

Resource

Aktuelle Projekte der Bundesanstalt
für Geowissenschaften und Rohstoffe



Geologisches Neuland im Eismeer

Wo Laurasia auseinanderbrach



Tiefsee-Metalle: Der Rauch lichtet sich Reiche Funde im Indischen Ozean
Von Altlasten zu neuen Landschaften Sanierung des Uran-Bergbaus
Süßes Wasser im salzigen Grund Nutzung einer wertvollen Ressource

EDITORIAL



PROF. DR.
HANS-JOACHIM
KÜMPEL

Präsident der
Bundesanstalt für
Geowissenschaften und Rohstoffe

Liebe Leserinnen und Leser,

die Arbeiten der BGR sind für Sie – und sie dienen Ihrem Wohl. Dies wollen wir mit der zweiten Ausgabe von ResOURce erneut dokumentieren.

Etwa zwei Fünftel unserer Arbeiten fallen in den Bereich Forschung und Entwicklung. Als zentrale geowissenschaftliche Beratungseinrichtung der Bundesregierung sichert die BGR so ihre Kompetenz in den Themenfeldern Energierohstoffe und mineralische Rohstoffe, Grundwasser und Boden, Nutzung des unterirdischen Speicher- und Wirtschaftsraums und im Gebrauch von Geoinformationen. Eigene wissenschaftliche Arbeiten garantieren, dass Beratung und Dienstleistungen für Politik, Wirtschaft und Gesellschaft auf qualitativ hohem Niveau erbracht werden.

Die vorliegende Broschüre gibt wieder Einblick in Stand und Ziele bedeutender aktueller Forschungsvorhaben der BGR. Darüber hinaus berichten wir diesmal über spezifische Dienstleistungen, die zu Aufgaben der BGR geworden sind. Es handelt sich um die Arbeit der Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft (GIW), um die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) und um die fachliche Begutachtung von Maßnahmen zur Sanierung der Bergbaualtlasten der Wismut AG. Alle Aufgaben zeigen, wie geowissenschaftliches Expertenwissen unmittelbar in den Dienst der Allgemeinheit gestellt wird.

ResOURce richtet sich an den breiten Kreis von Kunden und Nutzern der BGR sowie an die interessierte Öffentlichkeit. Wir stellen Ihnen Hintergründe, Herausforderungen und Lösungsansätze der spannenden Aufgaben vor, denen sich die BGR widmet. Ich wünsche Ihnen bei der Lektüre viel Spaß. Mein besonderer Dank für die Erstellung dieser Ausgabe von ResOURce geht an Herrn Dr. Jochen Erbacher und an alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des ResOURce-Teams.

Aktuelle Projekte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe



Ob es um unkonventionelle Kohlenwasserstoffe oder seltene Metalle geht, um Grundwasser in trockenen Regionen oder um geothermische Energie: Rohstoffe, internationale Zusammenarbeit und geowissenschaftliche Forschung sind die Arbeitsfelder der BGR. ResOURce stellt die wichtigsten Forschungsvorhaben von 2012 bis 2016 vor.

INHALT

	3-4	Die BGR im Überblick Projekte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
ROHSTOFFE	5-6	Energierohstoffe Gas in der Falle
	7-8	Gashydrat-Suche vor Neuseeland
	9-11	Die Reserven der Kontinentränder
	12	Mineralische Rohstoffe Magnetometer-Test in der Karibik
	13-14	Tiefsee-Metalle: Der Rauch lichtet sich
	15 16	Manche mögens` heiß Rohstoffmonopole gefährden die Innovationskraft
17-18	Kompetenzzentrum für Rohstoffe	
BODEN UND GRUNDWASSER	19-20	Wasser Von Altlasten zu neuen Landschaften
	21-22	Ein schwebendes Verfahren
	23-26	Süßes Wasser im salzigen Grund
	27-28	Wärmebilder vom Toten Meer
	29-30	Messungen aus luftiger Höhe
	31	Boden Kleine Partikel mit großer Wirkung

13-14 **Tiefsee-Metalle:
Der Rauch lichtet sich**



19-20 **Von Altlasten
zu neuen Land-
schaften**



23-26 **Süßes Wasser im
salzigen Grund**



CO₂-SPEICHERUNG

- 32 Vom Guten zu viel
- 33-35 Die Natur als Labor
- 36 Ein Handbuch für CCS-Projekte
- 37 Chemie unter Druck

POLARFORSCHUNG

- 45-46 Polarforschung
- 47-49 Geologisches Neuland im Eismeer
- Nahtstellen unter dem Eis

ENDLAGERUNG

- 38 Endlagerung im Zeitraffer
- 39-40 Geologie und Geomechanik in 3D

GEODATEN

- 53 Geodaten
- Geodaten per Mausclick
- Der Schatz im Keller

GEOthermie

- 41-42 Geothermie
- Schwierige Pionierarbeiten

53
54

- Adressen und Ansprechpartner
- Impressum

ÜBERWACHUNG
KERNWAFFENTESTSTOPP

- 43-44 Überwachung
- Kernwaffenteststopp
- Die Atmosphäre schlägt Wellen

„ Der Planet Erde ist unsere Lebensgrundlage – seine Ressourcen sind begrenzt.“

Deshalb setzt sich die BGR für die Sicherung unseres Lebensraumes Erde und für die nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen ein.

DIE BGR im Überblick

Projekte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Unsere Gesellschaft steht in den nächsten Jahren vor schwierigen Herausforderungen. Der globale Wandel verändert die Erde, wichtige Georessourcen wie Wasser, Boden und einzelne Rohstoffe werden knapp. Forschung und Beratung durch die BGR tragen dazu bei, dass der Lebensraum Erde nachhaltig genutzt werden kann.

Wir, die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), sind das geowissenschaftliche Kompetenzzentrum der Bundesrepublik Deutschland. Als nachgeordnete Fachbehörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) engagieren wir uns dafür, natürliche Rohstoffe nachhaltig zu nutzen und den menschlichen Lebensraum zu sichern – in Deutschland, Europa und weltweit. Unsere Arbeit dient der Daseinsvorsorge der Menschen im gesellschaftlichen Spannungsfeld zwischen ökonomischen, sozialen und ökolo-

gischen Anforderungen. Wir verstehen uns als Partner für Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft auf nationaler und internationaler Ebene. Dabei bringen wir umfangreiche Erfahrungen aus allen Bereichen der Geowissenschaften ein. Wir liefern neutrale und fachkundige Analysen, entsprechend dem neuesten Stand der Forschung.

Wichtige Schwerpunkte der BGR-Tätigkeit sind Forschung und Beratung. Damit trägt die BGR dazu bei, dass Geopotenziale verantwortlich genutzt und die menschlichen Lebensbe-

1873

In Berlin wird die Königlich Preussische Geologische Landesanstalt gegründet und in der Invalidenstraße 44 untergebracht.

1934

Die Zweigstelle in Hannover wird eingerichtet.

1958

Gründung der Bundesanstalt für Bodenforschung.

1958

Erste geophysikalische Expedition unter der Leitung des Deutschen Hydrographischen Instituts mit der V.S. Gauss in die Deutsche Nordsee.

1963

Beginn der Forschungsarbeiten zur Standortuche für die Endlagerung radioaktiver Abfälle.

1965

Herausgabe der ersten Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA1).

1971

Die BGR übernimmt das seismologische Zentralobservatorium Gräfenberg (SZGRF) in Erlangen.

1975

Die Bundesanstalt für Bodenforschung wird in Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) umbenannt.

1979

Deutschland tritt dem internationalen Antarktisvertrag bei. Die BGR nimmt ihre Antarktisforschung auf.



dingungen erhalten oder verbessert werden können. Damit nimmt sie Aufgaben von hoher öffentlicher Relevanz wahr. Ein Kernpunkt der Arbeit der BGR besteht darin, die Bundesregierung in allen Fragen der Rohstoffsicherung zu beraten. So untersuchen die Experten der BGR in der „NIKO“-Studie das Potenzial an Schieferöl und Schiefergas (Shale Gas) in Deutschland (S. 5-6). In der Tiefsee des Indischen Ozeans erkunden BGR-Forscher Vorkommen von Metallerzen am Meeresboden für eine deutsche Explorationslizenz (S. 13-14).

Zuhause wie weltweit engagiert sich die BGR für die nachhaltige Nutzung und den Schutz der Ressourcen Wasser und Boden. So beraten ihre Wissenschaftler als Gutachter das Bundeswirtschaftsministerium bei der Sanierung der ehemaligen Uranbergbaugebiete der Wismut in Thüringen und Sachsen (S. 19-20). Zu den weiteren Aufgaben der BGR gehört die Erkundung des Untergrundes als Speicher- und Wirtschaftsraum. Als mögliche Maßnahme zum Klimaschutz prüft sie, welche Optionen der CO₂-Speicherung im Untergrund bestehen (S. 32-37). Sie untersucht die geologische Sicherheit möglicher Standorte zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (S. 38-40).

Für die Bundesrepublik Deutschland überwacht die BGR die Einhaltung des internationalen Kernwaffenteststoppabkommens und engagiert sich in einem EU-Projekt zur Verbesserung der Atmosphärenbeobachtung (S. 43-44). In multinationalen Projekten beteiligt sich die BGR an der Erforschung

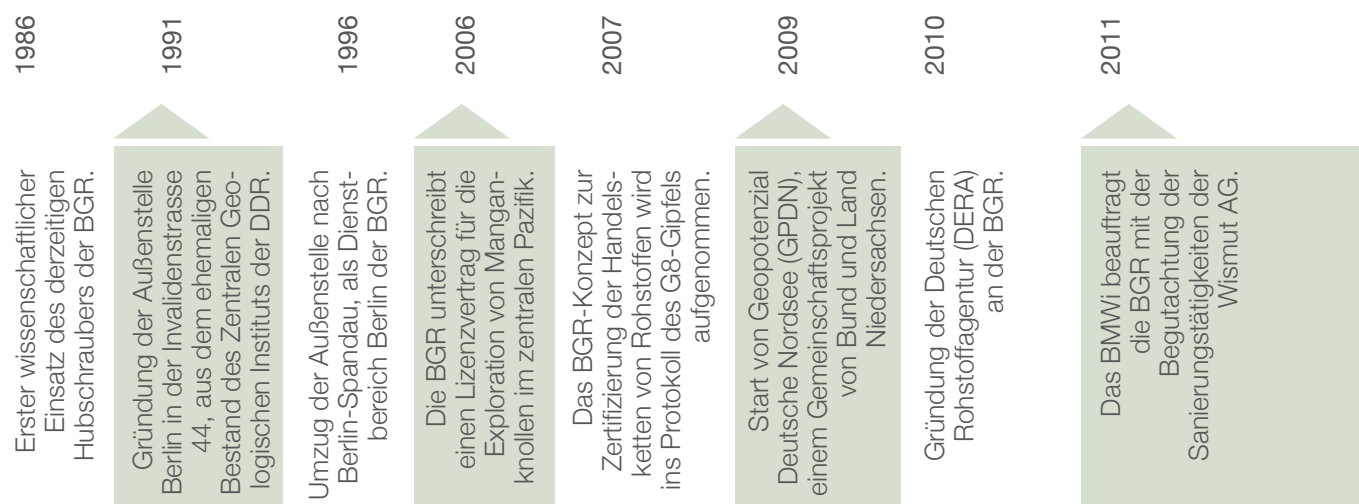
der Polarregionen (S. 45-49). Die BGR pflegt geowissenschaftliche Datenbanken und Sammlungen. Sie sichert die Geo-Daten in kundengerechten Informationssystemen und bietet sie im Internet an (S. 50-52).

Wissenschaftliche Forschung ist ein wichtiger Bestandteil der Tätigkeit der BGR. Die Geowissenschaften bilden gemeinsam mit anderen Disziplinen und der Wissenschaftspolitik das wissenschaftliche Fundament, um globale Zukunftsaufgaben zu lösen. Die Basis dafür ist eine breit angelegte, anwendungsbezogene Forschung zum besseren Verständnis des Systems Erde.

Die BGR leistet auf diesem Feld einen wichtigen Beitrag.



Das Alfred-Benz-Haus, Hauptgebäude des Geozentrums.



Gas in der Falle

Möglicherweise hat Deutschland ein erhebliches Potential für nicht-konventionelle Erdgasvorkommen, z. B. in Kohleflözen und dichten Tonsteinen. BGR-Forscher untersuchen in Experimenten, wie sich Gas und auch Öl in diesen Gesteinen bilden und verhalten – und schätzen ab wie groß die Vorkommen tatsächlich sind.

Die Entstehung von Erdöl und Erdgas ist ein langwieriger Prozess. Er beginnt meistens am Boden eines Meeres oder Sees, wo sich Reste von Algen, Bakterien und Pflanzen zusammen mit feinkörnigen Sedimentpartikeln ablagern. Dieser Schlamm versinkt schließlich in der Tiefe, wird erhitzt und zusammengedrückt. Druck und Temperatur verwandeln den an organischem Kohlenstoff reichen Schlamm in ein Erdöl-Muttergestein: Meist ein dichtes Ton- oder Schiefergestein, in dem unterschiedliche gebildete Kohlenwasserstoffe fein verteilt in winzigen, meist geschlossenen Poren gespeichert sind.

Häufig werden Öl und Gas im Laufe der Zeit durch die Kräfte der Tektonik aus diesem Gefängnis befreit. Weil Kohlenwasserstoffe leichter sind als Gestein, steigen sie nach oben und wandern dabei oft viele Kilometer weit

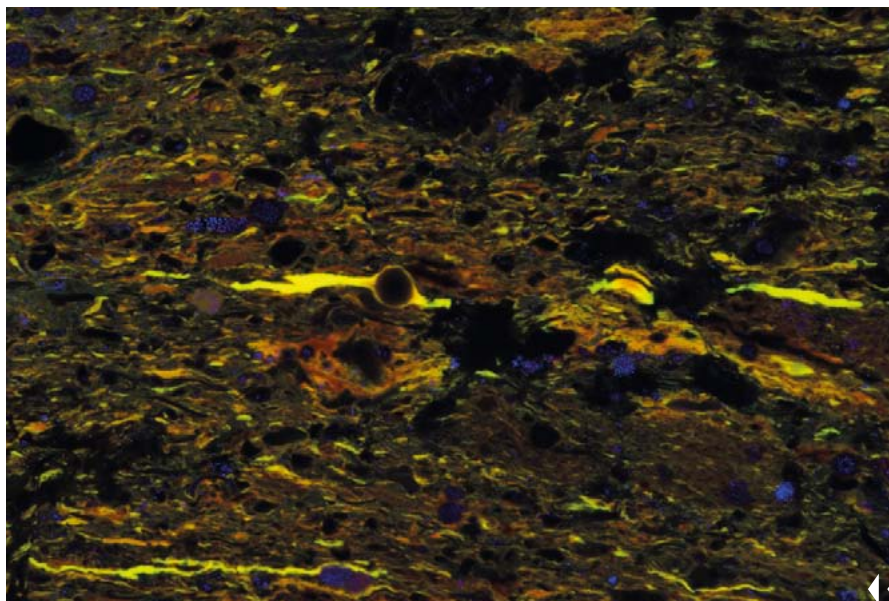
durch die Erdkruste. Versperrt irgendwo eine undurchlässige Gesteinsschicht den Weg, sammeln sich Erdöl und Erdgas in einer Art Falle, meist in einem porösen Speichergestein wie etwa Sandstein. In solchen konventionellen Lagerstätten errei-

chen die Kohlenwasserstoffe eine hohe Konzentration und bleiben lange Zeit stabil. Bei nicht-konventionellen Lagerstätten sind Gas und Öl dagegen häufig noch im ursprünglichen Muttergestein eingeschlossen.

►► Schiefergas (Shale Gas) wird mittlerweile weltweit als bedeutende Ressource angesehen. ◀◀



Offene Pore in organischer Hülle in einem Tonschiefer (Mikroskopische Aufnahme unter Fluoreszenzlicht)



Mikroskopische Aufnahme eines Ölschiefers unter Fluoreszenzlicht. Sichtbar ist das enge Nebeneinander von organischem Material (gelb) und mineralischen Partikeln.

Diese Vorkommen zu erschließen ist wesentlich aufwändiger, weil die Kohlenwasserstoffe nicht in konzentrierter Form vorliegen und weil sie zudem erst aus dem dichten Gestein befreit werden müssen.

Dennoch wird vor allem Schiefergas (Shale Gas) mittlerweile weltweit als bedeutende Ressource angesehen, zumal Erdgas vielen Energieexperten zufolge eine Brücke in das Zeitalter regenerativer Energien bilden kann. Die USA decken ihren Erdgasbedarf mittlerweile nahezu vollständig aus eigenen Quellen, weil dort zusätzlich zahlreiche Schiefergas-Vorkommen erschlossen wurden. Auch Deutschland, das derzeit 89 Prozent des Erdgases aus dem Ausland importiert, besitzt möglicherweise ein erhebliches Potenzial für nicht-konventionelle Erdgasvorkommen.

Bislang gibt es aber keine belastbaren Informationen dazu, welches Rohstoffpotenzial diese Ressourcen in Deutschland tatsächlich besitzen.

Die BGR ermittelt nun im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie eine vorläufige Größenordnung. Dafür charakterisieren die Experten der BGR verschiedene

geologische Formationen und die darin enthaltenen Tonsteine. Die Studie untersucht auch, welche Risiken eine Schiefergasförderung mit sich bringen würde. Die BGR-Experten wollen damit auch dazu beitragen Technologien zu entwickeln, die die Förderung umweltverträglich gestalten können.

Wirtschaftlich förderbare Mengen sind nur in Gesteinen zu erwarten, die reich an organischen Substanzen sind – die also noch einen großen Teil der ursprünglich gebildeten Kohlenwasserstoffe enthalten. Die BGR-Forscher wollen dabei genau verstehen, wie solche Muttergesteine aufgebaut sind. Ihr Hauptaugenmerk liegt darauf, den Porenraum zu untersuchen: Wie sind die Poren vernetzt, wie ist ihre innere Oberfläche beschaffen? Denn auch von diesen Eigenschaften hängt es ab, welche Mengen an Kohlenwasserstoffen in einem Gestein verblieben sein können. Die Forscher bilden den Porenraum zum Beispiel mit speziellen Mikroskopen dreidimensional ab und bestimmen in Hochdruckmesszellen die Fähigkeit der Gesteine, Gas festzuhalten. Anders als in konventionellen Lagerstätten bleiben die organische

Ausgangssubstanz, das Porenwasser, die Minerale im Gestein und die gebildeten Kohlenwasserstoffe in Tonschiefern über geologisch lange Zeit in direktem Kontakt. Dieses Nebeneinander beeinflusst zum einen, wie stabil das gebildete Öl ist, zum anderen aber auch, wann es sich in Gas umwandelt. BGR-Forscher führen Hochdruckexperimente in Goldkapseln durch, um herauszufinden, welche Reaktionen im Ölschiefer bei welchen Temperaturen stattfinden und wie schnell sich dabei Gas bildet.

Andere Experimente untersuchen die Frage, warum die gebildeten Kohlenwasserstoffe nicht abwandern. BGR-Forscher setzen ganze Gesteinskerne einem hohen Druck aus, um herauszufinden, welche Einflüsse die Öl- und Gas-Migration steuern. Während dieser Experimente messen die Forscher, welche Mengen an Kohlenwasserstoffen sich neu bilden und wie viel aus dem Gestein entweicht.

Für die Verwandlung des organischen Materials im Muttergestein zu Öl und Gas sind vor allem hohe Temperaturen verantwortlich. Doch auch Bakterien und andere primitive Einzeller, die Archäen, können Methan – die Hauptkomponente des Erdgases – produzieren.

Diese biogene Gasbildung wird zum Beispiel als Erklärung für das Gasvorkommen im nordamerikanischen Antrim Shale angenommen. BGR-Forscher wollen untersuchen, ob mikrobielle Aktivität in vielen hundert Metern Tiefe tatsächlich zur Bildung wirtschaftlich nutzbarer Gasmengen beitragen kann, und wie schnell dies geschieht. In mikrobiologischen Experimenten besiedeln sie ausgewählte Gesteine, organische Ausgangssubstanzen oder auch Erdöl mit Mikroorganismen und messen, wie viel Gas gebildet wird.

Gashydrat-Suche vor Neuseeland

Gashydrat gilt als Energieträger der Zukunft. Vor Neuseeland haben BGR-Forscherinnen und Forscher eine bislang wenig benutzte Methode erprobt, um die Verteilung von Gashydrat im Meeresboden nachzuweisen.

Am Hikurangi Margin vor der Ostküste der neuseeländischen Nordinsel tritt an vielen Stellen Methan am Meeresboden aus. Diese kalten Quellen befinden sich tausend Meter unter dem Meeresspiegel. Darunter, so vermutet man, hat sich reichlich Methanhydrat gebildet – eine feste, eisähnliche Verbindung aus Wasser und Methan, die nur unter hohen Drücken und niedrigen Temperaturen stabil ist. Nach Meinung vieler Experten könnten Gashydrate in Zukunft ein wichtiger Energierohstoff werden.

Doch wie viel von dem „brennenden Eis“ im Meeresboden schlummert, lässt sich bislang nur grob abschätzen. Gewöhnlich durchleuchten Forscher den Meeresuntergrund mit seismischen Wellen, um herauszufinden wie Sedimentschichten angeordnet sind und wo sich Störungszonen verbergen. Dadurch können sie auch auf mögliche Gashydratvorkommen schließen. Der Nachweis und die Mengenabschätzung sind allein mit seismischen Methoden jedoch schwierig.

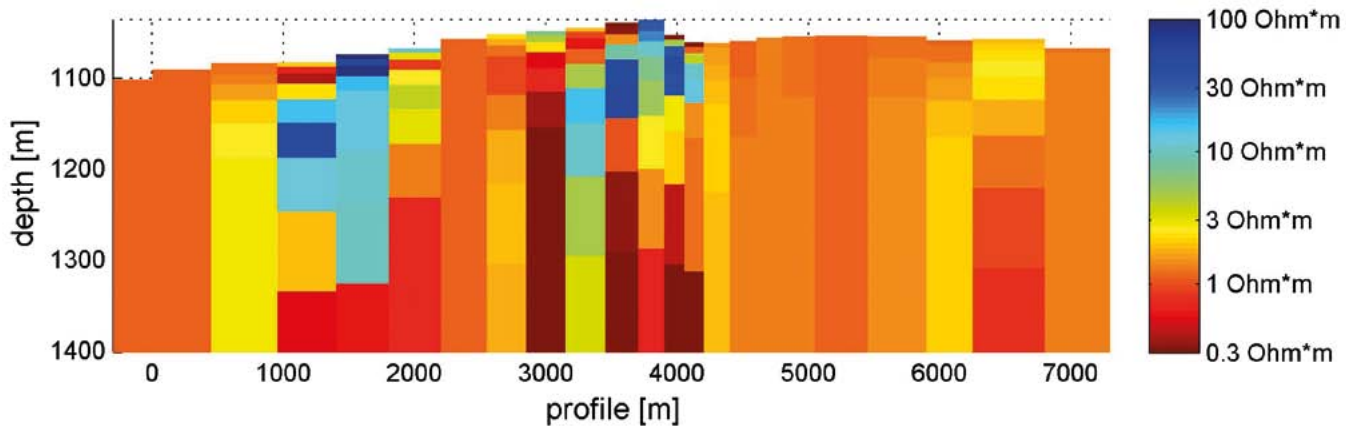
Ein Team um die Geophysikerin Dr. Katrin Schwalenberg von der BGR hat daher ein neues Messsystem entwickelt, mit dem sich die elektrischen Eigenschaften im Meeresboden abbilden lassen. Die Forscher verwenden ein aktives elektromagnetisches Verfahren namens CSEM (Controlled Source Electromagnetic Method). „Der Einsatz des CSEM-Verfahrens zur Untersuchung submariner Gashydrate ist vergleichs-

weise neu und wurde bislang nur von wenigen Institutionen weltweit durchgeführt“, berichtet Schwalenberg.

Die an der BGR entwickelte Apparatur wird hinter einem Forschungsschiff über den Meeresboden gezogen. Eine klobige, pfeilförmige Stahltonne dient als Gewicht und Plattform für die Kontrolleinheit und weitere Messgeräte. Hinter der Tonne befindet sich ein 100 Meter langer, elektrischer Sendedipol, in den Stromsignale eingespeist werden. Dadurch breiten sich elektromagnetische Signale im Meeresboden. Hinter



CSEM Einsatz vor Neuseeland. Das „Pig“ ist eine pfeilförmige Tonne hinter dem die Messkette des CSEM Systems am Meeresboden geschleppt wird. Bevor es ins Wasser geht werden letzte Handgriffe angelegt.



Erste Ergebnisse der CSEM Auswertung. Die blauen Bereiche liegen unterhalb von Methan-Quellen und korrelieren mit Stellen an denen Methangas am Meeresboden austritt. Die elektrischen Widerstände sind hier extrem hoch und deuten auf konzentrierte Gashydratvorkommen unterhalb der Methanquellen hin.

dem Sendedipol werden vier Empfangsantennen in Abständen von 150 bis 750 Metern geschleppt und registrieren die Antwort-Signale aus dem Meeresboden.

Sind die winzigen Poren des Meeresediments von festem Gashydrat anstatt von Meerwasser durchsetzt, ist das in den CSEM-Messungen deutlich zu sehen. „Gashydrat hat eine schlechtere elektrische Leitfähigkeit als das Wasser im Sediment, daher können sich die elektromagnetischen Signale schneller ausbreiten“, erläutert Katrin Schwalenberg. Im April 2011 setzten Schwalenberg und ihr Team

von der BGR das neue Messsystem in einem gemeinsamen Projekt mit Kollegen vom Geomar in Kiel auf dem Forschungsschiff Sonne vor Neuseeland am methanreichen Hikurangi Margin ein. Die erste Auswertung der Daten zeigt: Unterhalb der kalten Methanquellen, ist der elektrische Widerstand des Meeresbodens extrem hoch. Das deutet auf hochkonzentrierte Gashydratlagen hin. Gemeinsam mit neuen seismischen Daten aus dem gleichen Messgebiet ist nun eine viel genauere Abschätzung des Gashydratpotentials möglich.

Nun arbeitet das Team daran, das Messsystem auch fit für andere Anwendungen zu machen: Demnächst wollen sie in der Nordsee in 30 Meter tiefem Wasser nach Erdgas suchen. Auch Erzvorkommen am Meeresboden lassen sich mit elektromagnetischen Methoden abbilden. Allerdings ist der Meeresgrund rund um solche Massivsulfidlagerstätten oft rau und schroff. Die Forscher überlegen zurzeit, welche Messkonfigurationen für Messungen in einem solchen Gebiet am besten geeignet sind.



Die Reserven der Kontinentränder

Auf der Karte der weltweiten Erdöl- und Erdgasvorkommen gibt es noch einige weiße Flecken. BGR-Forscher untersuchen die Kontinentränder vor Grönland und Südamerika mit einem breiten Spektrum an geowissenschaftlichen Methoden.

Ihr Ziel: Innovative Methoden zu entwickeln, um die Menge an Kohlenwasserstoffen im Meeresboden möglichst genau abschätzen zu können.

Argentinien und Westgrönland haben auf den ersten Blick nicht viel gemeinsam. Doch für Erdölgeologen sind beides äußerst interessante Gebiete. Der Südatlantik vor Argentinien und die Baffin-Bucht zwischen Grönland und Kanada zählen zu den so genannten Frontiergebieten – also Regionen, deren Kohlenwasserstoffvorkommen noch vor wenigen Jahren als unerreichbar galten.

In der Arktis werden beispielsweise fast ein Viertel aller weltweit bislang noch unentdeckten Öl- und Gasvorkommen vermutet. Allerdings gibt es bislang nur wenige geologische Daten über den arktischen Ozean und seine Randmeere. Um abschätzen zu können, wo sich dort noch Öl und Gas verbergen könnten, müssen Geologen jedoch wissen, wie die Meeresbecken entstanden sind. Denn Erdöl und Erdgas bilden sich bevorzugt in dicken Sedimentschichten, die relativ schnell abgelagert wurden. Oft sind



solche Sedimente reich an organischem Material, vor allem den Resten mikroskopisch kleiner Meeresalgen. Damit sich diese zähe, eher wachsartige Masse in ein Gemisch aus flüssigen Kohlenwasserstoffen umwandelt, muss sie auf mindestens 60 bis 80 Grad Celsius erhitzt werden. Ab Temperaturen von 150 bis 160 Grad Celsius zersetzt sich das Öl wiederum zu Erdgas. Um abschätzen zu können, welche Temperaturen ein Sedimentbecken erreicht hat

– Erdöl-Experten sprechen vom Reifegrad des Gesteins - ist daher ein Blick auf die tektonische Entwicklung einer Gegend wichtig.

Im Norden der Baffin-Bucht gibt es große Sedimentbecken, denen Experten ein erhebliches Potential für Kohlenwasserstoffe zusprechen. Besonders viele Rätsel gibt die Geschichte der Meeresstraße zwischen Grönland und Baffin Island auf, der größten kanadischen Insel. Die Baffin-Bucht und die anschließende Nares-Straße sind ein- einhalb Mal so groß wie die Ostsee und verbinden den Atlantik mit dem Arktischen Ozean.

Doch die Abschätzungen für diese Region sind sehr unsicher, weil unklar ist, wie sich die Region zwischen Grönland und Kanada plattentektonisch entwickelt hat. Bisher ist bekannt, dass sich die Baffin-Bucht vermutlich vor gut 140 Millionen Jahren öffnete, zu Beginn der Kreidezeit. Damals zerbrach die Landmasse Laurasia, in der Nordamerika, Grönland und Eurasien vereinigt waren. Die Baffin-Bucht war der nördlichste Ausläufer des aufbrechenden Atlantiks. Doch wann die Ozeanspreizung dort zum Erliegen kam, wie die Kontinentränder aufgebaut sind und wie dick



Großes Bild: Der Hubschrauber der FS Polarstern im Einsatz an der Küste Grönlands

Kleines Bild: Ausbringen seismischer Messeinrichtungen an Bord der Polarstern



Das Forschungsschiff Polarstern in der Baffin-Bucht vor der Küste Grönlands

die Sedimentschichten dort sind, war bislang umstritten.

Die BGR hat daher 2010 eine zehnwöchige Forschungsfahrt mit dem Eisbrecher POLARSTERN in die nördliche Baffin Bay vor Westgrönland unternommen. Die Forscherinnen und Forscher haben dort den Untergrund mit seismischen Wellen durchleuchtet, Schwerefeld und Magnetfeld-Anomalien gemessen und zahlreiche Proben genommen.

Der vorläufigen Interpretation der Daten zufolge unterscheiden sich die Nord- und die Südhälfte der Baffin-Bucht relativ stark. Im nördlichen Teil befindet sich ein nicht-vulkanischer, passiver Kontinentalrand, der aus mehreren großen Krustenblöcken besteht. Zwischen den Blöcken liegen Gräben, die während der Riftphase mit Sedimenten gefüllt wurden. In der Südhälfte der Baffin Bucht zeigen die seismischen Messungen dagegen ausgedehnte Flutbasalte, die von einer Sedimentschicht bedeckt sind. An diesem Teil des Kontinentalrandes ist es während der Spreizung offenbar zu Vulkanismus gekommen. Die seismischen Messungen zeigen auch, wo

sich die Spreizungszone befand und dass sich im Zentrum der Baffin-Bucht ozeanische Kruste gebildet hat.

Die Proben, die mit einem neuen, an der BGR entwickelten Verfahren aufbereitet wurden, weisen unterschiedlich hohe Gas-Konzentrationen auf. Die höchsten Konzentrationen wurden im Norden des Meeresbeckens gemessen. Geochemische Untersuchungen zeigen, dass das Gestein dort eine Reife erlangt hat, die zur Erdölbildung ausreicht.

Einige tausend Kilometer weiter südlich, ebenfalls am Westrand des At-

lantiks, untersuchen Erdöl-Experten weitere Öl- und Gasvorkommen. Vor den Küsten Südamerikas, wo das Wasser schon 1000 bis 2000 Meter tief ist, haben sich im Laufe der Erdgeschichte mächtige Sedimentpakete abgelagert. Im Golf von Mexiko und vor Brasilien hat es in den letzten Jahren bereits bedeutende neue Funde gegeben, doch der Kontinentrand vor Uruguay und Argentinien ist bislang noch kaum erforscht. Die BGR will dort nun erstmals das Potenzial an Erdöl und Erdgas großräumig mit neu entwickelten Methoden abschätzen.

Die BGR erforscht diese Gegend bereits seit 1987. In einem bislang einzigartigen Vorhaben sollen nun Methoden der Geologie, Geophysik, Geochemie und Erdölreife-Modellierung mit mathematischen Algorithmen verknüpft werden. Die BGR-Forscher wollen so detailliert abschätzen, welche Größenordnung die Vorkommen in diesem Teil des Südatlantiks erreichen.

Das Tiefwassergebiet vom Rio de la Plata bis nördlich der Falkland-Inseln ist ein vulkanischer Kontinentalrand - ein Typus, der mehr als 70 Prozent aller passiven Kontinentalränder repräsentiert. Als Ergebnis erwarten die Wissenschaftler, in der Zukunft Aussagen über die Größenordnung von Öl- und Gasvorkommen an diesem Kontinentalrand treffen zu können.



Geologische Probennahme an der Küste Grönlands

Magnetometer-Test in der Karibik

Auf einer Expedition des Forschungsschiffes Meteor setzten BGR-Forscher erstmals ein neu entwickeltes und patentiertes See-Magnetometer ein. Damit erkundeten sie den komplizierten Aufbau des Meeresbodens in der Karibik.

Tropische Korallenriffe, türkisblaue Buchten und kilometerlange Palmenstrände: Die Karibik ist ein Urlaubsparadies par excellence. Weniger paradiesisch ist allerdings die Herkunft des Meeresbodens zwischen Kolumbien, Costa Rica, Jamaika, der Insel Hispaniola und den Kleinen Antillen. Vor etwa 90 Millionen Jahren kam es dort zu gewaltigen Vulkanausbrüchen, bei denen Unmengen von Lava aus dem Erdinneren quollen. Die erkalteten Gesteinsschichten bilden eine sogenannte Flutbasaltprovinz. Das Vulkangestein unter dem Meeresboden ist bis zu zehn Kilometer dick und bedeckt ein 800 mal tausend Kilometer großes Areal.

Das genaue Alter und die Herkunft der Flutbasalte waren bislang allerdings unklar. Das lag unter anderem daran, dass magnetische Messungen im Karibischen Meer schwierig sind. Die Flutbasalte mit ihrem „magnetischen Gedächtnis“ aus Eisenmineralen liegen teils unter kilometerdicken Sedimentfächern begraben. Zudem gleicht die Plattentektonik an der Grenze zwischen Nord- und Südamerika einem komplizierten Puzzlespiel.

Bei einer Expedition des Forschungsschiffes METEOR im Frühjahr 2010 erprobten Wissenschaftler der BGR daher einen neuen Magnetometertyp, um endlich genauere Daten aus diesem schwierigen tektonischen Umfeld zu erlangen. Im Unterschied zu bisherigen Instrumenten ist das neue seetaugliche

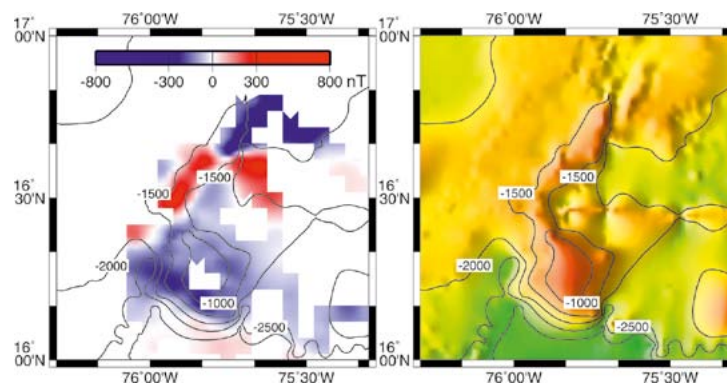
„Vektor-Gradientenmagnetometer“ der BGR in der Lage, die Richtung des Erdmagnetfeldes zu bestimmen und zeitliche Schwankungen des Feldes auszublenden.

Für magnetische Messungen auf dem Meer werden seit den

1960er Jahren überwiegend die robusten Protonenmagnetometer genutzt. „Der Nachteil dieser Instrumente ist, dass sie zwar die Stärke des Erdmagnetfeldes messen, nicht aber seine Richtung bestimmen können“, sagt BGR-Geophysiker Dr. Udo Barckhausen, der das neue Instrument maßgeblich mitentwickelte.

Die neuen Vektor-Magnetometersonden wurden in einem 850 Meter langen Messkabel hinter dem Forschungsschiff hergezogen. Das war nötig, damit die Stahlhülle des Schiffes die Magnetfeldmessungen nicht stört.

Zur Analyse der Daten nutzen die Forscher nun innovative Verfahren, mit denen sie die magnetischen Anomalien und damit die Struktur der Erdkruste sichtbar machen wollen. Ihr Ziel besteht unter anderem darin, Lage und Richtung von Bruchzonen zu bestimmen. Zudem wollen sie ermitteln, wie lange der Vulkanismus dauerte. „Technisch hat alles einwandfrei funktioniert, auch die Datenqualität ist sehr gut“, zieht Barckhausen ein positives Fazit des ersten Einsatzes. Mögliche weitere Anwendungen des neuen BGR-Magnetometers reichen von der Rohstoffsuche über die Plattentektonik bis hin zur Archäologie.



Magnetische Anomalien über einem untermeerischen Vulkan am Hess-Escarpment in der südwestlichen Karibik

Tiefsee-Metalle: Der Rauch lichtet sich

Metallerze vom Meeresboden rücken ins Visier der Rohstoffindustrie. Die BGR bereitet derzeit einen Antrag für eine Explorationslizenz im Indischen Ozean vor. Bei einer ersten Expedition stießen die Forscher auf Erze mit hohen Kupfergehalten.

Die Erzfabriken am Meeresboden sind nicht leicht zu finden. Bedeckt von mehreren tausend Metern Wasser und versteckt in einer spektakulären Berg- und Tal-Landschaft, haben die Schloten der berühmten Schwarzen Raucher oft nur einen Durchmesser von ein paar Dezimetern. In den letzten Jahren hat das Interesse der Industrie an den marinen Erzen stark zugenommen.

Doch die Suche lohnt sich: Die Tiefsee-Quellen spucken Metall-Schwefel-Verbindungen wie Kupferkies, Zinkblende und Pyrit aus. In dem heißen, mineralreichen Cocktail sind auch wertvolle Edelmetalle wie Gold und Silber enthalten, dazu Sondersmetalle wie Wismut, Selen, Tellur oder Indium, die die Elektronikindustrie braucht.

In den letzten Jahren hat das Interesse der Industrie an den marinen Erzen stark zugenommen. Erste Unternehmen haben in den Hoheitsgewässern von Ländern wie Papua-Neuguinea oder Tonga bereits mit Erkundungsarbeiten begonnen. Inzwi-

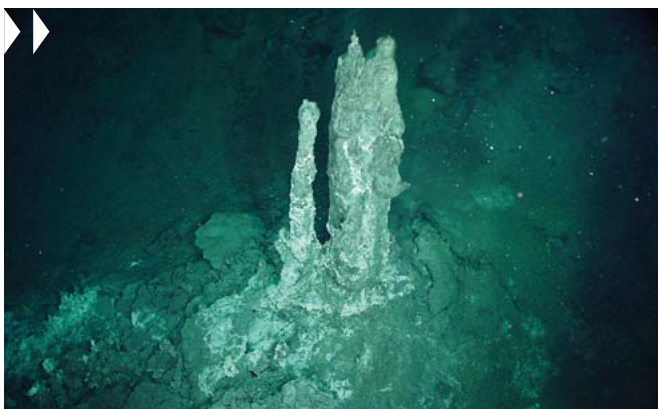
schon ist auch die Exploration in internationalen Gewässern möglich: Im Juni 2010 hat die Internationale Meeresbodenbehörde (ISA) auf Jamaika Regeln zur Lizenzierung der so genannten polymetallischen Sulfidvorkommen verabschiedet. So heißen die Metall-Schwefelerze, die in der Umgebung von Schwarzen Rauchern entstehen.

In dem Regelwerk der Behörde ist festgelegt, dass nur relativ kleine Gebiete zur Exploration vergeben werden. Wer einen Antrag stellen möchte, muss bereits eine genaue Kenntnis der Lizenzgebiete vorweisen und mögliche Mengen abschätzen können. Im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft hat die BGR 2011 mit Erkundungsarbeiten begonnen, um einen Antrag für eine deutsche Explorationslizenz vorzubereiten.

Mit dem Forschungsschiff SONNE waren BGR-Forscher im Herbst 2011 sechs Wochen lang im südlichen Indischen Ozean unterwegs. Das Ziel der Expedition INDEX2011 war ein 500 Kilometer langer Abschnitt des Zentralindischen Rückens. Dieses riesige Unterwassergebirge südöstlich von Madagaskar ist Teil des weltumspannenden Systems der mittelozeanischen Rücken. An diesen Nahtstellen der Erdkruste driften die tektonischen Platten mit einer Geschwindigkeit von wenigen Zentimetern pro Jahr auseinander. Heißes Magma steigt aus dem Erdinneren nach oben. Wie am Fließband wird neue Ozeankruste geboren.

Durch den Vulkanismus an den Mittelozeanischen Rücken entstehen auch die Schwarzen Raucher: Meerwasser sickert durch Spalten tief in den Meeresboden, erhitzt sich und verwandelt sich in eine heiße Säure. Diese aggressive Flüssigkeit

▶▶ Mit dem Forschungsschiff SONNE waren BGR-Forscher im Herbst 2011 sechs Wochen lang im südlichen Indischen Ozean unterwegs. ◀◀



Inaktiver Sulfidschlot oberhalb eines ausgedehnten Sulfidhügels im Sonne-Hydrothermalfeld, Zentralindischer Rücken in 2850 m Wassertiefe

löst Metalle und andere Substanzen aus dem Vulkangestein, steigt wieder nach oben und tritt, bis zu 400 Grad Celsius heiß, an den Kaminen der Schwarzen Raucher wieder aus dem Meeresboden aus.

Trifft die Lösung mit dem kalten Meerwasser zusammen, bilden sich die charakteristischen schwarzen Schwaden, weil die Metallverbindungen schlagartig auskristallisieren. Außerdem reichern sich Erzminerale im Untergrund der Raucher ab. Meist liegen die Schloten daher auf einem Hügel aus Erz. Diese Lagerstätten können die Ausmaße eines Fußball-Stadions erreichen.

Am Zentralindischen Rücken haben deutsche Forschergruppen bereits zwischen 1983 bis 1995 einige aktive und inaktive hydrothermale Quellen entdeckt und untersucht. Während der Expedition INDEX2011 hatten die BGR-Forscher vor allem inaktive Vorkommen im Visier, die zum Teil unter Tiefseesedimenten und vulkanischen Ablagerungen verborgen waren.

In Tiefen zwischen 2800 und 3400 Metern stießen sie gleich auf vielversprechende Vorkommen: Sie entdeckten Erze mit einem Kupfergehalt von bis zu 24 Prozent. „Das sind die höchsten Metallanreicherungen in Massenproben, die bisher vom Meeresboden bekannt sind“, sagt Dr. Ulrich Schwarz-Schampera, Leiter der Expedition. „Die Gehalte liegen deutlich oberhalb der üblichen Kupferkonzentrationen in Landlagerstätten.“ Die Forscher fanden auch Hinweise auf Anreicherungen von Gold, Silber, Wismut, Selen, Tellur und Indium. „Diese Metalle sind in elektronischen Bauteilen heute unverzichtbar“, sagt Schwarz-Schampera.



Zwölf Meter hoher, aktiver Sulfidschlote aus dem Tonga-Inselbogen, Südwest-Pazifik in 500 m Wassertiefe



Die kupferreichen Erze fanden die Forscher vor allem am Rand des aktiven Spreizungsgrabens, in Bereichen mit starker vulkanischer Aktivität. Die Forscher stellten fest, dass inaktive Felder oft relativ ausgedehnt sind, während sich aktive Hydrothermalfelder durch eine konzentrierte Aktivität auszeichnen: Meist strömt das Thermalwasser nur aus wenigen Kaminen, die sich aber auf ausgeprägten Sulfidhügeln türmen. Insgesamt konnten die Forscher mehr als 800 Kilogramm Kupfererze an Bord holen.

Bei der Expedition wurde eine Fläche von etwa 32.000 Quadratkilometern kartiert. Die Forscher untersuchten den Meeresboden zudem geophysikalisch mit magnetischen und gravimetrischen Verfahren. Hierdurch konnten sie auf beiden Seiten des Unterwasser-Gebirges das Alter des Meeresbodens und der Strukturen im Untergrund exakt bestimmen. Diese Daten lassen erkennen, wo sich vulkanisch aktive Gebiete – und damit auch Schwarze Raucher mit ihren Erzhängeln – befinden könnten.

Ein wichtiger Teil der Arbeiten bestand darin, die biologische Vielfalt an aktiven Hydrothermalfeldern zu ermitteln. Biologen vom Senckenberg-Institut in Wilhelmshaven erfassen die Umweltbedingungen, untersuchten die Artenvielfalt und die Besiedlungsdichte der Bodenorganismen. Schwarze Raucher sind nicht nur ein Hort mineralischer, sondern auch biologischer Reichtümer. Bei einem Abbau der Erze muss daher sichergestellt werden, dass die einzigartige Fauna nicht nachhaltig geschädigt wird. Die Biologen stellten fest, dass sich die Fauna im Indischen Ozean von bekannten Quellen im Atlantik und Pazifik deutlich unterscheidet: Im Untersuchungsgebiet dominierten Seeanemonen und Schlotgarnelen, Muscheln fehlten dagegen. Zudem beobachteten die Forscher Borstenwürmer, Schnecken und Schwämme, deren Erbmateriale sie nun untersuchen.

2015 wollen die BGR-Forscher ihren Antrag bei der Meeresbodenbehörde einreichen.

Manche mögen's heiß



Unter heißen Tiefseequellen werden ganz spezielle mikrobielle Lebensgemeinschaften vermutet. Forschungsarbeiten an der BGR sollen klären, wie diese tiefe, heiße Biosphäre funktioniert.

Temperaturen von 80 oder 100 Grad Celsius sind für die meisten Lebewesen auf der Erde tödlich. Einige Mikroben bevorzugen allerdings ein Leben am Siedepunkt. Biologen wissen schon lange, dass diese Hitzeliebhaber auch im Untergrund von heißen Tiefseequellen geeignete Umweltbedingungen vorfinden. Durch ihren Stoffwechsel dürfte diese tiefe, heiße Biosphäre die Chemie der hydrothermalen Flüssigkeiten verändern – und damit wiederum einen Einfluss auf die Entstehung von Metallverbindungen haben, die sich an den Schloten ablagern (Seite 13-14). Doch bislang ist unklar wie tief unterhalb der heißen Quellen Mikroorganismen noch anzutreffen sind. Bei einer Expedition des Internationalen Ozeanbohrprogramms IODP im September 2010 hat ein internationales Forscherteam in der Umgebung einer aktiven Hydrothermalquelle in den Meeresboden gebohrt und Proben entnommen. Mit an Bord des Forschungsschiffes Chikyu auf der Fahrt zum Okinawa-Trog südlich von Japan war BGR-Mikrobiologin Anja Breuker.

„Die hydrothermalen Flüssigkeiten enthalten chemische Verbindungen, die Mikroorganismen als Energiequelle dienen können“, erläutert die Forscherin. Das Forschungsteam auf der Chikyu setzte an fünf Stellen in der Umgebung eines hydrothermalen Feldes insgesamt 24 bis zu 150 Meter tiefe Bohrungen in den Untergrund ab.

Aktive Mikrobengemeinschaften oder auch fossile Einzeller konnten die Forscher jedoch dabei nur an den Stellen nachweisen, an denen Meerwasser in die Tiefe sickert. In der direkten Umgebung der Schloten war es dagegen selbst für die zähesten Mikroben zu heiß: In einigen Bohrungen stiegen die Temperaturen innerhalb von nur 50 Metern von drei Grad Celsius am Meeresboden auf 210 Grad Celsius an. „Die Analysen und Experimente an Bord geben keinen Hinweis auf die Existenz einer heißen Biosphäre unter dem hydrothermalen Feld Iheya-Nord“, heißt es im Expeditionsbericht. An einer Tiefseequelle mit etwas geringeren Temperaturen konnten die Forscher jedoch eisenoxidierende Bakterien nachweisen. Insgesamt lagen die Zellzahlen niedriger als in bisherigen Proben aus dem Meeresboden.

Es gelang den Forschern, einige Vertreter dieser mikrobiellen Lebensgemeinschaften aus dem Okinawa-Trog unter verschiedenen chemischen und physikalischen Bedingungen zu kultivieren. In Zusammenarbeit mit Mikrobiologen von der japanischen Meeresforschungsorganisation JAMSTEC entschlüsselt Anja Breuker derzeit die Zusammensetzung der exotischen Mikrobengemeinschaft mit molekularbiologischen Methoden.

Rohstoffmonopole gefährden die Innovationskraft

Einige seltene Metalle könnten in den nächsten Jahren knapp werden. Die BGR entwickelt eine umfassende Strategie, um dem Mangel vorzubeugen.

Hightech-Metalle wie Indium, Tantal oder Germanium bilden die Grundlage moderner Elektronikprodukte. Ob Photovoltaik-Module, Flachbildschirme, Mikrokondensatoren oder Glasfaserkabel – ohne die seltenen Metalle könnte die deutsche Industrie ihre innovativen Produkte kaum entwickeln. Die Nachfrage nach diesen Rohstoffen steigt weltweit seit Jahren an. Doch nur wenige Länder produzieren die Hightech-Metalle, Deutschland ist komplett auf den Import angewiesen.

Die BGR hat 2010 in einer Studie untersucht, wo die wichtigsten Hightech-Metalle gewonnen werden, welche Vorräte bekannt sind und wie sich die Versorgungssituation bis 2030 verändern könnte. Zu den näher untersuchten Rohstoffen gehörten zum Beispiel Indium, Tantal, Germanium, Gallium, Scandium und Neodym. „Für vier dieser Elektronikmetalle kann sofort Entwarnung gegeben werden“, sagt Dr. Harald Elsner, Mitautor der Studie: Die Produktion der Metalle Gallium und Indium kann leicht gesteigert werden, bei Scandium und Tantal ist der Bedarf gar nicht hoch.

Anders sieht es bei Germanium und Antimon sowie bei Neodym und anderen Seltenen Erden aus, speziell Dysprosium, Terbium und Praseodym. Hier besteht der Studie zufolge ein erhöhtes Versorgungsrisiko. Die BGR ermittelt nun in einem Projekt, wie man der drohenden Verknappung dieser Hightech-Metalle vorbeugen kann. Dabei setzen die Rohstoff-Experten auf unterschiedliche Strategien.

Zum einen wollen sie versuchen, die Monopol-Stellung der Produzenten zu durchbrechen. 95 Prozent der weltweit gehandelten Seltenen Erden stammen beispielsweise aus China, das gleichzeitig einen großen Teil der Metalle selbst verbraucht.

Wenn in Zukunft alternative Produzentenländer wie Indien, Malawi, Vietnam, die Mongolei oder Grönland gestärkt werden, könnte sich das Angebot diversifizieren. Die BGR-Experten setzen auch auf unkonventionelle Lagerstätten wie zum Beispiel Bergbau-Halden. Auch Erze, aus denen Seltene Erden bislang nicht gewonnen

wurden, könnten dabei helfen, den Engpass zu beheben.

Denn anders als der Name andeutet, sind die Metalle der Seltenen Erden gar nicht selten. Neodym kommt in der Erdkruste beispielsweise häufiger vor als Blei. Allerdings liegt es meist nur in geringen Konzentrationen vor.

Die BGR-Experten beteiligen sich daher auch an der Entwicklung neuer Extraktionstechnologien, um bei der Gewinnung von Eisen, Zinn, Uran oder Phosphor auch Germanium, Seltene Erden oder Antimon abzutrennen. Germanium könnte womöglich sogar aus heimischer Kohle gewonnen werden. Ein weiteres Ziel besteht darin, leicht messbare Anhaltspunkte dafür zu finden, in welchen Lagerstätten sich größere Mengen der Hochtechnologiemetalle verbergen könnten. Solche Stellvertreterdaten werden auch Proxies genannt. Die BGR-Forscher konzentrieren sich hierfür auch auf potenzielle Rohstoffe im Meer.



3.2 Milliarden Jahre alte Kupfer- und Silberreiche Mineralverwachsungen aus dem Barberton Grünsteingürtel in Südafrika

Kompetenzzentrum für Rohstoffe

Die Deutsche Rohstoffagentur (DERA) ist die zentrale Informations- und Beratungsplattform für mineralische Rohstoffe und Energierohstoffe. Die BGR-Agentur bietet umfangreiche Rohstoffinformationen an, sie führt Rohstoffrisiko- und potenzialanalysen durch und berät Unternehmen bei der Rohstoffsicherung und Beschaffung.

Ob es um Rohstoffe aus der Mongolei, Kasachstan oder Südafrika geht, oder um die Analyse von weltweiten Rohstoffpotenzialen bei Seltenen Erden oder Elektronikmetallen: Zu allen Rohstoffthemen liefert die 2010 gegründete Deutsche Rohstoffagentur Analysen und Studien für die deutsche Industrie.

Denn Deutschland verfügt zwar über ein beachtliches Potenzial an heimischen Rohstoffen, etwa Steine und Erden, Kali- und Steinsalz oder Braunkohle. Bei den Energierohstoffen Erdöl und Erdgas spielt die Produktion im Inland allerdings nur eine geringe Rolle. Bei metallischen Rohstoffen ist man hier-

zulande sogar fast vollständig auf Metall- und Erzimporte

sowie auf das Recycling angewiesen. „2010 hat Deutschland Rohstoffe im Wert von rund 110 Milliarden Euro importiert, davon entfielen knapp 35 Milliarden Euro auf Metallrohstoffe“, berichtet Dr. Peter Buchholz, der Leiter der Rohstoffagentur, die zur BGR gehört und ihren Sitz in Berlin hat.

Die starke Abhängigkeit von den globalen Rohstoffmärkten wird für die Automobilindustrie, den Maschinenbau und für Elektronik- und IT-Industrie zunehmend zum Problem. Weil die Preise auf den Märkten durch Handels- und Wettbewerbsverzerrungen stark schwanken, fällt es den Unternehmen immer schwerer, Preis- und Lieferrisiken einzudämmen, um innovative Produkte zu wettbewerbsfähigen Preisen auf den Markt zu bringen.

Hier schafft die Deutsche Rohstoffagentur Abhilfe. Ihre Aufgabe besteht vor allem darin, mehr Markttransparenz zu schaffen. „Die Rohstoffagentur stellt rohstoffwirtschaftliche Informationen in einer ganz neuen Qualität zur Verfügung und zeigt Unternehmen bei der Rohstoffversorgung neue Lösungs-

ansätze auf“, erklärt Peter Buchholz. Die Agentur analysiert und bewertet kontinuierlich die internationalen Rohstoffmärkte, sowohl bei den mineralischen Rohstoffen als auch bei den fossilen Energierohstoffen. Die DERA erarbeitet aber nicht nur Studien und Analysen, sondern führt auch Pilotprojekte zur Rohstoffsicherung durch. Dabei geht es zum Beispiel um methodische Fragen, etwa zur Rohstoffeffizienz: Wie kann man vorhandene Rohstoffquellen effizienter nutzen, welche Methoden sind zur Aufbereitung von Reststoffen geeignet? Herausra-

gende Unternehmensbeispiele für rohstoff- und materialeffiziente Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen werden seit

2011 jährlich mit dem Deutschen Rohstoffeffizienz-Preis ausgezeichnet.

Durch ihre Studien und Beratungen liefert die DERA die Basis für Entscheidungen der Industrie, etwa, wenn es um die Diversifizierung von Bezugsquellen geht. Unternehmen stehen häufig vor der Frage, mit welchen Rohstoffproduzenten sie langfristige Lieferbeziehungen eingehen oder ob sie sich bei der Exploration selbst engagieren sollen. Die DERA baut nationale und internationale Netzwerke auf staatlicher und wirtschaftlicher Ebene unter anderem mit rohstoffreichen Ländern auf, um solche Kooperationen zu erleichtern. Neben der Wirtschaft berät die DERA auch Politik und Gesellschaft. Damit leistet sie einen wichtigen Beitrag zur sicheren Versorgung Deutschlands mit Rohstoffen.

►► Durch die Studien und Beratungen liefert DERA die Basis für Entscheidungen der Industrie ... ◀◀

LINK: www.deutsche-rohstoffagentur.de



Viele Metalle für Zukunftstechnologien werden als Nebenprodukte gewonnen. Das Zinkerz der Tres Marias Mine in Mexiko enthält wirtschaftlich interessante Konzentrationen von Germanium, das in optischen Lichtleitern, Solarzellen und Infrarotgeräten zur Anwendung kommt.

Projekte mit der Wirtschaft

Die Deutsche Rohstoffagentur führt Projekte mit dem Ziel der Darstellung neuer Rohstoffpotenziale und Entwicklung neuer Instrumente und Methoden in der Rohstoff- und Bergwirtschaft durch. Die Projekte werden insbesondere als Pilot-Projekte gemeinsam mit der Industrie oder im Vorfeld der Industrie durchgeführt.

Auch die Kooperation mit Rohstoffländern ist ein wichtiger Baustein der Deutschen Rohstoffagentur. Unter Einbindung der Wirtschaft soll mit diesen Kooperationsprojekten zur Sicherung der Versorgung Deutschlands mit Rohstoffen beigetragen werden.

Beispiele für aktuelle Projekte sind:

Entwicklung eines Frühwarnsystems zur Erkennung von Risiken in der Rohstoffversorgung

Ziel des Projekts ist es, die Risiken in der Rohstoffversorgung zu identifizieren sowie Frühwarnindikatoren zur langfristigen Absicherung der Rohstoffversorgung für die deutsche Wirtschaft zu entwickeln. Diese dienen der besseren Bewertung der Rohstoffmärkte und werden zu einem Frühwarnsystem zusammengeführt.

Deutscher Rohstoffeffizienz-Preis 2012

Für den Deutschen Rohstoffeffizienz-Preis 2011 können sich Unternehmen und Forschungseinrichtungen bis zum 17. September 2012 mit innovativen Praxisbeispielen bzw. anwendungsorientierten Forschungsergebnissen bewerben.

Durch Rohstoff- und Materialeffizienz ergeben sich deutliche Wettbewerbsvorteile für die deutsche Wirtschaft – gerade für kleine und mittlere Unternehmen. Gleichzeitig werden

Rohstoffressourcen und die Umwelt geschont. Besonders in Zeiten steigender Rohstoffnachfrage und -preise ist rohstoff- und materialeffizientes Wirtschaften eine gute Strategie zur Erhöhung der Unternehmensrentabilität und der unternehmerischen Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit.

Um den Stellenwert der Rohstoff- und Materialeffizienz und deren Effekte in der Wirtschaft stärker zu verankern, führt das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie in Zusammenarbeit mit der Deutschen Rohstoffagentur – jährlich – den Wettbewerb „Deutscher Rohstoffeffizienz-Preis“ durch. Der Preis zeichnet herausragende Unternehmensbeispiele für rohstoff- und materialeffiziente Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen und anwendungsorientierte Forschungsergebnisse aus. Die Gewinner werden mit einem Geldpreis prämiert.



Von Altlasten zu neuen Landschaften



Luftbild der industriellen Absetzanlage Culmitzsch (Foto: Wismut GmbH)

In Thüringen und Sachsen sind Fortschritte bei der Beseitigung der Folgen des Uranbergbaus deutlich sichtbar. Das Bundeswirtschaftsministerium hat die BGR Anfang 2012 beauftragt, in Zukunft die Sanierungstätigkeit der WISMUT GmbH zu begutachten und zu bewerten.

Wer durch den idyllischen Kurpark von Bad Schlema in Sachsen oder über die Drachenschwanzbrücke im thüringischen Ronneburg spaziert, kann kaum noch erkennen, dass er sich in einer renaturierten Bergbaufolgelandschaft befindet.

Mehr als 40 Jahre lang, zwischen 1946 und 1990, wurde im Osten Deutschlands Uranerz gewonnen. Die bergbaulichen Tätigkeiten hinterließen an den Bergbau- und Aufbereitungs-

standorten in Ronneburg, Seelingstädt, Crossen, Schlema, Pöhla, Königstein und Dresden-Gittersee deutliche Spuren, zum Beispiel Halden, so genannte Absetzanlagen und ein Tagebaurestloch.

1991 gründete die Bundesregierung die WISMUT GmbH mit dem Auftrag, bei den Hinterlassenschaften des ehemaligen Uranerzbergbaus Stilllegungs- und Sanierungsarbeiten durch-

zuföhren. Die Gesellschafterrolle nimmt seither das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) wahr.

Seit Beginn der Sanierungsarbeiten der WISMUT GmbH sind mehr als 20 Jahre vergangen. Das Unternehmen kann auf eine erfolgreiche Sanierungstätigkeit in Sachsen und Thüringen zurückblicken. Die Lebensqualität der Menschen in den ehemals vom Uranbergbau betroffenen Regionen ist enorm gestiegen. Auch die Umweltbedingungen haben sich verbessert. In wenigen Jahren wird kaum noch zu erkennen sein, dass es sich um Bergbaufolgelandschaften handelt. Für die Sanierung hat die Bundesregierung bisher rund sechs Milliarden Euro zur Verfügung gestellt.

Trotzdem gibt es vor Ort noch einiges zu tun. Bisher konzentrierte sich die WISMUT GmbH auf die untertägige Sanierung, die Verwahrung von Halden und Absetzanlagen sowie Abriss- und Demontearbeiten. Inzwischen sind diese Arbeiten weit fortgeschritten. Nun rücken andere Fragen in den Vordergrund: Flutungs- und Sickerwässer müssen behandelt werden, es müssen Maßnahmen getroffen werden, um Schadstoffeinträge in Oberflächen- und Grundwässer zu reduzieren. Experten der BGR werden das Bundeswirtschaftsministerium ab 2012 insbesondere zu letzterem Aspekt fachkundig beraten

– eine Aufgabe, die im neu gegründeten Arbeitsbereich „Altlasten und Umweltmonitoring, Bund“ angesiedelt ist.

Im laufenden Jahr sollen die Experten der BGR Arbeiten im Gessental am Wismut-Standort Ronneburg in Thüringen begleiten. Dabei geht es z.B. um die Vermeidung von flutungsbedingten Umweltbeeinträchtigungen im Gessenbach. Auch Arbeiten auf den industriellen Absetzanlagen (Abbildung 1) stehen auf der Agenda. Am Standort Königstein begleiten die BGR-Experten das Genehmigungsverfahren zur Flutung des ehemaligen Uranbergwerkes (Abbildung 2). Am Standort Aue wird der Bau eines 1,2 Kilometer langen Entwässerungstollens, des sogenannten „Südumbruchs“, eine zentrale Rolle spielen.

Wahrscheinlich werden die Kernsanierungsarbeiten erst nach 2020 beendet sein. Langzeitaufgaben werden sich anschließen. So müssen zum Beispiel Flutungs- und Sickerwässer aufgefangen und behandelt werden, abgedeckte Flächen bei Halden und Absetzanlagen müssen gepflegt werden. Zusätzlich ist es nötig, ein umfassendes Umweltüberwachungssystem zu betreiben und dauerhaft bergmännische Kontrollarbeiten durchzuführen.



Vorbereitung der Flutung der Grube Königstein (Foto: Wismut GmbH)

Ein schwebendes Verfahren

Die Transienten-Elektromagnetik ist ein relativ neues Verfahren, um Erze oder Grundwasser in trockenen Gebieten aufzuspüren. Bislang erschwerten unhandliche Sende-Antennen die Anwendung. BGR-Forscher lassen die Spulen nun in die Luft steigen – mit Hilfe eines Ballons.

Das Ding sieht aus wie ein weißer Schwimmring. Nur die Dimensionen stimmen nicht: Der torusförmige Ballon ist so riesig, dass er eine große Turnhalle ausfüllt. Er hat einen Durchmesser von 20 Metern, der Schlauch ist zwei Meter dick. Der skurrile Heliumballon soll demnächst in die Luft steigen – als Teil einer neuen Messapparatur, die die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes mit der so genannten Transienten-Elektromagnetik (TEM) erkundet.

Bei diesem Verfahren fließt für kurze Zeit elektrischer Strom in einer ringförmigen Antenne und erzeugt dabei ein starkes, vertikales Magnetfeld. Wird der Strom in der Antenne abgeschaltet, zerfällt das Magnetfeld und erregt dabei in leitfähigen Materialien im Boden, zum Beispiel im Grundwasser

oder in metallischen Erzen, Ringströme, die den Zerfall des Magnetfeldes bremsen. Registriert man den zeitlichen Verlauf des Zerfalls, kann man auf die räumliche Verteilung der leitfähigen Materialien im Boden schließen, z.B. auf die Verteilung von Grundwasser. Das TEM-Verfahren eignet sich zur Erkundung der Leitfähigkeit des Untergrundes bis in Tiefen von einigen hundert Metern. Ein Nachteil ist allerdings die riesige Sendeantenne die das Verfahren aufwändig macht.

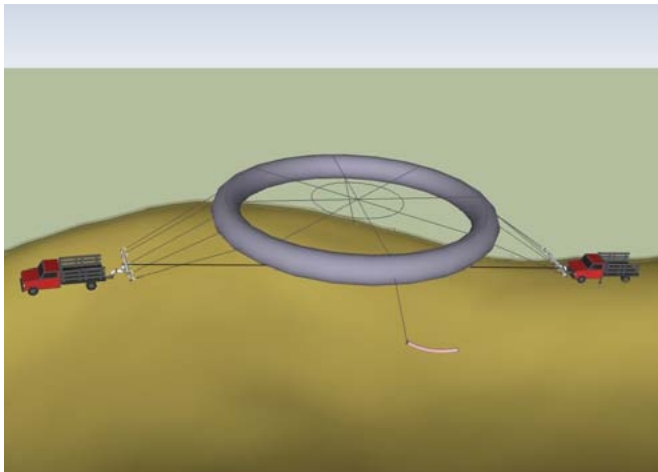
„Bei herkömmlichen TEM-Messungen wird die ringförmige Antenne für jede Einzelmessung auf dem Boden ausgelegt. In semiariden Gebieten müssen dazu meist Büsche gerodet werden“, berichtet Friedrich Schildknecht. Nach jeder Messung werden Antenne und sämtliche Apparaturen abgebaut,



Aufbautest des Torus-TEM-Ballons in einer Turnhalle

in einem Messfahrzeug verstaut und zum nächsten Messpunkt gefahren. „Das ist anstrengend und schweißtreibend, speziell unter tropischen oder subtropischen Bedingungen“, sagt Schildknecht. Mehr als zwei bis fünf Sondierungen pro Tag sind normalerweise nicht möglich, obwohl eine Messung nur wenige Minuten dauert.

Mit dem neuen Verfahren, das die BGR-Forscher Torus-TEM genannt haben, entfällt der komplizierte Messaufbau. Der schwebende Schwimmring hebt die ringförmige Sendeantenne und die kleinere Empfangsantenne einige Meter in



Verspannt zwischen zwei Geländewagen kann der Torus-Ballon zu den Messpunkten transportiert werden.

die Luft. Der Ballon wird mit einem System von Leinen zwischen zwei Geländewagen verspannt, die in festem Abstand hintereinander herfahren. Für Messungen auf Seen oder Flüssen können statt Autos Boote eingesetzt werden und für kleinräumige Untersuchungen kann der Ring auch von wenigen Personen zu Fuß bewegt werden. So sind Sondierungen auf einem engmaschigen, präzisen Raster möglich.

Bei einem typischen Einsatz wird die Sendeantenne automatisch aufgespannt und angehoben, wenn der Ballon mit Helium gefüllt wird. Die übrigen Apparate, die für TEM-Messungen notwendig sind - Sender, Empfänger und Stromversorgung - bleiben in den Messfahrzeugen. Das Gespann braucht für eine Messung nicht einmal anzuhalten. Während einer Messkampagne kann der Ballon wochenlang in der Luft bleiben. Nachts wird er mit Pflöcken und Sandsäcken fixiert.

Damit ist das Torus-TEM-Verfahren wesentlich schneller als die bisher üblichen Bodenmessungen. Da die Kosten eines Ballons lediglich ca. 50% der Kosten einer handelsüblichen TEM Apparatur betragen, liegen die Kosten für eine Erkundung mit Ballon, wegen der hohen Messgeschwindigkeit vermutlich meist weit unter den Kosten einer klassischen, bodengebundenen Erkundung. Das macht das Ballonkonzept auch für kleine Consulting Büros attraktiv. Das System ist zudem vergleichsweise handlich und leicht zu transportieren. Zusammengefaltet passt der Ballon in einen Minibus. Die Forscher

gehen davon aus, dass das System auch für kleinere Consultants interessant und erschwinglich ist.

Derzeit arbeiten sie noch daran es praxistauglich zu machen. In tropischen Gebieten dürfte es zum Beispiel nötig sein, einen Druckausgleich zu schaffen. Wenn es mittags wärmer wird, könnte der Ballon sonst platzen. Damit das teure Helium nicht abgelassen werden muss, soll im Innern des Ballons ein zweiter, mit Luft gefüllter Schlauch eingezogen werden, ein so genanntes Ballonet. Die Luft kann bei Bedarf entweichen und wieder aufgefüllt werden.

Eine weitere Aufgabe der Forscher besteht darin, einen geeigneten Sender zu entwickeln, dessen Signal bis in große Tiefen vordringen kann. Trotz der relativ geringen Fläche der Antenne muss dafür ein starkes magnetisches Moment erzeugt werden. Um das zu erreichen, sind hohe Ströme und Sendespulen mit mehreren Windungen nötig. Bei flachgründigen Messungen sollen dagegen handelsübliche Sender und Empfänger zum Einsatz kommen. Damit könnten zum Beispiel Grundwasserlinsen in geringen Tiefen genauer untersucht werden als bislang möglich.

Die Forscher sehen weitere Einsatzmöglichkeiten für ihr neues System. „Der Ballon kann mit weiteren geophysikalischen Sensoren bestückt werden“, sagt Schildknecht. Damit wäre es möglich, zeitgleich mit der elektrischen Leitfähigkeit zum Beispiel auch Magnetfelder und Gammastrahlenintensitäten zu messen oder Infrarot- und Bodenradar-Messungen durchzuführen. Auch das Magnetresonanz-Verfahren (NMR) könnte durch den torusförmigen Ballon verbessert werden. Diese Methode, die auf dem gleichen Prinzip beruht wie ein Kernspin-Tomograph in der Medizin, benutzt ebenfalls große ringförmige oder quadratische Antennen, die auf dem Boden ausgelegt werden. Oft ist die Auflösung der NMR-Messungen durch die Interaktion der Antenne mit oberflächennahen Bereichen des Untergrundes beeinträchtigt. Wird die NMR-Antenne zur Messung angehoben, entfällt diese Störquelle. Mit dem Torus-Ballon ist dies bald kein Problem mehr.



Süßes Wasser im salzigen Grund



Wasser ist ein kostbares Gut – sowohl im Wüstenstaat Namibia als auch auf den deutschen Nordsee-Inseln. In beiden Gebieten untersuchen BGR-Forscher, wie sich Grundwasserreservoirs verantwortlich nutzen lassen.

Die berühmte Etosha-Pfanne im Norden Namibias ist, wie viele Gegenden in Afrika, von Extremen geprägt: Meist ist der riesige See bis auf einige salzige Pfützen ausgetrocknet. Der aufgesprungene Boden wirkt grau, weil er von einer dünnen Salzschrift bedeckt ist. Doch in feuchten Sommern läuft die Etosha-Pfanne voll

Wasser und erinnert an den riesigen See, den es hier vor Jahrmillionen einmal gab. Das

Cuvelai-Etosha-Becken, in dem die Etosha-Pfanne liegt, ist ein großes Sedimentbecken innerhalb des südwestafrikanischen Hochlandes. Die Hochebene zählt zu den bevölkerungsreichsten Regionen Namibias, doch Wasser ist dort ein kostbares Gut: Größere Flüsse wie der Kunene und der Okavango, die vor vielen Jahrtausenden den Etosha-See speisten,

fließen heute an dem Becken vorbei. Oberflächenwasser gibt es lediglich während der Regenzeit im Sommer, im Winter herrscht Dürre.

Die wachsende Bevölkerung wird aufwändig mit Wasser aus einem Stausee des Kunene, gelegen im Nachbarland Angola,

versorgt. Das System aus Pumpen, Rohren und Kanälen ist jedoch ineffizient. Zudem werden wei-

te Gebiete des Beckens durch das Kanalnetz nicht erreicht. Dort muss die Bevölkerung auf Grundwasser zurückgreifen – eine Ressource, die nicht leicht zu nutzen ist. Denn unter der Hochebene befindet sich ein komplexes System aus geschichteten Grundwasserleitern, die teilweise mit Salzwasser gefüllt sind.

Erkundungsbohrungen im
Cuvelai-Etsha Becken





Wissensvermittlung ist ein wichtiger Bestandteil des Projekts in Namibia (hier durch einen Geologen der Wasserbehörde Namibias)

Zusammen mit der Namibianischen Wasserbehörde will die BGR ein Grundwassermanagement-System für das Cuvelai-Etosha-Becken etablieren, um die Wasserversorgung der Bevölkerung zu verbessern. Die Forschung der BGR ist wichtig, weil sich die Grundwasserressourcen im Cuvelai-Etosha-Becken mit klassischen Herangehensweisen kaum verstehen lassen. So ist bislang noch unklar, wie sich Süß- und Salzwasser im Untergrund verteilen, wie viel Grundwasser sich jedes Jahr neu bildet und wie viel Wasser man entnehmen kann, ohne das System zu übernutzen.

Die BGR-Forscher konzentrieren sich auf tiefe, bislang nicht genutzte Grundwasserleiter. Denn erstaunlicherweise gibt es im Norden Namibias unterhalb von ungenießbar versalzene Grundwasser noch Sedimentschichten, die Süßwasser enthalten – eine Konstellation, die höchst ungewöhnlich ist. Wieso das schwerere Salzwasser nicht nach unten sinkt und sich mit dem Süßwasser vermischt, ist rätselhaft. Bohrungen haben gezeigt, dass sich die verschiedenen Grundwasserleiter innerhalb einer fast 400 Meter dicken Sandschicht befinden. „Dieser Sand ist kaum verfestigt, fast so locker wie am Strand“, sagt Dr. Falk Lindenmaier vom Projektteam. Bei den Sedimenten handelt es sich um die in Afrika weit verbreiteten Kalahari-Schichten. Sie wurden über Jahrmillionen aus den umliegenden Gebirgen in das Becken transportiert und enthalten nur geringe Tonanteile. „Es handelt sich um die Se-

dimente eines Deltas, das früher in das Becken mündete, ähnlich dem heutigen Okavango-Delta“, berichtet Lindenmaier. In der Mitte der Kalahari-Schichten befindet sich ein mächtiger, mit Salzwasser gefüllter Grundwasserleiter. Darunter liegt eine ebenfalls mit salzigem Grundwasser gesättigte Schicht, die das Wasser nicht leitet, sondern staut. Und darunter wiederum fließt das kostbare Süßwasser. Die Forscher haben den Verdacht, dass in der stauenden Schicht Tonminerale die Zwischenräume der Sandkörner zugesetzt haben und nun den Durchgang versperren. „Wenn man sich das Material anschaut, sieht man davon allerdings nichts, die Proben sehen alle sehr ähnlich aus“, sagt Lindenmaier.

Um den merkwürdigen Sachverhalt zu verstehen, wollen die BGR-Forscher nun die Entstehungsgeschichte des Beckens untersuchen, die einem engen Wechselspiel von Klimaschwankungen und Erdbewegungen unterlag. Wenn klar ist, wie viel Niederschlag der Norden Namibias in der Vergangenheit aufgenommen hat und aus welcher Richtung das Wasser in das Becken floss, lässt sich auch der komplizierte Aufbau der Grundwasserstockwerke besser verstehen. Weitere Erkundungsbohrungen sind geplant, um die rätselhaften, tonhaltigen Sande genauer zu untersuchen. „Kernbohrungen in Nord-Namibia sind eine logistische Meisterleistung“, sagt Lindenmaier. „So etwas wurde vermutlich seit mehr als 40 Jahren dort nicht mehr durchgeführt.“ Die Ergebnisse der

Forschungsbohrung sollen anschließend die Grundlage für ein nachhaltiges Grundwassermanagement liefern.

Ab auf die Insel

Im Gegensatz zu Namibia leidet Deutschland kaum unter Wassermangel. Doch auch hierzulande gibt es Regionen, in denen die Versorgung schwierig ist. Zum Beispiel die Nordseeinseln Langeoog, Borkum, Norderney oder Sylt liegen mitten im Meer auf einem sandigen und porösen Untergrund. Normalerweise sollte das Grundwasser dort salzig sein, doch erstaunlicherweise verfügen viele Inseln über ein linsenförmiges Süßwasserreservoir.

Solche Süßwasserlinsen entstehen, wenn Regenwasser in einen porösen, mit Salzwasser gefüllten Untergrund sickert. Süß- und Salzwasser können sich zwar theoretisch mischen, doch häufig bleiben die beiden Flüssigkeiten getrennt, wenn das Süßwasser nur lange genug ungestört einsickern kann. Aufgrund seiner geringeren Dichte schwebt das Süßwasser sozusagen auf dem Salzwasser. Die Übergangszone ist meist nur wenige Meter breit.

Bei der Nutzung von Süßwasserlinsen ist allerdings Vorsicht geboten. Denn zwischen Süß- und Salzwasser herrscht ein empfindliches Gleichgewicht. Wird zu viel gefördert, kann eindringendes Salzwasser eine Süßwasserlinse für lange Zeit zerstören. Auch im Inland, beispielsweise in manchen Gebieten Südamerikas, treten Süßwasserlinsen auf.

Wasserforscher der BGR untersuchen daher, wie Süßwasserlinsen auf Inseln und im Inland entstehen und wie sie sich durch Wasserentnahme verändern. Dabei benutzen die BGR-Experten verschiedene Methoden. In Laborversuchen verwenden sie wenige Zentimeter breite Plexiglasmodelle, um den Querschnitt einer Insel nachzubilden. Wie durch ein Fenster können die Forscher dabei in eine Süßwasserlinse hineinschauen und sehen, wie sich das Wasser bewegt. Das Wasser markieren sie dabei mit unterschiedlichen Farbstoffen, so genannten Tracern. Die meist mehrtägigen Experimente werden gefilmt und anschließend im Zeitraffer ausgewertet.

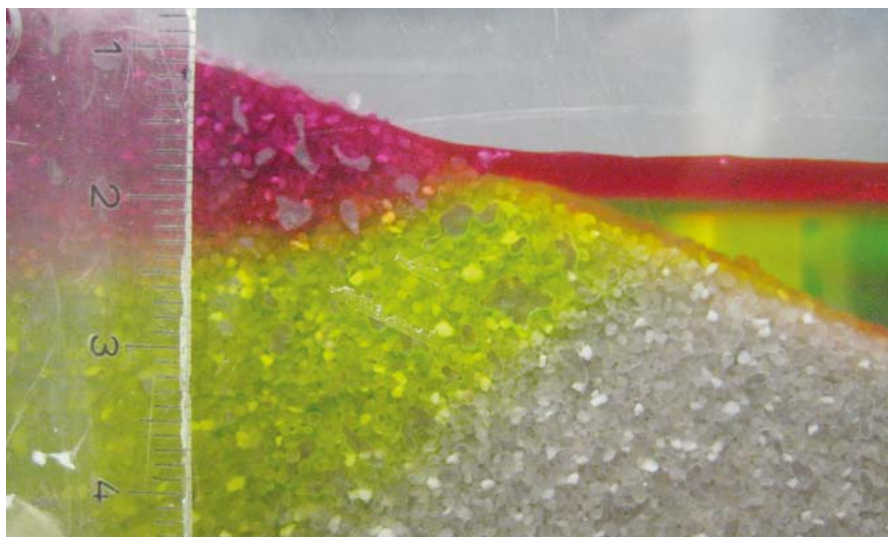
Anhand der Experimente werden außerdem numerische Modelle überprüft, mit denen BGR-Forscher dichteabhängige Grundwasserströmungen simulieren. So können sie überprüfen, ob die mathematischen Modelle die Wirklichkeit genau genug nachbilden. Die numerischen Modelle helfen wiederum, die Lücke zwischen dem Labor- und dem Geländemaßstab zu schließen.

Natürliche Süßwasserlinsen wollen die BGR-Forscher auf den Ostfriesischen Inseln untersuchen. Mit geophysikalischen Untersuchungsmethoden, zum Beispiel der

Hubschrauberelektromagnetik, wollen sie ein dreidimensionales Bild des süßen Schatzes im Untergrund aufnehmen. Zudem wollen sie Isotopenuntersuchungen durchführen, um das Alter des Grundwassers sowie die Grundwasserneubildung zu bestimmen.

Die Süßwasserlinsen sind nicht nur durch zu starke Nutzung, sondern auch durch den Klimawandel gefährdet, etwa durch den Anstieg des Meeresspiegels. Auch diese Veränderungen sollen im BGR-Projekt untersucht werden.

►► Natürliche Süßwasserlinsen wollen die BGR-Forscher auf den ostfriesischen Inseln untersuchen. ◀◀



Wärmebilder vom Toten Meer

Wärmebildkameras können verborgene Grundwasserquellen sichtbar machen. BGR-Forscher haben zusammen mit Kollegen vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) am Toten Meer eine Messkampagne durchgeführt, um bislang unbekannte Zuflüsse aufzuspüren.

Die Stunden vor dem Morgengrauen sind die beste Zeit für Wärmebilder. „Dieser Zeitraum ist thermal am stabilsten und am wenigsten beeinflusst“, sagt Friedhelm Schwonke. Die Piper Navajo, die das Forscherteam im Januar 2011 für eine Messkampagne gechartert hatte, stieg daher gegen zwei Uhr nachts vom Flughafen in Be'er Sheva auf. Das Ziel des kleinen Propellerflugzeugs war das Westufer des Toten Meeres. In fünf Nächten nahmen Schwonke und seine Kollegen 8000 Thermalbilder auf, insgesamt fotografierten sie eine Fläche von 200 Quadratkilometern.

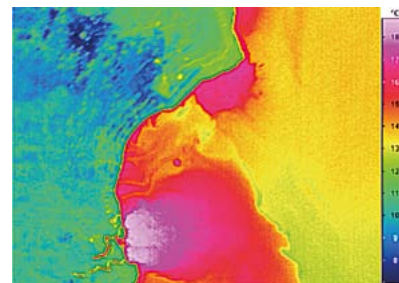
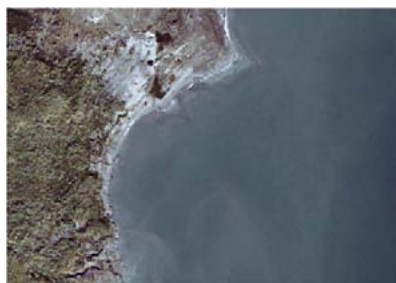
Die Bilder, die bei der Befliegung entstanden, ähneln den Thermografien, die Hausbesitzer anfertigen lassen: Kalte Flächen erscheinen auf den Wärmebildern blaugrün, warme Gebiete dagegen je nach Temperatur gelb, rot oder magenta. Am Toten Meer waren die Forscher verborgenem Grundwasser auf der Spur: mit einer Temperatur von 25 Grad Celsius und mehr ist es deutlich wärmer als die Landoberfläche und auch als das Oberflächenwasser des Toten Meeres, das in den Winternächten auf etwa 14 Grad abkühlt.

„Der Wasserspiegel des Toten Meeres sinkt seit Jahren im Durchschnitt um 0,7 Meter“, berichtet Ulf Malast vom UFZ. 2011 lag der Wasserspiegel bereits 425 Meter unter Normal Null. Gründe dafür sind, dass der Jordan, als wichtigster Zufluss, intensiv für die Bewässerungswirtschaft genutzt wird. Zusätzlich sind die, ins Tote Meer mündende Wadis meist eingedämmt, weshalb kaum noch Oberflächenwasser ankommt. Unvermindert strömt dem riesigen Salzsee qualitativ hochwertiges Grundwasser zu, das durch Niederschläge in den umliegenden Bergen neu

gebildet wird. Das Wasser versickert in die Kalk- und Sandsteine und strömt schließlich unterirdisch bis zum Toten Meer.

Wie groß die Grundwassermenge ist, die dem Toten Meer jedes Jahr zufließt, ist allerdings unsicher. Bisherige Mengenangaben sind noch zu ungenau und basieren entweder auf Computersimulationen oder auf vereinzelt Messungen. Das Ziel des vom UFZ koordinierten Forschungsvorhabens SUMAR besteht darin, diese Bilanzierung erheblich zu verbessern. Die Forscher nutzten die zu bestimmten Zeitpunkten im Jahr günstigen Temperaturunterschiede zwischen Grund- und Seewasser, um mit Hilfe von Wärmebildern Zutritte aus der Luft zu lokalisieren.

Die Messkampagne im Januar 2011 erwies sich als voller Erfolg: Auf den Wärmebildern waren Stellen, an denen Grundwasser ins Tote Meer eintritt, anhand von Farbanomalien, die das zufließende wärmere Grundwasser abbilden, deutlich zu sehen. „Die Luftbilder dienen dazu, eine detaillierte hydrogeologische Kartierung anfertigen zu können“, erläutert Christian Siebert vom UFZ. Dabei nutzten sie eine spezielle Ausrüstung der BGR für Thermal- und Luftbilderkundung, welche aus einer



Etwa in der Mitte des Thermalbildes (rechtes Bild) ist im Unterschied zum Farbluftbild sehr genau eine kreisrunde Thermalanomalie zu erkennen, an der das relativ wärmere Süßwasser an die Wasseroberfläche dringt. In der Mitte der unteren Bildhälfte befindet sich eine breite Thermalfahne, die sich von der Küste weg in das Tote Meer hinein ausdehnt. Auch hier fließt dem Toten Meer Süßwasser zu.



Infrarotkamera, einer Luftbildkamera, einer die Bewegungen des Flugzeugs ausgleichenden Stabilisierungsplattform und einem speziellen Computer, der die Bilder aufnimmt und speichert, besteht. „Dieses AERO-FE Messsystem kann in Flugzeugen oder Hubschraubern eingesetzt werden. Die erhobenen Messdaten werden durch die BGR mit spezieller Fachsoftware prozessiert, um dann durch die Wissenschaftler vom UFZ hydrogeologisch interpretiert zu werden“, erläutert Schwonke.

Aufgrund der Form und Ausdehnung der Temperaturanomalien konnten mehrere Quellentypen identifiziert werden. Zum einen gibt es die bekannten Quellen an Land, deren Wasser durch mäandrierende Erosionskanäle ins Tote Meer fließt. Wenn das Quellwasser auf das kältere und dichtere Salzwasser des Toten Meeres trifft, bildet sich eine breite Thermalfahne aus. Ähnliche Quellen gibt es auch unter Wasser, aus denen das süßere Grundwasser durch das erheblich dichtere Wasser des Toten Meeres nach oben dringt und sich auf den Wärmebildern in Form kreisrunder Anomalien an der Wasseroberfläche abzeichnet.

Daneben fanden die Forscher flächige Wärmeanomalien in der Nähe des Ufers. „Sehr häufig ist ein bislang noch nicht beobachteter unregelmäßiger Saum entlang der Küste zu sehen, der offensichtlich einen diffusen aber erheblichen oberflächennahen Grundwasserzustrom anzeigt“, berichtet Siebert.

Überrascht waren die Forscher davon, dass einige Gebiete an Land ebenfalls wärmer sind als die Umgebung. Sie vermuten, dass Grundwasser den Boden dort durchfeuchtet und dieser daher nachts die Wärme besser speichert als benachbarte trockene Bereiche. „Anhand dieser Thermalmuster sollte es möglich sein, das ufernahe lokale Grundwasserfließsystem und die hydrogeologischen Verhältnisse besser zu verstehen“, sagt Mallast.

In den nächsten Schritten wollen die Forscher die Daten genauer auswerten. Die thermalen Rohdaten müssen zum Beispiel noch anhand gemessener Lufttemperaturen korrigiert werden. Die Daten der Wärmebildkamera werden außerdem mit Temperaturmessungen in den Quellen an Land und im Wasser abgeglichen.

Ihr Ziel besteht darin, die Grundwasserquellen nicht nur zu lokalisieren, sondern auch die Wassermenge zu bestimmen, die in das Tote Meer strömt. Letztlich soll damit der gesamte Grundwasserzufluss auf der westlichen Seite des Toten Meeres ermittelt werden. „Eine vergleichende Befliegung auf der östlichen Seite des Toten Meeres ist ratsam, um den gesamten Grundwasserzustrom zum Toten Meer zu kartieren“, sagt Friedhelm Schwonke. Außerdem sei es denkbar, die Grundwasserströmungen regelmäßig zu überwachen, um Veränderungen feststellen zu können.



Aus den benachbarten Bergen fließt dem Toten Meer während der regenreicheren Zeiten Oberflächenwasser in Bächen und wie hier in einem Wadi bei En Gedi auch über kleine Wasserfälle zu.

Messungen aus luftiger Höhe



Der Gletscher Nef in Chile

Vom Hubschrauber aus erkunden BGR-Forscher südamerikanische Gletscher mit dem Georadar.

3,4 Kilometer hat sich der Gletscher Nef im Süden Chiles in den letzten 60 Jahren zurückgezogen. Der Eisstrom ist ein Abfluss eines riesigen Eisfeldes in Patagonien und speist den Rio Baker, einen der größten Flüsse Chiles mit erheblicher Bedeutung für die Wasserversorgung des Landes.

Wie viel Eis im Nef vorhanden ist, war bislang allerdings unklar. An wissenschaftliche Messungen auf der Oberfläche des Gletschers ist nicht zu denken: Das Eis ist wild zerklüftet und von vielen gefährlichen Spalten durchzogen.

Die BGR wendet für solche schwierigen Fälle ein so genanntes Pulsradar an, das von einem Hubschrauber aus verwendet werden kann. Das Aero-Pulsradar ist eine spezielle Variante des Georadar-Verfahrens. Bei dieser Messmethode werden elektromagnetische Signale von einer Antenne in den Boden gesendet. Die Signale werden an Schichtgrenzen im Untergrund reflektiert und können anschließend von einer Empfangsantenne aufgezeichnet werden. Ähnlich wie beim Ultraschall-Verfahren in der Medizin lässt sich auf diese Weise der Untergrund untersuchen.

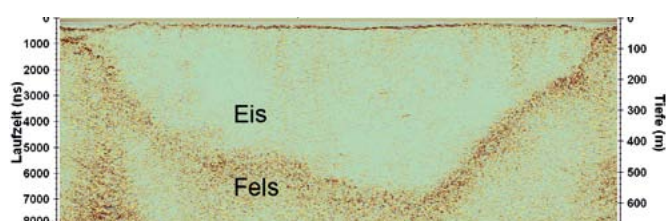
Radar-Messungen aus der Luft können weltweit nur sehr wenige Institutionen durchführen. Die BGR arbeitet neben dem Pulsradar-Verfahren auch noch mit einem anderen Verfahren, dem so genannten Stepped Frequency Radar (SFR). Das SFR-System wurde mit der Firma RST GmbH entwickelt und durch ein Programm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie zur Unterstützung kleinerer und mittlerer Unternehmen in Deutschland gefördert. Beide Verfahren, Pulsradar und SFR, ergänzen sich ideal. Das SFR ist vor allem zur detaillierten Abbildung von oberflächennahen Strukturen geeignet. Das Aero-Pulsradar kann dagegen tiefer in den Boden blicken und zeigt auch bei rauer Oberfläche die wesentlichen Strukturen im Untergrund. Daher ist es gut für die Erkundung der tiefen chilenischen Gletscher geeignet. Durch wiederholte Vermessungen der Eisoberfläche können Änderungen der Eisdicke über Jahre verfolgt werden.

Solche Daten sind wichtig für die Klimafolgenforschung und für das Wassermanagement in einer Region – etwa in Zentralchile, wo die Gletscher der Hochanden die Hauptstadt Santiago und die lokalen Minenbetriebe mit Wasser versorgen. Dort ist es unabdingbar zu wissen, ob die globale Erwärmung zu einem beschleunigten Abschmelzen der Andengletscher führen wird.

In Chile hat die BGR zwei Gletscher in Patagonien sowie Gletscher in der Nähe der Hauptstadt Santiago de Chile vermessen. Dabei hat sich gezeigt, dass das Aero-Pulsradar bei einer Flughöhe von 40 Metern über dem Grund und einer Ge-

►► An wissenschaftliche Messungen auf der Oberfläche des Gletschers ist nicht zu denken: ... ◀◀

schwindigkeit von 70 Kilometern pro Stunde gute Ergebnisse liefert. Am Gletscher Nef zeichneten die BGR-Forscher in wenigen Flugstunden zahlreiche Profile des Gletschers jeweils im Abstand von einem halben Kilometer auf, insgesamt mit einer Länge von mehr als 170 Kilometern. Der Gletscher, so zeigte sich dabei, hat sich teilweise ein 800 Meter tiefes Tal in den Fels gegraben.



Mit Aero-Georadar gemessenes Querprofil des Gletschers Nef. Die Eis-Gesteinsgrenze ist deutlich erkennbar und erreicht eine Tiefe als 500 m



Aero-Georadar: Sende- und Empfangsantenne hängen unter dem Hubschrauber

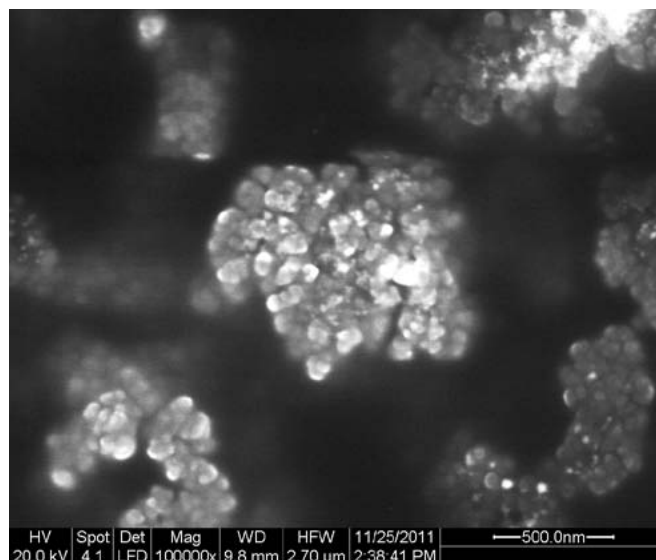
Kleine Partikel mit großer Wirkung

Silbernanopartikel sind in vielen Alltags-Produkten zu finden, weil sie Mikroorganismen abtöten. Doch über das Abwasser und den daraus abgeschiedenen Klärschlamm können die winzigen Teilchen in den Boden gelangen. BGR-Forscher untersuchen, wie mobil sie dort sind.

Silber ist für die meisten Menschen vor allem der Stoff, aus dem Tafelbesteck und hübscher Schmuck hergestellt werden. Doch auch Produzenten von Funktionsunterwäsche, Waschmaschinen, Zahnpasta oder künstlichen Hüftgelenken setzen auf das glänzende Edelmetall – allerdings in Form winziger Partikel, deren Durchmesser nur ein Zehntausendstel so groß ist wie der eines menschlichen Haars. Denn Teilchen aus Silber, die wenige Milliardstel Meter groß sind, haben die Eigenschaft, Pilze, Bakterien und andere Mikroorganismen wirkungsvoll abzutöten. Silbernanopartikel kommen daher überall dort zum Einsatz, wo besondere Hygiene angebracht scheint.

Doch Umweltschützer warnen vor dem keimtötenden Zusatz: Aus Zahnpasta, Deo oder antibakteriellen Socken gelangen die Silberpartikel erst in das Abwasser und dann in die Kläranlagen. Schließlich landen sie im Klärschlamm. Wird dieser in der Landwirtschaft verwertet, kann das Nanosilber im Boden freigesetzt werden. Wie mobil die Partikel in der Erde sind und ob sie eine Umweltgefahr darstellen, ist derzeit noch unklar.

In einem Verbundprojekt mit 16 Partnern untersucht die BGR daher die Mobilität von Silbernitrat ($AgNO_3$) und nanopartikulärem Silber in verschiedenen Böden. Die Forscher verwenden dazu 31 unterschiedliche Bodenproben aus einer Probensammlung der BGR. Nanopartikel haben oft völlig andere Eigenschaften als größere Objekte aus dem gleichen Material. So auch Silber: Die extrem grossen Oberflächen der Silbernanopartikel setzen mehr Silberionen frei, von denen die antimikrobielle Wirkung ausgeht. Die freigesetzten Ionen verbinden sich gerne mit Schwefelgruppen von Prote-



Rasterelektronenmikroskopie-Foto einer Anhäufung von Silbernanopartikeln nach der Trocknung einer Bodenprobe

inen und blockieren somit deren Funktion. Auf diese Weise können die Silberionen lebenswichtige Prozesse in Zellen unterbinden.

Bislang ist es allerdings schwierig, Silbernanopartikel analytisch nachzuweisen. Denn die Eigenschaften der kleinen Partikel weichen von denen der Silberionen in wässriger Lösung zum Teil erheblich ab. Um den Wirkungspfad Grundwasser-Boden zu untersuchen, müssen die BGR-Forscher daher wesentliche methodische

Vorarbeiten leisten.

Erste Ergebnisse liegen aber bereits vor: Die Experimente zeigen, dass Silbernanopartikel in Böden mobiler sind als gelöste Silberionen. Ob die Partikel tatsächlich das Grundwasser erreichen, ist bisher nicht untersucht.

Vom Guten zu viel

Das Treibhausgas Kohlendioxid könnte künftig in geologischen Formationen gespeichert werden. Kritiker befürchten allerdings, dass das Gas eine Gefahr für das Leben im Boden darstellt, wenn es aus den tiefen Speichergesteinen oder beim Transport entweicht.

Im Auftrag des Umweltbundesamtes untersucht die BGR nun vorbeugend, welche Gefahren ein Kohlendioxid-Eintrag in den Boden birgt und wie mögliche negative Folgen vermieden werden könnten. Eine wichtige Frage für die BGR-Forscher besteht darin, ob es möglich ist, Schwellenwerte für den CO₂-Gehalt der Bodenluft aufzustellen und in welchem Bereich sich solche Grenzwerte bewegen sollten.

Das Problem: „CO₂ ist einer der Hauptbestandteile der Bodenluft und schwankt normalerweise in einem weiten Bereich von 0.038 Prozent, der atmosphärische Konzentration, bis über 13 Prozent“, berichtet Projektbearbeiter Dr. Florian

Stange. „Diese natürliche Variation macht es schwierig, einen allgemein gültigen Schwellenwert festzulegen“. Für die natürlichen CO₂-Konzentrationen im Boden sind Mikroorganismen, Bodentiere, wie z.B. Regenwürmer, und auch die Wurzeln von Pflanzen verantwortlich. Die Lebewesen nehmen erhebliche Mengen Sauerstoff auf und atmen im Gegenzug CO₂ aus.

Zu hohe Kohlendioxid-Konzentrationen tun dem Ökosystem Boden allerdings nicht gut, wie Untersuchungen an natürlichen CO₂-Quellen zeigen. So wurden z.B. in einem Ge-



Der Podsol, ein häufiger Bodentyp bei sandigem Ausgangssubstrat unter Nadelwald. Er ist Lebensraum für viele Pflanzen und Tiere, die selber auch CO₂ produzieren.

biet am Mammoth Mountain (U.S.A.), in dem Bäume durch eine natürliche, magmatische CO₂-Ausgasung abstarben, CO₂-Gehalte von mehr als 30 Prozent im Boden gemessen. Kohlendioxid senkt zudem den pH-Wert des Bodenwassers ab. Saures Sickerwasser kann Schwermetalle mobilisieren – Stoffe, die teilweise giftig für Bodenorganismen und Pflanzen sind und unter Umständen sogar bis ins Grundwasser gelangen können. Daher berechnen die BGR-Forscher mit Hilfe von mathematischen Modellen, wie stark zusätzliche Kohlendioxid-Flüsse den CO₂-Gehalt der Bodenluft ansteigen lassen. Dies ist stark von der Bodenart und der Witterung,

aber auch von der Bodennutzung abhängig.

Um einen möglichen Schwellenwert für CO₂ im Boden vorschlagen zu können, werten sie die bestehende Literatur aus, und stehen in einem intensiven Austausch mit anderen Experten der BGR, die natürliche CO₂-Quellen untersuchen und Feldexperimente durchführen. „Wir wollen die Diskussion zu möglichen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen durch CO₂ auf eine sichere wissenschaftliche Basis stellen“, sagt Stange.

Die Natur als Labor



Kohlendioxid ist ein natürlicher Bestandteil des Untergrundes. Das Gas entsteht zum Beispiel in Vulkangebieten oder durch die Aktivität von Mikroorganismen in Böden. Auch in vielen Mineralwässern ist es enthalten. Anhand natürlicher CO₂-Lagerstätten und CO₂-Quellen wollen BGR-Forscher lernen, wie sich künstlich eingepresstes Gas in der Tiefe verhält.

Alle 35 Minuten erwacht in Wallenborn in der Eifel die Sprudelquelle "Brubbel". Kurz vor einer Eruption geht das Blubbern in der Brunnenfassung allmählich in ein lautes Plätschern über. Dann steigt aus der Erde langsam ein dicker Wasserschwamm empor. Die Fontäne erreicht eine Höhe von zwei bis vier Metern, bevor sie nach wenigen Sekunden wieder zusammenbricht. Einige Minuten lang scheint die Quelle zu kochen, das Wasser spritzt und blubbert, als wäre es lebendig. Dann zieht sich die Brubbel wieder in den Untergrund zurück.

Für das beeindruckende Naturschauspiel ist Kohlendioxid verantwortlich. Aus den Tiefen der Erde steigt das Gas

empor und sammelt sich im Grundwasser. Wenn dieses mit CO₂ gesättigt ist, bricht die Mischung mit Macht hervor – spritzt wie eine geschüttelte Sektflasche.

Wie in Wallenborn tritt weltweit an vielen Orten natürliches CO₂ zutage. Im Laacher See, ebenfalls in der Eifel, perlen beispielsweise stellenweise Gas-

! Kohlendioxid ist in Verruf geraten, weil es als Treibhausgas zur globalen Erwärmung beiträgt. Eine Option zum Stopp des Klimawandels besteht darin, das CO₂ an Industrieanlagen oder Kohlekraftwerken aus den Abgasen abzutrennen und anschließend in den Untergrund zu pumpen. Diese Technologie ist unter dem Namen CCS (Carbon Capture and Storage) bekannt. Sie wird seit etwa 15 Jahren erprobt, unter anderem in der norwegischen Nordsee, in der algerischen Sahara oder in Kanada. BGR-Forscher untersuchen seit mehreren Jahren in zahlreichen Projekten, ob man CO₂-Speicher auch in Deutschland errichten, überwachen und ihre Langzeitsicherheit gewährleisten kann.



Bild oben: die periodisch eruptierende Sprudelquelle Brubbel in Wallenborn, Eifel; Bild links: CO₂-Ausstritte am Ufer des Laacher Sees, in der Osteifel

blasen an die Oberfläche. Für BGR-Forscher um Dr. Franz May und Dr. Johannes Peter Gerling sind natürliche CO₂-Vorkommen interessante Forschungsobjekte. Denn hier können sie

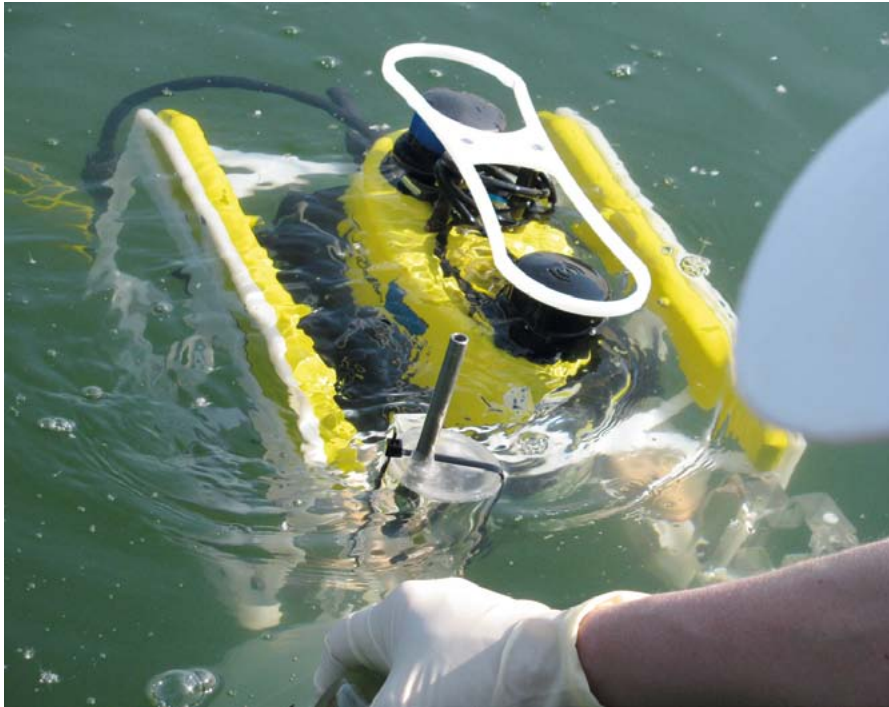
studieren, wieso das Gas an manchen Stellen aus dem Untergrund an der Erdoberfläche austritt, wie in Wallenborn – und warum es anderswo für Jahrtausende in der Tiefe bleibt.

Natürliche CO₂-Quellen wie in der Eifel, aber auch langlebige Reservoirs wie unter dem Örtchen Oechsen in Thüringen haben gegenüber Laborexperimenten den Vorteil, dass sie natürliche Bedingungen wiedergeben. Nur hier lässt sich ermitteln, wie Kohlendioxid über lange Zeiträume hinweg mit dem Untergrund reagiert. Die natürliche CO₂-Lagerstätte in Oechsen speichert das Gas schon seit etlichen Jahrtausenden. Ihre Erforschung kann daher zeigen, welche geologischen Strukturen als Speicher geeignet sind, welche Abdeckgesteine das Gas zurückhalten und unter welchen Bedingungen CO₂ zur Erdoberfläche gelangen kann. Die Forscher können dort zudem Methoden erproben, um die Ausbreitung des Kohlendioxids in tiefen Lagerstätten zu

verfolgen. An natürlichen Quellen in der Eifel erprobt die BGR hingegen Methoden, um CO₂-Ausstritte aufzuspüren und Gasmengen zu messen. Dabei werden auch die Auswirkungen des Gases auf Böden oder Pflanzen und Mikroorganismen untersucht.

Einen großen Teil ihrer Forschung können die BGR-Forscher in Deutschland durchführen. Denn hierzulande gibt es viele natürliche CO₂-Vorkommen, die gut zugänglich sind und seit vielen Jahren wissenschaftlich untersucht werden. Andere Aspekte lassen sich dagegen besser in anderen Teilen der Welt untersuchen. In Nordamerika gibt es natürliche CO₂-Lagerstätten, deren Innenleben offen einsehbar ist. Auf dem Colorado-Plateau im US-Bundesstaat Utah sind an einigen Stellen Klüfte an der Oberfläche zugänglich, durch die früher CO₂ aus einer natürlichen Lagerstätte ausgetreten ist. Hier können Forscher zum Beispiel untersuchen, ob CO₂ beim Aufstieg mit Wasser und dem





Einsatz des Tauchroboters zur Messung und Beprobung von Gasaustritten im Laacher See

umliegenden Gestein zu Kalzit reagiert. Die Bildung dieses Minerals könnte gasdurchlässige Klüfte mit der Zeit abdichten.

In Deutschland hat die BGR Proben aus Bohrungen untersucht, die durch den Kontakt mit CO_2 chemisch verändert wurden. Kohlensäure und Mineralwasserbohrungen, z.B. in den rheinland-pfälzischen Orten Wehr und Rhens am Rhein oder in Bad Mergentheim an der Tauber, brachten sowohl Proben potenzieller Speichergesteine als auch von Deckschichten an die Oberfläche. BGR-Forscher wiesen die Mineralien, die sich durch den Kontakt mit Kohlendioxid gebildet hatten, mit mineralogischen und geochemischen Methoden nach.

In Salzbergwerken in der Vorderrhön sind ebenfalls Spuren früherer CO_2 -Wanderungen zu finden. In den Salzgesteinen dort sind Störungen zu sehen, durch die früher CO_2 -haltige Laugen aufgestiegen sind. Diese Störungen zeigen einerseits, dass das Salz leicht löslich ist. Andererseits dokumentieren sie, dass Salz die Fähigkeit hat, Risse und Klüfte selbst zu versiegeln. Salz kann CO_2 also über geologische Zeiträume einschließen. BGR-Forscher fan-

den keine Hinweise darauf, dass über der Lagerstätte derzeit Gas austritt.

In mehreren Studien haben die Experten um May und Gerling untersucht, welchen Einfluss ausgetretenes Kohlendioxid auf das Grundwasser haben könnte. Natürliches CO_2 löst sich im



Bohrung zur CO_2 -Förderung nahe Wehr in der Ostfeifel.

Grundwasser, bildet Kohlensäure und reagiert mit dem Nebengestein. Hinweise darauf, wie CO_2 -Leckagen das Grundwasser beeinträchtigen könnten, geben die vielen gut untersuchten Sauerwasservorkommen in Deutschland. Viele dieser Mineralwässer, wie zum

Beispiel aus Selters, Gerolstein und Bad Neuenahr, werden nicht nur als Mineralwasser geschätzt, sondern auch für Heilkuren genutzt.

Kritiker der CCS-Technologie befürchten, dass das verpresste CO_2 Salzwasser oder auch Erdgas und Erdöl aus den Speichern verdrängen könnte. Diese Fluide könnten dann an die Oberfläche gelangen. Für solche Prozesse gibt es ebenfalls natürliche Beispiele, die von der BGR untersucht wurden. Salzwasser tritt beispielsweise an den Solequellen in Norddeutschland an die Oberfläche. An Schlammvulkanen in Aserbaidschan oder in Pakistan treten neben Salzwasser auch Kohlenwasserstoffe zu Tage.

Anhand der Beobachtungen aus der Natur entwerfen die BGR-Forscher Szenarien, die die Basis für Sicherheitsuntersuchungen bilden. Laborexperimente ergänzen die Forschung an natürlichen CO_2 -Vorkommen. Manche geochemischen Reaktionen laufen extrem langsam ab und lassen sich im Labor nur schwer nachstellen. Computersimulationen ermöglichen Prognosen langfristiger geochemischer Reaktionen. Deren Ergebnisse müssen aber anhand der Realität überprüft werden. Modellrechnungen sagen beispielsweise vorher, dass sich in vielen CO_2 -Lagerstätten das Mineral Dawsonit bilden sollte, ein Natrium-Aluminium-Karbonat. Tatsächlich ist Dawsonit in der Natur sehr selten, während andere Karbonate häufig in den CO_2 -Vorkommen anzutreffen sind.

Der Austausch mit internationalen Fachkollegen ist ein wichtiger Aspekt der BGR-Forschung. Im Herbst 2010 fand daher am Laacher See ein Workshop zum Thema „Natural Releases“ statt, den die BGR im Auftrag des Treibhausgas-Forschungsprogramms der International Energy Agency (IEAGHG) organisierte. Inzwischen hat die Organisation eine dauerhafte Workshop-Serie eingerichtet, die sich mit natürlichen CO_2 -Vorkommen beschäftigt.

Ein Handbuch für CCS-Projekte

Die möglichen Umwelteinflüsse der geologischen CO₂-Speicherung untersucht die BGR zusammen mit anderen Forschungsorganisationen in einem EU-Projekt.



Probenahme von Wissenschaftlern der BGR und des British Geological Survey, BGS, auf den Testfeldern mit künstlicher CO₂-Begasung bei Nottingham, England.

Gut zwölf Milliarden Tonnen Kohlendioxid könnten alte Erdgasfelder und tiefe, salzwasserführende Grundwasserleiter in Deutschland theoretisch aufnehmen – genug, um viele Jahre lang einen großen Teil der nationalen CO₂-Emissionen unterzubringen. Die Angst vor möglichen Umweltfolgen der CCS-Technologie – vor allem vor der Kohlendioxid-Speicherung im tiefen Untergrund – ist bei der Bevölkerung in den möglichen Speichergebieten groß. Das Treibhausgas könnte aus den Speicherformationen entweichen, wieder zur Erdoberfläche gelangen und dort die Umwelt schädigen, so die Befürchtung.

Im EU-Projekt RISCS untersuchen insgesamt 24 Forschungsorganisationen und Industrie-Partner nun, welche Folgen ein Leck in einem unterirdischen CO₂-Speicher haben kann. Die BGR erforscht dabei den Einfluss hoher natürlicher CO₂-Konzentrationen auf verschiedene natürliche Ökosysteme am und im Laacher See in der Eifel. Der Fokus der BGR-Forscher liegt auf mikrobiellen Lebensgemeinschaften. Sie wollen herausfinden, wie sich hohe CO₂-Gehalte auf die Verfügbarkeit wichtiger Nährstoffe auswirken. Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Projektes sind Arbeiten auf Testfeldern in

England und Norwegen. Unter kontrollierten Bedingungen werden dort die Auswirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen auf Böden und landwirtschaftlich bedeutender Pflanzen untersucht.

Die gewonnenen Informationen sollen dazu dienen, ein Handbuch zu erstellen. Dieser Leitfaden soll Verwaltung, Politik und auch der breiten Öffentlichkeit dabei helfen, sich ein Urteil darüber zu bilden, welche Umweltfolgen solch eine Leckage nach sich ziehen kann. Auch für Genehmigungsinstanzen und Betreiber von CO₂-Speichern ist das Projekt von Bedeutung: Sie sollen bei der Auswahl möglicher Speicherformationen unterstützt werden.



Beprobung von aufsteigenden CO₂-haltigen Gasblasen im Laacher See in 10 m Wassertiefe durch Forschungstaucher.

Chemie unter Druck

Mit welchen Stoffen reagieren Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid tief unter der Erdoberfläche? Experimente an der BGR sollen klären, welche geochemischen Reaktionen im Innern von Öl- und Gaslagerstätten oder in potentiellen CO₂-Speichergesteinen eine Rolle spielen.

Die Erdkruste ist im Grunde ein riesiger chemischer Reaktor. In der Tiefe herrschen ein hoher Druck und hohe Temperaturen. Durch Risse und Poren im Gestein zirkulieren saure, salzhaltige Flüssigkeiten. In dieser aggressiven Umwelt löst sich manches Mineral schnell auf, während sich anderswo neue Feststoffe bilden.

Besonders reaktionsfreudig sind die Verbindungen Kohlendioxid (CO₂) und Schwefelwasserstoff (H₂S), die in vielen deutschen Erdgaslagerstätten und auch in anderen Gesteinsformationen vorkommen. Beide Stoffe haben die Eigenschaft, den pH-Wert von wässrigen Lösungen zu senken. Erdgas, das Kohlendioxid und mehr als ein Prozent Schwefelwasserstoff enthält, wird daher auch als Sauer gas bezeichnet.

Welche Reaktionen in der Erdkruste genau stattfinden, ist bislang allerdings weitgehend unklar. Doch je mehr der Untergrund genutzt wird – zur Förderung von Öl und Gas, als Speicher von Kohlendioxid oder bei der tiefen Geothermie – desto wichtiger wird es, die Chemie in der Tiefe besser zu verstehen. BGR-Forscher führen daher Hochdruck-Experimente mit Sauer gas durch, in denen sie die Druck- und Temperaturbe-

dingungen in der Erdkruste nachbilden. Dabei verwenden sie typische Tiefenwässer, gesteinsbildende Mineralien und Gesteine, wie sie in den Lagerstätten häufig vorkommen.

Eine wichtige Fragestellung besteht darin, wie sich Sauer gas verhält, das zurück in eine Erdgaslagerstätte injiziert



wird. Der Hintergrund: Etwa die Hälfte des in Deutschland geförderten Erdgases stammt aus Sauer gas-Lagerstätten. Das mit dem Erdgas vermischte Kohlendioxid und der Schwefelwasserstoff müssen nach der Förderung aufwändig abgetrennt werden. Schwefelwasserstoff wird anschließend in elementaren Schwefel umgewandelt, damit es zu keiner Freisetzung von Schwefelgasen in die Atmosphäre kommt. Doch herrscht zeitweilig

ein Überangebot für diesen Stoff auf dem Weltmarkt. Die Mineralölindustrie sucht daher nach Möglichkeiten, die Schwefelproduktion herunterzufahren.

Eine Möglichkeit besteht darin, die abgetrennten Gase zurück in die Erde zu verfrachten – eine Technik, die in Kanada bereits seit Jahrzehnten angewandt wird. Kohlendioxid und Schwefelwasserstoff können entweder in die Erdgas-Lagerstätte oder auch in tiefer liegende Gesteinseinheiten reinjiziert werden. Das hat mehrere Vorteile: Schädliche Emissionen werden vermieden, die Überproduktion von festem Schwefel verringert sich, und der Druck in der Erdgaslagerstätte kann aufrechterhalten werden. Das ermöglicht es wiederum, länger ohne sekundäre Fördermaßnahmen auszukommen, wie z.B. das Einpressen von Wasser.

Allerdings unterscheidet sich das reinjizierte Gasgemisch von dem Gas, das sich ursprünglich in der Lagerstätte befand. In der Lagerstätte stellt sich daher ein neues chemisches Gleichgewicht ein. Wenn sich die Gesteinsporen durch neugebildete Mineralien zusetzen, kann dies die Injektion erschweren. Die BGR-Forscher wollen nun herausfinden, welche Gesteinsformationen sich eignen, um reinjiziertes Sauer gas aufzunehmen.

Endlagerung im Zeitraffer

Im schweizerischen Untertagelabor Mont Terri testen BGR-Forscher zusammen mit internationalen Partnern, wie sich das Barrierematerial Bentonit in einem Endlager für wärmeentwickelnde, radioaktive Abfälle auf lange Sicht verändert.

Zehn Jahre sind für ein Endlager für radioaktive Abfälle keine lange Zeit. Für ein wissenschaftliches Experiment schon. Im Untertagelabor Mont Terri im schweizerischen Kanton Jura haben BGR-Forscher 2001 zusammen mit Kollegen, aus Spanien und der Schweiz eine Versuchs-Anlage im Gebirge eingerichtet. Sie umhüllten in einem sechs Meter langen Tunnelabschnitt eine 2,5 Meter lange Röhre, die einen realen Abfallbehälter ersetzt, mit einem Granulat aus dem quellfähigen Tongestein Bentonit, dichteten das Ganze ab und bewässerten die Anordnung schließlich künstlich. Seitdem beobachten die Forscher mit verschiedenen geotechnischen und geophysikalischen Sensoren, was passiert.

Das Experiment stellt nach, wie sich Bentonit als so genannte geotechnische Barriere in einem Endlager für radioaktive Abfälle verändert. Wie lange dauert es, bis das Tonmineral mit Wasser gesättigt ist, aufquillt und den Hohlraum von innen verschließt? Wie verändert sich das umliegende Gestein, in diesem Fall der so genannte Opalinuston, durch den entstehenden Quelldruck? Wie schnell korrodiert der Stahlbehälter, in dem in einem realen Endlager radioaktive Abfälle eingeschlossen sind?

Zehn Jahre lang haben die Forscher die verfüllte Nische im Untertagelabor akribisch überwacht. Fast 600 Tage lang schickten sie zum Beispiel täglich Schallwellen in den Fels, um selbst kleinste Veränderungen der Gesteinseigenschaften aufzuzeichnen. 2012 wollen sie nun die Früchte des langen Wartens ernten: Zuvor, im August 2011, haben sie mit Bohrungen gezielt Proben des mittlerweile verfestigten Bentonits gewonnen. Vom Bohrloch aus konnten sie die Struktur des Barrierematerials auch mit geoelektrischen Messungen und Ultraschall-Verfahren erkunden. Später wollen sie den Ver-



Zugang zum Tunnelsegment, in welchem im Massstab 1:2,5 ein Erhitzer-Experiment durchgeführt wird.

suchs-Behälter wieder komplett freilegen und die durch den Einschluß verursachten Veränderungen analysieren.

Die Forschung in Mont Terri ist Teil eines EU-Projektes, an dem fünf europäische Länder sowie Japan und China beteiligt sind und das die BGR koordiniert. Das Projekt hat das Ziel, das Verhalten geotechnischer Barrieren, wie etwa Bentonit, über sehr lange Zeiträume zu untersuchen.

Geduld werden die BGR-Forscher aber weiterhin aufbringen müssen. 2011 begannen sie im Rahmen des gleichen EU-Projektes ein weiteres Experiment, das mindestens sechs Jahre dauern wird. Dabei wollen sie untersuchen, welche Wirkung Hitze auf Bentonit hat – schließlich entsteht beim Zerfall radioaktiver Stoffe Wärme, die die Umgebung auf Temperaturen von maximal 140 Grad Celsius aufheizen kann. Das Heizelement, das in ein Sand-Bentonit-Gemisch und für Vergleichszwecke zugleich in reinem Bentonit eingebettet ist, wird daher langsam über einen Zeitraum von drei Jahren erhitzt. Nun heißt es wieder messen – und warten.

Geologie und Geomechanik in 3D

Ein Endlager für radioaktive Abfälle muss viele tausend Jahre lang sicher sein. BGR-Wissenschaftler entwickeln neue Verfahren, um die Langzeitsicherheit möglicher Endlagerstandorte nachzuweisen. Ein wichtiges Werkzeug sind dreidimensionale geologische Modelle. Sie bilden die Grundlage für Berechnungen der thermischen und mechanischen Auswirkungen von Abfalleinlagerungen in salzige, tonige oder granitische Gesteine.

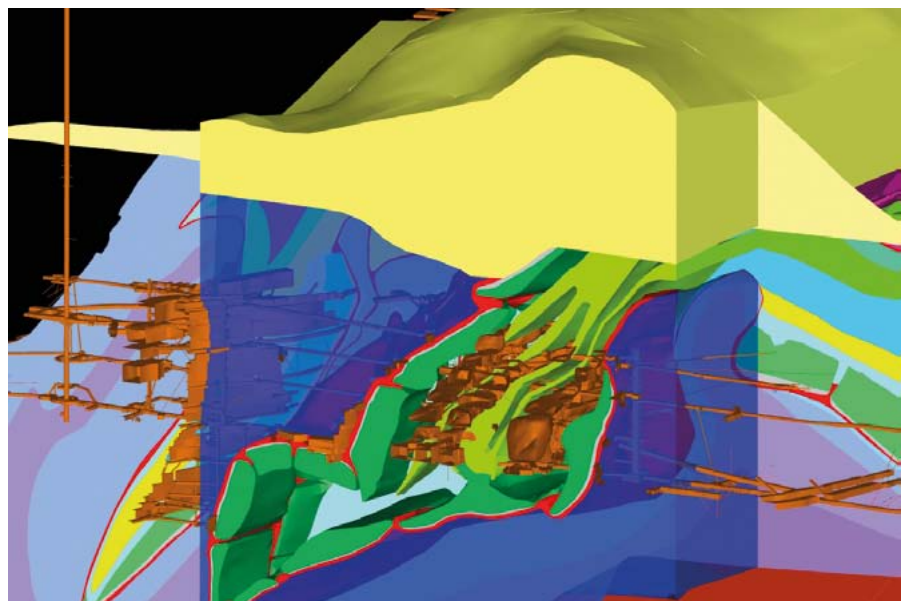
Die Erdkruste ist ein kompliziertes Gebilde, das in seiner Entwicklung z. T. mehr als 3 Mrd. Jahre zurückreicht. Faltungen und Überschiebungen prägen in vielen Gebieten der Welt den Aufbau des Untergrundes, zahlreiche Störungen durchziehen die Gesteinsschichten. Sich dieses Durcheinander für Entscheidungen bezüglich möglicher Nutzungen des unterirdischen Raumes bildlich vorzustellen und für Modellberechnungen abzubilden, ist auch für gestandene Geologen nicht immer einfach. Seit einigen Jahren haben es die Forscher aber leichter: Mit dreidimensionalen geologischen Modellen können sie quasi virtuell in die Erdkruste eintauchen. In den Modellen werden Daten aus der geologischen Erkundung anschaulich dargestellt und ausgewertet. Mit Hilfe der Modelle können die Forscher Lagerstätten beispielsweise an beliebigen Stellen aufschneiden oder auch virtuelle Bohrungen erzeugen. Besonders wichtig sind dreidimensionale geologische Lagerstättenmodelle auch in der Endlagerforschung. Sie bilden die Basis für nachfolgende numerische Be-

rechnungen, mit denen die langfristige Sicherheit eines Endlagers nachgewiesen werden soll.

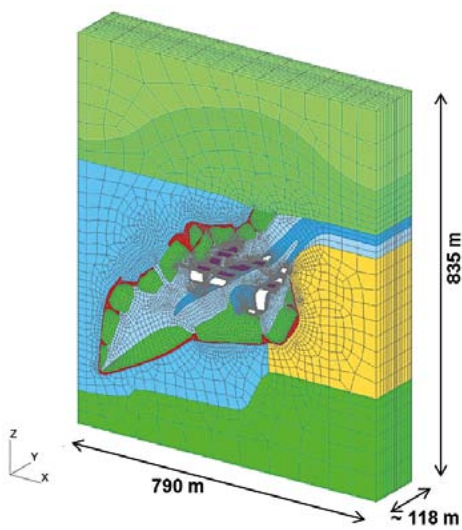
Von der Erkundung zum geologischen Modell

Im Auftrag und in enger fachlicher Abstimmung mit der BGR haben in den letzten Jahren Partner aus der Wirtschaft das Software-Paket openGEO

entwickelt. Mit Hilfe dieses Programms können besonders komplizierte geologische 3D-Modelle für z. B. eng verfallene Bereiche in Salzstöcken angefertigt werden. Das Programm kann beliebige Grunddaten verwenden, zum Beispiel Karten, Geländemodelle, Bohrkernaufnahmen, die Ergebnisse von Kartierungen oder geophysikalischen und geochemischen Messungen. Die BGR ist einer



Ausschnitt aus einem geologischen 3D-Modell inkl. Bergwerksmodell (in braun) für einen Salzstandort in Norddeutschland



Aus dem geologischen Modell entwickeltes 3D-Berechnungsmodell für geomechanische Analysen

der Hauptnutzer von openGEO und hat damit einen maßgeblichen Einfluss auf die Weiterentwicklung des Programms. Durch spezielle Rechte am Source-Code der Software ist die Nutzung über viele Jahre gesichert.

Mit Hilfe von openGEO wird ähnlich wie bei der Anfertigung von geologischen Karten und Profilen das Modell auf horizontalen und vertikalen Ebenen konstruiert. Die Modelle können selbst die komplexesten geologischen Strukturen exakt nachbilden, zum Beispiel komplizierte Fließfaltungen, wie sie für Salzstöcke typisch sind, oder verzweigte Bruchstrukturen in magmatischen Gesteinen. Die mit openGEO erarbeiteten Strukturmodelle können mit beliebigen, in Datenbanken zusammengestellten Erkundungsergebnissen gekoppelt werden. Dies ermöglicht eine Visualisierung und Abfragengesteuerte Auswertung dieser Untersuchungsergebnisse im 3D-Raum.

Mit openGEO werden an der BGR nicht nur die geologisch-geophysikalischen Erkundungsergebnisse für mögliche Endlagerstandorte ausgewertet, sondern auch die Daten aus der Erkundung von Standorten für die Speicherung von Erdgas/Erdöl und erneuerbaren Energien in Kavernen, sowie für die Prognose von Oberflächenabsenkungen bzw. Bergschäden im Umfeld stillgelegter Bergwerke. Die mit openGEO erstellten 3D-Modelle dienen in aktiv betriebenen Bergwerken außerdem als Planungsinstrument für bergbauliche Maßnahmen.

Die Zukunft mit JOI berechnen
Die geologischen 3D-Modelle dienen nicht nur als reine Anschauungsobjekte. Die aufgearbeiteten Daten können auch in numerische Modelle eingespeist werden, um etwa Strömungen im Untergrund oder die Standsicherheit eines Bergwerks zu berechnen. Damit bilden die Modelle die Basis, um die Langzeitsicherheit z. B. eines Endlagers, einer untertägigen Deponie oder einer Kaverne zu untersuchen. Denn unter der Erde kann im Laufe der Zeit viel passieren: In einem Endlager für radioaktive Abfälle steigt z. B. für eine bestimmte Zeit die Temperatur an, das Salz kann sich verformen und chemische Reaktionen laufen ab. Diese komplexen, miteinander gekoppelten Prozesse werden in physikalische Gleichungen gefasst und dann mit Computerbasierten numerischen Verfahren berechnet. Besonders wichtig ist dabei zum einen das mechanische Verhalten des Wirtsgesteins, zum anderen der mögliche Transport gelöster Substanzen, insbesondere radioaktiver Stoffe. Beide Prozesse müssen verlässlich modelliert werden.

BGR-Forscher entwickeln fortlaufend in Zusammenarbeit mit einem Berliner Ingenieurbüro das numerische Simulationsprogramm JIFE (Java Interactive Finite Element code) weiter, um die extrem aufwändige dreidimensionale numerische Simulation untertägiger Anlagen auf leistungsfähigen Großrechnern zu ermöglichen. Dabei arbeiten sie zudem an Methoden, um die Ergebnisse schnell und umfassend graphisch aufzuarbeiten.

Das Programm wird in den nächsten Jahren entsprechend dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Forschung intensiv weiterentwickelt. Den Schwerpunkt legen die BGR-Forscher insbesondere darauf, das Programm JIFE direkt mit openGEO über das Softwaresystem INCA (Integrated Nonlinear Coupled

Analysis) unter dem Projektnamen JOI (JIFE – openGEO – INCA) zu verknüpfen. Das Ziel besteht darin, die geologischen Modelle weitgehend automatisch in numerische Simulationsmodelle zu überführen.

Die BGR ist gut für die Zukunft aufgestellt

Bei Endlagerprojekten müssen alle Arbeitsschritte von der Erarbeitung der geologischen und numerischen Modelle bis zur Datensicherung einem standardisierten Ablauf folgen. Zu diesem Zweck hat die BGR zu Beginn der 1990er Jahre das Softwaresystem INCA entwickeln lassen. Es begleitet den Wissenschaftler während des gesamten Prozesses von der Modellentwicklung über die Berechnung bis zur Auswertung und Archivierung.

Im Laufe der Zeit wurde INCA kontinuierlich weiterentwickelt und für neue Anforderungen optimiert. Ein besonderes Augenmerk haben die BGR-Forscher dabei auf die Qualitätssicherung gelegt. Dies betrifft nicht nur die Daten, mit denen die Programme openGEO und JIFE arbeiten, sondern auch die Programme selbst. Alle Weiterentwicklungen sollen nachvollziehbar sein. Sämtliche Änderungen bzw. Ergänzungen in den Ausgangsdaten sowie Programmänderungen sind daher zentral in einer Datenbank archiviert und können noch nach vielen Jahren abgerufen werden.

Automatische Tests prüfen regelmäßig, ob sich ausgewählte Programmbausteine heute noch genauso verhalten wie gestern. Ein Anwenderhandbuch und eine Versionsverwaltung runden das Konzept ab. Die BGR-Wissenschaftler profitieren enorm von der akribischen Dokumentation aller Arbeitsschritte. Mit INCA verfügen sie über ein wichtiges Werkzeug, das sie bei der Modellierungsarbeit und der Handhabung von endlosen Zahlenkolonnen unterstützt.

Die Programme werden in den nächsten Jahren intensiv weiterentwickelt...

Schwierige Pionierarbeiten

Die Geothermie-Bohrung GeneSys ist ins Stocken geraten. Ein Salzpfpf verstopft den Förderstrang. BGR-Forscher suchen nun nach Lösungen für das Problem. Außerdem sind die Geothermie-Experten der BGR auch in Sachsen, im Elsass und in Afrika aktiv.

Bis zum 13. November 2011 lief beim Geothermieprojekt GeneSys in Hannover-Buchholz alles nach Plan. 2009 erreichte die Bohrung auf dem Gelände des Geozentrums Hannover eine Tiefe von 3901 Metern. 2010 untersuchten die BGR-Forscher um Projektleiter Johannes Peter Gerling den Untergrund, um daraufhin ein geeignetes Konzept zur Nutzung der tiefen Erdwärme zu wählen. Die wissenschaftlichen Ergebnisse ließen ein zyklisches Verfahren als am besten geeignet erscheinen: Dabei wird kaltes Wasser in die Bohrung gepresst und für einige Monate in der Tiefe gelassen. Wenn es sich aufgeheizt hat, wird es gefördert. Im Mai 2011 schufen die Geothermie-Experten dann einen künstlichen Wärmetauscher in der Tiefe, mit einem Verfahren, das als Fracking bekannt ist: Sie pressten insgesamt 20.000 Kubikmeter Wasser aus dem Mittel-landkanal mit einem Druck von 460 bar – dem 460-fachen des

►► Am 10. November 2011 begann die Rückförderung des erhitzten Wassers ◀◀

Atmosphärendrucks - in die Tiefe. Fünf Tage lang drückten zwölf Pumpen etwa 1 Badewanne voll Wasser pro Sekunde ins Bohrloch, um in den dichten Sandsteinschichten in 3700 Metern Tiefe ein feines Netz aus Rissen zu schaffen. Mit Erfolg: Hydraulische Tests zeigten, dass das System, dessen Oberfläche insgesamt 0,5 Quadratkilometer betrug, hochdurchlässig ist. Temperaturmessungen belegten zudem, dass das Rissystem nur eine begrenzte vertikale Ausdehnung von ca. 60 m entlang der Bohrung aufweist.

Ein weiteres positives Ergebnis: Die Oberfläche wurde durch die Frac-Arbeiten in keiner Weise erschüttert. Das belegen die Daten des engmaschigen seismischen Kontrollnetzes der BGR rund um die Bohrung.

Am 10. November 2011 begann die Rückförderung des erhitzten Wassers.

Weil im Reservoir ein hoher Überdruck von 250 bar herrschte, waren keine Pumpen nötig, um das heiße Wasser zu fördern. Ziel der Testarbeiten war es, das geförderte Wasser von der Oberfläche durch den Ringraum der Bohrung unmittelbar zurück in die 1200 Meter tiefen Sandsteine der Wealden-Formation zu verpressen und dort zu speichern. Um nachzuweisen, dass das Grundwasser in der Nähe der Oberfläche durch diese Einleitung nicht beeinträchtigt wird, richteten die BGR-Forscher am Rande des Bohrplatzes eine 32 Meter tiefe Grundwasserbohrung ein. Dort wurden die elektrische Leitfähigkeit und der Grundwasserspiegel kontinuierlich gemessen. So stellten die Forscher sicher, dass sie eine mögliche Kontamination des Grundwassers frühzeitig erkennen und die Einleitung gegebenenfalls stoppen konnten.



Der GeneSys-Bohrplatz während der Fracoperation im Mai 2011

Aufgrund der Zulassungsbestimmungen durften die BGR-Forscher nur etwa drei Liter Wasser pro Sekunde fördern. Diese geringe Rate führte dazu, dass sich das Wasser auf dem Weg nach oben abkühlte und nur noch eine Temperatur maximal 50 Grad Celsius hatte, als es oben ankam. Das brachte unerwartete Probleme mit sich: „Wir mussten feststellen, dass sich in dem ursprünglich eingesetzten Frischwasser große Mengen Salz gelöst haben“, berichtet Projektleiter Gerling. Messungen ergaben einen Gehalt von 350 Gramm pro Liter – so viel wie im Toten Meer. Weil sich in kühlerem Wasser jedoch weniger Salz lösen kann als in warmem Wasser, kristallisierte dieses auf dem Weg nach oben aus. „Es kam zunächst zu Salzausfällungen im Ringraum, später auch im Förderstrang. Die kristalline Masse behinderte schließlich in beiden Abschnitten der Bohrung den Wasserfluss so stark, dass wir die Rückförderung nach zwei Tagen unterbrechen mussten“, erläutert Projektleiter Gerling. Bis dahin hatten die BGR-Forscher von den eingepressten 20.000 Kubikmetern Wasser etwa 550 Kubikmeter wieder gefördert. Die Forscher stellten anschließend fest, dass sich die Blockade in 655 Metern Tiefe gebildet hatte.

Zurzeit untersuchen Forscher um die BGR-Geochemikerin Annalena Hesshaus, wo die überraschend großen Salzmengen herkommen. Erste Analysen zeigen, dass das geförderte Wasser eine Mischung aus dem eingepressten Frischwasser und tiefem Grundwasser ist. Außer gewöhnlichem Kochsalz enthielt dieses Wasser auch große Mengen Kalk. Das Wasser aus der Tiefe ist vermutlich der Überrest eines Gewässers, das vor vielen Millionen Jahren verdampft ist.

Weitere Untersuchungen beschäftigen sich damit, wie man das GeneSys-Projekt nun neu ausrichten kann. Eine Option besteht darin, die Bohrung freizuspülen und eine Erdwärmesonde einzubauen. Dabei würde eine Flüssigkeit in einem geschlossenen Kreislauf innerhalb der Bohrung zirkulieren und die Wärme aufnehmen. Das Verfahren kann allerdings weniger Wärme zur Heizung der Gebäude des Geozentrums Hannover liefern als ursprünglich geplant war. Externe Experten sollen untersuchen, ob das Konzept technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist.

Neben dem Genesys-Projekt ist die BGR an weiteren Geothermie-Projekten beteiligt, zum Beispiel im französischen Soutz-sous-Forêts. Dort wurden durch Fracking Risse in ursprünglich dichtem Gestein erzeugt. In 5000 Metern Tiefe entstand so ein großer Wärmetauscher. Derzeit geht es darum, den Kraftwerksbetrieb zu stabilisieren. Die BGR-Experten wollen zusammen mit ihren französischen Kollegen herausfinden, wie das Wasser zwischen den verschiedenen Bohrungen im Untergrund zirkulieren muss, um die Energieausbeute zu optimieren. Dazu überwacht das Team hydraulische, thermische, seismische und fluidchemische Parameter. In speziellen Probenkammern untersuchen die Forscher zudem Korrosions- und Ablagerungsprozesse.



Einbau einer zusätzlichen Verrohrung in die GeneSys-Bohrung im Februar 2011

Die BGR beteiligt sich weiterhin an der Planung für ein Tiefengeothermieprojekt in Sachsen, bei dem elektrischer Strom und nicht nur Heizwärme gewonnen werden soll. Bei dem Projekt soll die Erdwärme aus einer etwa 5000 Meter tiefen Bohrung in kristallinem Gestein – wahrscheinlich Granit – gefördert werden. Eine umfassende Literaturrecherche ergänzt die Planungsarbeiten. Dabei geht es darum, verschiedene Frac-Konzepte zu vergleichen und herauszufinden, wie diese Technik in hartem, kristallinem Gesteinen am besten umgesetzt werden kann. Eine Option besteht darin, die Bohrungen horizontal abzulenken und so mehrere nebeneinanderliegende Riss-Systeme mit größerer Oberfläche zu schaffen.

In Ostafrika unterstützt die BGR Äthiopien, Kenia und Tansania bei der Entwicklung ihres geothermischen Potentials. Im Rahmen des Geotherm-Programms des Bundesministeriums für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) erkundet die BGR mögliche Geothermiestandorte im ostafrikanischen Riftsystem. In Tansania wählen BGR-Forscher derzeit Standorte für mögliche Probebohrungen aus. Dabei soll der Temperaturverlauf im Untergrund ermittelt werden. In Äthiopien stehen geochemische Untersuchungen an, um unterirdische Magmakammern in der Afar-Region aufzuspüren. In Kenia sind die BGR-Forscher dabei, durch Flugzeugbefliegungen heiße Gebiete aufzuspüren, die für die geothermische Nutzung geeignet sind. An Bord der Flugzeuge befinden sich zu diesem Zweck spezielle Thermalkameras.

Das Geotherm-Programm soll staatliche und private Investoren ermutigen, die Geothermie als erneuerbare heimische Energieform in Ostafrika zu etablieren.

Überwachung Kernwaffenteststopp

Projekt: ARISE – Atmospheric dynamics Research InfraStructure in Europe

Die Atmosphäre schlägt Wellen

In der Lufthülle der Erde herrscht ein ständiges Auf und Ab. In Klima- und Wettermodellen wird diese vertikale Dynamik aber bislang kaum berücksichtigt. Im EU-Projekt ARISE, an dem die BGR beteiligt ist, sollen nun verschiedene bestehende Netzwerke zur Atmosphärenbeobachtung zu einer neuen Infrastruktur zusammengeschlossen werden.

Federleicht und unsichtbar umgibt die Atmosphäre mit ihren verschiedenen Stockwerken die Erde. Nicht nur der Wind am Boden, sondern auch der Tanz der Wolken am Himmel lässt erahnen, wie dynamisch es in der Lufthülle zugeht. In Klima- und Wettermodellen wird die Atmosphäre bislang allerdings meist als einfaches, geschichtetes Medium angesehen, in dem es keinen Austausch zwischen den Schichten gibt, etwa zwischen der Troposphäre,

dem untersten Stockwerk, und der Stratosphäre und der Mesosphäre darüber.

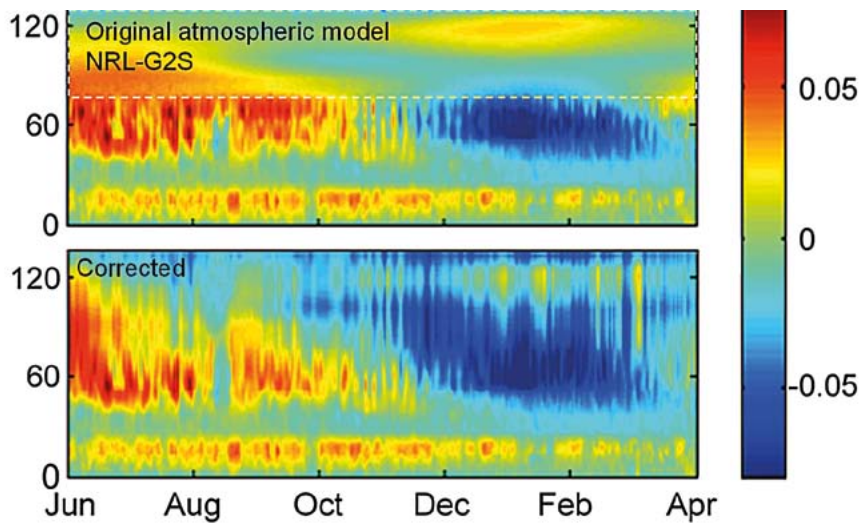
Tatsächlich vermischen sich die Luftschichten jedoch ständig – ein Vorgang, der neuen Studien zufolge sowohl das Wetter als auch das Klima stark beeinflusst. Beim Austausch zwischen den Atmosphärenstockwerken spielen Wellenbewegungen eine wichtige Rolle. Dabei schwingen Luftpakete ähnlich wie

Meereswellen in einem regelmäßigen Rhythmus auf und ab. „Diese Wellen steuern den Austausch über die Schichtgrenzen. Da, wo sie entstehen, wird eine Vermischung zwischen Mesosphäre, Stratosphäre und Troposphäre beobachtet“, sagt der Geophysiker Dr. Lars Ceranna von der BGR.

Bei den atmosphärischen Wellen unterscheiden die Forscher zwischen großräumigen planetaren Wellen, die zum Beispiel entstehen, wenn eine Luftströmung über einem Kontinent erwärmt wird, und kleinräumigeren Schwerewellen, die durch Gewitter, Vulkanausbrüche oder Berge hervorgerufen werden. Die eigentlich unsichtbaren Schwerewellen machen sich manchmal in Form wogen- oder walzenförmiger Wolken am Himmel bemerkbar. Meist bleibt die Dynamik der Atmosphäre allerdings verborgen. Selbst mit wissenschaftlichen Instrumenten sind die Schwingungen, die in unterschiedlichen Höhen auftreten und teils Wellenlängen von vielen Kilometern haben, nur schwer zu erfassen.

Dieses Manko soll nun das EU-Projekt ARISE beheben, an dem die BGR





Vertikales Windgeschwindigkeitsprofil von Juni 2003 bis April 2004 in Neukaledonien. In der Mesosphäre konnte mit Hilfe von Infraschallmessungen das klimatologische Modell (oben) korrigiert werden (unten).

zusammen mit elf anderen europäischen Institutionen beteiligt ist. „Wir wollen eine neue Infrastruktur schaffen, die verschiedene Messnetze integriert“, berichtet Lars Ceranna. „Das Ziel besteht darin, ein dreidimensionales, hochaufgelöstes Bild der Atmosphärendynamik vom Boden bis zur Mesosphäre bereitzustellen.“

In einer Designstudie untersuchen die Forscher, wie sich mehrere bestehende Netzwerke mit ursprünglich anderen Zwecken für die Atmosphärenbeobachtung umfunktionieren und zusammenschließen lassen.

Die BGR betreibt zum Beispiel mehrere Infraschall-Stationen, die für die Überwachung des Kernwaffenteststoppvertrages (CTBT) eingesetzt werden. Als Infraschall bezeichnet man Schallwellen mit extrem niedrigen Frequenzen, die für das menschliche Ohr nicht mehr wahrnehmbar sind. Sowohl meteorologische Phänomene wie Gewitter als auch Vulkanausbrüche oder nukleare Sprengungen können Infraschall erzeugen. Ein globales Infraschall-Netzwerk, das zurzeit aus 42 Stationen weltweit besteht, erfasst automatisch tieffrequente akustische Signale und lokalisiert die Schallquellen. „Schwerewellen werden von dem Messnetz direkt beobachtet,

planetare Wellen machen sich indirekt bemerkbar“, berichtet Ceranna, der bei der BGR für das Thema Infraschall zuständig ist.

Das zweite an ARISE beteiligte Netzwerk NDACC (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change) wurde Anfang der 1990er Jahre vor allem zur Überwachung der Ozonschicht eingerichtet, misst aber auch die Konzentration anderer Spurengase, die Aerosolkonzentration, die Temperatur und den Wasserdampfgehalt der Stratosphäre und der Mesosphäre. Für ARISE sind vor allem die 20 LIDAR-Stationen des Netzwerks interessant. Dort werden Laserstrahlen in die Höhe geschickt. Das Licht wird an Molekülen in der hohen Atmosphäre gestreut. Die Rückstreuung lässt wiederum Rückschlüsse auf die Temperatur oder den Wasserdampfgehalt und damit indirekt auch auf Schwerewellen anhand der zeitlichen Veränderung zu.

Die dritte Komponente von ARISE ist das Network for the Detection of Mesopause Changes (NDMC), das den so genannten Himmelschein misst. Dabei handelt es sich um ein Leuchten, das von angeregten Molekülen, darunter Sauer-

stoff, Hydroxyl (OH) und Natrium in 80 bis 90 Kilometern Höhe abgestrahlt wird.

Die Messstationen, die für ARISE zur Verfügung stehen, überdecken Europa und benachbarte Regionen, inklusive der Pole und des Äquators.

Durch das Projekt ARISE sollen die verschiedenen Technologien zusammengeschlossen werden. Dabei ist ein fachübergreifender Austausch zwischen den beteiligten Forschern von großer Bedeutung, deren Themengebiete bislang kaum Berührungspunkte hatten. Für ARISE sollen die Messdaten der jeweiligen Netze gemeinsam ausgewertet werden, um ein möglichst umfassendes und aktuelles Bild der einzelnen Schichten der Atmosphäre zu bekommen.

Ein wichtiges Ziel besteht darin, die Schwerewellen endlich gut abzubilden. Das wäre ein großer Fortschritt für Klima- und Wettermodelle: Die mittlere und obere Atmosphäre könnten in solchen Modellen in Zukunft realistischer wiedergegeben werden, was die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Modelle verbessern würde.

Ein wichtiger Teil des Projektes besteht darin, die Beobachtungsgrößen festzulegen, die mit den jeweiligen Technologien erfasst werden können. Zudem untersuchen die beteiligten Forscher und Forscherinnen, wie die erfassten Daten für Atmosphärenmodelle sowie für Wetter- und Klimamodelle genutzt werden können. Die Verbesserung der Qualität der aktuellen Wettermodelle wiederum hat einen großen Einfluss auf die Interpretation von Infraschalldaten. Damit hilft sie der BGR, die Genauigkeit bei der Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens weiter zu verbessern.

Geologisches Neuland im Eismeer

Um die geologische Geschichte der Arktis zu erforschen, waren BGR-Forscher 2011 in Ostsibirien und auf der kanadischen Insel Ellesmere unterwegs.

Die Neusibirischen Inseln liegen buchstäblich am Ende der Welt. Ganz im Osten von Sibirien, nördlich der Mündung des Flusses Lena, ragen vier größere und neun kleine Landmassen aus der Lapteewsee, von denen einige kaum mehr als ein

Die Expedition war Teil des BGR-Programms „Circum-Arctic Structural Events“ (CASE), das bislang vor allem Spitzbergen, Nordgrönland und die kanadische Arktis zum Ziel hatte. „15 Jahre lang hat die BGR versucht, eine

Während der Expedition kreuzten die Forscher mit dem russischen Eisbrecher „Mikhail Somov“ von Insel zu Insel. Ein Hubschrauber brachte die Geologen tagsüber ins Gelände. Die Forscher wollten die Frage klären, ob die



Felsen sind. Nur selten betritt ein Mensch die unbewohnten, kargen Inseln. Im September 2011 hatte eine internationale Forschergruppe die einmalige Chance dazu, diese entlegenen Fleckchen Erde geologisch umfassend zu erkunden. Expeditionsleiter war der Geologe Dr. Karsten Piepjohn, Arktis-Experte an der BGR.

Forschungsreise zu den Neusibirischen Inseln zu organisieren. Nun konnten wir dieses Projekt endlich mit Hilfe unserer russischen Kollegen realisieren“, sagt Piepjohn. Für die Expedition mussten Genehmigungen von 19 staatlichen Institutionen eingeholt werden, darunter dem Militär und dem Geheimdienst.

Neusibirischen Inseln vor der Öffnung des Arktischen Ozeans in der Nähe von Spitzbergen oder Nordgrönland gelegen haben. Diese Frage ist vor allem interessant für die Mineralölindustrie. Um das Kohlenwasserstoff-Potential Sibiriens abschätzen zu können, müssen die Forscher die Entwicklungsgeschichte der

einzelnen tektonischen Platten rund um die Arktis genau verstehen. Denn vor mehr als 150 Millionen Jahren waren Kanada und Alaska noch mit Sibirien im Superkontinent Laurasia verbunden. Als die Landmasse später auseinanderbrach, entstand der Arktische Ozean. Die Mechanismen, die zur Öffnung des Beckens zwischen Amerika und Asien geführt haben, sind allerdings kaum verstanden.

Bereits während der Geländearbeiten stellten die Forscher fest, dass die Neusibirischen Inseln während der letzten 500 Millionen Jahre nicht in der Nähe des nordamerikanischen Kontinentrandes oder vor Spitzbergen gelegen haben



Der russische Transporthubschrauber Mi8 mit Geologen nach der Landung auf der Henrietta-Insel im äußersten Nordosten der Neusibirischen Inseln

können. Hinweise auf Vorkommen von Erdöl oder Erdgas fanden die Forscher trotzdem. „Bei unserer Geländearbeit stießen wir auf Sedimente, die stark nach Tankstelle rochen“, berichtet BGR-Geologe Dr. Christoph Gaedicke.

Sedimentproben von den Neusibirischen Inseln werden jetzt im Labor analysiert, um Genaueres herauszufinden.

Ein weiteres Ziel der Arktisforscher der BGR war 2011 der Vendom Fjord auf Ellesmere Island, der nördlichsten

kanadischen Insel. Auch hier suchten die Geologen der BGR nach Hinweisen auf den Zerfall des Superkontinents Laurasia. Die Forscher nahmen zahlreiche Proben, um die Hebungsgeschichte des gesamten Gebiets entschlüsseln zu können. Dabei suchten sie insbesondere nach vulkanischen Aschelagen, um das Alter der dortigen Sedimentbecken bestimmen zu können. Außerdem untersuchten sie fossile, 40 bis 60 Millionen Jahre alte Holzreste, die sie anschließend mit Hölzern auf Spitzbergen verglichen.

Neben den geologischen Geländearbeiten führten die Expeditionsteilnehmer auch eine aeromagnetische Befliegung durch, um die Lage der Sedimentbecken unter das Inlandeis verfolgen zu können.

Für die beiden kommenden Jahre plant die BGR zwei Geländekampagnen in der Arktis: Im Sommer 2012 sollen auf Spitzbergen sedimentologische und strukturgeologische Arbeiten durchgeführt werden, und für 2013 ist eine Expedition in das nördliche Yukon-Territorium geplant. Auf eine neue Expedition nach Sibirien müssen die Forscher nicht wieder 15 Jahre lang warten: Schon 2015 soll die erfolgreiche Kooperation wiederholt werden.



Oben: Brennendes Kohlenflöz auf Ellesmere Island
Mitte: Geologe beim Einmessen von Gesteinsstrukturen
Unten links: Zwei Kleinflugzeuge (Twin Otter) beim Antransport von Treibstoff für den Helikopter
Unten rechts: Kohlenflöze und Sande im Süden von Ellesmere Island

Nahtstellen unter dem Eis



In der Antarktis erforschen BGR-Wissenschaftler, wie der Superkontinent Gondwana entstanden und wieder zerfallen ist. Nach Spuren der bewegten Geschichte fahndeten sie auf den Gipfeln eines weitgehend unter dem Eis versteckten Gebirges in der Ostantarktis.

Wie ein silbernes Ufo thront die belgische Station Princess Elisabeth über einigen rötlichen, von Eis eingeschlossenen Granitfelsen. Die 2008 fertiggestellte, 200 Kilometer von der Küste entfernte Antarktis-Forschungsstation liegt ideal, um einige der wenigen Berge des Südkontinents zu erkunden, die nicht von Eis bedeckt

sind: Der 160 Kilometer breite Gebirgszug Sør Rondane liegt gleich

vor der Haustür. Bei schönem Wetter sind die Gipfel, die sich bis zu 2000 Meter über den flachen Eispanzer erheben, hinter dem Hausberg Utsteinen in der Ferne gut zu sehen.

Ein internationales Geologenteam um Dr. Andreas Läufer hat die belgische Station im Dronning Maud Land in der Ostantarktis in den Südsommern

2010/2011 und 2011/2012 daher als Ausgangsbasis für zwei ganz besondere Expeditionen genutzt. Bei den Vorhaben mit den Titeln GEA I und II wagten sich die Expeditionsteilnehmer mit Motorschlitten und Hubschraubern bis zu den entlegensten Gipfeln von Sør Rondane vor. Auch einige weitere einsame Felsen

westlich des Gebirges, so genannte Nunataks, suchte das fünfköpfige Forscherteam

auf. Ein Traum für die Wissenschaftler: Mehrere dieser Aufschlüsse (wie Geologen frei zutage tretendes Gestein nennen) hatte nie zuvor ein Mensch betreten. Das Programm GEA („Geodynamic Evolution of East Antarctica“) ging aus mehreren Vorläufer-Projekten hervor und bündelt nun die Forschungsarbeiten unter einem Oberbegriff. GEA

untersucht den Krustenaufbau, die geodynamische Entwicklung der Ostantarktis und die Entstehung der heutigen Landschaftsformen mit einem kombinierten geologisch-geophysikalischen Ansatz. Die BGR arbeitet dabei mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven, dem Belgischen Antarktisprogramm und verschiedenen Universitäten zusammen.

Läufer und seine Kollegen wollten eine Nahtstelle finden, an der vor etwa 600 Millionen Jahren zwei Landmassen kollidierten. Dieser Zusammenstoß führte zur Geburt des mittlerweile wieder zerfallenen Superkontinents Gondwana, der die heutigen Kontinente der Südhemisphäre und auch Indien in sich vereinte. Bei der Entstehung Gondwanas gab es gleich mehrere kontinentale Kollisionen, außerdem verschwand ein



gesamter Ozean. Ein Hochgebirge, vergleichbar mit dem heutigen Himalaya, türmte sich damals an der Grenze zwischen Afrika und der Antarktis auf. Die Reste des Massivs sind heute in Ostafrika und im Dronning Maud Land in der Ostantarktis zu finden. Eine der Nahtstellen der früheren Kollision verläuft vermutlich quer durch das Dronning Maud Land, womöglich sogar durch den Gebirgszug Sør Rondane.

►► Bei ihren Expeditionen sammelten die Geologen 1,5 Tonnen Gesteinsproben ◀◀

Die genaue Lage der Nahtstelle ist allerdings noch nicht bekannt. Ebenso wenig wissen die Geologen, wie breit das frühere Hochgebirge war.

Bei ihren Expeditionen sammelten die Geologen um Andreas Läufer nun 1,5 Tonnen Gesteinsproben und führten struktur-geologische Analysen durch. Anschließend werden sie die Proben petrologisch und geochronologisch untersuchen. So wollen sie

herausfinden, wie die Gesteine von Sør Rondane entstanden sind.

Ein weiteres Forschungsthema der Expeditionen war der Zerfall Gondwanas vor etwa 180 Millionen Jahren. Damals kam es zu massiven Flutbasalt-eruptionen, die den Kontinent auseinanderbrechen ließen. Wahrscheinlich bildete sich zwischen der Antarktis, Ostafrika und Indien ein so genannter Plume aus, also eine ortsbeständige Aufwölbung des heißen Erdmantels wie sie auch unter der Hawaii-Inselkette zu beobachten ist. Sør Rondane befand sich im Bereich dieses so genannten Karoo-Maud-Plumes. Die Berge von Sør Rondane sind daher wichtig, um den Zerfall von Gondwana, die Öffnung des Südatlantiks und die gegenwärtige Plattenkonfiguration zu verstehen. Denn nach dem Zerfall Gondwanas entwickelte sich die Antarktis zu der isolierten Landmasse in Südpolnähe, die sie heute ist.

Die Forscher konzentrierten sich bei ihren Untersuchungen nicht nur auf die sichtbaren Teile des Gebirges. Mit Hilfe der Forschungsflugzeuge Polar



Oben: Die belgische Princess Elisabeth Station diente als Hauptbasis für die wissenschaftlichen Arbeiten
Unten: Wissenschaftler am Ende eines langen Arbeitstages vor der Rückfahrt zur Princess Elisabeth Station

Beprobung großer Gipskristalle
in einer Gletschermoräne



5 und Polar 6 erkundeten sie auch die verborgene Geologie unter dem Eis. Mit geophysikalischen Untersuchungen am Boden und aus der Luft verfolgten sie den Verlauf geologischer Strukturen in der Tiefe. Zudem bestimmten sie mit Radarmessungen die Eisdicke und charakterisierten die unter dem Eis liegende Topographie.

Nun sind die Forscher damit beschäftigt, die Gesteinsproben zu analysieren und die aerogeophysikalischen Messungen auszuwerten. BGR-Polargeologe Andreas Läufer ist zufrieden mit dem Verlauf der Expeditionen: „Mit Sicherheit werden die Ergebnisse dazu beitragen, das panafrikanische Gebirge und damit die Antarktis besser zu charakterisieren“, sagt er.

Eine Überraschung erlebten die Forscher an einer Gletschermoräne im Süden des Gebirgszuges. Sie entdeckten dort relativ junge und große Gipskristalle. Gips ist ein Mineral, das gewöhn-

lich unter eher heißen und trockenen Bedingungen entsteht. Wie die Kristalle in der kalten Eiswüste wachsen konnten, ist noch rätselhaft.

! Die Polargebiete der Erde gelten als Schlüsselregionen für das Verständnis des Systems Erde. Auch in unserer hoch technisierten Welt bleibt der Zugang zu ihnen aufgrund der Eisbedeckung und der extremen klimatischen Bedingungen schwierig. Die in den Polargebieten ablaufenden Prozesse geologischer, biologischer und klimatologischer Natur haben jedoch einen entscheidenden Einfluss auf das Erdsystem. Das Zusammenwirken dieser Prozesse ist jedoch auch heute noch nicht ausreichend bekannt. Die Erkundung der Polargebiete ist daher notwendig für ein Gesamtbild der Entwicklung und des Aufbaus der Erdkruste einschließlich ihres Nutzungspotentials. Nur aus diesem Verständnis heraus können fundierte Prognosen zukünftiger Veränderungen im globalen System entwickelt werden.

Geodaten per Mausklick



Staatliche Geoinformationen sollen in Zukunft zu einheitlichen Bedingungen erhältlich sein. Die Kommission für Geoinformationswirtschaft (GIW-Kommission) arbeitet daran, harmonisierte Rahmenbedingungen für Lizenzen sowie Datenschutz und Kosten zu schaffen.

Die an der BGR angesiedelte Geschäftsstelle dieser Wirtschaftskommission hat die Lizenztexte und die Klick-Anwendung im Internet entwickelt.

„Irgendwas mit Längengraden oder Geologie“ – das stellen sich die meisten Menschen unter „Geodaten“ vor. „Tatsächlich sind Geodaten alle möglichen digitalen Informationen, die einem bestimmten Ort durch Koordinaten eindeutig zugewiesen werden können“, berichtet Dr. Jörg Reichling, Leiter der Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft (GIW). „Eine solche Geoinformation kann zum Beispiel die Verbreitung denkmalgeschützter Häuser oder auch die Lage von Feuerwehrationen sein. Werden solche Information in digitaler Form erhoben, verarbeitet und online bereitgestellt, sind sie für Unternehmen von großem Nutzen.“

Das zeigt sich beim GeoBusiness AWARD, dem Preis der GIW-Kommission. Er prämiert innovative Geschäftsideen, die georeferenzierte Informationen der öffentlichen Hand nutzen. Unter den Finalisten der letzten Jahre waren beispielsweise ein touristisches Navigationssystem, ein Standortcheck für Unternehmensgründer oder ein Datenerfassungssystem für Forstwirte.

Das Wirtschaftspotenzial staatlicher Geoinformationen liegt Studien zufolge bei einigen Milliarden Euro. „Geoinformationen sind ein digitaler Rohstoff, der neue Geschäftsfelder eröffnet oder Geschäftsprozesse optimieren kann“, sagt Andrea Satli vom Marketing der Geschäftsstelle. Die Kommission, die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geleitet wird, soll nun den wirtschaftlichen Nutzen der bereits vorhandenen Geoinformationen erschließen. Dabei will die Kommission die Interessen der Wirtschaft bündeln und Unterstützung für ihre Bedürfnisse bei den unterschiedlichen Verwaltungsebenen herbeiführen.

Doch damit im relativ neuen Geobusiness überhaupt Geschäftsmodelle entstehen können, müssen die Rahmenbedingungen stimmen. Es muss marktorientierte Preismodelle, eine verantwortliche Lizenzierung, offizielle Standards und einen angemessenen Datenschutz geben. Bisher macht ein schwer überschaubarer Wirrwarr bei Lizenzen und Preisen die wirtschaftliche Nutzung von Geodaten nahezu unmöglich.

Der Interministerielle Ausschuss für Geoinformationswesen (IMAGI), der eine Infrastruktur für Geodaten bei den

verschiedenen Behörden der Bundesverwaltung aufbauen soll, hat auf Impuls der Kommission ein Modellvorhaben in Auftrag gegeben. Dabei soll ein bundesweit einheitlicher Lizenzierungsprozess für staatliche Geoinformationen erprobt werden. Egal von welcher Behörde oder aus welchem Bundesland die gewünschten Daten stammen – auf der Internetseite www.GeoLizenz.org sollen die Kunden die entsprechenden Lizenzen für einen einheitlichen Preis erwerben können. Mit wenigen Klicks können sie auf Geodaten aus Gemeinden, 16 Bundesländern und mehreren Bundesbehörden zugreifen.

Gemeinsam mit Vertretern aus Wirtschaft und Verwaltung hat die GIW-Kommission acht Standardlizenzen und überschaubare Pauschaltarife auf der Basis des OpenData-Gedanken entwickelt. OpenData bedeutet im Prinzip die freie Nutzung und Weiterverarbeitung von Daten. Für die wirtschaftliche Nutzung kann OpenData allerdings nur zum Teil

eine Lösung sein. Geschäftsmodelle brauchen Verlässlichkeit und belastbare Geschäftsverbindungen durch Verträge. Die Kommission hat daher das Fair- oder SmartData-Prinzip entwickelt. Dabei werden die Kriterien des OpenData-Gedankens beibehalten, die keine Regelung erfordern. Neu sind marktorientierte Preismodelle, verantwortliche Lizenzierung, offizielle Standards und ein angemessener Datenschutz. Durch den einfachen Klickprozess reduziert sich der Recherche- und Abstimmungsaufwand für Nutzer und Anbieter ganz erheblich.

Das Modellvorhaben wird Anfang 2013 abgeschlossen.

www.GeoLizenz.org

www.GeoBusiness.org



Der Schatz im Keller

Mehrere Millionen Gesteinsproben, Fossilien und Bohrkerne lagern in den geowissenschaftlichen Sammlungen der BGR in Berlin und Hannover. Die Inhalte sollen nun in einer zentralen Datenbank erfasst werden, damit Nutzer einen digitalen Zugang erhalten.

Vom gestreiften Quarzmineral Achat bis zum widerstandsfähigen Silikat Zirkon, von der Trilobitenart *Acastella* bis zur Probe aus alten Kupferminen – alles, was Geowissenschaftler am Planeten Erde interessiert, findet sich irgendwo in den umfangreichen Sammlungen der BGR. Die Gesteine, Minerale und Fossilien lagern in hunderten Schränken, Schubladen und Vitrinen im Keller des Geozentrums Hannover und in einer ehemaligen Reithalle des preußischen Militärs in Berlin-Spandau. Die Zahl der Sammlungsstücke geht in die Millionen. Die großen und kleinen Proben der Erdkruste belegen, wie der Planet aufgebaut ist, wie er sich verändert und wie sich das Leben in all seiner Vielfalt entwickelt. Für Forscher, aber auch für die Wirtschaft sind die geowissenschaftlichen Sammlungen daher von unschätzbarem Wert.

Die Kuratoren der BGR haben sich nun an die Mammutaufgabe gemacht, sämtliche Sammlungsstücke digital in einer Datenbank zu erfassen. Da die Sammlungen historisch gewachsen sind und während der Weltkriege teilweise mehrfach umziehen mussten, wurden Dokumentation und Systematik lange Zeit nicht einheitlich gehandhabt. Das erschwert bislang die Recherche. Nun sollen Nutzer aus Wirtschaft und Forschung online einen zentralen, fachlich gut strukturierten Zugang zu dem Inhalt der Sammlungen erhalten.

Weil die geowissenschaftlichen Sammlungen der BGR so umfangreich sind, ist dafür der Aufbau einer SQL-Datenbank erforderlich. Diese spezielle Datenbanksprache ist geeignet, um alle Anforderungen aus datentechnischer und nutzungstechnischer Sicht zu erfüllen. Alle Teilsammlungen sollen integriert, schon vorhandene Dateien vereinheitlicht werden. Um den gesamten Sammlungsbestand wissenschaftlich fundiert digital zu erfassen, sollen die Metadaten der Sammlungsstücke aufgelistet

und visualisiert werden. Außerdem sollen digitale Identifikatoren vergeben werden – also eine Art Hausnummer, anhand derer sich jedes Objekt eindeutig identifizieren lässt.

Als erstes wollen die BGR-Experten prüfen, welche Software sich am besten für das Projekt eignet. Anschließend soll die ausgewählte Software in Zusammenarbeit mit den Fachkollegen und den Sammlungskuratoren an die speziellen Anforderungen der BGR angepasst werden.



Links: Gesteinsdünnschliffe

Oben: Blick in eines der historischen Gebäude der Sammlungen in Berlin-Spandau

Im nächsten Schritt sollen zunächst die Sammlungen in Berlin erfasst werden. Die dortige Sammlung, die eine über hundertjährige Geschichte hat und zum überwiegenden Teil aus dem Bestand der 1873 gegründeten Preußisch-Geologischen Landesanstalt hervorgegangen ist, beinhaltet viele einzigartige Sammlungsstücke, die zum Teil noch aus den deutschen Kolonialgebieten des 19. Jahrhunderts stammen. Mit Abschluss des Projektes wird der gesamte Bestand der Sammlungen über ein Internetportal für alle nur erdenklichen Nutzer zugänglich sein.

Ansprechpartner Impressum

Ansprechpartner der Projekte

5-6 | Gas in der Falle

Stefan Ladage

Telefon +49 511 643-3737

Stefan.Ladage@bgr.de

Dr. Ulrich Berner

Telefon +49 511 643-2853

Ulrich.Berner@bgr.de

Dr. Christian Ostertag-Henning

Telefon +49 511 643-2884

Christian.Ostertag-Henning@bgr.de

7-8 | Gashydrat-Suche vor Neuseeland

Dr. Katrin Schwalenberg

Telefon +49 511 643-2718

Katrin.Schwalenberg@bgr.de

9-11 | Die Reserven der Kontinentenränder

Dr. Volkmar Damm

Telefon +49 511 643-3226

Volkmar.Damm@bgr.de

Dr. Dieter Franke

Telefon +49 511 643-3235

Dieter.Franke@bgr.de

12 | Magnetometer-Test in der Karibik

Dr. Udo Barckhausen

Telefon +49 511 643-3239

Udo.Barckhausen@bgr.de

13-14 | Tiefsee-Metalle: Der Rauch lichtet sich

Dr. Ulrich Schwarz-Schampera

Telefon +49 511 643-2232

Ulrich.Schwarz-Schampera@bgr.de

Dr. Thomas Kuhn

Telefon +49 511 643-3780

Thomas.Kuhn@bgr.de

15 | Manche mögen's heiß

Prof. Dr. Axel Schippers

Telefon +49 511 643-3103

Axel.Schippers@bgr.de

16 | Rohstoffmonopole gefährden die Innovationskraft

Dr. Ulrich Schwarz-Schampera

Telefon +49 511 643-2232

Ulrich.Schwarz-Schampera@bgr.de

17-18 | Kompetenzzem- trum für Rohstoffe

Dr. Peter Buchholz

Telefon +49 Tel.: +49 30 36993 228

19-20 | Von Altlasten zu neuen Landschaften

Dr. Sven Altfelder

Telefon +49 511 643-3851

Sven.Altfelder@bgr.de

21-22 | Ein schwebenes Verfahren

Dr. Friedrich Schildknecht

Telefon +49 511 643-2671

Friedrich.Schildknecht@bgr.de

Dr. Ursula Noell

Telefon +49 511 643-3489

Ursula.Noell@bgr.de

23-26 | Süßes Wasser im salzigen Untergrund

Dr. Falk Lindenmaier

Telefon +49 511 643-3059

Falk.Lindenmaier@bgr.de

Rolf Rüdiger Ludwig

Telefon +49 511 643-2406

RolfRuediger.Ludwig@bgr.de

Leonard Stöckl

Telefon +49 511 643-3375

Leonard.Stoeckl@bgr.de

27-28 | Wärmebilder vom Toten Meer

Friedhelm Schwonke

Telefon +49 511 643-3004

Friedhelm.Schwonke@bgr.de

29-30 | Messungen aus luftiger Höhe

Dr. Christina Salat

Telefon +49 511 643-2807

Christina.Salat@bgr.de

31 | Kleine Partikel mit großer Wirkung

Martin Hoppe

Telefon +49 511 643-3098

Martin.Hoppe@bgr.de

Prof. Dr. Wilhelmus Duijnisveld

Telefon +49 511 643-2810

Wilhelmus.Duijnisveld@bgr.de

32 | Vom Guten zu viel

Dr. Florian Stange

Telefon +49 511 643-3071

Florian.Stange@bgr.de

Prof. Dr. Wilhelmus Duijnisveld

Telefon +49 511 643-2810

Wilhelmus.Duijnisveld@bgr.de

33-35 | Die Natur als Labor

Dr. Franz May

Telefon +49 511 643-3784

Franz.May@bgr.de

36 | Ein Handbuch für CCS-Projekte

Dr. Martin Krüger

Telefon +49 511 643-3102

Martin.Krueger@bgr.de

37 | Chemie unter Druck

Dr. Christian Ostertag-Henning

Telefon +49 511 643-2884

Christian.Ostertag-Henning@bgr.de

38 | Endlagerung im Zeitraffer

Michael Menté

Telefon +49 511 643-2246

Michael.Mente@bgr.de

39-40 | Geologie und Geomechanik in 3D

Prof. Dr.-Ing. Stefan Heusermann

Telefon +49 511 643-2429

Stefan.Heusermann@bgr.de

41-42 | Tiefe Geothermie

Dr. Torsten Tischner

Telefon +49 511 643-2475

Torsten.Tischner@bgr.de

34-44 | Die Atmosphäre schlägt Wellen

Dr. Lars Ceranna

Telefon +49 511 643-2252

Lars.Ceranna@bgr.de

45-46 | Geologisches Neuland im Eismeer

Dr. Karsten Piepjohn

Telefon +49 511 643-3236

Karsten.Piepjohn@bgr.de

Dr. Christoph Gaedicke

Telefon +49 511 643-3790

Christoph.Gaedicke@bgr.de

47-49 | Nahtstelle unter dem Eis

Dr. Andreas Läufer

Telefon +49 511 643-3137

Andreas.Laeufer@bgr.de

48 | Geodaten per Mausclick

Dr. Jörg Reichling

Telefon +49 511 643-3000

Joerg.Reichling@geobusiness.org

49 | Schatz im Keller

Dr. Angela Ehling

Telefon +49 30 36993-412

Angela.Ehling@bgr.de

Dr. Jochen Erbacher

Telefon +49 511 643-2795

Jochen.Erbacher@bgr.de

Die BGR

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ist als Bundesoberbehörde die zentrale geowissenschaftliche Beratungseinrichtung der Bundesregierung. Sie gehört zum Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Als geowissenschaftliches Kompetenzzentrum berät und informiert sie die Bundesregierung und die deutsche Wirtschaft in allen geowissenschaftlichen und rohstoffwirtschaftlichen Fragen. Ihre Arbeit dient einer ökonomisch und ökologisch vertretbaren Nutzung und Sicherung natürlicher Ressourcen und somit der Daseinsvorsorge. Als nationaler Geologischer Dienst von Deutschland nimmt die BGR zahlreiche internationale Aufgaben wahr. Im Inland hat sie überwiegend koordinierende Funktionen. Zusammen mit dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) und dem Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) bildet die BGR das GEOZENTRUM Hannover. Die BGR beschäftigt derzeit ca. 760 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon ca. 45% Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der prozentuale Anteil an befristetem Personal beträgt ca. 30%. Das Budget der BGR beträgt durchschnittlich 72 Mio. Euro Haushaltsmittel und 15 Mio. Euro Drittmittel.

Impressum

© Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2012)

Kontakt BGR

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

Stilleweg 2

D-30655 Hannover

Telefon +49 511 643-2249

Telefax +49 511 643-3685

E-Mail info@bgr.de

www.bgr.bund.de

Redaktionsteam

Andreas Beuge

Dr. Jochen Erbacher

Dr.-Ing. habil Ingeborg Göbel

Dr. Ingo Heyde

Klaus Kruse

Bettina Landsmann

Gabriele Lopez Wismer

Texte

Ute Kehse

Konzeption und Gestaltung

neuwaerts GmbH

www.neuwaerts.de

Druck

Jevtovic Druckerei GbR

Vahrenwalder Straße 219a

30165 Hannover

Bildnachweis

Mit Ausnahme der Fotos auf den Seiten 19 und 20 stammen alle Bilder und Abbildungen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Geozentrums



▶▶ www.bgr.bund.de

Herausgeber:
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Stilleweg 2
D-30655 Hannover
Telefon: +49 511 643-0
Telefax: +49 511 643-2304