

# Resource

Forschungsvorhaben der Bundesanstalt  
für Geowissenschaften und Rohstoffe 2010 - 2014



## Nordsee für Nutzer

Ein neues Geoinformationssystem  
erschließt die Geologie der Nordsee

## Durchlauferhitzer in der Tiefe

BGR erprobt innovative  
Geothermie-Konzepte

## Spurensuche unter dem Eis

Die Geschichte der  
Antarktis kommt ans Licht

A large photograph showing several men working in a deep, reddish-brown mine. They are using traditional methods, with one man in the foreground using a large wooden mortar and pestle to process the ore. The walls of the mine are composed of layered, reddish-brown rock.

## Coltan mit Zertifikat

BGR-Verfahren ermöglicht  
Herkunfts-Nachweis



*Prof. Dr.  
Hans-Joachim  
Kümpel*

Präsident der  
Bundesanstalt für  
Geowissenschaften  
und Rohstoffe

## Liebe Leserinnen und Leser

Etwa zwei Fünftel der Arbeiten der BGR fallen in den Bereich Forschung und Entwicklung. Als zentrale geowissenschaftliche Beratungseinrichtung der Bundesregierung sichert die BGR damit vorrangig 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 und nach Stand von Wissenschaft und Technik erbracht werden.

Die erstmalig erstellte Broschüre **Resource** gibt einen Überblick über die markantesten Forschungsvorhaben der BGR in den Jahren 2010 bis 2014. Inhalt und Aufmachung unterscheiden sich deutlich von den FuE-Plänen früherer Jahre, die für eine Fachleserschaft erstellt wurden und in zweijährigem Rhythmus die Ziele, jüngsten Forschungsergebnisse sowie Arbeitsprogramme der laufenden FuE-Projekte aufgelistet haben. **Resource** richtet sich an den breiten Kreis von Kunden und Nutzern der BGR sowie an die interessierte Öffentlichkeit und informiert anschaulich und lebensnah über aktuelle Fragestellungen, Herausforderungen und Lösungsansätze der spannenden Aufgaben, denen sich die BGR widmet.

Ich wünsche Ihnen bei der Lektüre viel Spaß. Zögern Sie nicht, sich an uns zu wenden, wenn Sie Näheres über einzelne Vorhaben wissen möchten oder Anregungen für unsere Arbeiten haben. Schauen Sie auch gerne auf unsere Web-Seiten unter [www.bgr.bund.de](http://www.bgr.bund.de), wo Sie unseren kostenlosen elektronischen Newsletter abonnieren können. Mein besonderer Dank für die Idee und Erstellung zu dieser Form des FuE-Berichts der BGR geht an Frau Gabriele Schneider, Herrn Dr. Jochen Erbacher und an alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des **Resource**-Teams.

*Hans-Joachim Kümpel*



Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Von der Atacama-Wüste bis nach Transbaikalien, vom Nordpol bis zum Südpol und vom Meeresboden bis zu den höchsten Gipfeln: Um die Lebensgrundlagen unserer Gesellschaft zu sichern, ist die BGR überall auf dem Globus aktiv. **Resource** stellt die wichtigsten Forschungsvorhaben im In- und Ausland vor.

# INHALT

- 4-5 Die BGR im Überblick  
Forschung an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

## ROHSTOFFE

### Energierohstoffe

- 6-7 Erdölsuche am Limit
- 8-9 Appetit auf Erdöl
- 9 Leben im Untergrund

### Mineralische Rohstoffe

- 10 Schatzsuche im Makwiro River
- 11 Kupfer aus biologischem Abbau
- 12 Renaissance der Abraumhalden
- 13 Rohstoffe und Konflikte
- 14-15 Rohstoff-Ernte in der Tiefsee
- 16-17 Coltan mit Zertifikat  
BGR-Verfahren ermöglicht Herkunfts-Nachweis
- 17 Der feine Wunderstoff

32-33

Durchlauferhitzer  
in der Tiefe

36-39

Nordsee für Nutzer



42-45

Spurensuche  
unter dem Eis

BODEN UND GRUNDWASSER

- 18-19 Bodenkartierung
- 18-19 Flurbereinigung im Datenwald
- 20-21 Aerogeophysik
- 20-21 Aus der Luft in die Tiefe blicken
- 22-23 Bodenforschung
- 22-23 Mobil im Untergrund
- 23 Die Macht der Infiltration

CO<sub>2</sub>-SPEICHERUNG

- 24-25 Speicher-Kataster / CCS
- 24-25 Vom Erdgasreservoir zum CO<sub>2</sub>-Speicher

ENDLAGERUNG

- Endlagerung radioaktiver Abfälle
- 26-28 Gibt es ein sicheres Endlager im Salz?
- 29 Der harte Stein
- 30-31 Forschung im Felslabor

GEOTHERMIE

- Erdwärme
- 32-33 Durchlauferhitzer in der Tiefe  
BGR erprobt innovative Geothermie-Konzepte
- Induzierte Seismizität
- 34-35 Das Zittern im Untergrund

GEOLOGIE

- Nordsee
- 36-39 Nordsee für Nutzer  
Ein neues Geoinformationssystem erschließt die Geologie der Nordsee
- OneGeology-Europe
- 39 Geologie ohne Grenzen

POLARFORSCHUNG

- Arktis
- 40-41 Puzzlespiel im hohen Norden
- Antarktis
- 42-45 Spurensuche unter dem Eis  
Die Geschichte der Antarktis kommt ans Licht

- 46-47 Adressen und Ansprechpartner
- 47 Impressum

„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

## Forschung an 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. Die Forschung an der BGR trägt 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 ökologischen 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

- 
- 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 Institutes mit der V.S. Gauss in die Deutsche Nordsee.
  - 1963** Beginn der Forschungsarbeiten zur Standort-suche 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.



Geopotenziale verantwortlich genutzt und die menschlichen Lebensbedingungen 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. Mit dem Forschungsprojekt „GeneSys“ geht sie neue Wege bei der Nutzung der geothermischen Energie (S. 32-33). In multinationalen Projekten beteiligt sie sich an der Erforschung von Meeres- und Polarregionen (S. 6-7, 36-45). Zuhause wie weltweit engagiert sich die BGR dabei, die Ressourcen Wasser und Boden zu erkunden, nachhaltig zu nutzen und zu schützen (S. 18-23).

Die BGR erkundet zudem den Untergrund als Speicher und Wirtschaftsraum. Sie untersucht die geologische Sicherheit möglicher Standorte zur Endlagerung radioaktiver Abfälle (S. 26-31). Als mögliche Maßnahme zum Klimaschutz prüft sie, welche Optionen der CO<sub>2</sub>-Speicherung im Untergrund bestehen (S. 24-25). Die BGR registriert die weltweite Erdbebenaktivität mit einem Netz hochempfindlicher Seismographen. Für die Bundesrepublik Deutschland kommt die BGR den Verpflichtungen des internationalen Kernwaffenteststoppabkommens nach, indem sie zum Beispiel Messstationen und ein Datenzentrum betreibt. Die BGR hilft gefährdeten Ländern beim Georisiko-Management. Auch beim Geomweltschutz unterstützt die BGR andere Nationen.

Die BGR pflegt geowissenschaftliche Datenbanken und Sammlungen und unterhält eine umfangreiche Fachbibliothek. Sie bietet die Informationen und Daten im Internet an. Digitale Produkte werden über einen eShop vertrieben. Die BGR stellt ihr Know-how in internationalen Projekten zur Verfügung. Die gewonnenen Daten sichert sie in kundengerechten Informationssystemen.

Wissenschaftliche Forschung ist ein wichtiger Bestandteil der Tätigkeit der BGR. Denn 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 ist für Sie da!



Das Alfred-Benz-Haus, Hauptgebäude des Geozentrums Hannover.

1979

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

1986

Erster wissenschaftlicher Einsatz des derzeitigen Hubschraubers der BGR.

1991

Gründung der Außenstelle Berlin in der Invalidenstraße 44, aus dem ehemaligen Bestand des Zentralen Geologischen Instituts der DDR.

1996

Umzug der Außenstelle nach Berlin-Spandau, als Dienstbereich Berlin der BGR.

2006

Die BGR unterschreibt einen Lizenzvertrag für die Exploration von Manganknollen im zentralen Pazifik.

2007

Das BGR-Konzept zur Zertifizierung der Handketten von Rohstoffen wird ins Protokoll des G8-Gipfels aufgenommen.

2009

Start von Geopotenzial Deutsche Nordsee (GPDN), einem Gemeinschaftsprojekt von Bund und Land Niedersachsen.

# Energierohstoffe

CASE: Circum-Arctic Structural Events

NARES 2010: Nares-Straße

SO 197-RISE: Riftprozesse und Beckenbildung im nördlichen Südchinesischen Meer

MoBaMasis: Mozambique Basin Madagascar Seismic Experiment

SUGAR: Submarine Gashydrat-Lagerstätten: Erkundung, Abbau und Transport

## Erdölsuche am Limit

Die Zeit des günstigen Erdöls ist vorbei. Um die zukünftige Verfügbarkeit abzuschätzen und zur Versorgungssicherheit beizutragen, entwickeln BGR-Forscher und Forscherinnen neue Explorationsmethoden. Sie erkunden das Potenzial möglicher Vorkommen von Erdöl und Erdgas in großen Wassertiefen entlang der Kontinentränder und in den arktischen Randmeeren. Außerdem erforschen sie nichtkonventionelle marine Energierohstoffe.

Im Laufe der Erdgeschichte zerbrachen immer wieder Kontinente und es bildeten sich neue Meere. Das Ende des Superkontinents Gondwana begann vor etwa 165 Millionen Jahren im Erdzeitalter Jura, während der Blütezeit der Dinosaurier. Der Ostteil der Landmasse – die heutige Antarktis, Indien, Australien und Madagaskar – trennte sich vom Westteil, bestehend aus dem heutigen Afrika und Südamerika. Auch wenn sich der Kontinentzerfall vor Urzeiten abspielte, ist er ein hochaktuelles Thema für Erdöl-Geologen. Denn dabei entstanden womöglich reiche Vorkommen an Erdöl und Erdgas.

Einige davon sind bislang unangetastet. „Die Tiefwassergebiete passiver Kontinentränder sind neben der Arktis die verbleibenden Gebiete mit bislang nicht entdeckten, aber potenziell größeren Erdöl- und Erdgasvorkommen“, sagt Rohstoff-Experte Dr. Dieter Franke von der BGR. In vielen dieser sogenannten „Frontiergebiete“ sind er und andere BGR-Forscher aktiv. Zum Beispiel im Mosambikbecken, wo der Zerfall von Gondwana vermutlich begann: Bei einer Expedition mit dem französischen Forschungsschiff „Marion Dufresne“ erkundeten deutsche und französische Forscher um Dr. Axel Ehrhardt 2007 den Meeresboden zwischen der ostafrikanischen Küste und Madagaskar mit geophysikalischen Messungen. Der Blick in die Tiefe soll dabei helfen, die geologische Geschichte des Beckens zu verstehen und schließlich dessen Erdöl- und Erdgaspotenzial abzuschätzen.

Sedimentbecken entstehen

Oft ist der Zerfall von Kontinenten unmittelbar mit der Entstehung von Erdölvorkommen verknüpft. An den Bruchstellen dehnt sich die Erdkruste zunächst. Dabei bilden sich flache Meeresbecken. Die Kontinentränder entfernen sich immer weiter voneinander. Von den Landmassen werden gleichzeitig große Mengen Erosionsschutt ins Meer gespült, die die entstandenen Gräben verfüllen. Enthalten diese ausreichend organisches Material, ist eine wichtige Voraussetzung für die Bildung von Erdöl und Erdgas geschaffen.

Im Mosambikbecken haben die BGR-Geologen solch eine verdächtige Struktur identifiziert: Am sogenannten Beira-Hoch sind die sonst bis zu acht Kilometer dicken Sedimente stark ausgedünnt, festes Gestein steigt dort bis knapp unter den Meeresboden auf. „Noch ist ungeklärt, ob dieses Hoch kontinentalen oder ozeanischen Ursprungs ist“, sagt Axel Ehrhardt. „Wenn es sich um ein Kontinentbruchstück handelt, könnte das die Entstehung von Kohlenwasserstoffen in den umliegenden Sedimentbecken womöglich gefördert haben.“

Eine ähnliche Geschichte wie das Mosambikbecken hat auch die Südchinesische See westlich der Philippinen. „Die Südchinesische See ist wegen ihres relativ jungen Alters und des geringen Eintrags von Sedimenten besonders geeignet, um die Entstehung tiefer Kontinentalrandbecken zu verstehen“, sagt Dr. Dieter Franke, der 2008 eine Expedition

des Forschungsschiffes „Sonne“ in das Meeresgebiet leitete. Mit seismischen Messungen erkundeten Franke und Kollegen, wie die gedehnte kontinentale Kruste beim Kontinentalzerfall in ozeanische Kruste übergeht.

### Vorstoß in die Arktis

Ein weiterer Schwerpunkt des BGR-Forschungsprogramms ist die Arktis. „Die Expeditionen der BGR bilden eine sehr wichtige Grundlage im Vorfeld späterer Aktivitäten der Industrie“, betont Projektleiter Dr. Karsten Piepjohn. Die arktischen Kontinentränder sind wegen ihrer klimatischen Verhältnisse und ihrer Abgelegenheit nach wie vor nicht vollständig geologisch kartiert. Innerhalb des BGR-Forschungsvorhaben untersuchen Forscher aus verschiedensten geowissenschaftlichen Disziplinen, wie die heutigen Landgebiete rund um die Arktis zueinander lagen, bevor sich der Nordatlantik und das Polarmeer öffneten. „Mit diesem Wissen lässt sich prognostizieren, ob die noch unzugänglichen Schelfgebiete Sibiriens ein hohes Kohlenwasserstoff-Potenzial besitzen“, sagt Piepjohn. Eine BGR-Expedition auf dem Forschungsschiff „Polarstern“, gemeinsam durchgeführt mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven im Sommer 2010, hat das Gebiet zwischen Kanada und Grönland zum Ziel. Dr. Volkmar Damm und Kollegen wollen dabei die geologische Geschichte der Baffin-Bucht, der Davis- und der Nares-Straße erforschen und das Kohlenwasserstoff-Potenzial der Meeresbecken erkunden.

### Suche nach Gashydraten

Neben den konventionellen Kohlenwasserstoffen, die den Schwerpunkt der BGR-Rohstoffforschung bilden, stehen auch nicht-konventionelle Kohlenwasserstoffe wie Gashydrat auf dem Forschungsplan. Methan und Wasser bilden unter hohen Drücken und niedrigen Temperaturen eine feste, eisförmige Verbindung, die im Meeresboden entlang der Kontinentalränder weltweit in großen Mengen vorkommen

und sich in Zukunft zu einer bedeutenden Energiequelle entwickeln könnten. Auf einer Expedition des Forschungsschiffs „Sonne“ im Januar 2007 vor Neuseeland setzte BGR-Forscherin Dr. Katrin Schwahlenberg ein elektromagnetisches Verfahren ein, um Gashydrate im Meeresboden aufzuspüren. Schwahlenberg konnte zeigen, dass sich Gashydrate mit dem Verfahren CSEM (Controlled Source Electromagnetics) sehr gut abbilden lassen. Nun entwickelt sie das Verfahren innerhalb des Projektes SUGAR (Submarine Gashydrat-Lagerstätten: Erkundung, Abbau und Transport) weiter. Dieses Verbundvorhaben, das von den Bundesministerien für Wirtschaft und Technologie sowie Bildung und Forschung gefördert

wird und an dem insgesamt 30 Partner aus Forschung und Industrie beteiligt sind, erkundet das Potenzial

von submarinen Gashydratvorkommen als Rohstoffquelle und als Deponie für das Treibhausgas CO<sub>2</sub>. ■

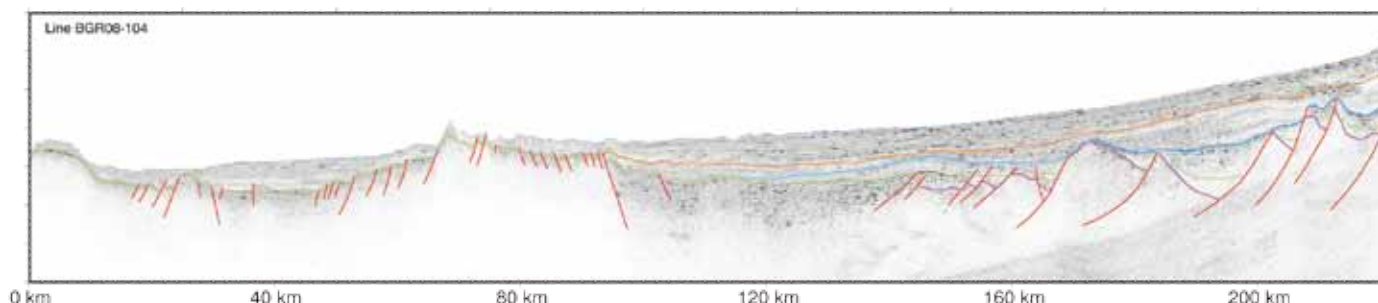
» Die Expeditionen der BGR bilden eine wichtige Grundlage im Vorfeld späterer Aktivitäten der Industrie. «



Aussetzen des Streamers bei marin-seismischen Erkundungen am Kontinentrand vor Mosambik.

LINKS >>>

[www.sugar-projekt.de](http://www.sugar-projekt.de)



Seismisches Profil des Kontinentrandes im Südchinesischen Meer westlich der Philippinen. Auf dem linken Teil des Profils ist ozeanische Kruste zu sehen. Im rechten Teil ist gedehnte, durch Sedimentbecken gekennzeichnete, kontinentale Kruste abgebildet.

DFG-Schwerpunktprogramm 1319

„Biologische Umsetzungen von Kohlenwasserstoffen in Abwesenheit von Sauerstoff: Von der molekularen zur globalen Ebene“



Bestimmung des Potenzials für die mikrobielle Umwandlung von Erdöl zu Methan in Produktionswässern eines ägyptischen Ölfeldes.

# Appetit auf Erdöl

Viele Erdöllagerstätten sind von Mikroben bevölkert. Einige erzeugen als Endprodukt die Verbindung Methan, den Hauptbestandteil von Erdgas. Kann man diese Fähigkeit nutzen, um unzugängliche Ölreste zu fördern? BGR-Forscher sind den Einzellern auf der Spur.

Erdöl ist eine Delikatesse - zumindest für Mikroben. In den meisten Lagerstätten der Welt leben unterschiedlichste Bakterien, die sich von Kohlenwasserstoffen ernähren. Sehr zum Leidwesen der Mineralölindustrie: Die Mikroben hinterlassen einen zähen Mix aus langkettigen Kohlenwasserstoffen und ringförmigen Verbindungen. Zudem reichern sie unerwünschte Stoffe, wie zum Beispiel Schwefel, organische Säuren und Metalle, in einer Lagerstätte an. All das vermindert die Qualität des Erdöls: Es ist schwieriger zu fördern, hat einen

höheren Schadstoffgehalt und erzielt einen geringeren Preis.

Bislang ist allerdings noch weitgehend unklar, welche Mikroben an dem Zerstörungswerk beteiligt sind und wie ihr Stoffwechsel funktioniert. Die Einzeller sind Überlebenskünstler: Sie haben sich an Temperaturen von 80 Grad Celsius und mehr angepasst, vertragen den Druck von mehreren hundert Metern Gestein und führen ein Leben ohne Sauerstoff. Zudem ist das energiereiche Gemisch aus Kohlenwasserstoffen auch für Mikroorganismen schlecht verdaulich.

Chemisch gesehen sind Kohlenwasserstoffe nämlich äußerst stabil: Sie reagieren kaum mit anderen Substanzen und sind daher nur schwer abbaubar.

Wahrscheinlich teilen sich verschiedene Mikrobenarten die Arbeit. Wie diese Konsortien genau funktionieren, wollen Forscher um Dr. Martin Krüger nun herausfinden. Nach erfolgreichen Laborversuchen planen sie, sogenannte Aufwuchskörper für einige Zeit in Lagerstätten einzuführen, damit sie von Mikroben besiedelt werden können. Anschließend wollen



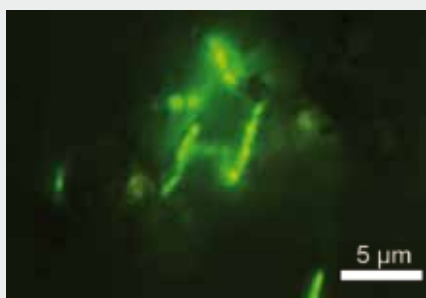
die Forscher die Bakterien-Gemeinschaften im Labor untersuchen: Wie funktionieren Stoffwechsel und Arbeitsteilung, welche Kohlenwasserstoffe mögen sie am liebsten, unter welchen Umweltbedingungen wachsen sie am besten?

Besonders interessieren sich Krüger und Kollegen für jene Mikroben, die Erdöl in Methan umwandeln, den einfachsten Kohlenwasserstoff. Erst in den letzten Jahren hat sich herausgestellt, dass das in vielen Ölvorkommen enthaltene Erdgas teilweise heute noch von Mikroben gebildet wird. Diese Fähigkeit wollen Krüger und seine Kollegen nutzen, um ausgeförderte oder bereits stillgelegte Felder neu zu aktivieren. „Selbst mit den besten Fördermethoden können nur 30 bis 40 Prozent des vorhandenen Rohöls aus einer Lagerstätte gefördert werden, der größte Teil bleibt also im Boden“, sagt Krüger. Der Forscher sucht nach einfachen biotechnologischen Verfahren, mit denen sich der Appetit der methanerzeugenden Mikroben stimulieren lässt. Die Idee dahinter: Wenn sich das schwer förderbare Restöl in Methan umwandeln lässt, gewinnt man eine ergiebige und zudem umweltschonende Energieresource. ■

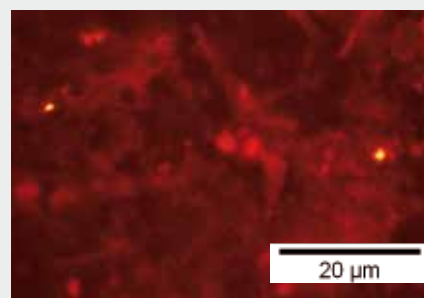
#### LINKS ❖❖

[www.helmholtz-muenchen.de/spp1319](http://www.helmholtz-muenchen.de/spp1319)

## Leben im Untergrund



Mit dem Farbstoff SYBR Green gefärbte längliche Mikroorganismen.



Zwei mittels CARD-FISH nachgewiesene, lebende Bakterien in tiefen Sedimenten.

Nicht nur Erdöllagerstätten, auch Meeresedimente sind ein beliebter Lebensraum. Selbst in 500 Metern Tiefe leben in einem Kubikzentimeter Meeresboden noch hunderttausende von Mikroben. Die Bewohner des Untergrundes sind nach bisheriger Kenntnis ausschließlich primitive Einzeller ohne Zellkern, sowohl Bakterien als auch sogenannte Archaeen, die sonst vor allem extreme Milieus wie heiße Quellen, Kuhmägen oder saure Bergbauabwässer lieben. Schätzungen zufolge leben in der tiefen Biosphäre mehr Mikroben als auf der Oberfläche der Erde. Die genügsamen Überlebenskünstler im Meeresboden zersetzen Biomasse, wandeln Sulfat in Schwefelwasserstoff um oder verdauen Eisen im Basaltgestein. Doch wie hoch die Bevölkerungszahl dieses erst vor einem Jahrzehnt entdeckten Lebensraums genau ist und wie tief er ins Erdinnere reicht, ist bislang unklar. Privatdozent Dr. Axel Schippers, Leiter der BGR-Arbeitsgruppe Geomikrobiologie, hat ein Verfahren angewendet, mit dem sich diese Fragen klären lassen: Die sogenannte CARD-FISH-Methode (Catalyzed Reporter Deposition - Flu-

orescence In Situ Hybridisation) kann lebende Mikroben von toten oder inaktiven Zellen unterscheiden. Dabei wird ein besonderer Abschnitt des Erbmaterials, der nach dem Tod einer Zelle schnell zerfällt, mit einem fluoreszierenden Farbstoff markiert. Das Ergebnis der Studie: Bis zu einem Drittel aller Zellen der tiefen Biosphäre sind aktiv. Schippers und seine Kollegen untersuchen nun, wie sich die Mikroben von Meeresedimenten in verschiedenen Meeresregionen unterscheiden, zum Beispiel im offenen Ozean, an Kontinentalrändern oder in Auftriebsgebieten, wo nährstoffreiches Meerwasser aus der Tiefe an die Oberfläche strömt. Die BGR-Forscher arbeiten eng mit Kollegen vom Max-Planck-Institut für Marine Mikrobiologie in Bremen zusammen. Erste Forschungsergebnisse deuten an, dass die Zahl der Mikroben in unterschiedlichen Meeresgebieten stark schwankt. ■

#### LINKS ❖❖

[www.darkenergybiosphere.org](http://www.darkenergybiosphere.org)  
[www.iodp.org](http://www.iodp.org)

Platinmetall-Lagerstättengenese: Entwicklung von Modellen zur Diversifikation der Rohstoffbasis von Hochtechnologiemetallen  
 Genese und Proxis von Hochtechnologiemetallen (elektronische und Sondermetalle)

## Schatzsuche im Makwiro River

Platin und verwandte Edelmetalle sind rar. BGR-Forscher suchen nach neuen Lagerstätten und arbeiten an Methoden, um die Edelmetalle aus bislang nicht beachteten Erzen zu gewinnen.

Schon die Namen der Metalle klingen kostbar. Ruthenium, Rhodium, Palladium, Osmium, Iridium und Platin – diese sechs bilden die Gruppe der sogenannten Platingruppenelemente oder Platinmetalle, die zu den seltensten und wertvollsten Stoffen auf der Erde zählen. In einer Tonne Gestein aus dem Erdmantel sind im Durchschnitt nur etwa 20 Milligramm dieser Elemente enthalten.

Nur in wenigen Gegenden der Erde haben sich die Platinmetalle durch magmatische Prozesse so stark angereichert, dass sich der Abbau lohnt. Mehr als vier Fünftel der Weltproduktion, die vor allem für Katalysatoren, Medizin- und Elektronikprodukte sowie Schmuck benötigt wird, stammt aus Russland und Südafrika. „Seit mehr als einem Jahrzehnt arbeitet die BGR daran, die Versorgungssituation der deutschen Industrie zu verbessern“, berichtet Dr. Thomas Oberthür, Leiter des BGR-Arbeitsbereichs Lagerstätten. Deutschland verbraucht knapp ein Fünftel der Weltproduktion, vor allem für Katalysatoren in Autos.



Abbau von Platinerz, Mogalakwena Mine, Bushveld, Südafrika.

Platinkristall aus einem Seifenvorkommen, Bushveld, Südafrika. Elektronenmikroskopische Aufnahme.

Die BGR-Forscher sind zum Beispiel in Simbabwe aktiv. Dort zieht sich ein 550 km langer, dünner Streifen aus uraltem Gestein quer durch das Land, der sogenannte Great Dyke, der große Platinmetallreserven enthält. Wahrscheinlich mehr als 400 Millionen Tonnen der dort vorhandenen, oberflächennahen Platinerze sind verwittert: Im Laufe der Jahrtausenden hat Sauerstoff die Mineralkörnchen angegriffen und die Metallverbindungen oxidiert. Untersuchungen von Oberthür und Kollegen haben nun gezeigt, dass sich der Gehalt an Platingruppenelementen durch die Verwitterung nicht nennenswert verringert hat. „Wirtschaftliche Aufbereitungsmethoden für solche Erze existieren aber bislang nicht“, sagt der BGR-Rohstoff-Experte. Er und seine Kollegen untersuchen die winzigen Mineralkörner daher akribisch, um festzustellen, mit welchen anderen Elementen sich Palladium, Platin und

Co. in den Oxiden verbunden haben. Mit diesem Wissen wollen sie Methoden entwickeln, um die Edelmetalle von dem unerwünschten Beiwerk zu trennen.

Hinweise auf tieferliegende Lagerstätten suchen die BGR-Experten auch an der Erdoberfläche. In der Nähe von Erzvorkommen können sich schwere, glänzende Platinkörnchen in Flussbetten anreichern, wie zum Beispiel im Makwiro River in Simbabwe. „Das chemische Verhalten der Platinmetalle lässt sich in diesen ‚Seifen‘ leichter nachvollziehen“, sagt Thomas Oberthür. „Außerdem erlauben sie Rückschlüsse darauf, ob sich eine Platinmetall-Lagerstätte in der Nähe befindet.“

Die BGR-Forscher sind damit allen Stationen des Platin-Kreislaufs auf der Spur: Von den Primär-Erzen in der Tiefe über verwitterte Oxiderze bis hin zu den fein verteilten, edel glänzenden Seifen in Flusssedimenten. ■

# Kupfer aus biologischem Abbau

Mit Hilfe von Bakterien können Erze umweltfreundlich aufbereitet und Bergbau-Altlasten wirtschaftlich saniert werden. BGR-Forscher untersuchen Mikroben, die sich im extrem trockenen Klima der Atacama-Wüste in Chile wohlfühlen. Sie sollen eine salzhaltige, schwefelreiche Halde sanieren, die das Ökosystem einer gesamten Bucht zerstört hat.

Säure, Schwefel und Metalle bilden eine Mischung, die für die meisten Lebewesen ziemlich ungesund ist. Doch Bakterien wie *Acidithiobacillus*, *Acidimicrobium* oder *Sulfobacillus* lieben diesen Cocktail. In Halden aus Bergbaurückständen fühlen sich die Mikroben so richtig wohl. Dr. Axel Schippers, Leiter der BGR-Arbeitsgruppe Geomikrobiologie, hat eine ganze Sammlung solcher exotischen Mikroorganismen aufgebaut. Die widerstandsfähigen Einzeller können mit verschiedenen biotechnologischen Verfahren dazu angeregt werden, Metalle aus Erzen zu befreien. Anders als bei der traditionellen Erzaufbereitung entstehen dabei keine umweltschädlichen Abgase, zudem ist der Energieaufwand dieser sogenannten Metall-Biolaugung gering. „Die Mikroben können auch bei der Sanierung von Halden eingesetzt werden,“ sagt Schippers: „Dies hat zwei Vorteile: Man saniert eine Altlast und gewinnt auch noch Wertstoffe.“

*Acidithiobacillus* und Konsorten waren lange Zeit ein Problem. Die Mikroben kommen auch natürlich auf Abrauhalden vor und sondern umweltschädliche Lösungen ab: die gefürchteten sauren Bergbauwässer („acid mine drainage“). Doch gleichzeitig oxidieren sie unlösliche Metallverbindungen und waschen dabei Kupfer, Gold und andere wertvolle Metalle aus den Erzresten. Werden die Bakterien gezielt stimuliert und die Abwässer aufgefangen, lassen sich ihre Fähigkeiten wirtschaftlich nutzen. „Der Marktanteil der Biolaugung ist in den letzten Jahren stark angestiegen, bei Kupfer liegt er bereits zwischen zehn und fünfzehn Prozent“, berichtet Axel Schippers.

Zurzeit untersuchen BGR-Forscher zusammen mit chilenischen Kollegen von der Universität Concepción, welche Mikroben in einer Halde in der Bucht von Chañaral in der Atacama-Wüste gedeihen. Die Rückstände stammen von einer inzwischen stillgelegten Kupfermine und wurden angespült. Regelmäßig kommen sie mit Meerwasser aus dem Pazifik in Kontakt. Trotz der extremen Trockenheit und des hohen Salzgehalts bilden sich auch in dieser Halde Bergbauwässer, die Kupfer und andere Metalle ins Meer waschen. Innerhalb des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projektes sollen nun die salztoleranten und trockenheitsresistenten Mikroben, die die Erzreste bevölkern, im Labor kultiviert werden, um in Trockengebieten Anwendungsmöglichkeiten für den Bio-Bergbau zu schaffen. ■



Kupfer-Tagebau Chuquicamata in Chile.

## LINKS

[biomine.brgm.fr/](http://biomine.brgm.fr/)  
[www.imwa.info/imwa/imwam-wine.php](http://www.imwa.info/imwa/imwam-wine.php)

## Renaissance der Abraumhalden

Auf Bergbauhalden haben Wind und Wetter ein leichtes Spiel: Der Abraum eines Bergwerks ist den Kräften der Erosion viel stärker ausgesetzt als natürliche Felsformationen. Dadurch können Halden zur Gefahr für die Umwelt werden - aber auch zu einer Quelle wertvoller Rohstoffe.

Die Bergbauhalden sind weiß, braun oder schwarz und können riesige Ausmaße annehmen. Sie prägen in vielen Revieren das Landschaftsbild, im Ruhrgebiet sind einige bereits zu Naherholungsgebieten oder gar Kunstwerken avanciert.

Für Mineralogen sind Bergbauhalden aber auch ein natürlicher Reaktor: Geologische Prozesse, die Jahrtausende oder Jahrmillionen andauern, laufen hier im Schnelldurchgang ab. Das Regenwasser, das problemlos durch den aufgeschütteten Abraum sickert, löst Stoffe aus dem Schutt und lagert sie anderswo wieder ab. Chemische Reaktionen und Bakterien nagen an den Mineralkörnern: Die Gesteinspartikel verwittern im Zeitraffer.

Die Veränderungen, die Bergbauhalden im Laufe der Zeit durchmachen, untersuchen Forscher um Dr. Dieter Rammlmair aus dem Fachbereich Rohstoffgeologie. Denn zum einen können die Umlagerungsprozesse die Umwelt gefährden. Wenn Schadstoffe mobilisiert werden und ins Grundwasser gelangen, droht umliegenden Ökosystemen Gefahr. Bergbauhalden können aber auch zu neuen Lagerstätten werden: Nicht selten reichern sich wertvolle Metalle an bestimmten Stellen einer Halde so stark an, dass ein erneuter Abbau wirtschaftlich wird. Vor allem Halden von Erzbergwerken oder Stahlwerken könnten daher in Zukunft eine Renaissance erleben. Sie enthalten häufig Metalle,

die in High-Tech-Produkten benötigt werden. In der Vergangenheit wurden diese Stoffe oft nicht gewonnen, teils, weil es sich nicht lohnte, teils, weil die Metalle vor einigen Jahrzehnten noch nicht interessant waren.

Rammlmair und seine Kollegen untersuchen nun, welche Parameter die Verwitterung und Lagerstätten-Neubildung auf einer Halde steuern. Zum Beispiel spielt das lokale Klima eine wichtige Rolle: Ist der Niederschlag höher als die Verdunstung, verlagern sich Stoffe eher nach unten. Überwiegt die Verdunstung, steigen gelöste Substanzen durch die Kapillarkräfte nach oben und können feste Krusten an der Oberfläche bilden. Die BGR-Mineralogen führen sowohl Laborversuche als auch Feldmessungen durch. Dabei ermitteln sie, welche Stoffe auf verschiedenen Halden vorhanden sind und wie schnell sie durch chemische oder biologische Prozesse verändert werden. Aus den gewonnenen Daten stellen die Forscher Modelle für die zukünftige Entwicklung der Halden her. Diese neuen Methoden helfen dabei, das Gefährdungspotenzial einzelner Halden einzuschätzen, Bergbaufolgeschäden zu untersuchen, Nutzungspotenziale zu erforschen und Bergbaufolgelandschaften zu überwachen. ■



Ein kleiner Bach mit stark verschmutztem, saurem Minenwasser trübt den klaren Rio Odiel im Iberischen Pyritgürtel Südspaniens ein.

LINKS ➤

[www.natural-attenuation.de](http://www.natural-attenuation.de)

# Rohstoffe und Konflikte

Wie können Konflikte um Rohstoffe entstehen? Wirtschaftsgeologen der BGR analysieren im interdisziplinären Verbund mögliche Szenarien.

Rohstoffimporte sind für die europäische Industrie unverzichtbar. Besonders bei Metallen ist die Importabhängigkeit hoch.



Im Sommer 2008 stiegen die Öl- und Gaspreise auf ein Rekordhoch und einige High-Tech-Metalle vervielfachten ihren Wert sogar. Wirklich knapp ist zwar kein Rohstoff – in der Erdkruste sind sowohl Energierohstoffe als auch mineralische Rohstoffe noch in ausreichenden Mengen vorhanden. Doch die Nachfrage ist stark gestiegen, seit China und andere Schwellenländer die weltwirtschaftliche Bühne betreten haben. Auch Bürgerkriege und Konflikte zwischen Staaten in rohstoffreichen Regionen können zu Versorgungsengpässen führen.

Das von der EU finanzierte Forschungsprojekt POLINARES (POLIcy for NATural RESources) greift daher das Thema Rohstoffkonflikte auf. Es beleuchtet die Mechanismen, die zu Konflikten führen: von regionalen Spannungen über internationale Krisen bis hin zu Handelskonflikten. Um die Ursachen für Rohstoffkonflikte zu

verstehen, werden unter anderem historische Fallbeispiele analysiert. Ziel des Projektes ist es, Zukunftsszenarien zu entwickeln und daraus Handlungsempfehlungen für die Politik abzuleiten.

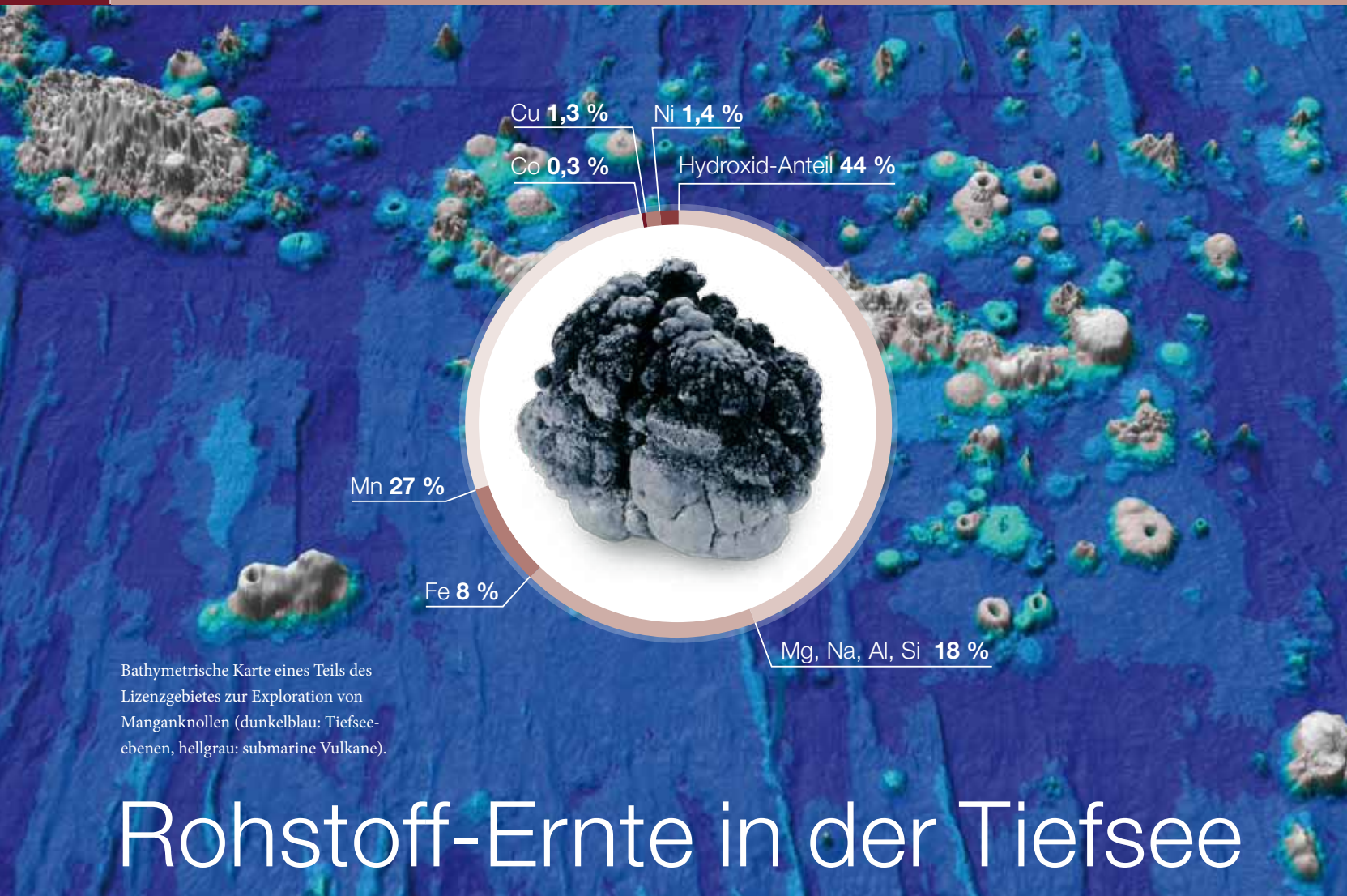
Die Wirtschaftsgeologen der BGR haben innerhalb des Projektes, das von der Universität von Dundee in Schottland geleitet wird, ein wichtiges Arbeitspaket übernommen: Sie identifizieren diejenigen Rohstoffe, die für die Europäische Union eine wichtige Bedeutung haben und untersuchen deren Verfügbarkeit. Anschließend entwickeln sie im Verbund mit den Partnern globale Szenarien, aus denen sich Hinweise auf zukünftige Konfliktherde ergeben. Die BGR kann dabei auf eine umfangreiche wirtschaftsgeologische Expertise zurückgreifen. In den Datenbanken der Bundesanstalt befindet sich eine Fülle relevanter Daten, die für das Projekt bereitgestellt

Aus dem Zugang zu Rohstoffen können unterschiedlichste Konflikte hervorgehen - von regionalen Spannungen über Handelsbeschränkungen bis hin zu internationalen bewaffneten Konflikten.

und analysiert werden. Die Ergebnisse dienen dazu, theoretische Modelle zu verfeinern. Sie fließen auch in weitere Arbeitsschritte der Projektpartner ein. An dem auf drei Jahre angelegten, interdisziplinären Projekt sind insgesamt zwölf Institutionen aus mehreren europäischen Ländern beteiligt. Forscher aus den Bereichen Geowissenschaften, Ökonomie, Politik, Strategische Studien und Technologie arbeiten bei POLINARES eng zusammen. Außerdem begleiten externe außereuropäische Experten das Projekt. ■

LINKS 

[www.polinares.eu](http://www.polinares.eu)



Bathymetrische Karte eines Teils des Lizenzgebietes zur Exploration von Manganknollen (dunkelblau: Tiefseeebenen, hellgrau: submarine Vulkane).

## Rohstoff-Ernte in der Tiefsee

Im zentralen Pazifik untersuchen BGR-Forscher, wie sich Manganknollen wirtschaftlich und umweltfreundlich abbauen lassen.

Die schwarzbraunen Knollen liegen dicht verteilt auf dem Meeresboden, vier- bis fünftausend Meter unter der Wasseroberfläche des zentralen Pazifiks. „Der Boden ist geradezu gepflastert mit Manganknollen“, berichtet der BGR-Forscher Michael Wiedicke.

Dank hoher Metallpreise sind die Knollen seit kurzem interessant für die Rohstoffindustrie. Die deutschen Rohstoff-Experten sind auf einen möglichen Boom bestens vorbereitet: Die BGR hat 2006 für 250.000 US-Dollar

bei der Internationalen Meeresbodenbehörde der Vereinten Nationen eine Erkundungslizenz für zwei Gebiete im Pazifik mit einer Gesamtfläche von 75.000 Quadratkilometern erworben.

Während zweier Seekampagnen der BGR 2008 und 2009 wurden große Teile des Lizenzgebietes mit einem Fächerecholot vermessen, um ein präzises digitales Geländemodell herzustellen. Die Topographie erwies sich als überraschend lebhaft, zahlreiche submarine Vulkankegel tauchten in den Echos des

Sonars auf. Manganknollen fanden die Forscher vor allem auf ebenen Flächen. „Es waren große Teilgebiete mit einer Belegungsdichte von zehn bis zwanzig Kilogramm pro Quadratmeter dabei“, sagt Wiedicke. Bei zehn Kilogramm pro Quadratmeter sehen Experten die untere Grenze für einen wirtschaftlichen Abbau.

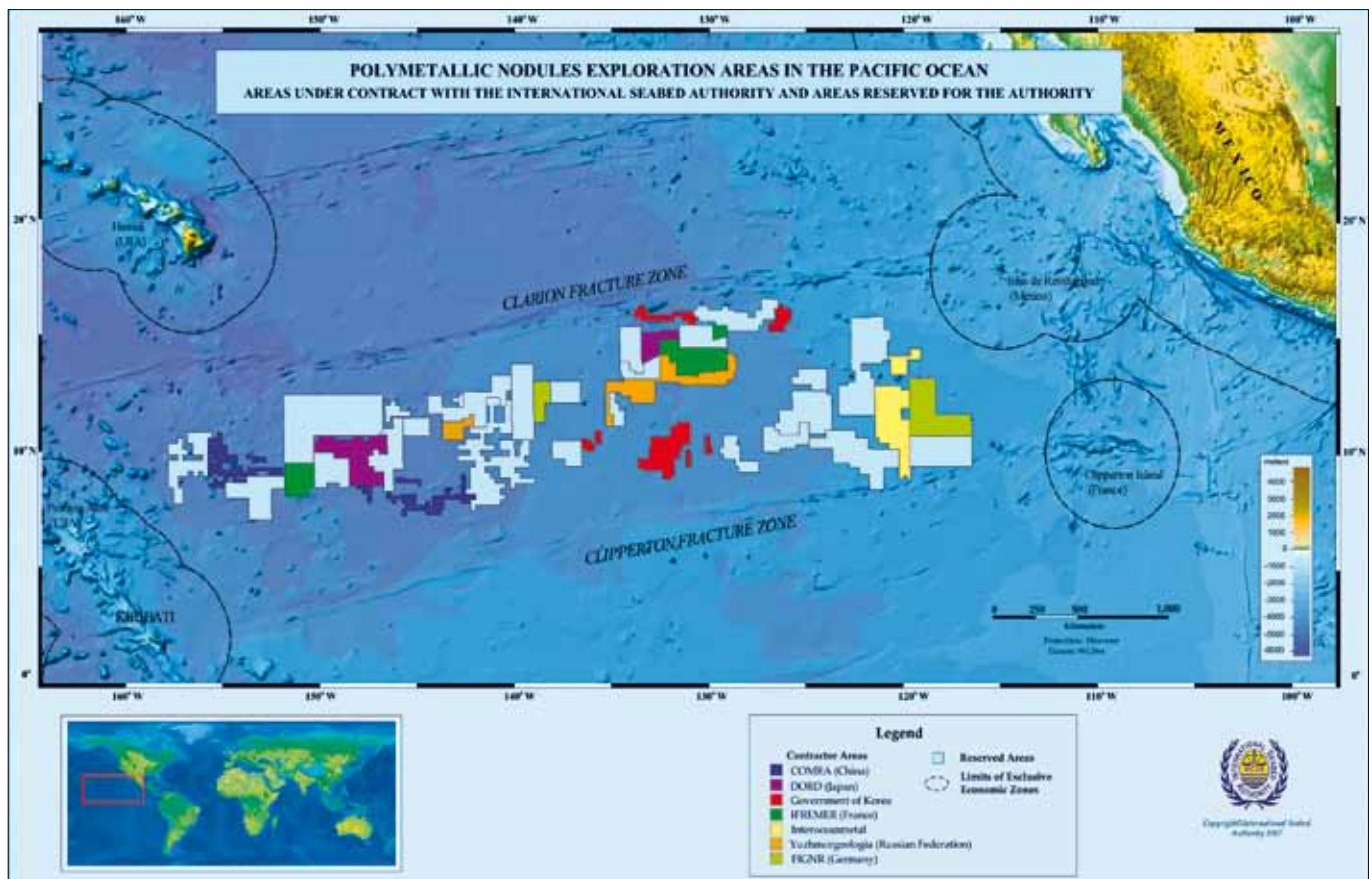
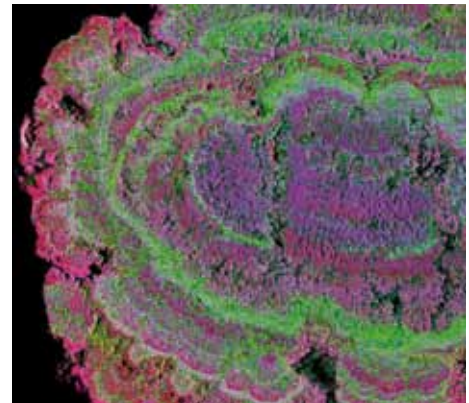
Für die Rohstoffindustrie sind dabei weniger die Metalle Eisen und Mangan interessant, aus denen die Knollen zum größten Teil bestehen. Ihr Wert beruht

Manganknollen sind Ansammlungen von Eisen- und Manganoxiden, die sich in zwiebeln förmigen Schalen um einen festen Kern legen. Die Metalle stammen zum Teil aus dem Meeresboden, zum Teil aus den Schalen toter Meereslebewesen, die zu Boden sinken und sich auflösen. Die Knollen wachsen extrem langsam: In einer Million Jahren nimmt ihr Durchmesser im Schnitt um fünf Millimeter zu. Manganknollen finden sich in allen Tiefseebecken, besonders in Tiefen von mehr als 4000 Metern. Ein Gebiet im Pazifik zwischen Hawaii, Mexiko und dem Äquator gilt als besonders interessanter „Knollengürtel“.

Zehn Kilogramm Manganknollen enthalten im Schnitt (Wert: Stand März 2010):

Kupfer	140 g	1,04 \$
Nickel	140 g	2,20 \$
Kobalt	20 g	1,00 \$
Gesamtwert		4,24 \$

Abbildung rechts: Relative Verteilung der Elemente für Kupfer (rot), Kobalt (grün) und Nickel (blau) in einer Manganknolle (Analytik: ITRAX-EDXRF)



Karte des zentralen Pazifiks mit der Lage der sieben von der Internationalen Meeresbodenbehörde (ISA) vergebenen Lizenzgebiete für die Exploration von Manganknollen.

vor allem auf ihrem Gehalt an den Buntmetallen Kupfer und Nickel sowie Kobalt. Daneben enthalten sie seltene Metalle wie Molybdän, Neodym, Cer und Yttrium, die für Elektronikprodukte wichtig sind.

Im Frühjahr 2010 ist eine weitere Expedition mit dem Forschungsschiff „Sonne“ unter Federführung der BGR

gestartet. Dabei wird auch die Tiefseebiologie untersucht. Zusammen mit Kollegen vom Leibniz-Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEO-MAR) in Kiel, vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven und dem Senckenberg-Institut in Wilhelmshaven wollen die BGR-Experten ermit-

teln, wie ein zukünftiger Abbau die artenreiche Fauna beeinträchtigt, die den Tiefseeboden besiedelt. Schätzungen zufolge müsste jeden Tag eine Fläche von 35 Fußballfeldern abgeerntet werden, damit sich der Abbau lohnt. ■

LINKS

[www.isa.org.jm/](http://www.isa.org.jm/)

# Coltan mit Zertifikat

## BGR-Verfahren ermöglicht Herkunftsnachweis

Es ist eine Weltpremiere: Mit innovativen Analysemethoden können BGR-Forscher die Herkunft von Rohstoffen für Handys, Laptops und Co identifizieren. Dadurch kann ein Beitrag zur Bewältigung von Konflikten geleistet werden.

Wer heute ein Handy oder einen Laptop kauft, kann sich über den „wahren“ Preis des Geräts nicht sicher sein. Die Metalle Tantal, Zinn und Gold in den Kondensatoren der Geräte stammen zum Teil aus Erzlagerstätten der Demokratischen Republik Kongo (DRC), wo Kinder- und Zwangsarbeit an der Tagesordnung sind. Der Erzabbau ist außerdem Motor der Konflikte in Zentral- und Ostafrika, denn Rebellen setzen die Export-Erlöse dort in Waffen um.

Zum ersten Mal weltweit ist es BGR-Forschern nun gelungen, die Herkunft des wichtigsten Tantal-Rohstoffs Coltan mit Labormethoden nachzuweisen. „Damit können ‚saubere‘ Rohstoffe endlich zertifiziert werden“, sagt der BGR-Forscher Dr. Frank Melcher. Der Druck zu handeln sei groß, denn sowohl Elektronik-

industrie als auch Tantalverarbeiter wollten nicht länger mit dem Begriff „Blut-Coltan“ in Verbindung gebracht werden. Schon seit einigen Jahren fordern die Vereinten Nationen ein Zertifizierungssystem, mit dem illegal gehandelte Bodenschätze vom Weltmarkt ausgeschlossen werden können.



Tantalierzkonzentrate von der Kenticha Mine in Äthiopien.

Für die Gesteinsanalyse haben die BGR-Forscher modernste chemische und physikalische Messmethoden

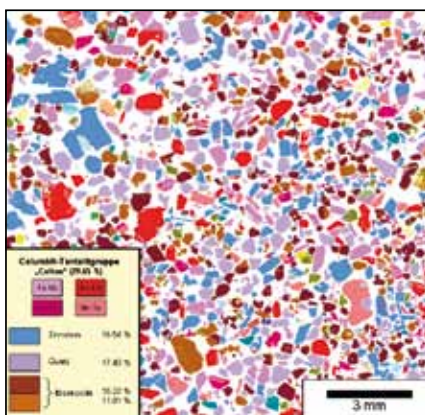
geschickt miteinander kombiniert. „Unsere Analyse erfolgt im Wesentlichen in drei Schritten“, sagt Melcher. Als erstes wird die mineralogische Zusammensetzung der Coltanproben ermittelt. Anschließend werden typische chemische Elemente identifiziert, die in geringeren Mengen ebenfalls in den einzelnen Erzen stecken. Schließlich bestimmen die Wissenschaftler noch das Alter der Proben, das für bestimmte Abbaustätten charakteristisch ist. Alle Informationen zusammen ergeben dann eindeutige Hinweise auf die Herkunft des Erzes. „Mit unserem Verfahren können wir nicht nur bekannte Proben eindeutig zuordnen, sondern auch Coltan-Mischungen aus unterschiedlichen Liefergebieten auseinander halten“, berichtet Melcher. Um die Zuordnung zu ermöglichen, haben die BGR-For-



scher außerdem eine Datenbank mit rund 25.000 Datensätzen aus 200 Lagerstätten aufgebaut.

Drei Jahre lang haben die Forscher diese Analysemethoden entwickelt. Melcher betont: „Im Alleingang wäre der Erfolg nicht möglich gewesen.“ Man habe deshalb national wie international eng mit Fachexperten, der Rohstoff verarbeitenden Industrie und einigen Nichtregierungsorganisationen zusammen gearbeitet. Das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) hat das Projekt finanziell unterstützt.

Künftig wollen die BGR-Wissenschaftler ihre Messungen gemeinsam mit Fachkollegen aus afrikanischen Labors weiter vorantreiben. Und sie entwickeln mit Hochdruck vergleichbare Verfahren für die Herkunftsanalyse von Wolfram- und Zinnerzen, um weitere „Konflikt-Rohstoffe“ aus kriegstreibenden Regionen identifizieren zu können. ■



Identifikation von Erzmineralen in Coltan aus Ruanda mittels Rasterelektronenmikroskop und „Mineral Liberation Analysis“ Software.

## Der feine Wunderstoff



Welcher Tonrohstoff eignet sich als Filter, welcher als Dichtmaterial? BGR-Wissenschaftler entwickeln Methoden hierfür.

Tonminerale sind „feinkörnige, wasser- und hydroxidhaltige Aluminiumsilikate mit geringen Mengen an Magnesium, Eisen, Natrium, Kalium und Calcium“ – so steht es im Lexikon. Ihre Eigenschaften sind bemerkenswert: Dank ihrer Ladung und großen inneren Oberfläche können Tonminerale Schadstoffe adsorbieren. Sie sind nahezu wasserdicht, plastisch verformbar und wirken als Ionentauscher. Manche quellen auf, wenn sie Wasser aufnehmen. Ton wird daher nicht nur als Baustoff verwendet, sondern auch zum Abdichten von Deponien und Endlagern, als Filter und Katalysator.

Das Potenzial vieler innovativer Tonrohstoffe wurde bislang allerdings noch nicht bewertet. BGR-Mineralogen um Dr. Reiner Dohrmann untersuchen daher, welche Prozesse sich in Tonmineralen abspielen und wie sich die Eigenschaften von Tonmineralen unterschiedlicher Herkunft bestimmen lassen. Dabei entwickeln sie neue analytische Methoden, um die Minerale charakterisieren zu können. Im Trend liegen momentan Online-Verfahren zur Rohstoffkontrolle auf dem Fließband. Außerdem arbeitet die BGR an Modellen, um die Struktur der Minerale zu beschreiben. Rohstoffbetriebe können diese Modelle als Werkzeuge für die Qualitätssicherung verwenden. Für die Qualitätssicherung bei der Rohstoff-Produktion entwickelt die BGR zurzeit ein Patent. Die Forschung im Vorfeld der Industrie ist ein Beitrag zur Versorgungssicherheit Deutschlands. ■

# Bodenkartierung

BÜK200: Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland (1:200.000)

eSOTER: Regional pilot platform as EU contribution to a Global Soil Observing System

GEOSS: Global Earth Observation System of Systems - "Task-DA-09-03E: Global Soil Data"

## Flurbereinigung im Datenwald

Die BGR entwickelt moderne Kartiermethoden, um zusammen mit internationalen Partnern ein globales Umweltüberwachungssystem aufzubauen.

Betrachtet man die Bodenkarte von Deutschland, so sieht man zunächst ein buntes Mosaik aus erdfarbenen, blau-grünen und pinkfarbenen Flächen. Die Bodenkundler haben den Böden Farben zugewiesen, die bereits ihre wichtigsten Eigenschaften erkennen lassen. Grün steht beispielsweise für Hochmoorböden, ein kräftiges Rosa für den Wechsel der Bodenarten in den lehmigen Endmoränen der Eiszeiten, Blau dagegen für Auenböden in den Flusstälern. Betrachtet man die Landschaften näher, so findet man neben unterschiedlichen Böden auch ihre charakteristische Verbreitung.

Sehr zum Leidwesen der Forscher sind die bereits vorliegenden Bodenkartenwerke in Deutschland sehr unterschiedlich, weil sie oftmals im Laufe mehrerer Jahrzehnte unter Beteiligung vieler Bodenkartierer erhoben worden sind. Die Aufgabe, diese Kartendaten bundesweit zu vereinheitlichen, kann nur durch eine enge Kooperation der BGR mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesländer erreicht werden. Zurzeit entsteht auf diesem Wege die neue Bodenübersichtskarte 1:200.000 - in einer für Europa einzigartigen Einheitlichkeit und Datendichte.

Die Bodenforscher der BGR arbeiten dabei eng mit Kollegen aus den verwandten Disziplinen Geologie, Hydrogeologie und Mineralogie zusammen. Solch eine enge Kooperation innerhalb einer Institution findet sich kaum ein zweites Mal in Europa. Die auf nationaler Ebene gesammelten Erfahrungen sollen nun in das europäische Forschungsprojekt e-SOTER (Regional pilot platform as EU contribution to a Global Soil Observing System) einfließen. Die dabei entwi-

ckelten Methoden und Anwendungen sollen schließlich für ähnliche Beobachtungssysteme weltweit genutzt werden. Innerhalb des Projektes sollen Lösungswege erarbeitet werden, um Bodendaten aus den unterschiedlichsten Quellen und Auflösungen zu vereinheitlichen und ihre Qualität zu sichern. Werden sie in moderne Geoinformationssysteme (GIS) eingespeist, können Nutzer aus Forschung, Wirtschaft und Politik direkt über das Internet auf die Daten zugreifen. Die BGR kooperiert dabei mit Partnern aus Europa, Nordafrika und China. Derzeit arbeiten die Projektpartner an Regeln, nach denen die Daten vereinheitlicht und digital in geografischen Informationssystemen umgesetzt werden können. Diese moderne digitale Bodendatenbasis wird für das globale Erdbeobachtungssystem GEOSS (Global Earth Observation System of Systems) bereitstehen. Mit GEOSS, einer internationalen Initiative, sollen verschiedenste Erdbeobachtungssysteme vom Seismographen bis zum Fernerkundungssatelliten in einem Netz gekoppelt werden. Auf diesem Wege sollen weltweite Entscheidungen zu Umweltrisiken und -gefahren auf eine bessere Datengrundlage gestellt werden. ■



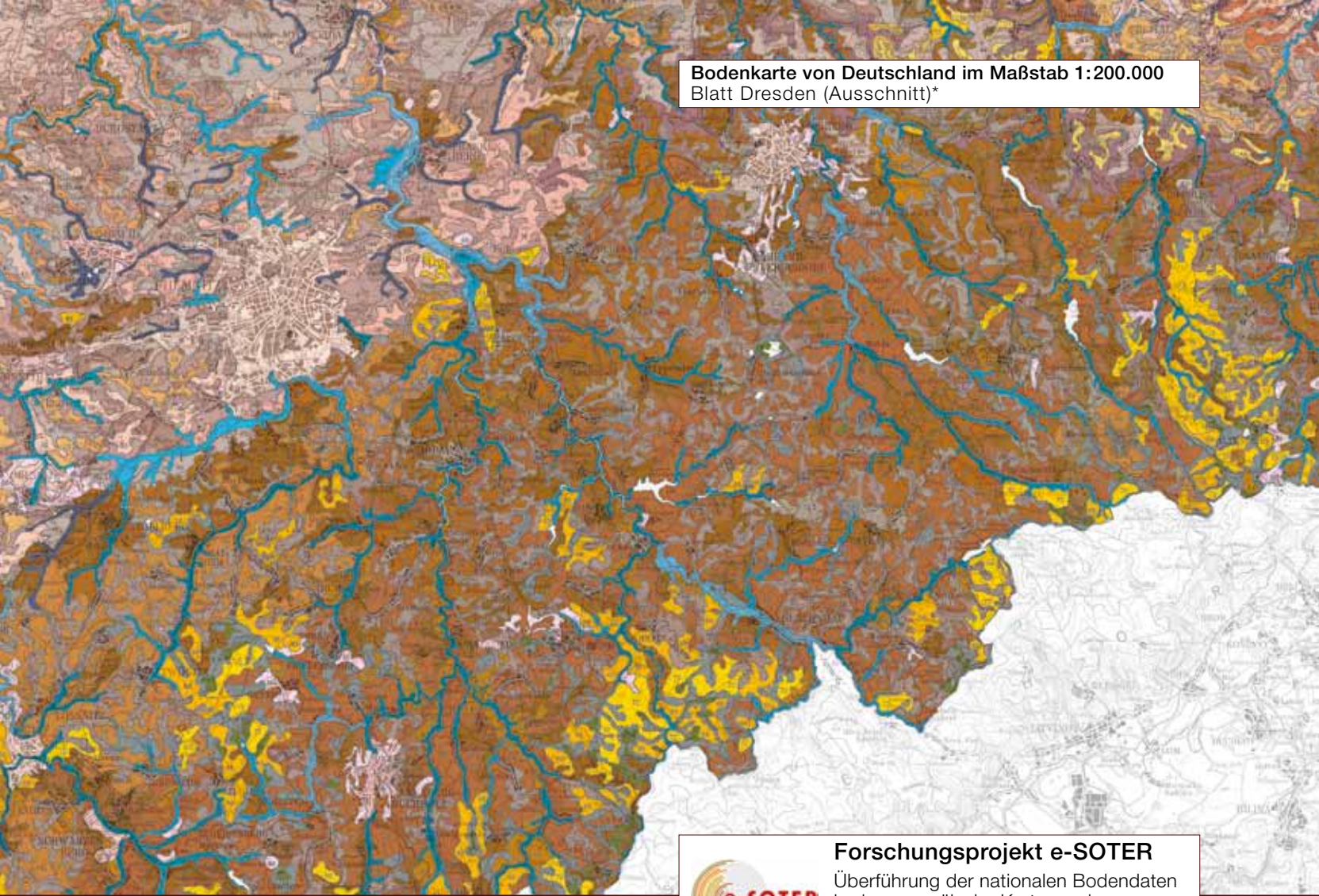
Böden wie diese Braunerde aus geschichteten Sanden sind Gegenstand der Bodenkartierung.

### LINKS ➤

[www.earthobservations.org](http://www.earthobservations.org)

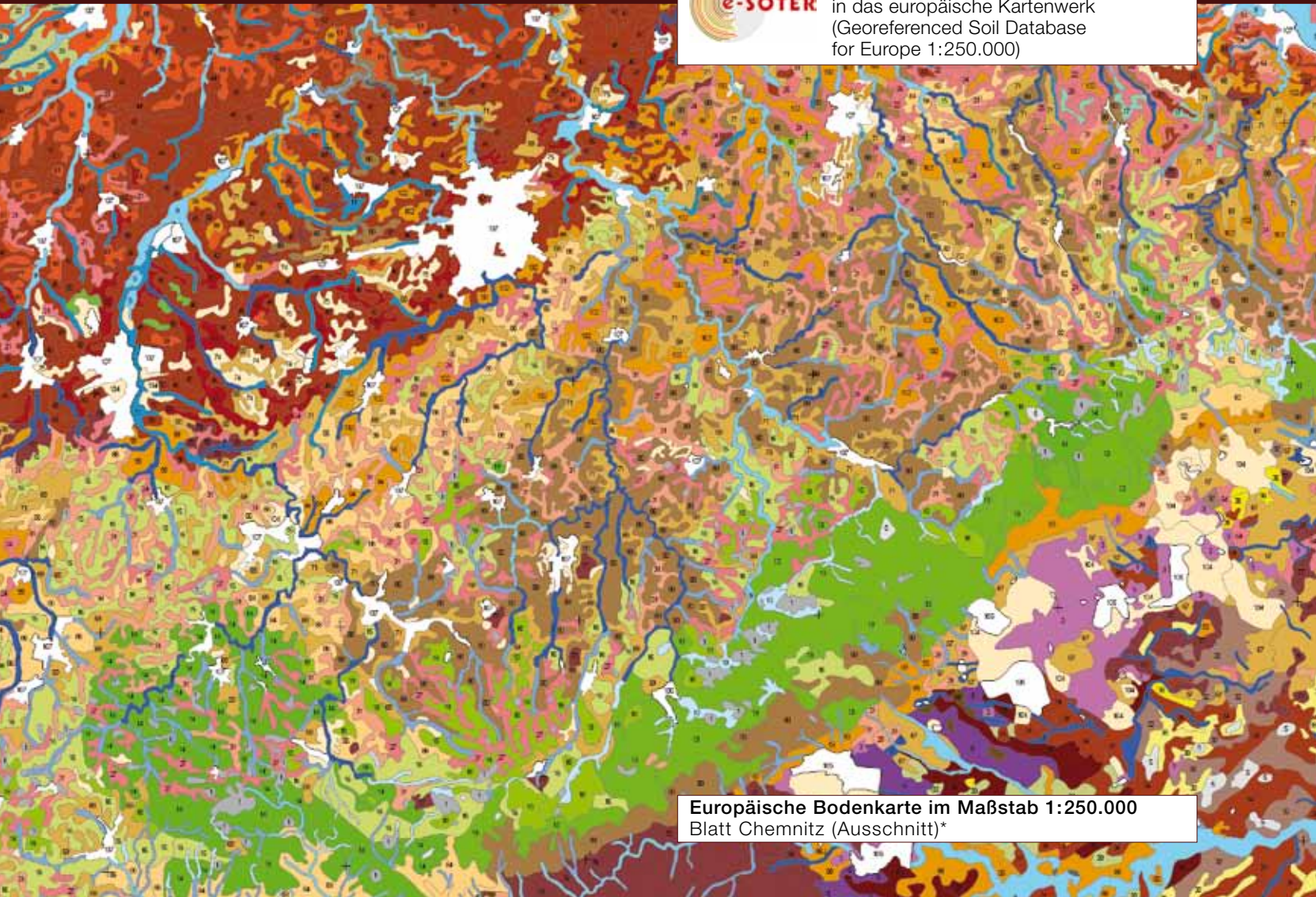
[www.esoter.org](http://www.esoter.org)

**Bodenkarte von Deutschland im Maßstab 1:200.000**  
Blatt Dresden (Ausschnitt)\*



**Forschungsprojekt e-SOTER**

Überführung der nationalen Bodendaten  
in das europäische Kartenwerk  
(Georeferenced Soil Database  
for Europe 1:250.000)



**Europäische Bodenkarte im Maßstab 1:250.000**  
Blatt Chemnitz (Ausschnitt)\*

\* Das Kartenmaterial ist auf dieser Seite nicht maßstäblich wiedergegeben.

D-AERO: Deutschlandweite Aerogeophysik-Befliegung zur Kartierung des nahen Untergrundes und seiner Oberfläche  
 CLIWAT: Climate and Water - Adaptive and sustainable water management and projection of society and nature in an extreme climate (EU-Interreg-IVB-Projekt)

AIDA: From Airborne Data Inversion to In-Depth Analysis

INFLUINS: Integrierte Fluidynamik in Sedimentbecken: Prozesse, Potenziale, Risiken

## Aus der Luft in die Tiefe blicken

Was liegt unter der Erdoberfläche? In mehreren Projekten arbeiten BGR-Forscher daran, ein genaueres Bild von den obersten Erdschichten zu bekommen. Sie erkunden den Untergrund vom Hubschrauber aus, speisen die Daten in Geoinformationssysteme ein und entwickeln neue Auswertemethoden.

Die oberen hundert Meter des Erdbodens sind ein besonders spannendes Stockwerk der Erdkruste. In diesem Bereich des Untergrundes werden Wasser, Salze und andere Mineralien transportiert und ausgetauscht, Düngemittel und Schadstoffe können abgebaut, ins Grundwasser geschwemmt oder gebunden werden – je nach Beschaffenheit. Wer eine Industrieanlage, eine Straße, ein neues Stadtviertel oder auch ein Naturschutzgebiet plant, muss darüber Bescheid wissen, woraus der Untergrund besteht und wie das Grundwasser fließt.

Schon seit mehr als drei Jahrzehnten nutzen BGR-Forscher eine besonders elegante Methode, um einen Blick in die Tiefe zu werfen: Sie erkunden den Untergrund aus der Luft. Vom Hubschrauber aus ermitteln sie mit mehreren physikalischen Messverfahren, was sich unter der Oberfläche verbirgt. Vor allem die elektrische Leitfähigkeit des Bodens lässt sich von oben gut flächendeckend erkunden. Eine torpedoförmige, vom Hubschrauber geschleppte Sonde sendet elektromagnetische Signale in den Untergrund. In gut leitenden Bodenschichten wird dadurch ein elektromagnetisches Feld induziert, das sich mit einer Empfangsantenne in der Sonde messen lässt. Tonminerale und verschiedene Erze machen sich so bemerkbar, süß- und salzwasserhaltige

Schichten lassen sich unterscheiden.

Ein weiteres Messverfahren misst die Gammastrahlung, die beim Zerfall natürlicher radioaktiver Elemente in den obersten Dezimetern des Bodens entsteht. Durch diese Messungen lassen sich sand- und tonhaltige Bodentypen oder anstehende Felsstrukturen unterscheiden.

### Neue Messverfahren

Um den Blick in die Tiefe weiter zu schärfen, entwickelt und erprobt die BGR in enger Zusammenarbeit mit Universitäten neue Radarverfahren. Die elektromagnetischen Wellen werden von Grenzschichten im Boden reflektiert. Dadurch lassen sich detaillierte Aufnahmen der Bodenschichtungen gewinnen und Veränderungen der Grundwasserstände messen. Radarverfahren eignen sich auch, um Altlasten zu erkunden. Dabei werden sie meist mit Messungen des Magnetfeldes aus der Luft kombiniert, der sogenannten Aeromagnetik.

Innerhalb des BMBF-Forschungsvorhabens INFLUINS (Integrierte Fluidynamik in Sedimentbecken) entwickeln Forscher des Instituts für Photonische Technologien in Jena ein neues Messsystem. Es zeichnet die räumlichen Änderungen des Erd-

magnetfeldes in allen Richtungen auf und soll bestehende Technologien zur magnetischen Erkundung von Erz- oder Grundwasservorkommen verbessern. BGR-Forscher entwickeln hierzu neue Auswertemethoden, damit auch die geringsten Hinweise auf diese Ressourcen aufgespürt werden. Zusätzlich arbeiten BGR-Geophysiker an einem Messverfahren, mit dem sich das Schwerfeld der Erde vom Hubschrauber, Flugzeug oder Luftschiff aus vermessen lässt.

Im Projekt D-AERO (Deutschlandweite Aerogeophysik-Befliegung zur Kartierung des nahen Untergrundes und seiner Oberfläche) erstellen BGR-Forscher unter Leitung von Dr. Uwe Meyer derzeit zusammen mit Kollegen von anderen Institutionen eine umfassende Datenbank. Darin sollen neue und bestehende aerogeophysikalische Datensätze gesammelt und vereinheitlicht werden. Das Ziel des Projektes besteht darin, dreidimensionale Geoinformationssysteme zu erstellen, welche geologische Landesämter, Umweltämter, Wasserwirtschaftsämter und andere Institutionen als Werkzeug für die Raum- und Wirtschaftsplanung nutzen können. In der Datenbank sollen alle Basisinformationen über die Oberfläche und den Untergrund enthalten sein.

### Schwerpunkt Nordseeküste

Der derzeitige Schwerpunkt des Projektes ist die deutsche Nordseeküste. Als Folge von Umweltveränderungen dringt dort salziges Meerwasser unter den Inseln, Küsten und Deichen hindurch in die Süßwasserschichten des Festlandes ein. Hubschraubermessungen sollen ermitteln, wie weit und in welcher Tiefe das Meerwasser bereits ins Landesinnere eingedrungen ist, um Bo-



BGR-Hubschrauber mit der Flugsonde im Messeinsatz über der Nordseeküste.

den und Grundwasser vor einer Versalzung zu schützen. Als nächster Schwerpunkt ist die Untersuchung von Karstgebieten geplant. Interessierte Landesämter, Universitäten und andere Forschungsinstitute können sich an der Auswertung der Messungen beteiligen. Die Erfahrungen von D-AERO in Deutschland sollen in Zukunft auch bei der technischen Zusammenarbeit mit anderen Ländern und bei der schnellen und flächenhaften Erkundung von Ressourcen genutzt werden.

Aerogeophysikalische Daten fließen auch in das EU-Projekt CLIWAT (Climate and Water) ein, an dem die BGR beteiligt ist. CLIWAT soll untersuchen, wie sich Klimaänderungen – etwa häufigerer Starkregen oder ein Anstieg des Meeresspiegels – auf Grundwasservorkommen und Baugrund in Küstengebieten auswirken. Anhand von Befliegungen in den Niederlanden, Dänemark und Deutschland werden Modelle erarbeitet und Zukunftsszenarien simuliert.

### Bessere Auswerteverfahren

Im Rahmen des Geotechnologien-Programms der Bundesregierung arbeiten BGR-Wissenschaftler an dem Projekt AIDA (From Airborne Data Inversion to In-Depth Analysis) mit. Das Ziel des Forschungsvorhabens, an dem fünf deutsche Universitäten beteiligt sind, besteht unter anderem darin, die Auswertung von aerogeophysikalischen Daten zu verbessern. Verschiedene Datensätze sollen auf neue Weise miteinander kombiniert werden. Innovative mathematische Auswerteverfahren sollen dabei helfen, die Daten besser interpretieren zu können. Weitere geophysikalische, geologische und hydrogeologische Daten sollen in die Modellierungen mit einbezogen werden.

Damit die BGR auch in der Zukunft auf dem hochaktuellen Forschungsgebiet der Hubschrauber-geophysik auf dem Stand der Technik bleibt, wird der seit 1986 verwendete Helikopter des Typs Sikorsky S-76B demnächst durch einen moderneren Hubschrauber ersetzt. Zusätzlich zu den geophysikalischen Verfahren kann die Erdoberfläche vom Hubschrauber aus mit Fernerkundungsmethoden aufgenommen werden. So lässt sich zum Beispiel beobachten, welche Wirkung Industrieanlagen auf den Untergrund haben oder wie effektiv Sanierungsmaßnahmen sind. ■

### LINKS

[www.cliwat.eu](http://www.cliwat.eu)

Flächenmanagement in urbanen Bereichen am Beispiel der Stadt Staßfurt  
 URGE: Urban Geochemistry  
 Stoffmobilität: Spurenelemente im Bodensickerwasser



Urbane Bereiche erfordern ein nachhaltiges Flächenmanagement und intelligentes Flächenrecycling.

## Mobil im Untergrund

Stadtböden enthalten mehr Schwermetalle als Böden in der Umgebung. Wie gefährlich diese Verunreinigung für den Menschen ist, ist noch unklar. BGR-Forscher untersuchen, wie mobil die Metalle sind und erarbeiten Richtlinien zur Risikoabschätzung.

Der Boden des Jahres 2010 heißt „Technosol“ – zu deutsch Stadtboden. Es ist ein wahrhaft abwechslungsreicher Untergrund: Menschliche Hinterlassenschaften wie Bauschutt, Müll und Schlacken, manchmal Jahrhunderte alt, bilden ein Gemisch mit natürlichen Bodenbestandteilen wie verwittertem Gestein und organischem Humus. Oft haben sich seit Beginn der Industrialisierung Schwermetalle wie Cadmium, Blei, Chrom oder Quecksilber im Boden angesammelt, vor allem in der Umgebung von Industriestandorten. Die Konzentrationen einzelner Elemente können dabei um den Faktor 20 und

mehr gegenüber dem Hintergrundwert im Umland erhöht sein, haben exemplarische Studien des BGR-Geochemikers Dr. Manfred Birke in Berlin, Tallinn und China in den letzten Jahren gezeigt.

„Ob von diesen Elementen eine Gefahr für den Menschen ausgeht, ist bislang unklar“, sagt Dr. Jens Utermann, Bodenexperte an der BGR. Eine große Frage besteht darin, wie gut welcher Boden Schwermetalle bindet und unter welchen Umständen er sie wieder frei gibt. „Diese Fragen müssen bislang über kostenintensive Risikobetrachtungen geklärt werden“, berichtet Utermann. „Unser Team

arbeitet daher intensiv an einfachen Verfahren, um die Mobilität von Schadstoffen abzuschätzen.“

Die BGR-Bodenforscher führen dafür Labor- und Feldversuche durch, sie entwickeln Probenahmeverfahren und statistische Schätzverfahren, um die Ergebnisse von Punktmessungen auf größere Flächen zu übertragen. Ein Schwerpunkt der Arbeiten besteht darin, den Einfluss der sogenannten gelösten organischen Substanz zu bestimmen. Bei diesem Stoffgemisch handelt es sich um organische Säuren, Kohlenhydrate und Fettsäuren – die zersetzten Überreste von Pflanzen und Mikroben im Boden.

Oft verbinden sich diese Moleküle mit Metallen und anderen Spurenelementen und mobilisieren sie dadurch. Wie effektiv dieser Prozess ist, hängt unter anderem vom Klima ab. BGR-Forscher führen daher vergleichende Untersuchungen in mehreren europäischen Städten durch.

Informationen darüber, wie sich Schadstoffe im Boden verhalten, sind für eine nachhaltige Landschafts- und Städteplanung unverzichtbar. BGR-Forscher sind daher an dem Forschungsprojekt URGE (Urban Geochemistry) beteiligt, das die Organisation EuroGeoSurveys (EGS) ins Leben gerufen hat, ein Zusammenschluss von 32 geologischen Diensten in Europa. Das Projekt hat langfristige Veränderungen im Fokus und ist daher auf zehn bis fünfzehn Jahre ausgelegt. ■



Stadtböden: Wie mobil sind ihre Schadstoffe?

#### LINKS ⇨⇨

[www.eurogeosurveys.org/  
geochemistry5.html](http://www.eurogeosurveys.org/geochemistry5.html)



## Die Macht der Infiltration

Wenn Wasser im Boden versickert, kann es Stoffe mitnehmen und ins Grundwasser transportieren. Was unter der Erde genau passiert, wollen BGR-Bodenkundler und Geophysiker jetzt mit neuen Verfahren sichtbar machen.

Der bestüberwachte Wiesenstreifen Norddeutschlands ist 1,4 mal 12 Meter groß und gespickt mit 300 Elektroden. Ein Gewirr aus orangefarbenen Kabeln verbindet die kleinen Metallspieße. Die Elektroden sollen Spannungsunterschiede zwischen verschiedenen Punkten der Oberfläche messen und dadurch einen bislang rätselhaften Vorgang sichtbar machen: die Versickerung von Regenwasser im Boden. „Ähnlich wie ein Computertomograph einen Körper durchleuchtet, wollen wir das Innere des Bodens durchleuchten“, sagt BGR-Forscher Dr. Sven Altfelder.

Er und seine Kolleginnen und Kollegen haben Wasser auf den Wiesenstreifen infiltriert und nutzen nun die sogenannte Geoelektrische Tomographie, um ein dreidimensionales Bild des spezifischen elektrischen Widerstandes und dessen Änderung im Boden bis zu einer Tiefe von einigen Metern zu erhalten. Da Wasser den elektrischen Strom gut leitet, können die Forscher so erkennen, wo und wie schnell es sich einen Weg in die Tiefe bahnt. Bislang war die-

ser Versickerungsprozess für Wissenschaftler nur schlecht zugänglich. „Das Wasser ist nach kurzer Zeit im Boden verschwunden“, sagt Altfelder, „was danach passiert, blieb bisher weitgehend unsichtbar.“ In der Landwirtschaft oder auf Deponien ist der Prozess der Versickerung von großer Bedeutung, da das Wasser Düngemittel oder Schadstoffe mitnehmen kann, die Boden und Grundwasser gefährden können.

Noch ist die Geoelektrische Tomographie zur Beobachtung von Versickerungsvorgängen allerdings keine Routine. Um die Daten korrekt interpretieren zu können, überprüft die Arbeitsgruppe das tomographische Bild des versickernden Wassers mit unabhängigen Methoden und gräbt dazu den Boden auf. Die Forscher setzen Messsonden ein, um den Boden anhand sogenannter Bodenprofile räumlich hoch aufgelöst zu untersuchen und wichtige physikalische Messgrößen zu bestimmen. Das Ziel der Untersuchungen besteht darin, geophysikalische Methoden für die Anwendung zu standardisieren. ■

Speicher-Kataster Deutschland  
 CLEAN: CO<sub>2</sub>-Speicherung in der ausgeförderten Erdgaslagerstätte Altmark  
 COORAL: CO<sub>2</sub>-Reinheit für die Abscheidung und Lagerung  
 CO<sub>2</sub> ReMoVe: Monitoring and Verification of CO<sub>2</sub> Geological Storage  
 Regionale Druckauswirkung der CO<sub>2</sub>-Speicherung in salinaren Aquiferen

# Vom Erdgasreservoir zum CO<sub>2</sub>-Speicher

Um die globale Erwärmung zu bekämpfen, könnte Kohlendioxid schon bald im tiefen Untergrund versenkt werden. Geologen an der BGR bewerten mögliche Speicher- und Barrieregesteine in Deutschland und untersuchen die Sicherheit der Methode.

Steil schiebt sich der rote Felsen der Langen Anna auf der Insel Helgoland aus der Nordsee. Der rote Buntsandstein wirkt massiv, doch unter dem Mikroskop werden winzige Poren zwischen den Quarzkörnern sichtbar. „So sieht ein Speichergestein an der Erdoberfläche aus“, sagt Dr. Franz May, Leiter des BGR-Arbeitsbereichs Geologische CO<sub>2</sub>-Speicherung.

Der Buntsandstein ist im Erdzeitalter Trias vor mehr als 200 Millionen Jahren entstanden und liegt in vielen Gegenden Deutschlands von Helgoland bis zum Schwarzwald an der Oberfläche oder im tieferen Untergrund. Vor allem in Norddeutschland haben sich die Poren des Sandsteins in einigen Gebieten im Laufe der Erdgeschichte mit Erdgas gefüllt. In den inzwischen meist entleerten Erdgasreservoirs könnte in Zukunft ein anderes Gas eingeschlossen werden: Die Bundesregierung diskutiert derzeit die Möglichkeit, das Treibhausgas Kohlendioxid aus den Abgasen von Kraftwerken und anderen Industrieanlagen abzutrennen und dauerhaft in tiefen geologischen Formationen

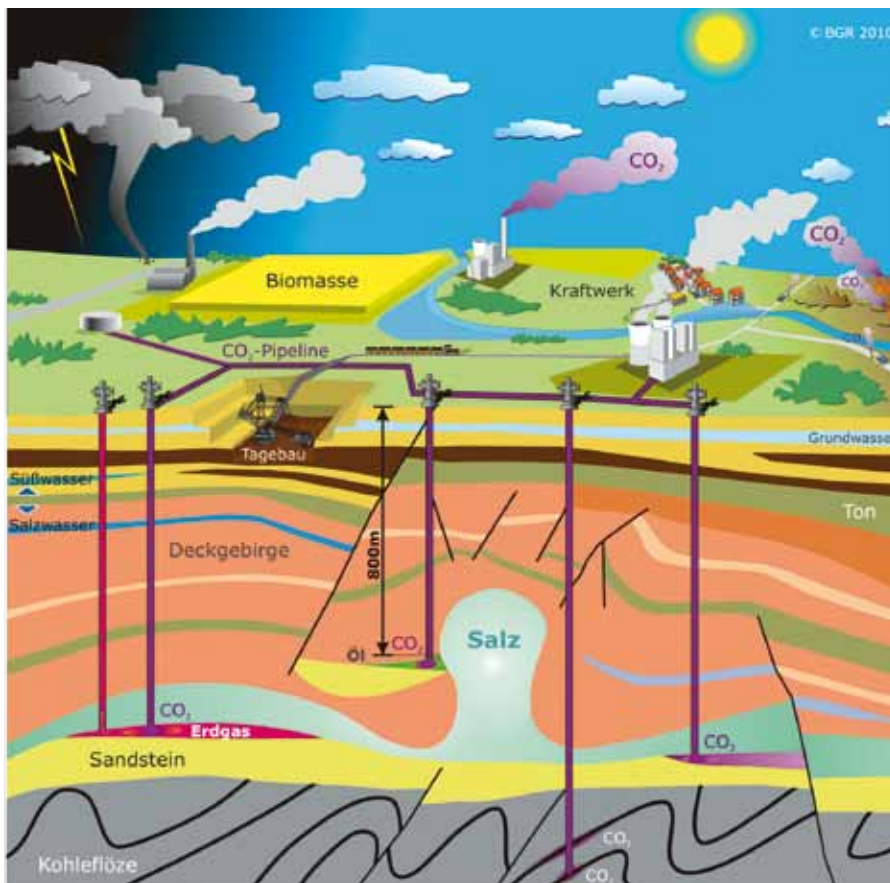
zu speichern, um die Folgen des Klimawandels zu mildern. Erdgaslagerstätten sind dafür gut geeignet, da sie Gase über Jahrtausende gespeichert haben. Ihre Geologie ist zudem durch die Erdgasförderung gut bekannt, und vorhandene Infrastruktur kann genutzt werden. Daneben gelten Salzwasser führende Grundwasserleiter, sogenannte saline Aquifere, als wichtigste Speichermöglichkeiten für CO<sub>2</sub> in Deutschland. Sie sind weit verbreitet und haben das größte Speicherpotenzial.

Bereits seit dem Jahr 2000 untersucht die BGR gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie verschiedene Fragestellungen der CO<sub>2</sub>-Speicherung. Derzeit werden unter anderem die nationalen Speichermöglichkeiten im Projekt „Speicher-Kataster Deutschland“ bewertet und spezifiziert. Auf Basis einheitlicher Kriterien untersuchen die BGR-Geologen, gemeinsam mit Wissenschaftlern des Leibniz-Instituts für Angewandte Geophysik, wo sich in den tiefen Sedimentbecken Deutschlands geeignete Speicher- und Barri-

erekomplexe befinden. Gleichzeitig stellen BGR-Forscher geologische Modelle ausgewählter CO<sub>2</sub>-Speicherkomplexe her. In numerischen Simulationen wird auf Basis dieser Modelle zum Beispiel berechnet, wie sich der Druck im Untergrund bei der Injektion von CO<sub>2</sub> entwickelt. Ergänzend finden geochemische Experimente im Labor statt. Dabei wird unter naturnahen Bedingungen untersucht, wie sich Gesteine, Formationswässer und Gase verändern, wenn sie mit CO<sub>2</sub> in Kontakt kommen. Wie sich das CO<sub>2</sub> in Porenspeichern ausbreitet, kann mit modernsten Methoden der Erdgasindustrie überwacht werden.

Die Sicherheit der Bevölkerung und der Umwelt sind ein zentraler Aspekt der BGR-Forschung. „Anhand natürlicher CO<sub>2</sub>-Austritte untersuchen wir, welche Umweltauswirkungen Kohlendioxid auf Pflanzen, Böden oder Grundwasser hat. Die natürlichen CO<sub>2</sub>-Quellen dienen als Testobjekte, um Methoden für den Nachweis von CO<sub>2</sub> zu entwickeln“, betont Franz May. „Daneben erproben wir auch Verfahren, mit denen sich CO<sub>2</sub>-Flüsse genau



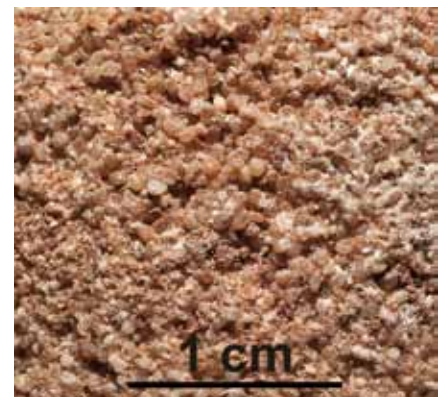


messen lassen.“ Hierzu entwickelt die BGR spezielle, fest installierte und mobile Überwachungsinstrumente.

Im Projekt CLEAN will das Unternehmen GDF SUEZ die Speicherung von CO<sub>2</sub> in einer weitgehend entleerten Erdgaslagerstätte erproben. Dazu soll CO<sub>2</sub> aus dem Kraftwerk „Schwarze Pumpe“ in der Lausitz in die Erdgaslagerstätte Altmark injiziert werden. Die BGR hat an der Oberfläche und in wenigen Metern Tiefe rund um die Injektions- und Beobachtungsbohrungen Gassensoren installiert, um die Zusammensetzung des

Bodengases permanent zu überwachen. Vor einer Speicherung müssen die CO<sub>2</sub>-Hintergrundwerte an einer repräsentativen Anzahl von Messstellen über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr dokumentiert werden. Wenn die Speicherung von CO<sub>2</sub> dann tatsächlich beginnt, können die gleichen Sensoren als Kontrollinstrumente dienen. Sie übertragen die Daten per Funk, damit im Falle eines ungewöhnlichen CO<sub>2</sub>-Anstiegs schnell Maßnahmen ergriffen werden können. ■

So funktioniert CO<sub>2</sub>-Speicherung: Statt das in Kraftwerken und großen Industrieanlagen erzeugte Kohlendioxid in die Atmosphäre zu entlassen, wird es abgetrennt und per Pipeline, Schiff oder Tanklastzug zum Speicherort gebracht. Dort wird es durch Bohrungen in geeignete Speicherstätten injiziert. Diese befinden sich in mindestens 800 m Tiefe, weit unterhalb der nutzbaren Grundwasseraquifere. Ähnlich wie Erdöl- und Erdgaslagerstätten müssen CO<sub>2</sub>-Speicherstätten durch dichte, undurchdringliche Gesteinsschichten abgedeckt sein, damit das eingelagerte CO<sub>2</sub> sicher an Ort und Stelle verbleibt.



Nahaufnahme eines Sandsteins. Deutlich sind zwischen den rötlichen, gut gerundeten Quarzkörnern dunkle Hohlräume erkennbar, die in der Natur mit Flüssigkeiten oder Gasen gefüllt sind – zum Beispiel Erdgas oder Salzwasser. Genauso könnten solche Gesteine auch CO<sub>2</sub> aufnehmen und speichern.

LINKS ➤

[www.clean-altmark.org](http://www.clean-altmark.org)  
[www.co2remove.eu/](http://www.co2remove.eu/)

# Endlagerung radioaktiver Abfälle

Weiterentwicklung des richtungssensitiven EMR-Messverfahrens  
 CAD-gestütztes 3D Lagerstättenmodell  
 THM-Verhalten von Salzgestein, THM-Verhalten geotechnischer Barrieren  
 Modellierung THMC-gekoppelter Prozesse  
 Langzeitsicherheitsanalyse für ein HAW-Endlager im Salz

## Die Suche nach dem sicheren Standort

Radioaktive Abfälle, ob aus Kernkraftwerken, Krankenhäusern oder Forschungseinrichtungen, müssen sicher entsorgt werden. Die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen gilt international als bester Weg dafür. In Deutschland ist der Bund für die Einrichtung von Endlagern zuständig. Die BGR als geowissenschaftliche Fachbehörde des Bundes bewertet die geowissenschaftlichen Ergebnisse aus den Stand-

orterkundungen und die geologischen Barrieren eines Standortes.

Um für diese Arbeiten gerüstet zu sein, betreibt die BGR auch eigene anwendungsbezogene und anlagenorientierte Endlagerforschung. Die Forschungsprojekte der BGR beschäftigen sich mit der Charakterisierung der Eigenschaften der möglichen Wirtsgesteine Salz, Ton und Granit.

# Gibt es ein sicheres Endlager im Salz?

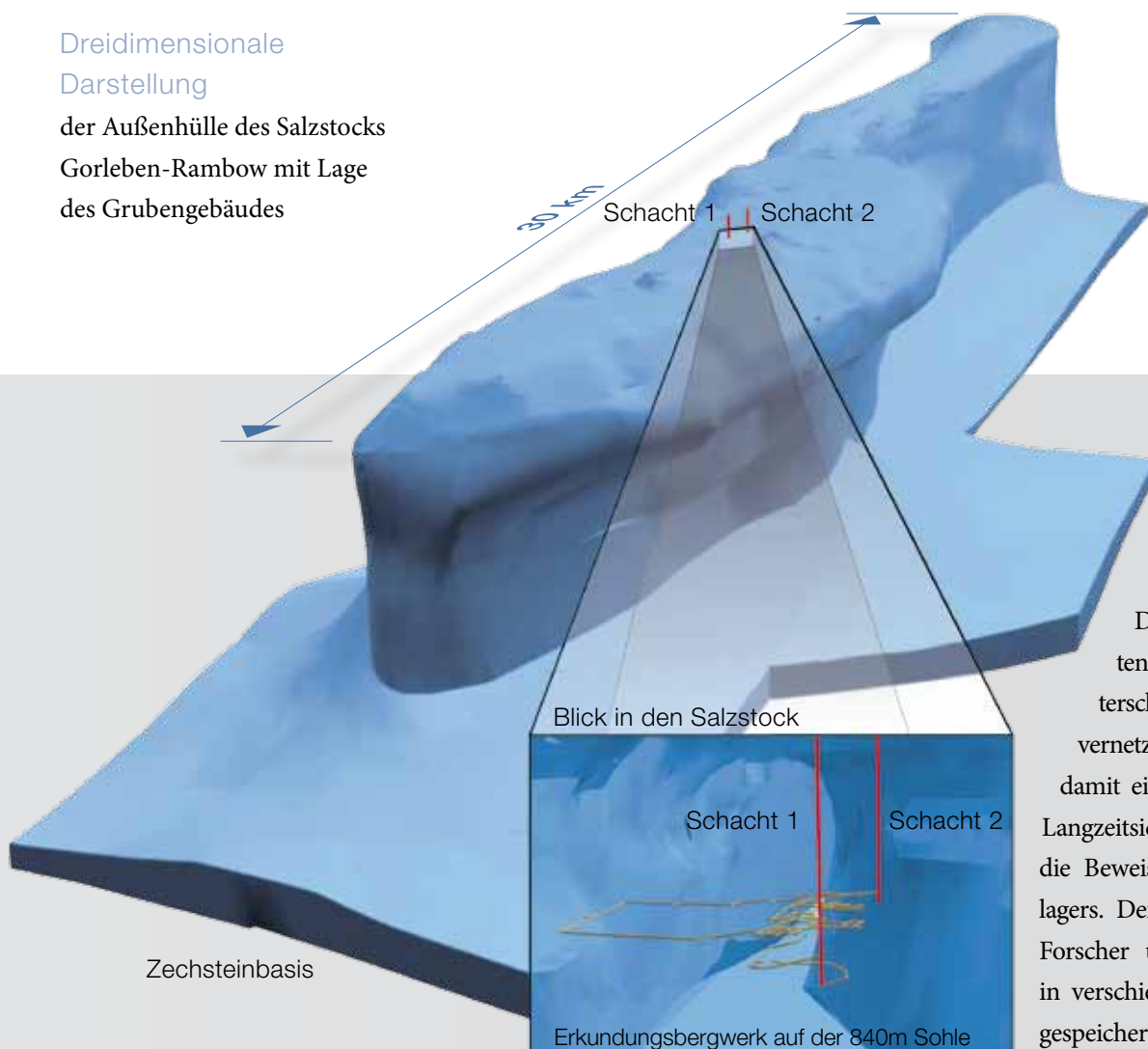
Salz bietet gegenüber anderen Wirtsgesteinstypen eine Reihe von Vorteilen – zum Beispiel die große Mächtigkeit von Salzgesteinsformationen. Um die Langzeitsicherheit möglicher Endlagerstandorte überprüfen zu können, entwickeln BGR-Forscher neue Methoden. Sie erkunden Salzstöcke, rekonstruieren ihre Geschichte und stellen detaillierte, dreidimensionale geologische Modelle her.

Salz gilt als attraktives Wirtsgestein, weil es die Wärme des radioaktiven Zerfalls gut ableitet, nahezu dicht ist und Klüfte und Risse schnell verschließt. Ein Nachteil besteht darin, dass Salz wasserlöslich ist. An ein Endlager im Salz werden daher andere Anforderungen gestellt als an ein Bergwerk, das angelegt wird, um daraus Salz zu fördern: Zwischen den Grubenräumen eines Endlagers und den grundwasserführenden Schichten des umliegenden Gesteins sollte eine mehrere hundert Meter dicke Barriere aus Salz liegen.

Um diese Salzbarriere zu erkunden, entwickeln BGR-Wissenschaftler neue Technologien, die im konventionellen Salzbergbau nicht benötigt werden. Besonders geeignet sind zerstörungsfreie Verfahren, die eine Salzstruktur ohne Bohrungen von außen erkunden – schließlich soll die Barriere

nicht geschwächt werden. Ein Beispiel ist das richtungssensitive Elektromagnetische Reflexions-Verfahren (EMR). Dabei werden elektromagnetische Wellen von unterirdischen Strecken oder Bohrlöchern aus in den Untergrund geschickt. Die BGR hat ein weltweit einmaliges System entwickelt, das untertage eingesetzt werden und einzig durch die BGR räumlich ausgewertet werden kann. Die Reflexionen der Wellen liefern Informationen über den inneren Aufbau einer Salzformation, zum Beispiel über die Entfernung und Lage von Schichtgrenzen. In laufenden Forschungsarbeiten wird das EMR-System derzeit weiter optimiert. Zudem wird die Auswertesoftware weiterentwickelt, um Auflösung, Reichweite und Richtungsaussage der Methode zu verbessern.

Dreidimensionale  
Darstellung  
der Außenhülle des Salzstocks  
Gorleben-Rambow mit Lage  
des Grubengebäudes



Die BGR verfolgt das Ziel, die Modelle zu 3D-Wissensspeichern zu erweitern. Darin sollen alle relevanten Informationen aus unterschiedlichen Fachgebieten vernetzt werden. Sie bilden damit eine Grundlage für den Langzeitsicherheitsnachweis und die Beweissicherung eines Endlagers. Demnächst wollen BGR-Forscher untersuchen, wie sich in verschiedensten Datenbanken gespeicherte Erkundungsergebnisse mit einem geologischen dreidimensionalen Standortmodell verbinden lassen. Das Ziel

### Vom Lagerstättenmodell zum virtuellen Endlager

Die EMR-Daten bilden eine wichtige Grundlage für ein dreidimensionales geologisches Lagerstättenmodell, in das auch Ergebnisse aus Kartierungen, Bohrungen, geophysikalischen und geochemischen Untersuchungen einfließen. Ein Ziel aktueller Forschungsarbeiten besteht darin, bessere koordinatenechte dreidimensionale Modelle aus all diesen Daten zu konstruieren. Anhand solcher Lagerstättenmodelle lassen sich weitere Modellrechnungen durchführen, etwa um Spannungen im Gestein oder das Volumen bzw. die Verbreitung der jeweiligen geologischen Einheit zu bestimmen. Solche Modelle bilden letztlich die Grundlage für die Planung und die Langzeitsicherheit eines Endlagers.

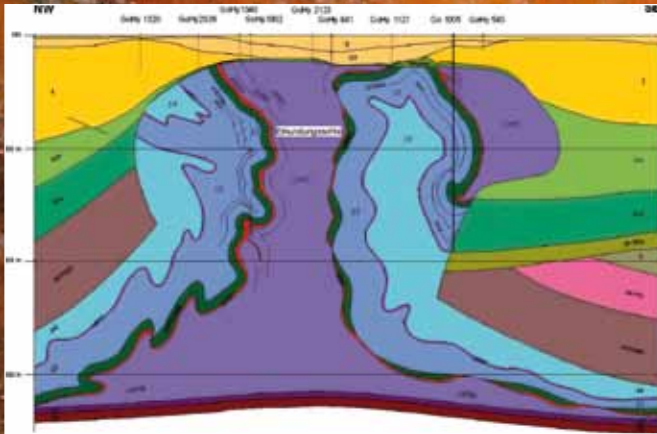
besteht darin, für einen beliebigen Standort zunächst ein virtuelles Endlager zu konstruieren, um zum Beispiel verschiedene Einlagerungsvarianten zu simulieren. Wo Strecken und Hohlräume liegen müssten, lässt sich in solch einem interaktiven Modell anschaulich dreidimensional darstellen.

### Wie ist der Salzstock entstanden?

BGR-Forscher beschäftigen sich auch damit, die Geschichte von Salzstöcken zu untersuchen. Wie ein Salzstock entstanden ist, lässt sich beispielsweise durch den Anteil des Elements Brom im Steinsalz nachvollziehen. Interessant sind auch sogenannte Kluftmineralisationen.

# Endlagerung radioaktiver Abfälle

Weiterentwicklung des richtungssensitiven EMR-Messverfahrens  
 CAD-gestütztes 3D Lagerstättenmodell  
 THM-Verhalten von Salzgestein, THM-Verhalten geotechnischer Barrieren  
 Modellierung THMC-gekoppelter Prozesse  
 Langzeitsicherheitsanalyse für ein HAW-Endlager im Salz



Schematischer geologischer Vertikalschnitt des Salzstockes Gorleben nach den Ergebnissen der übertägigen Erkundung.

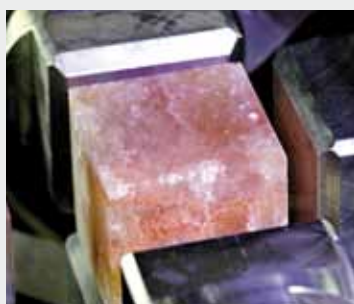
Im Kernlager der BGR befinden sich mehr als 20 km Bohrkern. Sie stammen aus Erkundungsbohrungen, z.B. aus Gorleben und der Grube Konrad.



Die Stoffe und Einschlüsse, die darin enthalten sind, ermöglichen Rückschlüsse darauf, wie die Lösung zusammengesetzt war, aus der sie gebildet wurden. Ziel der umfangreichen geochemischen Untersuchungen der BGR ist es, das Alter der Kluftmineralisationen zu bestimmen und den Weg solcher Lösungen von ihrem Ursprungsort bis zum Ziel zu verfolgen. Außerdem soll untersucht werden, ob die Kluftlösungen in das umgebende Gestein eindringen und es verändern können.

## Warum kriecht Salz?

Salzgestein hat besondere Eigenschaften. Auf eine ausdauernde Belastung reagiert Steinsalz zum Beispiel durch eine langsame, fließende Bewegung, die als Kriechen bezeichnet wird. Laboruntersuchungen der BGR beschäftigen sich mit den thermischen, hydraulischen und mechanischen Eigenschaften von Salzgestein. Wie ändern sich zum Beispiel die hydraulischen Eigenschaften des Salzes, wenn es geschädigt wird - etwa durch eine Streckenauffahrung - und wie funktioniert der „Selbst-Verschluss“? Diese Frage ist wichtig, um die Langzeitentwicklung der Salzbarriere modellieren zu können.



Steinsalzprobe vor Kriechversuch in triaxialer Prüfmaschine.

In Laboruntersuchungen wird erforscht, ob die erhöhten Temperaturen eines Endlagers unerwünschte chemische Reaktionen zwischen Kohlenwasserstoffen in umliegenden Gesteinsschichten und Schwefelverbindungen

wie Gips auslösen können, und in welchem Ausmaß solche Reaktionen stattfinden könnten. Die Apparate für derartige Experimente sind in Deutschland nur in der BGR vorhanden.

Neben der geologischen Barriere benötigt ein Endlager auch eine sogenannte geotechnische Barriere, um die radioaktiven Abfälle sicher einzuschließen. Im Steinsalz könnten Resthohlräume mit zerkleinertem Salz verfüllt werden, das beim Bau eines Endlagers anfällt. Durch den Druck des aufliegenden Gesteins wird dieser Salzgrus so stark zusammengepresst, dass sich seine Poren schließen. Dieser Vorgang – Konvergenz genannt – führt letztlich zur Wiederherstellung des ursprünglichen, ungestörten Spannungszustandes im Salzgestein. Das verbessert die Dichtwirkung kontinuierlich. Die BGR untersucht in einem Projekt zusammen mit der Deutschen Gesellschaft zum Bau und Betrieb von Endlagern für Abfallstoffe mbH (DBE) und der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), wie Salzgrus bei sehr geringen Porositäten auf Druck reagiert.

## Langzeitsicherheit als oberstes Gebot

Weitere Forschungsarbeiten der BGR beschäftigen sich mit numerischen Simulationsberechnungen. Diese Rechnungen haben das Ziel, das Verhalten der geologischen und geotechnischen Barrieren über sehr lange Zeiträume zu verstehen. Das geologische Lagerstättenmodell, die numerischen Simulationen und die Laborversuche sind wichtige Bausteine, um die Langzeitsicherheit eines Endlagers nachweisen zu können. Letztlich sind alle Arbeiten der BGR zur Endlagerforschung im Wirtsgestein Salz auf dieses Ziel ausgerichtet. ■

# Der harte Stein

Auch im potenziellen Wirtsgestein Granit führt die BGR Forschungsarbeiten durch. Dabei werden geologische Modelle und numerische Rechencodes entwickelt.

Feldspat, Quarz und Glimmer – diese drei Mineralien sind die wichtigsten Bestandteile des Granits. Vor allem Feldspat und Quarz sind dafür verantwortlich, dass das häufigste Gestein der kontinentalen Kruste enorm hart und widerstandsfähig ist. Für ein Endlager hat das Vor- und Nachteile: Die geologischen Kräfte nagen zwar nur langsam am Granit, aber er ist weniger dicht als Ton und Salz. Denn Granite sind meist von Klüften durchzogen, durch die Grundwasser sickert.

Um herauszufinden, ob ein Endlager in solch einer zerklüfteten Felsformation sicher ist, arbeiten BGR-Forscher beispielsweise mit Kollegen vom Institut für Geologie von Erzvorkommen, Mineralogie und Geochemie der Russischen Akademie der Wissenschaften (IGEM)



In-situ Oberflächenpackertest zur Ermittlung der Durchlässigkeit von Granit.



Granitisches Gestein (290 Millionen Jahre alt) aus dem Felslabor Grimsel, Aar-Massiv, Schweiz.

in Moskau zusammen. Bei dem Projekt soll ein dreidimensionales geologisches Modell der Erzlagerstätte Antej in der russischen Region Transbaikalien im südlichen Sibirien entwickelt werden. Die Erzlagerstätte liegt innerhalb eines Granitkörpers, der gut zugänglich ist und bereits mit verschiedenen geophysikalischen und geologischen Methoden erkundet wurde.

Von der Zusammenarbeit profitieren beide Seiten: Die BGR kann ihre Kenntnisse zu den Barriereigenschaften kristalliner Wirtsgesteine ergänzen, und in das russische Endlagerkonzept fließen westeuropäische Erfahrungen und Standards ein.

Im Schweizer Felslabor Grimsel untersuchen BGR-Forscher, ob das sogenannte Multibarrieren-Konzept im Granit funktioniert. Da Granit als geologische Barriere nicht dicht ist und zudem kaum Radionuklide adsorbieren kann, müssen die radioaktiven Abfälle mit einer zusätzlichen geotechnischen Barriere aus Bentonit eingeschlossen werden. Vor allem die Übergänge zwischen der geotechnischen Barriere, der Auflockerungszone des Gebirges und der geologischen Formation stehen im Fokus des BGR-Projektes.

Im Schwedischen Hard Rock Laboratory Äspö beteiligt sich die BGR zudem an den Projekten LASGIT (Large-Scale Gas Injection Test), ABM (Alternative Buffer Material) und LOT (Long Term Test of Buffer Material). Dabei soll untersucht werden, ob Gase eine gesättigte Bentonitbarriere überwinden können bzw. wie die Langzeitstabilitäten von Bentonitbarrieren bewertet werden können. Des Weiteren kooperiert die BGR mit der Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC). Im Projekt DECOVALEX (Development of coupled models and their validation against experiments in nuclear waste isolation) werden Modelle entwickelt, um die thermischen, mechanischen, hydraulischen und chemischen Prozesse im Wirtsgestein Granit und in der geotechnischen Barriere zu simulieren. ■

Charakterisierung der Auflockerungszone um untertägige Hohlräume in Mont Terri  
 Permeabilitätsmessungen im Tonstein  
 THMC: Verhalten von Ton im Labor  
 Tonmineralogisch-organische Prozesse in Barriersystemen  
 PEBS: Performance of Engineered Barrier Systems

## Forschung im Felslabor

Neben Salz untersucht die BGR auch Ton als potenzielles Wirtsgestein für die Endlagerung radioaktiver Abfälle. BGR-Forscher sind dafür an internationalen Forschungsprojekten in den Untertagelabors Mont Terri in der Schweiz und Bure in Frankreich beteiligt.

Noch heute schimmert die Schale des Ammoniten *Leioceeras opalinum* oft bunt wie ein Opal. Die auffälligen Fossilien des Kopffüßers sind das Kennzeichen des sogenannten Opalinuston, einer gut hundert Meter dicken, feinkörnigen Tonschicht, die in vielen Teilen Süddeutschlands und der Schweiz zu finden ist. Sie entstand vor etwa 180 Millionen Jahren am Boden des Jurameers.

Weil der Opalinuston praktisch kein Wasser durchlässt - noch heute enthalten die Gesteinsporen teilweise Salzwasser aus dem Erdzeitalter Jura - hat die Schweiz ihn als mögliches Wirtsgestein für radioaktiven Abfall gewählt. An den Forschungsarbeiten im Untertagelabor Mont Terri im Kanton Jura sind auch BGR-Forscher beteiligt. Sie wollen den Wissensstand der BGR über das Wirtsgestein Ton auf ein ähnlich hohes Niveau bringen, wie er beim Salz schon erreicht ist.

Die BGR-Forscher untersuchen zum Beispiel, wie sich gebirgsmechanische Prozesse auf den Opalinuston auswirken. In Bohrlöchern messen sie direkt, wie der Ton auf Druck reagiert und wie stark er sich verformt. Mit seismischen Messungen ermitteln sie zudem, wie sich Gesteinseigenschaften ändern, wenn ein Hohlraum in den Fels gegraben wird. Die BGR-Forscher entwickeln dazu sowohl seismische Messverfahren als auch Ultraschall-Methoden, die von Bohrlöchern und von der Oberfläche aus eingesetzt werden können. Mit diesen Messungen soll unter anderem ermittelt werden, wie sich das Gestein rund um einen neuen Hohlraum auflockert und wie sich diese Auflockerungszone im Laufe der Zeit verändert. Auch Risse, Störungen und die Hauptspannungsrichtungen im Gebirge sollen mit



Mit seismischen Messungen wird das Gebirge im Untertage-Forschungslabor Meuse / Haute-Marne in Frankreich charakterisiert.

diesen Messungen bestimmt werden. Weitere Forschungsarbeiten der BGR in Mont Terri und im Untertagelabor Bure in Frankreich haben das Ziel, die Durchlässigkeit aufgelockerter und ungestörter Gebirgsbereiche zu ermitteln.

### Wann bildet sich ein Riss im Ton?

Daneben führt die BGR auch Laborversuche durch, in denen das thermische, hydraulische und mechanische Verhalten des Tons untersucht wird. Unter welchen Umständen bilden sich Brüche und Risse, wann beginnt das plastische Tongestein zu kriechen und wie reagiert es auf nachlassende Spannungen? Die mikrophysikalischen Prozesse, die bei der Verformung auftreten, werden am Rasterelektronenmikroskop und mit Hilfe röntgen-diffraktometrischer Verfahren analysiert.

Weitere Experimente beschäftigen sich mit der Ausbreitung radioaktiver Nuklide im Ton. Neuartige Diffusions-



Sondierstollen im internationalen Felslabor Mont Terri (Schweiz).

experimente sollen bisherige, technisch aufwändige Methoden ersetzen. In einem EU-Projekt wird zudem untersucht, ob mineralhaltiges Sickerwasser Tone weiter abdichten kann. Wenn sich in den Poren des Tons viele Ionen anreichern – zum Beispiel gelöste Radionuklide aus einem Endlager – können diese als feste Minerale ausfallen und die Durchlässigkeit des ohnehin schon dichten Tons noch weiter verringern.

#### Simulationen als Sicherheitsnachweis

Um das Verhalten einer Tonformation für die Zukunft voraussagen zu können, sind numerische Simulationen erforderlich. Die BGR-Forscher überprüfen deshalb vorhandene Programme, indem sie Messdaten mit berechneten Größen vergleichen. Ziel ist es, die Simulationsrechnungen als Werkzeug im Langzeitsicherheitsnachweis einzusetzen. ■

## Bentonit

### Die geotechnische Barriere

Das Gestein, eine quellfähige Mischung aus verschiedenen Tonmineralien, Quarz, Glimmer und Feldspat, soll als sogenannte geotechnische Barriere die radioaktiven Abfälle in einem Endlager im Ton oder im Granit abdichten. In der BGR finden Untersuchungen statt, um den besten Bentonit zu identifizieren. Die Experimente beschäftigen sich mit Reaktionen

zwischen Bentonit und Zementporenwasser und mit der Korrosion von Stahl, der potenziell als Abfallbehälter in Bentonit eingebettet ist.

Im EU-Projekt PEBS (Performance of Engineered Barrier Systems) werden Modelle entwickelt, um das Langzeitverhalten von Bentonitbarrieren zu untersuchen, die wärmeerzeugende radioaktive Abfälle umhüllen. Um die Aufwärmphase zu simulieren, wird im Untertagelabor Mont Terri Gestein erhitzt. Die BGR-Forscher messen Mikro-Erdbeben, die durch die thermischen Spannungen im Gestein entstehen. Die Messergebnisse werden mit Ergebnissen aus Modellrechnungen verglichen, um numerische Simulationsmodelle zu optimieren.

GeneSys: Generierte geothermische Energiesysteme

Geotherm: Programm zur Förderung der Nutzung geothermischer Energie

Hot-Dry-Rock-Projekt Soultz

# Durchlauferhitzer in der Tiefe

## BGR erprobt innovative Geothermie-Konzepte

Im Inneren der Erde sind unermessliche Mengen Energie gespeichert – in Form von Wärme. Geothermie gilt als eine der Energiequellen der Zukunft, weil sie sauber, zuverlässig und nahezu überall verfügbar ist. In mehreren Forschungsprojekten erkunden BGR-Forscher innovative Konzepte, um die Wärme aus dem tiefen Erdinneren zu nutzen.

So viele Besucher hat das GEOZENTRUM Hannover selten: Mehrere tausend Bürger fanden zwischen Juni und Dezember 2009 den Weg auf das Gelände im Stadtteil Buchholz. Der Grund für das rege Interesse war das Geothermie-Pilotprojekt „GeneSys“ („Generierte geothermische Energiesysteme“) der BGR. Auf dem Gelände der BGR stand eine weithin sichtbare, fast 52 Meter hohe Bohranlage. Deren Bohrmeißel arbeiteten sich innerhalb von 154 Tagen mit einer Geschwindigkeit von bis zu elf Metern pro Stunde durch Ablagerungen aus den Erdzeitaltern Kreide, Jura und Trias bis in 3.901 Meter Tiefe vor.

Das Ziel der Bohrung war eine 150 Grad Celsius warme Sandsteinschicht, der sogenannte Detfurth-Sandstein. Dieser Wärmespeicher wird nun angezapft: Ab dem Jahr 2013 soll das GEOZENTRUM Hannover, in dem neben der BGR auch das niedersächsische Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) sowie das Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) untergebracht sind, mit Wärme aus der Tiefe geheizt werden. Durch die umweltfreundliche Geothermie-Heizung wird das GEOZENTRUM eine Million Kubikmeter Erdgas und damit 3.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr einsparen.

„Die BGR wird zum weltweit ersten Mal das sogenannte Einbohrloch-Konzept für die Nutzung tiefer Erdwärme praktisch erproben“, erklärt Dr. Torsten Tischner. Bislang ist es üblich, für ein Geothermie-Heizwerk mindestens zwei Bohrungen abzuteufen, um einen Wasser- und Wärmekreislauf aufzubauen. In der einen Bohrung wird Was-

ser von der Oberfläche in den Untergrund eingespeist. Anschließend fließt es durch natürliche oder künstlich erzeugte Risse zur zweiten Bohrung. Dort wird das aufgeheizte Thermalwasser gefördert. An der Oberfläche gibt es seine Wärme an die Heizung ab und wird anschließend, noch etwa 50 Grad Celsius warm, wieder in den Boden gepresst. Bei GeneSys sollen das heiße und das abgekühlte Wasser allerdings durch ein- und dieselbe Bohrung fließen. Der Hauptvorteil: Die hohen Bohrkosten werden signifikant reduziert. Das Prinzip wurde bereits von 2003 bis 2007 in der ehemaligen Erdgaserkundungsbohrung „Horstberg Z1“ in der Süddeide erfolgreich getestet.

Im April 2010 haben BGR-Forscher ein umfangreiches Forschungs- und Testprogramm an der GeneSys-Bohrung begonnen, um zwei Konzepte zu vergleichen. Zunächst untersuchen sie, ob sich zwei poröse Sandsteinschichten in 3.550 und 3.700 Meter Tiefe hydraulisch miteinander verbinden lassen, so dass Wasser zwischen ihnen zirkulieren kann. Das kalte Wasser soll in den tieferen Volpriehausen-Sandstein gepumpt werden, anschließend durch künstlich erzeugte Risse in den höher gelegenen Detfurth-Sandstein fließen und von dort gefördert werden. Das zweite Konzept sieht vor, im Sommer kaltes Wasser in das Gestein zu pressen und es im Winter – inzwischen aufgeheizt - zu fördern.

Die Forscher wollen mit GeneSys auch demonstrieren, dass sich die gering durchlässigen Sedimentgesteine des Norddeutschen Beckens für die Geothermie eignen. In vielen anderen Gegenden besteht der Untergrund ebenfalls



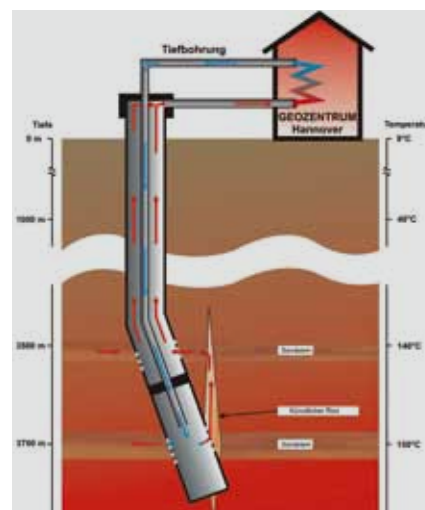


Bohranlage Innova Rig TI 350 (Herrenknecht Vertical) auf dem Gelände der Bohrung Groß Buchholz GT 1/GeneSys. Im Hintergrund das Hauptgebäude des Geozentrums Hannover.

aus relativ dichtem, undurchlässigem Gestein. Die BGR beteiligt sich auch an dem europäischen Geothermie-Forschungsvorhaben in Soultz-sous-Forêts in Frankreich. In diesem Pionier-Projekt wird bereits seit 1987 untersucht, wie sich Strom aus der Erdwärme einer tiefen, dichten Gesteinsformation gewinnen lässt. Seit 2008 läuft ein geothermisches Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 1,5 Megawatt im Probebetrieb. Die BGR wird das Wärmereservoir in den nächsten Jahren hydraulisch und thermisch charakterisieren und eine Langzeitprognose der Energiegewinnung erstellen.

Im Geotherm-Programm des Bundesministeriums für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) unterstützt die BGR Partnerländer dabei, ihr geothermisches Potenzial zu entwickeln. Forscher um Marietta Sander erkunden zum Beispiel mögliche Geothermiestandorte in Ostafrika. In den Ländern rund um das vulkanisch aktive ostafrikanische Riftsystem ist der Wasserdampf im Untergrund vielerorts so heiß, dass er unmittelbar zur Stromerzeugung genutzt werden kann. Experten schätzen die nutzbare elektrische Leistung auf etwa 7000 Megawatt. Um die besten Standorte zu finden, setzen die BGR-Forscher eine Kombination verschiedener geochemischer und geophysikalischer Methoden ein. Mit geochemischen Untersuchungen an Wasser, Gasen und Gesteinsproben ziehen sie Rückschlüsse auf deren Herkunft. Auch die Temperatur der tiefen Geothermal-Quellen können sie mit diesem Verfahren eingrenzen. Besonders heiße Zonen im Untergrund spüren sie mit elek-

tromagnetischen Verfahren auf. Zudem setzen sie seismologische Verfahren ein, um aktive Störungszonen zu finden und Schichten aufzuspüren, die mit Flüssigkeit gesättigt sind. Damit können sie herausfinden, welche Wege das Hydrothermalwasser im Untergrund nimmt und wo sich größere Reservoirs befinden. Anschließend erstellen sie Arbeitsmodelle, die hydrologische, strukturgeologische, geochemische und geophysikalische Befunde vereinen, um die beste Stelle für eine Bohrung zu finden. ■



Das Prinzip Tiefenzirkulation. Kaltes Wasser wird in die Tiefe geleitet, dort erwärmt und anschließend nach oben geführt.



Glasröhrchen mit Bohrkern aus den Schichten des Buntsandsteins der Bohrung Groß Buchholz GT 1/GeneSys.



# Das Zittern im Untergrund

Einige spürbare Erdstöße in der Nähe geothermischer Kraftwerke haben die Bevölkerung beunruhigt. BGR-Forscher analysieren die auftretende Seismizität und entwickeln Methoden, um das Ausmaß der Gefährdung abzuschätzen.

Die Bundesregierung hat ein ehrgeiziges Ziel: Bis zum Jahr 2020 sollen geothermische Kraftwerke eine elektrische Leistung von 280 Megawatt erzeugen, derzeitiger Stand (Frühjahr 2010): knapp 8 Megawatt. Doch der Ausbau der klimafreundlichen Stromquelle könnte ins Stocken geraten. „Die Bevölkerung ist beunruhigt, weil in

der Nähe einiger geothermischer Kraftwerke induzierte Erdbeben aufgetreten sind“, berichtet BGR-Seismologe Ulrich Wegler. Sogenannte induzierte, also künstlich ausgelöste Erdbeben, ereignen sich überall, wo der Mensch in den Untergrund eindringt: Beim Bergbau, bei der Erdölförderung oder beim Bau von Staudämmen

und Tunneln. Auch die Geothermie kann Erschütterungen verursachen. Zum Beispiel, wenn sich Spannungen im Gestein ändern, weil natürlich vorhandenes, heißes Thermalwasser aus dem Untergrund gefördert wird. Bei der sogenannten hydraulischen Stimulation geothermischer Reservoirs wird Wasser unter hohem

Druck in den Boden gepresst. Dabei ist ein wenig seismische Unruhe sogar erwünscht, denn schließlich sollen Risse im Gestein erzeugt werden. „Geophysikalisch gesehen sind das Mikrobeben“, sagt Ulrich Wegler. Wenn der Fels bricht, entstehen schwache seismische Wellen, die normalerweise nur von empfindlichen Messgeräten empfangen werden können.

Doch beim schweizer Geothermieprojekt Deep Heat Mining bei Basel ereigneten sich im Dezember 2006 während der Stimulation mehrere spürbare Erdstöße, die stärker waren als vorausgesehen, mit Magnituden zwischen 2,9 und 3,4. Das Projekt wurde gestoppt. In der Nähe des deutschen Geothermie-Kraftwerks in Landau, das seit 2007 hydrothermales Wasser fördert, kam es am 15. August und 14. September 2009 zu zwei schwachen Erdstößen der Magnitude 2,7 und 2,4, die aber von der Bevölkerung deutlich wahrgenommen wurden. Auch in Soultz-sous-Forêts, im Elsass und in Unterhaching traten induzierte Erd-

beben im Zusammenhang mit der Geothermie auf.

Für Wegler ist klar: „Damit die tiefe Geothermie von der Bevölkerung akzeptiert wird, muss wissenschaftlich klar dargelegt werden, ob die induzierte Seismizität auf Mikrobeben begrenzt bleibt, oder ob eine Gefahr für Menschen und Gebäude bestehen könnte.“ Die Seismologieexperten der BGR wollen daher in dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Projekt MAGS (Konzepte zur Begrenzung der mikroseismischen Aktivität bei der energetischen Nutzung geothermischer Systeme im tiefen Untergrund) Erdbeben analysieren, die bisher in Deutschland in der Nähe von Geothermie-Standorten aufgetreten sind. Die Gefährdung durch induzierte Erdbeben soll berechnet und mit der Gefährdung durch natürliche Erdbeben verglichen werden. Die BGR-Seismologen wollen zudem genau verstehen, wie es zu induzierten Erdbeben kommt. Am Ende sollen standardi-

sierte Werkzeuge zur Verfügung stehen, um die seismische Gefährdung durch geothermische Kraftwerke berechnen zu können. Zusammen mit mehreren Universitäten will die BGR zudem Strategien entwickeln, um spürbare Erschütterungen und Schadensbeben sowohl während der hydraulischen Stimulation als auch während des Betriebs zu vermeiden.

Einen Schwerpunkt der Forschungsarbeiten werden hydrothermale Systeme im Alpenvorland, im Oberrheingraben und im norddeutschen Becken bilden, in denen natürliches Thermalwasser vorkommt. Die Erdbebenaktivität ist in den einzelnen Regionen sehr unterschiedlich: Der Oberrheingraben weist eine hohe natürliche Seismizität auf, das norddeutsche Becken ist dagegen fast frei von Erdbeben. „Erste Erfahrungen deuten darauf hin, dass induzierte Erdbeben eher in Gebieten mit hoher natürlicher Seismizität wie dem Oberrheingraben auftreten als in Gebieten mit geringer natürlicher Seismizität“, berichtet Ulrich Wegler. ■



1

1 2 Wartung der seismologischen Messapparatur HAN1 in Misburg.

3 Im seismologischen Auswertezentrum der BGR.

4 Seismische Station der BGR in Süddeutschland.

5 Bei der Erdbebenauswertung.



2



3



4



5



# Nordsee für Nutzer

Ein neues Geoinformationssystem erschließt die Geologie der Nordsee

Die Deutsche Nordsee ist ein bedeutender Wirtschaftsraum. Welches ökonomische Potenzial wirklich in ihr steckt und wie es nachhaltig genutzt werden kann, erforschen BGR-Wissenschaftler gemeinsam mit Partnern aus Behörden, Wissenschaft und Wirtschaft.

Das Meer zwischen Emden und Sylt ist ein beliebtes Urlaubsparadies mit brausenden Wellen und schier endlosem Watt. Die Nordsee mit ihrem herben Charme ist aber nicht nur für Touristen interessant, sondern auch für die Energie- und Rohstoffwirtschaft. Der deutsche Teil des Randmeeres, ein spitz zulaufendes Areal mit einer Fläche von 41.000 Quadratkilometern, gilt als ein bedeutender Wirtschaftsraum der Zukunft. „Die Nordsee birgt wertvolle Rohstoffe wie Erdöl und Erdgas, sie ist eine Quelle für Sand und Kies“, sagt dazu Dr. Lutz Reinhardt von der BGR. „In Zukunft kann sie auch eine bedeutende Rolle für den Klimaschutz spielen.“ Das Meer bietet Platz für mächtige

Offshore-Windparks, und im tieferen Untergrund könnte künftig Kohlendioxid gespeichert werden.

## Naturschutz und nachhaltige Nutzung

Doch wie lässt sich das sensible Nordseegebiet umweltverträglich nutzen? Wie können etwa Rohstoffe sicher geborgen und transportiert werden? Wo lassen sich Pipelines oder Seekabel gefahrlos verlegen, haben Windräder einen festen Stand und wo befinden sich geeignete Gesteinsformationen, um Kohlendioxid oder Erdgas zu speichern? Zur Beantwortung dieser Fragen sind grundlegende geowissenschaftliche Informationen erforderlich, die über ein neues Geoinforma-

tionssystem bereitgestellt werden sollen. Dieses wird von BGR-Forschern um Lutz Reinhardt gemeinsam mit Wissenschaftlern des niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Hannover, des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Hamburg und mehreren Unternehmen im Verbundprojekt „Geopotenzial Deutsche Nordsee“ (GPDN) entwickelt. Das Ziel des Projektes ist es, grundlegende Informationen über die geologische Entstehungsgeschichte und den strukturellen Aufbau des deutschen Nordseeraumes zusammenzustellen. „Dieses Wissen ist für die nachhaltige Entwicklung des Wirtschaftsraumes Nordsee und den Schutz der Natur

unerlässlich“, erklärt BGR-Präsident Prof. Dr. Hans-Joachim Kümpel.

In drei Jahren schon wollen die Projektpartner ihre Ergebnisse in einem Geoinformationssystem präsentieren und es auf einer Internetplattform Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik zur Verfügung stellen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und das Niedersächsische Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr unterstützen das Verbundprojekt mit rund fünf Millionen Euro.

## Geologie und Gletscher

„Uns geht es darum, grundlegende Geoinformationen zugänglich zu machen“, berichtet Lutz Reinhardt. Dafür durchforsten die Projektpartner Archive, schaffen neue Daten und nutzen ihr Wissen, um Werkzeuge für aussagekräftige Prognosen zu schaffen. Die BGR-Forscher haben dabei vor allem die Geologie der Nordsee im Visier. „Wir untersuchen die geologische Entwicklung seit dem Erdzeitalter Karbon vor 350 Millionen Jahren“, sagt Reinhardt. Ein weiterer Schwerpunkt

besteht darin, den Anstieg des Meeresspiegels seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit vor 20.000 Jahren zu rekonstruieren. Die Informationen speisen die Wissenschaftler in Eis- und Erdmodelle ein. So können sie unter anderem herausfinden, wo und wie stark sich der Nordseeraum seit dem Schwinden der Gletscher absenkt. „Diese Ergebnisse können eine Entscheidungshilfe für den Küstenschutz sein, gerade angesichts des erwarteten Meeresspiegelanstiegs“, betont der BGR-Experte.



1 Eine Kastengreiferprobe mit Sediment aus dem Meeresboden wird vermessen.

2 Handflügelcherversuch zur Bestimmung der Festigkeit von Sedimenten in einem Bohrkern.

3 Offshore-Windenergieanlagen.



## Erdöl und Erdgas im Entenschnabel

Außerdem analysieren die Wissenschaftler das Erdöl- und Erdgaspotenzial des Nordseeraums. „Wir rekonstruieren dazu die geologische Entwicklung der deutschen Nordsee“, sagt der verantwortliche BGR-Forscher Dr. Rüdiger Lutz. Er und seine Kollegen kartieren insbesondere den sogenannten „Entenschnabel“, einen schmalen Korridor am nordwestlichen Ende der deutschen Wirtschaftszone, in dem die einzige deutsche Offshore-Gasplattform liegt. Anschließend wollen sie ein dreidimensionales geologisches Modell

dieses Gebietes anfertigen, das in ein von den Projektpartnern entwickeltes Strukturmodell des gesamten Nordseeraums überführt wird.

Wo und wann Erdöl und Erdgas in der Nordsee entstanden sind, wollen die Forscher mit Hilfe der sogenannten numerischen Beckenmodellierung untersuchen, eines Explorationswerkzeugs der Mineralölindustrie. Als Ergebnis erhalten sie schließlich Informationen über das Kohlenwasserstoff-Potenzial des deutschen Nordseeraums. Die Forscher um Lutz decken mit ihren Untersuchungen großräumige Flächen der Nordsee ab, auch außerhalb der be-

stehenden Konzessionsgebiete. „Damit können wir Explorationsmöglichkeiten sichtbar machen, die mit den bisherigen, kleinräumigen Modellen schlicht nicht erfasst wurden“, sagt er. Ein weiterer wichtiger Punkt sei es, flache Erdgasvorkommen zu untersuchen und zu kartieren. Denn das Methan, das nahe der Oberfläche schlummert, kann zur Gefahrenquelle werden, wenn es unabsichtlich angebohrt wird. Die Flachgasvorkommen könnten sich aber auch nutzen lassen, zum Beispiel als Treibstoff für Turbinen, wenn bei Flaute die Windräder stehen.

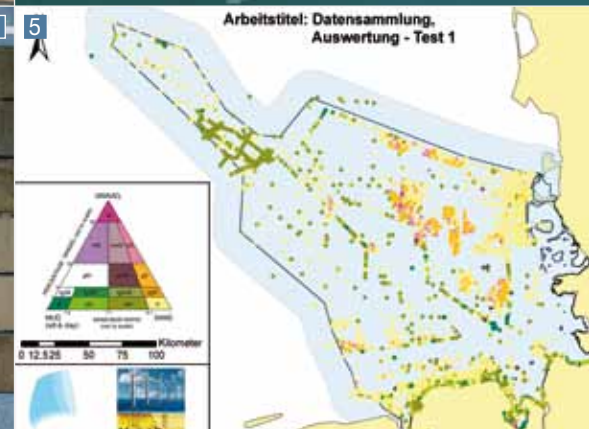
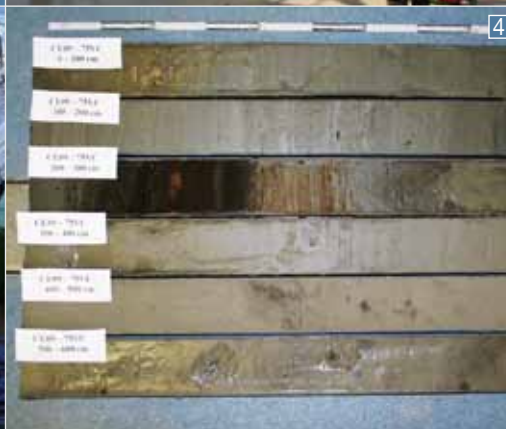
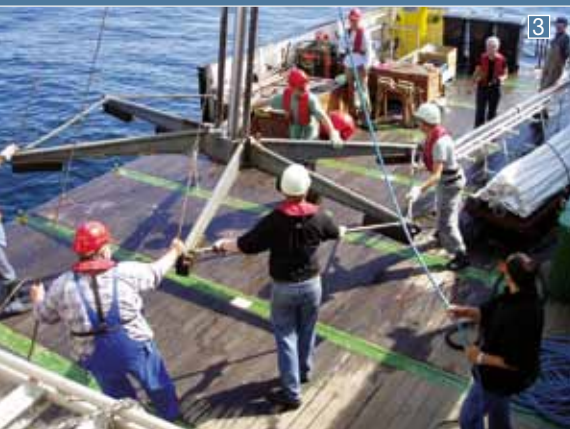
1 Einbau des Kernrohres in den Vibrocorer, einem Gerät zur Gewinnung von Bohrkernen.

2 Seismische Vermessung mit dem CHIRP-Sonargerät des BSH.

3 Aussetzen des Vibrocorers.

4 Aufgeschnittener Bohrkern (Vibrocorer) mit brauner Torflage aus dem deutschen Nordseesektor.

5 Arbeitskarte mit Lokationen von Bohrungen.



OneGeology-Europe: „Wissenschaftliche Datenspezifikation, Identifikation und Beschaffung der Daten für das gesamteuropäische Kartenwerk im Maßstab von 1:1 Million“

## Speicher und Salzstöcke

Speicherkapazitäten unter dem Meeresgrund aufzuspüren ist ein weiterer Schwerpunkt der BGR-Wissenschaftler im Verbundprojekt. „Unter anderem werden wir salzwasserhaltige Grundwasserschichten, sogenannte saline Aquifere, untersuchen, die sich potenziell für eine dauerhafte Kohlendioxid-speicherung eignen würden“, berichtet BGR-Forscher Holger Wirth. Die Wissenschaftler charakterisieren zudem unterirdische Salzstöcke. In künstlich erzeugten Kavernen könnten darin Erdgas oder Energie in Form von Druckluft zwischengespeichert werden. ■

### LINKS ➤➤

[www.geopotenzial-nordsee.de](http://www.geopotenzial-nordsee.de)

## Geologie ohne Grenzen

**Eine digitale geologische Karte Europas im Maßstab 1:1 Million – das ist das Ziel von OneGeology-Europe. Die BGR hat in dem internationalen Verbundprojekt das größte von neun Arbeitspaketen federführend übernommen.**

„Geologische Daten sind Schlüsselinformationen“, sagt Dr. Kristine Asch, BGR-Expertin für geologische Informationen und Karten. „Sie helfen bei der Suche nach Rohstoffen und tragen dazu bei, die Energieversorgung zu sichern, Grundwasser-Ressourcen zu nutzen, natürliche Risiken zu identifizieren oder den Baugrund besser abzusichern.“ Geologische Daten aus ganz Europa demnächst im Internet in Form von Karten verfügbar zu machen, daran arbeitet Asch zusammen mit Partnern aus 29 Organisationen in 20 Ländern innerhalb des Verbundprojektes OneGeology-Europe. Das Ziel: Ein digitales, leicht verfügbares und einheitliches Kartenwerk des Kontinents im Maßstab 1:1 Million. „Geologie kennt keine politischen Grenzen – also wurde es Zeit für eine gesamteuropäische, digitale geologische Karte“, sagt Kristine Asch. „Dieses Internet-Projekt ermöglicht erstmals einen einheitlichen Blick auf die Geologie unseres Kontinents. Gleichzeitig sollen die Nutzer weiterführende Informationen und Detailkarten einzelner Länder finden.“ Die BGR leitet innerhalb des Projektes das umfangreiche Arbeitspaket „Wissenschaftliche Datenspezifikation, Identifikation und Beschaffung der Daten für das gesamteuropäische Kartenwerk im Maßstab von 1:1 Million“. Dabei geht es unter anderem um die Klärung von Begriffen. Ein neuer digitaler Sprachstandard, eine Art Esperanto für geologische Anwendungen, wird entwickelt. Der Code besteht aus genau 516 Fachbegriffen. Zum Beispiel wird genau festgelegt, welches Gestein als Andesit eingeordnet wird, wie ein Trachyt auszusehen hat oder dass der Zeitraum von 359,2 bis vor 345,3 Millionen Jahren wahlweise als „unteres Mississippium“ oder auch als „Tournaisium“ bezeichnet werden kann. Diese Ergebnisse wurden mit Geologischen Diensten und internationalen Gremien wie der International Union of Geological Sciences (IUGS) in intensiver Zusammenarbeit abgestimmt. Dadurch sollen in Zukunft geologische Datensätze – nicht nur aus Europa – vergleichbar werden. Die Ergebnisse von OneGeology-Europe gehen in die globale Forschungsinitiative OneGeology und in die INSPIRE-Initiative der Europäischen Kommission ein. Damit wird eine Infrastruktur für räumliche Daten entwickelt. ■

### LINKS ➤➤

[www.onegeology-europe.org/](http://www.onegeology-europe.org/)

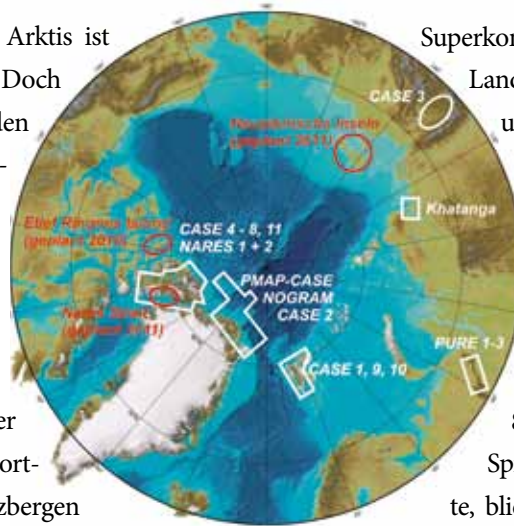
# Puzzlespiel im hohen Norden

Die Arktis mit ihren Meeresbecken, Schelfgebieten und Festländern ist in vieler Hinsicht noch Terra incognita für Geowissenschaftler. Die BGR ist international die einzige Institution, die in der Arktis kontinent- und länderübergreifend forscht. Geologen und Geophysiker der Bundesanstalt erkunden nicht nur die Geschichte des Arktischen Ozeans, sondern auch dessen Rohstoffpotenzial.

Ellesmere Island in der kanadischen Arktis ist mehr als halb so groß wie Deutschland. Doch obwohl die von Gletschern und Fjorden geprägte Insel in der kanadischen Arktis eindeutig zu Amerika gehört, ist ein kleiner Teil von ihr europäisch. „Bei unserer Expedition CASE 11 haben wir Hinweise darauf gefunden, dass ein 300 Kilometer langes und 100 Kilometer breites Krustenfragment an der Nordspitze von Ellesmere Island die Fortsetzung des westlichen Teils von Spitzbergen sein könnte“, berichtet BGR-Geologe Dr. Karsten Piepjohn. „Das bedeutet, dass dieser Kontinentsplitter, „Pearya“, enger mit Europa verwandt ist als mit Nordamerika.“

Bereits seit 1992 erkunden Geophysiker und Geologen der BGR die Arktis. Auf Spitzbergen, Grönland, in Sibirien und zuletzt 2008 auf Ellesmere Island haben sie während zahlreicher Expeditionen die plattentektonischen Prozesse untersucht, die zur Öffnung des Arktischen Ozeans führten. „Diese Zusammenhänge sind nicht nur von wissenschaftlichem Interesse, sondern auch von großer wirtschaftlicher Bedeutung“, betont Piepjohn. „Es geht vor allem um das Rohstoffpotenzial der Arktis.“

Vor etwa 100 Millionen Jahren begann sich das Polarmeer durch die Kontinentaldrift zu öffnen, vor 50 Millionen Jahren trennten sich Europa und Nordamerika. Die vorher zum



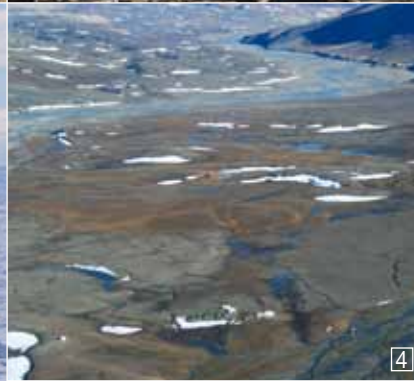
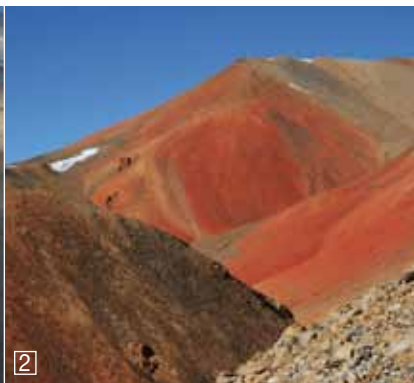
Superkontinent Laurasia vereinten nördlichen Landmassen der Erde verteilten sich rund um den Arktischen Ozean. „Wir versuchen, die Geschichte der heute auseinander gerissenen Kontinentblöcke zu verstehen und Modelle für die Evolution des Polarmeeres zu entwickeln“, sagt Karsten Piepjohn. „Pearya“ zum Beispiel, das wahrscheinlich bis vor 80 Jahrmillionen noch gemeinsam mit Spitzbergen über die Erdoberfläche driftete, blieb schließlich an der Nordspitze Amerikas hängen, so die Erkenntnis der BGR-Forscher.

Noch seien die Modelle aber nicht zuverlässig, berichtet Piepjohn, der den Bereich Arktisforschung zusammen mit dem Geophysiker Dr. Detlef Damaske koordiniert: „Die geologischen Karten der arktischen Kontinentränder sind derzeit noch unvollständig, so dass man das Rohstoffpotenzial weiter Teile der Arktis nicht abschätzen kann.“ Viele Schelfgebiete, besonders vor Sibirien, sind nach wie vor unzugänglich. Die BGR-Forscher vermuten aber, dass sich dort Sedimentbecken mit hohem Kohlenwasserstoff-Potenzial befinden könnten. ■

## LINKS

[polarjahr.de/CASE-11.506.0.html](http://polarjahr.de/CASE-11.506.0.html)





1 Basislager der Expedition CASE 11 im Sommer 2008 auf 82°45' nördlicher Breite am Taconite River an der Nordküste von Ellesmere Island. 2 Intensiv „verrostete“, eisenoxidhaltige etwa 450 Millionen Jahre alte vulkanische Gesteine aus dem Ordovizium an der Nordküste Nordamerikas. 3 Hubschrauber im Geländeeinsatz auf einem Grat im nördlichsten Gebirge des amerikanischen Kontinents. 4 Die winzigen grünen Punkte sind die Zelte des Camps mitten in der Weite der arktischen Landschaft. 5 Fernseh-Interview im Gelände während der Expedition CASE 11 an die Nordspitze der Ellesmere-Insel im Sommer 2008. 6 Blick vom Cape Columbia, der Nordspitze des amerikanischen Kontinents, entlang der zugefrorenen Küste des Polarmeeres nach Westen. 7 Eisbärenfährten auf einer Frühlingsexpedition in den Wijdefjorden (Spitzbergen). 8 Frühlingcamp einer geologischen Expedition der Bundesanstalt für Geowissenschaften und des Norwegischen Polarinstituts nach Spitzbergen. 9 Geländearbeit im Frühling bei -25°C im Nordosten Spitzbergens.

# Antarktis

GANOVEX X: 10. German Antarctic North Victoria Land Expedition  
ANDRILL: Antarctic Geological Drilling Program

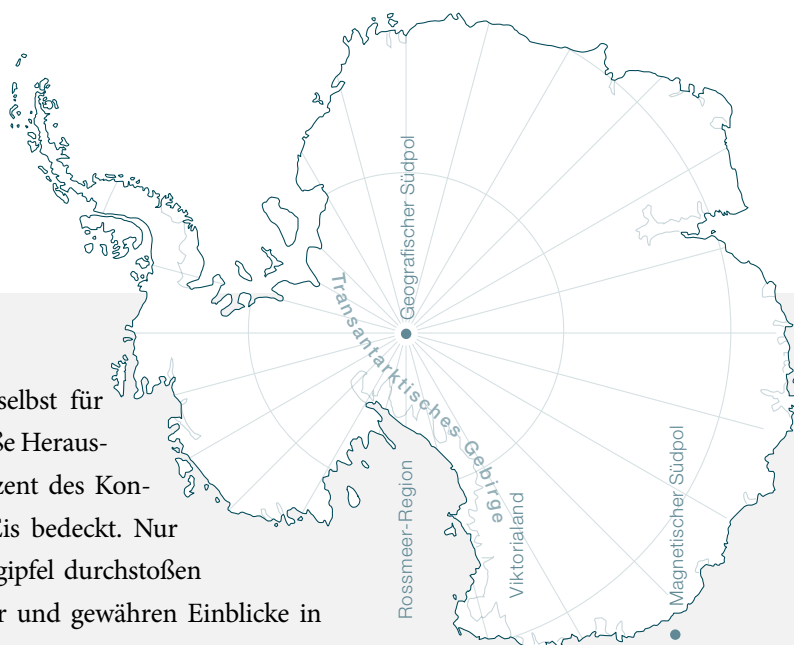
## Spurensuche unter dem Eis

Die Geschichte der Antarktis kommt ans Licht

Die Polargebiete der Erde sind Schlüsselregionen für die Erdsystemforschung. Wie wichtig sie für die gesamte Menschheit sind, hat zuletzt das Internationale Polarjahr 2007/2008 herausgestellt. Die BGR erforscht die Geologie des Südkontinents bereits seit 1979, als Deutschland dem Antarktis-Vertrag beitrug. Im Mittelpunkt steht ein Fleckchen Erde, von dem aus schon Robert Scott zum Südpol aufbrach: das Nordviktoraland am Rande des Rossmeeres in der Westantarktis.

Die Antarktis ist selbst für Geologen eine große Herausforderung. 98 Prozent des Kontinents sind von Eis bedeckt. Nur die höchsten Berggipfel durchstoßen den weißen Panzer und gewähren Einblicke in vergangene Erdzeitalter. Eine der besten Stellen, um die Geschichte des Kontinents zu erkunden, ist das Viktorialand, sagt Dr. Andreas Läufer: „Dort ragen die Ketten des Transantarktischen Gebirges weit aus dem Eis heraus.“

Im Südsommer 2009/2010 besuchten Geologen der BGR die einsamen Täler des Nordviktoralandes innerhalb des Forschungsprogramms GANOVEX bereits zum zehnten Mal. Zusammen mit Kollegen des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt, der Universitäten Bremen, Jena, München, Düsseldorf und Newcastle in Australien untersuchte



das von Läufer mit Dr. Detlef Damaske geleitete Team, wie das Nordviktoraland entstanden ist. „Das Hauptanliegen der Expedition bestand darin, die Prozesse zu verstehen, die zum heutigen Kontinent Antarktika geführt haben“, sagt der Geologe.

Früher lag die Antarktis in der Mitte des Superkontinents Gondwana, umgeben von den Landmassen Afrikas, Südamerikas, Australiens und Indiens. Gondwana entstand vor 500 bis 600 Millionen Jahren und begann vor etwa 180 Millionen Jahren wieder zu zerfallen. Afrika, Indien, Australien und schließlich Südamerika lösten sich von der Antarktis ab, die isoliert am Südpol zurückblieb.



1 Eisoberfläche eines zugefrorenen Gletscherrandsees in Nordviktorialand. 2 Das ANDRILL-Bohrcamp auf dem McMurdo-Schelfeis. Darunter liegen 84 m Eis und knapp 900 m Meerwasser. Die Bohrung reichte bis in eine Tiefe von knapp 1300 m unter dem Meeresboden. 3 Die Gondwana-Station der BGR an der Terra Nova Bucht des Rossmeeres. Im Vordergrund eines der Schlafzelte. 4 Die italienische „M/V Italice“, Expeditionsschiff während GANOVEX X. 5 Das von Meereis bedeckte Rossmeer vor den Ausläufern des Transantarktischen Gebirges in Nordviktorialand.

### Bruchzone im Herzen des Kontinents

Noch heute befindet sich eine aktive kontinentale Bruchstelle mitten in der Antarktis. Das sogenannte Westantarktische Riftsystem, zu dem auch die Sedimentbecken des Rossmeeres gehören, ist eine der größten Grabenbruchzonen weltweit. Am Rand dieser Schwächezone türmen sich die mehr als 4.000 Meter hohen Gipfel des Transantarktischen Gebirges auf, das sich vom Nordviktorialand bis zum Coatsland auf der gegenüberliegenden Seite der Antarktis erstreckt. Viele Fragen rund um den Zerfall Gondwanas sind noch ungeklärt: Wie kann ein Hochgebirge wie das Transantarktische Gebirge beim Zerfall eines Kontinents entstehen, bei dem sich die Kruste doch hauptsächlich dehnt? Wie sind die Ränder des antarktischen Kontinents aufgebaut? Wie lief die Trennung Australiens von Gondwana ab? „GANOVEX X hat uns neue Erkenntnisse geliefert,

mit denen wir diese Prozesse besser verstehen können“, sagt Läufer. Weitere Ergebnisse erwartet er von der Analyse der mitgebrachten Gesteinsproben.

### Abtauchende Ozeankruste

Nach dem derzeitigen Forschungsstand versank vor mehr als 500 Millionen Jahren ozeanische Kruste unter der Pazifikküste Gondwanas – ein Prozess, den Geowissenschaftler als Subduktion bezeichnen. Ähnlich wie heute bei den Anden in Südamerika türmte sich dabei ein Gebirge auf, das sogenannte Ross-Orogen. Seine Überreste finden sich als älteste Bestandteile des Transantarktischen Gebirges wieder. Die BGR-Geologen untersuchen, wie sich die Subduktion im Laufe der Zeit immer weiter nach Osten, vom heutigen Nordviktorialand in Richtung des damaligen Pazifiks, verlagerte.

# Antarktis

GANOVEX X: 10. German Antarctic North Victoria Land Expedition  
ANDRILL: Antarctic Geological Drilling Program



1



2



3



6

Welche Prozesse spielten sich während der Subduktion und der Entstehung des Ross-Orogens in der Erdkruste ab? Dafür entwickeln sie ein geodynamisches Modell, in das tektonische, petrologische und geochemische Daten aus der Antarktis und aus Australien einfließen, das damals noch direkt an das Nordviktorialand grenzte.

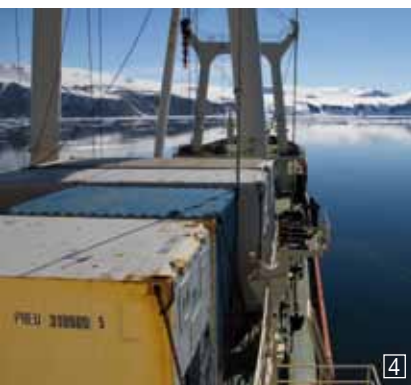
## Ein Kontinent zerfällt

Ein weiterer interessanter Punkt ist der bis heute andauernde Zerfall des ehemaligen Kontinents Gondwana. Er begann im Erdzeitalter Jura vor etwa 180 Millionen Jahren. Damals bildeten sich Sprünge und Risse in allen Teilen Gondwanas. Daraus stiegen vulkanische Schmelzen auf, die als riesige Flutbasalte die Erdoberfläche überschwemmten. Während der mittleren Kreidezeit, vor etwa 95 Millionen Jahren, begann sich Aus-

tralien von dem Teil der Antarktis zu lösen, zu dem heute Nordviktorialand gehört. In Australien bildeten sich dabei tiefe, kohlenwasserstoffhaltige Sedimentbecken. Wie sich der Kontinentrand auf der antarktischen Seite entwickelte, ist dagegen kaum bekannt. Bruchzonen und Transformstörungen zwischen den beiden Kontinenten sind Überreste des Zerfalls. Im Nordviktorialand scheinen sich diese Störungszonen in die antarktische Kruste hinein und weiter ins Rossmeer fortzusetzen. An der BGR wird nun untersucht, wie die Störungen genau verlaufen und welche Prozesse am Übergang vom Ozean zum Kontinent in der Kruste ablaufen.

## Landschaftliche Gegensätze

Das Nordviktorialand ist von extremen landschaftlichen Gegensätzen geprägt. „Neben schroffen, hochalpinen Gipfeln



- 1 Helikopter dienen im schwer zugänglichen und eisbedeckten Transantarktischen Gebirge als Hauptfortbewegungsmittel.
- 2 Strukturgeologische Untersuchung einer etwa 500 Millionen Jahre alten Deformationszone des Ross-Gebirges.
- 3 Geologische Probennahme im Transantarktischen Gebirge.
- 4 Die „Italica“ in der Terra Nova Bucht des Rossmeeres.
- 5 Sammlung geologischer Daten in metamorphen Gesteinen entlang des Marinergletschers.
- 6 Probennahme in luftiger Höhe und mit sensationeller Aussicht.
- 7 Das ANDRILL-Bohrcamp auf dem McMurdo-Schelfeis mit Bohrturm und Labor- und Wohncontainern.
- 8 Schlafzelte vor der Gondwana-Station der BGR an der Terra Nova Bucht.

gibt es auch Plateaus und sanfte Hügellandschaften“, berichtet Andreas Läufer. Er und seine Kollegen wollen nun klären, wie diese Landschaftsformen entstanden sind. Welche Rolle spielte die Vereisung der Antarktis, welche die Hebung des Transantarktischen Gebirges, und wie prägend war die Art der Gesteine? Klimageschichte und Tektonik hängen in der Antarktis eng zusammen: „Erst als Antarktika sich von den anderen Kontinenten trennte, konnte sich der Ring kalter Ozeanströmungen ausbilden, die heute um den Kontinent zirkulieren“, sagt Läufer. „Diese Isolation hatte einen entscheidenden Einfluss auf das globale Klimasystem.“ Im internationalen Bohrprogramm ANDRILL, an dem auch BGR-Forscher beteiligt sind, wird untersucht, wie der Westantarktische Eisschild in der Rossmeer-Region im Laufe der Jahrmillionen wuchs und schrumpfte. Bislang zwei Bohrun-

gen stießen durch das Schelfeis des Rossmeeres in den Meeresboden vor und enthüllten die Geschichte der vergangenen 17 Millionen Jahre. Die Cape-Roberts-Bohrung, die in den 1990er Jahren unter BGR-Beteiligung durchgeführt wurde, hat bereits ältere Sedimentschichten erschlossen. Damit liegt nun ein fast vollständiges „Archiv“ der Rossmeer-Füllung für die letzten 34 Millionen Jahre vor. „Weil es in der Antarktis kaum vollständige sedimentäre Gesteinsfolgen gibt, die jünger als 180 Millionen Jahre alt sind, müssen wir die Rossmeerbecken untersuchen“, sagt Läufer. „Nur so können wir die jüngere klimatisch-tektonische Entwicklung der Antarktis lückenlos rekonstruieren.“ ■

# Ansprechpartner der Forschungsbereiche

## 6-7 | Erdölsuche am Limit

### **Dr. Volkmar Damm**

Telefon +49 511 643-3226

Volkmar.Damm@bgr.de

### **Dr. Axel Ehrhardt**

Telefon +49 511 643-3135

Axel.Ehrhardt@bgr.de

### **Dr. Dieter Franke**

Telefon +49 511 643-3235

Dieter.Franke@bgr.de

### **Dr. Karsten Piepjohn**

Telefon +49 511 643-3236

Karsten.Piepjohn@bgr.de

### **Dr. Katrin Schwalenberg**

Telefon +49 511 643-2718

Katrin.Schwalenberg@bgr.de

## 8-9 | Appetit auf Erdöl

### **Dr. Martin Krüger**

Telefon +49 511 643-3102

Martin.Krueger@bgr.de

## 9 | Leben im Untergrund

### **Dr. Axel Schippers**

Telefon +49 511 643-3103

Axel.Schippers@bgr.de

## 10 | Schatzsuche im Makwiro River

### **Dr. Thomas Oberthür**

Telefon +49 511 643-223

Thomas.Oberthuer@bgr.de

## 11 | Kupfer aus biologischem Abbau

### **Dr. Axel Schippers**

Telefon +49 511 643-3103

Axel.Schippers@bgr.de

## 12 | Renaissance der Abraumhalden

### **Dr. Dieter Rammlmair**

Telefon +49 511 643-2565

Dieter.Rammlmair@bgr.de

## 13 | Rohstoffe und Konflikte

### **Dr. Henrike Sievers**

Telefon +49 511 643-3094

Henrike.Sievers@bgr.de

## 14-15 | Rohstoff-Ernte in der Tiefsee

### **Dr. Michael Wiedicke-Hombach**

Telefon +49 511 643-2793

Michael.Wiedicke-Hombach@bgr.de

## 16-17 | Coltan mit Zertifikat

### **Dr. Frank Melcher**

Telefon +49 511 643-2562

Frank.Melcher@bgr.de

## 17 | Der feine Wunderstoff

### **Dr. Reiner Dohrmann**

Telefon +49 511 643-2557

Reiner.Dohrmann@lbeg.

niedersachsen.de

## 18-19 | Flurbereinigung im Datenwald

### **Dr. Gert Adler**

Telefon +49-30-36993-274

Gert.Adler@bgr.de

### **Dr. Rainer Baritz**

Telefon +49 511 643-2409

Rainer.Baritz@bgr.de

## 20-21 | Aus der Luft in die Tiefe blicken

### **Dr. Malte Ibs-von Seht**

Telefon +49 511 643-2911

Malte.Ibs-vonSeht@bgr.de

### **Dr. Uwe Meyer**

Telefon +49 511 643-3212

Uwe.Meyer@bgr.de

### **Dr. Bernhard Siemon**

Telefon +49 511 643-3488

Berhard.Siemon@bgr.de

## 22-23 | Mobil im Untergrund

### **Dr. Manfred Birke**

Telefon +49 30 36993-290

Manfred.Birke@bgr.de

### **Dr. Jens Utermann**

Telefon +49 511 643-2839

Jens.Utermann@bgr.de

## 23 | Die Macht der Infiltration

### **Dr. Sven Altfelder**

Telefon +49 511 643-3851

Sven.Altfelder@bgr.de

### **Dr. Ursula Noell**

Telefon +49 511 643-3489

Ursula.Noell@bgr.de

## 24-25 | Vom Erdgasreservoir zum CO<sub>2</sub>-Speicher

### **Dr. Franz May**

Telefon +49 511 643-3784

Franz.May@bgr.de

### **Klaus Reinhold**

Telefon +49 30-36993-110

Klaus.Reinhold@bgr.de

### **Dr. Heike Rütters**

Telefon +49 511-643-2583

Heike.Ruetters@bgr.de

### **Dr. Frauke Schäfer**

Telefon +49 511 643-3180

Frauke.Schaefer@bgr.de

## 26-28 | Gibt es ein sicheres Endlager im Salz?

### **Joachim Behlau**

Telefon +49 511 643-3718

Joachim.Behlau@bgr.de

### **Dr. Norbert Blindow**

Telefon +49 511 643-2804

Norbert.Blindow@bgr.de

**Dr.-Ing. Ulrich Heemann**

Telefon +49 511 643-2432

Ulrich.Heemann@bgr.de

**Dr. Otto Schulze**

Telefon +49 511 643-2414

Otto.Schulze@bgr.de

**Dr.-Ing. Dieter Stührenberg**

Telefon +49 511 643-2877

Dieter.Stuehrenberg@bgr.de

**Dr.-Ing. Jan Richard Weber**

Telefon +49 511 643-2438

JanRichard.Weber@bgr.de

**29 | Der harte Stein****Dr. Jörg Hammer**

Telefon +49 511 643-449

Joerg.Hammer@bgr.de

**Dr.-Ing. Hua Shao**

Telefon +49 511 643-2427

Hua.Shao@bgr.de

**Dr. Stephan Kaufhold**

Telefon +49 511 643-2765

Stephan.Kaufhold@bgr.de

**Annika Schäfers**

Telefon +49 511 643-2894

Annika.Schaefers@bgr.de

**30-31 | Forschung im Felslabor****Dr.-Ing. Hua Shao**

Telefon +49 511 643-2427

Hua.Shao@bgr.de

**Dr. Stephan Kaufhold**

Telefon +49 511 643-2765

Stephan.Kaufhold@bgr.de

**Michael Mente**

Telefon +49 511 643-2246

Michael.Mente@bgr.de

**Ingo Plischke**

Telefon +49 511 643-2415

Ingo.Plischke@bgr.de

**Dr. Kristof Schuster**

Telefon +49 511 643-3819

Kristof.Schuster@bgr.de

**32-33 | Durchlauferhitzer in der Tiefe****Dr. Torsten Tischner**

Telefon +49 511 643-2475

Torsten.Tischner@bgr.de

**34-35 | Das Zittern im Untergrund****Dr. Ulrich Wegler**

Telefon +49 511 643-3867

ulrich.wegler@bgr.de

**36-39 | Nordsee für Nutzer****Dr. Lutz Reinhardt**

Telefon +49 511 643-2786

Lutz.Reinhardt@bgr.de

**39 | Geologie ohne Grenzen****Dr. Kristine Asch**

Telefon +49 511 643-3324

Kristine.Asch@bgr.de

**40-41 | Puzzlespiel im hohen Norden****Dr. Detlef Damaske**

Telefon +49 511 643-2692

Detlef.Damaske@bgr.de

**Dr. Karsten Piepjohn**

Telefon +49 511 643-3236

Karsten.Piepjohn@bgr.de

**42-45 | Spurensuche unter dem Eis****Dr. Detlef Damaske**

Telefon +49 511 643-2692

Detlef.Damaske@bgr.de

**Dr. Andreas Läufer**

Telefon +49 511 643-3137

Andreas.Laeufer@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. 720 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, davon ca. 40% Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Der prozentuale Anteil an befristetem Personal beträgt ca. 23%. Das Budget der BGR beträgt durchschnittlich 61 Mio. Euro Haushaltsmittel und 15 Mio. Euro Drittmittel.

**Impressum**

© Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2010)

**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**

Dr. Sven Altfelder

Dr. Jochen Erbacher

Dr.-Ing. habil Ingeborg Göbel

Jolanta Kus

Bettina Landsmann

Klaus Schelkes

Gabriele Schneider

**Texte**

Ute Kehse

**Konzeption und Gestaltung**

image Marketing GmbH

Anton-Günther-Straße 26

D-26180 Rastede

**Druck**

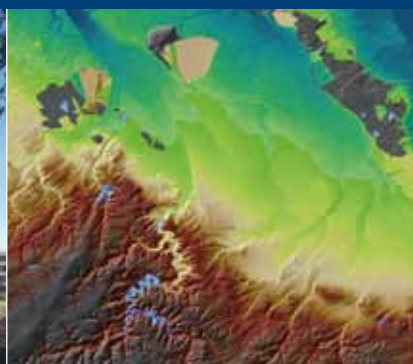
Text Team GmbH und Co. KG

Brombeerweg 9

D-26180 Rastede

**Bildnachweis**

Die verwendeten Fotos stammen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des GEOZENTRUMs Hannover und von der Bildagentur "fotolia".



[www.bgr.bund.de](http://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