalen Einfluss der seit dem Mittelholozän verstärkten Westwindzirkulation in Zusammenhang. Interessanterweise zeigen die Analysen der Sedimente des Son Kul neben der graduellen Aridisierung bzw. Abnahme der Sommerniederschläge auch mehrere Phasen erhöhten Eintrags von Bodenmaterial aus dem Einzugsgebiet in den See. Der erhöhte terrestrische Eintrag tritt sowohl während feuchter als auch trockener Episoden auf und ist somit offenbar nicht an die

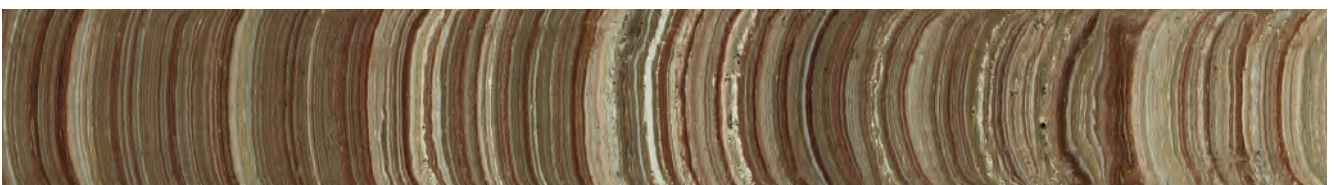


Abb. 7: Laminierte Seesedimente aus einem Sedimentbohrkern aus dem Chatyr Kul in Südkirgisistan. Der dargestellte Abschnitt zeigt den Bereich zwischen 5,10 und 5,50 m Kerntiefe. Eine ^{14}C -Datierung an einem Holzstück aus 5,28 m Kerntiefe ergab ein Alter von etwa 10 000 Jahren vor heute (Foto: GFZ).

Fig. 7: Laminated sediments from a sediment core from Lake Chatyr Kul in southern Kyrgyzstan. The displayed section shows the interval between 5.10 and 5.50 m core depth. Radiocarbon dating of a piece of wood from 5.28 m core depth yielded an age of about 10 000 years before present.

generelle Entwicklung der Sommerniederschläge, sondern an einen anderen Auslösemechanismus gekoppelt. Dabei handelt es sich vermutlich um verstärkte Schneeschmelzereignisse während periodisch auftretender Phasen erhöhter Winter-niederschlagsintensität. Dies deutet auf einen – zumindest phasenweise – auch während der Wintermonate starken Einfluss der Westwindzirkulation hin, obgleich die klimatischen Mechanismen hinter der beobachteten Periodizität noch unklar sind.

Die Sedimente eines 6,25 m langen Sedimentbohrkerns aus dem Chatyr Kul in Südkirgisistan sind bis auf die obersten 0,6 m durchgehend feinelaminiert (Abb. 7) und decken ersten Datierungen zufolge mindestens die letzten 10 000 Jahre ab. Aus diesem Grund stellen sie ein für diese Region bisher einzigartiges und vielversprechendes Klimaarchiv dar, das für detaillierte und zeitlich hochauflösende Vergleiche mit anderen regionalen Paläoklimadatenätzen genutzt werden kann.

Da der oberste Abschnitt dieses Sedimentbohrkerns aufgrund der fehlenden Lamination jedoch keinen direkten Vergleich mit Rezentdaten zulässt, musste weiter nach einem See mit rezenten Warven gesucht werden. Diese konnten im Herbst 2013 aus einem über 200 m tiefen Becken des Sary-Chelek erbohrt werden. Dort kann dann mittels des Seemonitorings auch eine Kalibrierung der erhobenen Proxydaten an realen Klimaparametern vorgenommen werden.

Aspekte dendrochronologischer Forschung im Tien Shan Zentralasiens

In Zentralasien sind in jüngster Zeit Forschungsansätze in den Fokus gerückt, welche lange Datenreihen aus Baumjarringanalysen nutzen, die über die instrumentelle Zeitperiode hinausgehen. Mit Hilfe dieser Dendrochronologie lassen sich Veränderungen von Stoffflüssen in Wasser- und Kohlenstoffkreislauf in Interaktion mit regionalen bis globalen Klimaveränderungen in einzigartiger Weise erforschen. Als Teil der terrestrischen Biosphäre befinden sich Bäume im menschlichen Lebensraum an der wichtigen Schnittstelle zwischen Boden und Atmosphäre, der sogenannten kritischen Zone. Im Holz der Baumjarringe werden Informationen über die Dynamik von Klima, Wasser- und Kohlenstoffkreislauf gespeichert, welche sich durch chemisch-physikalische Analysen entschlüsseln lassen. Die bis zu 2000 Jahre alten Baumbestände (Wacholder, Abb. 8) in den Hochlagen von Tien Shan und Pamir erlauben deshalb die jahrgenaue Analyse der Temperatur- und Niederschlagsvariabilität in dieser von Wassermangel gekennzeichneten Region. Durch statistische Kalibrierungs- und Verifizierungsverfahren mittels instrumenteller Daten des 20. Jahrhunderts können Zeitreihen von Jahrringparametern helfen, die lokalen bis regionalen Auswirkungen des globalen Wandels in Zentralasien abzuschätzen und so hydroklimatische Prognosemodelle zu verbessern. Zudem haben Studien gezeigt, dass die Jahrringanalyse geeignet ist, die Intensität und Häufigkeit von Erdbeben, Hangrutschungen oder Steinschlag in der Region zu rekonstruieren.



Abb. 8: Achthundert-jährige Wacholderbäume (*Juniperus turcestanica*) eines Baumgrenzstandorts im Tien Shan (rund 3500 m ü. NN) (Foto: G. Helle, GFZ)

Fig. 8: 800-year old juniper trees (*Juniperus turcestanica*) at a timberline site of the Tien Shan (ca. 3500 m asl)

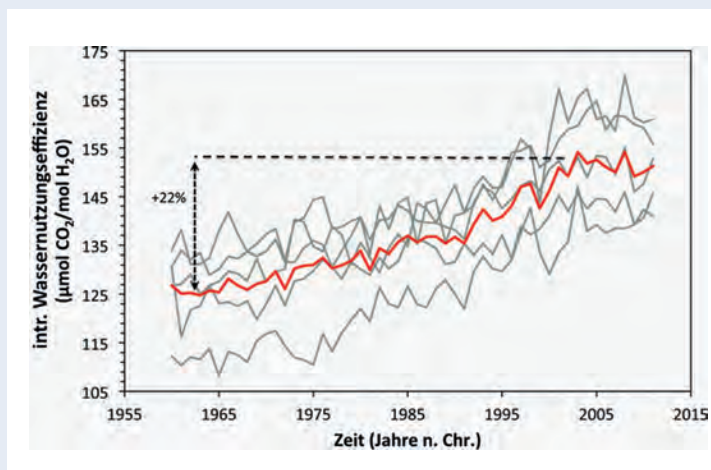


Abb. 9: Verlauf der intrinsischen Wassernutzungseffizienz von fünf Wacholderbäumen des Standorts Sary-Chelek (nach Jivcov, 2013). Zwischen 1960 und 2002 ist ein mittlerer Anstieg von etwa 22 % zu beobachten. Seit 2002 stagniert die intrinsische Wassernutzungseffizienz der untersuchten Bäume aus dem Tien Shan, oder ist sogar leicht rückläufig.

Fig. 9: Trends in the intrinsic water-use efficiency of five juniper trees from Sary-Chelek (after Jivcov, 2013). On average, the intrinsic water-use efficiency has increased by 22 % during the period from 1960 to 2002. Since 2002 the intrinsic water-use efficiency of junipers from Tien Shan is stagnating or slightly declining.

Hier soll ein Aspekt aktueller Forschungen des GFZ vorgestellt werden, der sich mit der Untersuchung des Einflusses der seit 150 Jahren steigenden atmosphärischen CO_2 -Konzentrationen und der zunehmenden Erwärmung bzw. Trockenheit auf bedeutende zentralasiatische Baumarten befasst. In Zentralasien sind Holzwirtschaft, Walnuss- und Pinienkernproduktion von großer ökonomischer Bedeutung. Es gilt das Anpassungspotential der Bäume in der Region abzuschätzen und mögliche Handlungsempfehlungen für den zukünftigen Anbau zu entwickeln.

Für jedes Kilogramm Kohlenstoff, das durch die Photosynthese von Bäumen aufgenommen wird, werden mehr als 100 kg Wasserdampf durch die Transpiration der Blätter oder Nadeln in die Atmosphäre abgegeben. „Free-air-“ und Laborexperimente haben gezeigt, dass Pflanzen auf erhöhte CO_2 -Konzentrationen kurzfristig reagieren, indem sie den Gasaustausch durch Verringerung der Apertur der Spaltöffnungen ihrer Blätter und Nadeln reduzieren. Dies ermöglicht es ihnen, unter gegebenen klimatischen Bedingungen den Wasserverlust im Vergleich zur Kohlenstoffassimilation einzuschränken, d.h. ihre Wassernutzungseffizienz (water-use efficiency, WUE) zu erhöhen. Denn je höher die WUE ist, umso eher ist ein Baum in der Lage, trockene Perioden ohne Einschränkung der Assimilation, d. h. ohne große Wachstumseinbrüche zu überstehen. Leider ist im Detail nur wenig darüber bekannt, wie sich bestimmte Baumarten langfristig an den Klimawandel und die etwa 35%ige Erhöhung der atmosphärischen CO_2 -Konzentration seit etwa AD 1850 angepasst haben. Langzeittrends der WUE können somit einerseits einen Beitrag zur Frage von Anpassungsreaktionen der Bäume an den Klimawandel leisten, andererseits lassen sich, gemeinsam mit anderen Informationen, aus WUE-Trends Rückschlüsse auf den Einfluss der Wasserdampftranspiration auf das Klima ziehen. Denn Wasserdampf ist möglicherweise das wichtigste Klimagas (IPCC; 2013). Eine Erhöhung der WUE

infolge der gestiegenen CO_2 -Konzentrationen der Atmosphäre kann einhergehen mit einer reduzierten Wasserdampfabgabe durch die Transpiration, da die Bäume aufgrund des verbesserten CO_2 -Angebots die Spaltöffnungen ihrer Blätter oder Nadeln vermehrt schließen und ihre Transpiration einschränken können. Ferner stellt sich die Frage, ob die Bäume auch im Hinblick auf den Holzzuwachs von einer möglichen Erhöhung der WUE profitieren. Deshalb ist es wichtig, Langzeittrends der Wassernutzungseffizienz zu untersuchen und mit den Wachstumstrends zu vergleichen. Mit Hilfe eines neuartigen physikalischen Verfahrens, der Jahrringisotopenanalyse, ist es möglich die langfristigen Veränderungen in der Wassernutzungseffizienz wichtiger Baumarten der Region zu bestimmen und mit ihren Wachstumstrends zu vergleichen. Zu diesem Zweck wurden Wacholderbäume im UNESCO-Biosphärenreservat Sary-Chelek ($41^{\circ}52'49''\text{N}$, $71^{\circ}59'31''\text{E}$, 2095 m NN) im Nord-Westen Kirgisistans beprobt und ein Zeitfenster von 52 Jahren (1960 bis 2011) analysiert. Die mit Hilfe der $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisse in Jahrringen berechnete Wassernutzungseffizienz wird als intrinsische Wassernutzungseffizienz (WUEi) bezeichnet und kann unmittelbar zu den Jahrringbreiten der untersuchten Bäume in Beziehung gesetzt werden. Bei unseren Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die WUEi während der betrachteten Jahre 1960 bis 2011 um rund 22 % angestiegen ist, aber seit Beginn der 2000er-Jahre stagniert (Abb. 9). Interessanterweise spiegelt sich dieser positive Langzeittrend nicht im Wachstum der Wacholder wider. Die Analyse der Jahrringbreiten zeigte keine Trendänderung im jährlichen Zuwachs. Offensichtlich hat der langfristige Anstieg der atmosphärischen CO_2 -Konzentration zu einer Verbesserung der Kohlenstoffassimilation, d.h. Photosynthese, geführt, welche allerdings nicht in einer Zunahme der Holzbiomasseakkumulation zum Ausdruck kommt. Weitergehende Untersuchungen sind in Planung, um diese Diskrepanz aufzuklären.



Abb. 10: Untersuchungsgebiet am Südostrand des Ferganabeckens mit Blick auf den Pamir-Alai: Frühjahr mit klarer Luft und grüner Vegetation (links) und Herbst mit hoher Staubbelastung und verdorrter Vegetationsdecke (rechts) (Fotos: B. Plessen, GFZ).

Fig. 10: Study region on the SE-Border of the Fergana Basin with view to the Pamir-Alai: spring with clear air and green vegetation (left) and autumn with high dust pollution and dried up vegetation cover (right).

Paläoklimaforschung an Speläothemen aus Kirgisistan

Speläotheme (Stalagmiten, Stalagtiten und Kalksinter) bilden exzellente terrestrische Archive für paläoklimatologische und hydrologische Untersuchungen (Cheng et al., 2012). Sie entstehen in Kalksteinmassiven, die unter dem Einfluss von Niederschlag und CO₂ verkarsten. Das Niederschlagswasser nimmt CO₂ aus der Atmosphäre und dem Boden auf und bildet aggressives Hydrogenkarbonat, das zur Lösung von Kalziumkarbonat führt. Das gelöste Kalziumhydrogenkarbonat sickert durch das Gestein und kann dann in Hohlräumen durch Entgasung des CO₂ lagenweise ausgeschieden werden. So entstehen laminierte Speläotheme, die eine Vielzahl umweltabhängiger Informationen enthalten. In Kirgisistan gibt es in devonischen und karbonischen Kalksteinmassiven gut kartierte Höhlen, die ein großes Potential für paläoklimatische Studien enthalten. Insbesondere die Region um Osh am Südostrand des Ferganabeckens und am Fuß des Alay und Pamir ist von kirgisischen Höhlenforschern wie S. D. Dudashvili und W. N. Michajlow gut dokumentiert. Die Region um das Ferganabecken ist hochempfindlich für Klimagefährdungen wie Überschwemmungen und Dürren und daraus resultierender politischer Konflikte. Änderungen der interannuellen Niederschlagsmuster Zentralasiens haben einen direkten Einfluss auf die Wasserressourcen.

In Zusammenarbeit mit S. Breitenbach (ETH Zürich) und Chr. Wolff (Universität Potsdam) starteten wir im Oktober 2011 unter der Leitung von A. Dudashvili (ZAIAG) die erste von bisher

drei Expeditionen, um geeignete Höhlen zu erkunden und um ein umfangreiches Monitoring zur Aufnahme von Temperatur, Feuchtigkeit, Tropf- und Regenwasser und rezemtem Kalzitwachstum zu installieren.

Speläotheme können sehr genau mit der auf dem radioaktiven Zerfall von Uran basierenden ²³⁰Th/²³⁴U-Methode datiert werden. In reinen Karbonaten wird aufgrund des unterschiedlichen geochemischen Verhaltens von Thorium und Uran nur das lösliche Uran eingebaut, nicht aber Thorium. Das Mutterisotop Uran zerfällt über die Zeit zu Thorium; so können über die massenspektrometrische Messung der Gehalte die Entstehungsalter auf über 500 000 Jahre zurück kalkuliert werden. Die Altersbestimmungen unserer Proben werden vom Team um H. Cheng an der Universität Minnesota durchgeführt. Ein erster präzise datierter Stalagmit aus der durch Bergbau aufgeschlossenen Uluu-Too-Höhle im Süden des Ferganabeckens enthält eine hochaufgelöste Klimageschichte der letzten 5000 Jahre, während andere Proben aus derselben Höhle noch weit älter sind.

Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Untersuchungen an natürlichen Klimaarchiven bilden die Basis, zusammen mit den umfassenden Daten aus dem Limno-, Dendro-, Speläo- und Staubmonitoring, um ein präzises Bild der Klima- und Umweltveränderungen der Region zu rekonstruieren und regionale Klimamodellierungen zu verbessern. So können verlässlichere

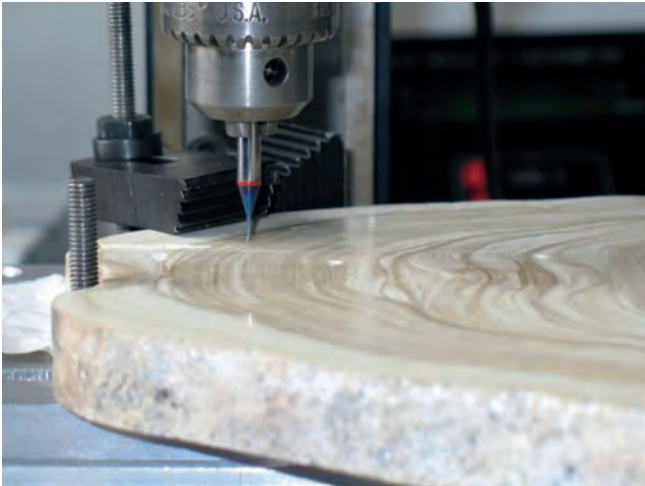


Abb. 11: Vertikalbohrer zur hochauflösenden Beprobung ($<100 \mu\text{m}$) von Speläothemen für die Messung der stabilen Isotopenverhältnisse des Kohlen- und Sauerstoffs (links), Karbonatauflösungseinheit KIEL IV und Isotopenverhältnis-Massenspektrometer MAT 253 (rechts) (Fotos: B. Plessen, GFZ)

Fig. 11: Vertical miller for high resolution sampling ($<100 \mu\text{m}$) of speleothems for stable isotope measurements of carbon and oxygen (left), Carbonate dissolution unit KIEL IV and isotope ratio mass spectrometer MAT 253 (right)

Aussagen über die zukünftige Klimaentwicklung, vor allem im Hinblick auf den vom Menschen induzierten Klimawandel, getroffen werden. Zukünftig sollen neben Kirgisistan auch andere Länder der Region wie Kasachstan, Tadschikistan und China in unsere Forschungen einbezogen werden. So ist neben dem bereits bestehenden „Kirgisisch-Deutschen Labor für Dendrochronologie und Waldökologie“ in Bischkek ein zentralasiatisches dendrochronologisches Netzwerk geplant.

Zitierte und weiterführende Literatur

- Brauer, A., Mingram, J. (2011): Warvierte Seeablagerungen: ein hochgenaueres natürliches Klima- und Umweltarchiv der Kontinente - In: Hüttl, R. F. J. (Ed.), Ein Planet voller Überraschungen: neue Einblicke in das System Erde, Heidelberg, 234-239.
- Cheng, H., Zhang, P. Z., Spötl, C., Edwards, R. L., Cai, Y. J., Zhang, D. Z., Sang, W. C., Tan, M., An, Z. S. (2012): The climatic cyclicity in semiarid central Asia over the past 500,000 years. - *Geophysical Research Letters*, 39, 1, L01705, 10.1029/2011GL050202.
- Draxler, R. R., Hess, G. D. (1997): Description of the HYSPLIT_4 modeling system, (NOAA technical memorandum/National Oceanic and Atmospheric Administration: ERL, Environmental Research Laboratories: ARL, Air Resources Laboratory; 224), Silver Spring, 24 p.
- Esper, J., Shiyatov, S. G., Mazepa, V. S., Wilson, R. J. S., Graybill, D. A., Funkhouser, G. (2003): Temperature-sensitive Tien Shan tree-ring chronologies show multi-centennial growth trends. - *Climate Dynamics*, 21, 7-8, 699-706, 10.1007/s00382-003-0356-y.
- Jivcov, S. (2013): Dendroklimatische Analysen von *Juniperus seravschanica* aus Kirgistan, Diplomarbeit, Universität Bonn.
- Oberhänsli, H., Novotná, K., Pířková, A., Chabrilat, S., Nourgaliev, D. K., Kurbaniyazov, A. K., Grygar, T. (2011): Variability in precipitation, temperature and river runoff in W Central Asia during the past ~2,000 years. - *Global and Planetary Change*, 76, 1-2, 95-104, 10.1016/j.gloplacha.2010.12.008.
- Rudnick, R. L., Gao, S. (2004): Composition of the continental crust. - In: Rudnick, R. L. (Ed.), *Treatise on Geochemistry: Volume 3, The Crust*, Amsterdam, 1-64.
- Seibt U, Rajabi, A., Griffiths, H., Berry, J. A. (2008): Carbon isotopes and water use efficiency - sense and sensitivity. - *Oecologia*, 155, 3, 441-454, 10.1007/s00442-007-0932-7.
- Shnitnikov, A. V. (1980): *Ozera Tjan-Shanja i ikh istoriya = Seen des Tien-Shan und ihre Geschichte*, Leningrad, 323 p. (Russ.)

Netzwerk

Forschen in Zentralasien

Interviews mit vier Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern

Für diese Ausgabe von „System Erde. GFZ-Journal“ hat Dr. habil. Stefano Parolai, Leiter des „Zentrums für Frühwarnung“ am GFZ und Koordinator des Erdsystem-Observatoriums Zentralasien, mit vier Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern des GFZ über ihre Forschungsarbeiten und speziellen Erfahrungen in dieser Region gesprochen.

❖❖❖ Hydrologische Modellierung

Stefano Parolai (SP): Was ist das wichtigste wissenschaftliche Ziel Ihres Projekts? Welche Methoden verwenden Sie, um dieses zu erreichen?

Doris Düthmann (DD): Der Karadarya-Fluss im südlichen Kirgisistan ist ein wichtiger Zufluss im Einzugsgebiet des Aralsees. Um den Wasserhaushalt besser zu verstehen, arbeite ich an der hydrologischen Modellierung dieses Gebietes. Ziel ist es, besser einschätzen zu können, welche Abflussanteile aus Regen, Schneeschmelze oder Gletscherschmelze stammen. In Kombination mit Klimaszenarien können wir etwas

darüber lernen, wie sich das hydrologische Regime der Region – also der typische Jahresverlauf des Abflusses – möglicherweise in Zukunft ändern wird.

SP: Worin liegt die Besonderheit, diese Art von Untersuchung in Zentralasien durchzuführen?

DD: In großen Teilen von Zentralasien sind die Niederschläge sehr niedrig, so dass die Wasserversorgung dieser Gebiete von den niederschlagsreicheren Gebirgsregionen abhängig ist. Wasser ist hier bereits heute eine knappe Ressource mit hoher ökonomischer Bedeutung, insbesondere wird es als Bewässerungswasser in der Landwirtschaft und zur Energiegewinnung aus Wasserkraft benötigt. Ein großer Teil des Abflusses wird aus Schnee- und Gletscherschmelze gespeist. Mit dem Klimawandel sind daher deutliche Änderungen zu erwarten, sowohl im Hinblick auf eine zeitliche Verschiebung der Monate mit den höchsten Abflüssen als auch in Bezug auf das Gesamtabflussvolumen. Da es bisher noch vergleichsweise wenige wissenschaftliche Studien zu diesem Thema gibt, ist dies eine wichtige Forschungsfrage.

SP: Wie empfinden Sie die Zusammenarbeit mit den Partnern vor Ort?

DD: Wir kooperieren mit dem ZAIAG (Zentralasiatisches Institut für angewandte Geowissenschaften), den nationalen hydrometeorologischen Diensten und weiteren Partnern. Die Partner sind in verschiedenen Bereichen mit dabei: sowohl bei Feldarbeiten und Probennahme als auch in der Modellierung, z. B. um verschiedene hydrologische Modelle zu vergleichen.

SP: Was sind die zukünftigen Herausforderungen, die an Ihre Forschung in dieser Region gestellt werden?

DD: Unsere Erfahrungen aus den Einzugsgebieten, die nach Westen zum Aralsee



Doris Düthmann hat an der Technischen Universität Braunschweig Geoökologie studiert und ihr Studium mit einer Diplomarbeit zur hydrologischen Modellierung am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) abgeschlossen. Die Modellierung von Wasser- und Stoffhaushalt standen auch während ihrer Tätigkeit bei der Umweltberatungsgesellschaft ADAS (Wolverhampton, Großbritannien) im Mittelpunkt. Seit 2009 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin am GFZ und forscht innerhalb der Projekte CAWa und SuMaRiO zur hydrologischen Modellierung von durch Schnee- und Gletscherschmelze dominierten Einzugsgebieten im Tien Shan. Sie promoviert an der Universität Potsdam und wird von Dr. Andreas Güntner betreut.

Kontakt:

doris.duethmann@gfz-potsdam.de

entwässern, wollen wir jetzt auch auf benachbarte Gebiete im Tarimbecken, das sich östlich des Tien Shan in China befindet, übertragen. Die Abflussdaten des Hauptzuflusses zum Tarim zeigen über die letzten Jahrzehnte eine Abflusszunahme. Wir möchten besser verstehen, inwieweit dies zum einen auf eine Zunahme der Niederschläge, insbesondere im chinesischen Teil des Einzugsgebietes, und zum anderen auf höhere Gletscherschmelzraten aufgrund höherer Temperaturen zurückzuführen ist.



Kontakt:

Zentrum für Frühwarnung
Dr. habil. Stefano Parolai
stefano.parolai@gfz-potsdam.de



▼
Doris Dühmann zusammen mit Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Kirgisischen Hydrometeorologischen Dienstes an der meteorologischen Station Uzgen (Foto: GFZ)

Forscher unterschiedlicher Fachrichtungen bereits kennengelernt habe und sie gegebenenfalls ansprechen kann.

SP: Was sind die zukünftigen Herausforderungen, die an Ihre Forschung in dieser Region gestellt werden?

WK: Die Frage nach der Orogenese des Pamirplateaus bleibt auch in Zukunft eine herausfordernde und spannende Forschungsaufgabe. Mit den MT-Daten, die im Juli/August 2013 gemessen wurden, kann ein grobes Modell der Untergrundstruktur des südlichen Pamirs und der Darvaz-Verwerfung erstellt werden. Dabei gehen wir speziell der Frage nach, ob es möglich ist, dass es ein Fließen der unteren Erdkruste (crustal flow) in dieser Region gibt. Eine erhöhte Leitfähigkeit in dieser Region würde diese Theorie unterstützen. Dies ist nur ein kleiner Aspekt der zugrundeliegenden Fragestellung.

❖ Magnetotellurik

SP: Was ist das wichtigste wissenschaftliche Ziel Ihres Projekts? Welche Methoden verwenden Sie, um dieses zu erreichen?

Walja Korolevski (WK): Hauptziel des Projekts ist die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit des Darvaz-Störungssystems und des Südpamirs, um die Struktur der Erdkruste und des oberen Erdmantels zu erkennen und somit eine Grundlage zum Verständnis der tektonischen Prozesse im Pamirhochplateau zu schaffen.

Angewandte Untersuchungsmethode ist Magnetotellurik, bei der die Komponenten der elektrischen und magnetischen Felder als Zeitreihen an der Erdoberfläche der Erde aufgezeichnet werden, woraus die elektrische Leitfähigkeit des Untergrunds abgeleitet werden kann. Aus der Leitfähigkeit selbst und in Kombination mit anderen Geoverfahren lassen sich generelle Aussagen über Struktur und Prozesse im Untergrund gewinnen.

SP: Wie empfinden Sie die Zusammenarbeit mit den Partnern vor Ort?

WK: Die Zusammenarbeit mit den lokalen Partnern war sehr gut und für uns essentiell. Wir arbeiteten mit dem Forschungszentrum der Russischen Akademie der Wissenschaften (RS-RAS International Research Center of the Russian Academy of Sciences) in Bischkek, Kirgisistan, zusammen, das alle Aufgaben der Feldlogistik übernommen hat. Es ging dabei nicht nur darum, unsere Ausrüstung – es handelt sich hier um rund drei Tonnen Material – in dem außerordentlich an-

spruchsvollen Gelände an ihre Bestimmungsorte zu bringen, sondern auch die wie immer komplizierte Zollbestimmungen sowie die vielen Sicherheitsbestimmungen in Tadschikistan zu erfüllen. Mit der Beschaffung aller erforderlichen Papiere und mit Vermittlung eines ortskundigen einheimischen Geologen hat uns außerdem das Institut für Geologie in Duschanbe sehr geholfen.

SP: Ermöglicht Ihnen Ihre Aktivität im Rahmen des Erdsystem-Observatoriums Ihre wissenschaftliche Sichtweise zu erweitern?

WK: Ja, bei den Treffen des TIPAGE-Projektes konnte ich mein geologisches Hintergrundwissen über die Region erweitern sowie Ergebnisse anderer Forschungsgruppen (Seismik, Computermodellierung) kennenlernen. Nach der Auswertung der Daten, wenn es darum geht, sie zu interpretieren und in einen Gesamtzusammenhang zu stellen, hoffe ich auf einen Austausch mit anderen Teilnehmern. Es freut mich, dass ich Forscherinnen und



Frau **Walja Korolevski** hat ihr Studium an der Freien Universität Berlin im Jahr 2009 mit einem Diplom in Physik abgeschlossen. Seit Juli 2012 ist sie dort Doktorandin und wird von Dr. habil. Oliver Ritter, GFZ-Sektion „Geophysikalische Tiefensonndierung“, betreut.

Kontakt:
walja.korolevski@gfz-potsdam.de



▼
Walja Korolevski bei magnetotellurischen Messungen im Gunt-Tal in der Nähe der tadschikischen Stadt Khorog im Pamir (Foto: M. Schüler, GFZ)

Seismische Gefährdungseinschätzung

SP: Was ist das wichtigste wissenschaftliche Ziel Ihres Projekts? Welche Methoden verwenden Sie, um dieses zu erreichen?

Shahid Ullah (SU): Das wichtigste wissenschaftliche Ziel meines Projekts ist eine hochaufgelöste Abschätzung der lokalen Erdbebengefährdung unter Berücksichtigung der Effekte, die zu einer lokalen Veränderung, insbesondere zu einer Verstärkung der Bodenerschütterung führen können. Dies soll zur besseren Beurteilung der Erdbebengefährdung beitragen und auch die entsprechenden Behörden vor Ort in Lage versetzen, zeitnah die richtigen Entscheidungen treffen zu können. Hierzu verwenden wir Daten aus von uns selbst installierten semi-permanenten seismischen Netzwerken und Messungen des seismischen Rauschens, d. h. alle natürlichen und anthropogenen Erschütterungen.

SP: Worin liegt die Besonderheit, diese Art von Untersuchung in Zentralasien durchzuführen?

SU: Zentralasien ist eines der Gebiete mit der höchsten seismischen Aktivität



▼
Nawruz (zentralasiatisches Neujahrsfest) in Duschanbe, Tadschikistan (Foto: GFZ)

weltweit. Darüber hinaus hält der Zuzug in die Städte an, wodurch die Bevölkerung in diesen Agglomerationen stark ansteigt, mit allen damit einhergehenden Risiken. Wir können unsere Methoden nutzen, bestehende Theorien zu überprüfen; wir entwickeln auch neue Methoden, um das seismische Risiko zu verringern.

SP: Wie wichtig ist die Ausstattung (Instrumente, permanente Infrastruktur in Zentralasien etc.) des GFZ für Ihre Forschung?

SU: Wir nutzen für unsere Messungen den Instrumentenpool des GFZ, der über eine Vielzahl an seismischen Instrumenten verfügt, die sowohl permanent wie auch temporär für Messungen verwendet wer-

den können. Wir haben seismische Netzwerke mit Instrumenten, die über mehrere Monate Daten aufzeichneten, schon in mehreren Städten in Zentralasien installiert. Dank der am GFZ in ausreichenden Mengen vorhandenen seismischen Instrumente konnte das gewünschte städtische Gebiet ausreichend abgedeckt werden. Weiterhin haben Kollegen in Zentralasien ein permanentes, seismisches Beobachtungsnetzwerk mit Stationen in allen zentralasiatischen Ländern installiert. Das Netzwerk ist über Satelliten verknüpft, und wir haben in Echtzeit einen direkten Zugriff auf die Daten.

SP: Können Sie ein besonderes Ereignis benennen, das Ihre Arbeitserfahrungen in Zentralasien zu etwas ganz Besonderem gemacht hat?

SU: Zentralasien ist durch eine unglaublich große Vielfalt gekennzeichnet. Im März 2012 war ich für die Installation eines seismischen Netzwerks in der tadschikischen Hauptstadt Duschanbe. Zusammen mit anderen Kollegen haben wir seismische Stationen in privaten und öffentlichen Gebäuden installiert. Die Gastfreundschaft der Leute war unglaublich; alle waren sehr hilfsbereit, obwohl die Verständigung manchmal schwer fiel. Ich nahm ebenfalls an den Nawruz (zentralasiatisches Neujahr)-Feierlichkeiten teil. Es war eine fabelhafte Erfahrung, das Zusammenspiel unterschiedlicher Traditionen und Kulturen auf sich wirken zu lassen.

Shahid Ullah hat seinen Bachelor-Abschluss in Bauingenieurwesen im Jahr 2007 an der University of Engineering and Technology (UET) in Peshawar, Pakistan erworben. Im Jahr 2010 machte er seinen Master-Abschluss in Erdbebeningenieurwesen und Ingenieurseismologie an der Universität Pavia und dem Institute for Advanced Study of Pavia (IUSS) in Italien. In seiner Master-Arbeit beschäftigte er sich mit der Analyse von Standorteffekten unter Anwendung von GIT (Generalized Inversion Technique) unter Leitung von Prof. Dr. Apostolos Papageorgiou, Patras, Griechenland. Er promoviert an der Technischen Universität Berlin und arbeitet seit April 2011 als Doktorand unter der Leitung von Dr. habil. Stefano Parolai am GFZ. Im Rahmen des EMCA-Projekts beschäftigt er sich mit der Analyse von Standorteffekten und der seismischen Gefährdungseinschätzung in Zentralasien.
Kontakt: shahid.ullah@gfz-potsdam.de



Paläoklimaforschung

SP: Was ist das wichtigste wissenschaftliche Ziel Ihres Projekts? Welche Methoden verwenden Sie, um dieses zu erreichen?

Stefan Lauterbach (SL): Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts Central Asian Climate Dynamics (CADY) beschäftige ich mich, zusammen mit Kolleginnen und Kollegen aus der Sektion „Klimadynamik und Landschaftsentwicklung“, mit der sedimentologischen und geochemischen Analyse von Sedimentbohrkernen aus zwei Seen in Kirgisistan, dem Son-Kul und dem Chatyr-Kul. Das Ziel dieser Untersuchungen, die durch mikropaläontologische und biogeochemische Analysen von Kolleginnen und Kollegen aus Braunschweig, Weimar und Jena ergänzt werden, ist die möglichst umfassende Rekonstruktion klimatischer Veränderungen in Zentralasien während der letzten 10 000 Jahre. Unsere Arbeit zielt vor allem darauf ab, die natürliche Klimaentwicklung und -variabilität in Zentralasien in der Vergangenheit besser zu verstehen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu genutzt werden, regionale Klimamodellierungen zu verbessern, um verlässlichere Aussagen über die Klimaentwicklung in der Zukunft, vor allem im Hinblick auf den vom Menschen induzierten Klimawandel machen zu können.

SP: Ermöglicht Ihnen Ihre Aktivität im Rahmen des Erdsystem-Observatoriums Zentralasien Ihre wissenschaftliche Sichtweise zu erweitern?

SL: Der Ansatz des Erdsystem-Observatoriums, verschiedene Aspekte der geowissenschaftlichen Forschung in Zentralasien in einen gemeinsamen Rahmen zu fassen, ist begrüßenswert. Man findet bei der Vielseitigkeit der aktuell in Zentralasien laufenden Forschungsprojekte immer wieder interessante Anknüpfungspunkte zur eigenen Arbeit. Meiner Meinung nach bedarf es aber eines relativ langen Zeitraums, um echte Synergieeffekte und wissenschaftliche Kooperationen unterschiedlicher geowis-



Dr. Stefan Lauterbach hat sein Studium an der Universität Potsdam im Jahr 2006 mit einem Diplom in Geologie abgeschlossen. Zwischen 2006 und 2011 beschäftigte er sich im Rahmen seiner Promotion am GFZ mit der Rekonstruktion spätquartärer Klima- und Umweltveränderungen in Mitteleuropa anhand sedimentologischer und geochemischer Untersuchungen von Sedimentkernen aus drei Seen in Polen, Österreich und Italien. Seit 2011 ist er PostDoc in der GFZ-Sektion „Klimadynamik und Landschaftsentwicklung“ und beschäftigt sich im Rahmen des Projekts Central Asian Climate Dynamics (CADY) mit der Rekonstruktion holozäner Klimaveränderungen in Zentralasien mittels sedimentologisch-geochemischer Untersuchungen an Seesedimenten aus dem Son-Kul und Chatyr-Kul. **Kontakt: stefan.lauterbach@gfz-potsdam.de**

senschaftlicher Themenfelder entstehen zu lassen. Dies ist im Rahmen von meist kurzfristigen Projekten mit befristet angestellten Wissenschaftlern oft nicht in dem Maße möglich, wie es wünschenswert wäre. Dabei besteht von meinem Standpunkt aus gesehen großes Potenzial, paläoklimatische Arbeiten und die Untersuchung rezenter hydrologischer Veränderungen noch besser zu verknüpfen oder ursprünglich für paläoklimatische Untersuchungen genutzte Archive mit Arbeiten zu rezenten Naturgefahren (z.B. Erdbeben und Hangrutsche) zu verbinden, um die Auftretenshäufigkeit solcher Ereignisse über längere Zeiträume zu untersuchen.

SP: Wie wichtig ist die Ausstattung (Instrumente, permanente Infrastruktur in Zentralasien etc.) des GFZ für Ihre Forschung?

SL: Ohne die Infrastruktur des GFZ und unseres Partnerinstituts ZAIAG wäre unsere Arbeit unmöglich. Dazu zählen neben der Ausrüstung für die Geländekampagnen (Bohrplattform, Bohrgeräte, etc.) und den Großgeräten (Röntgenfluoreszenz-Scanner, Massenspektrometer, etc.) die wir hier in Potsdam für die geochemische Analyse der Sedimente nutzen auch das Präparationslabor für die Sedimentdünnstufungen und die Mikroskope – und natürlich die Menschen, die diese Technik betreiben.

SP: Können Sie ein besonderes Ereignis benennen, das Ihre Arbeitserfahrungen in Zentralasien zu etwas ganz Besonderem gemacht hat?

SL: Ein Erlebnis während einer Geländekampagne im Sommer 2012 ist mir in besonderer Erinnerung geblieben. Wir befanden uns zu zweit mit einer Kollegin vom ZAIAG und einem Fahrer in einem Jeep auf

dem Weg von Bischkek nach Aral in Zentralkirgisistan. Da wir Bischkek erst am frühen Nachmittag verlassen konnten, fuhren wir in die Nacht hinein, es regnete in Strömen und obwohl das Ziel bekannt war, war noch nicht klar, ob und wo wir eine Unterkunft für die Nacht finden würden. Als wir dann gegen Mitternacht nach langem Suchen in Aral vor einem Haus am Ortsrand ankamen, wurde uns trotz beengter Platzverhältnisse eine bequeme Unterkunft und ein Abendessen angeboten. Ich denke, diese Episode verdeutlicht gut die große Gastfreundschaft in Kirgisistan – ich denke, es ist nicht selbstverständlich, wildfremden Menschen mitten in der Nacht eine Unterkunft im eigenen Haus und auch noch etwas zu Essen anzubieten.



Feldkampagne im Juni 2012 auf dem Ak-Köl-See in Zentralkirgisistan. Stefan Lauterbach arbeitet mit einem Kurzkerngerät, mit dem Sedimentkerne aus dem Seeboden gezogen werden (Foto: J. Mingram, GFZ).



Das Zentralasiatische Institut für Angewandte Geowissenschaften

Zentralasien, d. h. die Länder Afghanistan, Kasachstan, Kirgisistan, Tadschikistan, Turkmenistan und Usbekistan sowie Teile von China stellen ein ideales natürliches Laboratorium dar, um den Einfluss des Klimawandels und die gesellschaftlichen Auswirkungen von Naturgefahren zu untersuchen. Eine exakte Risikobewertung natürlicher und anthropogen induzierter Ereignisse ist von großer Bedeutung, da sie nicht nur für die betroffenen Länder erhebliche Konsequenzen nach sich ziehen, sondern auch die zwischenstaatlichen Beziehungen und damit einhergehende mögliche politische Instabilitäten beeinflussen.

Bereits in den 1990er-Jahren entwickelte das GFZ gemeinsam mit dem kirgisischen Katastrophenschutzministerium daher die Idee, ein gemeinsames geowissenschaftliches Forschungsinstitut in Zentralasien aufzubauen. Auf Grundlage eines gemeinsam erarbeiteten Konzepts des kirgisischen Kata-

strophenschutzministeriums, des GFZ und des Zentrums für internationalen Entwicklungs- und Umweltforschung ZEU an der Universität Gießen kam es am 29. Oktober 2002 zum Abschluss einer Kooperationsvereinbarung zwischen der kirgisischen Regierung und dem GFZ. Im November 2003 wurde die Satzung des „Zentralasiatischen Instituts für Angewandte Geowissenschaften“ (ZAIAG) unterzeichnet und das Institut im Mai 2004 in Bischkek gegründet. Es finanziert sich im Wesentlichen aus Zuschüssen des kirgisischen Staats und aus den Projektförderungen, die aus Deutschland, aber auch von Instituten wie der World Bank, der Asian Development Bank sowie der EU kommen. Das GFZ hat ein Serviceabkommen mit dem ZAIAG für die Bereitstellung von Infrastruktur und Dienstleistungen in Kirgisistan und Zentralasien, die insbesondere auch für die Arbeiten im Erdsystem-Observatorium Zentralasien des GFZ genutzt werden.

Im zehnten Jahr nach Gründung des ZAIAG fanden am 16. September 2013 dessen Gremiensitzungen (Aufsichtsrat und Gründerversammlung) am GFZ statt. Die Mitglieder, darunter die kirgisische Finanzministerin Olga Lavrova und der Minister für Katastrophenschutz, Kubatbek Boronov, hoben die erfolgreiche Entwicklung des Instituts und die gemeinsamen Forschungsergebnisse hervor.

Aufgaben des ZAIAG

Die Forschung des ZAIAG ist eng mit den Lebensbedingungen der Menschen in Zentralasien verknüpft. Sie ist damit für die zukünftige Entwicklung dieser Region von grundlegender Bedeutung. Seit Bestehen des ZAIAG hat das GFZ eine Reihe wissenschaftlicher Aktivitäten in der Region initiiert und umgesetzt: Dazu gehören u. a. Forschungsarbeiten zum Wasserkreislauf und Wasserressourcenmanagement sowie zum Monitoring und zur Bewertung von Naturkatastrophen (Multi Hazard Approach). Die Aktivitäten



Links: Erste Sitzung der Gründerversammlung des ZAIAG am 21. August 2006 im Krisenzentrum für Naturkatastrophen des kirgisischen Ministeriums für Notstandssituationen (Foto: M. Kupzig, GFZ)

Unten: Sitz des ZAIAG in Bischkek, Kirgisistan (Foto: M. Kupzig, GFZ)





Teilnehmer der 6. Aufsichtsratssitzung des ZAIAG am GFZ (16. September 2013); vordere Reihe: links: Dr. Stefan Schwatze, Administrativer Vorstand des GFZ, vierter von links: Prof. Reinhard Hüttl, Wissenschaftlicher Vorstand des GFZ, rechts daneben: Olga Lavrova, kirgisische Finanzministerin und Kubatbek Boronov, kirgisischer Minister für Katastrophenschutz; hintere Reihe: fünfter von links: ZAIAG-Kodirektor Dr. Bolot Moldobekov (Foto: E. Gantz, GFZ)

werden durch die Installation strategischer Infrastruktur in der Region und der damit einhergehenden Ausbildung von Experten, im Sinn eines nachhaltigen Capacity Developments begleitet. Beispiele sind das regionale HyMet-Netzwerk, das Central-Asian Real-Time Earthquake Monitoring Network (CAREMON) sowie die Installation eines Strong-Motion-Netzwerks in strategischen Gebäuden der Hauptstadt Bischkek. Exemplarisch ist die Gründung eines wissenschaftlichen Konsortiums zur Erdbebenrisikominimierung (COSERICA) in dem elf zentralasiatische Partner kooperieren. Ziel ist es, das seismische Risiko in der Region zu minimieren. Die Kooperation wurde sowohl von Kirgisistan als auch von anderen zentralasiatischen Staaten unterstützt, in denen das ZAIAG präsent ist. ZAIAG ist darüber hinaus das regionale Koordinationszentrum für das vom GFZ federführend betreute Projekt Earthquake Model Central Asia (EMCA) im Rahmen der Global Earthquake Model-Initiative, GEM (vgl. Beitrag von Pittore et al. in diesem Heft). Auch im Rahmen des Forschungsnetzwerks „Water in Central Asia“

(CAWA; <http://www.cawa-project.net>) kommt dem ZAIAG eine zentrale Rolle zu. Diese von der deutschen Bundesregierung angeregte Initiative, die vom GFZ koordiniert wird, hat zum Ziel, über ein gemeinsames Wassermanagement einen politischen Annäherungsprozess in Gang zu setzen. Mit solchen grenzüberschreitenden Projekten nimmt das ZAIAG eine strategische Position für die gesamte zentralasiatische Region ein.

Von großer Bedeutung für die Bearbeitung der o.g. Forschungsfelder ist eine umfassende Forschungsinfrastruktur. So ist der Betrieb und die langfristige Erhaltung von seismischen, geodätischen, geoelektrischen und hydro-meteorologischen Sensornetzwerken in ganz Zentralasien und die Integration dieser Netzwerke in globale Systeme, Voraussetzung für die Erhebung verlässlicher und langer Datensätze. Die Daten und Produkte stehen in einem Geodaten-Informationssystem frei zur Verfügung. Zusätzlich wurde die Expertise zur Einbeziehung von Satellitendaten für die flächendeckenden Umweltüberwachung verstärkt. ZAIAG entwi-

ckelt sich darüber hinaus zu einem zentralasiatischen Zentrum zur Abschätzung von seismischen Standorteinflüssen. Erst kürzlich wurden dazu dem ZAIAG 50 Strong-Motion-Stationen übergeben, die in verschiedenen Bauwerken in Bischkek installiert werden und die Grundlage für ein Erdbeben-Frühwarnsystem für die kirgisische Hauptstadt darstellen können. Die Geräte werden gemeinsam mit dem GFZ im Rahmen seines Frühwarnsystems betrieben (vgl. Beitrag von Boxberger et al. in diesem Heft).

Zentrales Anliegen des ZAIAG ist darüber hinaus die Initiierung eines nachhaltigen Capacity Buildings (vgl. auch folgender Beitrag zur Aus- und Weiterbildung). Die intensive Zusammenarbeit mit den lokalen Universitäten soll eine langfristig gesicherte Aus- und Weiterbildung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in der Region gewährleisten. Insbesondere die Geowissenschaften mit ihrem auf Nachhaltigkeit bedachten gesellschaftlichen Auftrag können hier einen entscheidenden Beitrag leisten.

Die Forschungsergebnisse des ZAIAG fließen direkt in die Beratung von Politik und Gesellschaft ein. So profitieren insbesondere geotechnische Projekte im öffentlichen Sektor, wie Wasserkraftwerke, Dämme, Verkehrsinfrastrukturen oder erdbebensichere Gebäude mit strategischer Bedeutung (z. B. Krankenhäuser, Schulen) unmittelbar von den Forschungsergebnissen. ■

Weitere Informationen:

ZAIAG-Website (englisch):

<http://www.caiag.kg/en>

Deutscher ZAIAG-Ko-Direktor:

Dr. Jörn Lauterjung

E-Mail: joern.lauterjung@gfz-potsdam.de

Wissenstransfer: Beiträge des GFZ zur Aus- und Weiterbildung von Fachleuten in Zentralasien

Naturgefahren und Risikoanalysen, Klima- und hydrologischer Wandel sowie der Aufbau und Betrieb von permanenten und temporären Messnetzwerken zur Erdbeobachtung sind Schwerpunktthemen des GFZ-Erdsystem-Observatoriums Zentralasien. Die Forschungsarbeiten werden über meist grenzüberschreitend implementierte Drittmittelprojekte gefördert. Ziel ist es, die zugrundeliegenden komplexen Prozesse zu verstehen und die Auswirkungen von Georisiken und globalem Wandel durch Vorsorge- und Adaptionmaßnahmen zu minimieren. Das GFZ kooperiert dafür eng mit einer Reihe zentralasiatischer Partnerinstitutionen. Zur nachhaltigen Stärkung dieser langfristig angelegten Kooperationen beinhalten die gemeinsamen Forschungsprojekte meist eine Ausbildungs- und Trainingskomponente. Neben Seminaren, Workshops und Trainingskursen tragen auch Gastaufenthalte zentralasiatischer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie eine Reihe von gemeinsam mit zentralasiatischen Partnern betreute Promotionsverfahren zu einem

nachhaltigen Transfer von Know-how in die Region bei.

Trainingskurse zu Seismologie und Erdbebengefährdung in Zentralasien

Zentralasien mit den Ländern Turkmenistan, Usbekistan, Kirgisistan, Tadschikistan, Kasachstan und Afghanistan ist in besonderem Maß durch verschiedene Georisiken, insbesondere Erdbeben gefährdet (vgl. Beiträge von Boxberger et al. und Pittore et al. in diesem Heft). Zu diesem Thema bietet das GFZ jährlich Trainingskurse an, die vom Auswärtigen Amt gefördert werden und zu denen jedes Jahr auch Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Zentralasien eingeladen werden. Die fünfwöchigen Intensivkurse vermitteln sowohl eine theoretische Grundausbildung als auch praktisches Training auf dem Gebiet der Seismologie und der seismischen Gefährdungseinschätzung. Diese Kurse finden alle zwei Jahre als Regionalkurs im Ausland statt – so auch bereits als Regionalkurs für Zentralasien am ZAIAG in Bischkek. Das Ziel der Trainingskurse ist die Verbesserung der Gefährdungs-

einschätzung und der Risikobewertung von Erdbeben durch eine Vertiefung des Wissens über die seismologischen und seismischen Analysemethoden.

Aufbauend auf den Erfahrungen aus dem Trainingskurs 2006 und der Installation einer seismischen Station in Kabul in 2004 begann eine Serie von Projekten zur grenzüberschreitenden Seismologie und der Erfassung von Standorteffekten in den Städten Zentralasiens. So wurden neben der GEOFON-Station in Kabul (internationale Kennung KBU) im Rahmen des CAREMON-Projekts ein grenzüberschreitendes, seismologisches Netzwerk (internationale Kennung CK) mit seismischen Breitbandstationen in Turkmenistan, Usbekistan, Kirgisistan, Kasachstan und Tadschikistan aufgebaut und mit Untersuchungen von Standorteffekten in Bischkek und Almaty begonnen. Begleitende Trainingsmaßnahmen der Projekte CAREMON und EMCA (Earthquake Model Central Asia) wurden sowohl am ZAIAG als auch im Trainings- und Ausbildungszentrum „GeoLab“ am GFZ in Potsdam durchgeführt.



Eröffnung des Seminars „Regional Cross-Border Early Warning Systems for GeoRisks in Central Asia“, 5. November 2012 (Foto: GFZ)

Als Maßnahme für eine verbesserte Zusammenarbeit verschiedener Akteure und Institutionen aus Zentralasien am dem Gebiet der Katastrophenvorsorge und als Einführung in moderne Analyseverfahren der Gefährdungs- und Risikoabschätzung wurde 2012 in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) ein Seminar für Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Zentralasien am GFZ durchgeführt. 20 Expertinnen und Experten aus sechs Ländern (Kasachstan, Turkmenistan, Tadschikistan, Kirgisistan, Usbekistan und Afghanistan) wurden zu dem Seminar nach Deutschland eingeladen.

Trainingskurse zur Stärkung der Wasserforschung in Zentralasien

Vor dem Hintergrund der bestehenden Probleme und Konflikte im Wassermanagement in Zentralasien (vgl. Beitrag von Hoehstetter et al. in diesem Heft) will das vom Auswärtigen Amt als Teil der Deutschen Wasserinitiative für Zentralasien (sogenannter „Berliner Prozess“) geförderte und am GFZ koordinierte CAWa-Projekt (www.cawa-project.net) wissenschaftliche Beiträge zu Fragen des Klima- und hydrologischen Wandels leisten (vgl. u.a. Beitrag von Farinotti et al. in diesem Heft). Mit dem Aufbau eines regionalen hydrometeorologischen Messnetzwerks (vgl. Schöne et al., „System Erde. GFZ-Journal“ (2012) Heft 1, S. 84-89) soll zudem die Grundlage für die grenzüberschreitende Transparenz von Daten zum Wasserhaushalt geschaffen werden – eine unerlässliche Voraussetzung für eine effiziente Wasser- und Landnutzungsplanung aber auch für Frühwarnsysteme im Bereich Naturgefahren. Eine wesentliche Projektkomponente ist der Aus- und Weiterbildung von zentralasiatischen Fachleuten aus Forschungsinstitutionen, Universitäten, den staatlichen Hydrometeorologi-

schen Diensten und anderen Wassermanagementorganisationen gewidmet. In den ersten beiden Projektphasen 2009 bis 2013 wurden bisher mehr als 190 Fachleute aus allen zentralasiatischen Staaten und Afghanistan in einer Reihe von jeweils 5-tägigen Trainingskursen geschult, deren Themen von Geoinformationssystemen und Fernerkundungsmethoden über hydrometeorologische Meßsysteme hin zur Abschätzung von Auswirkungen des Klimawandels reichen. Als besonders erfolgreich hat sich dabei der Einsatz von zentralasiatischen Nachwuchswissenschaftlern als Ko-Trainer erwiesen, die das methodische Wissen in Russisch – immer noch die



In anwendungsbezogenen GIS-Kursen im GeoLab des GFZ lernen Fachleute zentralasiatischer Forschungseinrichtungen und staatlicher Dienste, wie sie Geoinformationssysteme für ihre täglichen Aufgaben nutzen können (Fotos: GFZ).



Links: Auch praktische Übungen gehören dazu: Auf dem Dach eines GFZ-Gebäudes üben afghanische Wissenschaftler den Aufbau einer VSAT-Anlage; diese wird von den CAWa-Stationen zur Übertragung der Messdaten genutzt. Rechts: Neben Vorlesungen und Übungen wurde in den Arbeitsgruppen Diskussionsrunden angeboten (Fotos: GFZ).



Lingua franca in der Region – an ihre Kollegen weitergeben und gleichzeitig eine wichtige Vorbild- und Vermittlerfunktion über alle kulturellen und ethnischen Unterschiede der Teilnehmerinnen und Teilnehmer hinweg erfüllen. ■

Kontakt:

Dr. Claus Milkereit, GFZ-Sektion
„Erdbeben- und Vulkanphysik“
E-Mail: claus.milkereit@gfz-potsdam.de

Katy Unger-Shayesteh, GFZ-Sektion
„Hydrologie“, CAWa-Projekt Koordinatorin
E-Mail:
katy.unger-shayesteh@gfz-potsdam.de

SWARM – Satellitentrio zur Erforschung des Erdmagnetfelds

Am 22. November 2013 wurden die SWARM-Satelliten mit einer russischen Rockot-Rakete vom Kosmodrom Plesetsk in die Erdumlaufbahn gebracht. Bereits anderthalb Stunden nach dem Start konnte über die Bodenstationen Kiruna (Schweden) und Longyearbyen/Spitzbergen (Norwegen) Funkkontakt mit ihnen aufgenommen werden.

SWARM ist eine Mission der Europäischen Raumfahrtagentur ESA im Rahmen ihres „Living Planet“-Programms. Der Satellitenschwarm – daher der Name – soll für mindestens vier Jahre aus dem All das Erdmagnetfeld mit bisher unerreichter Präzision vermessen. Das Magnetfeld der Erde ist unser Schutzschild vor der kosmischen Teilchenstrahlung. Es unterliegt aber natürlichen Schwankungen, sei es aus dem Erdinneren, sei es durch Ausbrüche auf der Sonne. Seine Funktion besser zu erforschen und das Weltraumwetter genauer zu erfassen, ermöglicht uns Rückschlüsse für das Leben auf unserem Planeten.

Die drei baugleichen SWARM-Satelliten sind direkte Weiterentwicklungen aus der CHAMP-Mission des GFZ, die im Jahr 2000 gestartet wurde. CHAMP mit seinen Nachfolgern GRACE und SWARM erweist sich so als Gründervater einer ganzen Generation von Satelliten und weltraumgestützten Messverfahren.

Die drei Satelliten fliegen in optimierter Formation: zwei Satelliten (SWARM-A, SWARM-B) fliegen in 450km Höhe mit 150km Abstand nebeneinander her, der dritte (SWARM-C) steigt auf 530km Höhe in eine höhere Umlaufbahn. Der Grund für diesen komplizierten Formationsflug liegt im Magnetfeld selbst: dieses wird erzeugt durch die Strömung elektrisch leitenden, flüssigen Eisens im äußeren Erdkern, 2900km unter unseren Füßen. Es wird durch die Leitfähigkeit und die Dynamik des darüber liegenden Erdmantels (bis rund 40km unter der Erdoberfläche) beeinflusst. Schließlich tragen noch die magnetisierten Gesteine der Erdkruste zum Erdmagnetfeld bei. Hinzu kommt, dass auch die Sonne und Ströme im erdnahen Weltraum von außen das Erdmagnetfeld beeinflussen. Will man diese einzelnen Bestandteile untersuchen, muss dafür das vom Satelliten gemessene Gesamtsignal des Magnetfelds in die einzelnen Bestandteile aufgetrennt werden. Das tiefer fliegende SWARM-Paar kann durch seinen Abstand von 150km mit einem Stereo-Blick auf das Magnetfeld der Erdkruste schauen. So kann dieser Bestandteil mit sehr hoher Genauigkeit analysiert werden. Der dritte, obere SWARM-Satellit kann wiederum die nach oben hin abnehmende Stärke des Magnetfelds genauer bestimmen, zudem fliegt dieser Satellit in einem über

die Zeit immer stärker zunehmenden Winkel zur Bahn des unteren Paares.

Quasi als Nebeneffekt ergibt sich die Möglichkeit, das Weltraumwetter genauer zu beobachten. Darunter versteht man durch Ausbrüche unserer Sonne, aber auch entfernter Sterne erzeugte magnetische Stürme, die Infrastrukturen unserer technischen Zivilisation stören oder gar lahmlegen können. So erzeugte z.B. ein starker Sonnensturm im Jahr 1989 einen Zusammenbruch der Stromversorgung in Kanada.

Die Rolle des GFZ in der SWARM-Mission

Die Erforschung des Erdmagnetfelds gehört zum Arbeitsprogramm des GFZ seit seiner Gründung. Zudem hat das GFZ durch seine eigenen Satellitenmissionen, insbesondere CHAMP und GRACE, Erfahrung mit Missionen dieser Art. Daher wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) das internationale SWARM-Projektbüro am GFZ angesiedelt. Dieses Büro dient als Koordinierungsstelle und bildet eine wichtige Schnittstelle zur Nutzung der SWARM-Daten und -Datenprodukte. Es koordiniert in der Mission die deutschen Förderprogramme und die ESA-Ausschreibungen zu diesem Forschungsfeld.

Zudem beteiligen sich GFZ-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter mit Erfahrung aus



SWARM-Satelliten im All (Abb.: ESA/AOES Medialab)



Der Start des Satellitentrios SWARM konnte am GFZ per Fernübertragung von der Europäischen Raumfahrtagentur ESA in Darmstadt live mitverfolgt werden (Foto: B. Prokhorov, GFZ).

den vorangegangenen Satellitenmissionen am europäischen SCARF-Konsortium für die Erzeugung hochwertiger Datenprodukte. SCARF steht dabei für Satellite Constellation Application and Research Facility.

Die drei SWARM-Satelliten kosten zusammen rund 220 Mio. Euro, jeder einzelne wiegt 500 kg. Sie fliegen anfangs parallel auf einer Nord-Süd-Bahn mit etwa 88° Inklination. SWARM-C wird danach langsam mit 30° pro Jahr umgelenkt und fliegt dann in einem zunehmenden Winkel zur Umlaufbahn von SWARM-A und -B.

Prof. Hermann Lühr vom GFZ ist dabei einer der drei Principle Investigators der Mission, Mitglied in der SWARM Mission Advisory Group und Leiter des SWARM-Projektbüros am GFZ. ■

Weitere Informationen:

Leiter des SWARM-Projektbüros am GFZ: Prof. Hermann Lühr, Sektion „Erdmagnetfeld“

E-Mail:

hermann.luehr@gfz-potsdam.de

Website des SWARM-Projektbüros:

<http://www.swarm-projektbuero.de>

Satellit GOCE verglüht

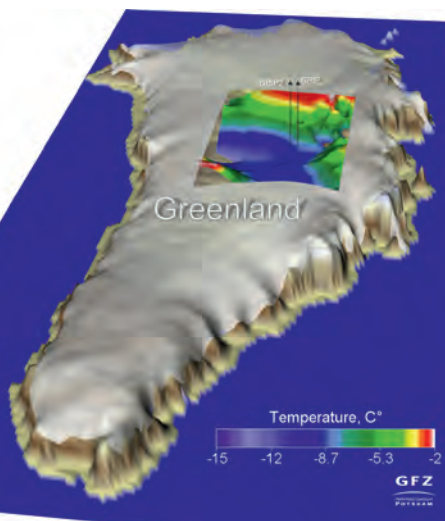


Der ESA-Erderkundungssatellit „GOCE“ ist nach viereinhalbjährigem Aufenthalt im erdnahen Orbit am 11. November 2013 über dem Südatlantik in die Atmosphäre eingetreten und verglüht. Er war mehr als doppelt so lange unterwegs wie ursprünglich geplant. GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) hat das Erdschwerefeld und die Meeresströmungen mit bis dato unerreichter Genauigkeit vermessen. Das GFZ ist Mitglied in der GOCE High Level Processing Facility der ESA, die GOCE-Daten gingen in die neueste „Potsdamer Schwerekartoffel“ des GFZ ein. Auch nach dem Verglühen des GOCE-Satelliten wird die Auswertung und Interpretation der damit gesammelten Daten fortgeführt. ■

GFZ-Schwerefeldmodelle:

<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM>

Grönlands Eis schmilzt – auch von unten



Der grönländische Eisschild wird durch einen hohen Wärmefluss aus dem Erdmantel in die Lithosphäre von unten angeschmolzen. Dieser Einfluss variiert räumlich sehr stark und hat seine Ursache in einer außergewöhnlich dünnen Lithosphäre. Daraus folgt ein erhöhter Wärmefluss aus dem Erdmantel und ein komplexes Wechselspiel zwischen dieser geothermischen Heizung und dem grönländischen Eisschild. Die internationale Initiative *IceGeoHeat* unter Leitung des GFZ stellt in der August-Onlineausgabe von *Nature Geoscience* (Vol. 6, 11. August 2013) fest, dass dieser Effekt bei der Modellierung des Eisschildes im Klimageschehen nicht vernachlässigt werden

darf. Die kontinentalen Eisschilde spielen im Klima eine zentrale Rolle. Wechselwirkungen und Rückkopplungsprozesse zwischen Eisfläche und Temperaturanstieg sind komplex und bis heute Forschungsgegenstand. Der grönländische Eisschild verliert jährlich rund 227 Gigatonnen an Eis und trägt damit pro Jahr etwa 0,7 mm zur aktuell beobachteten mittleren Meeresspiegeländerung von rund 3 mm pro Jahr bei. Bisherige Modellrechnungen beruhten jedoch auf einer Betrachtung der Eiskappe und berücksichtigten den Effekt der Lithosphäre, also der Erdkruste und des oberen Mantels, zu stark vereinfacht und vornehmlich mecha-

nisch: das Eis drückt aufgrund seines Gewichts die Kruste nach unten. Dr. Alexey Petrunin und Dr. Irina Rogozhina vom GFZ koppelten nun ein Eis/Klima-Modell mit einem thermomechanischen Modell für die Lithosphäre Grönlands und ließen das Modell über einen Simulationszeitraum von 3 Mio. Jahre laufen. Die Modellrechnungen stimmen sehr gut mit den Messungen aus Eisbohrkernen und unabhängigen magnetischen und seismischen Daten überein. Sowohl die Mächtigkeit des Eisschildes als auch die Temperatur an seiner Basis werden sehr genau abgebildet.

Das Modell kann sogar den Temperaturunterschied erklären, der an zwei nah beieinander liegenden Bohrlöchern gemessen wurden: die Dicke der grönländischen Lithosphäre variiert auf engem Raum sehr stark und damit auch der geothermische Wärmefluss. Was bedeutet das für die Klimamodellierung? Die Temperatur an der Basis des Eises und damit die gegenwärtige Dynamik des grönländischen Eisschildes ist Resultat der Wechselwirkung zwischen dem Wärmefluss aus dem Erdinneren und der Temperaturänderungen, die mit den Eiszeit-Zyklen einhergehen. Man findet Bereiche, in denen das Eis an der Basis schmilzt direkt neben anderen Gebieten, wo die Eisbasis extrem kalt ist. Das aktuelle Klima wird also auch durch Prozesse beeinflusst, die weit in die Erdgeschichte zurückreichen: die grönländische Lithosphäre ist zwischen 2,8 und 1,7 Mrd. Jahre alt und ist unter Zentralgrönland nur etwa 70 bis 80 km mächtig. Warum sie so außergewöhnlich dünn ist, muss noch erforscht werden. Es zeigt sich aber, dass die Kopplung von Modellen der Eisdynamik mit thermomechanischen Modellen der festen Erde einen präziseren Blick in die Vorgänge erlaubt, die das grönländische Eis zum Schmelzen bringen. ■

Petrunin, A. G., Rogozhina, I., Vaughan, A. P. M., Kukkonen, I. T., Kaban, M. K., Koulakov, I., Thomas, M. (2013): Heat flux variations beneath central Greenland's ice due to anomalously thin lithosphere. - *Nature Geoscience* 6, 746–750; Doi: 10.1038/ngeo1898.

Sauerstoff, Phosphor und frühes Leben auf der Erde

Vor zwei Milliarden Jahren erholte sich die Erde gerade von der vielleicht grundlegendsten Änderung ihrer Oberfläche: die Bildung von Sauerstoff in den Ozeanen und in der Atmosphäre. Das führte zu einer ganzen Kette an gewaltigen Änderungen in den globalen geobiochemischen Kreisläufen. Davon berichtet ein Wissenschaftlerteam um Aivo Lepland vom Norwegischen Geologischen Dienst NGU in der neuesten Online-Ausgabe von *Nature Geoscience*. Daraus resultierte auch die globale Verteilung von Phosphor, einem Schlüsselement des Lebens auf der Erde. Arbeiten an der einzigartigen, an organischen Stoffen reichen Zaonega-Gesteinsformation mit einem Alter von rund zwei Milliarden Jahren in Karelien im Nordwesten Russlands brachte ein erstaunliches Ergebnis zutage: Die Bildung der frühesten Phosphorite auf der Erde wurde sehr stark, wenn nicht sogar ausschließlich durch Schwefelbakterien gesteuert.

In der Jetztzeit bewohnen Schwefelbakterien untermeerische Gebiete mit den „Black Smokers“ genannten Quellen von aufströmendem Tiefenwasser und Ausgasungen und regeln dort die Bildung von Phosphoriten. Aus den jetzt vorliegenden Forschungsergebnissen lässt sich ableiten, dass vor zwei Milliarden Jahren – angetrieben durch die globale Freisetzung von Sauerstoff – die erste Bildung von Phosphoriten weltweit mit Schwefelbakterien in Verbindung gestanden haben muss. Dr. Richard Wirth aus der GFZ-Sektion „Chemie und Physik der Geomaterialien“ untersuchte die Gesteinsproben am Elektronenmikroskop. ■

Lepland A., Joosu, L., Kirsimäe, K., Prave, A. R., Romashkin, A. E., Črne, A. E., Martin, A. P., Fallick, A. E., Somelar, P., Üpraus, K., Mänd, K., Roberts, N. M. W., van Zuilen, M. A., Wirth, R., Schreiber, A. (2013): Potential influence of sulphur bacteria on Palaeoproterozoic phosphogenesis. - *Nature Geoscience Advance* Online Publication; Doi 10.1038/ngeo2005.

Einweihung des neuen Sekundärionenmassenspektrometer-Labors



In Anwesenheit von Prof. Reinhard Hüttl (Wissenschaftlicher Vorstand des GFZ), Dr. Michael Wiedenbeck (Leiter des SIMS-Labors am GFZ), Prof. Sabine Kunst (Wissenschaftsministerin des Landes Brandenburg) und Dr. Stefan Schwartze (Administrativer Vorstand des GFZ) [v.l.n.r.] wurde mit dem Zerschneiden des Bands die Eröffnung des SIMS-Labors vollzogen (Foto: E. Gantz, GFZ).

Am 20. August 2013 wurde am GFZ ein hochauflösendes Sekundärionenmassenspektrometer (HR-SIMS) in Betrieb genommen. Die 3,6 Mio. Euro teure Infrastruktur ist etwa zehnmals schneller und fünfmal genauer in der Messung von geologisch wichtigen chemischen Systemen als ihre Vorgängerin. Das HR-SIMS ist zentraler Knotenpunkt des von der Helmholtz-Gemeinschaft geplanten SIMS-Netzwerks (GFZ, UFZ, HZDR). Zusätzlich ist eine Vernetzung auf Basis eines neuartigen Fernsteuerprotokolls im Aufbau, die es auch internationalen Partnerinstituten ermöglichen wird, das ganze Spektrum der SIMS-Technik einzusetzen.

Bei der Sekundärionenmassenspektrometrie werden zunächst Ionen im Vakuum auf die Oberfläche einer polierten Probe geschossen. Dabei wird von dieser Ober-

fläche Material abgetragen, das teilweise wieder ionisiert wird. Diese Sekundärionen werden im Massenspektrometer untersucht. Die erreichte Nachweisgenauigkeit ist enorm: Unter 10 Mio. Atomen findet das SIMS ein einzelnes heraus. Damit lassen sich beispielsweise winzigste Spuren von Edelmetallen bestimmen, mit denen die Entstehung von Lagerstätten erforscht werden kann. Diese Information hilft bei der Findung neuer Rohstoffvorkommen.

Das GFZ betreibt seit 1998 ein SIMS-Labor, das für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus aller Welt auf Kooperationsbasis zur Verfügung steht. Mehr als einhundert Projekte mit Partnern aus 22 Ländern wurden hier in den letzten 15 Jahren bearbeitet.

Um das Angebot der meßtechnischen Möglichkeiten erheblich zu verbessern, wurde jetzt die neue Maschine angeschafft. Damit wird es möglich, beispielsweise Isotopenverhältnisse von Sauerstoff mit einer Genauigkeit von unter einem Teil pro 5000 exakt zu messen, wobei die Probenmengen unter einem Milliardstel Gramm liegen. Diese bisher unerreichbare Datenqualität wird benötigt, um unterschiedliche, wichtige Fragestellungen wie z.B. die Klimaentwicklung oder die Entstehung der Kontinente zu erforschen. Denn diese Prozesse hinterlassen Spuren, die man mit detektivischer Genauigkeit untersuchen muss. Das GFZ ist damit der erste Standort in Deutschland und der vierte in der EU, der über diese Technologie für die Geowissenschaften verfügt. ■

150 Jahre internationale Kooperation in der Geodäsie: Jubiläumsversammlung der Internationalen Assoziation für Geodäsie



Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Scientific Assembly 2013 der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) in Potsdam (Foto: E. Gantz, GFZ)

Über 500 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fachgebiets Geodäsie bzw. Erdmessung aus 50 Ländern trafen sich vom 1. bis 6. September 2013 in Potsdam zur Scientific Assembly 2013 der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG). Mit der Veranstaltung wurde gleichzeitig das 150-jährige Bestehen der IAG gefeiert, die ihren Ursprung in Berlin hat. Ausrichter des Treffens war das GFZ. Mit der Vergabe der Veranstaltung nach Potsdam würdigt die IAG den weltweit bedeutenden Beitrag des GFZ für die Entwicklung der Geodäsie. In über 250 Vorträgen und 220 Postern präsentierten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ihre Ergebnisse. Als Gäste wurden zudem Prof. Sabine Kunst, Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes

Brandenburg, Cornelia Rogall-Grothe, Staatssekretärin im Bundesministerium des Innern, Martin Gorholt, Staatssekretär im Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg, Burkart Exner, Bürgermeister der Stadt Potsdam sowie Dr. Johannes Karte, Programmdirektor der Gruppe Physik, Mathematik, Geowissenschaften bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft begrüßt. Zudem waren die großen deutschen Fachverbände vertreten.

Neben anderen Rahmenveranstaltungen konnten die Besucherinnen und Besucher am „Tag der IAG-Geschichte“ am 4. September 2013 am GFZ bei Vorträgen zur Entwicklung der Geodäsie von 1862 bis heute, Rundgängen und einer historischen Ausstellung das Jubiläum der IAG feiern. ■

CO₂-Einspeisung am Pilotstandort Ketzin nach gut fünf Jahren erfolgreich abgeschlossen



Filmaufnahmen am GFZ-Pilotstandort Ketzin – Wissenstransfer in die Gesellschaft ist seit Beginn der Forschungsarbeiten in Ketzin ein wichtiger Baustein (Foto: T. Kollersberger, GFZ).

Am 29. August 2013 hat das GFZ die Einspeisung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) an seinem Pilotstandort in Ketzin/Havel nach gut fünf Jahren Betrieb plangemäß beendet. Hier wurden zur wissenschaftlichen Untersuchung der geologischen Speicherung des Treibhausgases CO₂ seit Juni 2008 insgesamt 67 271 Tonnen CO₂ in salzwasserführende Sandsteine in einer Tiefe von 630 bis 650 m eingebracht.

Für die Speicherung wurde überwiegend hochreines CO₂ eingesetzt, das sonst in der Lebensmittelproduktion verwendet wird. 2011 kamen zudem in einem sechswöchigen Versuch 1515 Tonnen industriell abgeschiedenes CO₂ aus dem Pilotkraftwerk Schwarze Pumpe zum Einsatz. Im Sommer 2013 untersuchte ein Feldversuch die Einspeicherung eines künstlich verunreinigten (95 Gew.% CO₂ + 5 Gew.% N₂) CO₂-Stroms. Um das chemische Verhalten der stabilen Kohlenstoffisotope

im Speichersystem zu ermitteln, wurde in diesem Feldversuch zudem ein isotopisch anders zusammengesetztes CO₂ verwendet.

Mit bergrechtlicher Genehmigung durch das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe des Landes Brandenburg und unter Federführung des GFZ wird das Pilotprojekt Ketzin von einem der weltweit umfangreichsten Forschungs- und Entwicklungsprogramme begleitet. Auch die Überwachungsverfahren gehören zu den umfassendsten weltweit. Der Pilotstandort Ketzin gilt daher national und international als ein Referenzprojekt für die Erforschung und Umsetzung der geologischen CO₂-Speicherung.

Die bisher durchgeführten Untersuchungen sind erfolgreich verlaufen und haben grundlegende Erkenntnisse zum Speicherstandort selbst, aber auch zur geologischen Speicherung von CO₂ in tiefliegenden, salzwasserführenden Gesteinsschichten geliefert. So konnte gezeigt werden, dass die geologische Speicherung von CO₂ am Pilotstandort Ketzin sicher und verlässlich ist, ohne Gefährdung von Mensch und Umwelt. Zudem ist eine sinnvoll eingesetzte Kombination verschiedener geochemischer und geophysikalischer Überwachungsmethoden in der Lage, bereits kleinste Mengen CO₂ zu entdecken und kann ihre unterirdische räumliche Ausdehnung

abbilden. Die durch das gespeicherte CO₂ hervorgerufenen Wechselwirkungen zwischen Fluid und Gestein am Standort Ketzin sind unbedenklich und haben keine Auswirkungen auf die Integrität der Speicher- und Deckgesteine. Zudem konnten numerische Simulationen das zeitliche und räumliche Verhalten des gespeicherten CO₂ wiedergeben.

Das Gesamtforschungsprogramm ist damit noch nicht beendet. Mit Einstellung der CO₂-Einspeisung beginnt am Pilotstandort Ketzin eine neue Projektphase, deren Ziel ist, erstmalig den vollständigen Lebenszyklus eines CO₂-Speichers von der Erkundung des Standorts über den Betrieb bis zum Rückbau zu durchlaufen. Daher sind in den nächsten Jahren weiterhin die Überwachung des Standorts und der CO₂-Ausbreitung sowie die Durchführung zusätzlicher Feldexperimente vorgesehen. Zugleich beginnen im Herbst 2013 auch der Anlagenrückbau und der stufenweise Verschluss der Bohrungen.

Mit seinen Forschungsinhalten stellt der Pilotstandort Ketzin/Havel einen zentralen Baustein des EU-Projekts CO₂CARE (CO₂ Site Closure Assessment Research) dar. Dieses Projekt mit insgesamt 23 internationalen Partnern wird vom Zentrum für Geologische Speicherung am GFZ koordiniert und hat zum Ziel, die wissenschaftlichen Grundlagen für den sicheren

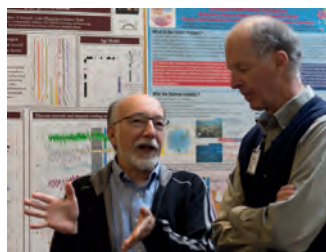
Verschluss eines CO₂-Speichers sowie die Rückübertragung der Verantwortung zu legen. Zu diesem Zweck kooperiert das Projekt nicht nur mit weiteren CO₂-Speicherstandorten weltweit, sondern arbeitet auch eng mit den zuständigen europäischen Regulierungsbehörden zusammen. Auf der hochkarätig besetzten internationalen Abschlusskonferenz vom 4. bis 5. November 2013 am GFZ wurden die zentralen und wegweisenden Erkenntnisse des Projekts CO₂CARE von Partnern aus 13 Ländern vorgestellt. ■

Projekt-Website:

<http://www.co2care.org>

Literatur:

- Liebscher, A., Martens, S., Möller, F., Lüth, S., Schmidt-Hattenberger, C., Kempka, T., Szzybalski, A., Kühn, M. (2012): Überwachung und Modellierung der geologischen CO₂-Speicherung - Erfahrungen vom Pilotstandort Ketzin, Brandenburg (Deutschland). *Geotechnik*, 35, 3, 177-186.
- Liebscher, A., Möller, F., Bannach, A., Köhler, S., Wiebach, J., Schmidt-Hattenberger, C., Weiner, M., Pretschner, C., Ebert, K. Zemke, J. (2013): Injection operation and operational pressure-temperature monitoring at the CO₂ storage pilot site Ketzin, Germany – Design, results, recommendations. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 15, 163-173.



Impressionen von der dritten Tagung des International Continental Scientific Drilling Program (ICDP) vom 11. bis 14. November 2013 am GFZ (Fotos: K. Behrends, GFZ)

ICDP-Konferenz in Potsdam

Vom 11. bis 14. November 2013 fand am GFZ die dritte Tagung des International Continental Scientific Drilling Program (ICDP) unter dem Motto „Imaging the Past to Imagine our Future“ mit 164 geladenen Teilnehmerinnen und Teilnehmern aus 29 Ländern statt. Die Konferenz diente der Diskussion zukünftiger Forschungsziele und der Entwicklung eines neuen Wissenschaftsplans besonders in Hinblick auf die gesellschaftliche Relevanz von kontinentalen wissenschaftlichen Bohrprojekten. Außerdem wurden die in der Vergangenheit erreichten Ziele dargestellt und Ideen zur zukünftigen besseren Vernetzung und Sichtbarkeit des ICDP diskutiert.

Das ICDP ist ein internationales Forschungsprogramm zur finanziellen und operativen Unterstützung von kontinentalen wissenschaftlichen Bohrprojekten. Seit der Gründung des ICDP im Jahr 1996 ist dessen Entwicklung eng mit dem GFZ verbunden. Weit mehr als 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des GFZ waren oder sind an ICDP-Projekten beteiligt.

Das Programm wurde vom ehemaligen wissenschaftlichen Vorstand des GFZ Prof. Emmermann gegründet, die Federführung des ICDP-Exekutivkomitees obliegt seit 2011 Prof. Horsfield, Leiter der GFZ-Sektion „Organische Geochemie“. Die Operational Support Group des ICDP, ein Team aus Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern, ist Teil der GFZ-Infrastruktureinheit „Wissenschaftliches Bohren“ und unterstützt wissenschaftliche Bohrprojekte durch zum Beispiel Bohrlochmessungen, Datenmanagement und Bohrkernuntersuchungen, aber auch beratend bei der Planung und Durchführung von Bohrprojekten sowie durch Trainingsmaßnahmen. ■

Weitere Informationen zur Konferenz:

<http://www.icdp-online.org/sciconf2013/overview>

Internationale Zusammenarbeit



Treffen zwischen Prof. Hüttl, Wissenschaftlicher Vorstand des GFZ, und Prof. Vaganov, Rektor der Siberian Federal University of Krasnojarsk, während des Informationsbesuchs in Russland im August 2013 (Foto: Universität Krasnojarsk)

Im Zentrum der Bemühungen der vergangenen Monate stand die gezielte Fortschreibung der Zusammenarbeit mit China, Indien und Russland. Kontakte mit hochrangigen Vertretern dieser Länder hatte es bereits in 2012 und der 1. Jahreshälfte 2013 gegeben (siehe „System Erde. GFZ-Journal“ (2013), Heft 1). Die Kontakte konnten nun nachhaltig weiterentwickelt und in die operative Phase überführt werden.

Mit China wurden die Verhandlungen im Bereich der weltraumgestützten Erdbeobachtung konstruktiv weiterentwickelt. Nach dem Besuch einer durch den Vize-Präsidenten Dr. Li Ming angeführten Delegation der China Academy of Space Technology, CAST, am 21. März 2013 am GFZ, folgte Prof. Harald Schuh, Direktor Department 1 „Geodäsie und Fernerkundung“ im Oktober 2013 einer Gegeneinladung nach China. Nach vorangegangenen Gesprächen bei CAST unterzeichneten Herr Schuh und Prof. Qiu Zhiwei anlässlich der 10-Jahresfeier des Helmholtz-Büros Peking, am 11. Oktober 2013 ein Memorandum of Understanding (MoU) zur zukünftigen Zusammenarbeit der beiden Forschungsinstitutionen. Ziel des MoU ist es, auf dem Gebiet der weltraumgestützten Erdbeobachtung enger zusammenzuarbeiten, wobei der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses besondere Bedeutung zukommen soll.

Einen neuen regionalen Schwerpunkt könnte darüber hinaus Indien darstellen. So wurden die wissenschaftlichen Beziehungen nach Besuchen des Indischen Staatssekretärs im Energieministerium, Uma Shankar und Dr. Shaylesh Nayak, Staatssekretär im indischen Ministerium für Geowissenschaften (MoES) kontinuierlich fortgeschrieben. Derzeit liegt ein unter Federführung des GFZ initiiertes Kooperationsvertrags der Helmholtz-Gemeinschaft mit dem MoES zur Unterschrift vor. Er schafft nun den Rahmen für die konkrete Forschungszusammenarbeit. Neben GFZ sind auf deutscher Seite die Helmholtz-Zentren GEOMAR, FZJ und KIT an dem MoU beteiligt. Für das GFZ stehen Themen aus den Bereichen Geo-Energie, Mineralressourcen, Prävention von Naturkatastrophen und geochemische Analytik im Zentrum des Interesses. Zu letzterem Thema wurde zusätzlich mit dem National Geophysical Research Institute NGRI in Hyderabad ein Kooperationsvertrag zum Expertenaustausch unterzeichnet.

Auch die Kooperation mit Russland wurde nach Unterzeichnung eines MoUs im Frühjahr 2013 konstruktiv weiterentwickelt. Im August 2013 besuchte der wissenschaftliche Vorstand des GFZ die Partnerinstitute in Moskau, Krasnojarsk und Novosibirsk. Ein auf dieser Reise für Frühjahr 2014 am GFZ vereinbarter Rohstoff-Workshop mit russischen Einrichtungen und einschlägigen Helmholtz-Zentren wird den Startpunkt für konkrete Forschungsprojekte markieren. Die Wernatzki-Stiftung hat zudem das GFZ angefragt, in 2014 einen bilateralen „Runden Tisch“ zum Thema Nachhaltigkeit durchzuführen.

Exemplarisch für die konsequente Anbahnung einer neuen bilateralen Kooperation ist die Zusammenarbeit des GFZ mit dem Nationalen Rat für Wissenschaftliche und Technologische Forschung der argentinischen CONICET. Nach Unterzeichnung eines MoU im November 2011 fand bereits am 7. und 8. Mai 2012 in Buenos Aires ein gemeinsamer Workshop mit Forschungsinstitutionen des CONICET statt. Aus den

bilateralen Gesprächen resultierte zunächst eine im Sommer 2013 gestartete Helmholtz International Research Group „Geodynamic Evolution of the Neuquén Andes: Implications for Geo-Resources“ am GFZ, die durch die Helmholtz-Gemeinschaft und CONICET gemeinschaftlich gefördert wird. In einem weiteren Schritt wurde im Frühjahr 2013 in Abstimmung mit den argentinischen Partnern und CONICET von Universität Potsdam und GFZ ein Vorantrag auf Einrichtung eines internationalen DFG-Graduiertenkollegs eingereicht. Der Antrag wurde am 11. Juli 2013 positiv beschieden. Vorausgesetzt, dass auch die Frühjahr 2014 einzureichenden Vollerträge von DFG und CONICET genehmigt werden, würde innerhalb von gut zwei Jahren aus einem MoU ein internationales Großprojekt entwickelt, das für die nächste Dekade bestimmend für die geowissenschaftliche Zusammenarbeit zwischen dem GFZ und Argentinien sein wird.

Intensiviert wurde auch die Zusammenarbeit mit den ausländischen Botschaften. Am 14. November 2013 richtete das GFZ gemeinsam mit der Italienischen Botschaft in Berlin eine Informationsveranstaltung zum Thema „Dealing with Natural Hazards – German Italian Partnership on Seismic Risk Reduction“ aus. Mehr als 80 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus Wissenschaft, Wirtschaft und aus anderen ausländischen Botschaften ließen sich über die erfolgreiche Zusammenarbeit des GFZ mit italienischen Forschungseinrichtungen informieren.



Am 21. Oktober 2013 besuchte Prof. Anne Glover (dritte von links), Chief Scientific Advisor der Europäischen Kommission, das GFZ (Foto: GFZ).

Wichtige Besuche am GFZ:

Am 21. Oktober 2013 besuchte Prof. Anne Glover, Chief Scientific Advisor der Europäischen Kommission, das GFZ. Sie ließ sich durch den Wissenschaftlichen Vorstand, Prof. Reinhard Hüttel, ausführlich über die – insbesondere Europa-relevanten – Forschungsaktivitäten des GFZ berichten und diskutierte mit den anwesenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, wie die Einbindung in europäische Forschungsprogramme forciert werden könnte.

Begleitet von einer hochrangigen Wissenschaftsdelegation besuchte am 30. September 2013 der neuseeländische Botschafter, Peter Rider, das GFZ. Das GFZ und Neuseeland pflegen bereits seit langem wissenschaftliche Beziehungen, über die sich der Botschafter ausführlich informierte. Im Mittelpunkt der Ge-

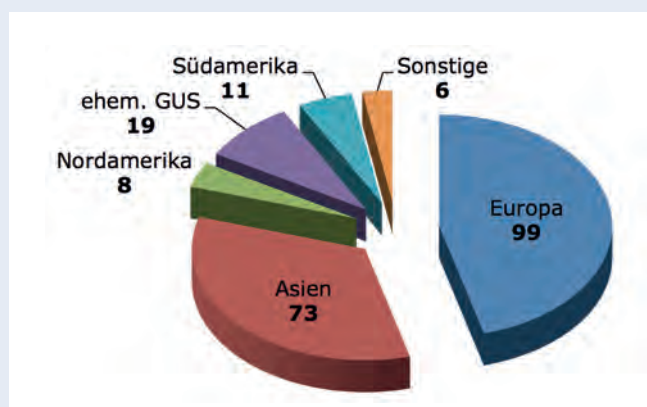
spräche standen unter anderem neueste Erkenntnisse zur Paläoklimaforschung. Am 19. September 2013 war eine hochrangige taiwanische Wissenschaftsdelegation der National Applied Research Laboratories, NATLabs, zu Gast am GFZ. Der 2003 gegründeten Organisation gehören inzwischen elf international bedeutende außeruniversitäre Forschungseinrichtungen an. NATLabs gehört damit zu den wichtigsten Forschungsorganisationen in Taiwan. Zukünftig soll die Zusammenarbeit zwischen dem GFZ und den NATLabs intensiviert werden. ■

Kontakt:

Internationale Beziehungen

Dr. Ludwig Stroink

E-Mail: stroink@gfz-potsdam.de



Zum Stichtag 30. September 2013 beschäftigte das GFZ 216 ausländische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 49 Nationen. Das GFZ ist damit bereits seit Jahren eine attraktive Adresse für Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftler aus der ganzen Welt. Um diesen Status weiter auszubauen, hat das GFZ eine Reihe von Maßnahmen ergriffen. So beteiligt es sich an einschlägigen Rekrutierungsprogrammen der Helmholtz-Gemeinschaft (Helmholtz-Rekrutierungsinitiative; Helmholtz Fellow Award) und der Alexander von Humboldt-Stiftung. In diesen Programmen konnten bereits zahlreiche exzellente Spitzenwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler aus dem Ausland für Leitungspositionen im GFZ gewonnen werden.

Ausgezeichnet

Prof. Dr. Claudia Stolle ist neue Leiterin der Sektion „Erdmagnetfeld“



Seit dem 1. Juli 2013 ist **Prof. Dr. Claudia Stolle** die neue Leiterin der GFZ-Sektion „Erdmagnetfeld“. Zum gleichen Zeitpunkt übernahm sie im Rahmen einer gemeinsamen Berufung mit der Universität Potsdam eine Professur an der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät. Ihr wissenschaftliches Interesse konzentriert sich auf die Wechselwirkung zwischen dem Erdmagnetfeld und den Phänomenen und Trends in der oberen Atmosphäre sowie auf die Charakterisierung der Quellen des geomagnetischen Felds im erdnahen Weltraum.

Frau Prof. Stolle wechselte von der Technischen Universität Dänemark (DTU) in Kopenhagen an das GFZ. Während ihrer Zeit an der DTU hat sie als Senior Scientist die wissenschaftliche Leitung für das ausgedehnte Netzwerk von Boden-Magnetometern der DTU inne.

Nach ihrem Diplom in Meteorologie am Centre national de la recherche scientifique (CNRS) und am französischen Wetterdienst Météo France in Toulouse promovierte Claudia Stolle an der Universität Leipzig über die neuen Möglichkeiten der Tomographie der Ionosphäre mittels GPS-Messungen. Ihre PostDoc-Zeit verbrachte sie anschließend am GFZ. Hier wertete sie CHAMP-Daten der Ionosphäre und der oberen Atmosphäre aus. Ihr Fokus lag dabei auf lokalen Variationen des Elektronengehalts und der Kopplung von Thermosphäre und Ionosphäre. Während dieser Zeit wirkte sie maßgeblich bei der Definition und Entwicklung von Datenprodukten der SWARM-Satellitenmission mit. Zurückgekehrt ans GFZ möchte sie ihre Kompetenz in der Beschreibung der ver-

schiedenen Quellen des geomagnetischen Felds ausbauen, die sowohl im Innern der Erde als auch im erdnahen Weltraum zu finden sind. Darüber hinaus gilt ihr Interesse dem Einfluss des Magnetfelds auf die Vorgänge in der Atmosphäre. ■

Hermann Credner-Preis und -Stipendium für Dr. Hauke Marquard



Prof. Dr. Gernold Zulauf, Vorstandsvorsitzender der Deutschen Geowissenschaften (DGG) (links) und Dr. Hauke Marquard (Foto: Archiv DGG; Aufnahme: Petra Hejtmánková, Czech Geological Survey)

Die Deutsche Gesellschaft für Geowissenschaften (DGG) ehrt den GFZ-Wissenschaftler **Dr. Hauke Marquardt**, Sektion „Chemie und Physik der Geomaterialien“, mit dem Hermann Credner-Preis 2013. Der Preis ist mit 5000 Euro dotiert und wird von der DGG jährlich an herausragende Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler zur Förderung weiterer Forschungsarbeiten vergeben.

Marquardt erhielt den Preis für seine Erkenntnisse auf dem Gebiet der Geomaterialforschung, bei der extreme Druck- und Temperaturbedingungen, wie sie im Erdkern herrschen, simuliert werden. Der Preis wurde im Rahmen der DGG-Tagung in Pilsen, Tschechien, am 17. September 2013 verliehen. Mit dem Preis ist ein Stipendium von der Hermann Credner-Stiftung zur Teilnahme an einer Tagung verbunden. ■

Victor-Moritz-Goldschmidt-Preis für Frau Dr. Hella Wittmann-Oelze

Auf der Jahrestagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft DMG erhielt Frau **Dr. Hella Wittmann-Oelze**, GFZ-Sektion „Oberflächennahe Geochemie“, am 16. September 2013 den Victor-Moritz-Goldschmidt-Preis für ihre grundlegenden Beiträge auf dem Gebiet der Geochemie der kosmogenen Nuklide. Diese erlauben akkurate Bestimmungen von Stoffkreisläufen und Altern der Erdoberfläche.

Frau Wittmann-Oelze war es erstmals möglich, anhand kosmogener Nuklide in Flusssedimenten zu dokumentieren, dass die mit geodätischen Methoden bestimmte Hebung der Schweizer Zentralalpen eine Folge der Erosion ist. Hebung und Erosion korrelieren über einen weiten Bereich dieser Raten.

Ferner widmete sich Frau Dr. Wittmann-Oelze der Weiterentwicklung der Methode. Es gelang ihr, die *In-situ*-Methode für kosmogene Nuklide in großen Sedimentbecken wie dem Amazonasbecken erfolgreich anzuwenden. Sie konnte rezente und vergangene Sedimentflüsse des Amazonas und seiner Seitenarme quantifizieren und feststellen, dass der Amazonas die gesamte Menge an Sediment, die in den Anden produziert wird, in den Atlantik transportiert. Somit ist das Amazonasbecken kein Auffangbecken für Sediment,



Prof. Dr. Astrid Holzheid, Vorstandsvorsitzende der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, übergibt den Preis an Dr. Hella Wittmann-Oelze, Tübingen, 16. September 2013

obwohl es über die weltweit größte Überflutungsebene verfügt. Eher arbeitet es wie ein großer „Stoßdämpfer“, der Änderungen im Sedimenttransport abfedern kann. Dieser „Stoßdämpfer“ ist in der Lage, auch über verschiedene klimatische Zeitperioden des Holozäns hinweg, die Menge an exportiertem Sediment konstant zu halten.

Mit ihren fundamentalen Arbeiten legte Frau Dr. Wittmann-Oelze das enorme Potenzial der *In-situ*-Methode für Nuklide dar, mit welcher rezente und vergangene Sedimentflüsse aus terrestrischen und marinen Archiven rekonstruiert und Wechselwirkungen zwischen Fluid und Gestein erforscht werden können. ■

Dr. Christian Schmidt Mitglied der MSA



Dr. Christian Schmidt, Senior Scientist in der GFZ-Sektion „Chemie und Physik der Geomaterialien“, ist zum Mitglied der Mineralogical Society of America (MSA) gewählt worden. Bedingung für eine MSA-Mitgliedschaft ist ein wissenschaft-

licher Beitrag, der die Mineralogie, Kristallographie, Petrologie, Geochemie oder eine verwandte Wissenschaft wesentlich gefördert hat. ■

Group Achievement Award für das GRACE Battery Team

Am 18. Juli 2013 verlieh die National Aeronautics and Space Administration (NASA) dem GRACE Battery Team den Group Achievement Award für „Outstanding battery operations support of the twin GRACE spacecraft, enabling continued critical science return far beyond the end of the primary mission.“ Als Teil des Teams wurde GFZ-Mitarbeiter **Franz-Heinrich Massmann**, Sektion „Globales Geomonitoring und Schwerefeld“, mit diesem Preis ausgezeichnet. ■

CHGEOL Award 2013 für Dr. Aurèle Vuillemin



Der Schweizer Geologenverband CHGEOL verleiht seinen „Award 2013“ an **Dr. Aurèle Vuillemin**, PostDoc am GFZ, Sektion „Geo-Mikrobiologie“. ■

Vuillemin wird damit für seine Doktorarbeit „Characterizing the Subsurface Biosphere in Laguna Potrok Aike Sediments (Argentina)“ geehrt. Der mit 3000 Schweizer Franken dotierte Preis wird jährlich für die „praxisrelevanteste Hochschularbeit“ vergeben. Die Preisverleihung fand am 16. September 2013 in Lausanne, Schweiz, statt. ■

Dr. Franziska Koebsch erfolgreich im Helmholtz-Postdoc-Programm

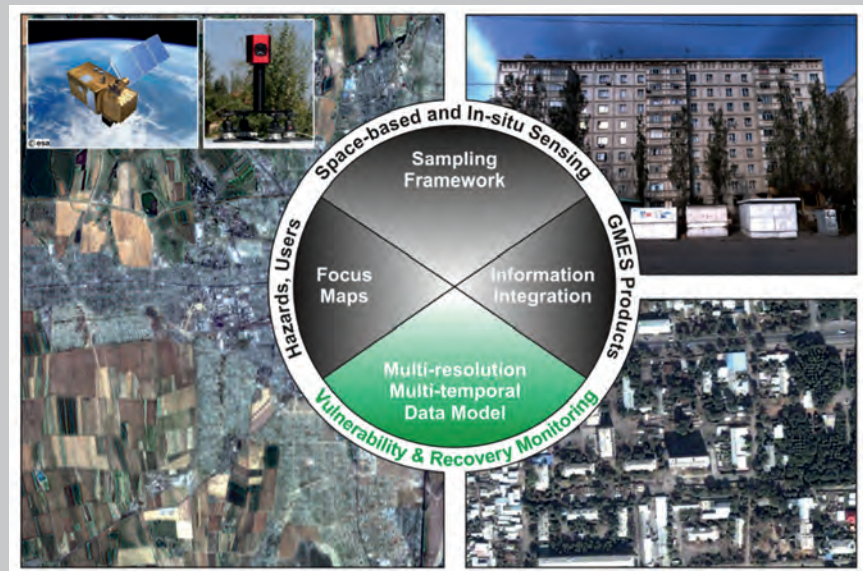
Dr. Franziska Koebsch war im aktuellen Auswahlverfahren zum Helmholtz-Postdoc-Programm mit ihrem Antrag „Capturing the hotspots – greenhouse gas dynamics during peatland restoration“ erfolgreich und verstärkt ab Januar 2014 die von Dr. Torsten Sachs geleitete Helmholtz-Nachwuchsgruppe TEAM am GFZ. Frau Koebsch hat im September 2013 ihre Promotion zum Spurengashaushalt des Hütelmoors bei Rostock an der Universität Rostock abgeschlossen und bringt ihre Expertise sowie den Standort Hütelmoor in die TEAM-Aktivitäten im Rahmen des TERENO-Observatoriums Nordostdeutsches Tiefland ein. ■

Neue Projekte am GFZ (Auswahl)

SENSUM – Framework to integrate Space-based and in-situ sensing for dynamic vulnerability and recovery monitoring

Während die Gesellschaft durch Urbanisierung, zunehmende Abhängigkeit von technischen Infrastrukturen und Veränderungen der Umwelt verstärkt Naturgefahren ausgesetzt ist, zeigt sich gleichzeitig ein Defizit an Informationen zur Anfälligkeit städtischer Umgebungen für Extremereignisse. Dies betrifft besonders Entwicklungsländer, in denen flächendeckende Informationen zu bestehender Bausubstanz fehlen.

Das Projekt SENSUM befasst sich mit der Entwicklung und Integration innovativer boden- und satellitengestützter Verfahren der Informationsgewinnung, um nötige Informationsgrundlagen für aussage-



SENSUM entwickelt freie und Open-Source-Software und Methoden für die Auswertung und Integration von Satellitendaten, wie beispielsweise die zukünftigen SENTINEL-2-Daten, und bodengestützten Kameradaten. Ziel ist die Generierung von multiskaligen und multitemporalen Verwundbarkeits- und Wiederaufbaudatensätzen.

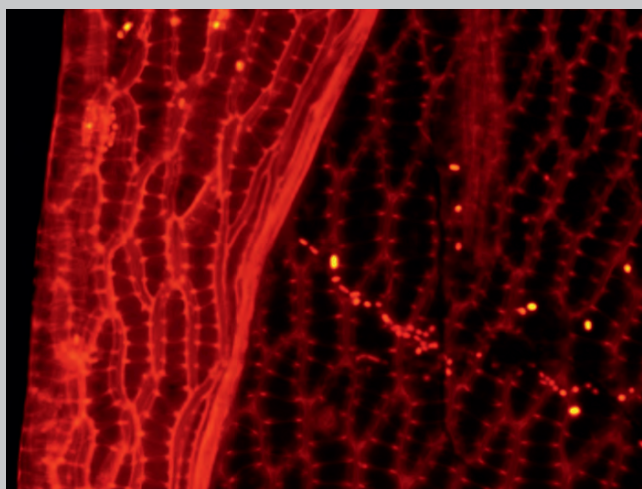
kräftige Risikoanalysen zu schaffen und ein Monitoring des Gebäudebestands und dessen Verwundbarkeit auf verschiedenen Maßstabsebenen zu ermöglichen. Der Schwerpunkt von SENSUM liegt hierbei auf Erdbeben und Hangrutschungen und berücksichtigt ferner das Monitoring von Wiederaufbauprozessen nach Naturkatastrophen.

Untersuchungsgebiete sind die Isfara-Batken-Region im Grenzgebiet zwischen Kirgisistan und Tadschikistan sowie die Städte Izmir, Türkei, und Köln. Ein wissenschaftliches und technisches Capacity Development im Bereich des Katastrophenmanagements in den zentralasiatischen Partnerländern sowie eine enge Kooperation mit Endnutzern potenzieller SENSUM-Informationsprodukte sind integrale Bestandteile des Projekts.

SENSUM wird am GFZ koordiniert (Dr. M. Pittore, Zentrum für Frühwarnung). Projektpartner sind das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Eucentre (Italien), Norwegian Geotechnical Institute (Norwegen), Universität Cambridge (Großbritannien), ImageCat Ltd (Großbritannien), ZAIAG (Kirgisistan) und IGEEES (Tadschikistan). SENSUM wird als FP7 Collaborative Project unter dem Themenbereich SPA.2012.1.1-04 „Support to emergency response management“ von Januar 2013 bis Dezember 2014 mit rund 2,5 Mio. Euro finanziert. ■

ArcBiont – Microbial Symbionts of Arctic Peatlands and their Relevance for Present and Future Carbon and Nitrogen Cycling

Symbiosen, an denen mikrobielle Gemeinschaften beteiligt sind, kommen in der Natur ubiquitär vor. Erst vor wenigen Jahren wurde eine Symbiose zwischen Methan-oxidierenden Bakterien und Moosen beschrieben. Speziell handelt es sich hier um Torf- und Braunmoose, die typisch für oligotrophe Moore und in der Arktis noch weitverbreitet sind. Bei dieser Symbiose profitieren Methan-oxidierende Bakterien davon, dass Moose infolge von Photosynthese Sauerstoff freisetzen, den



ArcBiont

Mikroskopische Aufnahme von Bakterien in Assoziation mit Hyalinzellen eines Torfmooses (Aufnahme: S. Liebner, GFZ)

die aeroben Bakterien nutzen, um Methan zu oxidieren. Das dabei entstehende Kohlendioxid wird von den Moosen unmittelbar wieder aufgenommen und in eigene Biomasse umgewandelt.

Am GFZ befasst sich die neu eingerichtete Internationale Helmholtz-Forschergemeinschaft ArcBiont mit mikrobiellen Gemeinschaften, die in Assoziation mit arktischen Moosen leben. Zentrale Aspekte sind dabei die Biogeographie sowie die Bedeutung von moosassoziierten mikrobiellen Gemeinschaften des Methankreislaufes für den Kohlenstoffkreislauf nördlicher Moore Spitzbergens, der Finnmark und des sibirischen Lena-Deltas. Ein weiterer zentraler Aspekt von ArcBiont ist der Einfluss auf den Stickstoffkreislauf, da viele mikrobielle Vertreter des Methankreislaufes zusätzlich in der Lage sind, Stickstoff zu fixieren. Die Bedeutung von Moos-Mikroorganismen-Assoziationen für die Stoffkreisläufe arktischer Moore ist vor allem vor dem Hintergrund des sich rasch wandelnden Klimas in der Arktis relevant.

ArcBiont ist eine Kooperation zwischen dem GFZ, Sektion „Geomikrobiologie“, und der Universität Tromsø, Institut für Arktische und Marine Biologie, Norwegen. Die Laufzeit der am 1. Oktober 2013 gestarteten Internationalen Helmholtz-Forschergemeinschaft beträgt drei Jahre. Hierfür stehen aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft

insgesamt 150 000 Euro zur Verfügung. Die gleiche Summe wird vom Projektpartner in Tromsø gegenfinanziert. ■

IsoNose – Isotopic tools as novel sensors of Earth surface resources

Das neue, am GFZ koordinierte europäische Marie Curie Initial Training Network IsoNose beschäftigt sich mit biogeochemischen Prozessen, die an der Erdoberfläche ablaufen. Wasser, Böden, aber auch Metalle sind wichtige Ressourcen, bei deren Umwälzung und Bildung die transportierten Metallisotope fraktioniert werden. Die Ressourcenbildung hängt hier von gewaltigen biogeochemischen Vorgängen ab, bei denen Elemente aus dem Gestein gelöst werden und in den Kreislauf der Böden und Pflanzen eingehen. Um diese Prozesse zu verstehen, werden innovative, neue Ansätze in der Massenspektrometrie eingesetzt. Erst wenn die ressourcenbildenden Prozesse der Biogeochemie besser verstanden werden, ist eine nachhaltige Rohstoffnutzung überhaupt erst möglich.

14 junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erhalten im Rahmen von IsoNose nicht nur wissenschaftliches Training an modernster geowissenschaftlicher Apparatur, sie führen auch gemeinsame Workshops durch und jeder IsoNose-„Fellow“ besucht mindestens ein anderes Institut aus dem Netzwerk. Neben dem GFZ sind an dem Initial Train-

ning Network acht weitere nationale und internationale Institutionen als Partner beteiligt: Institut de Physique du Globe de Paris IPGP (Frankreich), Centre National de la Recherche Scientifique CNRS (Frankreich), Trinity College Dublin TCD (Großbritannien), National Environmental Research Council NERC-NOC (Großbritannien), Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung BAM, Thermo Fisher Scientific GmbH, Boliden Tara Mines Ltd. (Schweden) und Teck Ireland Ltd. (Irland). Weitere sechs Institutionen sind assoziierte Partner.

Das Initial Training Network startet im Jahr 2014 und wird über vier Jahre mit 3,8 Mio. Euro von der EU gefördert. ■

TBMOD – Modellierung des Tiberias-Beckens

Das neue DFG-Verbundprojekt TBMOD (Modellierung des Tiberias-Beckens) widmet sich dem größten Süßwasser-See Israels, dem See Genesareth, dessen Wasserspiegel je nach Jahreszeit zwischen 210 und 216m unter dem Meeresspiegel liegt. Dieser See im Riftsystem Jordan-Totes Meer ist durch unkontrollierbare Zuflüsse salinärer Wässer am Boden des Sees gefährdet. Ziel der Arbeiten ist herauszufinden, welchen Einfluss dabei Bruchzonen, Störungen und gegebenenfalls gestörte thermische Gleichgewichte in den Riftsedimenten selbst sowie Schwankungen des Wasserspiegels des

Sees auf das Strömungsregime von Salinarwässern im Untergrund haben. Mittels gekoppelter hydrogeologischer und hydrochemischer Modellierung sollen regionale und politische Grenzen überschreitende Salinarbewegungen im Tiberias-Becken identifiziert und modelliert werden. TBMOD baut auf den Ergebnissen einer 15-jährigen deutsch-israelisch-palästinensisch-jordanischen Kooperation auf.

Die Forschungsarbeiten sollen eine nachhaltige Verwendung der größten Süßwasser-Ressource im Jordantal ermöglichen und zugleich zu einem stabilen politischen Klima beitragen. Das zu erstellende Modell soll helfen, den kritischen Wasserspiegel, die sogenannte „rote Linie“, neu zu definieren, unterhalb derer ein drastischer Anstieg der Versalzung vermutet wird. Dies ist für lokale Entscheidungsträger von hoher Wichtigkeit.

Das Projekt wird am GFZ koordiniert. Projektpartner sind die Universität Tel Aviv (Israel), Universität Amman (Jordanien), der israelische Wasserversorger Mekorot sowie das UFZ und die Freie Universität Berlin. TBMOD wird von der DFG im Rahmen eines trilateralen Abkommens zwischen Deutschland, Israel und seinen Nachbarländern zunächst für zwei Jahre mit rund 300 000 Euro finanziert. ■



Prof. Dr. P. Möller (GFZ) und Dr. S. Geyer (UFZ) bei der Probennahme von Salzsolen in der Nähe des Toten Meeres (Israel) (Foto: Chr. Siebert, UFZ)

GFZ als anerkannter Ausbildungsbetrieb durch IHK geehrt



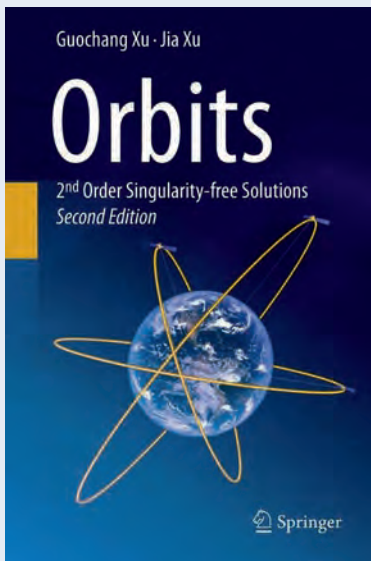
Im Rahmen des „Brandenburgischen Ausbildungskonsenses“ zeichnete der Präsident der Industrie- und Handelskammer Potsdam 17. Juli 2013 zusammen mit Persönlichkeiten des öffentlichen Lebens das GFZ mit der Urkunde „Anerkannter Ausbildungsbetrieb“ aus. Das GFZ wird hiermit für seine überdurchschnittlichen Ausbildungsleistungen geehrt.

Am GFZ gab es zum 1. September 2013 insgesamt 34 Auszubildende – ein Drittel sind Frauen. Die Ausbildungsberufe heißen Bürokauffrau/-mann, Fachinformatiker/in Anwendungsentwicklung/Systemintegration, Industriemechaniker/-in, Physiklaborant/-in, Chemielaborant/-in, Geomatiker/-in, Fachangestellte/-r für Medien- und Informationsdienste – Bibliothek sowie Elektroniker/-in für Geräte und Systeme. Seit dem Jahr 1992 haben 173 Auszubildende, darunter 76 Frauen, eine Ausbildung abgeschlossen. Insgesamt 28 erhielten in der Folge eine Festanstellung am GFZ.

Ravenstein Förderpreis geht an GFZ-Auszubildenden

Mit einem Festakt in der Villa Mumm, dem Sitz des Präsidenten des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie in Frankfurt am Main, wurde am 24. September 2013 der GFZ-Auszubildende Cedric Jankowski aus dem 2. Ausbildungsjahr für Geomatiker mit dem Anerkennungspreis der Helga Ravenstein Stiftung für hervorragende kartographische Arbeit ausgezeichnet. Jankowski erhielt den mit 150 Euro dotierten Preis für seine Arbeit mit Massendaten zur Tsunami-Simulation innerhalb des Projekts TRIDEC. ■

Bücher



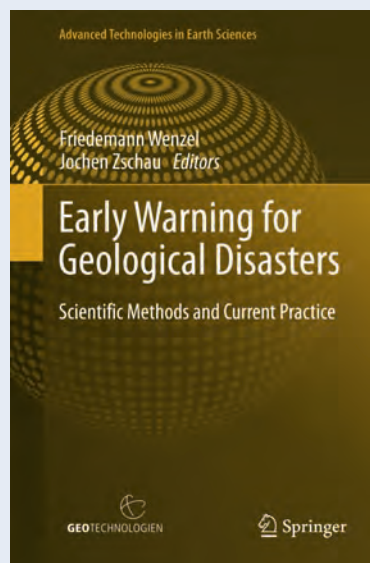
Orbits 2nd Order Singularity-free Solutions

Guochang Xu und Jia Xu
Springer Berlin
2013, Second Edition, 426 Seiten
106,95 Euro (Hardcover), auch als
eBook erhältlich
ISBN: 978-3-642-32792-6

Über das Buch schreibt der Verlag:

The development of the orbits theory lags behind the development of satellite technology. This book provides, for the first time in the history of human satellite development, the complete third order solution of the orbits under all possible disturbances. It describes the theory of satellite orbits, derives the complete solutions of the orbital disturbances, describes the algorithms of orbits determination based on the theory, describes the applications of the theory to the phenomenon of the satellite formation physically. The sub-

jects include: Orbits Motion Equations, Disturbance theory, Solutions of the differential Equations, Algorithms of Orbits determinations, Applications of the theory to the satellite formation. ■



Early Warning for Geological Disasters Scientific Methods and Current Practice

Friedemann Wenzel und Jochen Zschau
(Eds.)
Springer (Advanced Technologies in
Earth Sciences)
2014, 379 Seiten
139,09 Euro (Hardcover), auch als
eBook erhältlich
ISBN: 978-3-642-12232-3

Über das Buch schreibt der Verlag:

Early warning for geologic disasters is a subject of intensive research. Opening up the path for students and lecturers alike, this book presents innovative trends in geoscientific research in this subject. The

book successfully fills a gap in this field. The past years have seen new technologies that could be utilized for early warning and real-time loss estimation. They include self-organizing sensor networks, new satellite imagery with high resolution, multi-sensor observational capacities, and crowd sourcing. From this and improved physical models, data processing and communication methodologies a significant step towards better early warning technologies has been achieved by research.

At the same time, early warning systems became part of the disaster management practice for instance in Japan and Indonesia. This book marks the important point where:

1. Research activities continue to improve early warning
2. Experience with applications is expanding.

At this critical point in development of early warning for geological disasters it is timely to provide a volume that documents the state-of-the-art, provides an overview on recent developments and serves as knowledge resource for researcher and practitioners. ■

System Erde. GFZ-Journal (2013) Jahrgang 3, Heft 2

systemerde.gfz-potsdam.de

Können Kontinente untertauchen?

Kontinentkollision und -subduktion – Tektonik, Tiefenstruktur und geodynamische Prozesse unter dem Pamir, Tien Shan und Hindukusch

Bernd Schurr, James Mechie, Xiaohui Yuan, Felix M. Schneider, Christian Sippl 6-11

Ultrahochdruck-Eklogite aus dem nordwestlichen Himalaya: eine Studie zu den Druck-Temperatur-Zeit-Bedingungen ihrer Exhumation

Franziska D. H. Wilke 12-17

Noch Sekunden bis zu Erschütterung: Ein Erdbebenfrühwarnsystem für Bischkek

Tobias Boxberger, Marco Pils, Sagynbek Orunbaev, Massimiliano Pittore, Kevin Fleming, Claus Milkereit, Stefano Parolai, Dino Bindi 18-23

Risikoanalysen in Zentralasien

Massimiliano Pittore, Marc Wieland, Dino Bindi, Shahid Ullah, Marco Pils, Kevin Fleming, Stefano Parolai 24-31

Massenbewegungen in Zentralasien – Lawinen aus Boden und Gestein

Marco Pils, Sigrid Roessner, Christoph Janssen, Robert Behling, Stefano Parolai, Annamaria Saponaro, Maïke Schäbitz 32-37

Wie steht es um die Gletscher in Zentralasien?

Ein Lagebericht auf der Grundlage satelliten- und bodengestützter Messungen

Daniel Farinotti, Andreas Güntner, Franz Barthelmes, Sergiy Vorogushyn, Doris Düthmann 38-43

Geochemische Untersuchungen an Moränen des Inylchek-Gletschers im Tien Shan

Knut Hahne, Rudolf Naumann, Samuel Niedermann, Hans-Ulrich Wetzel, Silke Merchel, Georg Rugel 44-49

Konflikte um die Georessource Wasser in Zentralasien

Analyse und Neuausrichtung von Entwicklungspfaden im Ferganatal

Sebastian Hoechstetter, Oliver Bens, Christine Bismuth 50-55

Paläoklima, Umwelt und Klimawandel in Zentralasien

Jens Mingham, Stefan Lauterbach, Sushma Prasad, Gerd Helle, Birgit Plessen, Georg Schettler 56-65

