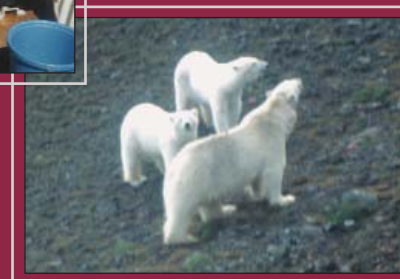
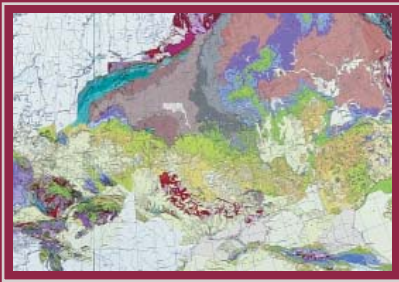


Tätigkeitsbericht der BGR



1999

2000





Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

**Tätigkeitsbericht
der BGR
1999/2000**

Hannover, März 2001

Impressum

© Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2001)

Redaktionskomitee

Dr. FRITZ BARTHEL, JOACHIM BEHLAU, Dr. ULRICH BERNER, Dr. KLAUS BOSECKER,
Dr. KLAUS-PETER BURGATH, Dr. BERNHARD CRAMER, Dr. GUDRUN FRANKEN,
Dr. JÖRG HANISCH, Dr. VOLKER HENNINGS, Dr. KARL KOCH,
ROLF-RÜDIGER LUDWIG, GERHARD MINGERZAHN, Dr. SÖNKE NEBEN,
Dr. JÖRG REICHLING, KLAUS SCHELKES, Dr. THOMAS SCHUBERT, Dr. ULRICH SIEWERS,
LILY REIBOLD-SPRUTH, Dr. VOLKER STEINBACH, Dr. MICHAEL WIEDICKE-HOMBACH

Redaktion

Dr. THOMAS SCHUBERT
unter Mitarbeit von: BRIGITTE MESSNER, KAROLA OTREMBIA,
KERSTIN RIQUELME, HANS-JOACHIM STURM
und ANDREA WEITZE

Druck und Herstellung

Kölle Druck GmbH
Am Osttor 12, 32361 Preußisch Oldendorf

Der vorliegende Tätigkeitsbericht wird kostenlos abgegeben
und kann bei Bedarf angefordert werden bei:

BERNARD WEHENPOHL,
Referat für Schriftenpublikationen,
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe,
Stilleweg 2, 30655 Hannover
Telefon: (05 11) 6 43 – 34 76; E-mail: b.wehenpohl@bgr.de

Pressesprecher: Dr. ARNT MÜLLER
Telefon: (05 11) 6 43 – 22 98; E-mail: arnt.mueller@bgr.de

Öffentlichkeitsarbeit: Dr. JÖRG REICHLING
Telefon: (05 11) 6 43 – 26 79
Mobil: (01 71) 5 66 22 59
E-mail: j.reichling@bgr.de



Vorwort

Der Tätigkeitsbericht 1999/2000 der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) erscheint hier mit einem neuen Konzept. Die deutsche und englische Version werden nun als getrennte Journale herausgegeben. Wir haben die Gliederung unserer Aufgabenmatrix angepasst. Sie folgt dem Grundlagenkonzept BGR 2000, dem jährlichen Programmbudget, dem zweijährigen Forschungsplan und der Kosten-Leistungs-Rechnung. Unter dem Leitsatz „Verbesserung der Lebensbedingungen durch nachhaltige Nutzung der Geopotenziale“ nimmt die BGR fünf Querschnittsaufgaben und neun sektorale Aufgaben vernetzt wahr. Die drei Sonderthemen „Klima“, „EXPO 2000“ und „Geologische Kartenwerke“ stellen Höhepunkte der vergangenen zwei Jahre heraus.

Wir arbeiten mit zahlreichen in- und ausländischen Partnern zusammen, insbesondere aber mit den beiden anderen Institutionen im GEOZENTRUM HANNOVER, dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (NLFb) und dem Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA).

Die Umstrukturierung im GEOZENTRUM HANNOVER wurde mit der Gründungsfeier des neuen GGA-Institutes am 26. Januar 2000 in Anwesenheit der niedersächsischen Staatssekretärin Frau Dr. BIRGIT GROTE abgeschlossen. Das GGA-Institut ist damit eine selbstständige außeruniversitäre Forschungseinrichtung der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL).

Alle drei Institutionen im GEOZENTRUM HANNOVER nutzen seit 1958 eine gemeinsame Infrastruktur, von der Verwaltung über Bibliothek und Archiv, Rechenzentrum bis hin zu den Werkstätten, ein gutes Beispiel für den praktizierten „schlanken Staat“.

Das Jahr 2000 stand in Hannover im Zeichen der EXPO 2000. Die BGR war als fachlicher Projektleiter für das Thema „Umwelt“ im Themenpark, dem Kernstück der EXPO, verantwortlich. Als solcher haben wir die Ausstellung inhaltlich, jedoch nicht szenografisch, konzipiert. Die drei Institutionen im GEOZENTRUM HANNOVER beteiligten sich weiterhin an vier nationalen EXPO-Projekten:

- ◆ *am „Eine-Welt-Altar“ mit 6000 weltweiten Boden- und Gesteinsproben in der Eine-Welt-Kirche in Schneverdingen,*
- ◆ *am „Jahrtausendblicksteinzeichen Steinbergen“ im Schaumburger Land,*
- ◆ *an der Ausstellung „Faszination Boden“ im Museum am Schölerberg bei Osnabrück und*
- ◆ *beim Projekt „Trinkwasserschutz erleben“ in Göttingen.*

Das GEOZENTRUM HANNOVER engagiert sich auch bei der Nachnutzung der EXPO: Im Foyer unseres Gebäudes steht ein symbolisierter Baum aus dem Themenpark „Umwelt“ und auf der Empore die aus dem Deutschen Pavillon stammende Büste von LUDWIG ERHARD, dem Gründungsvater der BGR.

Die Büste soll der Kern einer Dauerausstellung zur Geschichte der drei Institutionen im GEOZENTRUM HANNOVER werden. Der Baum symbolisiert die Forderungen der „nachhaltigen Entwicklung“, denen wir uns mit unseren Aufgaben in Bereichen wie Rohstoffe, Wasser, Boden, Geumweltschutz verstärkt stellen müssen, denn das Konzept der nachhaltigen Entwicklung stammt aus der deutschen Forstwirtschaft und wurde erstmalig vom Freiburger Oberberghauptmann VON CARLOWITZ im Jahre 1713 formuliert.

Aus den Entwicklungen, die unsere Aufgabenerfüllungen in den Jahren 1999 und 2000 wesentlich beeinflussten, seien nur vier herausgegriffen:

- ◆ *Am 4. Oktober 2000 wurde an der GERESS-Lokation im Bayerischen Wald, die wir für unsere gesetzliche Aufgabe im Rahmen des Nuklearen Teststoppabkommens unterhalten, die Infraschallstation IS 26 eingeweiht. Sie ist die erste im weltweiten Netzwerk, die das Stadium der Zertifizierung erreicht hat.*
- ◆ *Am 1. März 1999 trat das Bundesbodenschutzgesetz in Kraft. Aufgrund intensiver Beratung durch die BGR und die Geologischen Dienste der Länder ist es gelungen, in die Bodenschutz- und Altlastenverordnung wesentliche geowissenschaftliche Aspekte, insbesondere im Hinblick auf die Berücksichtigung geogen bedingter Hintergrundwerte bei der Feststellung von Vorsorge- und Prüfwerten, einzubringen. Die BGR stellt als Teil eines Bodeninformationssystems bundesweit einheitliche Informationsgrundlagen über die Böden zur Verfügung.*
- ◆ *Mit dem Inkrafttreten der EU-Wasserrahmenrichtlinie hat die BGR die Aufgabe bekommen, in Zusammenarbeit mit den Geologischen Diensten der Länder für die Grundwasserkörper, unabhängig von internationalen oder innerstaatlichen Grenzen, hydrogeologische Grundlagendaten zu erarbeiten.*
- ◆ *Der damalige Staatssekretär im BMWi, Dr. LORENZ SCHOMERUS, stellte der BGR bei seinem Besuch am 20. August 1997 die Aufgabe, sich verstärkt in die Klimadiskussion einzubringen. Als Folge dessen hat eine Gruppe von 41 Autoren aus BGR, NLFb und dem GGA-Institut die eigenen Erkenntnisse zum Paläoklima ausgewertet und in dem Buch „Klimafakten – Der Rückblick – ein Schlüssel für die Zukunft“ allgemeinverständlich und reich illustriert zusammengefasst.*

Wieder konnten wir eine große Anzahl in- und ausländischer Besucher begrüßen. Drei seien besonders erwähnt: der Bundesminister für Wirtschaft und Technologie, Dr. WERNER MÜLLER, besuchte uns am 7. April 2000, der Präsident des Niedersächsischen Landtages, Prof. ROLF WERNSTEDT, am 6. März 2000 und die thailändische Prinzessin MAHA CHAKRI SIRINDHORN am 7. August 2000.

Der Bundeswirtschaftsminister interessierte sich besonders für das Geothermie-Pilotprojekt GeneSys am GEOZENTRUM HANNOVER. Mit diesem Projekt sollen Wege aufgezeigt werden, wie an jedem Standort in Deutschland geothermische Energie zur Wärmeversorgung wirtschaftlich gewonnen werden kann.

Der Hans-Joachim-Martini-Stiftung sei für ihre großzügige Unterstützung der drei Institutionen BGR, NLFb und GGA gedankt. Ein Stipendium und zwei Preise konnten vergeben werden:

- ◆ *Ein Forschungsstipendium ging an die Arbeitsgruppe von Herrn Dr. THOMAS OBERTHÜR zur Untersuchung des Platinpotenzials in den Chembadzi-Hills in Simbabwe,*
- ◆ *die Preise an die Herren GÜNTHER DRUIVENGA, SIEGFRIED GRÜNEBERG und Dr. HERMANN BUNESS vom GGA-Institut für die Entwicklung eines Kleinvibrators für hochauflösende reflexionsseismische Untersuchungen im Tiefenbereich bis 1 000 m sowie an Herrn PHILIPP MAGIERA von der TU Braunschweig für seine Arbeiten zur Bewertung der Schutzfunktion des Untergrundes in niedersächsischen Wasserschutzgebieten hinsichtlich des genutzten Grundwassers.*

Den Mitgliedern des 6. und des 7. Kuratoriums der BGR, das am 1. Februar 2000 seine Arbeit aufnahm, danke ich herzlich für ihren Rat und ihre Unterstützung. Ebenfalls danke ich den Bundesministerien und unseren in- und ausländischen Kooperationspartnern. Und nicht zuletzt bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der BGR für ihr Engagement bei der Erfüllung unserer Aufgaben.



Prof. Dr.-Ing. F.-W. Wellmer
Präsident

INHALT

Querschnittsaufgaben

Beratung der Ministerien und der Europäischen Union	9
Baurohstoffe für den Wiederaufbau in Südost-Europa ..	10
Beratung der deutschen Wirtschaft	12
Die Osterweiterung der Europäischen Union	12
Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern	13
Reichen die Wasserressourcen in Nahost auch für künftige Generationen?	15
Internationale Zusammenarbeit in Forschung und Technologie – Wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit (WTZ) –	18
Wirtschaftskooperation mit Ländern der GUS am Beispiel Kasachstan	19
Forschung und Entwicklung	21
openGEO4, eine neue 3D-Software	23

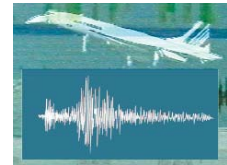


Sektorale Aufgaben

1. Geotechnische Sicherheit / Endlagerung ..	25
Stand der Erkundung in Gorleben bei Inkrafttreten des Moratoriums	27
Alternative Wirtsgesteinssuche	29
Überwachung der Standsicherheit durch Mikroakustik ..	31
Abschluss von Solekavernen	32



2. Nationales Seismologisches Datenzentrum – Kernwaffenteststoppabkommen.....	35
Aufbau der Infraschallstation IS 26	37
Modernisierung des seismologischen Regionalnetzes ..	39
Das Schwarmerdbebengebiet Vogtland	40



3. Wasser	41
Eindringen von Meerwasser wird sichtbar	44
Permafrost und Gletschervorstoß der letzten Kaltzeit bestimmen heutiges Grundwassersystem	45
Isotopen als Detektor für Verursacher von Wasserverschmutzungen	45
Grundwasser für Cochabamba	47
Nachhaltige Ressourcenplanung in Jordanien	49



4. Energierohstoffe	51
Das Erdöl- und Erdgaspotenzial der Kontinentränder vor Argentinien und Namibia	54
Tiefliegende Erdgas-Muttergesteine unter Norddeutschland	55
Der „Fingerabdruck“ von Erdgas	56
Geothermische Energie aus heißen Tiefengesteinen	57
GeneSys – Die Nutzung der Erdwärme im Geozentrum Hannover	58
Erdgasfund in Bangladesch	59





5. Boden **61**

Kartenbeiträge zum neuen Hydrologischen Atlas von Deutschland **64**

Indikatoren für Bodenverlust im europäischen Maßstab **64**

Hintergrundwerte für Schwermetalle in Oberböden **65**

Stoffauswaschung in das Grundwasser **66**

Natürliche Verringerung von Mineralölkohlenwasserstoffen in Böden **67**

Ursachen und Dynamik der Bodenversalzung in West-Paraguay **68**



6. Mineralische Rohstoffe **71**

Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Rohstoffgewinnung **73**

Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden **74**

Nichtmetallische Rohstoffe und Goldanalysen in der Mongolei **74**

Kartierung und Fortbildung in Ghana, Elfenbeinküste und Guinea **75**

Principles of Sedimentology **76**

Platinmetallagerstätten in Simbabwe **76**

Platinmetalle in Gebirgskomplexen in Sabah **76**

Lagerstätten von Metallen kurzer Reichweite im südlichen Afrika **77**

Allophan – ein neuer Rohstoff für die Zeolith-Synthese **78**

Der Balkan und seine Rohstoffe **79**

7. Erkundung der Meere und Polarregionen **83**



Die Öffnungsgeschichte des Südatlantiks und ihre Bedeutung für das KW-Potenzial **85**

Submarine Gashydrate – Der aktive Kontinentrand Costa Ricas **86**

Methanführende kalte Quellen im Seegebiet vor Java **87**

Riesenbakterien im Auftriebsgebiet vor Peru **88**

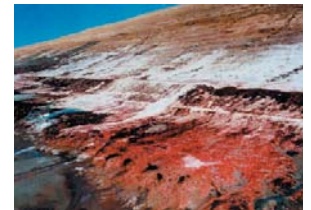
Wegener-Störung und Nares-Straße: Gleitbahnen zwischen zwei Ozeanen **89**

Zur Genese der pock marks in der Laptev-See, Sibirien **90**

Seismische 3D-Tomographie am Ninetyeast-Rücken im Indischen Ozean **91**

Die Antarktis als Schlüssel zum Studium der Südkontinente **92**

8. Geomwelt- und Ressourcenschutz .. **95**



Flugzeugsensoren zur Erkundung von Ölverschmutzungen **97**

Cyanidabbau und Biosorption von Schwermetallen in der Goldgewinnung **98**

Mikroorganismen in Schlackenhalde **99**

Alte Bergbauhalde und Wasserqualität **100**

Naturraumpotenzial Ost-Paraguay **101**

Namibia – Bergbau und Umwelt **102**

Kolumbien – Goldbergbau und Umwelt **104**



9. Geologische Schadensrisiken .. **107**

Die Multiparameterstation auf dem Vulkan Galeras in Kolumbien **109**

Der Usoi-Bergsturzdamme – der größte Staudamm der Welt droht auszubrechen .. **111**

Langzeit-Monitoring des Thulagi-Gletschersees **113**



Sonderthemen

10. Klima 115

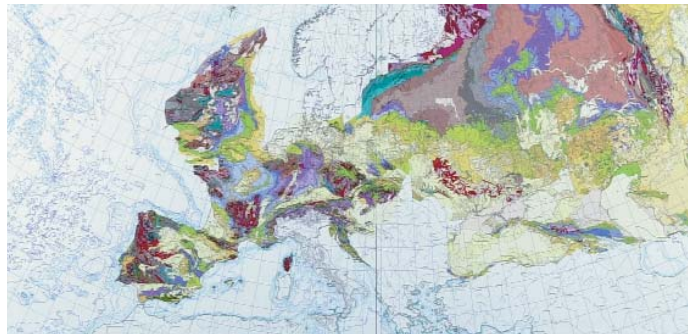
Klima der Vergangenheit,
ein Schlüssel für die Zukunft 117

11. EXPO 2000 123

Die inhaltliche Projektleitung im Themenpark Umwelt
auf der Weltausstellung EXPO 2000 125

12. Geologische Kartenwerke 127

Der Sprung der geologischen Karte
in das digitale Zeitalter 129



Beratung der Ministerien und der Europäischen Union

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist die **zentrale geowissenschaftliche Beratungsinstitution der Bundesregierung**. Sie ist eine nachgeordnete wissenschaftlich-technische Behörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWt). Die Beratungsaufgaben umfassen sowohl Daueraufgaben als auch politisch aktuelle Themenbereiche, wie z. B. plötzliche Rohstoffverknappung/Preiserhöhung, Krisenprävention und Schutz vor Naturkatastrophen.

Beratung bei internationalen geowissenschaftlichen Verpflichtungen der Bundesregierung

Die BGR nimmt im Auftrag des BMWt, des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ), des Auswärtigen Amtes (AA) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) die internationalen geowissenschaftlichen Verpflichtungen wahr.

- Sie wird vom BMZ direkt beauftragt, die Projekte der Technischen Zusammenarbeit in den Sektoren Geowissenschaften und Bergbau in den Ländern der Dritten Welt durchzuführen.
- Für den von der Bundesrepublik Deutschland 1996 unterzeichneten internationalen Kernwaffenteststoppvertrag betreibt die BGR das Nationale Seismologische Datenzentrum.
- Die Bundesrepublik Deutschland ist Mitglied des Antarktis-Vertrages. Im Rahmen der für die Vollmitgliedschaft erforderlichen Forschungsleistungen in der Antarktis ist die BGR für die Untersuchungen der Hartgesteinsgeologie verantwortlich.

Beratung der Bundesministerien und nachgeordneter Behörden

- Eine wichtige Beratungsaufgabe der BGR sind geowissenschaftliche Untersuchungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, die im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie erfolgen. Dabei werden sowohl standortbezogene Untersuchungen in Gorleben, Morsleben und früher Konrad als auch in alternativen Wirtsgesteinen, wie Tonen und Kristallin, durchgeführt.
- Rohstoffberatung: Die BGR ist die einzige Institution der Bundesrepublik, die weltweite Rohstoffzeitreihen über Vorräte, Produktion und Verfügbarkeit mineralischer und energetischer Rohstoffe erhebt. Auf dieser Basis werden beispielsweise kurzfristige Stellungnahmen über plötzliche Rohstoffverknappungen und daraus folgende Preiserhöhungen für die Politikberatung erarbeitet.
- Das BMBF wird in der Wissenschaftlich-Technischen Zusammenarbeit (WTZ) mit Industrie- und einigen Schwellenländern, insbesondere Lateinamerika und China, beraten. Für den Sektor Geowissenschaften nimmt die BGR die Aufgabe des Fachbeauf-

tragten wahr und bearbeitet Projekte mit kanadischen, rumänischen und südamerikanischen Partnerorganisationen. Ein Schwerpunkt ist z. Z. die Georisikoforschung in Kolumbien zur Vorhersage von Vulkaneruptionen. Im Rahmen der vom BMWt geförderten deutsch-chinesischen Zusammenarbeit stehen Untersuchungen zur Beziehung der Plattentektonik und Lagerstättenbildung im Mittelpunkt.

- Umweltberatung: Im Rahmen der Verwaltungsvereinbarung zum Bundesbodenschutzgesetz ist die BGR für die bundesweite Erhebung von geowissenschaftlichen Grunddaten und natürlichen/geogenen Hintergrundwerten zum Bodenschutz zuständig. Dabei arbeitet sie eng mit dem Umweltbundesamt (UBA) und dem BMU zusammen. Für die neue EU-Wasserrahmenrichtlinie erarbeitet die BGR derzeit eine auf die speziellen Erfordernisse angepasste hydrogeologische Übersichtskarte. Darüber hinaus wird auch das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) bei Untersuchungen von möglichen Umweltbelastungen auf Truppenübungsplätzen beraten.
- Die BGR berät das BMWt, das AA bzw. das BMU bezüglich konkreter fachlicher Fragestellungen hinsichtlich der Mitarbeit in der Internationalen Meeresboden-Behörde und der UN-Festlandssockel-Kommission sowie bei der Umsetzung des Antarktis-Umwelt-

schutzgesetzes. Weiterhin beteiligt sie sich aktiv an den vom BMBF geförderten Forschungsprogrammen zur Meeresforschung, Polarforschung und Geotechnologie-Forschung.

- Durch Sofortmaßnahmen leistet die BGR einen wichtigen außenpolitischen Beitrag zur Konfliktlösung in verschiedenen Krisenregionen. Diese Maßnahmen werden im Auftrag des BMWi, des AA und des BMZ durchgeführt. So fand beispielsweise im Rahmen des „Stabilitätspaktes für Südost-Europa“ ein „Symposium über mineralische Rohstoffe“ statt.

Beratung von Institutionen der Europäischen Union

Die Beratung der Institutionen der europäischen Union erfolgt über EuroGeoSurveys, den Verbund der Geologischen Dienste der EU-Länder, Norwegens und der Schweiz. Alle Partner von EuroGeoSurveys erarbeiten gemeinsam Beratungspapiere für alle georelevanten Bereiche der EU und führen von der Europäischen Kommission unterstützte Projekte durch.

Dieses Projekt ist ein aktueller Beitrag der Geowissenschaften zur Stabilisierung der wirtschaftlichen und politischen Situation in Südost-Europa. Nach jahrelangen Konflikten in Südost-Europa und den kriegerischen Auseinandersetzungen in Kroatien, Bosnien und Herzegovina sowie im Kosovo ergibt sich nun eine Chance für den Neubeginn. Eines der wichtigsten Grundbedürfnisse der Bevölkerung, das „Dach über dem Kopf“, muß schnell für alle Wirklichkeit werden.

Auf diese außenpolitische Situation sofort reagierend, hat die BGR im Herbst 2000, innerhalb weniger Wochen, ein Symposium über mineralische Baurohstoffe für „Steine- und Erden-Fachleute“ aus Südost-Europa organisiert und durchgeführt. Das Symposium war Bestandteil der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) initiierten „Qualifizierungspartnerschaft Südost-Europa“, die Teil des „Stabilitätspaktes für Südost-Europa“ ist.

22 Fachkräfte und Entscheidungsträger staatlicher Institutionen sowie der Baurohstoffindustrie aus Albanien, Bosnien und Herzegovina, Bulgarien, Kroatien, Mazedonien und Rumänien nahmen am Symposium teil.

Baurohstoffe für den Wiederaufbau in Südost-Europa

Baurohstoffe, wie Sand, Kies, Tone und Naturwerksteine, stellen eine entscheidende Voraussetzung für den Wiederaufbau der kriegsgeschädigten Regionen, vor allem für den Wohnungsbau, die Instandsetzung der Straßen, Eisenbahnlinien und Brückenbauten, sowie für die wirtschaftliche Entwicklung dar. Bevor Steine- und Erden-Lagerstätten abgebaut werden können, ist eine geologische, wirtschaftliche und technische Bewertung der Vorkommen durchzuführen, um kostengünstig die geeignetsten Rohstoffe für den Wiederaufbau zur Verfügung zu stellen. Dementsprechend war das Symposium inhaltlich gegliedert in:

- Geologische, wirtschaftliche und technische Bewertung von Steine- und Erden-Lagerstätten.
- Aktuelle Baurohstoffsituation in Südost-Europa.
- Präsentation des Verbandes Unabhängig Beratender Ingenieure und Consultants (VUBIC).
- Befahrung verschiedener Steine- und Erden-Betriebe in Niedersachsen, im Westerwald und Franken.



Allgemeiner politischer Hintergrund zum „Stabilitätspakt für Südost-Europa“:

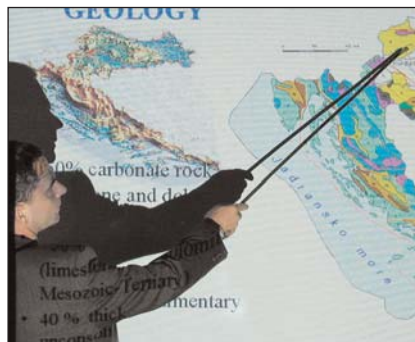
Der „Stabilitätspakt für Südost-Europa“ (SOE) wurde im Juli 1999 von der Internationalen Staatengemeinschaft begründet und von 36 Staaten und internationalen Organisationen unterzeichnet. Ihm gehören die Länder Albanien, Bosnien und Herzegovina, Bulgarien, Kroatien, Mazedonien und Rumänien an. Mit dem Ende der Milosović-Regierung wurde die Bundesrepublik Jugoslawien am 26. Oktober 2000 in den Stabilitätspakt und in die internationale Gemeinschaft aufgenommen.

Ziel:

- Förderung der wirtschaftlichen Zusammenarbeit mit den Ländern Südost-Europas sowie der politischen Stabilisierung und des Wiederaufbaus der Region.
- Schaffung nachhaltiger Voraussetzungen für Demokratie, wirtschaftlichen Aufbau und Weiterentwicklung in der Krisenregion.
- Förderung gutnachbarschaftlicher Beziehungen zwischen den Staaten der Balkan-Region.



Die Präsentationsveranstaltung der VUBIC sowie die Exkursionen zu den deutschen Baurohstoffunternehmen führten zur Kontaktaufnahme zwischen den Vertretern der südosteuropäischen Baustoffindustrie und deutschen Firmen. Folglich können vom Symposium einerseits wichtige Impulse zur regionalen Wirtschaftsförderung, insbesondere der Entwicklung des Bereiches klein- und mittelständischer Unternehmen der Region, und andererseits für die Intensivierung der Wirtschaftsbeziehungen zwischen Deutschland und den Stabilitätspaktländern ausgehen.



Das Symposium hat damit zur Schaffung der fachlichen und personellen Voraussetzungen in den staatlichen Institutionen sowie der Baurohstoffindustrie der Partnerländer in Südost-Europa beigetragen.

Aufgrund der außenpolitischen Bedeutung sowie der während des Symposiums gesammelten positiven Erfahrungen wird sich die BGR auch im Jahr 2001 an der „Qualifizierungspartnerschaft mit Südost-Europa“ mit einem Workshop zum Thema „Umweltgeologie für Raumordnung und Regionalplanung“ beteiligen.

Deutscher Beitrag zum „Stabilitätspakt für Südost-Europa“:

- Die deutsche Unterstützung gliedert sich in drei Schwerpunkte:
 - 1. Demokratie und Menschenrechte,
 - 2. Wirtschaftlicher Wiederaufbau und Entwicklungszusammenarbeit,
 - 3. Sicherheitsfragen, vertrauensbildende Maßnahmen.
- Die Bundesregierung stellt hierfür umfangreiche bilaterale Mittel zur Verfügung (voraussichtliche Gesamtlaufzeit von vier Jahren, mit ca. 1,2 Mrd. DM).
- Das BMWi ist an dem Gesamtprogramm mit der „Qualifizierungspartnerschaft Südost-Europa“ beteiligt, wofür jährlich ca. 800 000 DM zur Verfügung stehen.
- Auf dem Gebiet der wirtschaftlichen Zusammenarbeit des Stabilitätspaktes nimmt die deutsche Wirtschaft eine Schlüsselrolle ein, da sie traditionell der wichtigste Handelspartner der Länder dieser Region ist.

Beratung der deutschen Wirtschaft

Die BGR trägt durch ihre anwendungsorientierte Ausrichtung u. a. zur Förderung der Wirtschaftsdynamik bei, indem sie die deutsche Wirtschaft und ihre Verbände in georelevanten Themenkomplexen berät. Ein Beispiel hierfür ist die Perspektivitätskarte über das Erdgaspotenzial des tieferen Untergrundes Norddeutschlands.

Die Beratung und Information der Wirtschaft erfolgt in allen Aufgabebereichen der BGR, insbesondere bei Fragen der Energie- und der mineralischen Rohstoffversorgung, der Georisiken und des georelevanten Umweltschutzes.

Rohstoffversorgung

Mit dem strukturbedingten Rückgang der Beratungstätigkeit in den klassischen Bereichen Exploration und Bergbau treten zunehmend Themen der Verfügbarkeit spezieller Rohstoffe in den Vordergrund. Das Interesse der Anfragen richtet sich dabei auf spezifische Materialeigenschaften sowie auf die geographische Verteilung von Rohstoffvorkommen. Vor dem Hintergrund sich immer schneller ändernder Produktanforderungen an die Werkstoffe, die nicht zuletzt durch Umweltauflagen bedingt sind, ist die Nachfrage nach diesen Rohstoffinformationen in den letzten Jahren gestiegen.

Georisiko / geotechnische Sicherheit

Ingenieurgeologische Arbeiten der BGR tragen zur Minimierung möglicher Risiken beim Bau und Betrieb sicherheitsrelevanter Anlagen, wie z. B. untertägiger Speicher oder Deponien, dem Immissionsschutz, aber auch der Abgrenzung, Bewertung und Sanierung kontaminierter Standorte bei.

Georelevanter Umweltschutz

Neben vielfältigen Beratungen zwecks Schutz- und Sanierungsmaßnahmen für Grundwasser und Boden wurde auch die chemische Industrie beraten. Dabei wurden agrochemische Produkte auf ihre ökologische Verträglichkeit untersucht.

Die Beratung der Wirtschaft erfolgt firmenneutral durch regelmäßige Austauschsitungen und Arbeitskreise mit den deutschen Bergbau- und Explorationsfirmen, Wirtschaftsverbänden, Verbänden der Consultingindustrie und wissenschaftlich-technischen Gesellschaften.

Die Osterweiterung der Europäischen Union

Die Europäische Union wird in den nächsten Jahren durch die Aufnahme neuer Mitgliedsstaaten aus der mittel- und osteuropäischen Region erweitert werden. Zu den bisherigen 15 Staaten der EU mit ca. 370 Millionen Einwohnern sollen in der ersten Runde die sechs Länder Polen, Tschechische Republik, Ungarn, Slowenien, Estland und Zypern hinzukommen. Als weitere Beitrittskandidaten stehen die Slowakei, Rumänien, Bulga-

rien, Litauen und Lettland zur Diskussion. Damit würde die europäische Staatengemeinschaft um weitere rund 105 Millionen Einwohner wachsen. Von diesem vergrößerten Markt versprechen sich Handel und Industrie erhebliche wirtschaftliche Impulse.

Zur Analyse der wirtschaftlichen Situation in den Bereichen mineralische Rohstoffe und Bergbau Osteuropas hat die BGR zwei rohstoffwirtschaftliche Länderstudien: „Die Osterweiterung der Europäischen Union“ und „Tschechische Republik“ herausgegeben. Darin werden die Konsequenzen für den Rohstoffsektor beschrieben, die sich aus der wirtschaftlichen Umgestaltung in dieser Region während der letzten zehn Jahre ergeben haben. Seit der Einführung der Marktwirtschaft sind viele früher genutzte Lagerstätten nicht mehr wettbewerbsfähig. Da die Umstrukturierung auch Chancen für die Betätigung deutscher Rohstoffunternehmen bietet, sind diese Studien auf ein großes Interesse gestoßen. Diese und weitere Studien zur aktuellen Rohstoffsituation können über den Buchhandel bezogen werden.

Deutsche Consultingwirtschaft

Die BGR arbeitet vor allem mit dem Verband Unabhängig Beratender Ingenieure und Consultants e. V. (VUBIC) sowie dem Verband beratender Ingenieure e. V. (VBI) zusammen. Durch die Vergabe von Aufträgen bzw. Auftragspaketen wird die Consultingwirtschaft unmittelbar in die Durchführung

von Projekten der Technischen Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern eingebunden. Damit nimmt die BGR eine wichtige Aufgabe, eine sogenannte „Türöffnerfunktion“, für die internationale Tätigkeit deutscher Consultingunternehmen wahr.

Wirtschaftsverbände und Fachvereinigungen

Mit den Firmen des Wirtschaftsverbandes Erdöl- und Erdgasgewinnung e. V. (W.E.G.) werden gemeinsame Projekte im Bereich Exploration und Felderrückbau durchgeführt. So wurde das Erdgaspotenzial des tieferen Untergrundes Norddeutschlands erkundet.

Die Unternehmen der rohstoffgewinnenden Industrie sind weitestgehend in der Wirtschaftsvereinigung Bergbau e. V. (WVB) vereinigt. Eine enge Zusammenarbeit der BGR besteht u. a. zur Fachvereinigung Auslandsbergbau (FAB), z. B. auf dem Gebiet der Platingruppenelemente in albanischen Chromit-Lagerstätten.

Wissenschaftlich-technische Gesellschaften

Mit diesen Zusammenschlüssen der Wirtschaft, Hochschulen und externen Forschungsinstitutionen arbeitet die BGR vielfach eng zusammen. Die BGR ist in einer Reihe von Fachausschüssen der Gesellschaft für Bergbau, Metallurgie, Rohstoff- und Umwelttechnik e. V. (GDMB) vertreten und engagiert sich aufgrund ihrer fachlichen Ausrichtung in der Forschungsgemeinschaft Angewandte Geophysik e. V. Ebenso unterhält sie enge Kontakte zur Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle e. V. (DGMK).

Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern

Die deutsche Entwicklungspolitik hat das Ziel, die Lebensbedingungen der Menschen, insbesondere der armen Bevölkerungsschichten in den Partnerländern, zu verbessern. Hierbei stehen die drei Schwerpunkte Armutsbekämpfung, Umwelt- und Ressourcenschutz sowie Bildung und Ausbildung im Vordergrund.

Die Geowissenschaften können hierzu folgende Beiträge leisten:

- Schutz der Bevölkerung vor Umweltschäden und Naturkatastrophen,
- Befriedigung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung – Trinkwasserversorgung, Baurohstoffe für „das Dach über dem Kopf“,
- Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen.

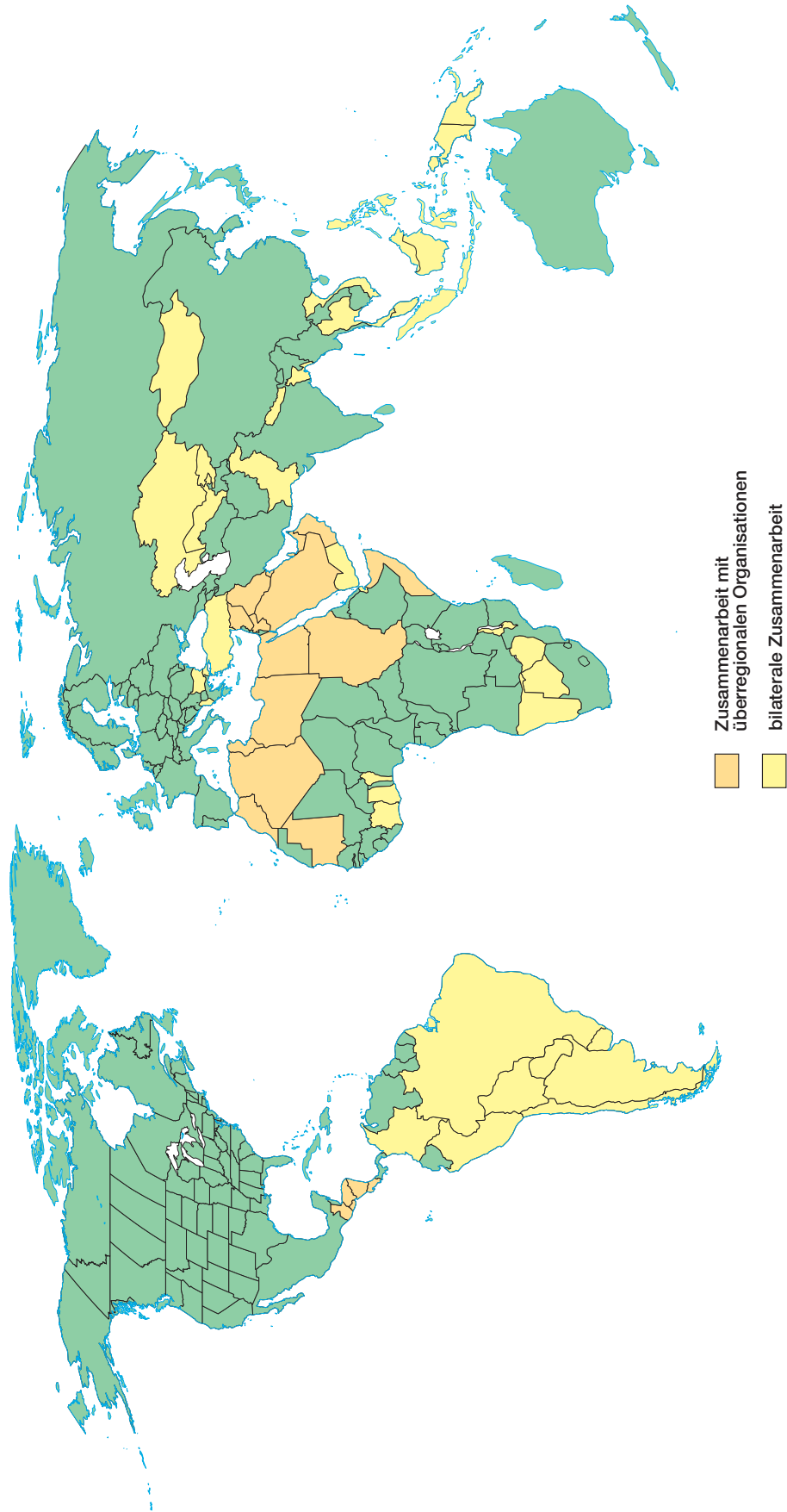
Durch Technische Zusammenarbeit (TZ) unterstützt die Bundesregierung Entwicklungsprozesse in den Partnerländern. Die Hauptaufgabe besteht darin, die Menschen und Organisationen in den Partnerländern in die Lage zu versetzen, ihre Lebensbedingungen aus eigener Kraft zu verbessern. Zu diesem Zweck werden über die TZ technische, wirtschaftliche und organisatorische Kenntnisse und Fähigkeiten vermittelt.

Für die Planung und Durchführung von Projekten und Programmen der Technischen Zusammenarbeit beauftragt die Bundesregierung über das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) eine Reihe von Durchführungsinstitutionen, darunter die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, für TZ-Vorhaben im Sektor Geologie und Bergbau.

Unterstützt werden staatliche Fachinstitute, wie Geologische Dienste und andere öffentliche Einrichtungen in Entwicklungsländern, bei der Wahrnehmung folgender Aufgaben:

- Management und ressourcenoptimierte Nutzung von Wasser, Boden und mineralischen Rohstoffen,
- Geologische Grundlagen der Regional-/Raumplanung,
- Bewertung von mineralischen Rohstoffen und Energierohstoffen,
- Erfassung und Bewertung des Potenzials an natürlichen Ressourcen,
- Klima und Katastrophenschutz.

1999 und 2000 führte die BGR mehr als 40 TZ-Projekte durch, an denen über 30 Partnerländer beteiligt waren (s. Abbildung auf S. 14). Im Vordergrund steht das entwicklungspolitische Ziel der „Trägerförderung“. Darunter wird die strukturell-organisatorische Beratung der Partnerorganisationen („Träger“) ebenso wie eine fachliche Aus- und Fortbildung einzelner Mitarbeiter vor Ort, in Deutschland oder in Drittländern verstanden. Die BGR leistet damit „Hilfe zur Selbsthilfe“ und zur Verbesserung der Lebensbedingungen der auf Boden, Wasser und Rohstoffe angewiesenen Bevölkerung, insbesondere der ärmeren Bevölkerung, die keinen ausreichenden Zugang hierzu besitzt.



Länder der Technischen Zusammenarbeit der BGR in den Jahren 1999 und 2000.

Als die zentrale geowissenschaftliche Institution der Bundesregierung verfügt die BGR über Fachwissen und langjährige Erfahrung in nahezu sämtlichen Bereichen der angewandten Geologie bis hin zu Bergbauaspekten. Von Bedeutung sind dabei für die TZ insbesondere die Aufgabenfelder:

- Wasser,
- Boden,
- Mineralische und Energierohstoffe (Lagerstätten erkundung und -bewertung, Erdölgeologie),
- Umwelt- und Ressourcenschutz / Umweltschutz im Bergbau,
- Georisiken.

In die Projekte werden neben deutschen Beratern/innen zunehmend auch einheimische Fachkräfte einbezogen, und es wird der Aufbau einer lokalen Consultingwirtschaft unterstützt.

Aus- und Fortbildung finden in der Regel „on-the-job“ statt. Daneben werden die Partnerfachkräfte in speziell ausgewählten Trainingskursen, Universitäts-Fortbildungen, Seminaren und in fachlich vergleichbaren TZ-Vorhaben außerhalb ihres Landes aus- und fortgebildet.

Dienstleistungen werden nur in Ausnahmefällen, z. B. bei Nothilfe und der Beseitigung akuter Engpässe durchgeführt. Der personelle deutsche Einsatz bezieht sich dabei normalerweise auf die Entsendung von Kurzeitfachkräften.

Reichen die Wasserressourcen in Nahost auch für künftige Generationen?

Die knapper werdenden Wasserressourcen im Nahen Osten stellen eine zunehmende politische Herausforderung beim Interessensausgleich zwischen konkurrierenden Nutzern dar. Deshalb unterstützt die BGR im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit regionale Organisationen, wie das Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands (ACSAD) und die Economic and Social Commission for Western Asia der Vereinten Nationen (ESCWA), sowie das jordanische Ministerium für Wasser und Bewässerung.

Ressourcen reichen kaum aus, den gegenwärtigen Bedarf zu decken. In Anbetracht des überproportional steigenden Bevölkerungswachstums, das beispielsweise in Jordanien etwa 3,6 % erreicht, ist eine weitere Verschärfung dieser Situation in den kommenden Jahrzehnten vorhersehbar. Das steigende Wasserdefizit behindert eine nachhaltige sozioökonomische Entwicklung der Länder und stellt sowohl national als auch überregional ein erhebliches Konfliktpotenzial dar.



Der größte Teil der Bevölkerung der arabischen Länder lebt in ariden und semiariden Gebieten, wo durch ungünstige klimatische Bedingungen nur begrenzte Wasser- und landwirtschaftlich nutzbare Bodenressourcen zur Verfügung stehen. Der Wasserbedarf wird heute zum großen Teil durch die Nutzung von Grundwasservorkommen in flachen, erneuerbaren und tiefen, nicht erneuerbaren Grundwassersystemen gedeckt. Ganzjährig wasserführende Flüsse, wie Nil, Euphrat und Tigris, sind nur regional begrenzt zur Wasserversorgung nutzbar. Die knappen

Wassermangel führte in den letzten Jahren in den großen Städten und landwirtschaftlichen Bewässerungsgebieten zu extremen Versorgungsempässen. In vielen Gebieten sinkt durch die sehr hohen Wasserentnahmen der Grundwasserspiegel rasch ab (häufig um 1–2 m/a). Das dadurch verursachte Trockenfallen zahlreicher Brunnen ist ein untrüglicher Indikator für die Grundwasserübernutzung. In einigen Gebieten, z. B. in den Vereinigten Arabischen Emiraten, kann die Wasserversorgung nur noch durch den Abbau („groundwater mining“) von sogenann-

ten „fossilen Grundwässern“ sowie durch finanziell und energetisch aufwendige Meerwasserentsalzungsanlagen gesichert werden. Fossile Grundwässer haben sich vor mehreren tausend Jahren während langer Feuchtzeiten gebildet und sind bei heutigem Klima kaum erneuerbar.

Nachhaltiges Wassermanagement in Nahost erfordert sparsamen Umgang mit und Schutz von Wasser

Aufgrund dieser schwierigen Situation konzentrierten sich die arabischen Fachbehörden lange Zeit nur auf die Erschließung neuer Wasservorkommen. Grundwasserschutz wurde häufig als Luxus gesehen, den sich nur Industrieländer leisten können. Zahlreiche schwerwiegende irreversible Grundwasserkontaminationen erforderten in den letzten Jahren dort ein Umdenken in der Wasserpolitik. Bei einer Verunreinigung fällt ein Grundwasserleiter für die Wasserversorgung aus. In der derzeitigen kritischen Situation können es sich die Länder aber keinesfalls erlauben, nutzbare Wasserressourcen durch irreversible Verschmutzungen zu verlieren. Deshalb gilt es, Wasser, als eines der kostbarsten Güter der Menschheit, vor Verunreinigungen zu schützen, um somit die Versorgung künftiger Generationen mit hygienisch einwandfreiem Trinkwasser zu gewährleisten.

Im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit unterstützt die BGR die arabischen Länder durch:

- Praxisorientierte Vermittlung von modernen Methoden zur Erfassung und Bewertung sowie zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der Wasser- und Bodenressourcen,
- Qualifizierung von Fachkräften in den zuständigen Institutionen,
- gemeinsame Bearbeitung von speziellen fachlichen Problemen, wie z. B.

Grundwasserschutzbedürftigkeit – „groundwater vulnerability“,

- Erarbeitung moderner Planungsunterlagen für Pilotgebiete und
- Verbreitung der Ergebnisse im Rahmen von nationalen und regionalen Workshops.

Diese Arbeiten bewirken eine stärkere Bewusstseinsbildung, ein Umdenken der Bevölkerung und der Entscheidungsträger gegenüber der kritischen Wasser-

versorgung und den damit zusammenhängenden Umweltproblemen. Damit wird eine wichtige Voraussetzung für konkrete Maßnahmen zur nachhaltigen Wasserversorgung der Bevölkerung geschaffen.

Ein weiteres Ziel ist die Förderung vertrauensbildender Maßnahmen zwischen den Ländern durch grenzübergreifende Zusammenarbeit auf dem Wassersektor: „transboundary-aquifers“.



Trinkwasserentnahme im Euphrat.

ACSAD – The Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands

Die Arabische Liga gründete 1971 das Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands (ACSAD) als ein autonomes zwischenstaatliches Forschungsinstitut mit dem Ziel, die Kenntnisse über den Zustand der Wasser-, Boden- und landwirtschaftlichen Ressourcen in der Region zu verbessern und den Mitgliedsländern, zu denen fast alle arabischen Staaten der Arabischen Halbinsel und Nordafrikas gehören, Handlungsempfehlungen für eine dauerhafte soziale und wirtschaftliche Entwicklung zu geben. Sitz von ACSAD ist Damaskus/Syrien.

Mit einer institutionellen Stärkung des ACSAD und der an dem Projekt beteiligten nationalen Institutionen in Syrien und im Libanon trägt die BGR zu einer fachgerechten Beratung der Mit-

gliedsländer der Arabischen Liga auf den Gebieten „Schutz und nachhaltige Nutzung der Grundwasserressourcen sowie Begrenzung der Boden-degradation“ bei.

Um Lebensraum zu erhalten und Lebensqualität zu bewahren, müssen wir wissen, wo „Schützenswertes“ und „Nutzenswertes“ vorkommt, aber auch, wo „Altlasten“ liegen.

Durch die Bearbeitung zweier Pilotgebiete in der Ghouta-Ebene bei Damaskus und im Beka'a-Tal im Libanon wurden praktische Erfahrungen vermittelt. Beide Gebiete sind für die landwirtschaftliche Produktion und die Wasserversorgung in der Region Damaskus beziehungsweise im Libanon überaus wichtig. Der schnell ansteigende Wasserverbrauch und mehrere aufeinanderfolgende Trockenjahre haben zu einer erheblichen Überbeanspruchung der Grundwasserleiter geführt. Bewässerung mit ungeklärten häuslichen und industriellen Abwässern, illegale Müllablagerungen und der intensive Einsatz von Pestiziden und Düngemitteln gefährden die Qualität des Grundwassers. Für Damaskus wurde erst in den letzten Jahren eine Kläranlage errichtet; die meisten Oberflächenwasservorkommen sind bereits erheblich verunreinigt.

In beiden Pilotgebieten wurde die Belastung an Schwermetallen, wie Chrom, Cadmium, Blei, Zink und Kupfer, und anderer Schadstoffe im Wasser und in den Böden untersucht

sowie der Grad der Schutzfunktion der Deckschichten über den Grundwasserleitern bestimmt. Die Ergebnisse wurden in thematischen Karten dargestellt, die eine wichtige Grundlage für eine moderne Landnutzungsplanung sind.

Aufgrund der günstigen Eigenschaften der Böden ist die Schwermetallbelastung im Grundwasser in der Regel zwar noch gering, im Oberboden wurden jedoch stellenweise bereits erhebliche Belastungen festgestellt. Hohe Nitratgehalte im Grundwasser, die die internationalen Grenzwerte für Trinkwasser oft weit übersteigen, zeigen deutlich, dass Probleme der Wasserqualität in Zukunft eine zunehmende Rolle spielen dürften.

In großen Teilen des Beka'a-Tals wird das Grundwasser aus teilweise verkasteten Kalksteinformationen gewonnen, die nur eine geringe Schutzfunktion aufweisen. Wenn der Grundwasserschutz nicht ernst genommen und die Entnahmemengen für die Landwirtschaft nicht begrenzt und kontrolliert werden, ist die Wasserversorgung vieler Ortschaften dieses Gebietes gefährdet.

Für beide Gebiete wurden Handlungsempfehlungen erarbeitet, die der Schadensbegrenzung an den Wasser- und Bodenressourcen dienen. Um eine große Verbreitung der Projektergebnisse zu erzielen, wurde die Problematik der nachhaltigen Nutzung der Wasser- und Bodenressourcen, der Bodendegradation und des Grundwasserschutzes in Workshops in Beirut und Damaskus mit Fachleuten aus den Ländern der Arabischen Liga diskutiert.

ESCWA – Economic and Social Commission for Western Asia

Die BGR berät bereits seit vielen Jahren ESCWA und ihre Mitgliedsländer bei der Lösung aktueller Probleme im Bereich des Grundwassers und der Erarbeitung von Möglichkeiten der langfristigen Nutzung der vorhandenen Wasserressourcen. Die regionale Verbreitung von Fachergebnissen zur Verbesserung des technischen Know-hows über Grundwasserressourcen-Management in den Mitgliedsländern erfolgt mittels Expert Group Meetings, Publikationen und Studien.

Die Themenbereiche umfassen u. a.:

- angepasste gemeinsame Nutzung grenzüberschreitender Grundwasservorkommen – „transboundary aquifers“ – und deren rechtliche Aspekte,
- Grundwasserschutz und -rehabilitierung,
- neue Technologien im Bereich Grundwasserschutz,
- Anwendung von Fernerkundungsmethoden und Isotopenuntersuchungen im Bereich Grundwassererschließung und -management.

Grundwasservorkommen hören nicht an den Staatsgrenzen auf, sondern sind grenzüberschreitend. Dies erfordert eine gemeinsame angepasste Nutzung der „transboundary aquifers“.

Durch die Mitarbeit verschiedener Länder an der Studie über grenzüberschreitende Grundwasservorkommen wurde durch das Projekt eine enge Zusammenarbeit verschiedener Länder bei der gegenseitig abgestimmten Nutzung länderübergreifender Grundwasservorkommen initiiert.



Internationale Zusammenarbeit in Forschung und Technologie – Wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit (WTZ) –

Die Wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit stellt einen wichtigen Baustein für eine weltweite nachhaltige Entwicklung dar. Ziel ist die Vernetzung der Forschung und die Einbindung kleiner und mittlerer Unternehmen in anwendungsorientierte Projekte.

Die BGR arbeitet international mit staatlichen Institutionen, Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie mit der Industrie im Auftrag des BMBF und des BMWi zusammen. Partnerländer in der WTZ sind die Schwellenländer Lateinamerikas, die Länder Osteuropas und der Gemeinschaft unabhängiger Staaten (GUS), die VR China, Indonesien und Thailand sowie Kanada. In den Jahren 1999/2000 arbeitete die BGR mit Albanien, Polen, der Ukraine, Russland, Kasachstan, der Volksrepublik China, Nepal, Indonesien, Thailand, Brasilien, Kolumbien, Chile und Kanada zusammen.

Informationen austauschen

Im Informationszeitalter gewinnt der Austausch von Wissen und Technologien zunehmend an Bedeutung. Enge bilaterale Kooperationen der BGR mit verschiedenen staatlichen Einrichtungen der Länder Osteuropas und der GUS führten zum weitgehenden Abbau von Informationsbarrieren. Ein offizieller Zugang zu rohstoffwirtschaftlichen Daten wurde durch einen regelmäßigen gegenseitigen Austausch und die gemeinsame Bearbeitung von Themen, wie z. B. mit Kasachstan, verwirklicht.

In Südost-Europa sind alte Wirtschaftsstrukturen und -beziehungen weggebrochen und die Globalisierung erfordert große Anpassungsleistungen. Seit 1999 wird im Rahmen des „Stabilitätspaktes für Südost-Europa“ im Auftrag des BMBF die Entwicklung dieser Region im Forschungs- und Bildungsbereich gefördert. Durch Ausbildungsprogramme, Methoden-Transfer und Verbesserung der gerätemäßigen Ausstattung unterstützt die BGR beispielsweise den Geologischen Dienst und die Polytechnische Universität in Albanien.

Lösungen finden

Der Schutz natürlicher Ressourcen hat weiterhin international an Bedeutung gewonnen. Auf dem Gebiet des Boden-

und Grundwasserschutzes untersucht die BGR mit ihren Partnerinstitutionen Umweltbelastungen und entwickelt Lösungswege.

Für die Zusammenarbeit mit der VR China hat die deutsch-chinesische Umweltkonferenz 2000 in Peking neue Impulse für die Förderung einer umweltgerechten und nachhaltigen Entwicklung gegeben. Der Bergbau nimmt hier eine bedeutende Stellung für die Volkswirtschaft ein. Zunehmend werden jedoch Umweltschäden als Folge der Bergbautätigkeit beobachtet. In dem Gebiet des Kohle-Tagebaus Fushun in Nordost-China untersucht die BGR gemeinsam mit dem Institut für Geologie der Chinesischen Akademie der Wissenschaften und der Universität Wuhan die Umweltgefahren, die von den dortigen Ölschieferhalden ausgehen. Durch Selbstentzündung beginnen die aufgehaldeten Ölschiefer nach 8–9 Monaten zu schwelen. Dies führt zu Luftverschmutzung und Kontamination der Böden, des Grund- und des Oberflächenwassers. Die Untersuchungen liefern Ansätze zur Bewertung der Umweltrisiken und Lösungsvorschläge für die Sanierung der Bergbaufolgeschäden. Dabei wird auch auf die Expertise deutscher Unternehmen zurückgegriffen.

Synergien nutzen

Forschung zu Themen von globaler Bedeutung, wie z. B. Klimaentwicklung, sind nur im Verbund internationaler Zusammenarbeit sinnvoll und möglich. Hier ermöglicht eine gemeinsame internationale Nutzung von Forschungseinrichtungen und Großgeräten, wie beispielsweise bei Fahrten mit Forschungsschiffen vor der Küste Indonesiens im Jahre 1999, einen optimalen Einsatz und fördert die fachliche Kooperation.

Technologien entwickeln

Bei der Entwicklung neuer sogenannter „Geotechnologien“ arbeitet die BGR mit Partnern aus der Industrie zusammen. Schwerpunkte der letzten beiden Jahre waren Neu- oder Weiterentwicklung von Technologien in den Bereichen Geophysik, insbesondere Seismologie, sowie Umwelttechnik

Um die Vermeidung zukünftiger Verschmutzung von Oberflächen- und Grundwasser geht es beispielsweise bei der Zusammenarbeit mit dem Department of Mineral Resources in Thailand. Dabei werden Handlungsempfehlungen zur Erkundung des Untergrundes von Deponie- und Altablagerungen in Chiang Mai und Lamphun erarbeitet. In Deutschland erprobte Technologien werden an die dortigen Rahmenbedingungen angepasst. An der Entwicklung und Umsetzung sind neben einer Universität zahlreiche deutsche und thailändische Firmenpartner beteiligt.

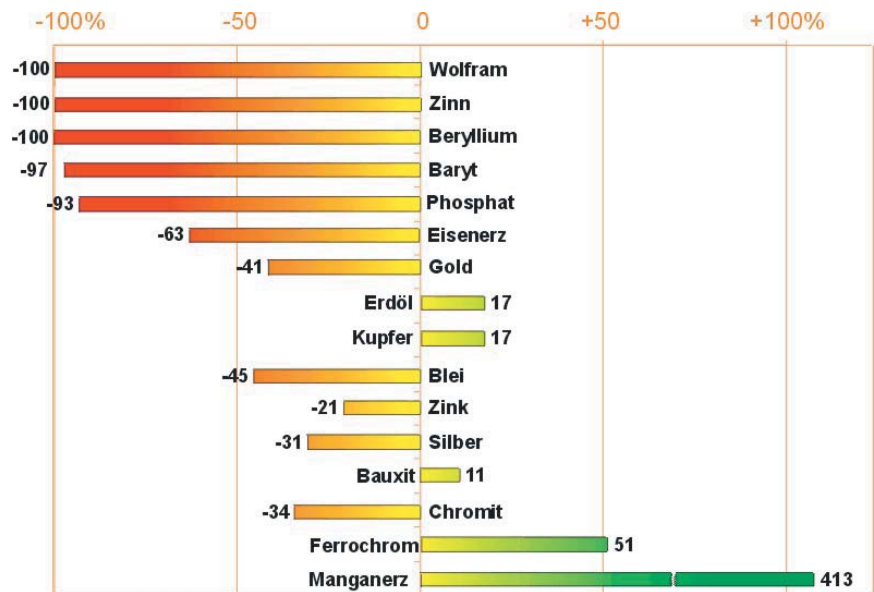
Wirtschaftskooperation mit Ländern der GUS am Beispiel Kasachstan

Kasachstan verfügt über eine breite Palette an mineralischen Rohstoffen. Die Republik gehört zu den weltweit bedeutenden Produzenten von Chromit, einer Reihe von Bunt- und Sondermetallen sowie den Energieträgern Erdöl, Uran und Steinkohle und realisiert rund 2/3 der Industrieproduktion auf dem Sektor der Rohstoffwirtschaft.

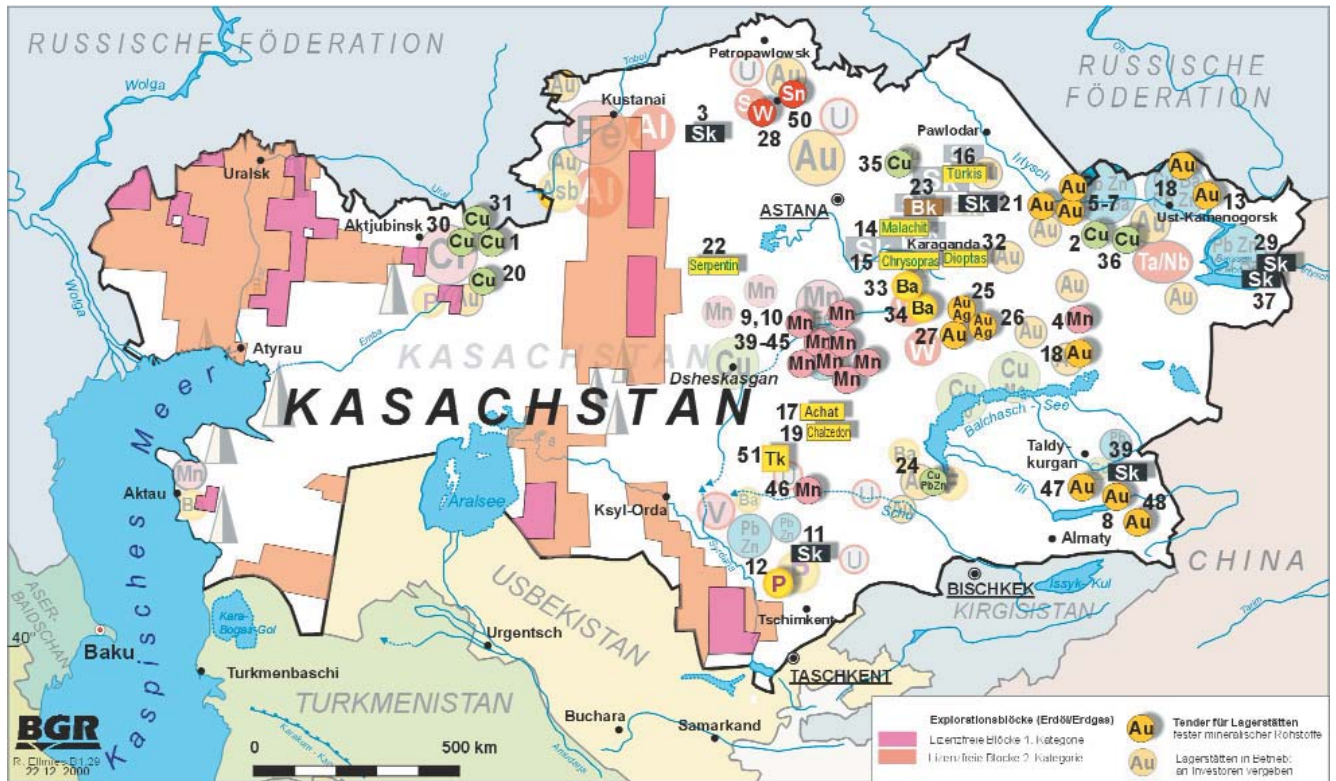
Die Einführung marktwirtschaftlicher Bedingungen hatte weitreichende Folgen für die dortige Rohstoffindustrie. Einen Vergleich der Produktion als Sowjetrepublik im Jahre 1990 mit der Produktion von 1999 zeigt die Abbildung unten. Bei Zinn, Wolfram, Phosphorit und Baryt ist ein Rückgang um 90 bis 100 % zu verzeichnen. Kupfer, Mangan und Ferrolegierungen dagegen weisen deutliche Zuwächse auf.

Wie ist die starke Veränderung der Bergbauproduktion Kasachstans zu erklären?

Die Sowjetunion war auf eine Selbstversorgung mit Rohstoffen bedacht und führte somit auch Bergbau auf niedrighaltige Lagerstätten, die nur mit einem hohen Einsatz von Arbeitskräften abgebaut werden konnten, wie z. B. Phosphorit, Wolfram, Zinn und Baryt in Kasachstan. Mit dem Übergang von der Plan- zur Marktwirtschaft wurden die Bergbau- und Verarbeitungsbetriebe mit den realen Weltmarktpreisen konfrontiert und in der Folge wurden viele ineffiziente Bergwerke geschlossen. Auf der anderen Seite bewarben sich im Zuge der Privatisierung der Staatsbetriebe ausländische Investoren um die potenziell gewinnträchtigen Bergbaugesellschaften. Nach kurzen Phasen treuhänderischer Verwaltung war es für ernsthaft interessierte Investoren rasch möglich, Aktienpakete an den



Veränderung der Bergbauproduktion Kasachstans von 1999 gegenüber 1990.



Investoren gesucht! Ausschreibungsobjekte aus der Rohstoffwirtschaft Kasachstans des Jahres 2000.

kasachischen Firmen zu erwerben. Nach umfangreichen Modernisierungen der Produktionsanlagen weisen einige Unternehmen nunmehr deutliche Produktionssteigerungen und hohe Rentabilität auf. So beherrscht die koreanische Samsung beispielsweise mit ihrer KazakhMys Holding den gesamten kasachischen Kupferbergbau, die Aufbereitungs- und Raffineriekapazitäten, und verzeichnet hier inzwischen Umsätze von über 1 Mrd. US \$. Über 3/4 der ausländischen Direktinvestitionen in Kasachstan gehen in die Rohstoffwirtschaft.

Deutsche Engagements in der kasachischen Rohstoffwirtschaft beschränken sich im Wesentlichen auf den Anlagenbau und Ausrüstung. Gründe des zurückhaltenden deutschen Engagements sind Probleme der Rechtssicherheit und der Bürokratie sowie hohe Transportkosten. Anderen ausländischen Firmen gelang es jedoch schnell, in Kasachstan Fuß zu fassen. Die Manager dieser Unternehmen

vergeben Kasachstan die besten Beurteilungen beim Investitions- und Geschäftsklima unter den Nachbarstaaten der UdSSR.

Informationsmanagement der BGR für Wirtschaft und Regierung

Die Wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit kann durch „Vorfelderkundung“ und Informationsbereitstellung für die deutsche Industrie den Transfer von Know-How und Technologie fördern. Partner der Zusammenarbeit in Kasachstan ist das Komitee für Geologie und Schutz der Bodenschätze im Ministerium für Ökologie und Naturressourcen. Auf einer offenen freundschaftlichen Basis hat sich hier eine langjährige Kooperation mit gegenseitigen Nutzen entwickelt. Mitein-

bezogen in die gemeinsamen Arbeiten sind auch wissenschaftliche Institute, Consultingfirmen und die Botschaften der Länder.

Die Zusammenarbeit umfasste:

- Informationen über Lagerstättenpotenzial, Rohstoffwirtschaft und gesamtwirtschaftliche Rahmenbedingungen in Kasachstan in Form einer rohstoffwirtschaftlichen Studie,
- Vermittlung von Kooperationspartnern für die Wirtschaft und für wissenschaftliche Institutionen,
- Übersetzung und gemeinsame Publikation von Ausschreibungsobjekten,
- Beratung der kasachischen Partner zu den Themen Endlagerung radioaktiver und toxischer Abfälle sowie Untergrundgasspeicherung,
- Beratung deutscher Unternehmen (z. B. zu Dachschiefervorkommen).

Forschung und Entwicklung

Um ihren Beratungsaufgaben für die Bundesregierung und die Wirtschaft kompetent gerecht zu werden, betreibt die BGR Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (FuE) im Umfang von ca. 40 % ihrer Gesamttätigkeit. Mit der Fokussierung auf angewandte Forschung im „Vorfeld der Industrie“ werden solche Themenbereiche bearbeitet, deren Ergebnisse auch kurzfristig in industrielle Anwendung überführt werden können. Diese Forschungsarbeiten werden oft in enger Kooperation mit der Industrie durchgeführt.

Angewandte Forschung im Vorfeld der Industrie

Durch eine gezielte Vernetzung der verschiedenen geowissenschaftlichen Arbeitsbereiche, wie z. B. Rohstoff-, Meeres- und Klimaforschung, werden interessante spin-off-Effekte gefördert. Trotz der klaren Prioritätensetzung der BGR-Forschung auf die Bereiche Rohstoffe, georelevante Umweltfragen und Georisiko wird großer Wert auf eine ausreichende Flexibilität gelegt, um schnell auf aktuelle Probleme reagieren zu können.

Geotechnische Sicherheit / Endlagerung

Im Rahmen der Erkundung von Standorten für eine sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle führt die BGR geowissenschaftliche, vor allem ingenieurgeologische Forschungs- und Entwicklungsarbeiten mit den Schwerpunkten

- Stoffeigenschaften des Wirtsgesteins Salz,
- Erforschung alternativer Wirtsgesteine (Tone und Kristallin) und
- Grundwasser- und Stofftransportmodelle durch. Damit wird dem neuen Entsorgungsplan der Bundesregierung für radioaktive Abfälle unter Einbeziehung unterschiedlicher Wirtsgesteinsformationen Rechnung getragen.

Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens / Nationales Datenzentrum

Die BGR ist vom AA beauftragt worden, die sich aus der Unterzeichnung des umfassenden Kernwaffenteststoppabkommens ergebenden Verpflichtungen zur technischen Überwachung durchzuführen und das Nationale Datenzentrum zu betreiben. Im internationalen Verband ist die BGR maßgebend an Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Detektion, Lokalisierung und Identifikation seismischer Ereignisse beteiligt.

Wasser

gewinnt als Rohstoff weltweit zunehmend an Bedeutung und könnte vor allem in wasserarmen Regionen der Erde zum Konfliktpotenzial des 21. Jahrhunderts werden. Dementsprechend entwickelt die BGR ständig neue Methoden zur Grundwassererkundung und zum Grundwasserschutz. Diese Forschungsergebnisse finden unmittelbaren Eingang in die Projekte der Technischen Zusammenarbeit. Darüber hinaus wird Forschung zur geothermischen Direktwärmenutzung im Wasserkreislauf eines Demonstrationsvorhabens an der BGR betrieben.

Fossile Energie

Zur Rohstoffsicherung der Bundesrepublik untersucht die BGR im „Vorfeld industrieller Tätigkeit“ das Potenzial und die Genese von Erdöl und Erdgas. Da die Festlandsbereiche der Erde weitestgehend auf Erdöl- und Erdgaslagerstätten untersucht wurden und hier künftig kaum neue Lagerstätten zu erwarten sind, konzentriert sich die BGR-Forschung auf die bisher wenig untersuchten, aber potenziell hoffigen Kontinentalränder im Meeresbereich. Weitere thematische Schwerpunkte sind die Gashydrat- und Kohleflözmethan-Forschung.

Gashydrate: Methan wird in sog. „Käfigen“ gefrorener Wassermoleküle unter niedrigen Temperatur- und hohen Druckbedingungen (z. B. im Meeresboden oder in Böden der Permafrost-Regionen) eingeschlossen. Derzeit ist noch offen, ob die insgesamt enormen Mengen an Gashydraten in Permafrost-Regionen und an Kontinentalrändern in Zukunft einmal für die Energieversorgung genutzt werden können. Wenn die technische Gewinnung möglich wird, stellen sie künftig ein riesiges Energiepotenzial dar.

Boden

Als Folge der 1999 verabschiedeten Bundes-Bodenschutz- und Altlasten-Verordnung wurden für die BGR zusätzliche Forschungsarbeiten hinsichtlich der Beurteilung von Stoffverlagerung im Boden, z. B. für Fragen der

Sickerwasserprognose, erforderlich. Weiterhin werden Untersuchungen zur Einschätzung der natürlichen Verringerung von Schadstoffgehalten in Böden durchgeführt. Um die für Bodennutzung und Bodenschutz erforderlichen Bodendatenbanken inhaltlich zu verbessern, werden Methoden zur Harmonisierung von Bodeninformation entwickelt. Diese Daten werden auch als Grundlage für die Erarbeitung von EU Richtlinien benötigt.

Die Mineralische Rohstoffforschung

umfasste im Berichtszeitraum u. a.:

- Entwicklung interdisziplinärer Prospektions- und Explorationsstrategien für Lagerstätten von Metallen kurzer Reichweite am Beispiel sulfidischer Pb/Zn/Cu/Ge-Lagerstätten in Namibia,
- Untersuchung des Stoffkreislaufes der Platingruppenelemente,
- modellhafte Erarbeitung von Lagerstätten-Indikatoren,
- Konzepte zur Nutzung alternativer Rohstoffquellen, zur Verringerung des ökologischen Gefährdungspotenzials von Bergbauaktivitäten und zur Sanierung von Bergbauschäden.

Das Ziel ist die ökonomisch und ökologisch optimale Nutzung mineralischer Rohstoffe.

Die Meeres- und Polarforschung

der BGR ist eingebettet in die Forschungsprogramme der Bundesregierung „Meeresforschung“, „Polarforschung“ und „Geotechnologien“ und wird im Hinblick auf die Zukunftsaufgaben bei der Versorgung mit Rohstoffen, im Umweltbereich und bei der Katastrophenvorsorge durchgeführt. Die Arbeiten zur Erforschung des Rohstoffpotenzials der Meeresböden sind hauptsächlich auf die Kontinentalränder fokussiert und umfassen

gegenwärtig Untersuchungen an den aktiven Kontinentalrändern (hier schiebt sich eine Ozeanplatte unter eine Kontinentalplatte) des indonesischen Archipels, des Arabischen Meeres sowie des Ost-Pazifiks. Bei den passiven Kontinentalrändern (hier finden keine Plattenverschiebungen statt) liegen die Schwerpunkte im Süd-Atlantik sowie im Arktischen Ozean (Laptew-See). Mit ihrer Antarktisforschung trägt die BGR zum Erhalt des deutschen Konsultativstatus in der Gruppe der Antarktis-Vertragsstaaten bei.

Im Rahmen der Meeresforschung wurden in den letzten Jahren wichtige spin-off-Effekte für die geowissenschaftliche Klimaforschung erzielt. So wurde anhand geochemischer Untersuchungen an Meeressedimenten, insbesondere der Isotopenuntersuchungen, Anzeichen für kurzfristige Klimaschwankungen (Wechsel von Warm- und Kaltzeiten) für die letzten 80 000 Jahre nachgewiesen. Diese Ergebnisse korrelieren sehr gut mit denen der Grönlandeis-Untersuchungen. In den Sedimenten sind wichtige Klimaindikatoren der jeweiligen erdgeschichtlichen Epochen gespeichert, sie stellen ein Archiv für die Klimaforschung dar.

Umweltschonende Ressourcennutzung / Geo Umweltschutz

hat die dauerhafte Erhaltung der Umwelt in ihrer Funktionsfähigkeit und als Lebensgrundlage der Menschen zum Ziel.

Die Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf folgende Themen:

- Bestandsaufnahme der geogenen geochemischen Hintergrundwerte als Grundlage der Bewertung von Schadstoffgehalten natürlichen oder anthropogenen Ursprungs,
- Entwicklung von Schutzpotenzialkarten für großräumige Grundwasserleiter am Beispiel des Truppenübungsplatzes in der Colbitz-Letzlinger Heide,
- Entwicklung von Methoden und Geräten zur Langzeitüberwachung von

Braunkohlefolgelandschaften und zur Untersuchung der Umweltgefährdung durch Bergbauhalden,

- Erkundung des Untergrundes von Deponiestandorten und Altlasten.

Geologische Risiken

gefährden die natürlichen Lebensgrundlagen. Naturkatastrophen sind nicht zu verhindern, ihre Auswirkungen können jedoch durch vorbeugende Maßnahmen gemindert werden.

Die Geo-Risiko-Forschung der BGR konzentriert sich auf die Bereiche Erdbebengefährdung, Vulkaneruptionen, Landabsenkungen und Massenbewegungen. Im Hinblick auf die Erdbebengefährdung wird das Schwarmbebegebiet Vogtland/NW-Böhmen untersucht. BGR entwickelt Methoden und Techniken zur Vulkanüberwachung und Vorhersage von Vulkaneruptionen sowie zur nachhaltigen Gefahrenabwehr der Folgeschäden des Kalibergbaus.

Durch die Erforschung der Entstehung, der Bewegungsmechanismen und des Aufbaus von Schlamm- und Schuttströmen, Muren und Gesteinslawinen werden Vorsorge- und Bewältigungsstrategien entwickelt. Diese Risikomanagement-Strategien werden in der Technischen Zusammenarbeit eingesetzt, sie stärken die Selbsthilfepotenziale zur Vorbeugung und zum Schutz vor Geo-Risiken in Entwicklungsländern.

Klimaentwicklung

Kohlendioxid ist nach dem Wasserdampf das wichtigste Treibhausgas der Erdatmosphäre. Die Erhöhung der Kohlendioxid-Konzentration durch zunehmende Verbrennung fossiler Energierohstoffe kann zu einer Temperaturzunahme der Erdatmosphäre führen. Die BGR erforscht den Kohlenstoffkreislauf und seine Auswirkungen auf das atmosphärische Kohlendioxid. Die Arbeiten umfassen Untersuchungen

der Fluid- und Gaszirkulation an Kontinentenrändern sowie Abschätzungen über den anthropogen verursachten Anteil des Treibhausgases, der über die Verbrennung von Energieträgern entsteht.

Die Rekonstruktion des Klimageschehens der Vergangenheit ist ein Schlüssel für Vorhersagen der künftigen Klimaentwicklung.

Hierzu werden Paläoklimadaten – wie z. B. in Meeressedimenten archiviert – hochauflösend analysiert, um z. B. die Paläomonsonentwicklung zu rekonstruieren.

Entwicklung neuer Technologien

im Rahmen von BGR-Forschungsprojekten 1999 und 2000 in enger Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und der Industrie:

- Flugzeug- und satellitengestütztes Sensorsystem zur Erkennung von Bruch-/Senkungsrisiken,
- Methode der kernmagnetischen Resonanz (SNMR-Methode) zur Ermittlung der Eigenschaften von Grundwasserleitern,
- Potenzialverfahren zum Monitoring von Haldenstrukturen,
- FCKW-freie Extraktionsverfahren zur Bestimmung von Kohlenwasserstoffen,
- Entwicklung einer Software zur dreidimensionalen Darstellung komplizierter geologischer Untergrundstrukturen.

openGEO4, eine neue 3D-Software

Die Vorhersage der Grundwasserströmung und des Transportes von Schadstoffen im Untergrund erfordert Informationen über den geologischen Aufbau des Untergrundes. Erkundungsbohrungen liefern hierzu „nur“ Informationen über den vertikalen geologischen Aufbau an einem einzelnen Bohrpunkt. Für eine räumliche Vorhersage beispielsweise für die Grundwasserströmung in einem Aquifer ist jedoch ein dreidimensionales Bild der geologischen Struktur notwendig. Die Ableitung dieser dreidimensionalen Struktur ist insbesondere bei komplizierten geologischen Verhältnissen schwierig und in der praktischen Anwendung häufig zu aufwendig. Werden komplizierte Strukturen im Untergrund jedoch nicht in die Vorhersage einbezogen, so kann dies zu falschen Einschätzungen z. B. im Hinblick auf die Bewegung eines Schadstoffes im Untergrund führen.

Um die praxisorientierte Anwendung von 3D-Modellen zu verbessern, hat die BGR in Zusammenarbeit mit einem Ingenieur-Büro der freien Wirtschaft das Programm openGeo4 entwickelt. Mit openGeo4 kann nun auch bei solchen Projekten mit schwierigen geologischen Verhältnissen eine größere Realitätsnähe erreicht werden, bei denen sonst aus Kostengründen auf ein vollständiges 3D-Untergrundmodell verzichtet werden musste.

Im norddeutschen Raum sind häufig komplizierte Strukturen in dem Bereich 300 m unterhalb der Erdoberfläche anzutreffen. Ursachen für die Komplexität sind z. B. kleinräumige Wechsel der verschiedenen eiszeitlichen Ablagerungen (Sand, Mergel, Schluff, Ton), Stauchungen des Untergrundes durch die Gletscherüberführungen in den Eiszeiten und Veränderungen an Salzstrukturen durch Hebung und Salzlösung.

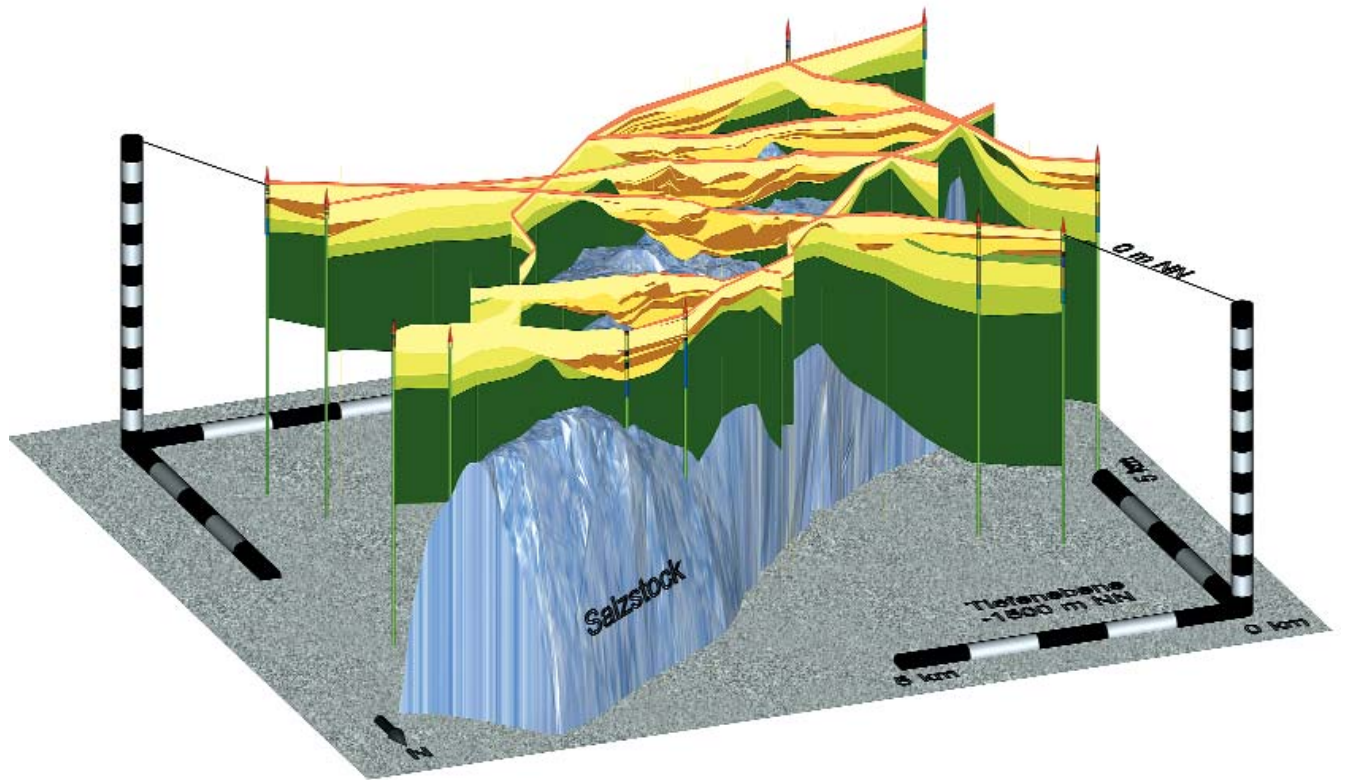
Um diese komplizierten Strukturen möglichst naturnah nachbilden zu

können, wurde das EDV-basierte Konstruktionsverfahren varioTriBox entwickelt. Es erlaubt die dreidimensionale Nachbildung beliebig komplizierter Strukturen von beliebigen Parametern. Auf der Basis der einzelnen Bohrpunkte mit ihrer vertikalen geologischen Information erzeugt das Programm eine Bohrpunktkarte. Aus dieser werden Vertikalschnitte zwischen den jeweiligen Punkten konstruiert, so dass sich ein Dreiecksnetz ergibt (s. Abbildung auf S. 24). Aus den Konstruktionspunkten auf den Schnitten werden dann die Körperoberflächen erzeugt.

Unter der Kontrolle von openGEO4 gewährleistet das Verfahren varioTriBox formale Richtigkeit an den Kreuzungspunkten der Schnitte (Vernetzung) und im Raum (Überschneidungs- und Lückenfreiheit). Eine weitere Besonderheit ist, dass über ein vorhandenes Modell, z. B. der räumlichen Struktur der Grundwasserdurchlässigkeiten, ein weiteres Modell mit einem anderen Parameter, z. B. der räumlichen Ausdehnung der Grundwasserversalzung, konstruiert werden kann. Zur Weitergabe der Modelldaten können virtuelle Bohrraster erzeugt oder die Körperoberflächen selbst ausgelesen werden.

Das Verfahren varioTriBox unter openGEO4 konnte für einen Salzstock in der norddeutschen Tiefebene bereits erfolgreich eingesetzt werden. Hier liegt eine komplexe Struktur aufgrund des hydrogeologischen Baus und der räumlichen Verteilung von Salz- und Süßwasser vor. Mit dem Verfahren wurde ein 3D-Modell sowohl der hydrogeologischen Eigenschaften als auch der Salz-/Süßwasserverteilung erstellt. Diese sind die Grundlage zur Berechnung der Grundwasserbewegung. Das Modell „hydrogeologischer Bau“ beinhaltet die räumlichen Informationen über die Verbreitung von Grundwasserleitern. Das „Salz-/Süßwassermodell“ beschreibt die Verteilung des Salzgehaltes im Grundwasser.

Die Entwicklung von openGeo4 ist seitens der BGR abgeschlossen. Das Programm ist käuflich zu erwerben und wird bereits in verschiedenen BGR-Projekten, wie z. B. in der Altlastensanierung und bei der Deponieplanung, zur Darstellung der Untergrundstrukturen eingesetzt.



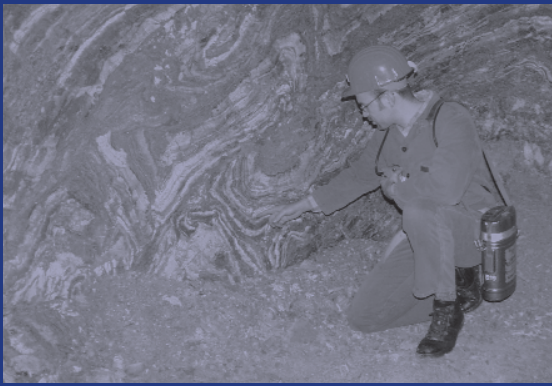
1



Geotechnische Sicherheit / Endlagerung

Vor allem die Energiewirtschaft, aber auch andere Zweige, wie beispielsweise Forschungsinstitute und die Medizin, produzieren radioaktiven Abfall.

Die BGR erkundet geeignete geologische Formationen und Standorte für eine sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle – hier im Salzstock Asse. Ihre Eignung und geotechnische Langzeitsicherheit muss nachgewiesen werden.



Geotechnische Sicherheit / Endlagerung

Die wichtigste Aufgabe im Arbeitsbereich „Geotechnische Sicherheit / Endlagerung“ ist die geowissenschaftliche Bearbeitung der Endlagerung radioaktiver Abfälle im tiefen Untergrund. Die BGR ist seitens des Bundes, vertreten durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), beauftragt, geeignete geologische Formationen und Standorte für eine sichere Endlagerung radioaktiver Abfälle zu erkunden und deren Eignung und geotechnische Langzeitsicherheit nachzuweisen. Das für die Beurteilung der Endlagerstandorte erforderliche Know-how stellt die BGR bereit. Die BGR ist in Deutschland die einzige Institution für diese Aufgabe. Sie führt diese Aufgaben in fachlicher und administrativer Eigenverantwortung durch.

Daneben werden unter „Geotechnischer Sicherheit“ grundlegende Arbeiten, wie Gewährleistung der Standfestigkeit in übertägigen und untertägigen Bauwerken aller Art und Vorsorge gegen geologische Risiken (Erdbeben, Massenbewegungen) durchgeführt. Hier entwickelte Verfahren dienen der Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik und Sicherheitsbewertung. Außerdem werden alle Arbeiten durchgeführt, die allgemein zum Gebiet Ingenieurgeologie und Geotechnik gehören.

Viele der Projekte werden in fachübergreifender Zusammenarbeit mit anderen Bereichen der BGR bearbeitet. Die folgenden Beiträge vermitteln einen guten Überblick über das Arbeitsspektrum des Bereichs „Geotechnische Sicherheit/Endlagerung“:

- Endlagerung

Stand der Erkundung in Gorleben bei Inkrafttreten des Moratoriums

Alternative Wirtsgesteinsuche

- Geotechnische Sicherheit

Überwachung der Standsicherheit durch Mikroakustik

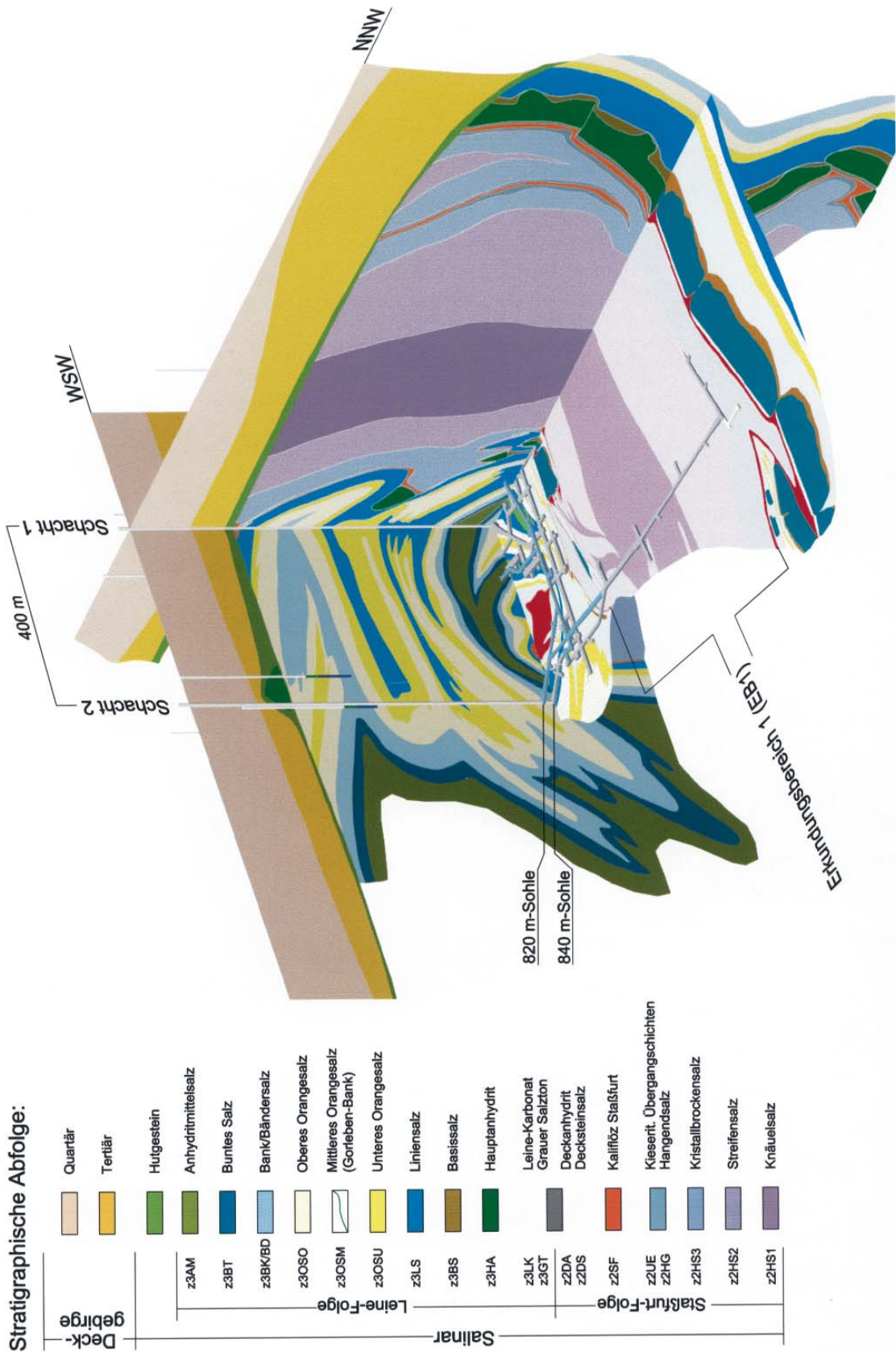
Forschung zum „Abschluss von Solekavernen“

Stand der Erkundung in Gorleben bei Inkrafttreten des Moratoriums

Die untertägige Erkundung des Salzstocks Gorleben auf seine Eignung für die Anlage eines Endlagers für radioaktive Abfälle wurde bis zum 30. September 2000 weitergeführt. Am 1. Oktober 2000 ist das Moratorium für das Erkundungsbergwerk Gorleben, ebenso wie ein neuer Rahmen- und Hauptbetriebsplan, in Kraft getreten. Der Betrieb ging damit in eine Offenhaltung über, d. h. die Erkundung des Salzstockes ist entsprechend der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 14. Juni 2000 auf mindestens drei bis höchstens zehn Jahre unterbrochen. Seit dem 1. Oktober 2000 werden weder Erkundungsbohrungen gestoßen noch weitere Strecken aufgefahren. Messungen in offenen Strecken und Bohrungen sind ebenfalls nicht mehr im neuen Hauptbetriebsplan vorgesehen. Bei Einstellung der Erkundung waren die Strecken im Infrastrukturbereich vollständig und im Erkundungsbereich 1 (EB1) bis auf etwa 120 m Reststrecke aufgefahren. Diese Reststrecke wurde aus bergbausicherheitslichen Gründen trotz Moratorium noch aufgefahren, allerdings in einem kleineren Querschnitt.

Als wissenschaftliche Ergebnisse der untertägigen Erkundung in Gorleben sind festzuhalten:

- Die Ausdehnung des für die Einlagerung von hochradioaktivem Abfall besonders geeigneten Hauptsalzes in der Kernzone des Salzstockes hat sich im Rahmen der Erkundung des EB1 als größer erwiesen, als ursprünglich angenommen. Elektromagnetische Reflexionsmessungen (EMR) in Strecken und Bohrungen zeigen, dass sich das störungsfreie Hauptsalz auch in vertikaler Richtung fortsetzt. Die Prognosen über die geologischen Modellvorstellungen haben sich somit bestätigt.
- Es wurden, wie prognostiziert, keine nennenswerten Lösungs- und Gaseinschlüsse im Hauptsalz angetroffen. Im Knäuelsalz, der ältesten Schichtenfolge des Hauptsalzes, sind bereichsweise schwache Kondensatimprägnationen gefunden worden, deren sicherheitstechnische Bewertung noch aussteht. Das Knäuelsalz umfaßt ca. 1/3 der Ausstrichsfläche des Hauptsalzes im EB1.
- Durch Erkundungsbohrungen und EMR-Messungen in diesen Bohrungen



Geologisches Modell des EB1 (Erkundungsbergwerk Gorleben).

wurde nachgewiesen, dass neben dem zentralen Hauptanhydritstrang auch der randliche Hauptanhydritstrang im Norden des EB1 in einzelne Schollen zerbrochen ist. Die in Szenarien unterstellten Bereiche potentieller Fließwege (Hauptanhydritlagen) liegen somit im Rand- und besonders im Zentralbereich als isolierte Blöcke vor und haben daher keine Verbindung zum Grundwasser des Deckgebirges.

- Die im EB1 angetroffenen Konvergenzraten des Hauptsalzes lassen ein gutes Einschlussvermögen der Endlagergebilde durch das umgebende Steinsalz erwarten.
- Die durchgeführten Permeabilitätsmessungen bestätigen die bisherigen Annahmen eines dichten Gebirges und damit die intakte Barrierefunktion des Steinsalzes. Die erwarteten Auflockerungszonen entsprechen in ihrer Ausdehnung den vorher getroffenen Annahmen und sind durch technische Maßnahmen beherrschbar.
- Nach den bisherigen Erkenntnissen ist von einer ca. 600 m mächtigen Barriere Steinsalz von der Erkundungssole bis zum Deckgebirge auszugehen.

Die Erkundungsergebnisse zeigen, dass die geologische Prognose über den EB1 bestätigt wurde und dass keine Befunde auftraten, die einer Eignung des Salzstocks für die Endlagerung radioaktiver Abfälle widersprechen. Der Schwerpunkt der BGR-Arbeiten im Endlagerprojekt Gorleben liegt seit der Unterbrechung der Erkundung bei der Sicherung, Zusammenstellung und Bewertung der bis dahin ermittelten Ergebnisse.

Alternative Wirtsgesteinsuche

Die anwendungsbezogene Forschung zur Endlagerung radioaktiver Abfälle konzentrierte sich in Deutschland bisher auf das Wirtsgestein Salz. Der nationale Plan der Bundesregierung für die Entsorgung radioaktiver Abfälle sieht nunmehr vor, auch andere geologische Formationen als potentielle Wirtsgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle gleichberechtigt zu betrachten.

Hinsichtlich der Wirtsgesteine „Granit“ beteiligen sich deutsche Wissenschaftler im Auftrag und mit finanzieller Unterstützung der Bundesregierung bereits seit 1982 an internationalen Forschungsprogrammen im schweizerischen Felslabor Grimsel (FLG) und seit 1995 im schwedischen Hard Rock Laboratory (HRL) Äspö.

Bezüglich Ton und Tonstein ist die BGR seit 1996 Partner im internationalen Mont-Terri-Projekt in der Schweiz. Seit 1999 wurde die Tonforschung für die Endlagerung radioaktiver Abfälle intensiviert, um die wissenschaftliche Grundlage zur Beurteilung der Eignung von Tongesteinen als Wirtsgestein zu schaffen.

Ziel ist es, Verfahren zu entwickeln und anzuwenden, mit denen die geotechnischen, hydrogeologischen und geochemischen Eigenschaften von Tongesteinen charakterisiert werden können. Zusätzlich sind die Veränderungen im Gestein, die durch das Auffahren von Strecken und Kammern entstehen, zu erfassen. International werden solche Untersuchungen in mehreren Untertage-Laboratorien mit begleitenden Laborversuchen und Modellrechnungen durchgeführt, um die Prozesse zu verstehen und Modelle für Langzeitsicherheitsanalysen abzuleiten. Da Deutschland über kein Untertage-Labor in Ton bzw. Tonstein verfügt, werden die notwendigen Untersuchungen im Rahmen internationaler Zusammenarbeit durchgeführt.

Die BGR nutzt diese Beteiligungen zur

- Adaption von im Salzgestein entwickelten Verfahren auf Tone bzw. zum

- Erwerb eines hohen Wissensstandes über Tonformationen als Endlagermedium durch Kooperation mit langjährig erfahrenen Partnern.

Ergebnisse

In Europa konzentrieren die Länder Frankreich, Belgien, Spanien und die Schweiz derzeit ihre Untersuchungen auf Ton-/Tonsteinformationen als mögliches Wirtsgestein. Eine Beteiligung der BGR an den Untersuchungen ist daher in mehreren ausländischen Untertage-Labors möglich:

Underground Research Facility (URF) Hades/Mol: im Nordosten Belgiens, in ca. 200 m Tiefe, plastischer Rupelton (Oligozän), seit 1980 in Betrieb. Betreiber ist das belgische Studiecetrum voor Kernenergie (SCK.CEN).

Untertage-Labor Tournemire: in Südfrankreich im südöstlichen Teil des Massiv Central nahe Roquefort, ehemaliger, ca. 100 Jahre alter Eisenbahntunnel mit einem neu aufgefahrenen Querschlag in ca. 500 m Höhe über NN, Tonstein aus dem Lias, seit 1990 vom französischen Institut de Protection et de Sûreté Nucléaire (IPSN) als Untertage-Labor genutzt.

Felslabor Mont Terri: im Nordwesten der Schweiz im Kanton Jura, ursprünglich ein 1989 für den Bau eines Autobahntunnels errichteter Sondierstollen in ca. 550 m Höhe über NN, inzwischen um mehrere Versuchsnischen und einen Paralleltunnel erweitert, Tonstein (Opalinuston) aus dem Dogger, seit 1996 als Untertage-Labor genutzt. Unter dem Patronat der schweizerischen Landeshydrologie und -geologie haben sich Institutionen aus der Schweiz, Belgien, Frankreich, Japan, Spanien und Deutschland zu dem internationalen „Mont-Terri-Projekt“ zusammengeschlossen.

In allen drei Untertage-Labors hat die BGR in den vergangenen Jahren Unter-

suchungen zur Bestimmung der Auflockerungszonen, die sich durch das Auffahren der Strecken in deren naher Umgebung bilden, mit hochauflösenden seismischen Verfahren durchgeführt. Die Abbildung zeigt die aus seismischen Bohrlochmessungen bestimmte Geschwindigkeitsverteilung um den neuen Mont-Terri-Tunnel. Dargestellt ist die Geschwindigkeitsabnahme im Nahbereich des Tunnels, verursacht durch die Auflockerung des Tonsteins. Der Bereich niedriger Geschwindigkeiten spiegelt gut die Zone erhöhter Durchlässigkeiten wider. Die Ausdehnung dieser Zone ist bei der Dimensionierung von Abdichtungsbauwerken zum Verschluss von Endlagern zu berücksichtigen. Die wesentliche Auflockerung beschränkt sich auf einen Bereich bis etwa 1 m um den Hohlraum. Im Randbereich sind durch die punktweise Messung bedingte Artefakte zu erkennen.

Während der Jahre 1999 und 2000 wurde die Zusammenarbeit im Mont-Terri-Projekt intensiviert und auch auf andere Untersuchungen ausgeweitet. Bei drei Experimenten im Felslabor Mont Terri ist die BGR federführend:

- Geophysikalische Charakterisierung der Auflockerungszone,
- Bestimmung des In-situ-Spannungsfeldes durch Überbohrversuche,
- Laborversuche zur Untersuchung des Langzeitverhaltens des Opalinustons unter Temperatureinfluss.

An drei Arbeitsgruppen zur zusammenfassenden Bewertung vorhandener Daten zur Geochemie, Hydraulik und Felsmechanik von Tongestein ist sie beteiligt. Ferner ist die BGR Partner bei dem durch die EU geförderten Projekt zur Untersuchung der Interaktion einer geotechnischen Barriere mit dem Wirtsgestein Ton (Engineered Barrier Emplacement Experiment). Koordinator ist hierbei die spanische Empresa Nacional de Residuos Radioactivos (ENRESA).

Die BGR ist inzwischen sehr gut in die internationale Endlager-Ton-Forschung eingebunden und hat Vorsorge getroffen, die Erfahrungen aus ausländischen Untertage-Labors zügig auf deutsche Verhältnisse anwenden zu können. Auch wenn die quantitative Übertrag-

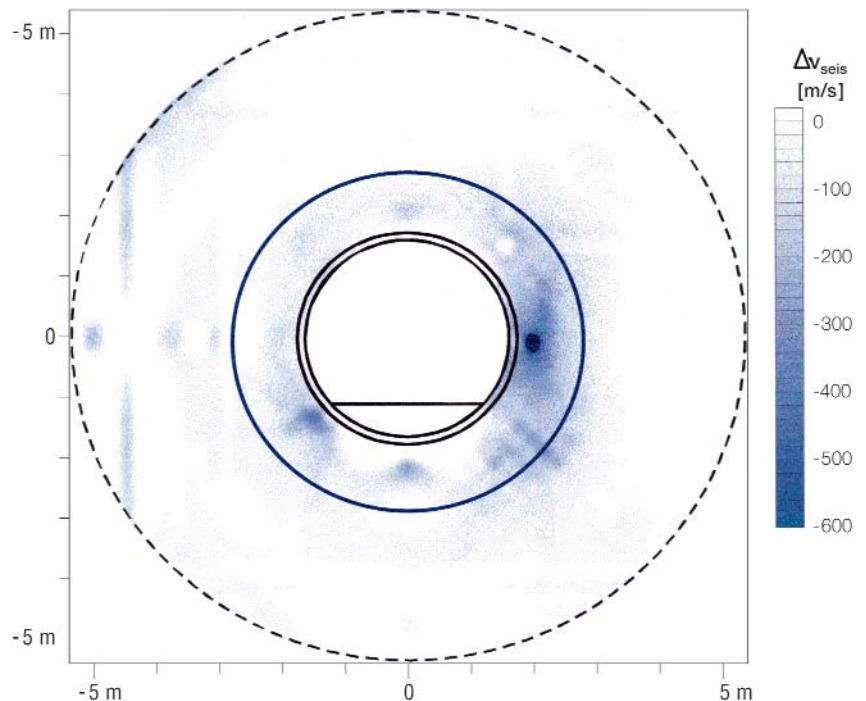
barkeit der Untersuchungsergebnisse, bedingt durch die Vielfalt der tonigen Gesteine, nur eingeschränkt möglich ist, so ist eine in internationaler Zusammenarbeit entwickelte und erprobte Untersuchungsmethodik eine wesentliche Grundlage für weitere Arbeiten.

Im Nordosten Frankreichs, im Département Meuse/Haute-Marne, wird derzeit ein neues Untertage-Labor in ca. 450 m Tiefe im Tonstein aufgefahren. Die Schachtabteufarbeiten haben im Spätsommer 2000 begonnen. In-situ-Experimente sind ab 2001 (im Schacht) bzw. ab 2003 (im Untertage-Labor) geplant.

Die BGR wurde bereits während der Planungen von der französischen Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA) zur Zusammenarbeit aufgefordert. In diesem Labor werden die Erfahrungen und die Methodik aus dem Mont-Terri-Projekt erstmals zur Charakterisierung einer anderen Tonformation eingesetzt.

Die Zusammenarbeit wird wesentliche neue Erkenntnisse zur Zuverlässigkeit von Methoden, zur Übertragbarkeit von Ergebnissen und zur Beurteilung der Eignung von Tonformationen als Wirtsgestein liefern. Die Beteiligung an den Arbeiten in diesem Labor wird in den nächsten Jahren sicher einen Schwerpunkt der Tonforschung der BGR in Untertage-Labors bilden.

Daneben wird die Beteiligung am Mont-Terri-Projekt zur Sammlung grundsätzlicher Erfahrungen für die Beurteilung von Tonstein, zur Weiterentwicklung von Messmethoden (Charakterisierung von Auflockerungszonen, Inhomogenitäten, Langzeitüberwachung, Laboruntersuchungen des Materialverhaltens) und die Beteiligung an Untersuchungen zu geotechnischen Barrieren und Wirksamkeit von Verschlussmaterialien (langfristiges Verhalten von Auflockerungszonen, Untersuchung von Verschlussmaterialien) weitergeführt werden.



Zone niedriger seismischer Geschwindigkeiten im Bereich der Auflockerung um eine Strecke unter Tage.

Überwachung der Standsicherheit durch Mikroakustik

Aufgrund bergbaulicher Eingriffe entstehen im Gebirge Mikrorisse, z. B. in der Nähe von Hohlräumen. Mit mikroakustischen Messungen werden die beim Rissprozess abgestrahlten hochfrequenten seismischen Wellen erfasst. Da andauernde Mikrorissbildung – bergmännisch als Auflockerung bezeichnet – zu einer Erhöhung der Permeabilität des Gebirges und zu bruchhaften Verformungen führt, kann die Methode zur Beurteilung der Standsicherheit von Hohlräumen und der hydraulischen Integrität im Umfeld eines Endlagers eingesetzt werden. Aussagen zum Ort und zur Intensität der Rissbildung wie auch zu den Rissmechanismen sind mit der Methode möglich. In der Regel werden nur einige kurze Bohrungen für den Einbau von Sonden benötigt, so dass die Methode zerstörungsfrei arbeitet und große Gebirgsvolumina ohne direkten Bohraufschluss untersucht werden können. Der Einsatz der Methode in der Geomechanik zur detaillierten Untersuchung der Rissbildung in größeren Grubenbereichen ist neu, es kann nicht auf serienmäßige Hardware und Software zurückgegriffen werden. Zur Unterstützung der Interpretation der Ergebnisse werden exemplarisch zusätzliche geotechnische Untersuchungen in gezielt gestoßenen Bohrungen durchgeführt.

Die Messungen dienen der Überwachung des Betriebs des Endlagers Morsleben wie auch der Bestätigung von mittel- bis langfristigen Aussagen zur Standsicherheit und zur Integrität, die aus geomechanischen Modellberechnungen abgeleitet werden.

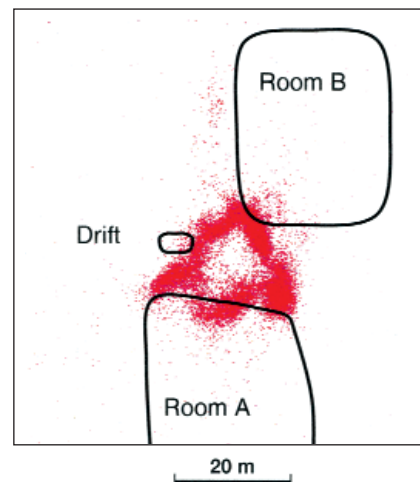
Im Endlager Morsleben wurden in den Jahren 1999 und 2000 zwei mikroakustische Messanlagen mit 24 Sonden betrieben. Die Untersuchungsbereiche haben lineare Dimensionen von ca. 100 m. Die Rissbildungen wurden geortet und die Stärke der seismischen Abstrahlung wurde in Form eines Magnitudenmaßes ermittelt. Darüber hinaus wurden neue Methoden getestet, um Aussagen zum Rissmechanismus zu erhalten. Dabei kann zwischen Scher- und

Öffnungsanteilen beim Rissprozess unterschieden werden, wobei hohe Öffnungsanteile auf eine stärkere Permeabilitätserhöhung hinweisen als überwiegende Scheranteile.

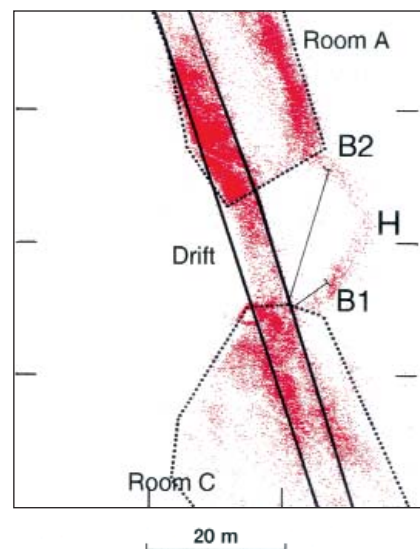
Ergebnisse

Eine der mikroakustischen Messanlagen wird im Bereich von großräumigen Abbauen im Steinsalz unter mächtigen Anhydritschichten im sogenannten Zentralteil betrieben (Lokation 1). Hier werden die meisten Mikrorisse in einigen Zentren im Saumbereich der Abbaue geortet. Im Bereich der stärksten Rissaktivität wurde in gezielt gestoßenen Bohrungen lokal eine deutliche Zunahme der Permeabilität in Stoßnähe festgestellt. Sehr ausgeprägte Clusterungen der Mikrorissbildung findet man im Gebirge in einiger Entfernung von den Abbauen. Sie zeigen z. T. ausgeprägte zeitliche Variationen in räumlich eng begrenzten Bereichen und weisen runde oder ringartige Form auf. Auch hier wurden gezielte Bohrungen zur Unterstützung der Interpretation in einem exemplarischen Fall gestoßen. Es zeigt sich, dass die Mikrorissbildung in Form von Clustern direkt am Übergang von Steinsalz zu Anhydrit stattfindet. Dabei können Rissflächen mit geringen Rissöffnungsweiten in der Größenordnung von Millimetern und mit linearen Ausdehnungen in der Größenordnung von Metern entstehen.

Die zweite Messanlage befindet sich in einem Einlagerungsbereich des Südfelds, wo großräumige Abbaue und eine Strecke eng benachbart aufgeföhren wurden (Lokation 2). Im Vergleich mit den Ergebnissen an Lokation 1 tritt hier eine intensivere Mikrorissbildung in Form von deutlich höheren Ereignisraten auf. Sie konzentriert sich räumlich in schmalen Bändern zwischen den Hohlräumen im Steinsalz (Abbildung oben). Diese sogenannten Scherbänder werden ebenfalls in geomechanischen Berechnungen für Verformungen und Spannungen im Fall solcher Hohlraum-



Mikrorisse (rot) zwischen Abbaukammern im Steinsalz (Vertikalschnitt).



Durch Mikrorisse (rot) dedektierter Hohlraum (H). (Horizontalschnitt; gepunktet = Abbaukammer; durchgezogen = Strecke über den Abbaukammern).

anordnungen ermittelt. Als außergewöhnliche Beobachtung tritt in den Ortungen eine bogenförmige Aktivität auf, die keinem Hohlraum des Streckenplans der Grube zugeordnet werden konnte, aber die Existenz eines Hohlraums als Ursache der Aktivität vermuten ließ (Abbildung unten). Diese Vermutung wurde mit Hilfe von zwei Bohrungen (B1 u. B2) bestätigt, die auf eine aufgegebene Verbindungsstrecke zwischen zwei Abbauen trafen.

Neuere Verfahren zur Bestimmung der Rissmechanismen von Mikrorissen konnten für ausgewählte Ereignisse

erfolgreich angewandt werden. Dieses Problem ist komplizierter als die Ortung und erfordert daher einen höheren Aufwandaufwand. Für Rissbildungen in der Nähe von Hohlräumen findet man, dass auf den Rissflächen sowohl Scherung als auch Öffnung auftritt.

Interpretation

Im Fall von Lokation 1 muss mit der Bildung von Wegsamkeiten für Fluide entlang der Grenze von Anhydrit und Steinsalz gerechnet werden. Die Ursache dafür ist die anhaltende Konvergenz der Hohlräume im kriechfähigen Steinsalz unter den steifen Anhydritschichten. Im Bereich der Hohlräume im Steinsalz wird lokal Auflockerung beobachtet. An Lokation 2 ist die Rissaktivität intensiver als an Lokation 1. Dies lässt auf eine stärkere mechanische Beanspruchung des Gebirges schließen, hier in der Firste von Einlagerungskammern. Mögliche Veränderungen der geomechanischen Situation können an beiden Lokationen mit den mikroakustischen Messungen überwacht werden. Zusammen mit den Ergebnissen von Deformationsmessungen und geomechanischen Modellberechnungen weisen die Messungen darauf hin, dass die Hohlräume z. B. durch Verfüllung stabilisiert werden sollten, um eine langfristige Sicherung zu garantieren.

Die Methode kann prinzipiell auch in anderen Bereichen der Geotechnik als dem Entsorgungsbergbau eingesetzt werden, z. B. im Gewinnungsbergbau, im Tunnelbau und bei der Überwachung von Bauwerken wie Brücken oder Talsperren. Dafür muss aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen eine serienmäßig produzierbare Anlage entwickelt werden und es müssen noch weitere Arbeiten zur tiefergehenden Charakterisierung des Rissprozesses anhand der mikroakustischen Signale durchgeführt werden. Zur geomechanischen Interpretation der Ergebnisse im Zusammenhang mit anderen geotechnischen Untersuchungen können die umfangreichen Arbeiten der BGR im Bereich Geomechanik herangezogen werden.

Abschluss von Solekavernen

Zum Abbau von Steinsalz wird unter anderem das Soleverfahren angewendet. Dabei wird das wasserlösliche Steinsalz (NaCl) aus einem Steinsalzlager ausgesolt (Sole = Salzlauge) und aus der Sole zurück gewonnen. Auf diese Weise entstehen bis zu 500 m hohe Solekavernen mit einem Durchmesser von ca. 60 m. Ist eine Kaverne nicht mehr rentabel, so wird diese verfüllt. Dazu wird diese mit Sole aufgefüllt und die Bohrung verschlossen.

Infolge kriechbedingter Hohlraumkonvergenz und thermischer Effekte bei abgeschlossenen Solekavernen findet ein Druckaufbau in der Kaverne statt. Bei Erreichen eines Grenzdruckes im Top der Kaverne wird das Salzgestein durchlässig (permeabel) und Sole dringt in das Salzgebirge ein (Permeation).

Zur Untersuchung des Prozesses der Permeation wurde ein Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit der Industrie ins Leben gerufen. Dabei wurden die hydraulisch-chemischen Abläufe und der Einfluß thermomechanischer Prozesse besonders untersucht. Die Projektleitung lag bei der BGR, die Finanzierung erfolgte durch AKZO Nobel und DOW Chemical.

Im Forschungsvorhaben wurden verschiedene Labor- und In-situ-Versuche durchgeführt. Diese wurden durch numerische Modellrechnungen unter Berücksichtigung der Löslichkeit, des Kriechens und des thermomechanischen Materialverhaltens von Steinsalz sowie der Kopplung der hydraulischen und mechanischen Prozesse unterstützt.

Die experimentellen Labor- und In-situ-Untersuchungen wurden vom Institut für Gebirgsmechanik in Leipzig (IfG) durchgeführt. Theoretische Grundlagen zur Aufweitung von Korngrenzen infolge Diffusion und Lösung/Ausfällung wurden durch das Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen (ISEB) der Universität Hannover erarbeitet und in entsprechende

Berechnungsmodelle umgesetzt. Das Institut für Baumechanik und Numerische Mechanik (IBNM) der Universität Hannover implementierte ein von der BGR entwickeltes Stoffgesetz in ein institutseigenes FE-Programm, so dass begleitende gekoppelte hydraulisch-mechanische Berechnungen zu den Labor- und In situ-Versuchen durchgeführt werden konnten. Von der BGR wurden FE-Berechnungen zum Druckaufbau von abgeschlossenen Solekavernen ausgeführt und mit Messwerten verglichen und bewertet. Die übergreifende Interpretation der erzielten Ergebnisse oblag der BGR.

Ergebnis

Beim langsamen Druckaufbau kann Sole ohne das Auftreten von Frac-Erscheinungen (Aufreißen) in das Salzgebirge eindringen. Die Permeation der Sole ist somit allein an hydraulische Bedingungen geknüpft.

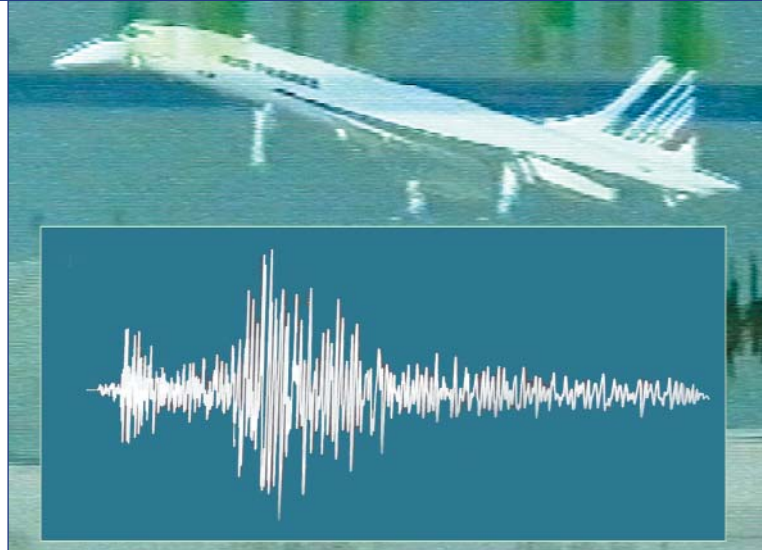
Die Ergebnisse dienen als Basis für die Entwicklung einer sicheren Technik zum langfristigen Abschluss von Solekavernen. Sie bilden außerdem die Grundlage für die Entwicklung geotechnischer Sicherheitskonzepte.

- ALHEID, H.-J., M. KNECHT, J.-Y. BOISSON, F., HOMAND-ETIENNE & PEPA, S. (1999): Comparison of in-situ hydraulic and seismic measurements in the excavation damaged zone of underground drifts.– In: VOUILLE, G. & BEREST, P. (Eds.): Proc. 9th Int. Congress on Rock Mechanics: 1263–1266; Paris.
- BÄUERLE, G., BORNEMANN, O., MAUTHE, F. & MICHALZIK, D. (2000): Origin of Stylolithes in Upper Permian Zechstein Anhydrite (Gorleben Salt Dome Germany).– Journal of Sedimentary Research, **70**, No. 3: 726–737, 19 Fig.; Lawrence, KS.
- BEHLAU, J. & MINGERZAHN, G. (2000): The use of CAD programs for the three-dimensional analysis of geological and geophysical data on the complex folded structures in salt diapirs.– Proc. 8th World Salt Symposium: 83–87, 3 Fig.; Amsterdam (Elsevier).
- BORNEMANN, O., FISCHBECK, R. & BÄUERLE, G. (2000): Investigation of Deformation Textures of Salt Rock from Various Zechstein Units and their Relationship to the Formation of the Salt Diapirs in NW Germany.– Proc. 8th World Salt Symposium: 89–94, 5 Fig.; Amsterdam (Elsevier).
- & BRÄUER, V. (1999): Results of Geological Investigations at the Gorleben Salt Dome, the Potential Repository Site for Radioactive Waste in Germany. – Radioactive Waste Management and Environmental Remediation – Proc. ICEM'99; Nagoya.
- DIEKMANN, N., SCHNIER, H. & SPIES, T. (2000): Geotechnical measurements for safety assessments in different development phases of radioactive waste repositories in salt.– Proc. of GeoEng2000; Melbourne.
- EICKEMEIER, R. & WALLNER, M. (1999): Numerical Calculations with Reference to the Increase of the Brine Pressure Concerning the Temperature Induced Stresses owing to the Varying Temperature Field around the Caverns – Presentation of In situ Measurements.– In: Gekoppelte Probleme der Fluid- und Festkörpermechanik.– ICCES Kolloquium '99; Hannover.
- EISENBLÄTTER, J. & SPIES, T. (2000): Ein Magnitudenmaß für Schallemission und Mikroakustik.– 12. Kolloquium Schallemission, Jena, **72**: 29–36; Berlin (dt. Ges. f. Zerstörungsfreie Prüfung e.V).
- KELLER, S. (1999): Scenario development and analysis for a repository in salt for high radioactive waste; proposal for a screening process (im Druck); Tagungsband des NEA Workshop on Scenario Development, 10–12 May 1999, Madrid.– 17 S., 2 Fig., 2 Tab., 1 Encl., OECD/NEA; Paris.
- KNECHT, M., ALHEID, H.J., VELASCO, M., MAYOR, J.C. & BAUER-PLAINDOUX, C. (1999): The excavation disturbed zone: Geotechnical and mechanical aspects.– In: Thury, M. & Bossart, P.: Mont Terri Rock Laboratory. – Results of the Hydrogeological, Geochemical and Geotechnical Experiments in 1996 and 1997.– Geol. Ber. Landeshydrol. u. -geol., **23**: 171–182; Bern.
- MANTHEI, G., EISENBLÄTTER, J., SPIES, T. & EILERS, G. (2000): Bestimmung von Quellenparametern mikroakustischer Ereignisse im Salzgestein.– 12. Kolloquium Schallemission, Jena, **72**: 173–188; Berlin (dt. Ges. f. Zerstörungsfreie Prüfung e.V).
- SPIES, T. & EISENBLÄTTER, J. (1999): Micro- and macrofracturing at the boundary of rock salt und anhydrite. – In: Vouille, G. & Berest, P. (Eds.): Proc. 9th Int. Congr. on Rock Mechanics (ISRM): 1071 Eds. 1074; Paris, Balkema, Rotterdam.
- & – (2000): Monitoring of microcrack generation around closely spaced excavations in an underground repository.– The 15th International Acoustic Emission Symp., Sept. 11–14, 2000: 275–280; Tokyo, Japan.
- & – (2000): Untersuchung von Clustern der akustischen Emission an geologischen Grenzflächen.– 12. Kolloquium Schallemission, Jena, **72**: 139–150; Berlin (dt. Ges. f. Zerstörungsfreie Prüfung e.V).
- , ALHEID, H.-J. & SCHULZE, O. (2000): Ultraschallseismische Verfahren zur Untersuchung der hydraulischen Integrität des Gebirges.– Glückauf Forschungshefte, **61**, 4: 156–163; Essen.

WALLNER, M., PAAR, W. A. & WERNER, M. (2001): New Results on Cavern Sealing and Permeation Processes. – Proc. Symp. on Cavern Sealing and Abandonment, Solution Mining Research Institute, Fall 2000 Technical Meeting, San Antonio, TX, USA, October 15–18, 2000: 127–135.

WEBER, R., BORNEMANN, O., MINGERZAHN, G. (1998): Lösung und Gase in Salzstrukturen – Beurteilung der Bedeutung für Untertagedeponien.– *Geotechnik*, **21**: 229–234, 5 Abb., 3 Tab.; Bochum.

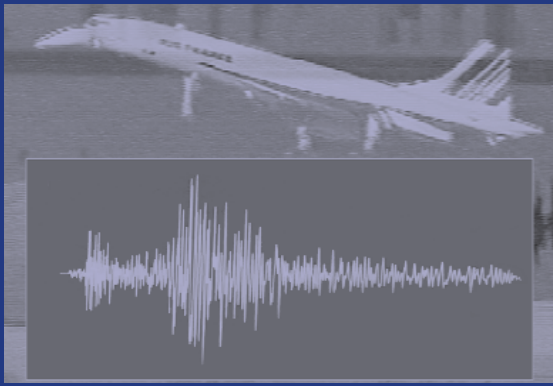
2



*Nationales Seismologisches
Datenzentrum –
Kernwaffenteststoppabkommen*

Die BGR ist das Nationale Datenzentrum Deutschlands zur Überwachung des Kernwaffenteststoppabkommens.

Die weltweit erste, im Rahmen des Kernwaffenteststoppabkommens zertifizierte Infrashallanlage IS 26 der BGR im Bayerischen Wald wurde im Oktober 2000 eingeweiht. Wie das Signal zeigt, ist die Anlage so empfindlich, dass sie sogar den Durchgang der Concorde durch die Schallmauer über dem Ärmelkanal aufnimmt.



Nationales Seismologisches Datenzentrum – Kernwaffenteststoppabkommen

Die Bundesrepublik Deutschland ist mit der Unterzeichnung des Vertrags zum umfassenden Verbot von Nuklearversuchen (CTBT – Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty) im September 1996 gesetzlich verpflichtet, sich an der Verifikation dieses internationalen Abkommens zu beteiligen. Neben technischen Aufgaben, wie Entwicklung und Betrieb eines Datenzentrums und die Beteiligung mit deutschen Messstationen an einem weltweiten Überwachungsnetz, sind damit auch wissenschaftliche Aufgaben verbunden, wie etwa die globale seismologische Überwachung oder die Entwicklung von Verfahren zur Identifikation seismischer Ereignisse.

Aufbau der Infraschallstation IS 26

Die Bundesrepublik Deutschland ist an dem Internationalen Überwachungssystem IMS (International Monitoring System) zur Verifikation des CTBT mit insgesamt fünf Stationen beteiligt, wobei die BGR für den Betrieb von jeweils zwei seismischen und zwei Infraschallstationen – jeweils eine in Deutschland und eine in der Antarktis gelegen – verantwortlich ist, während

die fünfte Station, eine Messanlage für Radionuklide im südlichen Schwarzwald, durch das Institut für Atmosphärische Radioaktivität der Bundesanstalt für Strahlenschutz betreut wird. Von den seismischen Stationen ist das Array GERESS (German Experimental Seismic System) im Bayerischen Wald bereits in Betrieb und überträgt die erfassten Daten zum Internationalen Datenzentrum (IDC) der Internationalen Überwachungsbehörde CTBTO (Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization) nach Wien. Für eine existierende seismische Hilfsstation in der Antarktis wird gegenwärtig in Zusammenarbeit mit der Republik Südafrika der Ausbau auf IMS-Standard vorbereitet. Im antarktischen Sommer 2000/2001 wird die Erkundung eines geeigneten Standortes der vorgesehenen Infraschallstation in Zusammenarbeit mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polarforschung durchgeführt. Die zweite von der BGR zu betreibende Infraschallstation, die im Gebiet der seismischen Messanlage GERESS gelegen ist, wurde aufgebaut.

Bei der Erkundung des Standortes für die Infraschallstation IS 26 (offizielle Bezeichnung der Station im technischen Anhang des Kernwaffenteststoppabkommens) musste geklärt werden, ob diese Region im Bayerischen Wald für die Installation einer derartigen Messeinrichtung geeignet ist. Im Jahr 1997 wurden zusammen mit dem Provisorischen Technischen Sekretariat (PTS) der CTBTO mit vier mobilen Messstationen

potenziellen Standorten durchgeführt. Die Messergebnisse ließen gute Registrierbedingungen für Infraschallsignale erwarten. Es wurde ein Array mit fünf Elementen vorgeschlagen, das besser ist als die vom PTS geforderte Minimalanordnung von vier Array-Elementen. Nach Zustimmung durch das PTS konnte im November 1998 mit den Bauarbeiten begonnen werden. An jedem ausgewählten Messstandort wurde ein ca. 2 m tiefer tonnenförmiger Betonbehälter eingegraben, um die empfindlichen Mikrobarographen gegen Umwelteinflüsse abzuschirmen. Von diesen Behältern wurden Kabeltrassen für die Stromzuführung und Datenleitungen zu dem zentralen Array-Kontrollsystem geführt. In diesem Betonbehälter sind der Mikrobarograph und das System für die Messwertaufnahme untergebracht. Um eine qualitativ hochwertige Aufnahme des Infraschalls zu erhalten, wird dem Mikrobarographen ein Rauschunterdrückungsfilter vorgeschaltet. Das Foto auf S. 38 zeigt den Filter mit einem Durchmesser von 18 m. Die insgesamt 96 Filtereinlässe sind in jeweils vier Gruppen sternförmig angeordnet und bedingen eine Verbesserung des Signal/Rauschverhältnisses bis zu einem Faktor 10, abhängig von der jeweils betrachteten Signalfrequenz. Für Kernsprengungen in der Atmosphäre, die mit Infraschall-Arrays kontrolliert werden sollen, liegt dieser Perioden- bzw. Frequenzbereich zwischen mehreren Sekunden und einigen Hertz.

Nach Beendigung der Baumaßnahmen im Herbst 1999 wurde mit den ersten Infraschallregistrierungen begonnen. Seit Mai 2000 werden die Infraschalldaten von IS 26 über eine Satellitenverbindung von der Array-Zentrale direkt zum IDC nach Wien übertragen. Parallel dazu werden diese Daten zur BGR nach Hannover übermittelt, dort archiviert und mit den Daten des GERESS-Arrays zur seismo-akustischen Auswertung herangezogen. Bei dieser Auswertung wird vor allem die Einfallrichtung der Schallwelle bestimmt. Damit die Infraschallstation IS 26 als offizielle Station des IMS anerkannt werden kann, sind bestimmte technische Spezifikationen zu erfüllen. Im August 2000 erfolgte durch ein Inspektionsteam der PTS eine Vorabnahme. Anfang Oktober 2000 wurde die Station im Rahmen eines gemeinsam von der BGR und dem PTS veranstalteten Infraschall-Workshops in Anwesenheit des Exekutivsekretärs der CTBTO offiziell eröffnet und dem PTS die technischen Unterlagen zur Zertifizierung der Station übergeben. Es ist davon auszugehen, dass IS 26 Anfang 2001 als erste Station des weltweiten Infraschall-Überwachungssystems zertifiziert wird.

Mit dem Infraschallarray IS 26 konnten seit der ersten experimentellen Inbetriebnahme im Oktober 1999 eine ganze Reihe akustischer Signale von unterschiedlichen Quellen aufgezeichnet werden. Neben den Überschallknallsignalen der französischen Concorde, die bis zur Concorde-Katastrophe im Sommer 2000 aufgrund des Linienflugplans regelmäßig täglich zu bestimmten Zeiten beobachtet werden konnten, wurden vor allem Signale von Gewinnungssprengungen lokaler Steinbrüche um die Station registriert. Eine Zuordnung dieser Signale zu bestimmten Sprengorten erwies sich als relativ schwierig, weil die meisten dieser Signale oft nur mit äußerst schwachen seismischen Signalen korreliert sind, so dass eine gemeinsame Interpretation mit den Daten des seismischen GERESS-Arrays häufig nicht möglich ist. Die Empfindlichkeit der Station hinsichtlich des Nachweises akustischer Ereignisse ließ sich anhand der Explosion einer Feuerwerkskörperfabrik im niederländischen Enschede beurteilen. Dieses

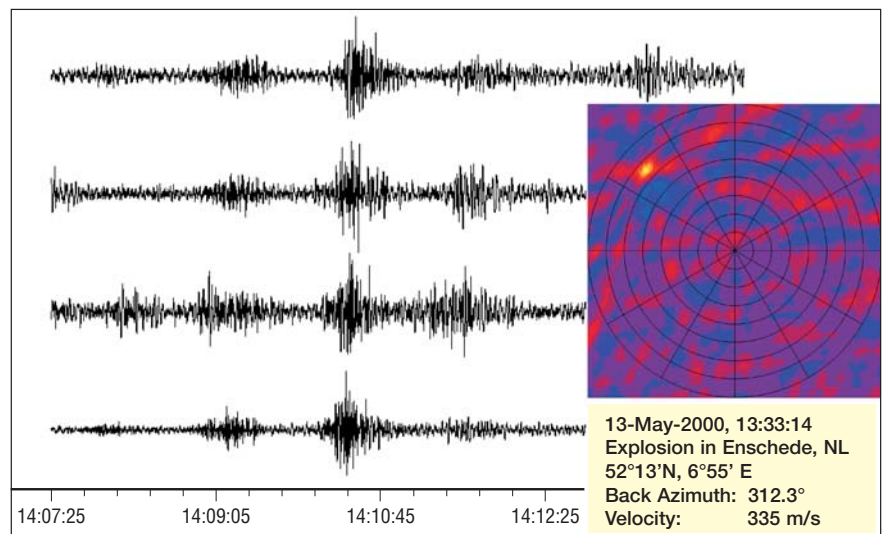


Rauschunterdrückungsfilter für Infraschallsignale, der als sternförmiges Rohrsystem ausgebildet und dem Infraschallsensor vorgeschaltet ist, nach Fertigstellung des Arrayelements.

Ereignis fand mehr als 600 km vom Standort der Infraschallstation IS 26 entfernt statt und lieferte deutliche Infraschallsignale, wie die Abbildung unten zeigt.

Zur Wahrnehmung der seismologischen Überwachungsaufgaben betreibt die BGR neben dem auf der Fränkischen Alb gelegenen Breitbandarray Gräfenberg (GRF) ein Netz von seismologischen Breitbandstationen (GRSN) in ganz Deutschland. Vor allem liefern

diese Stationen aber die grundlegenden Beobachtungsdaten für die seismologische Forschung an den Hochschulen in Deutschland. Diese Daten werden am Seismologischen Zentralobservatorium Gräfenberg (SZGRF) – einer gemeinsamen Einrichtung von BGR und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) – gesammelt und für wissenschaftliche Zwecke bereitgestellt.



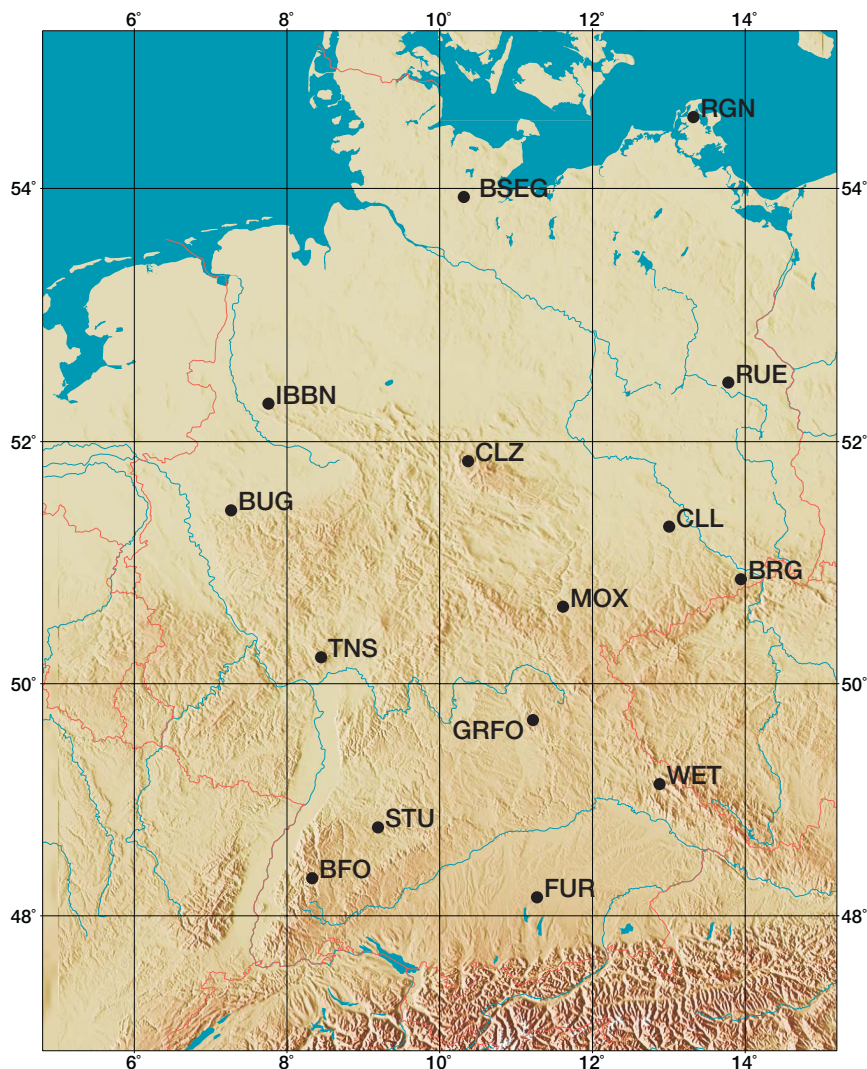
Infraschallsignale einer Explosion bei Enschede (Niederlande) am 13. Mai 2000, die an der Infraschallstation IS 26 in 625 km Entfernung gemessen wurden. Außerdem wird das Ergebnis der Auswertung dieser Signale mittels einer Frequenz-Wellenzahlanalyse gezeigt.

Modernisierung des seismo- logischen Regionalnetzes

Die seismologischen Messstationen des deutschen Regionalnetzes (GRSN) wurden mit Finanzmitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) in den Jahren 1991–1993 errichtet. Die Messpunkte sind weitgehend gleichmäßig über Deutschland verteilt (s. nebenstehende Abbildung). Die Betreuung der Stationen vor Ort wird von lokal ansässigen Institutionen, zumeist Universitätsinstituten, vorgenommen. Die Daten dieser Stationen bilden zusammen mit dem Gräfenberg-Array (GRF) die Grundlage der seismologischen Breitband-Daten in Deutschland. Sie werden kontinuierlich in digitaler Form am Seismologischen Zentralobservatorium Gräfenberg (SZGRF) zentral archiviert und sind über die Internet-Seite '<http://www.szgrf.bgr.de>' zugänglich.

Die fast ein Jahrzehnt lang betriebene Computerhardware zur digitalen Erfassung der seismologischen Messdaten zeigte Alterungsprobleme, verbunden mit hohen Reparaturkosten und Schwierigkeiten bei der Ersatzteilbeschaffung. Auch wegen der Umstellung auf das Jahr 2000 war es notwendig, eine neue Lösung unter Beibehaltung der Einheitlichkeit von Hard- und Software an allen Stationen zu finden, wobei keine Unterbrechung der Datenerfassung auftreten und die Funktionalität der alten Erfassungsssoftware erhalten bleiben sollte.

1999 erhielt die BGR von der Arbeitsgruppe Seismologie des Forschungskollegiums Physik des Erdkörpers (FKPE) den Auftrag zur Errichtung des neuen Systems, das bis Ende 1999 seinen Betrieb aufnehmen konnte. Die Geräte laufen seit der Aufstellung einwandfrei. Auch der Wechsel in das Jahr 2000 verursachte, wie in einem vorangegangenen Test geprüft, keine Störungen des Betriebs. Mit dem Zeitpunkt der Umstellung übernahm die



Karte der seismologischen Messstationen des GRSN (German Regional Seismic Network).

BGR auch die verantwortliche Zuständigkeit für die Überwachung des Betriebs der Stationen und die Sicherung der Datenqualität. Dazu wurden umfangreiche Softwarepakete am Datenzentrum SZGRF entwickelt, die eine weitestgehende Automatisierung der Datenkontrolle und Fehlererkennung ermöglichen.

Mit der gelungenen Modernisierung der Messstationen ist eine Weiterführung der digitalen Registrierungen mit gleicher Qualität auf längere Zeit gewährleistet. Durch die Beschränkung der eingesetzten Hardware auf gängige Standardbauteile gestaltet sich die Wartung der Stationen insgesamt einfacher und preiswerter. Auch kann die

Integration zukünftiger technischer Entwicklungen bei Kommunikations- und Speichersystemen damit leichter durchgeführt werden. Von einer gleichbleibend hohen Datenqualität im Breitband-Datenarchiv des GRSN profitiert nicht nur die Seismologie in Deutschland, sondern, da die Daten in zahlreichen internationalen Projekten genutzt werden, auch die Seismologie weltweit.

Neben der Bereitstellung von Daten für wissenschaftliche Untersuchungen führt die BGR auch eigene seismologische Forschung für die wissenschaftliche Beratung der Ressorts und der Industrie auf dem Gebiet der Seismologie durch.

Das Schwarm- erdbebengebiet Vogtland

Die Erdkruste und der obere Mantel unter dem Vogtland und der angrenzenden Region NW-Böhmen stellen aus geowissenschaftlicher Sicht etwas Besonderes innerhalb der weltweiten kontinentalen Erdkruste dar. Die Einmaligkeit besteht in den periodisch wiederkehrenden Schwarm-erdbeben sowie in dem nachweisbaren Zusammenhang zwischen seismischer Aktivität und dem flächenhaften Austritt von CO₂ an der Oberfläche mit hoher Gasflussrate. Das Gas stammt vermutlich von einem aktiven magmatischen Reservoir im subkontinentalen oberen Erdmantel. Weitere Indikatoren für aktive, die Erdbebentätigkeit steuernde Prozesse sind quartärer Vulkanismus und neotektonische Krustenbewegung, die mit tiefreichenden Bruchstörungszonen (Störungen des Eger-Grabens und die Marienbader Störung) gekoppelt sind. Die seismische Besonderheit des Gebietes ist seit langem bekannt. Bereits vor 100 Jahren wurde hier der Begriff „Schwarmerdbeben“ geprägt und das Vogtland avancierte international zum locus typicus für Schwarmbebenphänomene.

Seismologisch zeichnet sich das Gebiet durch eine bedeutende Aktivität aus, die sich schwerpunktmäßig auf sechs Teilgebiete konzentriert. Die stärkeren Beben mit lokalen Magnituden $ML > 2.5$ häufen sich entlang der Marienbader Störung und treten hier besonders als Erdbebenschwärme auf. Diese Schwarmerdbeben unterscheiden sich von „normalen“ Erdbeben dadurch, dass die in der Erdkruste vorhandene Energie nicht in einem einzelnen stärkeren Erdbeben freigesetzt wird, sondern in Form von Tausenden von kleineren Einzelbeben. Einzelne Schwärme werden hier im Allgemeinen in Volumina von wenigen Kubikkilometern in einer Tiefe zwischen 8 und 10 km lokalisiert. Historisch sicher belegt sind Schwarmerdbeben in der Region seit 1552. Der letzte große Schwarm

ereignete sich mit über 8000 (!) registrierten Beben 1985/86 innerhalb von zwei Monaten. Die lokalen Magnituden erreichten Werte bis $ML = 4.6$. Damit gehört das Gebiet nicht nur wegen der absoluten Anzahl von Beben, sondern auch wegen ihrer Stärke neben dem Rheingraben und der Schwäbischen Alb zu den bedeutendsten Erdbebengebieten Deutschlands. Nach dem letzten großen Schwarm gab es im Abstand von zwei bis drei Jahren weitere kleinere Schwärme mit teilweise mehreren hundert bis tausend Ereignissen und maximalen Magnituden $ML = 3.0$.

Der seit 1986 größte Schwarm fand zwischen dem 28. August und dem 10. November 2000 mit mehreren Tausend registrierten Einzelbeben und Magnituden bis $ML = 3.7$ statt. Die stärkeren Beben dieses Schwarmes wurden von der Bevölkerung in NW-Böhmen sowie im Vogtland und der Oberpfalz als Erschütterung des Bodens deutlich gespürt und zusätzlich als Grollen aus dem Untergrund gehört. Epizentren dieses Schwarmes sind vom Seismologischen Zentralobservatorium Gräfenberg (SZGRF) der BGR in Erlangen geortet worden. Um den Erdbebenschwarm 2000 und seine Ursachen besser untersuchen zu können, wurden im Verlaufe des Schwarmes zusätzliche seismologische Messpunkte vom SZGRF, dem Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) und den Universitäten Freiberg, Jena, Leipzig und München eingerichtet. Nach bisherigen Vorstellungen wird angenommen, dass die Schwarmerdbeben durch die aufsteigenden Fluide in der Erdkruste ausgelöst werden. Um diese Fragen sicher beantworten zu können, wurde vor zwei Jahren ein geowissenschaftlich breit angelegtes Forschungsprojekt gestartet. In diesem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Bündelprojekt arbeiten Wissenschaftler aus der BGR, dem GFZ und aus zehn deutschen Universitäten mit tschechischen Kollegen aus Prag und Brünn zusammen. Von der BGR werden seismologische Untersuchungen zu den Herdmechanismen der Schwarmbeben sowie dem regionalen Spannungsfeld durchgeführt. Die gewonnenen Herdflächenlösungen zeigen starke Ähnlichkeiten innerhalb einer Schwarmepisode und Variationen der Mechanismen zwischen den einzel-

nen Schwärmen bzw. Episoden. Gekoppelt mit Präzisionslokalisierungen können die Beben bestimmten Bruchflächen zugeordnet werden. Diese werden dann mit bekannten geologischen Störungen und Gasaufstiegszonen verglichen. In der BGR ist außerdem der Einsatz einer Messsonde für geochemische Untersuchungen in Vorbereitung. Des Weiteren wird im SZGRF ein Datenarchiv mit allen relevanten seismologischen Daten aus der Region aufgebaut und den am „Vogtlandprojekt“ beteiligten Wissenschaftlern sowie der interessierten Öffentlichkeit über Internet zur Verfügung gestellt.

Generelles Ziel der Erforschung der vogtländischen Schwarmbeben ist es, die Ursachen dieser Beben und die wechselseitigen Beziehungen zwischen Herdmechanismen, Bruchtektonik, Schwerefeld, neotektonischen Krustenbewegungen, Paläospannungsregime, Fluidverhalten und tiefreichenden Gasaufstiegszonen aufzuklären. Das gewonnene Wissen soll dann genutzt werden, um in seismisch aktiveren Regionen der Erde mögliche Vorläufer von stärkeren Erdbeben besser erkennen zu können.

Mehr von uns zu diesem Thema

GEISSLER, W., PLENEFISCH, T., KIND, R., KLINGE, K., KÄMPF, H., BOUSKOVA, A., NEHYBKA, V., SKÁČELOVA, Z. & JACOB, B. (2000): The Moho structure in the Western Eger Rift: A Receiver Function Experiment. – *Studia geophysica et geodaetica*, **2**, 44: 188–194.

STAMMLER, K. (1999): The Regional Data Center at the Seismological Central Observatory Gräfenberg (GRF), Germany. – *CSEM/EMSC Newsletter*, **14**, 5. April 1999.

WIRTH, W., PLENEFISCH, T., KLINGE, K., STAMMLER, K., SEIDL, D. (2000): Focal Mechanisms and Stress Field in the Region Vogtland/Western Bohemia. – *Studia geophysica et geodaetica*, **2**, 44: 126–141.

3



Wasser

Viele Projekte in der Technischen Zusammenarbeit – wie hier im südlichen Afrika – sollen der lokalen Bevölkerung zu einer dauerhaften Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen verhelfen.

Neben der Wasserverfügbarkeit, insbesondere in trockenen Gebieten, spielt die Beschaffenheit des Wassers eine immer wichtiger werdende Rolle.



Wasser

Wasser als natürlicher lebensnotwendiger Rohstoff bildet einen Schwerpunkt in der Arbeit der BGR.

Die Versorgung mit Trinkwasser ist ein Grundbedürfnis des Menschen, die Verfügbarkeit von Wasser geeigneter Qualität ist Grundlage für industrielle und landwirtschaftliche Entwicklung. Die Sicherung der Versorgung mit Wasser kann deshalb in wasserarmen Gebieten zu regionalen und internationalen Konflikten führen. Als Ausbreitungsmedium für Schadstoffe, z. B. aus Deponien und Altlasten, kann Wasser eine große Gefährdung darstellen. Die Beschäftigung mit dem Thema Wasser ist daher von grundsätzlicher Bedeutung.

Zur Beratung der Bundesregierung auf dem Wassersektor deckt die BGR ein weites Feld ab. Die Aufgaben gehen von der Grundwassererkundung und dem Grundwasserschutz über Untersuchungen zur quantitativen und qualitativen Bewertung von Grundwasserressourcen bis hin zu Untersuchungen an Oberflächengewässern und zur Erdwärmenutzung. Partnerinstitutionen in Entwicklungsländern werden unterstützt, entsprechende Aufgaben in ihren Ländern wahrzunehmen.

Entwicklung und Einsatz neuer geophysikalischer, mathematischer und hydrochemischer Methoden und Verfahren sind wesentliche Grundlagen für die kompetente Beratung und Unterstützung. So bedient sich die BGR bei der Erkundung von Grundwassersystemen modernster Methoden aus der Geophysik. Eine besonders schnelle und vielseitige Methode zur Erkundung großer Gebiete, die oft auch nur schwer

am Boden zugänglich sind wie die Nordseeküste mit ihren Wattgebieten, ist mit dem Einsatz des BGR-Hubschraubers und einem dazu entwickelten Mess- und SONDENSYSTEM gegeben.

Das Helikoptersystem der BGR:

- ein Helikopter Sikorsky S 76-B mit Gammastrahlen-Spektrometer, Datenaufzeichnungseinheiten und Navigationsinstrumenten
- eine zigarrenförmige, etwa 9 m lange Flugsonde mit Sensoren des Fünf-Frequenz-Elektromagnetik-Systems (AEM-System), Cäsium-Magneto-

meter, Laserhöhenmesser und GPS/GLONASS zur Festlegung der Messposition.

- Messprinzip: Die Flugsonde wird vom Hubschrauber in 40 m Abstand etwa 30–40 m über Gelände getragen. Bei einer Fluggeschwindigkeit von 150 km/h und zehn Messungen pro Sekunde beträgt der Messpunkt-abstand etwa 4 m.



Hubschrauber mit Sonde vor dem Start.

Eindringen von Meerwasser wird sichtbar

Mit Hilfe des Helikoptersystems wurde die räumliche Süß-/Salzwasserverteilung im Untergrund einer etwa 530 km² großen Küstenregion im Raum Cuxhaven sichtbar gemacht. Die Süß-/Salzwassergrenze läßt sich mit dem Messsystem bis in etwa 80 m Tiefe verfolgen. Das Salzwasser ist z. T. bereits bis zu 10 km von der Nordsee landeinwärts eingedrungen. Es zeichnen sich aber auch Süßwasseraustritte im Watt ab.

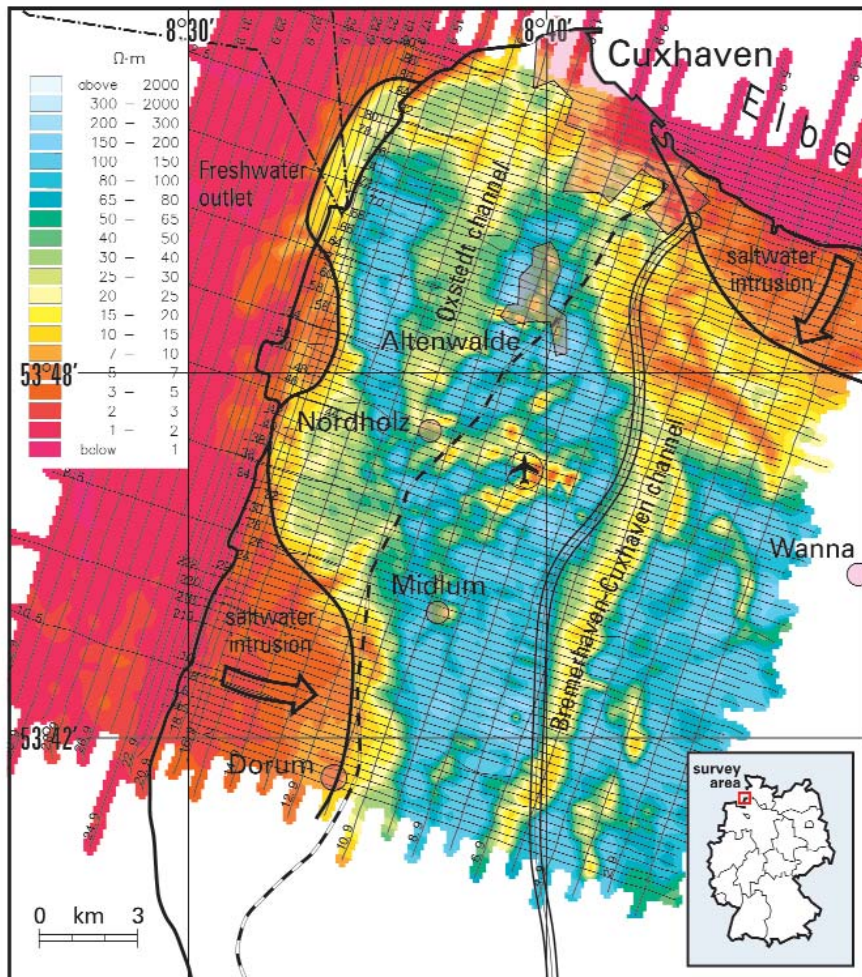
Die Messdaten zeigen außerdem die Tiefenlage der Grundwasseroberfläche und geben Auskunft über lithologische Verhältnisse. Eiszeitliche Rinnenstrukturen

(hier die Rinnen von Oxstedt und Bremerhaven-Cuxhaven) können identifiziert werden, da sie sich aufgrund der niedrigen spezifischen Widerstände eines im Rinnenbereich abgelagerten Tons (Lauenburger Ton) von der Umgebung klar unterscheiden lassen.

Die Ergebnisse sind eine wichtige Grundlage für die Nachbildung der Süß-/Salzwasserbewegung in dieser Küstenregion mit einem Grundwasserströmungsmodell durch das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA, Hannover).

Mathematisch-numerische Grundwassermodelle sind bei der BGR ein wichtiges Werkzeug im Grundwasser-

sektor, z. B. bei der Entwicklung von Managementstrategien für die Bewirtschaftung von Grundwassersystemen oder zur Untersuchung von Süß-/Salzwassersystemen. Mit ihrer Hilfe lassen sich nicht nur die heutigen Systeme beschreiben, sie können auch dazu dienen, die Entwicklung von Grundwassersystemen aus der Vergangenheit bis zum heutigen Zustand zu beschreiben und Auswirkungen von klimatischen Ereignissen in der Vergangenheit, z. B. von Eiszeiten, zu analysieren. Darauf aufbauend können Prognosen über die zukünftige Entwicklung abgeleitet werden, wie sie sich unter sich ändernden Klimabedingungen einstellen würden.



Salzwasserintrusion, Frischwasseraustritte und Rinnenstrukturen im Raum Cuxhaven.

Permafrost und Gletschervorstoß der letzten Kaltzeit bestimmen heutiges Grundwassersystem

Seit Jahren ist aufgrund von Modellrechnungen der BGR bekannt, dass sich die Verteilung von Süß- und Salzwasser in der Umgebung des Salzstocks Gorleben noch verändert. Welche Faktoren aus der Vergangenheit für das Verhalten dieses Grundwassersystems bestimmend sind, ließ sich mit neuen Modellrechnungen für ein großräumiges Modell besser eingrenzen. Dabei wurde die Entwicklung des Grundwassersystems seit der letzten Warmzeit vor 120 000 Jahren mit Hilfe von Strömungsmodellen untersucht.

Paläohydrogeologischer Validierungsansatz:

Globales Ziel:

Nachweis der Einsetzbarkeit komplexer Grundwassermodelle für Langzeitprognosen

Weg:

Paläohydrogeologischer Modellansatz, d. h. Nachvollzug der zeitlichen Entwicklung eines Grundwassersystems während der letzten Eiszeit von einem definierten Anfangszustand aus bis zum heutigen messbaren Zustand

Untersuchungsgebiet:

Elbe-Urstromtal zwischen Moränen der Drenthe- und Weichsel-Eiszeit und unter Einschluß des Gebietes um den Salzstock Gorleben

Begrenzung des Gebietes:

Oberirdische Wasserscheiden, Stromlinien und Oberflächengewässer

Modellzeit:

120 000 Jahre vom Eem-Interglazial über das Weichsel-Glazial bis heute

Ereignisse und Prozesse:

Klimaabhängiger Niederschlag, Permafrostentwicklung, Gletschervorstoß, Salzablaugung, salzgehaltabhängige Wasserdichte

Die Grundwasserströmung ist vom klimatischen Zyklus abhängig, d. h., von der Abfolge kalter und warmer Perioden (Stadiale bzw. Interstadiale) während der Weichsel-Eiszeit (etwa 120 000 bis heute) und der damit verbundenen unterschiedlichen Ausbildung

von Permafrost. Dadurch wechselt die Hauptrichtung der Grundwasserströmung und damit die Ausbildung der Salzwasser- und Süßwasser-Verteilung. Die Lage der Gletscherfront am nördlichen Modellrand während der Hochphase der Weichsel-Eiszeit vor ca. 20 000 Jahren hat einen entscheidenden Einfluss auf die Grundwasser-Verhältnisse. Ein Schmelzwasserzuström an der Basis dieses Gletschers bestimmt Größe und Richtung der Strömung im regionalen Grundwassersystem. Die hochsalinen Wässer in Bereichen über dem Gorlebener Salzstock können vollständig durch Süßwasser verdrängt werden. Die hydraulischen Verhältnisse dieser letzten 20 000 Jahre, d. h., seit Beginn der

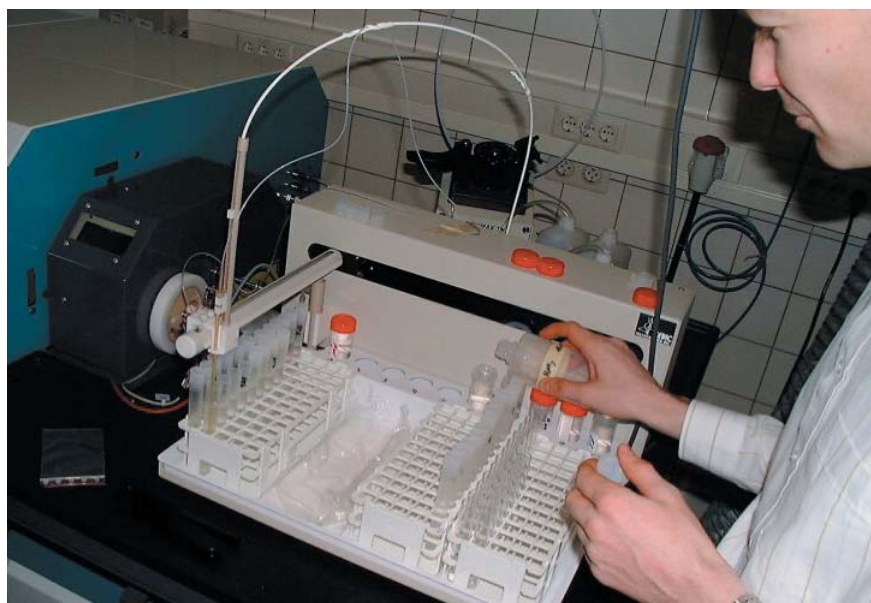
Hochphase des weichselzeitlichen Gletschervorstoßes, sind somit mitbestimmend für das heutige Grundwasserströmungssystem und die Salz-/Süßwasser-Verteilung.

Hydrochemische Untersuchungen bieten mit ihren Ergebnissen eine besonders gute Grundlage für die Sicherstellung der Bevölkerung mit Trinkwasser. Sie erhalten einen immer höheren Stellenwert, z. B. zur Feststellung des Ist-Zustandes der Wasserqualität, zur Kontrolle bei der Überwachung im Nahbereich von Deponien, beim Aufspüren von Verschmutzungsquellen oder bei hydrogeologischen Erkundungsmaßnahmen.

Isotopen als Detektor für Verursacher von Wasserverschmutzungen

Gesundheitsschädliche Stoffe können durch menschliche Aktivitäten oder auf natürlichen Wegen in das Wasser gelangen. Bei der Entscheidung, von welcher Art die Verunreinigung ist, helfen Isotopenverhältnisse von bestimmten natürlich

vorkommenden chemischen Elementen, z. B. Bor. Eine in der BGR neuentwickelte Technik (basierend auf einem Sektorfeld-ICP-Massenspektrometer) erlaubt Messungen der Bor-Isotopenverhältnisse bei einem hohen Probendurchsatz.



Bearbeiter am ICP-ME.

80 % aller in der Natur vorkommenden chemischen Elemente besitzen zwei oder mehr stabile Isotope (Atome des gleichen Elementes mit unterschiedlichen Atommassen). Die Mengenverhältnisse dieser Isotope zueinander variieren nur wenig bei vergleichbarer Herkunft. Beispielsweise beträgt das Verhältnis $^{11}\text{Bor}/^{10}\text{Bor}$ (der Bor-Isotope mit den Massenzahlen 11 und 10): 4,20 im Meerwasser, 4,12 in einem bestimmten Grundwasser in Norddeutschland, 4,04 in waschmittelbelastetem Klärwasser), wobei das Bor im letzten Fall aus überseeischen Lagerstätten stammt.

Für einen Abschnitt entlang des Flusses Innerste wurde der Eintrag von durch Kläranlagen beeinflusstem Flusswasser in das Grundwasser aufgezeigt. Die Bor-Isotopenverhältnisse des Flusswassers und der Grundwassermessstellen mit 91 und 93 $\mu\text{g/l}$ Bor liegen bei etwa 4,05, ein Indiz für Bor aus Waschmitteln. Diese Wässer sind durch Wasser aus der Kläranlage beeinflusst. Im Gegensatz dazu zeigen die beiden anderen Grundwassermessstellen deutlich andere Werte von etwa 4,12. Die Borgehalte von 40 und 20 $\mu\text{g/l}$ dürften somit einen natürlichen Ursprung haben.

Zur Darstellung verschiedenster Ergebnisse hydrogeologischer Untersuchungen und als Planungsgrundlagen werden hydrogeologische Karten verwendet. Neben Karten zum hydrologischen Atlas von Deutschland sowie Arbeiten zur hydrogeologischen Übersichtskarte von Deutschland im Maßstab 1 : 200 000 koordiniert die BGR

Projekt-Information Bolivien

Projekttitel:

Deutsch-Bolivianische Zusammenarbeit auf dem Grundwassersektor
Convenio Aleman-Boliviano de Aguas Subterráneas (CABAS)

Auftraggeber:

Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)

Bearbeiter:

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Servicio Nacional de Geología y Minería (SERGEOMIN)

Ziel:

Stärkung der Leistungsfähigkeit der Abteilung Hydrogeologie (Departamento de Hidrogeología) von SERGEOMIN bei der selbstständigen Wahrnehmung ihrer Aufgaben wie Bewertung, Erkundung und Schutz der Grundwässer des Landes

Maßnahmen:

Aus- und Fortbildung bolivianischer Hydrogeologen und Geophysiker während der Arbeit (on-the-job), in Seminaren und Kursen sowie durch Aufbaustudien in Europa;
Bereitstellung von Ausrüstungsgegenständen für hydrogeologische und geophysikalische Felduntersuchungen.

Aktivitäten:

- Aufbau einer hydrogeologischen Datenbank,
- Aufbau eines Referates Geophysik,
- Erstellung hydrogeologischer Karten,
- Hydrogeologische und geophysikalische Untersuchungen in drei Gebieten des Landes: Zentraltal von Cochabamba, Pampas de Lequezana, Chaco der Provinz Tarija.

zusammen mit der UNESCO seit vielen Jahren die Bearbeitung der Internationalen Hydrogeologischen Karte von Europa (IHME), die die Grundwasserverhältnisse auf dem ganzen europäischen Kontinent beschreibt.

Anlässlich des 29. Kongresses der IAH in Bratislava, September 1999, wurde

der Bearbeitung des Kartenwerkes nach einer jahrzehntelangen Periode der Stagnation und der politischen Neuordnung in Ostmitteleuropa und Südosteuropa ein neuer Impuls gegeben. In Ungarn und Rumänien konnten Blattredakteure für die Blätter D5-Budapest und E5-Bucuresti und außerdem nationale Bearbeiter in insgesamt 14 beteiligten Ländern neu bestimmt werden. Für diese Blätter sowie für das Blatt A5-Lisboa wurden durch die BGR jeweils mehrtägige „Editorial Meetings“ organisiert und erfolgreich durchgeführt, so dass diese drei Blätter mit den dazugehörigen Erläuterungen abschließend bearbeitet und herausgegeben werden können.

Die Entwicklung und Bereitstellung hydrogeologischer, geophysikalischer, mathematischer und hydrochemischer Methoden sowie die Erfahrungen bei der Erstellung und Gestaltung aussagekräftiger hydrogeologischer Karten kommen den weltweiten Projekten der

Internationale Hydrogeologische Karte von Europa (IHME)

Schirmherrschaft:

International Association of Hydrogeologists (IAH)

Unterstützt durch:

Commission for the Geological Map of the World (CGMW)

Koordination und Herausgabe:

BGR in Zusammenarbeit mit United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)

Maßstab:

1 : 1,5 Millionen

Umfang:

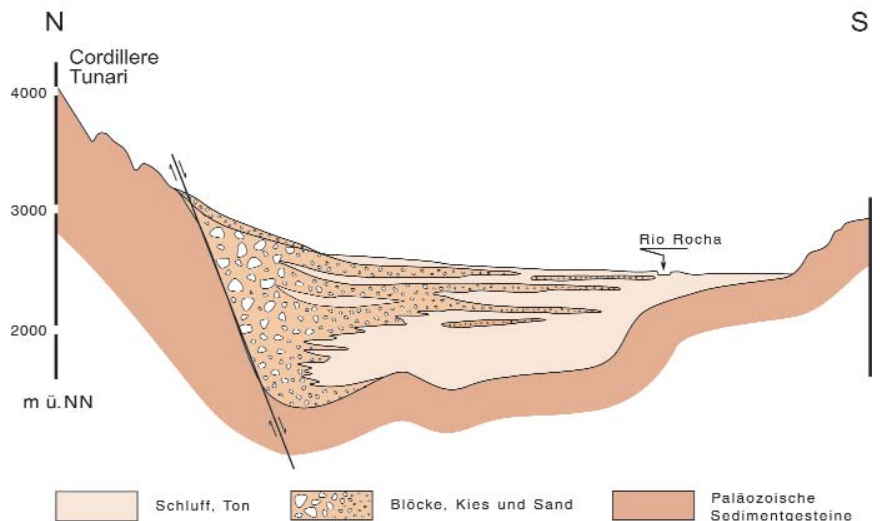
26 Einzelblätter und Erläuterungen, 22 sind fertiggestellt

Technischen Zusammenarbeit zugute. Die Projekte, in denen BGR-Mitarbeiter auf dem Wassersektor tätig sind, verteilen sich auf nahezu alle Kontinente. Ein wichtiger Schwerpunkt ist die Stärkung der jeweiligen Partnerinstitutionen und die Ausbildung ihrer Mitarbeiter. Die folgenden Beispiele aus den Ostkordillern Boliviens sowie dem Norden Jordaniens zeigen den Einsatz der verschiedenen Fachgebiete.

Grundwasser für Cochabamba

Das Zentraltal von Cochabamba ist mit einer Ausdehnung von 1150 km² eines der größten Täler in der Ostkordillere Boliviens. Die in etwa 2550 m über dem Meeresspiegel liegende Talebene wird im Norden von einer Gebirgskette begrenzt, die mit dem Pico Tunari 5035 m Höhe erreicht. Die Grundwasservorkommen des Tals werden für die Trinkwasserversorgung der Halbmillionenstadt Cochabamba genutzt, wobei es jedoch zu Interessenkonflikten mit der ländlichen Bevölkerung kommt. Ein Schwerpunkt in der achtjährigen bolivianisch-deutschen Zusammenarbeit auf dem Grundwassersektor war die geologisch-hydrogeologische Erkundung der Grundwasserressourcen dieses Tales.

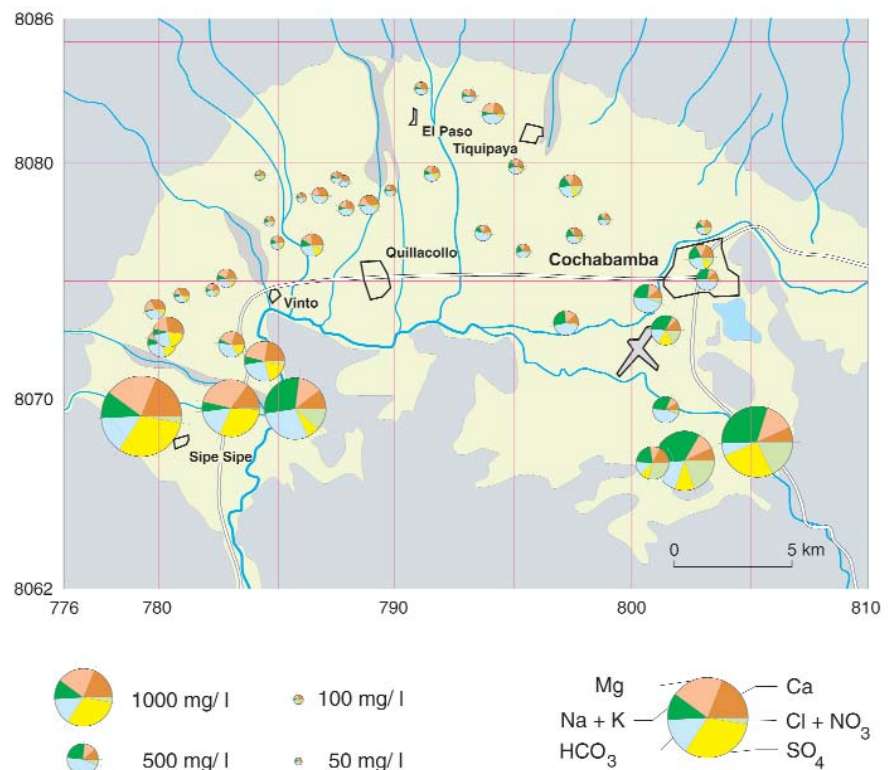
Das Tal ist mit bis zu 1500 m mächtigen Sedimenten gefüllt: Im Norden, am Rand der Kordillere, dominieren fluviale Ablagerungen, wie Blöcke, Kiese und Sande, die nach Süden hin in lakustrine Tone übergehen (Abbildung oben). Die Grundwasserneubildung erfolgt im Wesentlichen im Norden, wo ganzjährig Flüsse in das Tal eintreten und in den Talsedimenten versickern. Nach Süden verringern sich die Durchlässigkeiten der Ablagerungen; zunehmend trennen tonig-schluffige Lagen grundwasserleitende Schichten in verschiedenen Tiefen. Aus Brunnen bis 150 m Tiefe lassen sich hier bis zu 100 m³/h Trinkwasser fördern. Tests in tieferen



Schematisches hydrogeologisches Profil durch das Tal von Cochabamba.

Bohrungen (unter 200 m) lieferten ebenfalls gute Ergebnisse. Mit größeren Tiefen nimmt jedoch die Wasserdurchlässigkeit der Sedimente ab; die Qualität des Wassers wird schlechter, so dass es als Trinkwasser nicht mehr geeignet ist.

Für die Versorgung mit Trink- und Bewässerungswasser spielen die im nördlichen und zentralen Teil des Tales dominierenden, schwach mineralisierten Wässer die wesentliche Rolle. Für das Umland von Cochabamba sind diese



Grundwasservorkommen mit chemischer Beprobung. Die Größe der Kreise entspricht dem Gesamtsalzgehalt.

Wasserressourcen ausreichend, nicht jedoch für den steigenden Bedarf der Stadt Cochabamba selbst. Diese muss deshalb bei der Wassergewinnung künftig verstärkt auf die teurere Erschließung von Oberflächenwasser ausweichen.

Projekt-Information Jordanien

Projekttitel:
Beratung der Water Authority of Jordan (WAJ)

Auftraggeber:
Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)

Bearbeiter:
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Ministry of Water and Irrigation (MWI) / Water Authority of Jordan (WAJ)

Ziel:
Qualifizierung des Fachpersonals der Water Resources Studies Division zur Erstellung von Planungsunterlagen für die Wasserversorgung mit dem Ziel der Sicherung und Verbesserung der Trinkwasserversorgung des Landes

Maßnahmen:

- Aus- und Fortbildung jordanischer Hydrogeologen und Geohydrauliker während der Arbeit (on-the-job), in projektinternen Seminaren sowie lokalen und internationalen Kursen;
- Erarbeitung hydrogeologischer Planungsunterlagen für Nordjordanien;
- Bereitstellung von Ausrüstungsgegenständen für hydrogeologische Felduntersuchungen und Informationstechnologie.

Aktivitäten:

- Aufbau einer DV-gestützten hydrogeologischen Datenbank Nordjordanien
- Erstellung thematischer hydrogeologischer Karten und Fachberichte
- Erstellung von Grundwassermodellen (Nordjordanien, Suwaqa-Qatrana-Hasa, Muwaqqar)
- Bewertung der Grundwasserhöflichkeit des tiefen Sandsteinwasserleiters
- Einführung von Methoden des Grundwasserschutzes (z. B. Verschmutzungsempfindlichkeit, Trinkwasserschutzgebiete)



Fachdiskussionen am Ort einer Tiefbohrung zur Erkundung tiefliegender Wasserressourcen nahe El Lajjun, Jordanien.

Jordanien gehört wegen seiner vergleichsweise großen Bevölkerungszahl bei geringen Niederschlägen zu den Ländern mit extremer Wasserknappheit. Ein Großteil der Bevölkerung konzentriert sich auf wenige Ballungszentren. Die Trinkwassergewinnung ist fast ausschließlich auf Grundwasservorkommen angewiesen, wobei die Grundwasserentnahmen (ca. 505 Mio. m³/a) die Grundwasserneubildung (275 Mio. m³/a) erheblich übersteigen. Unter diesen Umständen ist eine moderne nationale wasserwirtschaftliche Planung unbedingt erforderlich für die nachhaltige Nutzung dieser Grundwasserressourcen sowie die Landnutzungsplanung. Die Voraussetzungen dazu wurden mit dem Projekt durch eine gezielte Qualifizierung der jordanischen Fachleute wesentlich verbessert.

Nachhaltige Ressourcenplanung in Jordanien

Grundlage jeder Planung ist eine ausreichende und aussagekräftige Datenbasis. Eine entsprechende Basis hydrogeologisch relevanter Daten steht nun für den zentralen und nördlichen Teil Jordaniens, vom Jordantal im Westen bis an die irakische Grenze im Osten, zur Verfügung. Die Weiterbearbeitung der Daten erfolgt mit GIS-Methoden. Auf den Daten aufbauende Grundwassermodelle stellen eine entscheidende Voraussetzung für wasserwirtschaftliche Planung und Optimierung von Bewirtschaftungsplänen von Brunnenfeldern dar. Neben einem Grundwassermodell für ganz Nordjordanien, das auf großräumige Planungen abzielt, und regionalen Bewirtschaftungsmodellen zur Versorgung eines Industriegebietes nahe der Hauptstadt Amman sowie von Amman selbst wurden mehrere Grundwassermodelle entsprechend dem Bedarf z. B. für kleinere Brunnenfelder, für künstliche Grundwasseranreicherung oder für die Wasserversorgung von Petra erstellt und betrieben.

Mit der Erfassung der natürlichen Schutzfunktion der Deckschichten über

einem Grundwasserleiter, der daraus resultierenden Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers und der Erfassung möglicher Gefahrenquellen wurden, erstmalig für Jordanien, Aspekte des Grundwasserschutzes für planerische Zwecke aufbereitet und in Karten dargestellt. In leicht verständlicher Form werden der Grad der Grundwassergefährdung in den verschiedenen Gebieten erfasst und Nutzungsempfehlungen bzw. -einschränkungen für diese Flächen dargelegt. Damit stehen für wichtige Entwicklungsgebiete im Raum Irbid und in der Umgebung der Hauptstadt Amman moderne Planungsunterlagen für eine Landnutzungsplanung unter Berücksichtigung des Grundwasserschutzes zur Verfügung.

Mit der Bearbeitung eines Schutzgebietsvorschlages für eine Quelle, die in der Antike zur Versorgung der Stadt Pella im Jordantal diente, wurde der Partner pilothaft mit Methoden zur Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten vertraut gemacht. Die Ergebnisse bilden eine wichtige Voraussetzung für die nachhaltige Sicherung eines bedeuten-

den Teils der Wasserversorgung des Großraumes Irbid. Obwohl bisher in Jordanien einschlägige Gesetze fehlen, mit denen alle für den Grundwasserschutz notwendigen Nutzungseinschränkungen durchgesetzt werden können, beginnt bereits eine Umsetzung der Projektergebnisse. Eine im Einzugsgebiet der Quelle gelegene Mülldeponie wurde von den zuständigen Behörden geschlossen.

Die von der Projektgruppe erarbeiteten Datensammlungen, thematischen Karten, Simulationsmodelle und Fachberichte werden in verschiedenen Fachbehörden, an Universitäten und bei Firmen für praktische Arbeiten genutzt. Die für die Pilotgebiete erstellten Karten zur Abgrenzung von Grundwasserschutzgebieten und zur Darstellung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers bilden für die zuständigen Behörden wichtige Grundlagen für die Landnutzungsplanung. Das Ministry for Water and Irrigation plant, derartige Untersuchungen in anderen Gebieten Jordaniens selbstständig weiterzuführen.

GÄBLER, H.-E. & BAHR, A. (1999): Boron isotope ratio measurements with a double-focusing magnetic sector ICP mass spectrometer for tracing anthropogenic input into surface and ground water.– *Chemical Geology*, **156**: 323–330.

KÖSTERS, E., VOGEL, P. & K. SCHELKES (2000): A Palaeohydrogeological Approach to Regional Density-Dependent Groundwater Modeling: A Case Study in Northern Germany.– In: BJERG, ENGESGAARD & KROM (Eds): *Groundwater*: 105–106; Balkema, Rotterdam.

MARGANE, A., HOBLER, M. & SUBAH, A. (1999): Mapping of Groundwater Vulnerability and Hazards to Groundwater in the Irbid Area, North Jordan.– *Z. angew. Geol.*, **45** (4), 188–197; Hannover.

NEUMANN-REDLIN, C., RENNER, S. & TORREZ, J. (2000): Hidrogeología del Valle Central de Cochabamba, Bolivia.– In: Proc. 1º Congreso Mundial Integrado de Aguas Subterráneas; Fortaleza, Brasil.

PASIG, R., VILLENA, H. & NEUMANN-REDLIN, C. (2000): Hydrogeology of the Chaco Tarijeno (Bolivia).– *Z. angew. Geowiss., Sonderheft SH 1*: Hydrogeology and Environmental Geology: 201–206.

4



Energierohstoffe

Die statische Reichweite unserer fossilen Energierohstoffe ist zeitlich begrenzt. Die BGR untersucht mögliche neue Vorkommen und entwickelt neue Aufsuchungsverfahren innerhalb internationaler Projekte.

Erdgasförderanlagen, wie diese aus dem Gebiet Urengoy im nördlichen Westsibirien, dienen der lokalen Energieversorgung. Deutschland bezieht ein Drittel seines Erdgases aus Sibirien.



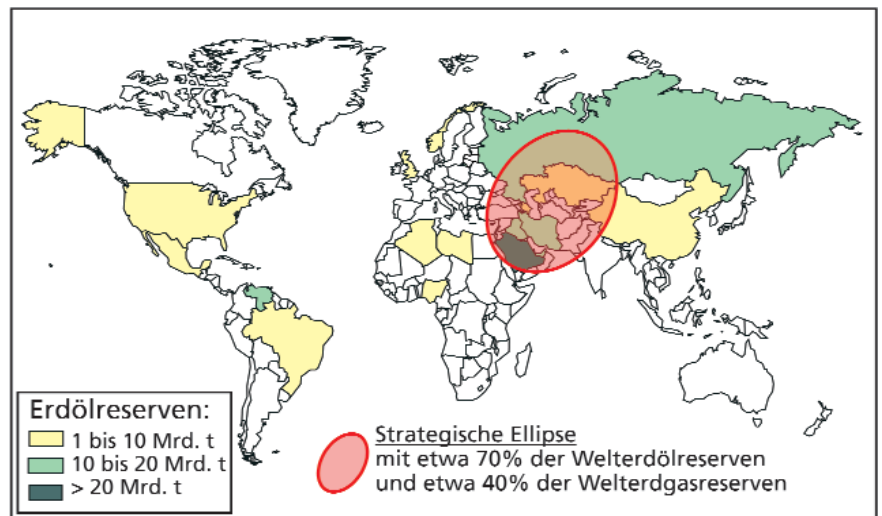
Energierohstoffe

Vom Ende des Erdöl-Zeitalters und der Suche nach neuen Wegen

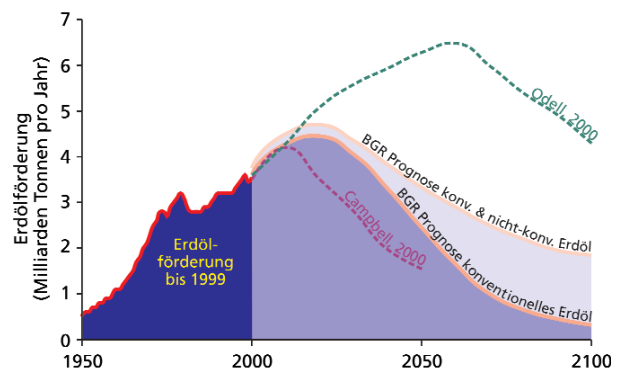
Energie treibt unsere Gesellschaft, unser Leben an. Ob auf dem Weg zur Arbeit, abends vor dem Fernseher oder unter der Dusche, wir konsumieren Energie. Energie gehört heute noch so selbstverständlich zu unserem Alltag, dass wir uns nur selten darüber Gedanken machen, was es zum Beispiel bedeutet, wenn man sagt: „Mein Auto verbraucht 10 Liter Benzin auf 100 km.“ 10 Liter Benzin – das sind 10 Liter eines wertvollen Gemisches aus komplexen Kohlenwasserstoff-Molekülen. Diese wurden auf natürliche Weise in einigen Kilometern Tiefe in den Ablagerungsgesteinen der Erdkruste aus Millionen von Jahre alten Resten von organischem Leben gebildet. Diese Bildung von Erdöl, dem Rohstoff für die Herstellung von Benzin, ist ein einmaliger Vorgang. Und natürlich sind die Vorkommen von Erdöl und Erdgas in den Gesteinen der Erde begrenzt.

10 Liter verbrauchtes Benzin – das sind 10 Liter weniger von einem begrenzten, einmaligen Rohstoff!

Die rasante Entwicklung der Menschheit im 20. Jahrhundert war entscheidend durch die scheinbar grenzenlose Verfügbarkeit von Energie, hauptsächlich in Form von Erdöl, geprägt. Erdöl war der Garant für wirtschaftliches Wachstum, Mobilität und Wohlstand. Erdöl war aber auch Ursache für politische Konflikte. Rund 40 % des Weltenergiebedarfes werden heute noch durch Erdöl gedeckt. Dabei sind die verbleibenden Vorräte von Erdöl auf der Erde nicht gleichmäßig verteilt.



Die „strategische Ellipse“. Auf der Weltkarte sind die Länder hervorgehoben, die heute noch mehr als eine Milliarde Tonnen Erdölreserven besitzen. In den Ländern der sogenannten strategischen Ellipse lagern insgesamt 70 % der Erdölreserven und 40 % der Erdgasreserven.



Globale Erdölförderung bis 1999 und Versuch eines Ausblicks. Im Gegensatz zur Prognose für konventionelles Erdöl werden bei sogenanntem unkonventionellem Erdöl auch die Vorkommen berücksichtigt, die nach heutigem technischem Standard als schwer gewinnbar gelten. Die dargestellten Prognosen der BGR sind in Hiller (1999) veröffentlicht. Zum Vergleich sind zwei extreme Prognosen der Entwicklung der Förderung für konventionelles und unkonventionelles Erdöl dargestellt. Während Odell (2000) einen sehr optimistischen Ausblick gibt, wird das Maximum der weltweiten Erdölförderung nach Campbell (2000) bereits in wenigen Jahren erreicht.

Während die meisten Industrienationen, unter ihnen auch Deutschland und die USA, das Maximum ihrer Erdölförderung bereits überschritten haben, können nur noch Staaten der Organisation Erdöl Exportierender Länder (OPEC) ihre Förderung steigern. Die OPEC verfügt heute über zwei Drittel der bekannten Erdölreserven.

Global nähert sich nun der Zeitpunkt, an dem das vorhandene konventionelle, d. h., leicht gewinnbare Erdöl zur Hälfte aufgebraucht sein wird. Schätzungen über den genauen Zeitpunkt schwanken zwischen wenigen bis 30 Jahren. Von diesem Moment an wird die Erdölförderung zurückgehen und damit der Preis für Erdöl stetig steigen. Diesem Rückgang der Förderung steht ein wachsender globaler Energiebedarf durch die steigende Weltbevölkerung

und ein Nachholbedarf in den Entwicklungsländern gegenüber. Abzusehen ist damit eine Versorgungslücke für Energie, die die Grundlagen unseres globalen Wirtschaftssystems ins Wanken bringen könnte.

Soll ein Aufreißen dieser Versorgungslücke verhindert werden, müssen unkonventionelle Vorkommen von Erdöl zugänglich gemacht werden und andere Energierohstoffe oder Energiequellen müssen rechtzeitig gefunden und bereitgestellt werden. Sogenanntes unkonventionelles Erdöl umfasst alle Vorkommen, die nach heutigem technischem Standard nur schwer gewinnbar erscheinen. Mit fortschreitender technischer Entwicklung werden mehr und mehr bislang als unkonventionell bezeichnete Lagerstätten zu gewinnbaren Vorkommen. So dringt

zum Beispiel die technische Machbarkeit der Produktion von Erdöl in immer größere Wassertiefen der Ozeane vor. War die Suche nach Erdöl bislang auf die Kontinente und Flachwasserbereiche konzentriert, erschließen sich damit an den Rändern der Kontinente ganz neue Zielgebiete. In diesem Zusammenhang führt die BGR weltweit in ausgesuchten Gebieten, wie dem Südatlantik vor Argentinien und Südafrika/Namibia, Studien über die Kohlenwasserstoffhoffigkeit im Tiefwasserbereich der Weltmeere durch. Diese Aktivitäten der BGR erfolgen als Forschung weit im Vorfeld der industriellen Nutzbarmachung. Wichtiger Bestandteil einer jeden Suche nach einem Ausweg aus der sich abzeichnenden Verknappung von Erdöl muss immer die Umweltverträglichkeit der neuen Energiequellen sein.

Das Erdöl- und Erdgaspotenzial der Kontinentränder vor Argentinien und Namibia

Seit dem Beginn der Öffnung des Südatlantiks, als vor etwa 150 Millionen Jahren der alte Gondwana-Kontinent auseinanderbrach, bewegen sich Südamerika und Afrika kontinuierlich voneinander weg. Die dabei absinkenden Ränder der Kontinente füllen sich seither mit dem durch die Verwitterung anfallenden Gesteinschutt der angrenzenden Landmassen. Bis heute haben sich so Sedimentgesteine von mehreren Kilometern Mächtigkeit angesammelt. Diese werden vor Argentinien und Namibia in Wassertiefen bis zu fünf Kilometern angetroffen. Es wird vermutet, dass in diesen Sedimenten Erdöl und Erdgas gebildet werden. Da das Gebiet von der Industrie aufgrund der z. T. großen Wassertiefen bislang kaum untersucht ist, sind Aussagen zum nutzbaren Kohlenwasserstoff-Potenzial schwer möglich. Der bisher einzige Fund einer kommerziellen Lagerstätte – das Gasfeld Kudu – befindet sich vor Namibia. Es ist in seiner endgültigen Ausdehnung noch nicht erfasst, enthält aber wohl mehr als

100 Milliarden Kubikmeter Gas und Kondensat.

Mit zwei geowissenschaftlichen Messfahrten in den Südatlantik vor Namibia (1995) und vor Argentinien (1998/99) verfolgte die BGR unter anderem das Ziel, das Kohlenwasserstoff-Potenzial der Kontinentränder zu untersuchen. Die noch laufenden Arbeiten erfolgen in Zusammenarbeit mit staatlichen Stellen und Firmen beiderseits des Südatlantiks sowie mit inländischen und ausländischen Forschungsinstitutionen. Wichtigste Grundlage für ein Verständnis der Kohlenwasserstoff-Geologie des Gebietes ist der strukturelle Aufbau der Gesteinsschichten im Untergrund. Durch die reflexionsseismische Vermessung der Gebiete wurde die Verteilung der Sedimentschichten sowie deren Struktur an beiden Kontinenträndern aufgenommen.

Da in dem Untersuchungsgebiet kaum detaillierte Informationen über tiefe Gesteinsschichten aus Bohrungen vorliegen, sind weiterführende Studien

auf Methoden beschränkt, die indirekt Auskunft über die Bildung und Verteilung von Erdöl und Erdgas im Untergrund geben können. So wurden Gesteinsproben aus geringen Tiefen nahe dem Meeresboden auf den Gehalt an Erdgaskomponenten und deren isotopischen „Fingerabdruck“ hin untersucht. Damit konnte gezeigt werden, dass beiderseits des Südatlantiks das gleiche Muttergestein aktiv Kohlenwasserstoffe produziert. Auf der südamerikanischen Seite bildet es heute überwiegend Erdöl, während auf afrikanischer Seite hauptsächlich Erdgas gebildet wird.

Unter Einbeziehung aller verfügbaren Daten wird versucht, mit Computersystemen eine sogenannte Beckensimulation durchzuführen. Sie ermöglicht, die Bildung, Migration und Verteilung von Erdöl und Erdgas in komplexen geologischen Strukturen, wie den Kontinenträndern, über die geologische Zeit zu simulieren. Das Ziel dieser Arbeiten in der BGR ist es, eine fundierte

großräumige Bewertung der Kohlenwasserstoffhöffigkeit der Kontinentränder Argentiniens und Namibias zu erhalten.

Eine jetzt schon zur Verfügung stehende Alternative für Erdöl ist Erdgas. Da im Vergleich zu Erdöl die Nutzung von Erdgas wesentlich später begann, ist gegenwärtig erst ein geringer Teil der Erdgasreserven verbraucht. Unter Umweltaspekten schneidet Erdgas im Vergleich der fossilen Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle) am günstigsten ab: Bezogen auf seine Energieausbeute emittiert es die geringsten Mengen CO₂. Allerdings fallen beim Transport von Erdgas höhere Kosten an. Im Vergleich zum globalen Erdölmarkt existieren daher für das Erdgas eher regionale Märkte. Deutschland ist als Teil des europäischen Erdgasmarktes in einer recht günstigen Lage. Mit reichen Vorkommen in Norwegen, den Niederlanden und Russland, aber auch in Ländern Mittelasiens und Nordafrikas kann es in Zukunft auf große Nutzungspotenziale zugreifen. Die konventionellen Vorkommen von Erdgas in Deutschland sind dagegen vergleichsweise gering und gelten insgesamt als bekannt. Sie könnten den Energiebedarf des Landes für die nächsten Jahre bei weitem nicht abdecken. Allerdings geben Untersuchungen in der BGR Grund zu der Annahme, dass sich Erdgas in tiefen, bislang kaum untersuchten Sedimentschichten Norddeutschlands gebildet haben kann. Dies deutet auf ein gewisses, bislang unberücksichtigtes Erdgaspotenzial tief unter Norddeutschland hin.

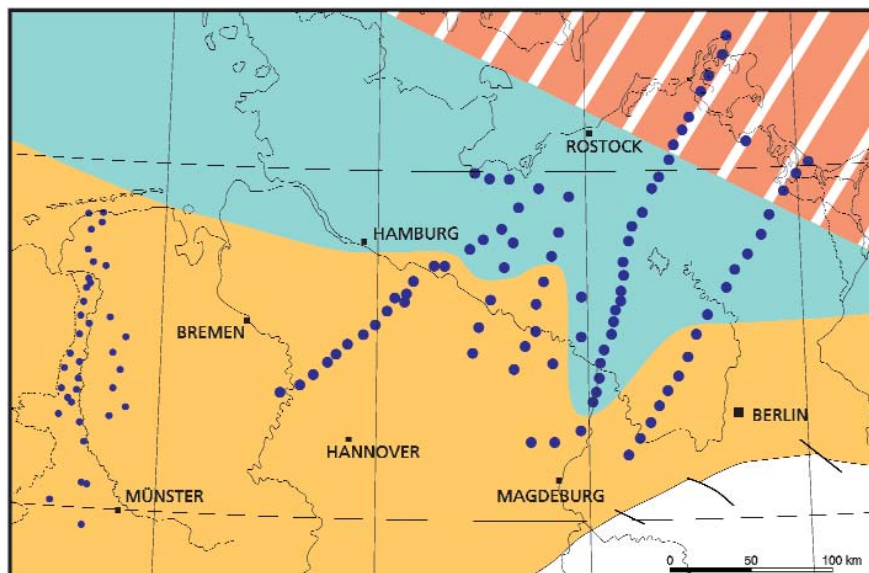
Tiefliegende Erdgas-Muttergesteine unter Norddeutschland

Bei der Erkundung des tieferen Untergrundes der Erdkruste bedient man sich gerne Methoden, die einem von der Erdoberfläche aus Einblicke in die Verteilung bestimmter physikalischer Gesteinseigenschaften in der Tiefe geben. Zu dieser Art von geophysikalischen Methoden gehört auch die Magnetotellurik. Bei diesem Verfahren wird die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund durch Beobachtung des elektromagnetischen Wechselfeldes an der Erdoberfläche bestimmt. Zu den besonders gut leitenden Materialien in der Erdkruste, also zu den Substanzen mit geringem elektrischem Widerstand, zählen dabei auch tiefliegende Sedimente, die sich unter anderem durch einen sehr hohen Gehalt an organischer Substanz sowie durch hohe Eisensulfid-

gehalte auszeichnen. Aus diesen sogenannten Schwarzschiefern kann sich in der Erdkruste Erdgas bilden, weshalb sie auch als Erdgas-Muttergesteine bezeichnet werden.

Magnetotellurische Messungen in den 60er und 70er Jahren in Norddeutschland erbrachten den überraschenden Nachweis gutleitender Schichten im tieferen Untergrund, d.h. in Tiefen von 6 bis 11 km. Zunächst ergab sich keine schlüssige Deutung, worum es sich bei diesen Schichten handelt. Erst in den 80er Jahren deutete man sie als tiefliegende Schwarzschiefer. Bei vorangehenden Untersuchungen zum Erdgaspotenzial waren diese Gesteine kaum berücksichtigt worden.

Seit 1993 wurden von der BGR in Norddeutschland magnetotellurische



- Stationen magnetotellurischer Messungen
- Schwarzschiefer des Kambriums und Ordoviziums
- Schwarzschiefer des Dinant und Namur, potentielle Erdgasmuttergesteine
- Gebiet ohne Schwarzschiefervorkommen
- nicht erkundetes Gebiet

Ergebnisse der magnetotellurischen Vermessung. In Norddeutschland zeichnet sich das Verbreitungsgebiet des als Erdgasmuttergestein geltenden Schwarzschiefers ab.

Messungen an rund 150 Stationen durchgeführt. Damit sollte die regionale Verbreitung sowie die Tiefenlage der Schwarzschiefer bestimmt werden. Die Ergebnisse dieser Messungen (s. Abbildung auf S. 55) zeigen, dass es in Norddeutschland sowohl Gebiete ohne Schwarzschiefer als auch Gebiete gibt, in denen Schwarzschiefer in großer Tiefe existieren. Insbesondere die nachgewiesenen Schwarzschiefer im Süden des Untersuchungsgebietes kommen dabei aufgrund ihrer Tiefenlage als Muttergestein für Erdgas infrage. Aufbauend auf dieser neuen Erkenntnis konnten daraufhin in Gasfeldern im Gebiet der Emsmündung geochemische „Fingerabdrücke“ eines Erdgases identifiziert werden, die diesem tiefen Schwarzschiefer zuzuschreiben sind. Damit wird auch für dessen gesamtes Verbreitungsgebiet ein tiefes, bislang unberücksichtigtes Erdgaspotenzial vorhergesagt. Dies liefert neue Ansatzpunkte für die künftige Exploration von Erdgaslagerstätten in Deutschland.

Je mehr nutzbare Vorkommen von Erdgas, wie auch von Erdöl, bekannt sind, umso aufwendiger müssen die Methoden zur Suche nach den wenigen noch verbleibenden Lagerstätten werden. Mit der stetig steigenden Leistungsfähigkeit in der elektronischen Datenverarbeitung stehen heute Methoden zur Verfügung, die den geologischen Untergrund dreidimensional, wie einen durchsichtigen Glaskasten, bis in Tiefen von mehreren Kilometern durchleuchten können. Aber auch an das Verständnis für die Mechanismen der Bildung von Kohlenwasserstoffen und ihrer Verteilung im tiefen Untergrund werden immer höhere Ansprüche gestellt. Auch in diesem Bereich entwickelt die BGR neue Konzepte, die die Möglichkeiten zur Aufsuchung von Lagerstätten verbessern.

Der „Fingerabdruck“ von Erdgas

Erdgas ist ein Gemisch aus verschiedenen natürlichen Gaskomponenten, wie Methan als Hauptbestandteil, Ethan, Stickstoff und Kohlendioxid. Die genaue Zusammensetzung von Erdgas in einer Lagerstätte ergibt sich aus der Art des Muttergesteins, den Bedingungen, unter denen das Erdgas gebildet wurde, und der Bildungsgeschichte der Lagerstätte. Neben dieser generellen Zusammensetzung des Gases verfügen die individuellen Gaskomponenten über zusätzliche, charakteristische Merkmale. So existieren in Erdgas zum Beispiel zwei Variationen von Methan, die sich nur durch geringe Massedifferenzen voneinander unterscheiden. Seit langer Zeit ist bekannt, dass diese sogenannte isotopische Zusammensetzung von Erdgasbestandteilen benutzt werden kann, um zusätzliche Hinweise auf die Herkunft des Gases zu erlangen. Seit 1997 werden in der BGR in Zusammenarbeit mit dem Forschungszentrum Jülich die Gesetzmäßigkeiten dieses isotopischen „Fingerabdruckes“ von Erdgas im Detail untersucht.

Erdgas-Muttergesteine werden dabei im Labor erhitzt (pyrolysiert) und die Bildung von Methan, Ethan und Propan, als Hauptbestandteile von natürlichem Erdgas, sowie deren isotopische Zusammensetzung systematisch vermessen. Die Ergebnisse dieser Messungen haben es jetzt möglich gemacht, die Isotopie von Erdgasbestandteilen in der natürlichen Umgebung der Gesteine im Untergrund vorherzusagen. Ein Nutzen dieser neuen Methode besteht zum Beispiel darin, mit Hilfe des isotopischen „Fingerabdruckes“ von Erdgasspuren an der Erdoberfläche den Typ des Muttergesteins und seine Tiefenlage abzuschätzen. Darauf aufbauend können Strategien zur Aufsuchung von Erdgaslagerstätten entwickelt werden. In einer anderen Anwendung des neuen Verfahrens wird die isotopische Zusammensetzung genutzt, um die Entstehungsgeschichte bekannter Erdgaslagerstätten zu rekonstruieren. Dieses Vorgehen ermöglicht eine gezielte Suche nach vergleichbaren Lagerstätten.

Die vermutete Menge an unkonventionellem Erdgas übersteigt weltweit die bekannten Vorkommen von konventionellem Erdöl und Erdgas um ein Vielfaches. Der größte Anteil unkonventionellen Erdgases entfällt auf Vorkommen sogenannter Gashydrate. Dies sind feste, eisähnliche Verbindungen aus Erdgas und Wasser, die in Porenräumen der Gesteine unter ganz bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen vorkommen. Diese Voraussetzungen für die Bildung von Gashydraten sind in Sedimenten der Ozeane und der Polarregionen erfüllt. Die BGR untersucht weltweit derartige Vorkommen von Gashydraten und ist an der Entwicklung von Methoden zur Aufsuchung von Gashydratlagerstätten beteiligt. Aufgrund der festen Konsistenz von Hydrat im Porenraum von Gestein ist es jedoch fraglich, inwieweit die immensen Mengen an Gas in Hydratform überhaupt jemals für eine Energieversorgung nutzbar gemacht werden können. Viele der bislang entwickelten Strategien zur Gewinnung von Gas aus Gashydraten würden zudem unangemessene Eingriffe in die Umwelt mit sich bringen.

Es gilt festzuhalten, dass Erdgas zumindest in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts die Rolle von Erdöl als wichtigster Energieträger übernehmen könnte. Tatsache ist jedoch, dass auch Erdgas nur in begrenzter Menge auf der Erde verfügbar ist. War schon das Erdölzeitalter durch die rasante Ausbeutung eines begrenzten Rohstoffes bestimmt, so wäre auch der Übergang in eine durch Energie aus Erdgas bestimmte Phase nicht mit dem Grundsatz der nachhaltigen Nutzung unserer globalen Rohstoffe in Einklang zu bringen. Neben regenerativen Energien, wie Sonne und Wind, verspricht die Nutzung von Erdwärme eine vielversprechende Alternative zu Energie aus fossilen Energieträgern zu werden. In einem Pilotprojekt im Verbund mit Forschungseinrichtungen und der Industrie entwickelt die BGR neue Methoden zur wirtschaftlichen Nutzbarmachung dieser sogenannten geothermischen Energie in Deutschland.

Geothermische Energie aus heißen Tiefengesteinen

Geothermische Energie ist zweifellos das Aschenputtel unter den erneuerbaren Energiequellen. Ausdauernd, zuverlässig, sauber, Tag und Nacht, sommers wie winters einsetzbar, aber weitgehend im Verborgenen versorgt sie seit Jahrzehnten Menschen mit Strom und Wärme. Große Bedeutung hat sie in Ländern mit jungem Vulkanismus, dort, wo heißes Wasser oder Heißdampf in geringen Tiefen anzutreffen sind. In Ländern wie Deutschland muss man dagegen tief bohren, um auf ausreichend hohe Temperaturen zu stoßen. In den meisten Regionen steigt die Temperatur mit jedem Kilometer Tiefe um 30 °C. Jede Gemeinde hütet daher in ihrem Untergrund einen Vorrat an Erdwärme, der ihren Wärme- und Strombedarf für das nächste Jahrtausend decken könnte. Allerdings kann geothermische Energie derzeit nur dann wirtschaftlich genutzt werden, wenn im Untergrund hochdurchlässige Gesteinsschichten existieren. Da optimale Voraussetzungen nur an wenigen Standorten gegeben sind, birgt jede Geothermalbohrung ein erhebliches Fündigkeitsrisiko und ihre thermische Leistung kann nur mit großer Unsicherheit vorhergesagt werden. Dies ist ein entscheidender Grund dafür, dass geothermische Energie – gemessen an ihrem Potenzial – bis heute nur wenig genutzt wird.

Ein Durchbruch bei der Erdwärmennutzung in Deutschland und vielen anderen Ländern setzt eine Fördermethode voraus, die eine Wärmeproduktion auch aus geringer durchlässigen Gesteinen ermöglicht und kalkulierbar macht. Ein entscheidender Schritt in diese Richtung ist die Anwendung der Frac-Technik (Hydraulic-Fracturing). Die aus der Erdölindustrie stammende Technik wurde in den letzten 20 Jahren erfolgreich in der Hot-Dry-Rock-Forschung (HDR-Forschung) eingesetzt, um damit Wärme aus heißen kristallinen Tiefengesteinen (Granit) zu gewinnen. Bei diesem Verfahren werden im Gebirge durch hohen Wasserdruck Risse erzeugt.

Im europäischen HDR-Forschungsvorhaben „Soulitz“, an dem die BGR von

Beginn an beteiligt ist, wurde mit diesem Verfahren ein über 3 km² großes Rissystem erzeugt. Es gelang, zwei Tiefbohrungen über eine Entfernung von 500 m hydraulisch zu verbinden. Aus diesem Wärmetauschersystem wurde während eines Zirkulationstests eine Fördertemperatur von mehr als 140 °C erzielt. Die über vier Monate produzierte Wärme entsprach dem Jahreswärme- oder -strombedarf von ca. 1000 Haushalten. Um einen höheren Wirkungsgrad bei der Wärme-Stromwandlung erzielen zu können, wurde im Winter 1998/99 eine der bestehenden Tiefbohrungen auf 5080 m vertieft. Die im Bohrlochtiefsten gemessene Gesteinstemperatur von 201 °C bestätigte die optimistischen Prognosen und ist für eine effiziente Stromerzeugung ausreichend. In einer der weltweit größten und tiefsten Frac-Operationen wurde ein rund 1,5 km² großes Rissystem im Tiefenbereich zwi-

schen 4000 und 5500 m geschaffen. Die tektonischen Bedingungen im Oberrheingraben begünstigten die Risserzeugung und limitierten den benötigten Frac-Druck auf ca. 150 bar. Durch Ortung der bei der Rissausbreitung ausgelösten Bruchgeräusche konnten die Lage und die Orientierung dieses Rissystems mit hoher Genauigkeit bestimmt werden. Erste Tests ergaben, dass der neue Wärmetauscher neben der hohen Temperatur auch günstige hydraulische Eigenschaften aufweist.

Unter der Leitung eines Industriekonsortiums der Stromversorger EDF und EDS, Frankreich, Pfalzwerke, Deutschland, und ENEL, Italien, sowie der Firma Shell werden in den kommenden Jahren zwei weitere Tiefbohrungen niedergebracht. Wenn durch weitere Frac-Tests das weltweit tiefste HDR-System komplettiert ist, kann in rund vier Jahren zum ersten Mal Strom ins Netz eingespeist werden.



Die Geothermie-Anlage Soulitz bei einem Zirkulationstest.

GeneSys – Die Nutzung der Erdwärme im Geozentrum Hannover

Am 1. April 2000 ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz in Kraft getreten. Es sieht vor, bis 2010 den Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Energie- und Stromverbrauch in Deutschland zu verdoppeln.

Eine natürliche Quelle an erneuerbarer Energie ist auch die Erdwärme. Weit verbreitet ist bereits heute die Nutzung von Erdwärme aus der oberflächennahen Bodenschicht mittels erdgekoppelter Wärmepumpen. Die Nutzung des riesigen Wärmeverrats des tiefen Untergrundes steht dagegen noch in den Anfängen und ist derzeit an das Vorkommen heißer Thermalwässer gebunden. Rund 25 Anlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 50 MW nutzen bis zu 100° C heiße Thermalwässer aus Tiefen bis zu 2500 m.

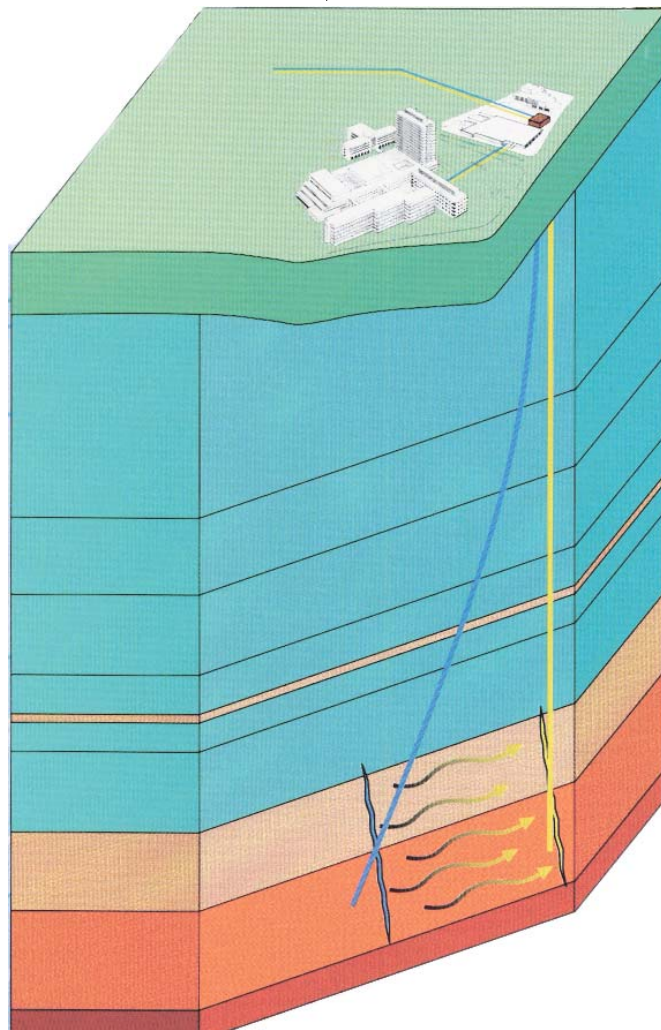
Die heißen Wässer werden bevorzugt für Heizzwecke oder Thermalwässer genutzt. Vorhandene Heizzentralen haben die Vorteile für die langfristige Wärmeversorgung demonstriert:

- Sie haben eine hohe Versorgungssicherheit unabhängig von der Jahres- und Tageszeit,
- sie verbrauchen keinen Brennstoff,
- sie haben relativ geringe Investitions- und Wartungskosten,
- sie sind umweltfreundlich und vermeiden Schadstoffemissionen.

Die Nutzung der Erdwärme mit konventioneller Technik ist an die geologische Beschaffenheit des Untergrundes gebunden. Eine wichtige Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz sind hochdurchlässige Gesteinsschichten.

Diese müssen durch Bohrungen erkundet werden. Jede Thermalbohrung ist daher ein Risiko, da der Nachweis der Wirtschaftlichkeit unsicher ist. Das Risiko kann durch geologische und geophysikalische Untersuchungen bis zu einem gewissen Grade eingegrenzt werden, lässt sich aber vorher nicht gänzlich ausschließen.

Wissenschaftliche Voruntersuchungen des Geozentrums Hannover haben dazu



Prinzipische Skizze der Geothermie-Bohrung unterhalb des Geozentrums Hannover.

geführt, Überlegungen für eine Nutzung der Erdwärme am Standort Hannover zu konkretisieren. Nach den Voruntersuchungen zeigt sich, dass in 3500 m Tiefe Temperaturen von ca. 120–140° C vorhanden sind, die als Voraussetzung für eine Erdwärmenutzung ausreichen.

Im Geozentrum Hannover wird durch die BGR, das NLFb und die GGA die Untersuchung der Erdwärmenutzung seit 20 Jahren mit dem Hot-Dry Rock-Verfahren betrieben. Dieses ermöglicht es, auch Gesteine mit geringer hydraulischer Durchlässigkeit (Permeabilität) geothermisch zu nutzen.

Deshalb wurde der Vorschlag entwickelt, am Standort die in Tiefen zwischen 2800 und 3500 m liegenden Zielhorizonte des Muschelkalkes und des Buntsandsteins auf ihre Nutzung hin zu untersuchen.

Das Demonstrationsvorhaben „Generierte Geothermische Energie Systeme (GeneSys)“ soll mit einer ca. 3500 m tiefen Produktionsbohrung im Jahr 2001 beginnen. Die Vorarbeiten und Antragsverfahren für dieses Projekt wurden in den Jahren 1999 und 2000 bereits begonnen.

Im Angesicht der Begrenztheit der nicht erneuerbaren Energierohstoffe erscheint es umso erstaunlicher, wie gering heute noch die Einschränkungen der Energienutzung in unserem Alltag sind. Mit plötzlichen Anstiegen der Erdölpreise in der jüngeren Vergangenheit rückte die Frage nach der Reichweite und Verfügbarkeit der Energierohstoffe, aber auch nach Alternativen zu den fossilen Energieträgern (Erdöl, Erdgas und Kohle) verstärkt in das Bewusstsein der Öffentlichkeit. Gerade in diesen Bereichen können die Geowissenschaften Antworten auf die drängenden Fragen geben. Die BGR beschäftigt sich u. a. in der Studie „Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen 1998“ mit diesem Thema.

Der Preis für Energierohstoffe wird bisher hauptsächlich durch marktwirtschaftliche Faktoren gesteuert, denn die Versorgung Deutschlands mit Energierohstoffen ist Aufgabe der Wirtschaft. Der Staat sorgt für die Rahmenbedingungen und stellt der Wirtschaft eine technisch-wissenschaftliche Infrastruktur zur Verfügung. Als ein Bestandteil dieser Infrastruktur befasst sich die BGR mit dem Thema Energierohstoffe. Dabei ist es die Aufgabe der BGR, die Bundesregierung, die deutsche Wirtschaft und Partner in Schwellen- und Entwicklungsländern zu beraten. Auf dem Gebiet der Energierohstoffe kann die BGR auf große Erfolge in der Technischen Zusammenarbeit blicken. So konnten zum Beispiel durch die langjährige Zusammenarbeit der BGR mit der nationalen Erdölgesellschaft von Bangladesch bedeutende Erdgaslagerstätten aufgefunden werden.

Erdgasfund in Bangladesch

Bangladesch ist eines der Länder mit dem höchsten Bevölkerungswachstum und geringstem Energieverbrauch pro Kopf. Seit Jahren steigt jedoch die Nachfrage nach kommerzieller Energie in Bangladesch kontinuierlich an. Eine ausreichende Bereitstellung von Energie ist auch künftig wichtig für die Entwicklung des Landes und die Lebensqualität seiner Menschen.

Die BGR ist seit 1977 im Auftrage der Bundesregierung (BMZ) mit der Beratung der nationalen Erdölgesellschaft PETROBANGLA und später ihrer Tochtergesellschaft BAPEX (Bangladesh Petroleum Exploration & Production Co. Ltd.) betraut. Die Beratung konzentrierte sich auf Bewertungen der Erdöl- und Erdgashöffigkeit im Norden Bangladeschs mit einem umfangreichen geophysikalischen Messprogramm (zusammen mit Prakla Seismos GmbH). Hierbei wurde mit Hilfe der BGR-Beratergruppe und durch ein mit deutscher Unterstützung finanziertes Tiefbohrprogramm das Erdgasfeld Beani Bazar (mit über 3 Mrd. m³ derzeit gewinnbarer Erdgasreserven) gefunden. In den Folgejahren wurden drei weitere Erdgasfelder, Fenchuganj, Jalalabad und Moulawi Bazar, mit Reserven von zusammen über 50 Mrd. m³ Erdgas und über 2 Mio. t Kondensat nachgewiesen. BAPEX konnte zusätzlich den Erdgasfund Shahbazpur mit über 9 Mrd. m³ Erdgasreserven tätigen.

Anfang 2000 begann eine neue dreijährige Phase der Technischen Zusammenarbeit zwischen BGR und BAPEX. Die Hilfe konzentriert sich jetzt auf die Ausbildung junger Geowissenschaftler in Erdölgeologie und Explorationsgeophysik. Dies geschieht „on the job“ durch Anleitung bei der Durchführung der täglichen Arbeit sowie durch Weiterbildung in Kursen und Seminaren in Bangladesch und im Ausland. Ferner wird das Management der BAPEX bei der Verbesserung der Organisationsstruktur und internen Arbeitsabläufe beraten. BAPEX soll dabei unterstützt werden, eigenständig sowie als kompetenter Partner der in Bangladesch operierenden internationalen Erdölge-

sellschaften das einheimische Erdgas zu erschließen und damit zur Versorgung des inländischen Marktes beizutragen. Aufgrund der stark steigenden inländischen Nachfrage nach Erdgas, was sich in zunehmender jährlicher Förderung aus den heimischen Erdgasreserven widerspiegelt, werden die eigenen Reserven bald erschöpft sein, wenn keine neuen Felder erschlossen werden. Wird optimistisch angenommen, dass in Zukunft die Auffindung neuer einheimischer Felder ähnlich erfolgreich ist wie seit 1975 und der jährliche Anstieg in der Erdgasförderung zwischen 3 und 6 % nicht übersteigt, hat Bangladesch für die nächsten 25 Jahre inländisches Erdgas für die Entwicklung des Landes zur Verfügung. Parallel müssen alternative Energiekonzepte entwickelt werden.

Es ist wahrscheinlich, dass uns in 20 Jahren ein Auto, das auf 100 km Strecke 10 Liter Benzin verbraucht, als Energieverschwendung erscheint. Das Erdöl-Zeitalter geht unweigerlich zu Ende. Wie das neue Energie-Zeitalter aussehen wird, beginnt sich gerade erst abzuzeichnen. Die BGR ist bestrebt, ihren Beitrag zur Sicherung einer sinnvollen Energieversorgung im Rahmen einer Daseinsvorsorge für kommende Generationen zu leisten.

- BARTHEL, F. et al. (1999): Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen.– Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, BMWi-Dokumentation, 465: 62 S., ISSN 0342-9288; Bornheim (Chudeck Druck Service).
- CRAMER, B., FABER, E., GERLING, P. & KROOSS, B.M. (2000): Reaction kinetics of stable carbon isotopes in natural gas – new insights from laboratory pyrolysis experiments. – 19.04.00 subm. to Energy & Fuels, **15** (3): 16 p.
- , Gaschnitz, R., Krooss, B.M. & Gerling, P. (1999): Erdgas aus Kohle – Modelle zur Bildung und Isotopie. – DGMK Tagungsbericht, 9901: 43–53.
- EICKHOFF, G., HILLER, K. & REMPEL, H. (2000): Zukünftige Energieverfügbarkeit.– Elektrizitätswirtschaft **99**, 3: 47–51, 1 Abb., 1 Tab.; Frankfurt (Main).
- HILLER, K. (1999): Verfügbarkeit von Erdöl. – Erdöl, Erdgas, Kohle, **115**, 2: 50–54, 7 Abb.; Hamburg, Wien.
- (2000): Madagaskar Hydrocarbons. – BGR Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien **XXII**: 23 S., 7 Abb., 1 Anl.; Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung)
- HOFFMANN, N., JÖDICKE, H., FLUCHE, B., JORDING, A. & MÜLLER, W. (1998): Modellvorstellungen zur Verbreitung potentieller präwestfälischer Erdgas-Muttergesteine in Norddeutschland – Ergebnisse neuer magnetotellurischer Messungen.– Z. angew. Geol., **44** (3): 140–158.
- , – & GERLING, P. (2001): The distribution of Pre-Westphalian Source Rocks in the North German Basin – Evidence from Magnetotelluric and Geochemical Data. – Geologie en Mijnbouw; Dordrecht, The Netherlands. – (in press).
- KEHRER, P. & HILLER, K. (2000): Experience Curves in Exploration and Production of Petroleum.– In: WENE, C.O., VOSS, A. FRIED, D. (Hrsg.): Experience Curves for Policy Making – The Case of Energy Technologies.– Proc. IEA Internatl. Workshop, May 1999: 241–252; Stuttgart.
- & – (2000a): Erfahrungskurven bei der Suche nach und Förderung von Erdöl. – Erdöl, Erdgas, Kohle, **116**, 9: 427–430, 12 Abb.; Hamburg, Wien.
- REMPEL, H., KEHRER, P. & KRUSE, B. (2000): Der Kaspische Raum – Rohstoffwirtschaft im Schnittpunkt wirtschaftlicher und politischer Interessen. – Z. angew. Geol., **46** (2000) 2: 110–118, 7 Abb., 3 Tab.; Hannover.
- SCHMIDT, S., GERLING, P., CRAMER, B. & NEBEN, S. (2001): Das Kohlenwasserstoff-Potenzial der konjugierenden Kontinentalränder von Argentinien und Namibia/Südafrika. – DGMK Tagungsbericht, Frühjahrstagung – Aufsuchung und Gewinnung –, 26.–27. April 2001; Celle.– (in press).
- WELLMER, F.-W. & BECKER-PLATEN, J.D. (Hrsg) (1999): Mit der Erde leben: Beiträge Geologischer Dienste zur Daseinsvorsorge und nachhaltigen Entwicklung. – XI + 273 S., 143 Abb., 40 Tab.; Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- , BARTHEL, F. & HILLER, K. (2000): Fossil Energy Resources and Availability.– VDI Proc. World Engineers Convention EXPO Hannover: 245–267.

5



Boden

Boden ist nicht vermehrbar. Diese kostbare Ressource muß vor Schädigung und Zerstörung bewahrt werden, um die Versorgung mit Nahrungsmitteln nachhaltig zu gewährleisten.

Versalzung und Erosion gehören zu den Problemen, mit denen wir uns beschäftigen.



Boden

Die Bedeutung der Böden für nachhaltige Entwicklung hat in den zurückliegenden Jahren zugenommen. Als Meilensteine sind die Konferenz in Rio 1992 ebenso zu nennen wie die UN-Konvention zur Bekämpfung der Wüstenbildung und – auf nationaler Ebene – das Inkrafttreten des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) am 1. März 1999. Wesentliche Gründe für die zunehmende Sorge um das Medium Boden sind z. B.:

- die anhaltende Versiegelung der Böden durch Bebauung und Verkehrswege,
- Verluste wertvollen Bodens durch Erosion und Verdichtung sowie
- stoffliche Belastungen von Böden und Grundwasser.

Weitere Bedeutung gewinnt der Boden gegenwärtig im Zusammenhang mit der Klimadiskussion in seiner Rolle als Quelle und Senke für CO₂ und auch als wirtschaftliches Gut im Zusammenhang mit der Globalisierung der Märkte. Auch die Funktion des Bodens als Filterkörper wird aufgrund von Anforderungen der europäischen Wasserrahmenrichtlinie, Zulassungsverfahren für Pflanzenschutz- und Düngemittel sowie der Novellierung der EU-Klärschlammrichtlinie zunehmend wichtiger.

Angesichts der dargestellten Problematik wird bei der BGR weiter daran gearbeitet, die für die Bewertung von Bodennutzung und Bodenschutz geeigneten Informationen im FACHINFORMATIONSSYSTEM BODENKUNDE FISBo BGR

bereitzustellen und für die Politikberatung auszuwerten. Schwerpunkte dieser Arbeiten sind:

- die Herausgabe einer bundesweit einheitlichen Bodenübersichtskarte 1 : 200 000 in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Länder,
- die Fortentwicklung der Bodenübersichtskarte 1 : 1 Mio. durch Verschneidung mit Angaben zur Landnutzung und anderen bodenrelevanten Parametern,
- die Entwicklung von Themenkarten z. B. im Zusammenhang mit der Herausgabe des Hydrologischen Atlases von Deutschland,
- die Aufbereitung bodenrelevanter Informationen und Methoden für Auswertungen im FISBo BGR sowie
- die Verbesserung der zu diesen Bodenkarten im Aufbau befindlichen Labor- und Profildatenbanken.

Durch die oben dargestellten Initiativen zum Thema Boden auf europäischer und internationaler Ebene war die BGR bei der Entwicklung von Indikatoren zur Bodendegradation (besonders Bodenerosion) aktiv. Die Arbeiten im Rahmen des Aufbaus eines europäischen Bodeninformationssystems EUSIS wurden fortgesetzt, die ihrerseits durch das European Soil Bureau in Ispra (Italien) koordiniert werden. Hierzu zählt der Aufbau der „Georeferenced Soil Database for Europe 1 : 250,000“. Grundlage dieser Datenbank ist das von einer internationalen Expertengruppe mit BGR-Beteili-

gung erarbeitete Manual of Procedures, das alle Arbeitsschritte, Methoden und Darstellungsverfahren für dieses digitale Kartenwerk enthält. Bestandteil dieses Manual of Procedures ist u. a. die von der BGR erarbeitete „Soil Regions Map of Europe 1 : 5,000,000“, die einen groben Überblick über die Verbreitung der wichtigsten Bodenregionen in Europa gibt.

Der BGR-Themenschwerpunkt „Stoffgehalte und Stoffmobilitäten in Böden und ungesättigter Zone“ hat an Aktualität gewonnen, da die unlängst verabschiedete Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung sowie die zu erwartende Fortschreibung europäischer Richtlinien sowohl methodische Erfahrung als auch national und europäisch einheitliche Datensätze erfordern. Die vor diesem Hintergrund aufgegriffenen Arbeiten zur Beurteilung flächenrepräsentativer Hintergrundwerte für Schwermetalle in Böden sowie Fragen der Stoffverlagerung in Böden sind Teilthemen, die enge Vernetzung der Forschungsansätze erfordern. Weitere Ansätze prozessorientierter Betrachtung von stofflichen Veränderungen in Böden waren Fragen der natürlichen Verringerung (natural attenuation) von Schadstoffgehalten in Böden sowie Probleme von Bodenversalzung als Folge nicht angepasster Landnutzung.

Kartenbeiträge zum neuen Hydrologischen Atlas von Deutschland

Die BGR ist seit 1995 mit mehreren Karten im Maßstab 1 : 2 Mio. am gemeinschaftlichen Projekt des neuen Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD) beteiligt, der vom Bundesumweltministerium unter fachlicher Leitung der Bundesanstalt für Gewässerkunde und des Instituts für Hydrologie der Universität Freiburg herausgegeben wird. Mit dem neuen HAD wird ein aktuelles und modernes Informationswerk zur Verfügung gestellt, das neben Grundlagendaten und aggregierten Datensätzen auch Einblick in die angewendeten wissenschaftlichen Methoden bietet.

Erster bodenkundlicher Beitrag der BGR war die Grundkarte „Bodenübersicht“, die auf der Basis der bestehenden Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1 : 1 Mio. (BÜK 1000) erstellt wurde und die regelhafte Vergesellschaftung der Böden in Deutschland in 60 Legendeneinheiten darstellt. Weitere Bestandteile der ersten HAD-Lieferung im Jahr 2000 sind die zum Themenkomplex „Bodenwasser“ gehörenden Atlastafeln 4.1 bis 4.4, die die Tiefe des effektiven Wurzelraums sowie verschiedene Kennwerte der Wasserbindung im Boden zum Inhalt haben: Feldkapazität bis in 1 m Profiltiefe, nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum und Luftkapazität im effektiven Wurzelraum.

Unter Verwendung des Landnutzungsmodells CORINE Land Cover des Statistischen Bundesamts wurde als kartographische Grundlage der Bodenwasserkarten zunächst eine nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 1 Mio., die in Flächen vorwiegend land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung trennt. Die Zielgrößen wurden aus Bodeneigenschaften wie Bodenart, Lagerungsdichte und Humusgehalt abgeleitet und nutzungsspezifisch in fünf Klassen in den Karten dargestellt.

Die Bodenwasser-Kennwerte bieten grundlegende Aussagen über die Inten-

sität der Wasserbindung und -speicherung im Boden, die Geschwindigkeit von Entwässerungsvorgängen sowie die Verfügbarkeit des Bodenwassers für die Pflanzen. Unter zusätzlicher Einbeziehung klimatischer Informationen erlauben sie auch Rückschlüsse auf Potenziale oder Gefährdungsgrade in der Landschaft wie die Standorteignung für ausgewählte Kulturpflanzen oder das Risiko einer Ertragsminderung in Trockenperioden.

Wissenschaftlern, Wasserwirtschaftlern, Sachbearbeitern, Politikern und umweltinteressierten Laien wird ein Instrument zur Verfügung gestellt, das es erlaubt, großräumige Zusammenhänge schnell zu erfassen, zu werten und weiterführende Informationsquellen zu erschließen. Die Atlastafeln des HAD sind als Übersichten auf der Bundes- und der Länderebene nutzbar. Für die künftige Zusammenarbeit innerhalb der Europäischen Union auf dem Gebiet von Wasser- und Umweltschutz wird der HAD wertvolle Informationen bereitstellen.

Indikatoren für Bodenverlust im europäischen Maßstab

Bodendegradation ist die dauerhafte oder irreversible Veränderung der Strukturen oder Funktionen von Böden oder deren Verlust.

Die Europäische Umweltagentur (EUA) informiert Politiker und Öffentlichkeit über den Zustand der Umwelt und damit auch über den Grad der Bodendegradation. Diese Aufgabe erfüllte die EUA in den vergangenen Jahren u. a. im Zusammenwirken mit dem Europäischen Themenzentrum Boden (ETC/S), an dem die BGR beteiligt war. Das ETC/S wurde 1996 mit einer Laufzeit von drei Jahren eingerichtet.

Ziel der von BGR federführend bearbeiteten Aufgabe war es, Indikatoren für die Degradation der Böden zu entwickeln. Indikatoren sind einfache Messgrößen bzw. daraus erstellte geeignete Darstellungen, z. B. Tabellen, Grafiken oder Karten.

Der Beitrag der BGR bezog sich auf die Entwicklung von Indikatoren für Bodendegradation durch Wassererosion sowie für Bodenverluste durch flächenhafte Versiegelung. Beide Prozesse haben einen nahezu irreversiblen Verlust an Bodenfunktionen zur Folge und haben in Europa bedrohliche Ausmaße angenommen. Die Bodenversiegelung stellt dabei eher in den mitteleuropäischen Ländern ein Problem dar. Bodenerosion durch Wasser ist in den Mittelmeerländern besonders deutlich zu beobachten, aber auch in Deutschland gehen jährlich fruchtbarste Ackerböden buchstäblich „den Bach hinunter“.

An Indikatoren wird u. a. der Anspruch der Vergleichbarkeit von Daten gestellt. In diesem Punkt ist die derzeitige europaweite Datenlage für die zu beobachtenden Bodenprobleme unzureichend. Die Ableitung entsprechender Indikatoren für Europa wird vor allem mit Methoden der Fernerkundung (Satellitenbilder) zu realisieren sein.

Im Falle der Versiegelungsproblematik lässt sich als Indikator der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche damit direkt abschätzen. Da jedoch die Siedlungs- und Verkehrsfläche nicht tatsächlich vollständig versiegelt ist (z. B. Parkflächen, Hausgärten), bedarf sie einer Präzisierung durch landesweite statistische Erhebungen.

Für die Erosionsproblematik wurde ein Konzept entwickelt, nach dem die Bodenbedeckung in aktuell durch Erosion gefährdeten Gebieten als Indikator zu erfassen ist. Geeignete Karten werden durch das Europäische Bodenbüro erstellt. Für diese Gebiete sind die zu erwartenden Bodenverluste mit Modellen abzuschätzen und an bestehenden Boden-Dauerbeobachtungsflächen zu überprüfen.

Die Aufnahme der vorgeschlagenen Indikatorenkonzepte in Monitoringprogramme eröffnet die Möglichkeit, über das Ausmaß der Bodendegradation zu berichten und periodisch die Wirksamkeit getroffener umweltpolitischer Maßnahmen zu kontrollieren. Die für die europäische Ebene erarbeiteten Konzepte sind auch für die nationale Umweltbeobachtung einsetzbar.



Fruchtbarer Ackerboden wird in den Vorfluter gespült.

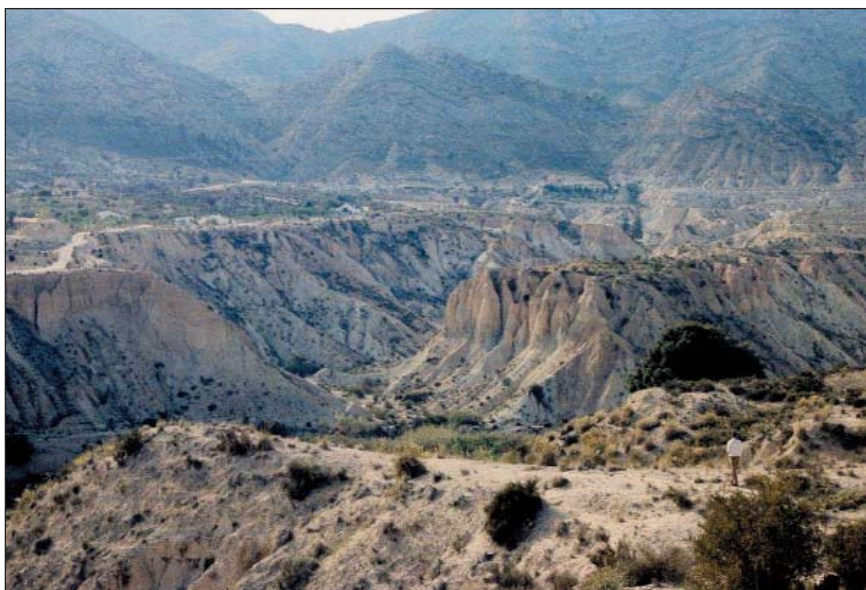
Hintergrundwerte für Schwermetalle in Oberböden

In der Verordnung zum Bundes-Bodenschutzgesetz werden Vorsorgewerte für ausgewählte Schwermetalle genannt, bei deren Überschreitung die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht. Wesentliche Grundlage für derartige Schwellenwerte ist die Kenntnis der in unbelasteten Böden typischerweise vorkommenden Schwermetallgehalte (sog. Hintergrundwerte). Diese Informationen liegen in verschie-

denen Datenbanken der Bundesländer und des Bundes vor und müssen für bundesweite Auswertungen zusammengetragen und vergleichbar gemacht werden.

Die BGR hat mit einem vom Umweltbundesamt geförderten Vorhaben Verfahren zur Datenauswertung im bundesweiten Maßstab entwickelt. Ziel war es, durch eine Zusammenfassung und Harmonisierung von Daten aus unterschiedlichen Quellen des Bundes und der Länder länderübergreifende Hintergrundwerte abzuleiten. Die als Profilinformatoren vorliegenden Daten sollten in repräsentative Flächeninformationen im Maßstab 1 : 1 Mio. transformiert werden.

Insgesamt zeigen die länderübergreifenden Arbeiten zur Ableitung von Hintergrundwerten für Schwermetalle in Oberböden, dass qualifizierte Auswertungen unter Nutzung unterschiedlicher Datensätze der Länder und des Bundes auch im mittleren und kleinen Maßstab möglich sind. Wesentliche Voraussetzung hierfür ist eine konsequente räumliche und inhaltliche Datenharmonisierung, auch wenn diese eine erhebliche Reduzierung der verfügbaren Eingangsdaten zur Folge hat.



Durch Erosion entstandene „Badlands“ im Jijona Basin (Provinz Valencia, Spanien).

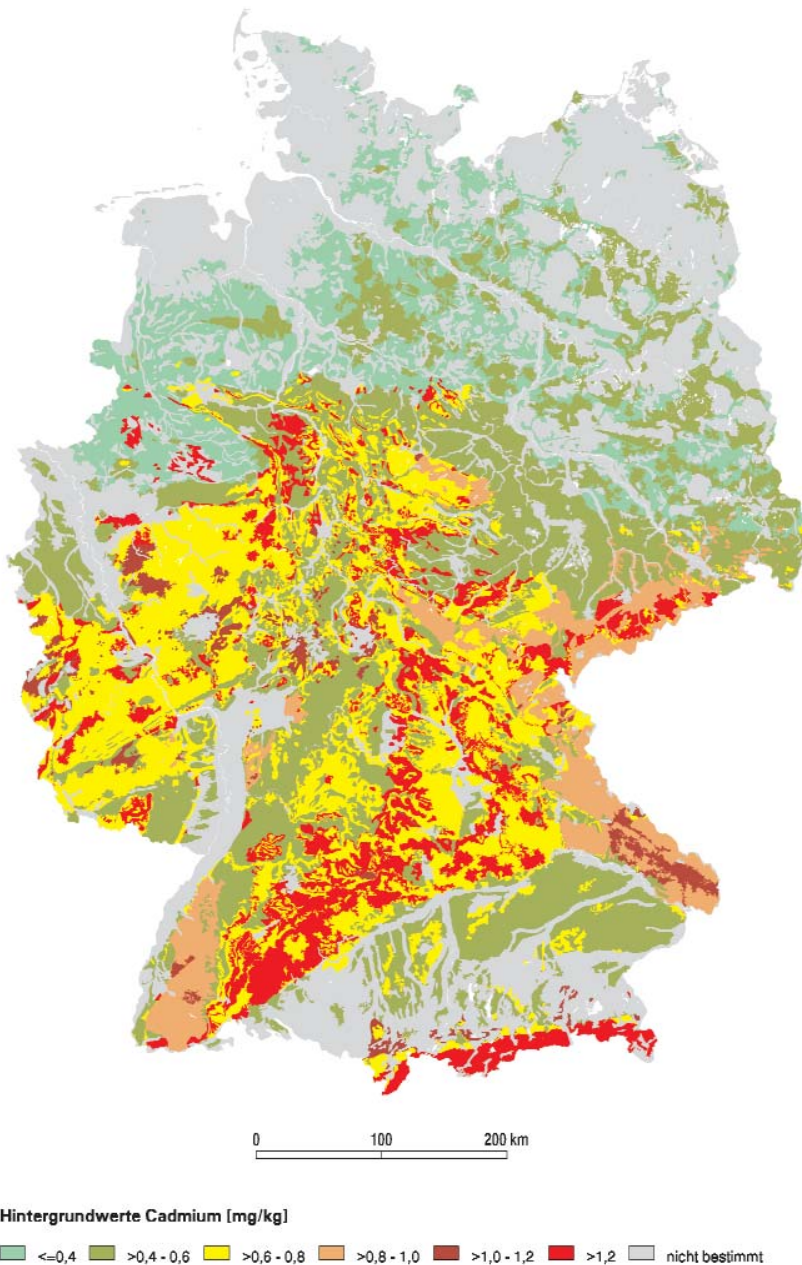
Stoffauswaschung in das Grundwasser

Aus Sandböden unter Wald können Schadstoffe mit dem Sickerwasser in das Grundwasser eingetragen werden. Zuverlässige Prognosen dieser Stoffanlieferung an das Grundwasser sind nur unter Berücksichtigung der Variabilität der Bodeneigenschaften im Profil und des Eintrags von Schadstoffen aus der Atmosphäre in den Boden möglich. In einem Forschungsprojekt wurden Ausmaß und Ursachen der Variabilität detailliert untersucht.

Um die physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften des Standortes zu bestimmen, wurden an einem 10 m langen und 1,5 m tiefen Profil ungestörte und gestörte Bodenproben entnommen und im Labor untersucht. Aus den Daten wurden Berechnungen der Stoffauswaschung mit einem Computer-Simulationsmodell vorgenommen.

Zur Erfassung der Stoffauswaschung unter realen Bedingungen wurde eine Geländemesstelle eingerichtet. An zwei parallelen 10 m langen Linien wurden im Abstand von jeweils 50 cm in Tiefen bis 140 cm kontinuierliche Messungen von physikalischen Parametern (Matrixpotenziale und volumetrische Wassergehalte) und chemischen Parametern (pH-Werte und Redoxpotenziale) durchgeführt. Außerdem wurde an den gleichen Stellen regelmäßig Bodenlösung entnommen und im Labor untersucht. Um das komplexe Zusammenwirken der verschiedenen Einflussgrößen zu ermitteln, wurde auf der Messstelle ein aufwendiges Stoffauswaschungsexperiment mit Bromid durchgeführt. Bromid kommt in der Umwelt unter natürlichen Bedingungen kaum vor und gilt als nicht sorbierbarer Stoff für Experimente dieser Art als besonders geeignet.

Mit den Untersuchungsergebnissen wurde eine Simulation des auf der Messfläche durchgeführten Stoffauswaschungsexperiments mit einem zwei-dimensionalen Wasser- und Stofftransportmodell realisiert. Sowohl die Ergeb-



Hintergrundwerte Cadmium [mg/kg]

■ $\leq 0,4$
■ $>0,4 - 0,6$
■ $>0,6 - 0,8$
■ $>0,8 - 1,0$
■ $>1,0 - 1,2$
■ $>1,2$
■ nicht bestimmt

Hintergrundwerte für Schwermetalle: Cadmium
(unter Berücksichtigung der Landnutzung und pedoregionalen Repräsentanz).

Derzeit lassen sich mit den harmonisierten Datensätzen der Länder und des Bundes unter Einbeziehung der Nutzung ca. 67 % der Gesamtfläche Deutschlands mit flächenrepräsentativen Hintergrundwerten belegen.

Die weitere Ausgestaltung des vorsorgenden Bodenschutzes erfordert eine verbesserte Datenlage zum derzeitigen Zustand der Böden. Dies gilt gleichermaßen für Deutschland wie für Europa. So ist auf nationaler Ebene vorgesehen, die bei den bisherigen Auswertungen

identifizierten Datenlücken zu schließen. Darüber hinaus sollen Methoden entwickelt werden, die es erlauben, unter Nutzung verfügbarer Datenquellen auch für Unterböden repräsentative Hintergrundwerte abzuleiten. Vor dem Hintergrund einer Novellierung der europäischen Klärschlammrichtlinie stehen auf europäischer Ebene vergleichbare Aufgaben an, die unter der Federführung der BGR in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Bodenbüro (Ispra, Italien) bearbeitet werden.



Messstelle in einem Kiefernwald zur Erfassung der Wasser- und Stoffflüsse in Sandböden unter Wald.

nisse des Stoffauswaschungsexperiments als auch die regelmäßige Beprobung der Bodenlösung zeigten, dass Teilbereiche des Bodens, insbesondere unterhalb einer Tiefe von 0,5 m, offensichtlich umströmt werden. Dieses Phänomen konnte bisher mit dem Simulationsmodell nicht bestätigt werden, so dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um die Ursachen für dieses Verhalten zu ermitteln.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse können von Verwaltung und Wasserwirtschaft für eine fundierte Prognose und für einen gezielten Schutz des Grundwassers eingesetzt werden.

Natürliche Verringerung von Mineralölkohlenwasserstoffen in Böden

Verunreinigungen von Böden und Grundwässern mit Mineralölkohlenwasserstoffen (MKW) gehören in Deutschland mit zu den häufigsten Umweltschadensfällen. Da hiervon auch Bundes-Liegenschaften betroffen sind, muss die BGR das Know-how über das Langzeitverhalten von MKW in Böden erwerben, um Ministerien bei Sanierungsmaßnahmen kompetent beraten zu können.

Im Rahmen einer WTZ mit dem Geologischen Institut von Ungarn (MAFI) wurde ein Kerosin-Diesel-Schadensfall in der ungarischen Tiefebene bearbeitet. Nach der Beschädigung einer Produkten-Pipeline im Jahre 1995 floss bei dem Dorf Mikebuda (ca. 50 km SE Budapest) eine unbekannte Menge an Dieselöl und Kerosin aus, durchsickerte die ungesättigte Zone (feinkörnige quartäre Sande) und breitete sich bis heute auf einer Fläche von ca. 1600 m² aus. Im Schadenszentrum wurden seit November 1997 sechsmal in etwa halbjährlichem Abstand Bodenprofile

erbohrt, die Mineralölkohlenwasserstoffe extrahiert und ihre Zusammensetzung mit Hilfe der Gaschromatographie bestimmt.

Die Mächtigkeit der MKW-Phase auf dem Grundwasser nimmt mit steigendem Grundwasserspiegel (GWS) ab, mit fallendem GWS zu, d. h., eine Abschätzung der im Untergrund befindlichen MKW-Menge über die Phasenmächtigkeit ist nicht möglich.

Ab Oktober 1998 (ca. drei Jahre nach dem Schadensfall) beginnt der Maximalgehalt der Bodenproben an MKW von 32600 mg/kg auf 7000 mg/kg (Mai 2000) abzusinken, vermutlich bedingt durch das mehrmalige Abpumpen der freien Phase/Jahr.

Es findet ein mikrobieller Abbau der MKW statt, kenntlich an dem unterschiedlich raschen Verschwinden von einfach gebauten, unverzweigten n-Alkanen (z. B. n-C₁₇H₃₆) und mehrfach verzweigten iso-Alkanen (z. B. Pristan = iso-C₁₉H₄₀), da beim aeroben mikrobiellen Abbau von Kohlenwasserstoffen die n-Alkane bevorzugt angegriffen werden. In der Startphase – November 1997 bis Mai 1998 – werden zunächst die am wenigsten belasteten Bodenpartien einbezogen (die relativen n-Alkangehalte sind dort am niedrigsten). In der Aktivitätsphase, nachdem die Mikroorganismen adaptiert sind (Oktober 1998 bis Mai 2000), sind die Verhältnisse umgekehrt. Ab Oktober 1998 nehmen neben den Absolutmengen an MKW (s. o.) auch die relativen n-Alkangehalte ab.

Die halblogarithmische Darstellung der Ergebnisse zeigt, dass der Abbaufortschritt einem Grenzwert zustrebt. „Natural Attenuation“ durch mikrobiellen Abbau ohne zusätzliche Stimulationsmaßnahmen ist daher ein sehr langsamer Prozess und führt in überschaubaren Zeiten (Jahrzehnten) nicht zu einem völligen Verschwinden der MKW-Phase. Jeder einzelne MKW-Schadensfall muss daher daraufhin überprüft werden, ob im Hinblick auf die vorgesehene Nutzung des Geländes das Verfahren der „Natural Attenuation“ anwendbar, d. h., ob ein langjähriges Verbleiben der MKW im Untergrund tolerierbar ist.

Ursachen und Dynamik der Bodenversalzung in West-Paraguay

Im westlichen Teil Paraguays (Chaco) ist das Grundwasser bis auf lokale Ausnahmen stark versalzen. Seit Mitte der siebziger Jahre stieg der Grundwasserspiegel in diesem Gebiet um 2 bis 2,5 m an. Die Süßwasserlagunen versalzten, in den Böden kam es zu flächenhaften Salzanreicherungen an der Oberfläche und die Vegetation starb ab. Die sich ausdehnende Bodenversalzung gefährdet zunehmend die Existenz der im Chaco siedelnden Landwirte.

In zwei TZ-Projekten wurden seit 1994 die Ursachen der mit dem Grundwasseranstieg verbundenen Bodenversalzung untersucht. Es war zu klären, welchen Einfluss die umfangreichen Waldrodungen zur Anlage von Weideland auf diese Entwicklung haben. Die Untersuchungen zielten auf die Erarbeitung von Maßnahmen, mit deren Hilfe die schleichende Bodenversalzung gestoppt und zurückgeführt werden kann.

Auf mehreren Flächen mit Grundwasserflurabständen zwischen 1 und 3 m wurden vergleichbare Böden mit unterschiedlicher Landnutzung (natürlicher Dornbusch, Weidenutzung) hinsichtlich ihrer Salzdynamik untersucht. Zur Erfassung der Klimadaten, des Grundwasserspiegels und des Salzgehaltes in verschiedenen Bodentiefen und im Grundwasser wurden Messstationen eingerichtet.

Die Ergebnisse zeigten, dass der Anstieg des Grundwasserspiegels sich erst bei Tagesniederschlägen von mehr als 40 mm bemerkbar macht. Dies sind im Zentral-Chaco keine ungewöhnli-



Versalzene Lagune im Zentral-Chaco (Luftbild).

chen Niederschlagsereignisse. Wenn das salzhaltige Wasser über den Kapillarhub bis in den Wurzelraum gelangt, werden die Wurzeln der weniger salztoleranten Weidepflanzen geschädigt. Großflächige Rodungen verstärken das Problem, da unter Weide mit einer höheren Grundwasserneubildung zu rechnen ist.

Schnell greifende Maßnahmen zur Entsalzung der Böden sind nicht möglich, da der laterale Wassertransport aufgrund des geringen Gefälles und der tonigen Böden äußerst gering ist. Als mögliche Maßnahme wird empfohlen, zukünftig auf die Rodung von Wäldern zu verzichten, unter denen das versalzene Grundwasser in weniger als 2 m Tiefe ansteht.

Ferner sollten die natürlichen Vorfluter, bei denen der Abfluss durch Dammbauten für Wege und Straßen verlangsamt ist, wieder ihre Durchgängigkeit erhalten, indem größere Durchlässe geschaffen werden. Damit wird erreicht, dass mehr Salze mit dem Oberflächenwasser aus dem gefährdeten Gebiet ausgewaschen werden. Ein schnellerer Abfluss des Oberflächenwassers hat zur Folge, dass weniger Wasser für die Versickerung am Standort und somit zur Grundwasserneubildung zur Verfügung steht. Auf diese Weise wird einem weiteren Anstieg des Grundwassers mit der Folge einer sukzessiven Ausdehnung der Zone stark versalzungsgefährdeter Böden entgegengewirkt.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg.) (2000): Hydrologischer Atlas von Deutschland. – 1. Lieferung: 107 S.; Bonn.
- DEURER, M. (2000): The dynamics of water and solute flow in the unsaturated zone of a coniferous forest: measurement and numerical simulation.– *Horizonte* (Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde), **2**; Institut für Bodenkunde der Universität Hannover.
- , DUJINISVELD, W. H. M. & BÖTTCHER, J. (2000): Spatial analysis of water characteristic functions in a sandy Podsol under pine forest. – *Water Resources Research*, **36**: 2925–2935.
- UTERMANN, J. & DÜWEL, O. (2000): Räumliche und inhaltliche Harmonisierung von Datensätzen. – In: *Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden*. – UBA-Texte 49/00: 65–74.
- & – (2000): Zur Ableitung von flächenrepräsentativen Hintergrundwerten für Schwermetalle im länderübergreifenden Maßstab. – *Bodenschutz* 3/00: 82–86.

6



Mineralische Rohstoffe

*Gebäude bestehen aus Stahl, Sand und Kies.
Computer würden ohne Metalle nicht funktionieren.
Artikel des täglichen Bedarfs ständen ohne
ausreichende Rohstoffe nicht in der uns
gewohnten Vielfalt zur Verfügung.*

*Die Grundbedürfnisse unserer Gesellschaft sind
ohne Geowissenschaften nicht zu befriedigen.*



Mineralische Rohstoffe

Die Volkswirtschaften benötigen mineralische Rohstoffe in einer breiten Vielfalt. Die Industrie stellt daraus Produkte für das tägliche Leben her, z. B. Metalle aus Erzen, Zement aus Kalkmergeln oder Glas aus Sand (unter Verwendung von Zusatzstoffen). Auch die Landwirtschaft benötigt mineralische Rohstoffe, denn Kali und Phosphat sind wichtig für die Düngemittel.

Bei den meisten mineralischen Rohstoffen gibt es keine unmittelbare Knappheit. Die Geowissenschaften müssen jedoch in Anbetracht der Bevölkerungszunahme und zur Daseinsvorsorge für künftige Generationen heute schon nach neuen Rohstoffvorkommen oder nach Lagerstätten alternativer Materialien suchen. Diese Aufgaben stellen sich auch im Hinblick auf den Bedarf für neue technologische Anforderungen oder Produktentwicklungen und auf die Diversifizierung des Rohstoffangebots. Sie ergibt sich aus der Notwendigkeit einer möglichst ungestörten Versorgung der Volkswirtschaften mit den „strategischen“ mineralischen Rohstoffen, deren Vorkommen monopolistisch in wenigen Ländern konzentriert sind oder deren Vorratslage mittelfristig nicht gesichert ist (Metalle kurzer Reichweite). Auch die unvermeidlichen Umweltbeeinträchtigungen beim Rohstoffabbau fordern die Geowissenschaftler heraus, Lösungsmöglichkeiten zu finden, damit der Eingriff in die Umwelt so schonend wie möglich gestaltet werden kann.

Die Anforderungen im Tätigkeitsbereich „Mineralische Rohstoffe“ sind viel-

seitig und wechselnd, sowohl im Hinblick auf die aktuelle Bedarfssituation, Verwertung und Verfügbarkeit von Rohstoffen, die mittelfristige Bedarfsentwicklung und die unterschiedlichen Qualitätsanforderungen an einzelne Rohstoffe oder Rohstoffgruppen.

Stoffmengenflüsse und Energiebedarf bei der Rohstoffgewinnung

In der von der Volkswagen-Stiftung geförderten Studie wurden die Stoff- und Energiebilanzen bei der Gewinnung von Aluminium, Chrom, Eisen, Kupfer, Mangan, Nickel, Phosphat und Steinkohle weltweit ermittelt. Die BGR untersuchte dafür die Mengen von Versatzmaterial, Reagenzien, Frischwasser, Zuschlagstoffen und Energieträgern sowie von anfallenden Reststoffen wie Abraum, Aufbereitungsabgängen, Schlacken, Schlämmen und Abgasen. Die Stoffbilanzen bei der metallurgischen Verarbeitung der Rohstoffe wurden im Auftrag vom Institut für Nichteisenmetallurgie an der Universität Leoben ausgearbeitet.

Die gewonnenen Erkenntnisse können zu weiterführenden Überlegungen, zur Vermeidung/Verringerung der Stoffströme und des Energieverbrauchs und zur Nutzung der anfallenden Reststoffe

führen. Ferner lässt sich die Größenordnung der je Mengeneinheit des Rohstoffes mindestens notwendigen Rücklagen zur Finanzierung von Restaurierung, Renaturierung und sicherer Aufbewahrung toxischer Reststoffe nach der Schließung von Gruben abschätzen.

Ein im Umweltbundesamt erarbeiteter zweiter Teil der Studie „Mineralische Rohstoffe und nachhaltige Entwicklung“ befasst sich mit ökonomischen Aspekten sowie internationalen Instrumenten für eine vernünftige Nutzung nicht erneuerbarer Rohstoffe.

Bewertungskriterien für Industriemineraie, Steine und Erden

Steine und Erden sowie Industriemineraie sind für die wirtschaftliche Entwicklung eines Landes von großer Bedeutung. Für Geologen, Bauingenieure und Regionalplaner ist es erforderlich, Lagerstätten dieser Rohstoffe auf ihre Verwendbarkeit und Bauwürdigkeit hin zu bewerten. Als Entscheidungshilfen werden von der BGR die wichtigsten Kriterien zur Bewertung eines Rohstoffes in Form eines „Leitfadens“ nutzerorientiert und angepasst zusammengestellt. Die genaue Kenntnis der chemischen, mineralogischen und physikalisch-technischen Eigenschaften des jeweiligen Rohstoffes ermöglicht eine Aussage darüber, in welchen Industriezweigen er eingesetzt werden kann.

Die bearbeiteten Rohstoffe umfassen Tone, Karbonat- und Sulfatgesteine, Quarzrohstoffe und vulkanische Gesteine. Im Druck sind die Ergebnisse zu Gesteinskörnungen (Kies, Sand und gebrochener Naturstein) und zu Naturwerksteinen und Dachschiefer.

Die ausreichende Versorgung von Volkswirtschaften mit mineralischen Rohstoffen ist ein Anliegen, das wir auch bei der Technischen Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern verfolgen. Dabei stehen die Beratung der dortigen Geologischen Dienste bei der Landesaufnahme und Erfassung von Rohstoffvorkommen und die Förderung der notwendigen technischen Infrastruktur zu eigenständigen Untersuchungen im Vordergrund.

Nichtmetallische Rohstoffe und Goldanalysen in der Mongolei

Die politischen und wirtschaftlichen Veränderungen seit 1989 haben in der Nichtmetall-Industrie der Mongolei tiefe Spuren hinterlassen. Hauptursache für einen drastischen Rückgang der Produktion und Betriebsschließungen sind Überkapazitäten und Finanzschwäche der Betriebe sowie der begrenzte nationale Markt. Andererseits werden Nichtmetall-Rohstoffe und ihre Produkte in großem Umfang importiert. Eine bessere Kenntnis des einheimischen Rohstoffpotentials könnte dazu beitragen, die Importe teilweise durch nationale Rohstoffe zu ersetzen.

Ein seit 1999 laufendes Projekt soll eine mongolische Arbeitsgruppe für nichtmetallische mineralische Rohstoffe in den Stand versetzen, zukünftig

Behörden und Wirtschaft zu beraten. Dazu wurden Datenbanken eingerichtet, die laufend aktualisiert werden. Begleitende Aus- und Fortbildungsmaßnahmen für das Projektpersonal und einen weiteren Personenkreis des Geologischen Dienstes, der Universitäten, der Akademie der Wissenschaften und des privaten Sektors tragen zur Vertiefung des Wissens bei.

Die BGR hat beim Geologischen Zentrallabor (CGL) der Mongolei auch ein Labor für Goldanalytik eingerichtet. Das einheimische Personal ist heute in der Lage, die modernen Analyseverfahren selbstständig durchzuführen. Damit wird das CGL befähigt, privatwirtschaftliche Aufträge durchzuführen, um zusätzliche Finanzierungsquellen zu erschließen.



Arbeitsintensive Herstellung von Ziegeln in einem neu gegründeten Unternehmen in der Mongolei.

Eine wichtige Grundlage zur Beurteilung des Rohstoffpotentials in den Partnerländern der Technischen Zusammenarbeit stellen moderne thematische Karten dar. Die Beratung der Partner bei der Erstellung solcher Karten ist ein wesentlicher Inhalt unserer Zusammenarbeit. Ein Schwerpunkt ist der westafrikanische Bereich mit den Ländern Ghana, Guinea und Elfenbeinküste, deren geologische Voraussetzungen günstig für das Vorhandensein von mineralischen Rohstoffen sind.

Kartierung und Fortbildung in Ghana, Elfenbeinküste und Guinea

In Ghana wurde ein Gebiet im Südwesten des Landes, welches als höffig für Vorkommen von Nickel, Platinmetallen, Chromit, Molybdän und Kaolin gilt, von der einheimischen Partnerbehörde eigenständig kartiert. Drei geologische Karten wurden gemeinsam mit der BGR editiert und veröffentlicht. Dazu wurde ein Erläuterungsband – die erste selbstständige Veröffentlichung des Geologischen Dienstes seit 20 Jahren – herausgegeben.

Im Nachbarland Côte d'Ivoire wurde der einheimische Geologische Dienst bei der Kartierung und geochemischen Beprobung von zwei Gebieten (6800 km²) beraten. Drei geologische Karten mit Erläuterungen sind inzwischen veröffentlicht. Die Auffindung mehrerer Bereiche mit erhöhten Goldgehalten hat zur Vergabe von fünf Prospektionslizenzen geführt.

In Guinea wurden Mitarbeiter der einheimischen geologischen Fachbehörde im Rahmen von Kartierarbeiten fortgebildet. Hier sind modernste kartographische und rechnergestützte

Verfahren zur Anwendung gekommen. Mangels geeigneter topographischer Unterlagen wurde über Orthophotos ein numerisches Geländemodell erstellt, in welches rechnergestützt Höhenlinienpläne und das Gewässernetz eingetragen werden konnten. Informationen zur Infrastruktur und geologische Beobachtungspunkte wurden mit GPS-Instrumenten erfasst und über Feldcomputer in den Karten verzeichnet. Mit Hilfe einer NT-Serverstation konnten die stets aktualisierten topographischen Unterlagen in jedem gewünschten Maßstab dargestellt und gedruckt werden. Alle Beobachtungsdaten wurden ferner in einer Datenbank erfasst.

In den gezeigten Beispielen aus Westafrika wurden mit Beratung der BGR in gemeinsamer Arbeit detaillierte geologische Karten erstellt, die eine unentbehrliche Unterlage zu gezielten Prospektionsvorhaben darstellen. Mit der Vermittlung dieses modernen Wissens werden die Wissenschaftler der Partnerländer befähigt, zukünftige Arbeiten eigenständig durchzuführen.

Ergänzende Kurse – vor Ort abgehalten – zu grundlegenden Themen der modernen geologischen Kartierung und Rohstoffverwertung sollen einen großen Kreis von einheimischen Fachkräften ansprechen. Sie wurden inzwischen erfolgreich in mehreren Ländern durchgeführt



Übertragung der topographischen und geologischen Daten in den Feldcomputer während geologischer Kartierungsarbeiten in Guinea.

Principles of Sedimentology

Pinciples of Sedimentology ist ein neues Kursprogramm in Partnerländern der Technischen Zusammenarbeit. Das Programm beinhaltet die Schwerpunkte „Grundlagen und Klassifikationen der Sedimentgesteine“, „Sedimentologische Prozesse“ und „Milieuanalyse“. Zusätzliche Praktika in Sedimentpetrographie dienen dazu, das theoretische Wissen zu vertiefen.

Aufbaukurse (z. B. Karbonate, Ton-Siltgesteine) und Exkursionen werden speziell auf die Belange der jeweiligen Projekte in den Partnerländern abgestellt. Projektorientierte sedimentologische Untersuchungen dienen der Ergänzung der laufenden TZ-Maßnahmen zu Landplanung und Ressourcenschutz.

Drei Kurse in Nepal zielten ab auf eine Analyse des Kathmandu-Beckens aus tonmineralogischer Sicht zur Unterstützung der lokalen Keramikindustrie.

Zwei Kurse in Thailand wurden ergänzt durch eine Detailuntersuchung der Karbonate im Hinblick auf ihre Nutzung für die Steine-und-Erden-Industrie.

In der Mongolei hat ein Kurs begonnen, der durch ein „field seminar“ im Jahr 2001 ergänzt werden soll. Auch in diesem Gebiet stehen die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten klastischer Gesteine im Vordergrund des Interesses.

Die Aufgaben im Hinblick auf die Diversifizierung des Rohstoffangebotes werden beispielhaft an den Arbeiten demonstriert, die wir auf dem Gebiet der Platinmetallrohstoffe (PGE) durchführen.

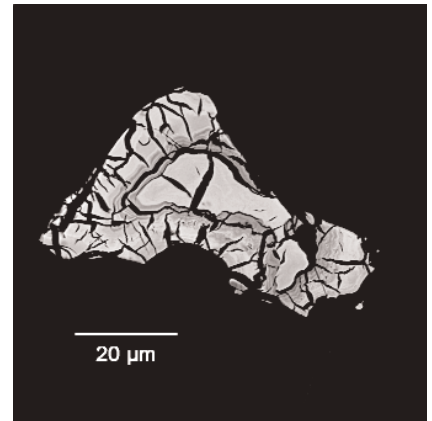
Die PGE sind „strategische Metalle“, welche – bei steigender Nachfrage – eine oligopolistische Angebotsstruktur aufweisen (Verteilung der produzierenden Lagerstätten auf nur wenige Länder). Das unterschiedliche Verhalten der PGE im endogenen und exogenen Bereich der Erdkruste, die Indikatoren für Höffigkeitsgebiete und die Bildung von Lagerstätten sind jedoch nur ungenügend bekannt. Diese Fragen verfolgt die BGR in mehreren Forschungsprojekten und Ländern, von denen hier zwei Beispiele vorgestellt werden.

Platinmetallagerstätten in Simbabwe

Im Great Dyke, Simbabwe, wurden die Platinmetall (PGE)-reiche „Main Sulfide Zone“ (MSZ) und die Umverteilung der PGE im exogenen Kreislauf erforscht. Vergleichende Arbeiten in Südafrika und eine Studie zur PGE-Verteilung in den Chromitvererzungen des Great Dyke ergänzten die Untersuchungen.

Die Ergebnisse aus der MSZ zeigen eine entkoppelte, stufenartige Anreicherung von Platin, Palladium und Buntmetallsulfiden. Während Palladium, überwiegend getarnt in Sulfiden, im unteren Bereich der MSZ vorliegt, tritt Platin, wesentlich in Form eigener Pt-Mineraler, in einem höheren Bereich auf. Im oberflächennahen Verwitterungsbereich der MSZ bleiben die PGE-Gehalte weitestgehend erhalten, die Mineralphasen werden jedoch z. T. zu PGE-Oxiden und -Hydroxiden umgewandelt. Damit ist der überwiegende Teil des Platins und Palladiums konventionell nicht gewinnbar. Über die mineralogische Charakterisierung dieser PGE-Oxidphasen wird versucht, Hinweise für mögliche Aufbereitungsverfahren zu erhalten.

Die Charakterisierung der Primärvererzungen in der MSZ ermöglicht die Entwicklung metallogenesischer



Sekundäres zoniertes Korn bestehend aus Platinmetalloxiden/-hydroxiden. Oxidierte Main Sulfide Zone, Ngezi Platinum Project (Zimplats).

Modelle für diese oder verwandte Erztypen. Erstmals konnte an einer PGE-reichen Lagerstätte das Verhalten der PGE vom endogenen zum exogenen Bereich (sulfidische MSZ – oxidierte MSZ – Flussablagerungen) dokumentiert werden. Die Untersuchungsergebnisse sind für die Lagerstättenprospektion und -exploration sowie die Gewinnung der einzelnen Platinmetalle von erheblicher Bedeutung.

Platinmetalle in Gebirgskomplexen in Sabah

Bei einer Prospektion auf Platingruppenminerale (PGM) gemeinsam mit dem Geological Survey in Sabah, Nordborneo, wurden zwei Primärvererzungen und 19 Anreicherungen in Schwermineralerz gefunden. Alle Vorkommen liegen im Bereich des „Palawan-Banggi-Darvel Bay-Ophioliths“ (fossile, tektonisch an Borneo „angeschweißte“ Ozeankruste).

Zu den Primärvorkommen gehören die Palladium-reichen PGM in Sulfiden der Porphyry-Copper-Vererzung Mamut und eine ungewöhnliche Anreicherung von Ruthenium-reichen PGM in Chromerzen von der Insel Banggi (bis 5 ppm Ru). Die meisten Seifenvorkommen weisen einen dominierenden Anteil von Osmium-Iridium-Ruthenium-reichen PGM auf und sind mit Seifen aus Papua New Guinea

vergleichbar. Sie werden aus der Erosion verschiedener Ophiolithgesteine abgeleitet. Drei Seifenvorkommen mit einem hohen Anteil von Platin-Eisen-Legierungen – mit Parallelen in Südostborneo und in den östlichen Philippinen – entstammen wahrscheinlich einer erodierten „Alaska-Ural-Typ“-Intrusion.

Aus den Befunden in Sabah und Informationen über Seifen und ihr geologisches Umfeld in benachbarten Gebieten wird eine Klassifikation der PGM-führenden Seifen in Südostasien mit ihrem wahrscheinlichen Herkunfts-ort abgeleitet. Daraus ergeben sich wichtige Hinweise auf die Einschätzung des PGE-Potentials im gesamten Gebiet und für eine weitergehende zielgerichtete Prospektion auf Platin-höfliche Zonen.

In einem weiteren Forschungsschwerpunkt untersucht die BGR Lagerstätten von „Metallen kurzer Reichweite“, deren Vorräte bei statischem Verbrauch für nur etwa 25 Jahre gesichert sind. Hierzu gehören z. B. Zink und Blei sowie seltene Metalle wie Indium und Germanium.

Lagerstätten von Metallen kurzer Reichweite im südlichen Afrika

Untersuchungen in der polymetallischen Lagerstätte von Sanyati in Simbabwe (durch die BGR und Hochschulvergabe an die TU Berlin) und in den Indium-führenden Lagerstätten von Maranda in Südafrika (Auftrag an die TU Bergakademie Freiberg) führten zu folgenden Ergebnissen:

Für Sanyati konnte durch Strukturuntersuchungen und Altersbestimmungen eine Entstehung der Vererzungen vor der ersten Verfaltung der Lagerstätte belegt werden (Pb/Pb-Modellalter der Erze um 2100 Ma). Mit dem Nachweis von mehr als 50 unterschiedlichen metallführenden Sekundärmineralen im Oxydationsbereich wurden komplexe Umlagerungsprozesse innerhalb der Lagerstätte dokumentiert. Diese Umlagerungsprozesse werden modelliert.

In den Maranda-Minen im Murchison Belt, Südafrika, wurden neue Erkennt-

nisse zur Einbindung der Lagerstätten in die vulkanische und stratigraphische Abfolge erarbeitet. Ein neues Genesemodell und ein Explorationskonzept wurden entwickelt, die vor Ort geprüft werden sollen. Untersuchungen über die Bindungsform des Indiums in den Erzen sollen Hinweise zu dessen Gewinnbarkeit bringen.

Die Arbeiten dienen der Rohstoffprospektion durch die Definition von Höflichkeitsgebieten und Proximitätsindikatoren. Begleitend erfolgt die Untersuchung von Umweltfragen, besonders des Gefährdungspotenzials der Bergbauaktivitäten.



Ausbiss des Erzkörpers von Copper King, Sanyati, Simbabwe. Auffällig ist die spärliche Vegetation, bedingt durch toxischen Gehalt an Schwermetallen.

Weitere Forschungsarbeiten sind auf die technisch-experimentelle Modifikation eines bisher übersehenen Massenrohstoffes – hydratisierte vulkanische Lockergesteine – zum Grundbaustein für neue Produktentwicklungen ausgerichtet. Sie werden ergänzend zu einem Projekt der Technischen Zusammenarbeit mit Ecuador durchgeführt. Bei der vermutlich weltweiten Verbreitung des Massenrohstoffes könnten die Ergebnisse überregional bedeutend sein.

Allophan – ein neuer Rohstoff für die Zeolith-Synthese

Bei der Technischen Zusammenarbeit mit Ecuador wurde ein allophanhaltiger Verwitterungslehm entdeckt, der sich mit einer Mächtigkeit von > 5 m über mehrere 100 km² verfolgen lässt. Die Ausgangsgesteine des Lehms sind vulkanische Schlammstromablagerungen aus den andinen Vulkanketten. Die Allophangehalte des Lehms betragen > 50 Masse-%, lokal auch > 80 Masse-%.

Allophan ist ein röntgenamorphes, wasserhaltiges Aluminiumsilikat mit

aussergewöhnlichen Eigenschaften. Das Al : Si-Verhältnis liegt zwischen 1 : 1 und 2 : 1, die Wassergehalte schwanken in weitem Rahmen. Allophan enthält keine Alkali- und Erdalkali-Ionen, ist leicht löslich, hat eine spezifische Oberfläche und kann sehr große Mengen Wasser adsorbieren.

Zur ersten Abschätzung des Lagerstättenpotentials der oberflächennahen, allophanhaltigen Lehme wurde von Februar bis Juni 2000 eine Prospektion in der Provinz Pichincha durchgeführt (Abteufen von ca. 80 Bohrungen bis

15 m Teufe). Die Identifizierung des Allophans erfolgte über die Bestimmung des Glühverlustes zwischen 40° und 700° C.

Nach umfangreichen Laboruntersuchungen in der BGR konnte aus dem bislang ungenutzten Allophan-Rohstoff ein hochreiner hochwertiger Zeolith NaA synthetisiert werden. Zeolith NaA wird u. a. in der Waschmittelindustrie in großen Mengen als Ionenaustauscher eingesetzt. Das neue Verfahren wurde zur Patentierung angemeldet.



Schneckenbohrsondierung in allophanhaltigem Lehm, Provinz Pichincha, Ecuador.

Um unser laufend aktualisiertes Rohstoffwissen einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen, werden für ausgewählte Länder rohstoffwirtschaftliche Länderstudien erstellt. Hier konzentrieren sich unsere Aktivitäten auf Regionen von spezieller rohstoffwirtschaftlicher oder politischer Bedeutung. Als aktuelles Beispiel haben wir 1999 die Balkanregion herausgegriffen.

Die 1991 begonnenen politischen Auseinandersetzungen haben zu einem Zerfall vieler wirtschaftlicher Strukturen geführt. Die BGR hat sehr bald auf diese Situation reagiert und bereits in mehreren Balkanländern Projekte der Technischen Zusammenarbeit und der wissenschaftlich-technischen Kooperation eingeleitet (z. B. Rumänien, Albanien).

Der Balkan und seine Rohstoffe

Verlässliche Informationen zur Rohstoffsituation in den Balkanländern sind wichtig für die Überlegungen und Maßnahmen zur wirtschaftlichen Erholung dieser Krisenregion. Im Auftrag des BMWi hat die BGR die rohstoffwirtschaftliche Situation recherchiert (Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Band XVIII: Balkanregion).

Die politischen Auseinandersetzungen der letzten Jahre haben zum Niedergang der z. T. bedeutenden Rohstoffwirtschaft im Balkan geführt. Für die wirtschaftliche Entwicklung ist eine gesicherte Energieversorgung von prioritärer Bedeutung. Mit Ausnahme von Rumänien mit seinen bedeutenden Erdöllagerstätten weisen die anderen Länder ein Defizit an eigenen hochwer-

tigen Energierohstoffen auf. Sie verfügen andererseits über Kohleressourcen, allerdings meist Braunkohle von geringer Qualität. Die Intensivierung der Kohleindustrie mit effektivem Einsatz der Kohle in Wärmekraftwerken wird als wichtige Aufgabe der Rohstoffpolitik betrachtet.

Die Metallindustrie der Balkanländer (Eisen- und NE-Metalle) ist – auch durch den Wegfall von Absatzmärkten – seit 1990 stark rückläufig. Entwicklungsmöglichkeiten mit überregionaler Bedeutung, auch für ausländisches Kapital, werden nur bei Chromit (Albanien), Kupfer (Bundesrepublik Jugoslawien, Albanien) und Blei-Zink (Bulgarien, Bergbau- und Hüttenkombinat Treпча im Kosovo) gesehen. Verhältnismäßig günstig sieht die Versorgungslage bei Aluminium aus. Die Eisen- und

Stahlindustrie ist derzeit in fast allen Ländern vollständig importabhängig. Für ein Wiedererstarken und Bestehen auf internationalen Märkten ist die Modernisierung der Bergbau- und Verarbeitungsbetriebe erforderlich. Hier müssen die wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen für ein Engagement ausländischer Gesellschaften geschaffen werden.

Ein wichtiger Wirtschaftsaspekt in den Balkanländern ist ferner – vor allem im Zuge der international geförderten Wiederherstellung der Infrastruktur in Bosnien und Herzegowina, im Kosovo und in der Bundesrepublik Jugoslawien – die Entwicklung der Baustoffindustrie. Hier sind gute Möglichkeiten für die Beteiligung deutscher und anderer ausländischer Unternehmen gegeben.



Zentren der Rohstoffindustrie im Balkan.

- BURGATH, K.P. (1999): The Sanyati Ore Deposits in Zimbabwe: Petrography of ores and host Rocks. – In: OBERTHÜR, T. (Ed.): The Polymetallic Ore Deposits of Sanyati in Zimbabwe – Introducing a Recent BGR 2000 research project. – *Z. angew. Geol.*, **45**, 1: 9–11; Hannover.
- (1999): Der albanische Mirdita-Ophiolith und seine PGE-Anreicherungen. – *Mitt. Österr. Mineral. Ges.*, **144**: 23–44.
- & SALINAS, R. (2000): The Condoto Complex in Chocó, Colombia: A Pt-bearing Alaskan-type Intrusion. – *Z. angew. Geol.*, SH **1**: 163–170; Hannover.
- , STRIBRNY, B. & MOHR, M. (1999): Platingruppen-Element-Variation in Lamprophyren, ultrabasischen Vulkaniten und Erdmantel-Fragmenten des südlichen Oberrheingebietes (Deutschland). – *Beih. Europ. J. Min.*, **11**: 45.
- DILL, H.G. (1999): Chemical and mineralogical composition of fine-grained Palaeogene shelf deposits in northern Germany. A tool to identify key elements of sequence stratigraphy. – *Zeitschrift für geol. Wissenschaften*, **26**: 385–408; Berlin.
- (1999): Die Vorkommen oberflächennaher Rohstoffe im Kathmandu-Tal, Nepal – Ein Überblick über ihre Entstehung und ihre ungewöhnlichen Abbauformen. – *Steinbruch und Sandgrube*, **92**: 25–30; Hannover.
- , BOSSE, H.-R. & KASSBOHM, J. (2000): Mineralogical and chemical studies of volcanic-related argillaceous industrial minerals of the Central American Cordillera (western El Salvador). – *Economic Geology*, **95**: 517–538; Lancaster, USA.
- & PÖHLMANN, H. (1999): Phasenanalytische Untersuchungen des anorganischen Mineralbestandes von Kohlen verschiedener Inkohlungsgrade und Bildungsräume (Deutschland). – *Glückauf*, **60**: 92–98; Essen.
- & WEHNER, H. (1999): The depositional environment and mineralogical and chemical compositions of high ash brown coal resting on early Tertiary saprock (Schirmding Coal Basin, SE Germany). – *International Journal of Coal Geology*, **39**: 301–428; Amsterdam.
- , –, BOTZ, R. & DULTZ, S. (2000): Chemical logging of continental-marine depositional system. A tool to unravel the palaeogeography and diagenetic alteration of fine-grained clastic rocks in a transitional environment of deposition (Triassic-Liassic, Southeastern Germany). – *Chemie der Erde*, **60**: 129–171; Jena.
- MELCHER, F. (2000): Base metal – platinum group element sulfides from the Urals and the Eastern Alps: characterization and significance for mineral systematics. – *Mineralogy and Petrology*, **68**: 177–211.
- , GRUM, W., THALHAMMER, T.V. & THALHAMMER, O.A.R. (1999): The giant chromite deposits at Kemirsai, Urals: constraints from trace element (PGE, REE) and isotope data. – *Mineralium Deposita*, **34**: 250–272.
- , PUHL, J., MALI, H. & MEISEL, T. (1999): Chromite and platinum-group element mineralization in ultramafic rocks of the Speik Complex, Eastern Alps. – In: Stanley, C.J. et al. (Eds.): *Mineral Deposits: Processes to Processing*: 739–742; Rotterdam (A.A. Balkema).
- OBERTHÜR, T. (Ed.) (1999): The polymetallic ore deposits of Sanyati in Zimbabwe – introducing a recent BGR 2000 research project. – *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, **45/1**: 2–21; Hannover.
- & KOCH, H.-P. (1999): Ore mineralogy of the Sanyati ores, and some geochemical considerations on supergene element redistribution. – *Zeitschrift für Angewandte Geologie*, **45/1**: 7–9; Hannover.
- , RAMMLMAIR, D. & KOJONEN, K. (2000): Comparison of automated particle search techniques for platinum group elements (PGE) and minerals (PGM): μ -XRF and electron-microprobe. – In: RAMMLMAIR, D. et al. (Eds.): *Applied Mineralogy*: 375–377; Rotterdam (A.A. Balkema).

- WEISER, T.W. & GAST, L. (1999): Mobility of PGE and PGM in the supergene environment at Hartley Mine, Great Dyke, Zimbabwe – a case study. – In: STANLEY et al. (Eds.): Mineral Deposits: Processes to Processing: 763–766; Rotterdam (A.A. Balkema).
- –, –, WITTICH, C. & KOJONEN, K. (2000): Mineralogy applied to the evaluation and processing of platinum ores of the Main Sulfide Zone, Great Dyke, Zimbabwe. – In: RAMMLMAIR, D. et al. (Eds.): Applied Mineralogy: 379–382; Rotterdam (A.A. Balkema).
- STIBRNY, B., WELLMER, F.W., BURGATH, K.P., OBERTHÜR, T., TARKIAN, M. & PFEIFFER, T. (2000): Metallogenic and economic aspects of conventional and unconventional PGE Mineralizations. – Mineralium Deposita, **35**: 260–281.
- WELLMER, F.W., BERNER, U., HUFNAGEL, H. & WEHNER, H. (1999): Carbon Isotope Geochemistry of Archean Carbonaceous Horizons in the Timmins Area – Economic Geology. – Monograph, **10**: 441–456.
- & DALHEIMER, M. (1999): Trends und Perspektiven der Rohstoffversorgung Deutschlands im 21. Jahrhundert. – In: SLABY, D. & BREZINSKI, H. (Hrsg.): Rohstoffwirtschaft im Prozess der Transformation. – Freiburger Forschungshefte 05 (Wirtschaftswissenschaften): 11–52.
- & – (2000): Rohstoffe und Energie – Auswirkungen der Globalisierung auf die Versorgungssicherheit Deutschlands. – Erzmetall, **53**: 385–397.
- & NEUMANN, W. (1999): Bewertung und Akquisition von Lagerstätten. – Glückauf Forschungshefte: **60**, 4: 98–106.
- & WAGNER, M. (2000): Rohstofftrends am Beginn des 3. Jahrtausends. – Erzmetall, **53**, 10: 569–582.

7



Erkundung der Meere und Polarregionen

*Die Meere und Polarregionen bergen Rohstoffquellen,
deren Ausmaß wir noch nicht abschätzen können.
Eisbären auf Spitzbergen geht man bei den
Geländearbeiten besser aus dem Weg.*

*Die BGR arbeitet in internationalen Forschungs-
projekten mit und leistet so auch einen Beitrag
zum Erhalt des Konsultativstatus Deutschlands
im Rahmen des Antarktisvertragssystems.*



Erkundung der Meere und Polarregionen

Die Kontinentränder der Erde sind von immenser Bedeutung für den gesamten Lebensraum der Erde und der Menschheit. In den Küstenbereichen leben ca. 80 % der gesamten Erdbevölkerung. Die BGR führt Forschungsvorhaben über das Nutzungs- und Gefährdungspotenzial von Kontinenträndern durch. Dabei wird eine Reihe unterschiedlicher Teilziele verfolgt, die je nach regionaler Entwicklungsgeschichte und Ausprägung der Kontinentränder verschiedene Untersuchungsgebiete zum Gegenstand haben. Daraus werden wichtige wissenschaftliche und auch besonders anwendungsorientierte Ergebnisse erzielt, wie die folgenden Beispiele zeigen.

Mit den knapper werdenden Vorkommen an Land hat sich in den letzten Jahren die KW-Gewinnung in den Offshore-Gebieten der passiven Kontinentränder in zunehmend größere Wassertiefen ausgedehnt. Ein äußerst wichtiges Ziel zukünftiger Forschung wird daher das Rohstoffnutzungspotenzial der passiven und aktiven Kontinentränder sein. Die Untersuchung der Kontinentränder in ihrer unterschiedlichen typologischen Ausbildung sind wichtige innovative Beiträge für die zukünftige Versorgung mit Erdöl und Erdgas. Da die industrielle Exploration zur Zeit in Bereiche bis ca. 2000 m Wassertiefe vorgedrungen ist, werden mit den Arbeiten der BGR die Grundlagen für die zukünftige Erkundung bisher schwer zugänglicher und noch nicht erschlossener Gebiete geschaffen und eine verbesserte Einschätzung der Weltressourcen ermöglicht.

Die Öffnungsgeschichte des Südatlantiks und ihre Bedeutung für das KW-Potenzial

Die passiven Kontinentränder des vulkanischen Typs und ihre Übergänge zum nichtvulkanischen Typ liefern Rahmenbedingungen für die Ableitung von Szenarien für die Bildung von Erdöl und Erdgas im Tiefwasser-Umfeld. In den letzten zwanzig Jahren haben marine geophysikalische Untersuchungen und wissenschaftliche Tiefseebohrungen gezeigt, dass sich am Anfang des Spreizungsprozesses, wenn ein Kontinent zerbricht, zwei sehr unterschiedliche Typen passiver Kontinentränder herausbilden können:

- der nichtvulkanische Kontinentrand, charakterisiert durch eine relativ dünne Kruste mit Kippschollen und assoziierten sedimentären Riftgräben, und
- der vulkanische Kontinentrand.

Die Kruste eines vulkanischen Kontinentrandes, wie der des Untersuchungsgebietes vor Argentinien, wird bestimmt durch mächtige Abfolgen vergrabener Laven (SDR) in der Oberkruste und eine mehrere Kilometer mächtige Unterkruste, die teilweise sehr hohe Konzentrationen von Mantelmineralien enthalten. Die Anlage dieser magmatischen Einheiten fand kurz vor der eigentlichen Spreizung statt. Oftmals fallen die SDRs mit einer magnetischen Anomalie zusammen. Von welchen

Parametern es abhängt, ob sich passive Kontinentränder vulkanisch oder nichtvulkanisch ausbilden, ist bisher nicht bekannt. Vor allem aber ist ungeklärt, in welcher Form das Kohlenwasserstoffpotenzial von den damit verbundenen unterschiedlichen Prozessen beeinflusst wird.

Die marine Forschungsfahrt BGR98 konzentrierte sich auf ein Gebiet vor Argentinien, welches das Studium der unterschiedlichen Kontinentränder auf engem Raum ermöglicht. Im südlichen Bereich des Kontinentthanges lassen sich bis zu fünf Folgen von Lava-Ergüssen identifizieren. Das magmatische Material wurde also in mehreren Schüben und nicht, wie weiter im Norden, während eines einzelnen transienten Ereignisses abgelagert. Möglicherweise stellt diese Form des Vulkanismus einen Übergang zu einem nichtvulkanischen Kontinentrand noch weiter im Süden (bei 45° S) dar, wie es sich dort auch durch das vollständige Fehlen einer entsprechenden magnetischen Anomalie andeutet.

Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für Beckenanalysen, mit denen Modelle und Szenarien für die Ausbildung von Kohlenwasserstoffanreicherungen im Tiefwasser-Umfeld geprüft werden sollen.

Submarine Gashydrate – Der aktive Kontinentrand Costa Ricas

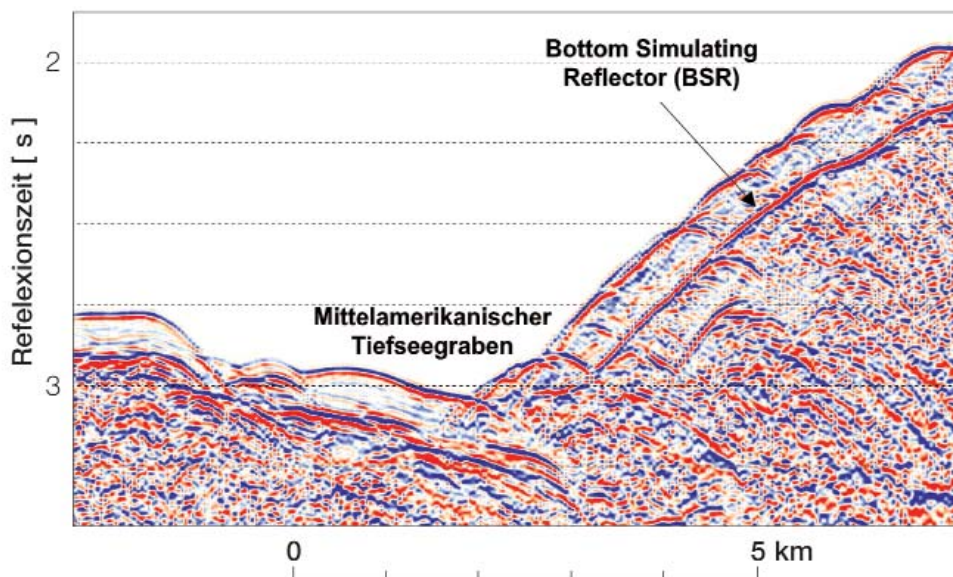
Gashydrate sind feste Verbindungen, in denen ein Gas – meist Methan – physikalisch in ein Gitter aus Wassermolekülen eingelagert ist. Diese Verbindungen sind unter den hohen Drücken und tiefen Temperaturen, wie sie in der Tiefsee herrschen, stabil und befinden sich dort in einem eisähnlichen Zustand (sog. Klathrate). Die Bildungsprozesse und regionale Verbreitung von Gashydraten sind zum größten Teil noch unverstanden. Konservative Schätzungen gehen davon aus, dass die in Hydraten gespeicherten Kohlenwasserstoffmengen mindestens doppelt so groß sind wie die vorhandenen konventionellen Vorkommen fossiler Brennstoffe. Ebenso unbekannt sind die Auswirkungen von plötzlichen Methanfreisetzungen auf das Erdklima, da Methan eines der wichtigsten Treibhausgase darstellt. Plötzliche Instabilitäten der Hydratschicht und damit verursachte submarine Hangrutschungen können auch für verheerende Flutkatastrophen verantwortlich sein.

In reflexionsseismischen Aufzeichnungen ist das Vorhandensein von Gashydraten sehr oft durch besondere Reflexionen, sogenannte „Bottom Simulating Reflectors“ (BSR) zu erkennen (s. Abbildung unten). Die Tiefenlage des Einsatzes wird durch den Grad der Temperaturzunahme unter dem Meeresboden bestimmt. Seine Intensität und seine Reflexionspolarität werden durch den Übergang der festen Gashydrat-Phase zum darunterliegenden freien Gas erzeugt, das sich unter der festen Hydratschicht sammelt und zu einer Erniedrigung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen führt.

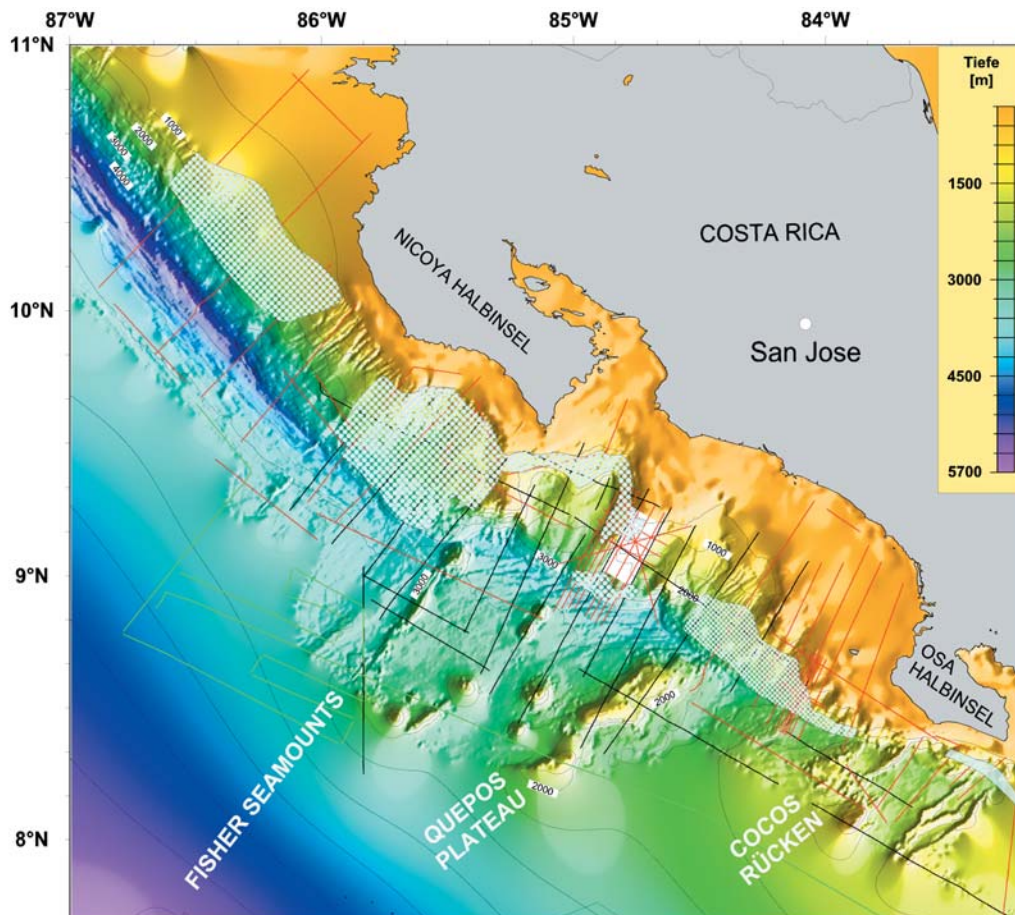
Die BGR hat bei vielen seegeophysikalischen Expeditionen an aktiven und passiven Kontinenträndern flächenhaft verteilte BSRs als Anzeiger für das Vorhandensein von Gashydraten gefunden und an diesen Stellen z. T. auch gas-geochemische Proben genommen.

Am aktiven Kontinentrand an der pazifischen Küste von Costa Rica wurden in den letzten Jahren auf drei seegeophysikalischen BGR-Expeditionen 2D- und 3D-Reflexionsseismik durchgeführt. Diese Datensätze werden speziell hinsichtlich der Gashydratreflexionen untersucht. Dabei sollen aus den seismischen Signalen lithologische Parameter ermittelt und ein Reservoirmodell dieser „unkonventionellen Lagerstätte“ erarbeitet werden.

Eine Kartierung ergab, dass die von BSRs gekennzeichnete Fläche und damit die minimale Ausdehnung des Gashydratvorkommens am aktiven Kontinentrand vor Costa Rica ca. 7700 km² beträgt. Ergebnisse des wissenschaftlichen Ozeanbohrprogramms ODP („Ocean Drilling Program“) haben gezeigt, dass 1 m² Ozeanboden, der mit Gashydraten unterlagert ist, bei normalen Druck- und Temperaturverhältnissen ca. 800 m³ Methan enthält. Dies bedeutet, dass in den Gashydraten vor Costa Rica ca. 6,2 x 10¹² m³ Methan gespeichert sein können.



Seismische Registrierung vom unteren Kontinentrand Costa Ricas. Landwärts des Tiefseegrabens ist ein deutlicher BSR zu erkennen, seine Reflexionspolarität ist gegenüber der Meeresbodenreflexion umgekehrt.



Bathymetrische Karte des aktiven Kontinentalrandes von Costa Rica. Die Verteilung von Gashydrat anzeigenden BSRs sind gepunktet dargestellt. Die Gesamtfläche beträgt 7700 km².

Methanführende kalte Quellen im Seegebiet vor Java

Die BGR führte 1999 ein deutsch-indonesisches Gemeinschaftsprojekt (GINCO) im Meeresgebiet südlich des Sunda-Bogens durch. Im Vordergrund der Untersuchung stand dabei, den strukturellen Aufbau des Untergrundes an dieser aktiven Platten-grenze und seine Rolle für das Nutzungs- und Gefährdungspotenzial dieser dichtbesiedelten Region zu erforschen. Mit akustischen Reflexionsverfahren während der Fahrt SO137 mit dem Forschungsschiff SONNE wurde der Meeresuntergrund durchschallt und dabei festgestellt, dass die Sedimente in den Becken mehr als 5 km mächtig sind. In diesen Ablagerungen hat sich eine Steilstruktur entwickelt. Der Verlauf der Struktur ist am Meeresboden als lokale Erhebung erkennbar, die die anhaltende Bewegungsaktivität belegt. Es wird angenommen, dass die Entstehung der Struktur mit der Krümmung

des Sunda-Inselbogens und der Richtung der Plattenbewegung in Zusammenhang steht.

An dem vor Java gebildeten Rücken entweichen aus den Sedimentablagerungen beträchtliche Mengen von Erdgas in das Meerwasser. Die Untersuchungen während der Fahrt SO139 zeigten 150-fach erhöhte Gehalte gegenüber der normalen Konzentration. Unter dem hohen Druck in 3000 m Wassertiefe ist das Gas am Meeresboden im Meerwasser gelöst. Man muss sich diese Austrittsstellen daher als kalte Quellen vorstellen, deren emporströmende Wässer (Fluide) eine reiche Fracht von gelöstem Gas und Feststoffen transportieren. Mit dem gezielten Einsatz der Tiefseekamera konnten die Austrittsstellen an der Meeresbodenerhebung aufgespürt werden. Als Hilfsmittel für die Ortung wurden die lokal massiv auftretenden

hochspezialisierten Muscheln und Röhrenwürmer verwendet. Diese Tiere nutzen Schwefelwasserstoff und Methan als „Nahrungs-“ bzw. Energiequelle, indem sie eine enge Lebensgemeinschaft mit Methanbakterien eingehen. Ihr Nahrungskreislauf ist somit praktisch unabhängig von dem der bekannten Tier- und Pflanzenwelt. Ihre Verbreitung ist an die oben beschriebenen kalten Quellen gebunden. Die Fluide fördern auch die Fällung von Kalk. Isotopenuntersuchungen des Kalkes haben diesen Zusammenhang bestätigt.

Die Untersuchungen zeigten, dass Fluide in einer Zone von ca. 300 m Durchmesser austreten. Das Schnittbild zeigt im Scheitel der Struktur einen besonders stark gestörten Bereich, der mit einer aufgehellten Zone einhergeht, die bis zum Meeresboden heraufzieht. An dieser Stelle wird der Aufstiegsweg

vermutet. Die Untersuchung des Methans der Fluide in den Laboren der BGR hat ergeben, dass das austretende Gas bakteriell erzeugt wurde. Aus dem Sediment entnommenes Porenwasser enthält zudem Hinweise, dass Gas aus zerfallenem Gashydrat beteiligt ist. Die akustischen Reflexionsmessungen zeigen, dass dieses Gas im Ablagerungsbecken weit verbreitet ist; es ist zwar heutzutage noch nicht gewinnbar, stellt aber für die Zukunft eine zusätzliche Energieressource dar.

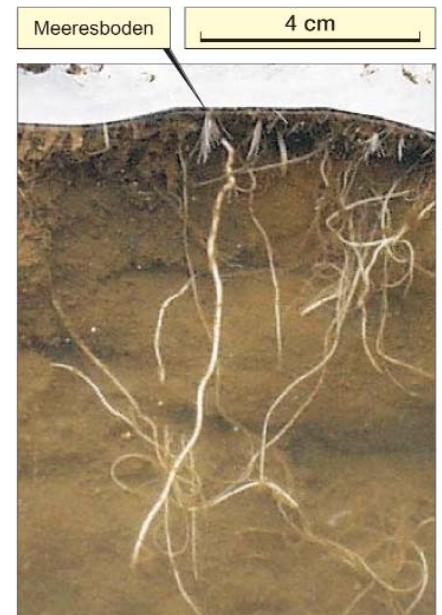
Die Erforschung zahlreicher geologischer Prozesse, die heute im Meer ablaufen, gilt als Schlüssel für das Verständnis vieler Rohstoffanreicherungen in Lagerstätten an Land; sie liefert auch Kenntnisse über bisher unbekannte Einflussgrößen für z. B. klimatische Vorgänge. Im nachfolgenden Beispiel werden Prozesse in einem Meeresgebiet untersucht, dessen Meeresboden als „im Entstehen begriffene Phosphorit-Lagerstätte“ gesehen wird. Die gewonnenen Erkenntnisse werden die Modellvorstellungen der Lagerstättenbildung im flachmarinen Bereich beeinflussen und damit auch die Lagerstättenuche an Land. Insbesondere die Rolle der verbreiteten Schwefelbakterien wirft weitere Fragen auf: Welche Bedeutung haben sie als ein Bindeglied zwischen Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelkreislauf für das Klimageschehen?

Riesenbakterien im Auftriebsgebiet vor Peru

Bakterien sind an vielen geochemischen Prozessen maßgeblich beteiligt. Eine bakterielle Steuerung wird bei den chemischen und mineralogischen Veränderungen der Meeressedimente häufig postuliert, ist aber sehr schwierig nachzuweisen. Auch die Genese von Phosphorit, der der wichtigste Rohstoff für Phosphatdünger ist, wird in diesem Zusammenhang diskutiert. BGR hat deshalb die im Auftriebsgebiet vor Peru weit verbreiteten Phosphorite während der Expedition SO147 mit FS SONNE im Juni 2000 untersucht.

Vor Peru treiben ablandige Winde das warme Oberflächenwasser in den Westpazifik und kalte, mit Nährstoffen reich beladene Wassermassen quellen als Auftriebswasser an der Küste auf, in denen die oberflächennahe Bioproduktion gesteigert wird. Das aus der Deckschicht absinkende organische Material verbraucht bei seiner Zersetzung den im tieferen Wasser gelösten Sauerstoff vollständig. Das Wasser unterhalb von 50 m ist frei von Sauerstoff und daher ein extrem lebensfeindlicher Raum. Angepasst an diese Verhältnisse haben sich Schwefelbakterien, die im Meeresboden als bis zu 28 cm lange Schnüre (Bakterienfilamente) wachsen und einige Zentimeter ins Wasser ragen. Über Hunderte von km² bilden sie einen dichten Bakterienrasen, der nach Untersuchungen des an den Untersuchungen beteiligten Max-Planck-Institutes für Mikrobiologie in Bremen im Wesentlichen aus den zwei Arten *Thioploca* und *Beggiatoa* besteht. Sie entziehen dem Wasser gelöstes Nitrat und „verbrennen“ dieses zusammen mit Schwefelwasserstoff aus dem Sediment, wodurch sie ihre Energie gewinnen. Untersuchungen an Bord der SONNE beweisen, dass die Schwefelbakterien massiv die chemischen Reaktionen an der Sediment-Meerwasser-Grenze beeinflussen.

Für die chemische Charakterisierung dieser Grenzzone wurde erstmals von der BGR ein Ionenchromatograph an Bord betrieben. Damit konnten wichtige



*Sedimentprobe der obersten 15 cm des Meeresbodens aus dem Seegebiet vor Peru (100 m Wassertiefe). Die weißen „Fäden“ sind riesenwüchsige Bakterien der Gattungen *Thioploca* und *Beggiatoa*.*

Reaktionspartner im Meerwasser und Porenwasser der Sedimente schnell und unverändert im automatisierten Betrieb bestimmt werden. Durch die sofortige Auswertung an Bord konnten im Porenwasser einige cm unter dem Meeresboden dreifach erhöhte Phosphatgehalte nachgewiesen werden, die wahrscheinlich durch die Bakterien freigesetzt wurden. Solche erhöhten Konzentrationen können im Sediment zu einer endgültigen Ausfällung des Phosphates und damit zur Bildung von Phosphoritlagerstätten führen.

Seit den siebziger Jahren führt die BGR Land- und See-Expeditionen in der Arktis durch. Diese Untersuchungen sind angewandte Forschung im Vorfeld der industriellen Exploration. Seit 1992 untersucht die BGR innerhalb des Rahmenprojekts CASE (Cirkumarktische Strukturereignisse) tertiäre Deformationsstrukturen und Vulkanitprovinzen an den arktischen Kontinenträndern, einer Region, die auch wegen ihres hohen Potenzials an mineralischen Lagerstätten von besonderer Bedeutung ist.

Wegener-Störung und Nares-Straße: Gleitbahnen zwischen zwei Ozeanen

Die CASE-Kampagnen 1998–2000 an der Nares-Straße wurden mit dem Kanadischen Geologischen Dienst im Rahmen der Wissenschaftlich-Technischen Zusammenarbeit beider Länder durchgeführt.

Während der Kreidezeit trennte im Norden eine große zusammenhängende Landmasse, die Nordamerika, Grönland und Eurasien umfasste, den sich öffnenden Atlantik vom Kanada-Becken des Arktischen Ozeans. An der Wende zum Tertiär wurde diese Landmasse durch die Öffnung von zwei schmalen Ozean-

becken in der Labrador-See und der zentralen Baffin-Bay sowie einem System von Transform-Störungen durchtrennt. Die bedeutendste Störung durch die Nares-Straße stellte die Verbindung zu dem sich öffnenden Eurasischen Ozeanbecken her. Diese Transform-Störung sollte nach seismischen und magnetischen Messungen der BGR in der Labrador-See einen Versatz von mehr als 200 km haben. Bei Geländearbeiten am kanadischen Ufer der Nares-Straße wurde diesem Problem an Land nachgegangen. Die untersuchten Blattverschiebungen verlaufen parallel zur Nares-

Straße und ihr Bewegungssinn ist links-sinnig entsprechend der postulierten Transform-Störung. Die Versatzbeträge an den Einzelstörungen liegen bei maximal 20 km. In der Gesamtsumme könnte das gesamte System einen Versatz von ca. 100 km bewirkt haben. Ob der theoretisch noch fehlende Versatzbetrag an eine Hauptstörung in der Nares-Straße selbst gekoppelt ist, soll u. a. eine für 2001 geplante marin-seismische Messfahrt klären.

Der Öffnung des Eurasischen Beckens des Arktischen Ozeans gingen während der Kreidezeit vulkanische Aktivitäten in der noch geschlossenen Landmasse voraus. Die vulkanischen Gesteine wurden in der BGR untersucht und lassen sich nunmehr bestimmten Entwicklungsabschnitten zuordnen:

- Während der Unterkreide (bis in die unterste Oberkreide) wurden im nördlichsten Kanada in mehreren Phasen Ozeanrücken-Basalte in Form von Laven und Gängen gefördert, die möglicherweise gemeinsam mit ähnlichen Vulkaniten von Franz-Joseph-Land und Spitzbergen eine große kontinentale Flutbasalt-Provinz bildeten.
- Alkali-Vulkanit-Provinzen auf der kanadischen nordwestlichen Ellesmere Island (Hansen-Point-Vulkanite) und in Nord-Grönland (Kap-Washington-Gruppe) könnten nach vorliegenden ersten Altersdatierungen am Gesamtgestein etwa parallel zueinander über mehrere Millionen Jahre in der Oberkreide bis ins unterste Tertiär aktiv gewesen sein. Sie waren vermutlich an einen später nicht mehr aktiven Zweig einer großen kontinentalen Riftzone gebunden, an der vor etwa 56 Millionen Jahren die Ozean-Spreizung des Eurasischen Beckens des Arktischen Ozeans begann.

Weitere Untersuchungen werden in den submarinen und landgebundenen Permafrostgebieten durchgeführt. Hier wird Fragen über z. B. Entgasungsereignisse und ihre Auswirkungen auf das Klima der jüngsten erdgeschichtlichen Vergangenheit nachgegangen.



Geländearbeit auf Ellesmere Island in der kanadischen Arktis. Stirn einer auf Kreide/Tertiär (Vordergrund) überschobenen Decke von paläozoischen Sedimenten.

Zur Genese der pock marks in der Laptev-See, Sibirien

Echolot-Aufnahmen vom Meeresboden der Laptev-See, Sibirien, aufgenommen während BGR-Expeditionen 1994 und 1997, zeigen wenige Meter hohe, ringförmige Erhebungen mit Durchmessern von bis zu mehreren hundert Metern. Die Entstehung dieser „Ringe“ ist unklar. Sie könnten Austrittsstellen großer Mengen von Gas aus dem Untergrund markieren oder auch Reststrukturen alter Pingos bzw. Palsas oder Schleifspuren driftenden Eises darstellen. Der Laptev-Seeschelf ist während der letzten Kaltzeiten wiederholt trocken gefallen und hat tiefgründigen Permafrost gebildet. In Warmzeiten – wie auch heute – wies er nach Wiederanstieg des Meeresspiegels Wassertiefen von wenigen Zehner Metern auf, wobei sich der Permafrost am Meeresboden nur wenig zurückgebildet hat (submariner Permafrost). Ausgelöst durch den Zyklus der Eiszeiten oszilliert die Mächtigkeit der submarinen Permafrostschicht. Gase, die im Permafrost während der Kaltzeiten gefangen sind, werden möglicherweise bei Wiedererwärmung in Warmzeiten freigesetzt,



Bohrkern aus einer Eisaufwölbung. Mariner Ton ist weitgehend durch massive Eisbildung zerrissen worden.

um dann in Richtung Erdoberfläche zu migrieren. Dieses Szenario spricht für die These von Gasausbrüchen am Meeresboden, verbunden mit der Entstehung von „pock marks“.

Eine weitere Deutungsmöglichkeit ergibt sich aus Permafrost-Sonderformen, die sich heute an der Ostküste der Hudson Bay herausbilden. In marinen Böden, die durch derzeitige Landhebung neue Landflächen bilden, wachsen wenige Meter hohe Eisaufwölbungen („cryogenic mounds“ oder „mineralogenic palsas“) zu Hügeln mit Durchmessern von mehreren Zehner Metern, die am Ende ihrer Evolution nach vielen Jahrzehnten zu einer ringförmigen Struktur zerfallen. Die BGR untersucht in Kooperation mit der Université Laval, Quebec, Kanada, derartige Strukturen in einem Gelände nahe Umiujaq/Nunavik (Ostküste der Hudson Bay). Im Juli 2000 wurden sieben Bohrungen in einen „mineralogenic palsa“ abgeteuft. Die Bohrkern bestehen aus einer Abfolge von Eislinen mit Einschlüssen von Tonfetzen. Der Eisanteil im Gefrierbereich unterhalb der ca. 1,5 m tiefen Auftauzone wird mit ca. 80 % abgeschätzt. 45 Temperatursensoren und ein Drucksensor wurden in sechs Bohrungen installiert, die für vorerst zwölf Monate den Temperaturgang in der Struktur messen und Hinweise auf eventuelle Fließvorgänge von ungefrorenem Wasser im Eis liefern sollen.



Voll ausgebildete Eisaufwölbungen (Bildmitte) wie auch verschiedene Stadien des Zerfalls bis hin zur Ringstruktur.

Mit diesen Arbeiten soll die Zuordnung der „pock marks“ der Laptev-See zu einem der eingangs angedeuteten Szenarien besser abgesichert werden.

Die geophysikalische Erkundung der ozeanischen Kruste wendet sich immer komplexeren Fragestellungen zu, so dass zweidimensionale Verfahren an ihre Grenzen stoßen können. In der Refraktionsseismik, die besonders für Untersuchungen in tieferen Bereichen geeignet ist, scheiterte die 3D-Auswertung großer Datensätze. Durch Aufbau auf den methodischen Entwicklungen der Seismikgruppe der BGR konnte ein Verfahren bereitgestellt werden, das auch bei umfangreichen refraktionsseismischen Datensätzen eine 3D-Analyse ermöglicht. Diese Arbeiten sind Voraussetzung für die Einrichtung von seismischen Beobachtungsstationen (z. B. zur besseren Erfassung globaler Erdbebenaktivität).

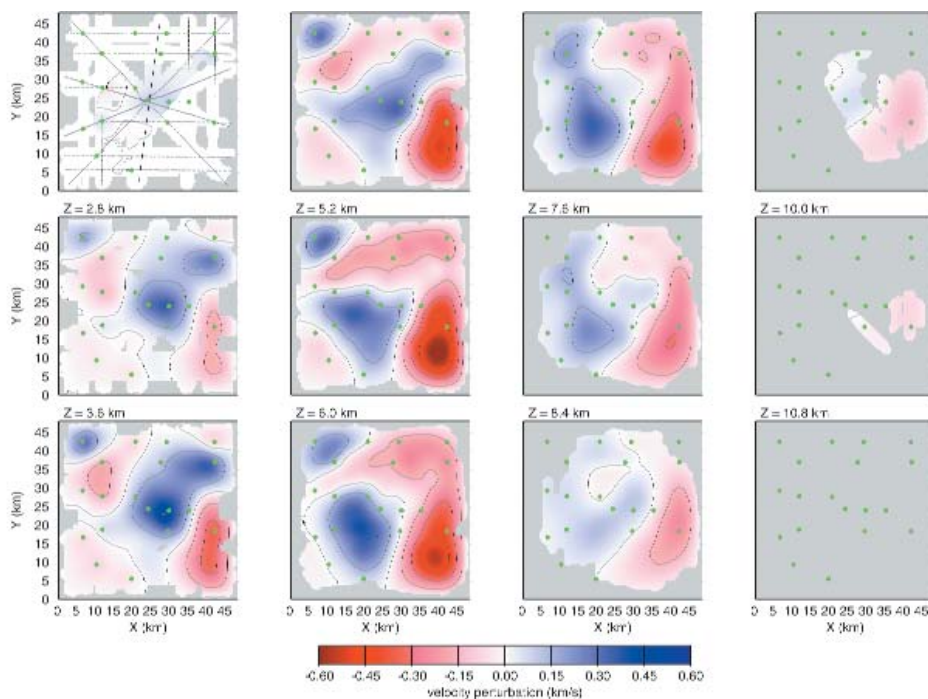
Seismische 3D-Tomographie am Ninetyeast-Rücken im Indischen Ozean

Im Indischen Ozean erstreckt sich entlang des 90. östlichen Längengrades ein riesiger untermeerischer Rücken mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von 5000 km, der wegen seiner geographischen Lage den Namen „Ninetyeast-Rücken“ trägt. Etwa 2000 km südlich des Äquators wurde dieser Rücken im Rahmen der Messfahrt SO-131 SINUS von FS SONNE erkundet. Eines der Ziele war die dreidimensionale seismische Erkundung der näheren Umgebung einer geplanten Erdbebenstation, die unterhalb des Meeresbodens in einem Bohrloch installiert werden soll. Hierzu wurde von GEOMAR und BGR ein Experiment durchgeführt, mit dem – vergleichbar der Computer-Tomographie in der Medizin – der Untergrund dreidimensional durchleuchtet wurde: In einem Areal mit einer Seitenlänge von 50 km wurden 24 Ozean-Boden-Hydrophone (OBH) auf den Meeresboden versenkt. Auf einem engen Profilvernetz erzeugten die Luft-

pulser der BGR seismische Wellen, so dass schließlich mehr als 200 000 Seismogramme vorlagen.

Die tomographische Auswertung erfordert das Festlegen der Einsatzzeiten der seismischen Wellen in den aufgezeichneten Seismogrammen. Dies wird im Normalfall manuell am Bildschirm vorgenommen, ist aber bei einer so großen Datenmenge wie bei SINUS nicht mehr praktisch durchführbar. Deshalb wurde für die Auswertung der Daten des SINUS-3D-Experiments bei der BGR ein Verfahren entwickelt, das durch die Anwendung geeigneter Filterprozesse zur Qualitätsverbesserung ein semiautomatisches und schnelles Vorgehen ermöglicht. So war es möglich, im gesamten Datensatz die benötigten Ersteinsatzzeiten zu bestimmen und die Daten des SINUS-3D-Experiments für die dreidimensionale Tomographie aufzubereiten.

Ein Beispiel zeigt die vorläufig ermittelte dreidimensionale Zonierung der



Dreidimensionale tomographische Bestimmung der seismischen Geschwindigkeitsvariationen in verschiedenen Tiefen. Die Lage der Ozeanbodeninstrumente (grüne Punkte) und der Anregungsprofile (schwarze Linien) sind links oben dargestellt.

seismischen Geschwindigkeiten (s. Bildfolge auf der vorhergehenden Seite). Bereits in diesem ersten Modell der tomographischen Bearbeitung sind starke Variationen im Untergrund erkennbar, die bei Nichtberücksichtigung die Lokalisierung der Erdbeben im späteren Betrieb des geplanten Observatoriums stark verfälschen würden. Die Ermittlung der Stationsparameter bei derartigen Observatorien, die sonst nur auf sogenannten Fernbeben basiert, wird so erheblich erleichtert und beschleunigt. Darüber hinaus wird mit dem entwickelten Verfahren die Möglichkeit eröffnet, schnell und effektiv die immer umfangreicheren Datensätze zu bearbeiten, die inzwischen auch bei der sogenannten Weitwinkel-/Refraktionsseismik gewonnen werden. Diese wendet sich wie die Reflexionsseismik bei der industriellen Exploration zunehmend der dreidimensionalen Erfassung des Untergrundes und der tomographischen Analyse zu.

Die Antarktis-Aktivitäten der BGR sind Grundlagen-orientiert und tragen zum Erhalt des Konsultativstatus der Bundesrepublik Deutschland in der Gruppe der Antarktis-Vertragsstaaten bei. Da diese Region und ihre Ränder jedoch eine Schlüsselrolle bei der Entstehung und beim Zerfall des Superkontinents Gondwana spielten, liefert sie im Rahmen der BGR-Aufgaben wichtige Kernaussagen für die ehemals mit ihr zusammenhängenden anderen Südkontinente (Südamerika, Afrika, Indien, Australien). Im Südsommer 1999/2000 führte die BGR ihre achte GANOVEX-Expedition im Transantarktischen Gebirge im nördlichen Viktorialand sowie an der Oates- und George-V-Küste durch. Ausgehend von geologisch zugänglichen Gebieten wurde in ein fast völlig eisbedecktes und gänzlich unerforschtes Gebiet vorgedrungen.

Die Antarktis als Schlüssel zum Studium der Südkontinente

Das Transantarktische Gebirge bildet mit 3000 km Länge und 4000 m Höhe das höchste Bruchschollen-Gebirge der Erde. Bildungsursachen und Beziehung zu seinen Nachbarregionen Ross-Meer und vor allem Antarktischer Schild sind praktisch unbekannt. Während im Ross-Meer von der BGR umfangreiche Daten gemessen worden sind, sind sie für den Untergrund des Transantarktischen Gebirges nur spärlich vorhanden und fehlen fast gänzlich für die Rückseite, d. h. für den Übergang zum Ostantarktischen Schild.

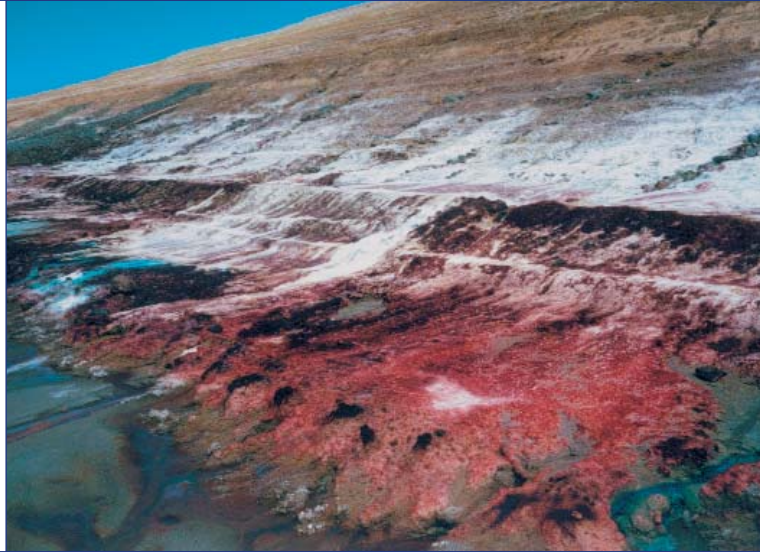
Zur Beantwortung der Fragestellungen Aufbau des Gebirges, Struktur des Hinterlandes, Übergang zum Schild wurde während der Expedition GANOVEX VIII eine Vielzahl geowissenschaftlicher Verfahren mit z. T. innovativen Forschungsansätzen angewandt:

- Zahlreiche große Blattverschiebungen im Seegebiet vor der Oates-Küste versetzen den Mittelozeanischen Rücken zwischen der Antarktis und Australien. Diese über mehrere 100 km zu verfolgenden Störungen laufen auf die Küste Nordviktoralands zu. Auswirkungen auf der kontinentalen Seite konnten durch GANOVEX VIII nachgewiesen werden, und zwar vor allem in den tektonisch stark beanspruchten alten Blockgrenzen (Terranes) und in Strukturzonen, die den großen Gletschern folgen. Erdbeben, die bereits früher im Rennick- und Matusевич-Gebiet lokalisiert worden waren, belegen, dass diese Zonen auch heute noch aktiv sind. Es gelang auf diesen Expeditionen, ein relativ starkes Beben (Magnitude 3,0) vor Ort im unteren Rennick-Gletscher aufzuzeichnen.
- Weiter westlich am Matusевич-Gletscher wurden Gesteine gefunden, die vermutlich alten Ozeanboden darstellen und die einen alten aktiven Plattenrand belegen können. Diese Hypothese wird unterstützt durch eine ungewöhnlich starke, 120 km lange magnetische Anomalie parallel zum Gletscher.

Die Auswertungen der geologischen und paläomagnetischen Beprobungen, der Altersdatierungen sowie der Vermessung des Schwere- und Magnetfeldes ergeben neue Erkenntnisse zum Bau des tieferen Untergrundes, d. h. auch zur Grenze zwischen dem alten Ostantarktischen Schild und den vorgelegerten jüngeren Mobilzonen. Die Ergebnisse erlauben sowohl Rückschlüsse auf Entstehung und Zerfall von Großkontinenten als auch über die Kontinentrandentwicklung der australischen Südküste.

- BAUER, K., NEBEN, S., SCHRECKENBERGER, B., EMMERMANN, R., HINZ, K., FECHNER, N., GOHL, SCHULZE, A., TRUMBULL, R.B. & WEBER, K. (2000): Deep Structure of the Namibia Continental Margin as derived from integrated Geophysical Studies.– *J. Geophys. Res.*, **105**: 25.892–25.853.
- DAMASKE, D., BOZZO, E., MOELLER, D., FERRACCIOLLI, F. & CHIAPPINI, M. (2001): A new aeromagnetic survey along the Pennel, Oates and Georg V Coast (East Antarctica).– *Terra Antarctica Reports*, **5**: 1–11, Siena.
- HINZ, K., NEBEN, S., SCHRECKENBERGER, B., ROESER, H.A., BLOCK, M., GONZALVEZ DE SOUZA, K. & MEYER, H. (1999): The Argentine continental Margin north of 48°S: Sedimentary successions, volcanic activity during breakup.– *Mar. Petrol. Geol.*, **16**: 1–25.
- ROLAND, N.W., HENJES-KUNST, F., KLEINSCHMIDT, G. & TALARICO, F. (2001): Petrographical, geochemical, and radiometric investigations in northern Victoria Land, Oates Land and Georg V Coast: Towards a better understanding of plate boundary processes in Antarctica.– *Terra Antarctica Reports*, **5**: 23–45, Siena.

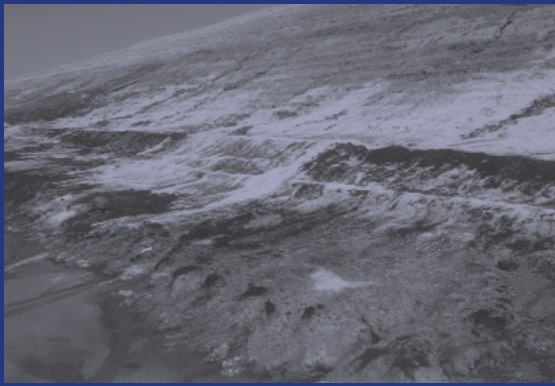
8



Geoumwelt- und Ressourcenschutz

Bei der nachhaltigen Nutzung der Rohstoffe muss der Ressourcen- und Umweltschutz stark berücksichtigt werden. Abfälle aus der Cyanidlaugung im Bergbau – wie hier in Zimbabwe – müssen vermieden oder aber rückstandsfrei beseitigt werden.

Strategien zur Vermeidung schädlicher Einwirkungen durch Stoffeinträge müssen Bewertungen zum dynamischen Verhalten von Schadstoffen in verschiedenen geologischen Medien enthalten.



Geumwelt- und Ressourcenschutz

Unsere Umwelt kann durch natürlich bedingte Ursachen (geogene Einflüsse) und durch menschliche Tätigkeiten (anthropogene Ursachen) beeinträchtigt werden. In der Verfolgung der Leitlinie „Nutzung der Geopotenziale zur nachhaltigen Sicherung und Verbesserung der Lebensbedingungen“ wird den Fragen nachgegangen, welche Ursachen – geogen oder/und anthropogen – beobachtete Beeinträchtigungen haben können und welche Möglichkeiten ihrer Erkundungen, Vermeidung bzw. Verminderung aus geowissenschaftlicher Sicht bestehen. Will man beobachtete Belastungen der Umwelt und Schadstoffe richtig bewerten, so ist es notwendig, die geogenen Ausgangswerte zu kennen.

Die beschriebenen Beispiele zeigen Ausschnitte der vielfältigen Arbeiten in diesem wichtigen Arbeitszweig.

- Mit Flugzeugsensoren lassen sich Ölverschmutzungen erkennen.
 - Bakterien und Pilze helfen bei der Reinigung von Abwässern aus dem Bergbau.
 - Reststoffe des Bergbaus aus Halden und Schlacken können die Umwelt belasten und das Grundwasser beeinträchtigen. Lösungswege zur Verminderung von Belastungen werden gefunden.
 - Einfache Maßnahmen können helfen, um Standorte des Altbergbaus zu sichern und das davon ausgehende Gefährdungspotenzial zu mindern.
- Reststoffe aus dem Altbergbau, aus Halden und Schlammteichen, können der Nutzung zugeführt werden.
 - Empfehlungen zum Umweltschutz und zur Regionalplanung für Entwicklungsländer leisten einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung.

Flugzeugsensoren zur Erkundung von Ölverschmutzungen

Durch Unfälle und Havarien gelangen immer wieder Mineralölprodukte in den Boden und gefährden das Grundwasser. Bisher fehlten geeignete Verfahren zur Überwachung gefährdeter Bereiche, wie Leitungstrassen, Umschlagplätze, Industrieanlagen, militärische Übungsgelände oder Flugplätze. Kontrollen am Boden sind aufwendig und kostenintensiv und erfassen häufig nur Teile eines Geländes. Die Erkennung verdächtiger Geländeabschnitte kann daher unvollständig sein. Auch die Überwachungsverfahren mit Flugzeugen oder Satelliten waren bisher in ihren Aussagen mehrdeutig und damit unsicher.

Die BGR nutzte den 128-kanaligen australischen HyMap Scanner, einen der modernsten Flugzeugsensoren, für methodische Untersuchungen zur Erkundung von ölkontaminierten Böden. Während herkömmliche fotografische Luftbildkameras Bilder im sichtbaren Abschnitt des Lichtes liefern

– Wellenlängen zwischen 400 und 650 Nanometer (nm) –, sind digitale Kameras (Scanner) in der Lage, auch nicht sichtbare Abschnitte des Lichtes zu erfassen. Hyperspektrale Scanner teilen den Spektralbereich zwischen 400 und 2500 nm in viele schmalbandige Kanäle von etwa 10 nm Breite. Eine vollständige Hyperspektralaufnahme besteht damit aus über 100 deckungsgleichen Einzelbildern. Durch die Kombination ausgewählter Einzelbilder können Gesteine, Böden und andere Materialien, z. B. ölbeltete Böden, erkannt werden.

Zunächst wurden Referenzuntersuchungen auf dem Gelände der BGR in Berlin auf 1 m² bis 48 m² großen Testflächen aus unterschiedlichen, zum Teil mit Mineralölprodukten vermischten Materialien durchgeführt. Es war das Ziel, die spektralen Signaturen der unterschiedlichen Materialien und die Definition von spektralen Merkmalen zu ermitteln und die Methode zu kalibrieren.



Links: HyMap-Colorcomposite-Bild in natürlichen Farben unter Verwendung von drei HyMap-Kanälen aus dem sichtbaren Bereich des Lichtspektrums (VIS Bänder 16/R, 10/G, 3/B). Das Bild zeigt einen Ausschnitt des vom HyMap-Sensor erfassten Geländes in Berlin-Spandau einschließlich der Kalibrierflächen auf dem Gelände der BGR.

Rechts: HyMap-Falschfarben-Colorcomposite-Bild unter Verwendung von drei HyMap-Kanälen aus dem nicht sichtbaren Bereich des Lichtspektrums zwischen 1500 und 2500 Nanometer. (ÖL – ölkontaminierte Sandflächen unterschiedlicher Kontaminationsstärke und Flächengröße, F – Kunststofffolie, D – Kunststoffdach, R – Kunstrasen, T – Tartanbelag).

Die HyMap-Flüge wurden mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) durchgeführt. Zur Auswertung wurden die Kanäle aus dem sichtbaren Abschnitt des Spektrums zu „Colorcomposite-Bildern“ kombiniert, die das Gelände in nahezu natürlichen Farben abbilden (oben links).

Die Erfassung der ölbelasteten Flächen erfolgte mit „Falschfarben-Colorcomposite-Bildern“ unter Verwendung von Kanälen aus dem Spektralbereich um 1710 nm (oben rechts). Die Kanäle der charakteristischen spektralen Erkennungsmerkmale von Mineralölprodukten wurden gezielt ausgewählt. Im Bild werden die mit Öl vermischten Böden in violetten Farbtönen sichtbar; andere Materialien erscheinen grau. Kunststofffolien (F), Kunststoffdächer (D), Tartanbeläge (T) und Kunstrasen (R) von Sportanlagen erscheinen auch violett. Da Öle und Kunststoffe chemisch Kohlenwasserstoffe sind, haben sie identische spektrale Merkmale. Eine Unterscheidung zwischen Mineralölprodukten und kunststoff-

haltigem Material ist durch den Vergleich der Spektralsignaturen im sichtbaren Strahlungsbereich möglich.

Mit hyperspektralen Flugzeugsensoren ist es erstmals möglich, an der Geländeoberfläche vorkommende Mineralölprodukte sicher aus der Luft zu erkennen. Das Verfahren erlaubt eine schnelle und sichere Routineüberwachung gefährdeter Bereiche. Anwendungsfelder ergeben sich auch bei der Erkundung anstehender kohlenwasserstoffhaltiger Gesteine und sogenannter „Oil-Seeps“.

Cyanidabbau und Biosorption von Schwermetallen in der Goldgewinnung

Bakterien und Pilze sind nicht nur Krankheitskeime, sie reinigen auch Gift-Abwässer aus der Goldgewinnung.

Die Umweltkatastrophe in Rumänien und den Anrainerstaaten zu Beginn des Jahres 2000 hat auf ein Problem aufmerksam gemacht, dass weltweit mit der Goldgewinnung verbunden ist: Die mit Cyaniden belasteten Abwässer aus der Goldgewinnung müssen entgiftet werden.

Dies geschieht üblicherweise mit Hilfe chemischer Verfahren, die aber wegen des hohen Verbrauchs an Chemikalien



Sammelbecken für Prozesswässer aus der Goldgewinnung.

und wegen der Bildung bzw. Freisetzung von toxischen Verbindungen gewisse Nachteile aufweisen. Als Alternative könnten biotechnologische Verfahren zum Einsatz kommen.

In einem vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben wurden gemeinsam mit dem Institut für Bergbauforschung (ICPM) in Baia Mare, Rumänien, die Grundlagen für eine biotechnologische Entgiftung erarbeitet. Dazu wurden aus Abwasser- und Sedimentproben (Bergeteich Bozinta, Rumänien) Bakterien isoliert, die unter geeigneten Versuchsbedingungen (pH 8; 20–30° C) innerhalb weniger Stunden bis zu 520 mg/l Cyanid abbauen. Die Bakterien können an mineralisches Trägermaterial (Zeolith) gebunden und in Reaktoren zur Abwasserreinigung eingebracht werden. Während freies Cyanid von den Bakterien sowohl als Stickstoff- als auch als Kohlenstoffquelle genutzt wird, ist für den Abbau von Thiocyanat eine organische Kohlenstoffquelle erforderlich. Die Aufnahme des beim Cyanid- und Thiocyanatabbau frei werdenden Ammoniums ist ebenfalls an das Vorliegen einer organischen Kohlenstoffquelle gebunden. Anstelle von Glucose können Abfallprodukte aus der Getränkeindustrie und Melasse aus der Zuckergewinnung eingesetzt werden. Wenn erforderlich, kann Phosphat kosten-

günstig in Form von Rohphosphat zugegeben werden.

Die im Abwasser vorliegenden Metalle Kupfer, Eisen und Zink können über Biosorption an Pilzbiomasse (*Aspergillus*) gebunden und aus dem Abwasser eliminiert werden. Entscheidend für die Metallaufnahme ist dabei, welches Substrat (Apfelsaft, Melasse, Glucose) als organische C-Quelle für die Anzucht der Pilze verwendet wird.

Die bisherigen Ergebnisse bilden eine gute Ausgangsbasis für die Entwicklung eines biotechnologischen Verfahrens. Für eine technische Umsetzung der in Schüttelkulturen, im Kleinfermenter und in Glassäulen gewonnenen Ergebnisse sind weitere Untersuchungen in größerem Labormaßstab und Pilotversuche im Freiland notwendig.



Vorbereitung und Verpackung von Proben.

Mikroorganismen in Schlackenhalden

Aus Schlackenhalden wurden bisher nicht beschriebene alkalitolerante Mikroorganismen isoliert, die eine Freisetzung von Metallen bewirken können.

Bergbau- und Aufbereitungshalden enthalten oft beträchtliche Mengen an Restmetallen, die sowohl abiotisch-chemisch als auch durch mikrobiologische Aktivität mobilisiert werden können und dann zu einer Belastung von Oberflächen-, Grund- und Trinkwässern führen.

Während früher davon ausgegangen wurde, dass das Abraummateriale ausschließlich mit säureliebenden chemolithoautotrophen Thiobacillen besiedelt ist, die aufgrund ihrer Stoffwechsellleistungen schwerlösliche Metallsulfide in wasserlösliche Sulfate überführen, haben neuere Untersuchungen ergeben, dass neben den klassischen Laugungsbakterien auch andere ökologisch bedeutsame Gruppen, darunter Aerobier und Anaerobier, Bakterien und Pilze, in z. T. hohen Zellkonzentrationen vorkommen können.

Bei mikrobiologischen Untersuchungen mit Probenmaterial von einer Schlackenhalde in Niedersachsen wurden ausschließlich heterotrophe Bakterien und Pilze nachgewiesen. Dabei handelt es sich überwiegend um bisher noch nicht beschriebene alkalitolerante Stämme, die ganz offensichtlich trotz der geringen Mengen an verfügbarem organischem Kohlenstoff (40–50 mg/kg Trockensubstanz) im Haldenmaterial überleben können. Bei Laugungsversuchen mit den isolierten Bakterien und Pilzen wurden vorrangig Natrium, Calcium und Magnesium freigesetzt, aber auch Schwermetalle wie Mangan, Nickel, Zink und Kobalt wurden mobilisiert. Im Gegensatz zur abiotisch-chemischen Laugung war in mikrobiologischen Versuchsansätzen eine deutlich selektive Freisetzung von Metallen festzustellen. Untersuchungen mit dem Raster-Elektronenmikroskop ergaben im Vergleich zu den Steril-

kontrollen ohne Mikroorganismen deutliche Erosionsspuren auf der Oberfläche der silikatischen Partikel. Weiterhin zeigten die biologisch gelaugten Proben einen stark erhöhten Anteil an feinkörnigem Material auf den Oberflächen und in den Rissen, Spalten und Poren der Partikel sowie im Sediment.

Aufgrund des begrenzten Angebotes an gelösten organischen Nährstoffen ist derzeit keine akute Gefährdung der Umwelt durch biologische Laugungsvorgänge in der Schlackenhalde zu befürchten. Die Ergebnisse sind aber bedeutsam für das Verständnis natürlicher Verwitterungsprozesse an mineralischen Oberflächen und leisten einen Beitrag bei der Erforschung der Krustenbildung und Selbstversiegelung von Halden.

Die Untersuchungen wurden anlässlich des Forschungsaufenthaltes einer Gastwissenschaftlerin mit finanzieller Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und fachlicher Unterstützung durch die BGR im Referat Geomikrobiologie durchgeführt.

Alte Bergbauhalden und Wasserqualität

Das Grundwasser im Umfeld von altem oder aktivem Bergbau und Aufbereitungsanlagen wird oft durch Lösungszuflüsse aus den Abraumhalden belastet. Deshalb hat das Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) die BGR beauftragt, die bakteriell bedingte Metall-Mobilisierung in Bergbauhalden zu untersuchen und Lösungswege für eine Verminderung der Grundwasser-Kontamination zu erarbeiten. Dadurch soll die Wasserversorgung der lokalen Bevölkerung verbessert werden.

Bei der Gewinnung und Aufbereitung von Metallen entstehen Abraumhalden aus erzfreiem und gering vererztem Gestein, die oft Größenordnungen von mehreren Millionen Kubikmetern erreichen. Nur in wenigen Fällen werden diese Halden wieder in die Landschaft eingegliedert, saniert und durch Begrünung gesichert. In der Regel bleiben sie nach Schließung der Betriebe ungesichert und sind ohne weitere Kontrolle den Witterungseinflüssen ausgesetzt. Regenwässer und aus den Halden stammende Rückstandswässer lösen Metalle aus dem Haldenmaterial und leiten sie ins Oberflächen- und Grundwasser. Die Freisetzung von Metallionen aus dem Erz wird in erster Linie von Bakterien geleistet. Weniger bekannt ist, in welchem Umfang und unter welchen Voraussetzungen die Mikroorganismen zur Lösung der Metalle und anderer toxischer Stoffe beitragen. Die Tätigkeit der Bakterien ist abhängig vom Erztyp, den Gehalten an Sulfiden oder Oxiden, vom pH-Wert, dem Feuchtigkeitsgehalt sowie von der Verfügbarkeit von Sauerstoff. Die Laugungsprozesse selbst sind bekannt und werden in industriellem Maßstab zur Gewinnung von Restmetallen aus den Halden genutzt.

Die gleichen Prozesse laufen auf alten Bergbauhalden ab, mit dem Resultat, dass toxische Metalle in das Grundwasser gelangen und somit die Wasserqualität im Abstrombereich solcher Haldenkörper beeinflussen.

Die BGR untersucht weltweit Bergbauhalden mit verschiedenen Metallgehalten in unterschiedlichen Klimazonen. Da in erster Linie sulfidische Erze einer bakteriellen Laugung unterliegen, konzentrieren sich die Arbeiten vorrangig auf diese Haldenarten. Bisher wurden Halden in Simbabwe, Namibia, Bolivien, Peru und Kasachstan untersucht. In allen Proben wurden Bakterien nachgewiesen, die eine Freisetzung von Restmetallen aus dem Haldenmaterial bewirken können. Eine Abhängigkeit der bakteriellen Aktivität vom Klima und vom Haldentyp zeichnet sich bereits ab.

Das Probenmaterial wird im Labor auf laugungsrelevante Mikroorganismen untersucht. Die Stoffwechselleistungen der Isolate und ihre Bedeutung für die Freisetzung toxischer und umweltgefährdender Stoffe aus dem Haldenkörper werden ermittelt. Laborversuche zur Definition des Gefährdungspotenzials der Haldentypen unter Berücksichtigung der klimatischen Standortparameter und Untersuchungen zur Hemmung oder Inaktivierung der Laugungsorganismen werden sich anschließen.

Ziel ist die Erarbeitung einer Haldentypologie, die Aufschluss darüber gibt, bei welchen Erztypen und unter welchen Klimabedingungen mit welchen Belastungen zu rechnen ist und welche technischen Mittel nötig sind, um eine Kontamination der Oberflächen- und Grundwässer dauerhaft zu verringern. Die Lösungswege werden den ökonomischen und sozialen Verhältnissen der Entwicklungsländer angepasst. Den Entwicklungsländern sollen fachliche Grundlagen für eine nachhaltige Sanierung, Rekultivierung und Sicherung ihrer Halden an die Hand gegeben werden.



1

2

3



Umweltgefährdung durch saure Mineralwässer.

1: Caracota, Bolivien – Abraumhalde.

2: Shamva Mine, Zimbabwe – Probenahme an einer Abraumhalde am Schacht.

3: Bolivar, Bolivien.

Naturraumpotenzial Ost-Paraguay

Von 1997 bis 2000 arbeitete die BGR mit der Dirección de Ordenamiento Ambiental, der zuständigen Abteilung für Raumordnungsplanung im Landwirtschaftsministerium, in dem Projekt „Erfassung und Bewertung des Naturraumpotenzials der Ostregion Paraguays“ zusammen. Seit Juli 2000 ist das neue Umweltministerium (Secretaría del Ambiente) unsere Partnerbehörde.

Das Projektziel ist, die natürlichen Ressourcen in drei Wassereinzugs-

gebieten der Ostregion Paraguays zu erfassen und zu bewerten. Damit sollen modellartig die Grundlagen für die Erstellung eines umwelt- und ressourcenschutzorientierten staatlichen Raumordnungsplans geschaffen werden, um eine geordnete Landentwicklung und Landnutzung zu fördern.

Daten über Geologie, Grund- und Oberflächenwasser, Botanik, Bodenkunde, Fauna und Sozioökonomie der Pilotgebiete wurden aus vorhandenen

Berichten entnommen und bei Geländearbeiten erhoben, ausgewertet und als thematische Karten im Maßstab 1 : 100 000 für die Pilotgebiete zusammengestellt. Alle Punkt- und Flächendaten werden in einem Umwelt-Informationssystem vorgehalten, das sich aus mehreren fach- und produkt-spezifischen Modulen zusammensetzt. Mit einer Satellitenbildauswertung wurde der restliche Waldbestand in Ost-Paraguay erfasst und mit früheren Untersuchungen verglichen.



Bodenerosion und Sedimentation im Tal.

Das Projekt steht in engem Zusammenhang mit dem bereits abgeschlossenen Vorhaben „Erfassung, Bewertung und Empfehlung zum Schutz des Naturraumpotenzials der Westregion“ (Chaco). Hierfür wurden ergänzende Untersuchungen zu den Ursachen der Bodenversalzung sowie über die Folgen der massiven Rodungen auf die Pflanzenvergesellschaftungen und den Bestand der natürlichen Fauna im Zentral-Chaco durchgeführt.

Namibia – Bergbau und Umwelt

Zusammen mit dem Geological Survey of Namibia und dem Directorate of Mines wurde das TZ-Projekt „Studie zur Rehabilitierung stillgelegter Bergwerk-Betriebsgelände“ durchgeführt. Während der Projektprüfung im Frühjahr 1999 wurden 23 Minen befahren, von denen sechs für die weiteren Arbeiten ausgewählt wurden. Dabei handelt es sich um die stillgelegten Betriebsgelände von fünf Kupferminen und einer Blei-/Zink-Mine, die mit geochemischen, hydrochemischen und geotechnischen Methoden auf ihr Umwelt-Gefährdungspotenzial untersucht wurden. Neben einer Befliegung der Betriebsgelände wurden auf den Schlammteichen Bohrungen niedergebracht, um das Restwertpotenzial an mineralischen Rohstoffen abzuschätzen. Die Grubenwässer waren auf ihre Nutzung für die lokale Trinkwasserversorgung zu untersuchen.

Zur Reduzierung der von den Bergbaustandorten ausgehenden Umweltgefährdung und zur Nutzung noch vorhandener Wertstoffe wurden folgende Maßnahmen vorgeschlagen:

Klein Aub und Oamites Mine :

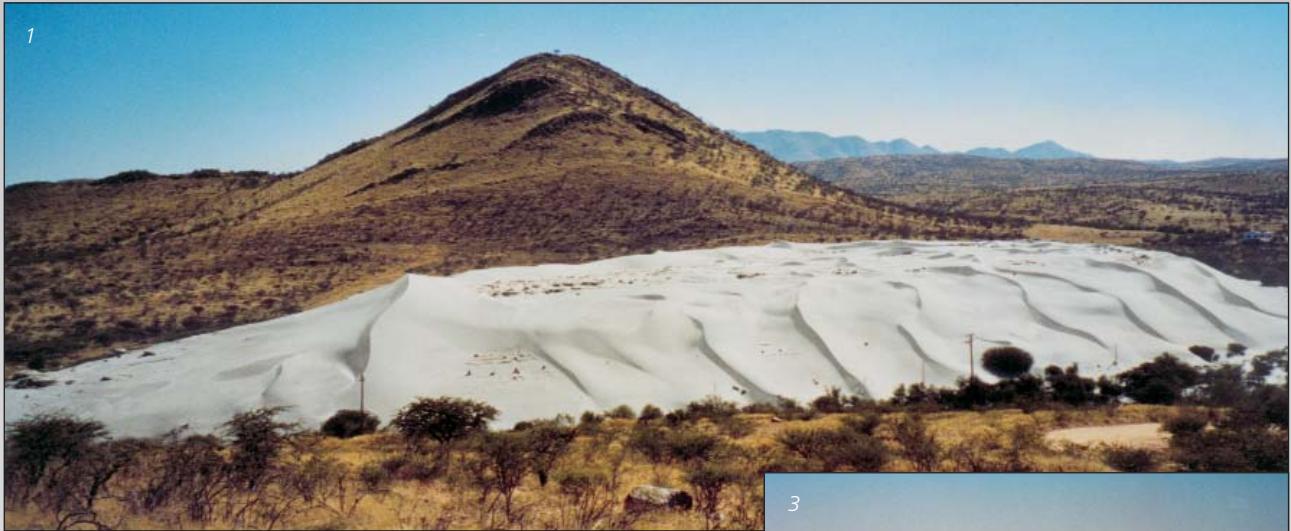
- Konstruktion von Windbrechern auf den Schlammteichen zur Reduzierung der Staubbelastigung der Ortschaft Klein Aub und eines Militärcamps.
- Einzäunung von Erdfällen, die durch Tiefbau entstanden sind, und eines eingebrochenen Grubengebäudes.
- Nutzung des Grubenwassers von 2,1 Mio. m³ nach entsprechender Aufbereitung.

Matchless Mine

- Verstärkung existierender Erddämme und Bau eines neuen Damms zur Eindämmung des Schlammteiches und der Halden, um das Wasserreservoir Friedenau nicht mit Schwermetallen zu gefährden.

Namib Lead Mine

- Aufbereitungsversuche zur möglichen Nutzung der im Schlammteich noch vorhandenen hohen Zink- und Blei-gehalte.



- 1: Oamites Mine – Wanderdünen aus Rückständen und Staubbildung gefährden die Bevölkerung.
 2: Matchless Mine – Ungenügender Rückhalt des metallhaltigen Sickerwassers.
 3: Namib Lead Mine – Neubildung von Schwermetall-Rückständen.
 4: Khan Mine – nach starken Regenfällen erodierter Schlammteich.
 5: Matchless Mine – Schwermetall-Austräge aus einem Rückhaltebecken.

Kolumbien – Goldbergbau und Umwelt

Seit präkolumbianischer Zeit wird im Großraum Bucaramanga Bergbau auf Gold betrieben. In den Revieren sind heute etwa 25 betrieblich organisierte Bergwerke mit Aufbereitungsanlagen aktiv, die fast alle mit einfacher Technik und technisch ungenügenden Verfahren Substanzwirtschaft betreiben. Dazu extrahieren mehr als 200 Kleinstbetriebe Gold in einfachen Anlagen, die sich ihre Erze in der Regel aus geduldetem Diebstahl beschaffen. Vom Goldbergbau ernähren sich über 3000 Menschen in diesem Distrikt, in dem keine wesentlich andere Erwerbsmöglichkeit besteht.

Die für die Wasserversorgung zuständige Behörde hat die vom Bergbau

ausgehende Belastung mit Quecksilber und Cyanid des für Trinkwasser benutzten Oberflächenwassers erkannt und bemüht sich um Abhilfe. Zur Lösung des Konfliktes wurde die deutsche Regierung um Kooperation gebeten.

Seit 1997 arbeitet die BGR mit dem „Convenio Interadministrativo“ und dem Ministerio de Minas / MINERCOL zusammen. Eine Arbeitsgruppe aus kolumbianischen Fachkräften soll fachlich-technisch befähigt werden, die Bergleute bei der umweltgerechten Aufbereitung zu beraten. Hierzu werden gemeinsame Arbeiten vor Ort und Fortbildungsprogramme durchgeführt.

Das Projekt ist direkt von der Sicherheitslage betroffen. Eine Verlängerung des Projekts bis Ende 2000 war aus den sozioökonomischen Gegebenheiten nicht ausreichend. Jetzt konzentrieren sich die Arbeiten auf technisch-wirtschaftliche Abstimmungsprozesse. Zwei Betriebslaboratorien sollen vor Ort eine Kontrolle der Prozesse ermöglichen und eigenverantwortlich von den speziell Ausgebildeten betrieben werden. Eine Unterstützung durch soziologischen Sachverstand soll die Arbeit erfolgreich voran bringen. Es ist vorgesehen, das Projekt mit deutscher Beteiligung fortzusetzen.

Mehr von uns zu diesem Thema

- BIRKE, M. & RAUCH, U. (2000): Urban Geochemistry: Investigations in the Berlin Metropolitan area, *Environmental Geochemistry and Health*.– Kluwer Academic Publ., **22**, No. 3: 233–248; Dordrecht.
- BITYUKOVA, L., SHOGENOVA, A. & BIRKE, M. (2000): Urban Geochemistry: A study of element distributions in the soils of Tallinn (Estonia), *Environmental Geochemistry and Health*.– Kluwer Academic Publ., **22**, No. 2, 173–193; Dordrecht.
- , SCHOLGER, R. & BIRKE, M. (1999): Magnetic Susceptibility as Indicator of Environmental Pollution of Soils in Tallinn.– *Phys. Chem. Earth (A)*, Elsevier Science Ltd., **24**, 9: 829–835.
- , BANKS, D., FRENGSTAD, B., SKREDE, A. K., KROG, J. R., STRAND, T., SIEWERS, U. & LIND, B. (2000): Grunnvann – ikke bare vann.– *Norges geologiske undersøkelser: Grasteinen 6*: 1–60; Trondheim.
- , FRENGSTAD, B., SKREDE, A. K. M., BANKS, D., KROG, J. R. & SIEWERS, U. (2000): The chemistry of Norwegian groundwaters: III. The distribution of trace elements in 476 crystalline bedrock groundwaters, as analysed by ICP-MS techniques.– *Sci. Total Environm.*, **246**: 21–40; Amsterdam.
- , HERRMANN, A. G., SIEWERS, U., HARAZIM, B., LODZIAK, J., WECK, H.-D. & STRASBURG, S. (2000): Die Herkunft von Haupt-, Neben- und Spurenelementen in Salzlösungen der Zechsteinevaporite Mittel- und Norddeutschlands. – *Glückauf*, **136**: 771–783; Essen.

- REIMANN, C., SIEWERS, U., TARVAINEN, T., BITYUKOVA, L., ERIKSSON, J., GILUCIS, A., GREGORAUSKIENE, V., LUKASHEV, V., MATINIAN, N.N. & PASIECZNA, A. (2000) : Baltic soil survey: total concentrations of major and selected trace elements in arable soils from 10 countries around the Baltic Sea.– *Sci. Total Environm.*, **257**: 155–170; Amsterdam.
- , – , – , – , – , – , – & – (2000): The Baltic Soil Survey. – *Explore*, **107**: 1–7; Denver.
- SIEWERS, U., HERPIN, U. & STRASSBURG, S. (2000): Schwermetalleinträge in Deutschland. Moos-Monitoring 1995/96. Teil 2.– *Geol. Jb., Sonderheft SD 3*: 1–121; Hannover.
- BANKS, D., HALL, G., REIMANN, C. & SIEWERS, U. (1999): Distribution of rare earth elements in crystalline bedrock groundwaters: Oslo and Bergen regions, Norway.– *Applied Geochemistry*, **14**: 27–39; Oxford.
- , SIEWERS, U. SLETTEN, R.S., HALDORSEN, S., DALE, B., HEIM, M. & SWENSEN, B. (1999): The thermal springs of Bockfjorden, Svalbard: II : selected aspects of trace element hydro-chemistry. – *Geothermics*, **28**: 713–728; Amsterdam.–, MARKERT, B., WAPPELHORST, O., WECKERT, V., HERPIN, U., SIEWERS, U., FRIESE, K. & BREULMANN, G. (1999): The use of bioindicators for monitoring the heavy-metal status of the environment.– *J. Radioanalyt. and Nuclear Chem.*, **240**, 2: 425–429; Budapest.
- MISUND, A., FRENGSTAD, B., SIEWERS, U. & REIMANN, C. (1999): Variation of 66 elements in European bottled mineral waters. – *Sci. Total Environm.*, **243/244**: 21–41; Amsterdam.
- Reimann, C., Siewers, U., Skarphagen, H. & Banks, D. (1999): Does bottle type and acid-washing influence trace element analyses by ICP-MS on water samples? A test covering 62 elements and four bottle types: high density polyethylene (HDPE), polypropene (PP), fluorinated ethene propene copolymer (FEP) and perfluoralkoxy polymer (PFA). – *Sci. Total Environm.*, **239**: 111–130; Amsterdam.
- , – , – & – (1999): Influence of filtration on concentrations of 62 elements analysed on crystalline bedrock groundwater samples by ICP-MS. – *Sci. Total Environm.*, **234**: 155–173; Amsterdam.
- THÖNI, L., KRIEG, F. & SIEWERS, U. (1999): Testing the Bergerhoff method to determine the bulk deposition loads of 49 elements. – *Atmospheric Environm.*, **33**: 337–344; Oxford.
- BLUMENROTH, P. & BOSECKER, K. (1999): Mikrobieller Abbau von Cyaniden in Prozesswässern der Goldgewinnung. – In: Wippermann, Th. (Hrsg.): *Bergbau und Umwelt*: 183–197; Berlin (Springer Verlag).
- BOSECKER, K. (1994): Mikrobielle Laugung (Leaching). – In: PRÄVE, P., FAUST, U., SITTIG, W., SUKATSCH, D.A. (Hrsg.): *Handbuch der Biotechnologie*, 4. Auflage: 835–858; München (Oldenbourg Verlag).
- (1997): Bioleaching: metal solubilisation by microorganisms. – *FEMS Microbiol. Rev.*, **20**, 591–604.
- & HAVELAND, C. (1999): The Sanyati ore deposit in Zimbabwe: Bioleaching of sulfide ore.– *Ztschr. Angew. Geol.*, **45/1**: 13–14.
- & RANKE, U. (1999): Verringerung der bakteriell bedingten Grundwasserbelastung von Bergbauhalden. – *Ztschr. Angew. Geologie*, **45/3**: 171.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg.) (2000): *Hydrologischer Atlas von Deutschland*. – 1. Lieferung: 107 S.; Bonn.
- DEURER, M. (2000): The dynamics of water and solute flow in the unsaturated zone of a coniferous forest: measurement and numerical simulation.– *Horizonte (Herrenhäuser Forschungsbeiträge zur Bodenkunde)*, Bd. 2; Institut für Bodenkunde der Universität Hannover.
- DUJINISVELD, W. H. M. & BÖTTCHER, J. (2000): Spatial analysis of water characteristic functions in a sandy Podsol under pine forest.– *Water Resources Research*, **36**: 2925–2935.
- GOMEZ, C. & BOSECKER, K. (1999): Leaching of heavy metals from contaminated soil by using *Thiobacillus ferrooxidans* or *Thiobacillus thiooxidans*.– *Geomicrobiol. J.*, **16**: 233–244.

- HERB, P., HAHN, L., BURGATH, K.-P., WITTICH, CH. & WOLFF, E. (2000): The gold mineralization of Bucaramanga, Colombia. – Implications to ore recovery.– In: RAMMLMAIR, D., MEDERER, J., OBERTHÜR, TH., HEIMANN, R.B. & PENTINGHAUS, H.: Applied mineralogy.– Proceed. Sixth Intern. Congr. Appl. Miner.: 345–348, ICAM 2000; Göttingen.
- HÖRIG, B. & KÜHN, F. (2000): HyMap Hyperspectral Remote Sensing to Detect Hydrocarbons. – Proceedings of the "Fourteenth International Conference on Applied Geologic Remote Sensing", 6–8 November 2000: 206–211; Las Vegas, Nevada.
- JUNG, H., TUFAR, W., RAMMLMAIR, D. & BOSECKER, K. (2000): Self-organization of a mining dump in the Freiberg mining district, Germany.– In: RAMMLMAIR, D., MEDERER, J., OBERTHÜR, TH., HEIMANN, R.B. & PENTINGHAUS, H. (Eds.): Applied Mineralogy in Research, Economy, Technology, Ecology and Culture, Proceedings of the 6th International Congress on Applied Mineralogy, ICAM 2000, Göttingen, Germany, 17–19. July 2000, **2**, 579–582; A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield (Publ.).
- NIEDERLEITHINGER, E., GRISSEMANN, CH. & RAMMLMAIR, D. (2000): SIP geophysical measurements on slag heaps: A new way to get information about subsurface structures and petrophysical parameters.– In: RAMMLMAIR, D., MEDERER, J., OBERTHÜR, TH., HEIMANN, R.B. & PENTINGHAUS, H. (Eds.): Applied Mineralogy in Research, Economy, Technology, Ecology and Culture, Proceedings of the 6th International Congress on Applied Mineralogy, ICAM 2000, Göttingen, Germany, 17–19. July 2000, **2**, 607–610; A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield (Publ.).
- OBERTHÜR, TH., RAMMLMAIR, D. & KOJONEN, K. (2000): Comparison of automated particle search techniques for platinum group elements (PGE) and minerals (PGM): μ -XRF and electron-microprobe. – In: RAMMLMAIR, D., MEDERER, J., OBERTHÜR, TH., HEIMANN, R.B. & PENTINGHAUS, H. (Eds.): Applied Mineralogy in Research, Economy, Technology, Ecology and Culture, Proceedings of the 6th International Congress on Applied Mineralogy, ICAM 2000, Göttingen, Germany, 17–19. July 2000, **1**, 375–378; A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield (Publ.).
- RAMMLMAIR, D. & MEYER, L. (2000): Crust formation: Via column experiments to mathematical modelling.– In: RAMMLMAIR, D., MEDERER, J., OBERTHÜR, TH., HEIMANN, R.B. & PENTINGHAUS, H. (Eds.): Applied Mineralogy in Research, Economy, Technology, Ecology and Culture, Proceedings of the 6th International Congress on Applied Mineralogy, ICAM 2000, Göttingen, Germany, 17–19. July 2000, **2**, 641–644, A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield (Publ.).
- & Grisse mann, Ch. (2000): Natural Attenuation in slag heaps versus remediation.– In: RAMMLMAIR, D., MEDERER, J., OBERTHÜR, TH., HEIMANN, R.B. & PENTINGHAUS, H. (Eds.): Applied Mineralogy in Research, Economy, Technology, Ecology and Culture, Proceedings of the 6th International Congress on Applied Mineralogy, ICAM 2000, Göttingen, Germany, 17–19. July 2000, **2**, 645–648; A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield (Publ.).
- & – 2000: Natural Attenuation of slag heaps, less remediation. – In: SÁNCHEZ, M.A., VERGARA, F. & CASTRO, S.H. (Eds.): Waste treatment and environmental impact in the mining industry: 415–426; University of Concepción.
- , MEDERER, J., OBERTHÜR, TH., HEIMANN, R.B. & PENTINGHAUS, H. (Eds.) (2000): Applied Mineralogy in Research, Economy, Technology, Ecology and Culture, Proceedings of the 6th International Congress on Applied Mineralogy, ICAM 2000, Göttingen, Germany, 17–19. July 2000, **1**, 1–460 and **2**, 461–1048; A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield (Publ.).
- SMITH, A. & MUDDER, T. (1991): Chemistry and Treatment of Cyanidation Wastes.– Mining Journal Books Ltd.; London, England.
- UTERMANN, J. & DÜWEL, O. (2000): Räumliche und inhaltliche Harmonisierung von Datensätzen.– In: Flächenhafte Darstellung punktbezogener Daten über Stoffgehalte in Böden. UBA-Texte, **49/00**: 65–74.
- & – (2000): Zur Ableitung von flächenrepräsentativen Hintergrundwerten für Schwermetalle im länderübergreifenden Maßstab. – Bodenschutz, **3/00**: 82–86.

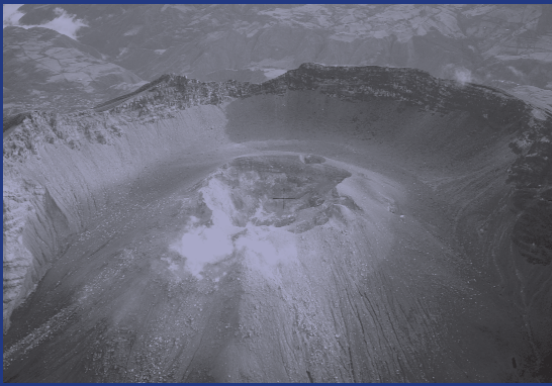
9



Geologische Schadensrisiken

Weltweit müssen sich Menschen auf geogene Naturkatastrophen einstellen. Die Siedlungsdichte verschärft oft die Auswirkungen auf die Lebenssituation. Auch der hier gezeigte kolumbianische Vulkan Galeras birgt ein hohes Gefährdungspotential.

Die BGR versucht, die Mechanismen zu erkennen und Gefährdungen durch geologische Schadensrisiken schon im Vorfeld besser abzuschätzen.



Geologische Schadensrisiken

Die natürlichen Lebensgrundlagen der Menschen sind im Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland unter den Schutz des Staates gestellt. Sie können durch geologische Risiken wie Hochwasser, Hangrutsche u. a. gefährdet werden, Erdbeben und Vulkanausbrüche, die in vielen Ländern Katastrophen verursachen, sind in dieser Region kaum oder gar nicht zu befürchten. Grundsätzlich lassen sich Naturkatastrophen nicht verhindern; sie können aber durch vorbeugende Maßnahmen in ihren Auswirkungen auf den Menschen vermindert werden.

Durch die Georisiko-Forschung in der BGR wird ein Beitrag zur Begrenzung naturbedingter Schadensursachen und zum Schutz der Lebensgrundlagen geleistet. Die Untersuchung geologischer Schadensrisiken hat neben der Verminderung der Auswirkungen auf die unmittelbar betroffene Bevölkerung eine große volkswirtschaftliche Bedeutung.

Die Erfassung der komplexen Zusammenhänge, die zu geogenen Schäden führen können, erfordert ein breites Wissensspektrum. Sie erstreckt sich auf verschiedene Aufgabengebiete. Die gewählten Beispiele zeigen Vorhaben, in denen die BGR in Projekten der internationalen Zusammenarbeit tätig ist. Sie befassen sich mit der Erforschung der Vorhersage von Vulkaneruptionen (Kolumbien), der Abschätzung von Ausbruchsgefahren eines Bergsturzdammes (Tadschikistan) und eines Gletschersees (Nepal).

Die Multiparameterstation auf dem Vulkan Galeras in Kolumbien

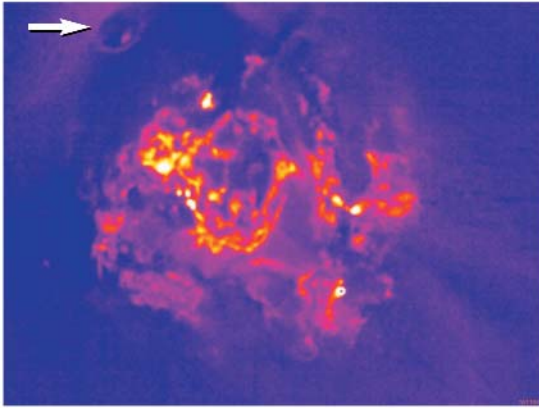
Die Überwachung eines Vulkans und die Vorhersage von Vulkaneruptionen lassen sich mit der Beobachtung und Vorhersage des Wetters vergleichen. Das vulkanische Wetter sind die turbulenten Strömungen von Magmen und heißen Gasen in den Kammern und Kanälen im Innern des Vulkans. Im Gegensatz zum Wetter in der Atmosphäre ist das vulkanische Wetter aber nicht direkt beobachtbar, sondern muss indirekt aus verschiedenen, an der Oberfläche messbaren Signalen erschlossen werden. Die wichtigsten Vulkansignale sind

- die Strömungsgeräusche des Magma und der Gase (vulkanischer Tremor),
- die vulkanischen Beben im festen Vulkangestein,
- die Konzentrationen und Temperaturen der an aktiven Fumarolen ausströmenden Gase,
- die von den Fumarolengasen verursachten akustischen Signale sowie
- zeitliche Variationen der Oberflächentemperaturen und des
- elektrischen und magnetischen Feldes.

Die BGR hat in Zusammenarbeit mit dem Geologischen Dienst Kolumbiens (INGEOMINAS) eine sog. Multiparameterstation entwickelt und auf dem

Risikovulkan Galeras (Höhe 4300 m) installiert. Mit der Station können, in Analogie zu einer Wetterstation, verschiedene Vulkansignale gleichzeitig registriert und analysiert werden. Die Station besteht aus Sensoren im Kraterbereich (Seismometer, Gassonden, Sensoren für elektrische und magnetische Felder sowie für Luftschall), deren Daten kontinuierlich über Funk in das Vulkanobservatorium in der Stadt Pasto am Fuß des Galeras übertragen und dort auf Bildschirmen für die Analyse dargestellt werden. Die Temperatur im Krater wird in regelmäßigen Intervallen mit einer empfindlichen Thermalkamera gemessen.

Das Thermogramm auf Seite 110 zeigt die Verteilung der Oberflächentemperatur innerhalb des aktiven Kraters des Galeras. Neben einer diffusen flächenförmigen Verteilung, verursacht durch den Transport von Gasen bzw. von heißen Wässern in oberflächennahen Klüften, sind zahlreiche heiße Stellen hoher Temperatur zu erkennen, die hauptsächlich mit den Fumarolen zusammenfallen und durch die Aufheizung der Umgebung der Fumarolenöffnung durch die ausströmenden hochoberhitzten Dämpfe erzeugt werden. Ein Ansteigen der Temperaturen ist ein wichtiger Indikator für einen Aufstieg des Magma sowie für eine zunehmende Intensität von Entgasungsprozessen.



Thermogramm der Temperaturverteilung im aktiven Krater (oben) und Luftbild der Gasemissionen an verschiedenen Fumarolen (unten). Die Pfeile markieren die Positionen des schlotförmigen Nebenkraters Pinta als Referenzstruktur. Die Farben rot, gelb und weiß bezeichnen ansteigende Temperaturen. Das Thermogramm ist mit einer in einem Helikopter installierten Thermal-kamera am 16.11.2000 aufgenommen worden.

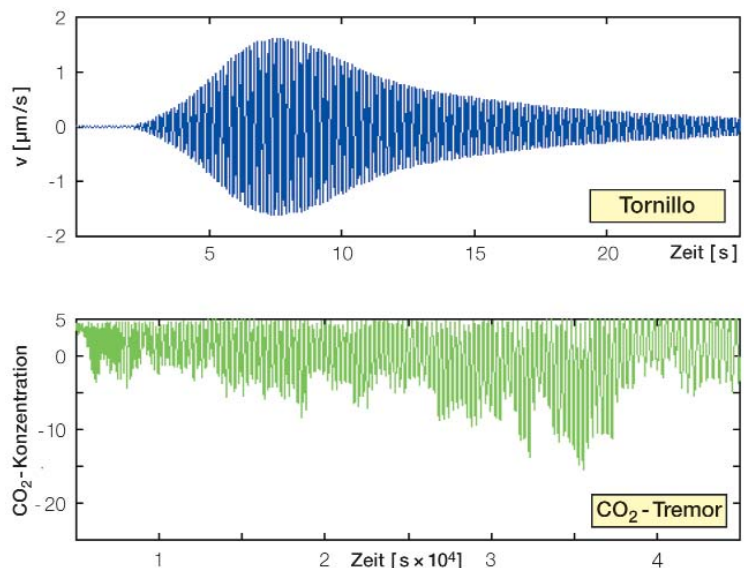


Eine kontinuierliche Messung der Konzentrationen verschiedener Fumarolengase, wie z. B. Radon, CO_2 oder SO_2 , in kurzen Zeitabständen von einigen Sekunden stellte bisher ein ungelöstes Problem der Vulkanologie dar. Die Bedeutung dieser Aufgabe besteht darin, dass eine Korrelation der Gasemission an Fumarolen mit gleichzeitig beobachteten seismischen Signalen nur möglich ist, wenn beide Datenströme mit vergleichbaren Zeitintervallen abgetastet werden. Von der BGR wurde für schnelle Gasmessungen eine Gassonde für Abtastraten im Sekundenbereich entwickelt und an einer aktiven Fumarole des Galeras installiert. Mit dieser Sonde konnten bereits nach kurzen Betriebszeiten neue Phänomene wie die zeitweise oszillierenden Emissionen des CO_2 -Anteils der Fumarolendämpfe sowie eine Korrelation zwischen den Konzentrationen von Radon und CO_2 beobachtet werden. Für die physikalische Interpretation der dynamischen Prozesse in einem Vulkan sind diese neuen Gasmessungen in kurzen Zeitintervallen von hoher Bedeutung.

Die bisher wichtigsten technischen und wissenschaftlichen Ergebnisse des Galeras-Projektes sind:

Die turbulente Strömung des Magma und der Gase in den oberflächennahen Kammern und Kanälen verursacht verschiedene physikalische und chemische Signale, die mit den Sensoren der Multi-parameterstation registriert werden können. Die Muster, Anzahl und Energien dieser Signale sind wichtige Maßzahlen für den Aktivitätszustand des Vulkans sowie für die Wahrscheinlichkeit einer Eruption.

Die nebenstehende Abbildung zeigt zwei Beispiele, die seismischen Tornillo-Signale sowie die neu entdeckten Gas-Oszillationen. Das Tornillo-Signal wurde von einem am Kraterrand installierten Breitbandseismometer der Multi-parameterstation aufgezeichnet. Eine Abnahme der Frequenzen der Tornillo-Signale, verbunden mit einer Zunahme ihrer Anzahl, sind wichtige Vorboten von Eruptionen. Die Quellen der Tornillos sind Schwingungen von gasgefüllten Hohlräumen, die durch Stoßwellen angeregt werden, analog zu einer angeblasenen tönenden leeren Flasche.



Oben: Seismogramm der Bodengeschwindigkeit eines Tornillo-Signals.

Unten: Mit den neu entwickelten Gassonden entdeckte Oszillationen der Gasemission von CO_2 mit einer Schwingungsperiode von 3 bis 4 Minuten.

- Die Installation und der kontinuierliche Betrieb einer Multiparameterstation unter den schwierigen Umweltbedingungen (heftige Gewitter, orkanartige Stürme, extreme Temperaturschwankungen, hohe Korrosivität der Atmosphäre) auf dem 4300 m hohen Galeras.
- Die Entwicklung einer Sonde für Gasmessungen an aktiven Fumarolen in kurzen Zeitabschnitten und der Nachweis von Schwingungen in der Gasemission.
- Der Einsatz einer Thermalkamera für die Kartierung der Temperaturen im Krater.
- Die Interpretation der für die Prognose von Eruptionen wichtigen Tornillo-Signale als Resonanzen in Gasströmungen.

Die Erweiterung der Datenbasis der Multiparameterstation, die Korrelation der beobachteten Vulkansignale mit der visuellen Aktivität des Galeras sowie eine physikalische Interpretation der Vulkansignale durch eine numerische Simulation der Strömungsprozesse im Innern des Galeras eröffnen neue Wege in der Vulkanüberwachung und Eruptionsvorhersage. Diese Aufgaben werden daher die Schwerpunkte des Galeras-Projektes in den nächsten Jahren bilden.

Der Usoi-Bergsturzdamm – der größte Staudamm der Welt droht auszubrechen

Im Jahre 1911 ereignete sich im Pamir Tadschikistans nach einem heftigen Erdbeben ein riesiger Bergsturz von etwa 2 km³ Größe, der das Dorf Usoi im Murghab-Tal unter sich begrub und den Fluss im Laufe der folgenden Jahre zu einem See von etwa 60 km Länge und etwa 17 km³ aufstaute. Bei einem Versagen dieses natürlichen Dammes wären durch die Flut/Schuttstromwelle bis zu 5 Mio. Bewohner der darunter gelegenen Täler (in vier Ländern) gefährdet. Daher hatte das UN/IDNDR-Sekretariat 1998 ein neues Untersuchungsprogramm beschlossen.

Zur Erkundung des Problems und des Untersuchungsstandes wurde von UN/IDNDR in Genf ein Team internationaler Experten zusammengestellt, dem ein Ingenieurgeologe der BGR als Leiter der Gruppe „Disaster risk assessment“ angehörte. Zu seinen Aufgaben gehörte

- die Abschätzung der Stabilität des Dammes im Hinblick auf den Wasserdruck des Sees und seiner Durchströmung,
- die Einschätzung der Gefahr des Hineingleitens eines Teils der nörd-

lichen Talflanke in den See und der dadurch entstehenden Verdrängungs- und Schwallwelle,

- eine erste Abschätzung der Gefährdung der Dammsicherheit durch die häufigen heftigen Erdbeben der Region.

Das UN/IDNDR-Team bestand aus neun internationalen Experten, die folgende Themenbereiche abzudecken hatten:

- Monitoring und Frühwarnsysteme,
- soziale Auswirkungen,
- Auswirkungen auf die Artenvielfalt,
- geomorphologische Auswirkungen und
- mögliche Zufahrtswege.

Sehr bald stellte sich heraus, dass der Bereich Damm- und Gebirgsflankenstabilität der mit Abstand wichtigste war, da von dieser Einschätzung jegliche weitere mögliche Maßnahme der Katastrophenvermeidung oder ihrer Minderung abhängt. Die Ergebnisse der einwöchigen Bereisung des Damm- und Seegebiets, das zwischen 3000 und

Der Sarez-See auf 3260 m Höhe mit dem Lager des Beobachtungsteams im Vordergrund und dem Bergsturzdamm (Umrisse gestrichelt) im Hintergrund, rechts davon die Ausbruchsnische.





Südlicher Teil des Usoi-Dammes mit dem Nebeneinander von feinkörnigem und sehr grobem, kantigem Material.

4000 m Höhe liegt, lassen sich für den ingenieurgeologischen Teil wie folgt zusammenfassen:

- Der natürliche Damm selbst weist eine hohe Standfestigkeit mit großen Sicherheitsreserven auf – auch bei Einwirkung eines heftigen Bebens. Ein befürchtetes Versagen des Dammes durch den Wasserdruck ist extrem unwahrscheinlich. Eine abschließende Beurteilung ist jedoch erst nach Vorliegen der Untersuchungsergebnisse über den inneren Aufbau des Dammes möglich.
- Die einzig realistische Gefahr scheint von einer als instabil eingestuften Bergflanke auszugehen, die in den See gleiten oder stürzen könnte. Bisherige Abschätzungen gehen von bis zu 2 km³ potenzieller Rutschmasse

aus, die im See eine riesige Schwallwelle erzeugen würde. Eine solche Welle würde den Damm, der einen natürlichen Freibord von minimal 50 m aufweist, überströmen und könnte so eine Bresche erzeugen. Diese könnte sich durch Erosion vertiefen und so zu einer unkontrollierten Entleerung des Sees führen.

- Die Begehung des betreffenden Rutschhanges ergab, dass es sich bei den beobachteten Hanginstabilitäten um mindestens drei verschiedene Arten von Massenbewegungen handelt, die differenziert betrachtet werden müssen. Die Indizien für relativ flachgründige Rutschungen des Hangschutts (gegenüber einer postulierten tiefgründigen Bewegung der gesamten Talflanke) überwiegen

dabei bei weitem. Diese Bergflanke muss demnach in zukünftigen Untersuchungsprogrammen wesentlich detaillierter und mit modernen ingenieurgeologischen Methoden untersucht werden.

Die Ergebnisse der UN-Mission sind in Band 1 einer neuen Reihe „ISDR Disaster Prevention Series“ ansprechend dargestellt. Auf der Basis der darin erarbeiteten Empfehlungen sind inzwischen die neuen Untersuchungen zur Standfestigkeit des Dammes und der Gefährdung durch die instabile Talflanke von einer privaten Consulting Firma aufgenommen worden.



Der Sarez-See von der nördlichen Bergflanke aus, Blick stromab mit natürlichem Damm und Ausbruchsnische rechts. Im Vordergrund Extensometer-Messgeräte zur Überwachung der Hangbewegungen.

Langzeit-Monitoring des Thulagi-Gletschersees

Nepal verfügt wegen hoher Niederschlagsmengen während des Monsuns und dem steten Abfluss von Schmelzwässern aus dem Himalaja über ein großes Potenzial an Wasserkraft zur Stromerzeugung. Die Erschließung dieser Wasserkraft ist jedoch mit einer Reihe von Risiken verbunden, bei denen die meist katastrophalen Ausbrüche von Gletscher-Schmelzwasserseen an erster Stelle stehen. Solche Ausbrüche sind mit Geröll- und Schlammfluten (auch bezeichnet als GLOF – glacier lake outburst flood) verbunden, die sich mit großer Wucht in die darunter gelegenen Täler ergießen und wegen ihrer z. T. hohen Reichweite, die bis zu 100 km betragen kann, nicht nur für Wasserkraftwerke eine erhebliche Gefahr darstellen.

Im Auftrag der Nepal Electricity Authority (NEA) und der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) untersucht die BGR seit 1996 die vom Thulagi-Gletschersee potenziell ausgehende GLOF-Gefahr. Der Abfluss des Sees bildet den Dona Khola, der nach etwa 12 km in den Marsyangdi mündet. Entlang dessen Verlauf werden drei mittelgroße Wasserkraftwerke gebaut.



Talwärtiges Ende des Thulagi-Gletschersees mit dem von einem großen langsam abschmelzenden Toteiskörper unterlagerten Dammkomplex. Dunkel: Thermokarst-Seen; intensive Rutschbewegungen in den Seitenmoränen. Rechts der Auslaufkanal des Sees.

Der Himalaja hat in den letzten Jahrzehnten eine deutliche Klimaerwärmung erfahren, wodurch ein starkes Zurückweichen seiner Gebirgsgletscher ausgelöst wurde. Auch der Thulagi-Gletscher, der aus der Südwestwand des 8169 m hohen, im mittleren Nepal gelegenen Manaslu abfließt, ist seit 1950 um etwa 2,2 km zurückgewichen.

Vor seiner Gletscherfront in 4000 m Höhe hat sich ein Schmelzwassersee mit 80 m Tiefe und 32 Mio. m³ Volumen gebildet.

Der See wird von einem 1996 von der BGR per Georadar nachgewiesenen Toteiskörper abgedämmt, der von einer bis zu 30 m dicken Sedimentschicht bedeckt ist. Der Damm besteht also nicht – wie bei den meisten anderen Gletscherseen – aus einem Wall losen Moränenmaterials. Diese relativ instabilen Endmoränen waren in der Vergangenheit oftmals die Ursache für die plötzliche Entleerung solcher Seen. Im Falle Thulagi konnte 1996 ein solcher Versagensmechanismus ausgeschlossen werden.

Um unvorhersehbare Entwicklungen, die die Gefahreinschätzung nachhaltig beeinflussen könnten, rechtzeitig zu erfassen, wurde 1996 ein detailliertes Monitoring-Programm entwickelt und empfohlen. Es umfasst die Gesamtheit des hydrologischen, glaziologischen und ingenieurgeologischen Spektrums des Systems Thulagi-Gletschersee.

Das Monitoring wurde im November 2000 im Auftrag von KfW und in Zusammenarbeit mit NEA und dem Department of Hydrology and Metereology



Der Thulagi-Gletscher endet im Thulagi-See in 4000 m Höhe. Noch vor vielleicht 150 Jahren war das Tal bis zur Oberkante der Seitenmoränen mit Eismassen ausgefüllt. Heftiges Nachrutschen der Seitenmoränen ist eine Folge des raschen Abschmelzens des Gletschers.

logy erstmals durchgeführt. Es soll alle zwei Jahre wiederholt werden. Es beinhaltet folgende Kontrollfunktionen:

- Automatische Seespiegel- und Abflusskontrolle,
- Automatische Wetterdatenaufzeichnung,
- Automatische Erfassung der thermalen Daten, die das langsame Abschmelzen des Eiskörper-Dammes beeinflussen,
- Kontrolle der Landsenkung über dem Eiskörper mittels tachymetrischer Wiederholungsmessungen,
- Erfassung der Geschwindigkeiten der Talzuschubbewegungen in den Felshängen nach Rückzug des Gletschers mittels geotechnischer Präzisionsmessstellen an offenen Felsspalten.

Feldbeobachtungen und ein Vergleich der topographischen Vermessungen aus 1996 und 2000 zeigen, dass sich der Abschmelzvorgang des Toteiskörpers beschleunigt hat. Bestehende Thermokarstseen haben sich vergrößert und das Bett des Seeabflusses hat sich ver-

stärkt abgesenkt. Es dürfte sich erosiv bis nahe an den unterirdischen Eiskörper eingeschnitten haben. Das fließende Wasser, das im November 2000 mit über 4° C erheblich wärmer angetroffen wurde als noch 1996, wirkt hierbei als lineare Wärmequelle besonders intensiv. Mit einer Rate von etwa 50 cm pro Jahr hat sich das Bett in den letzten 4 Jahren eingetieft und dadurch zu einer Seespiegelabsenkung von insgesamt 2,2 m beigetragen. Die Abschmelzraten unter der thermisch gut isolierenden sedimentären Decke liegen mit 1–2 dm pro Jahr deutlich geringer.

Die gegenwärtig ermittelten Messdaten werden als Eingangsparameter für ein Modell zur Berechnung der zukünftigen Schmelzprozesse und damit zu einer Prognose der langsamen natürlichen Entleerung des Thulagi-Sees herangezogen. Damit kann auch für die Zukunft eine Gefährdung des Marsyangdi-Tales am Ostrand des berühmten Annapurna-Massivs durch ein GLOF-Geschehen ausgeschlossen werden.



Automatische hydro/meteorologische Station am Thulagi-Gletschersee in 4000 m Höhe zur Überwachung der Abfluss- und Wetterdaten.

Mehr von uns zu diesem Thema

- FABER, E., GOMEZ, D.M., GREINWALD, S., HELLWEG, M., SEIDL, D. & TORRES, R. A. (2000): A new concept of volcano activity monitoring – the multi-parameter station at Galeras decade volcano, Colombia. – In: MILLER, H. (Ed.): Geoscientific cooperation with Latin America. – Z. angew. Geol., **SH 1**: 217–220; Hannover.
- HANISCH, J. & SÖDER, C.-O. (2000): Geotechnical assessment of the Usoi landslide dam and the lake Sarez area. – In: ALFORD, D. & SCHUSTER, R. L. (Herausgeb.): Usoi landslide dam and Lake Sarez: an assessment of hazard and risk in the Pamir Mountains, Tajikistan. – ISDR Prevention Ser., **1**: 115 S.; Genf.
- , POKHREL A. P., DELISLE, G., REYNOLDS, J. M., GRABS, W. E. & DIXIT, A. M. (1998): The Thulagi glacier lake (Manaslu Himal, Nepal) – Hazard assessment of a potential outburst. – In: MOORE, D. & HUNGR, O. (Eds.): Proc. 8. Congr. IAEG: 2209–2215; Rotterdam (Balkema).

10



SONDERTHEMA

Klima

Das Klima fährt Achterbahn – nicht nur heute, sondern schon unzählige Male in der Erdgeschichte. Eislandschaften, wie hier in der Antarktis, bieten eindrucksvolle Zeugnisse von Extremen.

Ob der Mensch einen Einfluss auf kurzfristige Klimaänderungen hat, kann durch geowissenschaftliche Methoden untersucht werden.



Klima

Klima der Vergangenheit, ein Schlüssel für die Zukunft

Politiker, die Wirtschaft, Interessensverbände und die breite Öffentlichkeit wollen über die Klimaentwicklung informiert werden. Die Fragen nach der Klimazukunft lassen sich aber nur objektiv und sachlich beantworten, wenn man das Klimasystem der Vergangenheit versteht. Ob Kohlendioxidgehalte, Temperaturen oder Einflüsse der Sonne, die Wissenschaftler der BGR sind den verschiedenen ungelösten Fragen zur Klimaentwicklung und den Zusammenhängen im Klimasystem auf der Spur.

Pflanzen, Kohlenstoffspeicher der Vergangenheit

Kohlendioxid in der Atmosphäre ist nicht nur eines der wichtigen Treibhausgase, der Kohlenstoff des Kohlendioxids bildet auch die Grundlage pflanzlichen Lebens. Das war auch in der fernen Vergangenheit so. Deshalb nutzten Forscher der BGR den großen Fundus an Pflanzenfossilien in den Sammlungen im Geozentrum Hannover, um den Kohlenstoffkreislauf über Millionen von Jahren hinweg zu rekonstruieren. Dabei spielen gerade die Landpflanzen eine besondere Rolle, weil sie im Verlauf der Erdgeschichte eine große Menge Kohlenstoff gebunden haben.

Isotopenwerte des Kohlenstoffs geben Auskunft über die Zusammenhänge im Kohlenstoffsystem und damit auch über die Veränderungen des Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre. Damit können die Treibhausgaskonzentrationen der Vergangenheit rekonstruiert werden. So waren die Kohlendioxidmengen in der Atmosphäre der Karbon-Zeit höher als heute. Trotzdem gab es damals ausgedehnte Vereisungen auf der Südhalbkugel. Ein Zeichen dafür, dass nicht allein das Kohlendioxid das Klima steuert.

Schwarzschiefer – Klimaindikator der Kreidezeit

Als zu Beginn der siebziger Jahre das Bohrschiff GLOMAR CHALLENGER in der Tiefsee des Atlantiks Schwarzschiefer der Kreidezeit erbohrte, reagierte die Fachwelt mit Staunen, denn nun musste man davon ausgehen, dass große Teile dieses Meeres unter Sauerstoffarmut gelitten haben. Was waren die Gründe für diese plötzlich auftretenden Phasen verringerter Sauerstoffs am Meeresboden und gibt es einen Zusammenhang mit dem Klima?

Antwort gibt eine Tiefseebohrung des internationalen Ocean Drilling Program (ODP) vor Florida. Die Bohrfahrt 171 erbohrte 400 km vor der Nordküste Floridas Ablagerungen der Kreidezeit mit einem Schwarzschieferhorizont. Untersuchungen von fossilen Einzellern, den Foraminiferen, erlauben es, diese Schwarzschiefer auf ein Alter von ca. 110 Mio. Jahren zu datieren. Die Forscher untersuchten die Isotopenverhältnisse der Kalkschalen von Foraminiferen und konnten damit Aussagen über die Umweltbedingungen treffen.

Die Sauerstoffisotope sagen den Wissenschaftlern, dass eine Erwärmung des Oberflächenwassers kurz vor der Entstehung der Schwarzschiefer begonnen hat. Diese Erwärmung fand etwas später auch im Bodenwasser statt. Die Kohlenstoffisotope verraten den Forschern, dass es parallel zur Erwärmung des Oberflächenwassers zu einer Planktonblüte kam. Die Planktonblüte im Oberflächenwasser wird auch durch die am Boden lebenden Foraminiferen bestätigt. Kurz vor der Ablagerung des Schwarzschiefers tauchten vermehrt Arten auf, von denen man weiß, dass sie Umweltbedingungen bevorzugten, in denen viel organisches Material am Meeresboden abgelagert wird. Markiert durch den Beginn der kohlenstoffreichen Schicht wurde so viel organisches Material am Meeresboden abgelagert, dass die dort lebenden Organismen dieses nicht mehr fressen konnten. Sauerstoffarmut, her-

vorgerufen durch fressende Bakterien, machten zudem den Meeresboden für viele der dort lebenden Foraminiferen unbewohnbar. Nur wenige konnten überleben. Als die Phase der hohen Planktonproduktion im Oberflächenwasser endete, konnte auch der Meeresboden wieder besiedelt und die nun deutlich geringeren Mengen herabrieselnden organischen Kohlenstoffs von den Bodenorganismen abgebaut werden. Diese Phase markiert die Obergrenze der Schwarzschiefer. Nachdem die Hauptphase der Planktonblüte und die Bildung des Schwarzschiefers vorbei war, zeigen die Sauerstoffisotope in den Kalkschalen der Foraminiferen eine allmähliche Abkühlung an.

Was jedoch war die Ursache für den Beginn und das Ende der Planktonblüte im Oberflächenwasser des Meeres? Der Ablauf lässt sich so rekonstruieren: Nährstoffe werden an Land durch Verwitterung gelöst und über die Flüsse ins Meer transportiert. Durch ein Nährstoffüberangebot kam es im Meerwasser zu einer Überdüngung und einige Algenarten vermehrten sich explosionsartig. Gleichzeitig stieg die Temperatur und der Salzgehalt sank. Zu erklären ist dieses Zusammenspiel von Ereignissen wie folgt: Ein verstärkter Vulkanismus, den die Wissenschaftler im Bereich der heutigen Kerguelen-Inseln im südlichen Indischen Ozean ausgemacht haben, führte zu einer Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre. Der Vulkanismus wölbte großflächig den Meeresboden auf und es kam zu einem Meeresspiegelanstieg. Aufgrund der größeren Meeresoberfläche verdampfte mehr Wasser und zirkulierte als Wasserdampf in der Atmosphäre. Die Treibhausfunktion der Atmosphäre wurde durch das vulkanische Kohlendioxid und besonders durch den Wasserdampf verstärkt. Dieses Mehr an Treibhausgasen führte zu einer Erwärmung der Erde. Sie wurde begleitet von gesteigerten Regenmengen. Durch die erhöhten Niederschläge gelangte viel Süßwasser über die Flüsse ins Meer und legte sich wie ein Deckel auf das salzigere Meerwasser. Diese weniger salzige Deckschicht verhinderte die Zirkulation des Meerwassers. Sie führte zu einer schlechten Durchmischung und ausgeprägten Schichtung des Meeres und

unterstützte zusätzlich die Erhaltung von organischem Material am Meeresboden.

Am Ende des Ereignisses der weltweiten Schwarzschieferablagerung geschah dann Folgendes: Die Planktonblüte und die Ablagerung des Kohlenstoffs am Meeresboden haben der Atmosphäre Kohlendioxid in riesigen Mengen entzogen. Dies verminderte den atmosphärischen Treibhauseffekt und leitete eine Abkühlung noch vor dem Ende des Schwarzschieferereignisses ein. Die Verdunstung verminderte sich und es fiel weniger Regen. Dadurch transportieren die Flüsse weniger Nährstoffe ins Meer und die Algen- und Planktonblüte hörte auf. Gleichzeitig verschwand die Süßwasserdecke und die Zirkulation zwischen Bodenwasser und Oberflächenwasser setzte erneut ein.

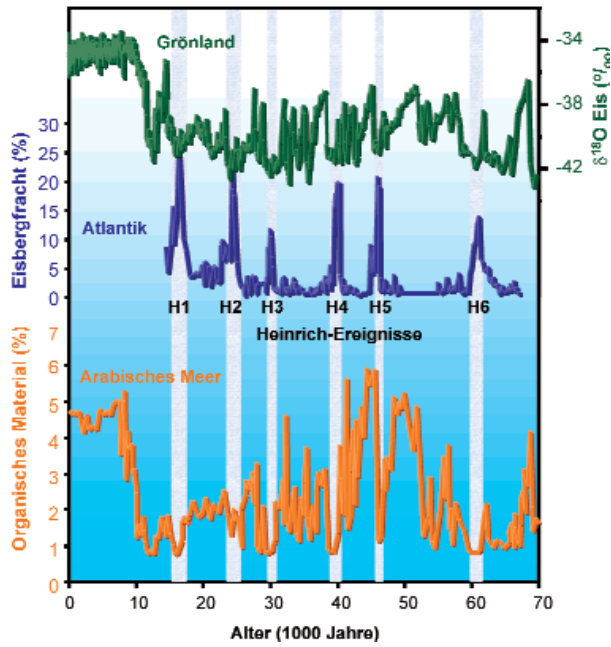
Von den Schwarzschieferereignissen der Kreide kann man lernen, wie schnell und durchgreifend das Klimasystem durch externe Faktoren angeschoben wird, denn der Motor dieser Klimaänderungen waren die Kräfte des Erdinneren: die Tektonik und der Vulkanismus. Darauf reagierte das Klimasystem und ließ ausgleichende Prozesse anlaufen.

Die Achterbahn – 70 000 Jahre Monsun

Der Monsun ist eine wichtige Größe im globalen Klimasystem und im Wasserkreislauf. Das Ausmaß und die Geschwindigkeit der Monsunvariationen über die letzten 70 000 Jahre waren bislang nur ansatzweise erforscht. Wissenschaftler der BGR brachten nun Licht in die Bedeutung für das globale Klimasystem. Bei dieser Rekonstruktion halfen ihnen die Überreste verschiedener Einzeller: Dinoflagellaten, Kalkalgen und sogenannte Foraminiferen aus dem Arabischen Meer und aus dem Golf von Bengalen lieferten ihnen Beweise für das klimatische Auf und Ab des indischen Subkontinents.

Extrem schnelle Klimaumschwünge haben innerhalb von wenigen Jahren bis Jahrzehnten die Eiszeiten beendet. Die klimatischen Veränderungen, die von einer Warmzeit in eine Eiszeit überleiteten, erfolgten dagegen viel langsamer. Fast 100 000 Jahre dauerte dieser Übergang, der von vielen wärmeren Rückschlägen unterbrochen war. In den Ablagerungen der Meere finden sich Zeugen dieses Auf und Ab der Temperaturen. Die Sprünge innerhalb dieser 100 000 Jahre sind zu kurzfristig, als dass sie durch die langsamen Änderungen der Erdbahn um die Sonne hervorgerufen sein könnten; denn die Erdbahnparameter bestimmen die klimatischen Schwankungen bei der Abkühlung und Erwärmung von vielen 10 000 Jahren. Diesen großen Veränderungen untergeordnet, markieren die internen Klimaprozesse mit kurzen Klimaschwüngen den Weg zu einer ausgeprägten Vereisung.

Der Monsun, der das Klima von Indien und Südostasien bestimmt, hat auf diese Änderungen auf der Nordhalbkugel zeitgleich reagiert. Dies belegen Ablagerungen der letzten 70 000 Jahre im Arabischen Meer vor der Küste Pakistans. Feine, dunkle Schichten lagerten sich zu Zeiten ab, als das Meerwasser keinen Sauerstoff enthielt und keine Zirkulationen das Wasser durch-



Der globale Gleichklang der Klimaentwicklung ist in Ablagerungen des Arabischen Meeres, des Atlantiks und den Eiskernen Grönlands dokumentiert.

mischte, sie markieren die warmen Zeitabschnitte. Dagegen entsprechen die hellen durchwühlten Schichten kalten Zeitabschnitten und zeigen sauerstoffreiches Wasser an, in dem Leben am Meeresboden möglich war. Die Wechsel der beiden Ablagerungstypen erfolgt sehr schnell. Selbst nach der Hauptvereisung vor 18 000 Jahren sind diese Muster weiter zu erkennen. Die engen klimatischen Zusammenhänge zwischen dem Arabischen Meer und dem Golf von Bengalen konnten die Forscher der BGR 120 km südlich des Mündungsdeltas des Ganges und des Brahmaputra in einer Wassertiefe von 1250 m nachweisen. Es gelang ihnen, Salzgehalt und Temperatur des Meerwassers, den Transport der großen Flüsse und die klimatischen Bedingungen des Monsunsystems zu rekonstruieren. Die Untersuchungen belegen, dass die Entwicklungen im Golf von Bengalen und im Arabischen Meer zeitgleich ablaufen. Der wichtigste Motor für die klimatische Entwicklung auf beiden Seiten des indischen Subkontinents ist der regenbringende Südwestmonsun. Während der Südwestwinde des Sommermonsuns wird Wärme und Feuchtigkeit aus dem Arabischen Meer über Nordindien hinweg nach Zentralasien transportiert. Ein Teil des aus dem Arabischen Meer verdunsteten Wassers regnet an den Hängen des Himalajas ab und fließt über das große Stromsystem des

Ganges und Brahmaputra in den nördlichen Golf von Bengalen.

Seit dem Ende der letzten Warmzeit vor 117 000 Jahren sind in unregelmäßigen Zeitabständen von 5000 bis 15 000 Jahren die Eisschilde in Kanada und Grönland in stärkere Bewegung geraten und haben dabei eine „Flotte“ von Eisbergen in den Nordatlantik geschoben. Westliche Winde und der weiter südlich verlaufende Golfstrom haben die Eisberge über den Atlantik geschickt, wo sie von südlich gerichteten Strömungen angetrieben die Meeresgebiete vor Portugal und sogar Marokko erreicht haben.

Die Veränderungen des Monsunklimas zu beiden Seiten des indischen Kontinents mit einer Dauer von wenigen Jahrtausenden bis Jahrhunderten stimmen zeitlich genau mit den Schwankungen im Nordatlantik überein. Der Monsun veränderte sich in den letzten 70 000 Jahren zeitgleich mit den Klimaschwankungen zwischen warm und kalt, die im grönländischen Eis beobachtet wurden. Die Forscher konnten zeigen, dass der Monsun am Höhepunkt der letzten Vereisung vor ca. 18 000 Jahren nicht aktiv war. In den Ablagerungen des Indischen Ozeans lassen sich auch sechs Klimaänderungen nachweisen, die zeitgleich mit den großen Eisberg-Flotten des Nordatlantik auftreten.

Die beobachteten Klimaschwankungen sind auf globale Ursachen zurückzuführen. Der nördliche Indik ist von der weltumspannenden, aber sehr langsamen ozeanischen Zirkulation weitgehend abgetrennt. Daher kann nur die atmosphärische Zirkulation die Klimasysteme im Nordatlantik und Nordindien miteinander mit hoher Geschwindigkeit verbinden. Die saisonalen Monsunwinde und der Westwind-Gürtel zwischen 30° N und 60° N waren in den letzten 70 000 Jahren offensichtlich sehr eng miteinander gekoppelt. Unsere Klimaküche liegt daher nicht nur im Eishaus Grönlands, wie bislang angenommen, sondern hat enge und schnelle Verbindungen zum Dampfbad der Tropen.

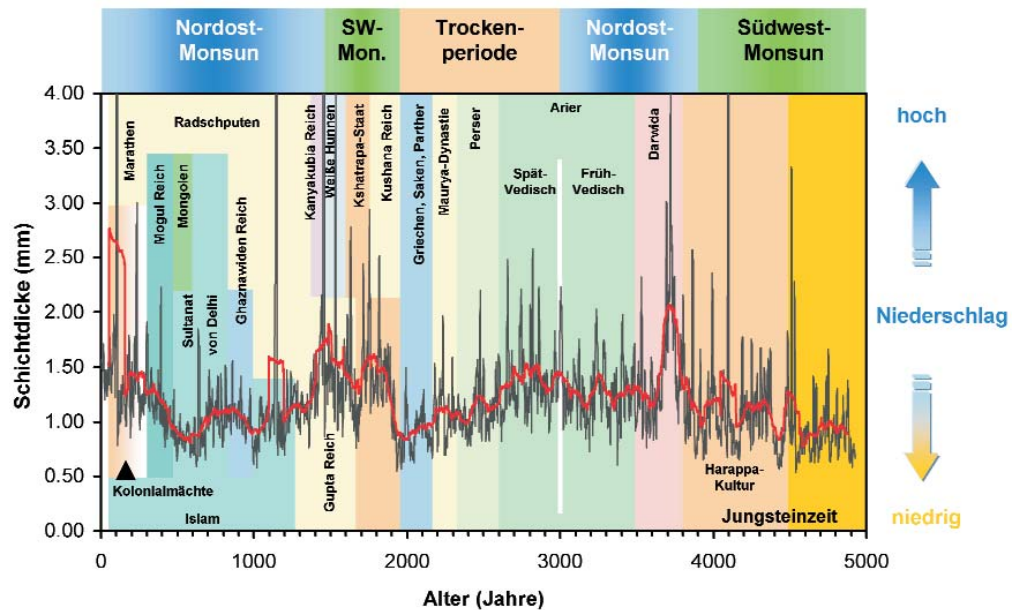
Die Gleichzeitigkeit dieser Veränderungen in sehr weit auseinander liegenden Gebieten der Erde macht die enge Verknüpfung und Verzahnung der gesamten klimatischen Prozesse deutlich.

Geschichtsbuch des Meeres

In Tiefen zwischen 150 und 1000 m fehlt dem Wasser des nördlichen Arabischen Meeres der Sauerstoff. Weil es in dieser lebensfeindlichen Zone keine Würmer, Seeigel, Krebse und Fische gibt, die den Schlamm am Meeresboden auf der Suche nach Nahrung durchwühlen, zeichnen die Meeresablagerungen die jahreszeitlichen Wechsel in Millimeter dünnen Schichten völlig ungestört auf. Hellgrau treten Winterlagen hervor. Sie bestehen aus Fluss-Schlamm. Die Sommerlagen dagegen sind dunkel und enthalten viel organischen Kohlenstoff. Die Sommer- und Winterlagen sind dick genug, dass Forscher sie messen und zählen können. Diese Klimachronik umfasst die letzten 5000 Jahre und enthält auf den einzelnen Blättern Jahresaufzeichnungen, die noch exaktere Zeitmarken sind, als der Historiker sie für die Rekonstruktion der Menschheitsgeschichte bis zur Zeit der Pharaonen zur Verfügung hat. Dieses einzigartige Archiv verwendeten die Wissenschaftler der BGR, um die Niederschlagsänderungen der letzten 5000 Jahre zu ermitteln.

Die Dicke der einzelnen Jahreslagen ist ein Maß für die Stärke von Regenfällen, denn je mehr Regen fiel, desto mehr Schlamm transportierten die Flüsse in das Arabische Meer. Die beobachteten Wechsel zwischen unterschiedlichen Regenmengen stehen im Zusammenhang mit dem zeitlichen Wandel zwischen Nordost- und Südwest-Monsun. Die Niederschlagsgeschichte hatte einen Einfluss auf das Entstehen und den Niedergang der Kulturen des Großraumes. So stellt man fest, dass sich die Hauptphase der Harappa-Kultur am Indus vor mehr als 4000 Jahren nach einer Zeit mit starken Regenfällen entwickelte, große Städte entstanden. Mehrere hundert Jahre später in einer Zeit mit heftigen Regengüssen begann die Zersiedlung und die alten Städte wurden aufgegeben. Auch später erkennt man immer wieder enge Zusammenhänge zwischen der Klima- und Kulturentwicklung im persisch-indischen Großraum. Die Änderungen im Monsunsystem sind immer Triebfeder der Entwicklung. Ob zu viel oder zu wenig Wasser, die Menschen

waren zu Reaktionen gezwungen, wollten sie in dieser Region bestehen. Völker aus anderen Regionen mussten ihre Heimat aufgrund der dortigen Klimaungunst verlassen und suchten Zuflucht im indopersischen Raum. Die heutige kulturelle Vielfalt der Region hat damit einen klimatischen Hintergrund.

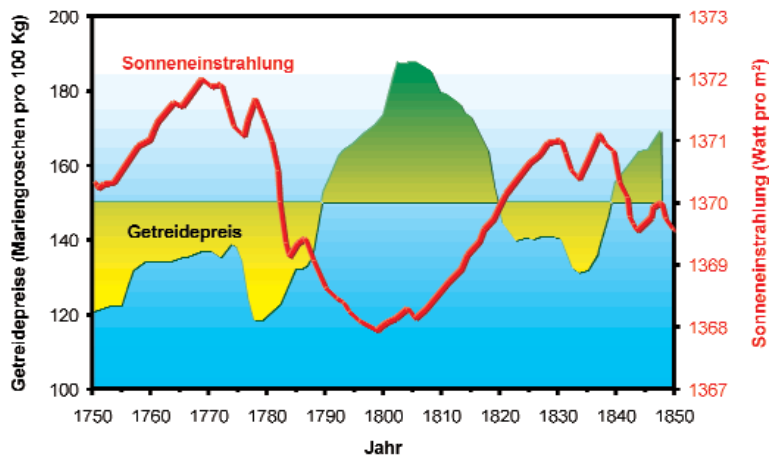


Die Dicke der Jahresschichten im Arabischen Meer belegt die Änderung der Niederschlagsmengen in der pakistanischen Küstenregion. Die kulturelle Entwicklung des Großraumes ist in das Klimageschehen eingebunden.

Der Mensch, ein Klimamacher?

Wind und Wetter, Sonne und Regen beeinflussen die Ernteerträge der Landwirtschaft. Faktoren des Klimasystems bestimmen daher auch die Gewinne oder Verluste, die die Bauern erwirtschaften. Über allem steht die Sonne, als der Motor des Klimasystems. Hierfür gibt es Belege: eitel Sonnenschein führte zwischen 1750 und 1850 zu hohen Erträgen und geringen Preisen für das Getreide im Königreich Hannover, während das schlechte Wetter um 1800 einen Preisanstieg bewirkte. Natürliche Klimaschwankungen sind also sicherlich Faktoren mit wirtschaftlichem Ausmaß.

Heute herrscht allgemein die Furcht, dass der Mensch zusätzlich zu den natürlichen Klimaschwankungen das Klimageschehen durch den Ausstoß von Kohlendioxid aus der Verbrennung von Erdöl, Erdgas und Kohle beeinflusst. Die Wissenschaftler der BGR haben sich auch dieses Problems angenommen, denn schließlich bilden Informationssysteme über die Förderung und den Verbrauch von Kohle, Erdöl und Erdgas, wie sie in BGR betrieben werden, die Grundlage für die Berechnungen, wieviel Kohlendioxid durch den Menschen in die Atmosphäre geblasen wird. Allerdings waren die Angaben international bislang recht ungenau, so auch die Berechnungsfaktoren, die das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) vorschlägt. Zusammen mit Geoökologen der Technischen Universität



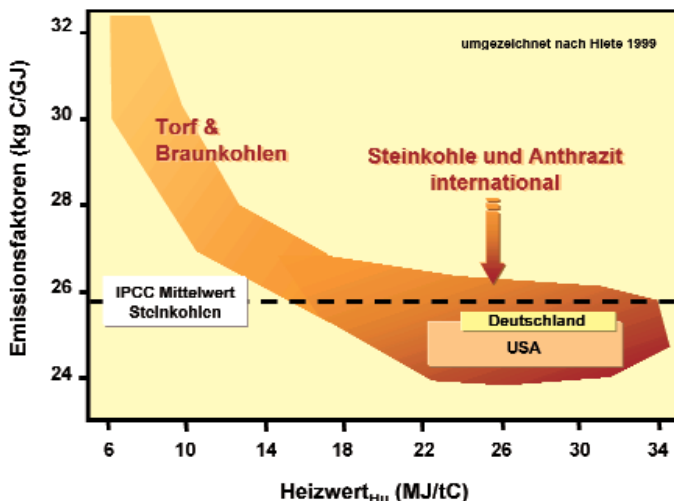
Die Getreidepreise im Großraum Hannover und die globale Sonneneinstrahlung verhalten sich gegenläufig.

Braunschweig erarbeitete die BGR nun eine verbesserte Berechnungsgrundlage, um die menschlichen Kohlendioxidemissionen mit höherer Genauigkeit zu bestimmen. Dies hat besondere Auswirkungen im Bereich der Emissionsberechnungen bei der Verbrennung von Kohlen.

Allerdings kann auch anhand der neuen Berechnungen noch nicht eindeutig gesagt werden, ob der Mensch mittlerweile das Klima prägt oder ob natürliche Faktoren wie die Sonne immer noch die Oberhand haben.

Können wir mit Reduktionsmaßnahmen beim Kohlendioxid unser Klima schützen? Modellrechnungen zeichnen ein eher pessimistisches Bild. Selbst wenn wir bereits seit 1995 die Kohlen-

dioxidemissionen auf einem gleichbleibenden Niveau gehalten hätten: das Kohlendioxid der Atmosphäre würde auch in absehbarer Zukunft weiter steigen, weil die Prozesse des Kohlenstoffkreislaufs nicht angehalten werden können! Auch ein absoluter, aber wirtschaftlich unsinniger Emissionsstopp seit dem Jahr 1995 hätte nur über einen langen Zeitraum zu einem Absinken der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre geführt, und im Jahr 2100 befänden wir uns immer noch auf dem Konzentrationsniveau von 1970. Dies belegen Szenarienrechnungen der Geoökologen der Technischen Universität Braunschweig, die sie in Zusammenarbeit mit den Fachreferaten der BGR erstellt haben.



Die Emissionsfaktoren für die Berechnung der Kohlendioxidmengen aus der Verbrennung von Steinkohlen liegen für die meisten Nationen unter dem vom Intergovernmental Panel on Climate Change empfohlenen Wert.

Das Buch zur Klimaentwicklung

Wer mehr zum Thema Klima erfahren möchte, dem ist das Buch „Klimafakten – Der Rückblick, ein Schlüssel für die Zukunft“ zu empfehlen, ein umfassender und allgemeinverständlicher Überblick, der es auch dem Laien erlaubt, die Klimaproblematik mit neuem Hintergrundwissen kritisch zu bewerten; denn es gilt: Kohlendioxid ist nicht Alles und der Motor Sonne treibt die klimawirksamen Prozesse in der Atmosphäre, in den Ozeanen und in der Biosphäre an. Belege für die klimatische Achterbahn finden sich in Hülle und Fülle in den Archiven der Gesteine und im ewigen Eis, aber man muss sie lesen und entschlüsseln können. Geowissenschaftler tragen in diesem Buch die Fakten der Natur zusammen.



Mehr von uns zu diesem Thema

- BERNER, U. & STREIF, H. (2001): Klimafakten – Der Rückblick, ein Schlüssel für die Zukunft.– BGR, NLF und GGA (Hrsg.): 238 Seiten; Hannover (E. Schweizerbart'sche Verlagsanstalt).
- ERBACHER, J., HUBER, B.T., NORRIS, R.D. & MARKEY, M. (2001): Increased thermohaline stratification as a possible cause for Cretaceous oceanic anoxic events.– *Nature*, **409**, 325–327.
- HIETE, M., BERNER, U. & RICHTER, O. (2001): Calculation of Global Carbon Dioxide Emissions: Review and Comparison of Emission Factors and a New Approach Considering Fuel Quality.– *Global Biogeochem. Cycles*.– (im Druck).
- KUDRASS, H., HOFMANN, A., DOOSE, H., EMEIS, K. & ERLKENKUSER, H. (2001): Modulation and amplification of climatic changes in the Northern Hemisphere by the Indian summer monsoon during the past 80 000 yr.– *Geology*, **29**(1), 63–66.
- LÜCKGE, A. (2001): Monsoonal variability in the northeastern Arabian Sea during the past 5 000 years: Geochemical evidence from laminated sediments.– *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **167** (3–4), 273–286.

11



SONDERTHEMA

EXPO 2000

Das Prinzip der Nachhaltigkeit stammt bereits aus dem sächsischen Freiberg von 1713. Als Leitthema der Weltausstellung im Jahre 2000 hat es jedoch nichts an Aktualität eingebüßt.

Die BGR hat das inhaltliche Konzept für den Themenpark „Umwelt“ entwickelt und die Ausstellung fachverantwortlich begleitet. Die Impression aus dem Ausstellungsteil „Land“ zeigt die assoziative Umsetzung komplexer Zusammenhänge.



EXPO 2000

Die inhaltliche Projektleitung im Themenpark Umwelt auf der Weltausstellung EXPO 2000

Ausstellungsdidaktik – Neuland für die BGR

Die BGR war bis dato im Bereich der Geowissenschaften gut bekannt. In der allgemeinen Öffentlichkeit jedoch war sie bisher wenig prominent vertreten. Als die EXPO 2000 GmbH Ende 1996 auf die BGR zukam und anfragte, ob diese die inhaltliche Verantwortung für das Segment „Umwelt: Landschaft, Klima“ im Themenpark der Weltausstellung 2000 übernehmen wolle, haben wir diese Chance gerne wahrgenommen. Natürlich war die inhaltliche Betreuung einer so großen Ausstellung Neuland für die BGR. Von 1997 bis 2000 betreute das EXPO-2000-Team der BGR die inhaltlichen Aspekte dieses wichtigen Themas. Jedoch lag Umwelt im Jahre 2000 nicht mehr so im gesellschaftlichen Interesse wie noch Ende der 80er Jahre. Zu oft wurde in der Vergangenheit der erhobene Zeigefinger sichtbar, die Bevölkerung war umweltmüde. Eine große Herausforderung war es daher, die Ausstellung inhaltlich attraktiv und positiv zu gestalten und das Publikum für einen Gang durch diese Ausstellung zu begeistern. Gemeinsam mit den Szenographen der Filmakademie Baden-Württemberg in Ludwigsburg und dem Atelier Brückner aus Stuttgart, der

BIEGE als Produzenten, der EXPO 2000 GmbH als Ausrichter und den Partnern aus Industrie, Politik und von NGO's (Non Government Organisations) sollte ein spannender Prozess beginnen.

Das Ziel

Die BGR hatte das inhaltliche Konzept für die Ausstellung zu erstellen und die sachlich inhaltliche Richtigkeit aller Exponate, Grafiken und Filme zu gewährleisten. Die Ausstellung sollte auf der Basis des Aktionsplans von Rio de Janeiro sowie der Agenda 21 der Vereinten Nationen aus dem Jahre 1992 inhaltlich korrekt und im Sinne der Meinungsvielfalt ausgewogen sein. Im Verlauf des Projektes entwickelte sich die Formulierung „Die Ausstellung soll nicht falsch sein“, denn ein zu hoch gestellter wissenschaftlicher Anspruch in einer solchen Ausstellung für viele Tausend Besucher pro Tag war weder leistbar noch sinnvoll.

Die Umsetzung

Das Konzept wurde gemeinsam mit einer 40köpfigen interdisziplinär und international besetzten Arbeitsgruppe, mit Vertretern aus Politik, Industrie und von NGO's, iterativ erarbeitet.

Die Ausstellung wurde in fünf Kompartimente gegliedert: Klima, Wasser, Wald, Land und Stadt. Als roter Faden zog sich die Beschleunigung im Umweltverbrauch durch den Menschen durch diese Umweltsegmente. Ein wichtiger Aspekt waren dabei Lösungsansätze in Abhängigkeit von dem jeweiligen Kulturkreis und den klimatischen Bedingungen. Die komplett begehbare Ausstellungsfläche umfasste 4000 m². Die besondere Herausforderung lag darin, die Botschaften hinsichtlich der nachhaltigen Verwendung der Umweltressourcen in erster Linie bildlich metaphorisch und mit möglichst wenig Text darzustellen und für das breite Publikum verständlich und spannend aufzubereiten.



Klima

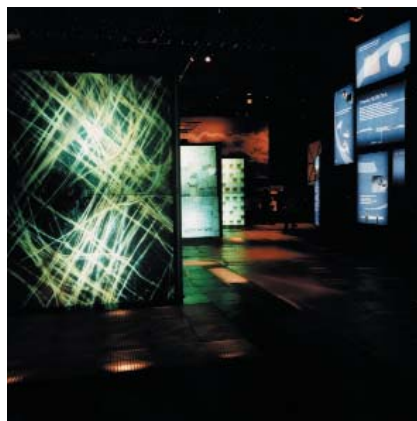
Fünfzehn Partner aus Industrie, Politik und von NGO's wurden eingebunden, damit war die Ausstellung zu 50 % fremdfinanziert. Zwischen 5000 und 18000 Besucher wurden pro Tag gezählt. Mit speziellen Führungen wurden internationale Vertreter aus Industrie, Politik und von NGO's betreut. Überwiegend handelte es sich dabei um Parlamentsabgeordnete, Abordnungen von NGO's sowie Umwelt- und Landwirtschaftsminister.



Land

Das Thema Umwelt birgt diverse konkurrierende Interessen und so natürlich auch Meinungskonflikte, die die BGR als Moderator zu einvernehmlichen Lösungen zu führen hatte. Dies war ein nicht immer harmonischer Vorgang. Als neutrale Fachbehörde des Bundeswirtschaftsministeriums konnte die BGR der Pluralität im Ergebnis stets den ihr gebührenden Stellenwert zukommen lassen. Letztlich wurde gemeinsam mit allen Beteiligten eine inhaltlich ausgewogene Ausstellung erstellt. Sichtweisen der Politik, der Industrie und der NGO's wurden gleichberechtigt dargestellt. Partner unterschiedlichster Herkunft und unabhängig von ihrer Finanzstärke erhielten die Möglichkeit, sich mit ihren Projekten darzustellen.

Parallel dazu wurden mit dem ZDF und Pro7 fünf Sendungen zu umweltrelevanten Themenkreisen produziert. BGR-Projekte aus Namibia, Paraguay, Kasachstan und Kolumbien standen im Mittelpunkt. Zahlreiche Presseartikel zur Funktion der BGR im Themenpark erschienen.



Stadt



Wasser



Wald

Nutzungsperspektiven

Die BGR hat sich als kompetenter und verlässlicher Partner im Ausstellungsgenre und bei der Zusammenarbeit mit Einrichtungen aus der Politik, der Industrie und von NGO's neue Felder eröffnet. Darüber hinaus wurden dauerhafte Kontakte zu Fernseh- und Rundfunkanstalten geknüpft, die weiterhin in Projekten der Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden sollen. Ebenfalls wurden Kontakte zur Presse intensiviert und neu aufgebaut.

12



SONDERTHEMA

Geologische Kartenwerke

Geologische Karten sind seit jeher das Darstellungsmedium der Geowissenschaften.

Das digitale Zeitalter ermöglicht vernetzte geographische Informationssysteme. Geowissenschaftliche Informationen können so vielfältig und anwenderspezifisch verarbeitet und interpretiert werden. Die gezeigte „Geologische Karte von Europa“ wurde unter der Federführung der BGR einheitlich aufbereitet.



Geologische Kartenwerke

Der Sprung der geologischen Karte in das digitale Zeitalter

Geologische Karten sind das visuelle Ausdrucksmittel der Geologen, um komplexe dreidimensionale Gegebenheiten zweidimensional ästhetisch ansprechend und lesbar darzustellen. Sie sind immer eine Interpretation der vorhandenen Daten, da die Erde nicht vollkommen erkundet ist. Die auf Karten lokalisierbaren geologischen Daten sind Planungsgrundlage für eine Vielzahl von Maßnahmen (zum Beispiel Erkundung von Lagerstätten, Untersuchung von Grundwasserressourcen und -qualität, Ermittlung von Georisiken) und sie veranschaulichen geowissenschaftliche Zusammenhänge generell.

Seit Anfang der 90er Jahre werden die gedruckten geologischen Karten mehr und mehr durch sogenannte Geo-Informationssysteme (GIS) ersetzt. Geo-Daten werden in Datenbanken gespeichert, editiert und analysiert und können entweder als Karte ausgedruckt oder am PC genutzt werden. Bei der BGR werden Karten noch immer gedruckt, aber diese Karten werden fast ausschließlich mit Hilfe von GIS produziert, in denen die Informationen zum Druck und für den PC-Nutzer abrufbereit vorgehalten werden.

Das letzte analog produzierte Kartenwerk der BGR ist die Internationale Karte von Europa und den Mittelmeergebieten im Maßstab 1 : 1,5 Mio. – mit zuletzt 48 Kartenblättern und Legende. Auf dem Internationalen Geologischen Kongress 2000 in Rio de Janeiro

präsentierte die BGR das GIS-Projekt der IGME 5000 (Internationale Geologische Karte von Europa und angrenzenden Gebieten 1 : 5 Mio.) – es ist die zeitgemäße Fortsetzung traditioneller Kartenarbeit mittels moderner Methoden und Medien.

Die neue IGME 5000 beteiligt aktiv fast 50 europäische und benachbarte

Länder und wird – wie die 1 : 1,5 Mio.-Karte auch – von der BGR unter der Schirmherrschaft der Weltkartenkommission (CGMW) geleitet und ausgeführt. Eine einheitliche Begriffsgebung/-festlegung und Darstellungsweise für Europa ist ein wesentliches Ziel, das sich die IGME gesetzt hat. Dabei werden alle bereits existierenden Standards mit einbezogen.



Das fertiggestellte (analoge) Kartenwerk der 1 : 1,5 Mio.-Karte, ausgestellt am BGR-Stand auf dem 31. Geologischen Kongress in Rio de Janeiro.

Die für die Projektrealisierung wichtige gute Zusammenarbeit aller beteiligten europäischen nationalen geologischen Dienste und Organisationen ist ein bereits erreichtes Ziel des Projekts, das intensive Vorarbeiten erforderte. Dazu gehörte die Bereitstellung einer gemeinsamen topographischen Basiskarte, aber auch die Entwicklung von Standards, Vorgaben und Richtlinien als Arbeitsgrundlagen für die von den teilnehmenden Ländern beizutragenden Kartenentwürfe und Einträge in die Datenbank.

Das GIS wird mehr und vielfältigere Informationen als eine gedruckte Karte enthalten und flexible Möglichkeiten zur Datenabfrage und -kombination (z. B. zu Alter, Beschaffenheit, Metamorphosegrad, tektonischen und genetischen Elementen) ermöglichen. Das Projekt bietet schon jetzt auf einer Web Site (www.bgr.de/karten/IGME5000) Daten zum Projekt, z. B. die Farbtabelle, Projektneuigkeiten sowie die topographische Basiskarte für Teilnehmer und Interessierte.

Zielgruppen sind nicht nur Geo-Institutionen und -Organisationen, sondern auch Entscheidungsträger, Wissenschaftler, Studenten, Schüler sowie interessierte Bürger und Bürgerinnen. Damit wird das GIS der IGME 5000 zu einer wesentlichen Grundlage für zukünftige nationale und internationale Geo-Projekte in Europa.

Zahlen und Fakten

Budget

- 1999** 122 Mio. DM Haushaltsmittel, davon 20 Mio. DM innerhalb externer Kooperationen und Projekte, also Drittmittel.
- 2000** 115 Mio. DM mit 20 Mio. DM aus Drittmittelprojekten.

MitarbeiterInnenanzahl

- 1999** 746, davon 304 WissenschaftlerInnen.
Neueinstellungen:
30 Mitarbeiterinnen und 30 Mitarbeiter.
- 2000** 731, davon 310 WissenschaftlerInnen.
Neueinstellungen:
32 Mitarbeiterinnen und 43 Mitarbeiter.

Auszubildende

- 1999** 15 Auszubildende, 12 weiblich und 3 männlich.
- 2000** 19 Auszubildende, 15 weiblich und 4 männlich.

Ausbildungsbranche:

- Fachangestellte für Büroorganisation,
- Chemielaboranten,
- KFZ-Mechaniker,
- Feinmechaniker und
- Kartographen.



Die Homepage der BGR

Anzahl der Dateien auf dem Web-Server: 8 000

- 1999** 605 864 Dateizugriffe, durchschnittlich 1 660 pro Tag.
- 2000** 1 652 370 Dateizugriffe, durchschnittlich 4 515 pro Tag.

Die Fachbibliothek

Mit mehr als 340 000 Büchern und Zeitschriften sowie 115 000 Kartenblättern eine der größten geowissenschaftlichen Spezialbibliotheken der Welt.
6 000 Neuzugänge pro Jahr;
mehr als 1 000 Tauschpartner weltweit.

Die Sammlung

Eine der größten geowissenschaftlichen Sammlungen Deutschlands;
30 000 wissenschaftliche Originale;
mehrere 100 000 Belegstücke (Fossilien, Gesteine, Mineralien);
65 km Bohrkern.

Geosport

150 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nutzen das Sportangebot regelmäßig.

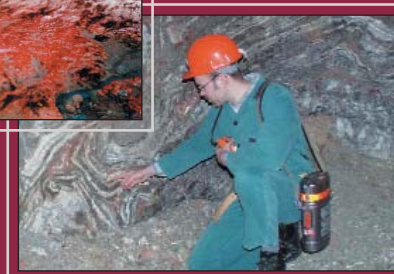
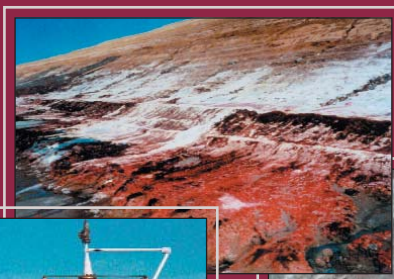
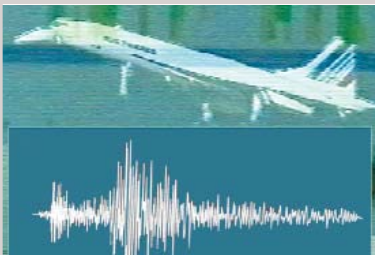
Die Sportgemeinschaft SBL der BGR bietet an:

- Fußball,
- Haltungsschulung,
- Kegeln,
- Lauftraining,
- Schwimmen,
- Segeln,
- Taekwondo,
- Tischtennis,
- Volleyball,
- Yoga und
- Badminton.

Anfahrtskizze

... und so finden Sie uns





Bundesanstalt für Geowissenschaften
und Rohstoffe (BGR)
Stilleweg 2
30655 Hannover

Telefon: (05 11) 6 43 – 26 79
Telefax: (05 11) 6 43 – 26 81
Internet: <http://www.bgr.de>