



Tätigkeitsbericht

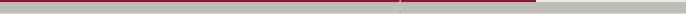
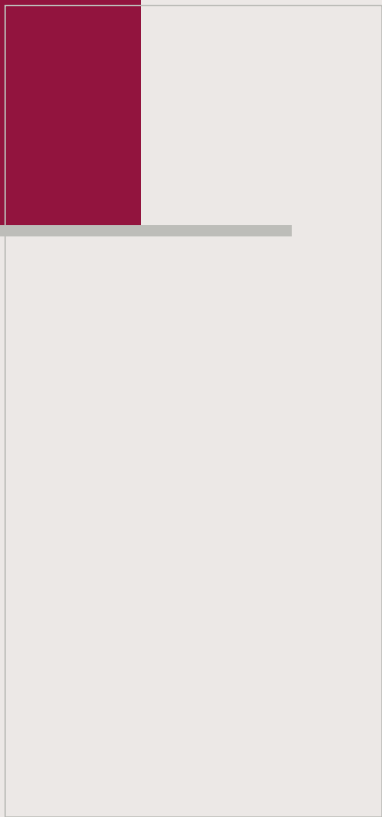
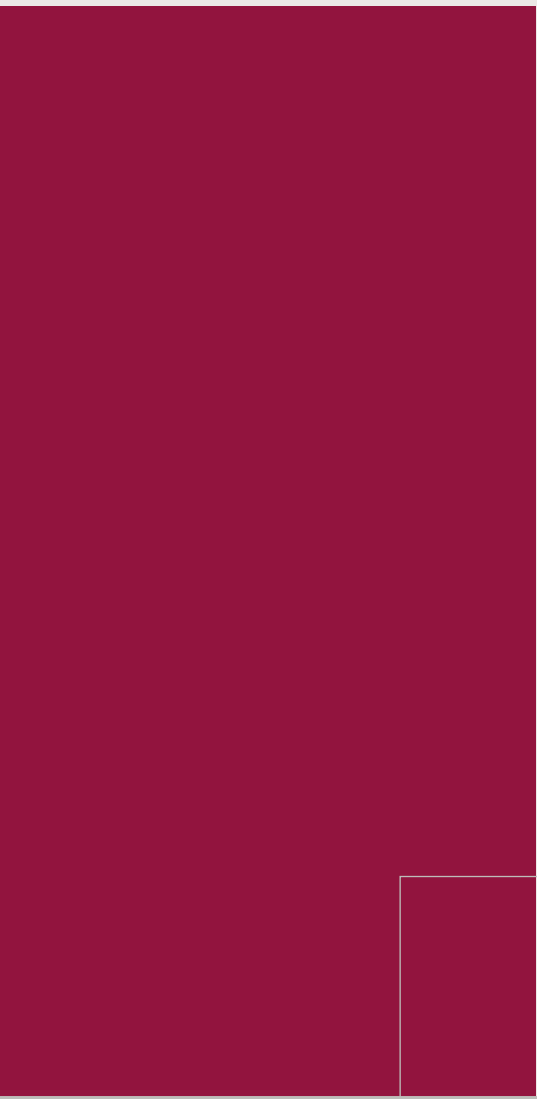
der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe



2003



2004





Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe



Tätigkeitsbericht 2003/2004

Hannover, Juni 2005





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

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Referat für Schriftenpublikationen und Öffentlichkeitsarbeit
Stilleweg 2, 30655 Hannover

Telefon (05 11) 6 43 – 22 99

Telefax (05 11) 6 43 – 36 85

E-Mail info@bgr.de

Internet <http://www.bgr.de>

Info. ■

Vorwort



Liebe Leserin, lieber Leser,

blickt man auf die Jahre 2003 und 2004 zurück, fällt einem sofort die Tsunami-Katastrophe am 26. Dezember 2004 ein mit ihren schrecklichen Folgen für die Anrainerländer des Indischen Ozeans. Besonders betroffen waren zwei Partnerländer, mit denen die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) seit langem im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit (TZ) kooperiert: Indonesien und Thailand.

Gleich zu Jahresanfang 2005 reisten zwei BGR-Experten für zwei Wochen nach Thailand, um im Rahmen unseres laufenden Projektes die Umweltabteilung des Department of Mineral Resources im Hinblick auf den Wiederaufbau der schwer geschädigten Küstenabschnitte auf Phuket Island und in den nördlich anschließenden Küstenabschnitten zu beraten.

In Indonesien sind in dem Projekt mit dem Directorate of Geological Mining Area Environment für fünf Standorte unter dem Gesichtspunkt der Verminderung / Abwehr von Georisiken exemplarisch Handlungsempfehlungen und Richtlinien erarbeitet worden, die zur Verbesserung des Naturkatastrophen-Managements in der Raumordnung und Regionalplanung beitragen sollen – Aspekte, die in die Wiederaufbauprojekte mit unseren Partnerländern in den Tsunami-Katastrophengebieten einfließen sollen.

Ein weiteres wichtiges Thema im Berichtszeitraum war der Rohstoffboom, der die Preise wichtiger Rohstoffe wie Buntmetalle, Eisenerz und Stahl, Erdöl und Koks, aber auch Frachtraten nach oben schnellen ließ und plötzlich nach vielen Jahren, in denen Rohstoffe immer in ausreichenden Mengen zu günstigen Preisen auf dem Weltmarkt verfügbar waren, die Rohstoffversorgung wieder zu einem politischen Thema werden ließ. Die BGR hatte sich in dieser langen Zeit immer antizyklisch verhalten und eine Beratungs- und Forschungskompetenz im Rohstoffsektor auf hohem Niveau erhalten. Die vielen Rohstoffanfragen und Vortragswünsche aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft zeigen jetzt, wie gesucht und anerkannt die Rohstoffkompetenz der BGR ist.

Ganz konkrete Ereignisse auf diesem Sektor waren beispielsweise die Publikation der Energiestudie 2003 „Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen“, einer grundlegenden Arbeit über die deutsche und weltweite Energieversorgung, und die erfolgreichen geothermischen Vorversuche in der Bohrung Horstberg Z1 bei Uelzen für unser GeneSys-Projekt, das Geozentrum Hannover zukünftig geothermisch zu beheizen.

Weitere wichtige Meilensteine im breiten Spektrum der BGR-Arbeiten im Berichtszeitraum waren

- die Zertifizierung der deutschen Infrasschallstation IS 27 in der Antarktis nahe der Neumeyer-Forschungsstation des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung, unserem Kooperationspartner, durch die Comprehensive Test Ban Treaty Organisation (CTBTO) der UN in Wien. Die BGR betreibt damit als Nationales Deutsches Datenzentrum zwei zertifizierte Infrasschall- und zwei zertifizierte seismische Stationen, je eine im Bayrischen Wald an der GERESS-Lokation und je eine in der Antarktis.
- die verstärkte Kooperation mit ausländischen Partnern in Untertagelabors zur Untersuchung von alternativen Wirtsgesteinen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, beispielsweise mit der ANDRA, der französischen Gesellschaft zur Endlagerung radioaktiver Abfälle, die im Untertagelabor Meuse / Haute Marne (Bure) eine Tonformation auf ihre Eignung untersucht.
- die Übertragung der Aufgabe der Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft (GIW-Kommission) beim Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. Ziel der GIW-Kommission ist es, für die Wirtschaft die Ansprechstelle zu sein, Geoinformationen, also ortsbezogene Informationen, die im Wesentlichen bei Kommunen und Ländern liegen, für Wertschöpfungen, die nach einer Consultant-Untersuchung in Höhe von 8 Mrd. Euro gesehen werden, einfacher zugänglich zu machen. Hierbei werden alle potenziellen Nutzerbranchen vom Tourismus über die Versorgungswirtschaft bis hin zur Immobilienbewertung und Versicherungswirtschaft eingebunden.
- die selbstverständliche Beteiligung der BGR an der Ausbildungsoffensive der Bundesrepublik, um jedem Jugendlichen eine Ausbildung zu ermöglichen. Die BGR hat ihr Angebot für Azubi-Stellen von 27 auf 35 Stellen ausgeweitet und bildet jetzt in einem breiten Fächerspektrum aus:
Chemielaborant/in,
Elektroniker/in (neu seit 2004),
Fachangestellte/r für Bürokommunikation,
Fachangestellte/r für Medien- und Informationsdienste, Fachrichtung Bibliothek (neu seit 2005),
Feinwerkmechaniker/in,
Fachinformatiker/in, Fachrichtung Systemintegration (neu seit 2005),
Kartograph/in,
Kfz-Mechatroniker/in.

Der Stiftungsrat der vom Kuratorium der BGR getragenen Hans-Joachim-Martini-Stiftung vergab im Berichtszeitraum drei Hans-Joachim-Martini-Preise bzw. -Nachwuchspreise.

Im Jahre 2003 erhielt Dr. KURT BRAM vom GGA-Institut den Hans-Joachim-Martini-Preis für seine gesamten operativen und hervorragenden wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der angewandten Geowissenschaften, von denen er einen Teil auch als früherer Mitarbeiter der BGR erbracht hat.

Der Hans-Joachim-Martini-Nachwuchspreis 2003 wurde an Dr. CHRISTIAN MÜLLER von der BGR verliehen für seine wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der seismischen Analyse von Gashydratressourcen im Untergrund.

Im Jahre 2004 erhielten den Hans-Joachim-Martini-Nachwuchspreis SILKE HILLEBRAND und KATRIN HAGEMANN vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, unsere Partner-Institution im Geozentrum Hannover, für ihre wissenschaftlichen Beiträge zur Einführung eines Internet- Informationsdienstes für Landwirte zur optimierten Probenahme für die Bestimmung der Rest-Stickstoff-Gehalte in Böden.

Den Mitgliedern des Kuratoriums der BGR danke ich herzlich für ihren Rat und ihre Unterstützung. Ebenfalls danke ich den Bundesministerien und unseren in- und ausländischen Kooperationspartnern. Vor allem aber bedanke ich mich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der BGR für ihr Engagement bei der Erfüllung unserer Aufgaben.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. F.-W. Wellmer
Präsident



Kuratorium

der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Der Bundesminister für Wirtschaft und Arbeit hat ein Kuratorium berufen, das ihn und den Präsidenten der BGR in allen die Arbeit der BGR berührenden wichtigen Fragen berät. Dem Kuratorium gehören Vertreter der Geowissenschaften aus Wirtschaft und Industrie, dem Hochschulbereich und außeruniversitären Forschungseinrichtungen an.

Vorsitzender des Kuratoriums

Dr. K. M. REINICKE
Institut für Erdöl- und Erdgastechnik
der Technischen Universität Clausthal
Clausthal-Zellerfeld

Mitglieder

Dr. H. K. ÅKER
Direktorin der
Espoo Unit
Geological Survey of Finland
Espoo (Finnland)

Dr. R. BETHKE
Vorstandsvorsitzender der
K+S Aktiengesellschaft
Kassel

Dr.-Ing. D. BÖCKER
Vorstandsmitglied der
RWE Rheinbraun AG
Köln

Prof. Dr. Dr. h. c. R. EMMERMANN
Vorsitzender des Vorstandes des
GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ)
Potsdam

Prof. Dr. P. FRITZ
Wissenschaftlicher Geschäftsführer des
Umweltforschungszentrums
Leipzig-Halle GmbH
Leipzig

Prof. Dr. Dr. W. GOCHT
Forschungsinstitut für internationale
technische und wirtschaftliche
Zusammenarbeit der RWTH
Aachen

Prof. Dr. H.-P. HARJES
Vorsitzender der Senatskommission der DFG
für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsforschung
Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik
der Ruhr-Universität
Bochum

Dr. W. HOHLEFELDER
Vorstandsmitglied der
E.ON Energie AG
München

Prof. Dr. F. JACOBS
Institutsdirektor des
Instituts für Geophysik und Geologie
der Universität
Leipzig

Dr. P. KLAUS
Vorstandsmitglied der
Kreditanstalt für Wiederaufbau
Frankfurt

Prof. Dr. I. KÖGEL-KNABNER
Lehrstuhl für Bodenkunde
der Technischen Universität München
Freising-Weihenstephan

Dipl.-Ing. G. KRALLMANN
Großburgwedel

Prof. Dr. J. THIEDE
Direktor des
Alfred-Wegener-Instituts
für Polar- und Meeresforschung
Bremerhaven

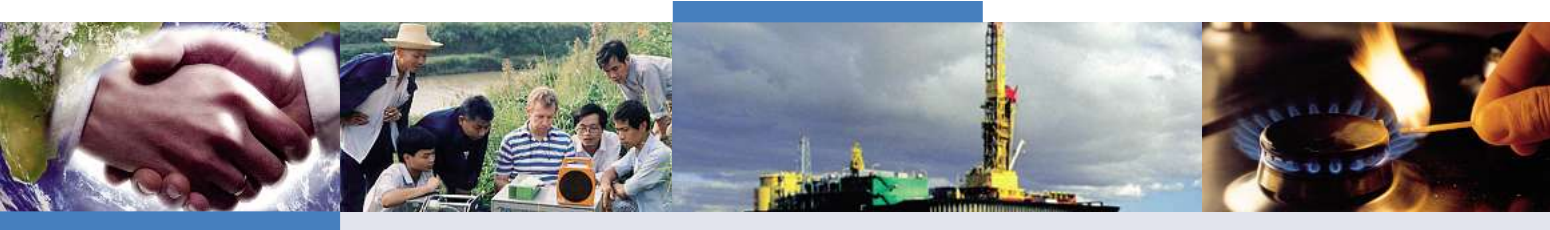
Dipl.-Ing. B. TÖNJES
Vorstandsvorsitzender der
Deutschen Steinkohle AG
Herne

Peter VOS
Sprecher des Vorstandes der
Basalt-Actien-Gesellschaft
Linz/Rhein

Reinier ZWITSERLOOT
Mitglied des Vorstandes der
Wintershall AG
Kassel



Inhaltsverzeichnis



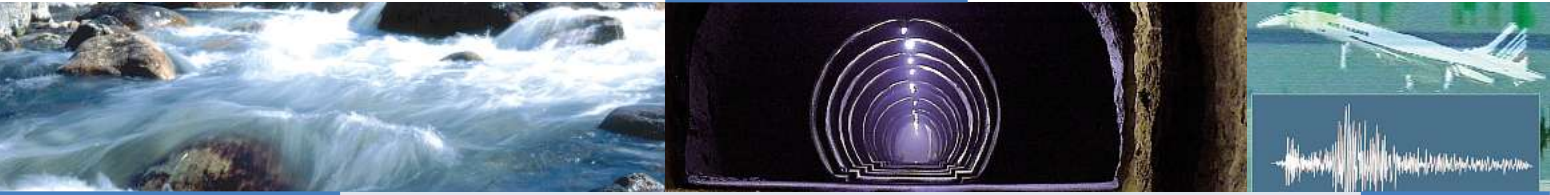
Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern ■

- 14 Geologie in der Entwicklungszusammenarbeit
- 17 Bergbauberatung und Bergbaualtlasten in Chile
- 21 Umweltgeologie in der Stadt- und Regionalplanung
– zum Beispiel in Malawi
- 25 Geologische Kartierung
– ein entscheidender Beitrag zum Schutz der Umweltressourcen und
zur Verbesserung der Lebensbedingungen zum Beispiel im Jemen

Energierohstoffe ■

- 30 Energierohstoffe – der Motor der Volkswirtschaft
- 33 Magnetotellurische Sondierungen im Norddeutschen Becken
– ein Beitrag zur Verbreitung potenzieller Erdgas-Muttergesteine
- 35 Gashydrate und freies Gas am Beispiel des Kontinentrandes
vor Nordwest-Borneo, Malaysia
- 37 Wie lange reicht das Erdöl noch?
Eine falsch formulierte Frage für ein offensichtliches Problem
- 39 Zurück in den Untergrund
– ein Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen

Inhaltsverzeichnis



Wasser ■

- 44 Wasser – der am weitesten verbreitete Rohstoff und Lebensmittel Nummer 1
- 48 Nitrat im Grundwasser im südlichen Afrika
– ein Problem für die Trinkwasserversorgung
- 50 HÜK 200 – eine Grundlage für die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie
- 53 Verbesserung des Grundwasserschutzes im Kabul-Becken in Afghanistan

Geotechnische Sicherheit / Endlagerung ■

- 58 Geotechnische Sicherheit – wer ist verantwortlich?
- 60 Entsorgung radioaktiver Abfälle
- 63 Salzkavernen
- 65 Erdbebensicherheit von Zwischenlagern an Kernkraftwerken

Nationales Seismologisches Datenzentrum / Kernwaffenteststoppabkommen ■

- 68 Lauschen für den Frieden – was ist der CTBT?
- 71 BGR – Kontrollinstitution für die Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens
- 73 Inbetriebnahme und Zertifizierung von IS27 und AS035 in der Antarktis



Geologische Schadensrisiken ■

- 78 Georisiko – ein unvorhersehbares Schicksal?
- 80 Monitoring von Schlammvulkanen in Aserbaidschan
- 81 Aktuelle Ergebnisse zum Ausbruch des Galeras im August 2004
- 82 Streiflicht Seebeben Südasien
- 84 Georisiken Indonesien

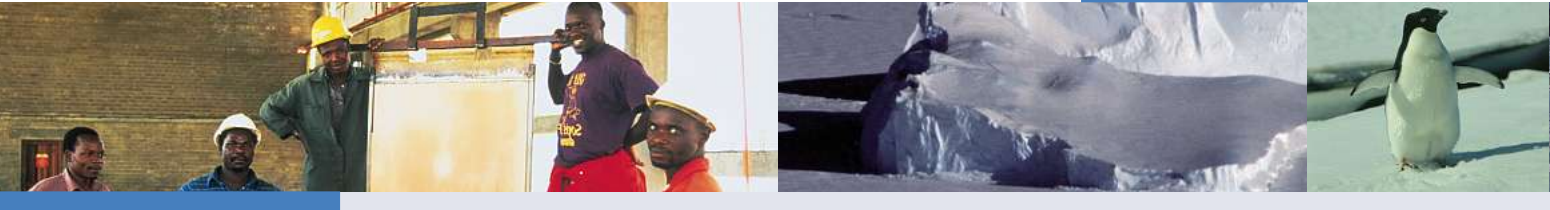
Geoumwelt- und Ressourcenschutz ■

- 88 Arbeiten für die Umwelt
– Geoumwelt- und Ressourcenschutz
- 90 Nachweis von Kohlenwasserstoff-Verseuchung im Boden
– Einsatz der Hyperspektralfernerkundung
- 91 Untersuchungen von Deponien und Altlasten
– Umweltschutz in Thailand
- 93 Umweltgefährdung durch Bergbauhalden in Botswana
- 94 Moderne Analysetechniken
– quantitative und qualitative Beschreibungen von aktiven
Oberflächenbereichen in Umweltproben

Boden ■

- 98 Boden – Lebensgrundlage, ökonomische Ressource und Schutzgut
- 100 Karte der Bodenregionen der Europäischen Union und ihrer Nachbarstaaten
im Maßstab 1 : 5 000 000
- 106 Modellgestützte Sickerwasserprognose für anorganische Schadstoffe

Inhaltsverzeichnis



Mineralische Rohstoffe ■

- 110 Mineralische Rohstoffe – nichts geht ohne sie
- 112 Oxidierte Platinerze
- 113 Quarz-Ringversuch für § 3 Bundesberggesetz (BBergG)
- 114 Identifizierung von Wyoming-Bentoniten mit Infrarotspektroskopie als Schnellmethode
- 115 Test der SER-Methode an keramischen Tonen
- 117 Die Mikroanalyse
– High-Tech-Methoden ergänzen die klassische Feldarbeit

Erkundung der Meere und Polarregionen ■

- 120 Warum Forschung in Meeren und Polarregionen?
- 122 Das Nordseeprojekt der BGR
– Geobasisdaten für die deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ)
- 124 Neue Ergebnisse zur Öffnungsgeschichte des Südatlantiks
– marine geophysikalische Untersuchungen am Kontinentrand von Südafrika
- 126 CASE 8, Ellesmere Island – Vendom Fiord
- 130 Permafrost in Kanada
- 131 Deutsche Aktivitäten im internationalen Tiefseebohrprogramm IODP
– von der BGR koordiniert



Sonderthema „Klima“ ■

134 Klima, Kyoto und Kohlendioxid

Sonderthema „Geothermie“ ■

144 Stromerzeugung aus der Tiefe der Erde

Sonderthema „Öffentlichkeitsarbeit“ ■

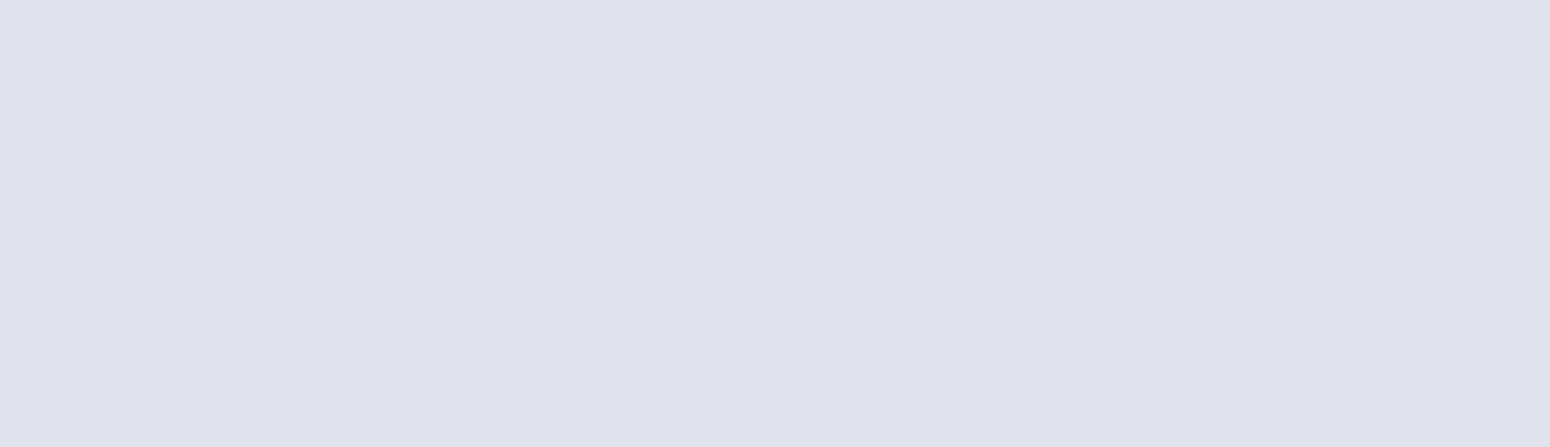
150 Geowissenschaft für die Gesellschaft

BGR spezial

155 Die Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft ist eingerichtet

156 Ausbildungsplatzinitiative der BGR

157 Zahlen und Fakten





Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern

Technische Zusammenarbeit

Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern

Geologie in der Entwicklungszusammenarbeit



Eine für alle!

Wir haben nur eine Erde auf der wir leben und mit der wir auskommen müssen. Die Erdbevölkerung wächst immer schneller an. Die Existenzgrundlage, die uns das Leben auf der Erde ermöglicht, wächst jedoch nicht mit. Im Gegenteil, das Angebot natürlicher Ressourcen wird durch weltweite Übernutzung und Sorglosigkeit in vielen Bereichen immer geringer. Die besten Beispiele sind hierfür die weltweiten Vorräte an Öl und Grundwasser. Hinzu kommt, dass diese Naturressourcen auf der Welt ungleich verteilt sind. Weltweite soziale Spannungen und Armut sind die Folgen, die uns täglich in den Medien begegnen. Die Schere zwischen Arm und Reich öffnet sich zusehends. Nur eine vorausschauende Planung und Ressourcen schonende Entwicklung sichert die Zukunft der Menschheit.

Krisen weltweit – was kann man dagegen tun?

Es ist ein erklärtes Ziel der Bundesregierung zur Entspannung von Konflikten beizutragen und Armut zu lindern. Die Bundesrepublik Deutschland gehört zu den größten Akteuren der internationalen Entwicklungszusammenarbeit. Das Ziel der deutschen Entwicklungspolitik ist es hierbei, die Lebensbedingungen der Menschen, insbesondere die der armen Bevölkerungsschichten in den Partnerländern zu verbessern. Mit Hilfe der Technischen Zusammenarbeit (TZ) unterstützt die Bundesregierung Entwicklungsprozesse in den Partnerländern, um die Menschen und Organisationen in die Lage zu versetzen, ihre Lebensbedingungen aus eigener Kraft zu verbessern. Zu diesem Zweck werden technische, wirtschaftliche und organisatorische Kenntnisse und Fähigkeiten vermittelt und die politischen Rahmenbedingungen für anhaltende Entwicklungen geschaffen.



Die Bundesregierung orientiert sich an den Millennium-Entwicklungszielen der internationalen Staatengemeinschaft und hat sich hierzu drei Schwerpunkte gesetzt:

- Armutsbekämpfung,
- Umwelt- und Ressourcenschutz,
- Bildung und Ausbildung.

Welche Rolle spielt die BGR in der Technischen Zusammenarbeit?

Mit ihrem umfassenden Fachwissen und jahrzehntelanger Projekterfahrung in vielen Ländern der Welt vertritt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) den georelevanten Bereich in der Entwicklungszusammenarbeit.

Themenschwerpunkte der BGR sind:

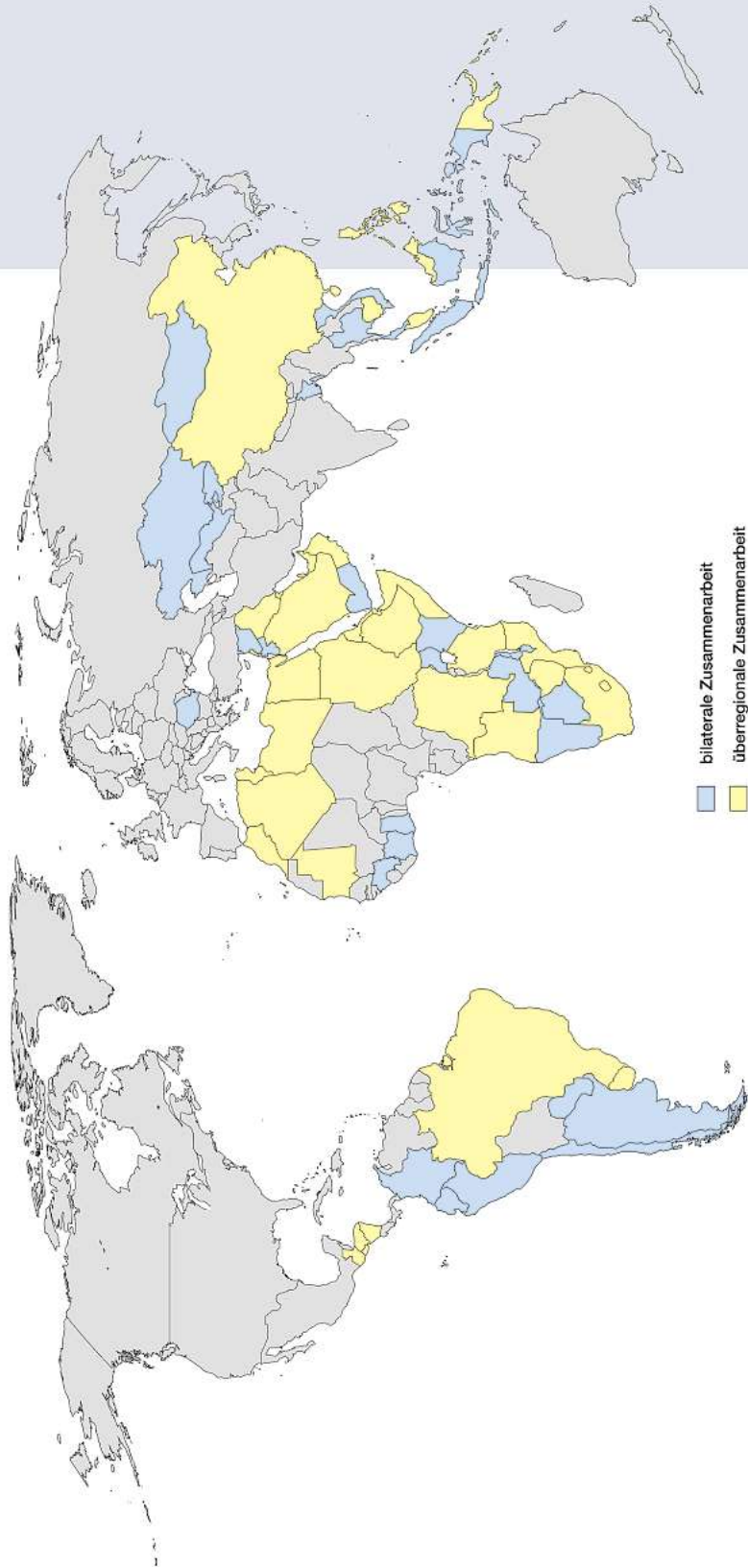
- **Grundwassermanagement**,
z. B. „wo steht sauberes Trinkwasser in ausreichender Menge zur Verfügung und wie kann es nachhaltig genutzt werden?“
- **Geo-Umwelt- und Ressourcenschutz**,
z. B. „wie bringt man Raumplanung und Umwelt- und Ressourcenschutz in Einklang?“
- **Management von Georisiken**,
z. B. „wie kann vorbeugender Schutz gegen Umweltkatastrophen erfolgen?“
- **Bergbauberatung und Bergbau-Umweltschutz**,
z. B. „wie funktioniert umweltverträgliche Rohstoffversorgung?“
- **Rohstoffe: Energierohstoffe, Steine/Erden, Metallrohstoffe**,
z. B. „wo findet man Baumaterialien?“

Was macht die Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR) konkret?

Derzeit führt die BGR über 30 TZ-Projekte zu diesen fünf Schwerpunkten durch, an denen mehr als 20 Partnerländer und -organisationen in Mittel- und Südamerika, Afrika, Zentral- und Südostasien sowie in Südosteuropa beteiligt sind. Die Projektpartner sind in der Regel staatliche Institutionen, aber auch Fachverbände und Unternehmen aus dem Geo-, Bergbau-, Wasser-, Regionalplanungs- und Umweltsektor. Die Unterstützung erfolgt überwiegend in Form von fachlicher Beratung, Aus- und Fortbildung sowie Beratung zum Aufbau leistungsfähiger Organisationsstrukturen und deren institutionellen Rahmenbedingungen (Trägerförderung).

In die Projekte werden neben deutschen Fachberatern der BGR insbesondere auch Consultants aus der Industrie in den Partnerländern eingebunden. Die BGR unterstützt auch überregionale Organisationen wie z. B. ACSAD („Arab Center for the Studies of Arid Zones and Dry Lands“ der Arabischen Liga), die Entwicklungsziele länderübergreifend verfolgen. Die sektorale Schwerpunktsetzung in der TZ führt zu größeren und fachübergreifenden Programmen, in denen die BGR ihre Kernkompetenz im Geo-Sektor einbringt und mit anderen Durchführungsorganisationen interdisziplinär zusammenarbeitet.

Im folgenden werden drei Projekte der Technischen Zusammenarbeit aus verschiedenen Kontinenten vorgestellt, die die Bandbreite der BGR-Projektarbeiten auf dem Geo-Sektor in der Technischen Zusammenarbeit beispielhaft widerspiegeln.



Partnerländer der Technischen Zusammenarbeit der BGR in 2003 und 2004.

Bergbauberatung und Bergbaualtlasten in Chile

Historischer Hintergrund

Chiles Geschichte und Wirtschaft sind vom Bergbau geprägt. Der Reichtum an metallischen und nicht-metallischen Rohstoffen befindet sich geologisch und historisch bedingt in der Kordillere, ihren Längstälern und den Salzseen vor allem im Norden des Landes.

Heute steht Chile mit seiner Bergbauproduktion von ca. 5 Mio. t Kupfer im Jahr 2003, die etwa 36 % der Weltproduktion darstellt, mit weitem Abstand an erster Stelle. Die Kupferindustrie ist im chilenischen Bergbau und in der gesamten chilenischen Wirtschaft von herausragender Bedeutung. Weltweit ist Chile ebenfalls in der Lithium- und Jodproduktion führend, bei Molybdän und Silber steht es jeweils an dritter Stelle.

Die Bergbauproduktion Chiles hat sich in den letzten 20 Jahren verfünffacht, was im Wesentlichen der ausgesprochen offenen Wirtschaftsordnung und den attraktiven Investitionsbedingungen zuzuschreiben ist. Im Jahr 2002 erbrachte der Bergbau 8,2 % des Bruttoinlandsprodukts und 41,6 % der Exporterlöse.

Chile hat heute eine über 150-jährige Geschichte des industriellen Bergbaus hinter sich, in der neben Kupfer vor allem der Abbau von Salpeter, Gold und Silber im Vordergrund stand.



Artesanale Golderaufbereitung im Kollergang.



Die Quecksilberbeschichtung der Amalgamierungsbleche für den Kollergang erfolgt meist mit bloßer Hand.



In dem traditionellen Bergbaugebiet bei der Stadt Andacollo, 380 Kilometer nördlich von Santiago, ziehen sich die Bergbaualtlasten zum Teil bis mitten in das Stadtgebiet.

Im Laufe dieser Zeit haben sich besonders im Norden des Landes Bergbaualtlasten erheblichen Umfangs angesammelt. Es handelt sich zumeist um Rückstände der Gold- und Silberaufbereitung mit teilweise hohen Gehalten an Arsen, Quecksilber und anderen Schwermetallen, Schlammteiche der Kupferaufbereitung und Abraumhalden mit Stabilitätsrisiken und Sauerwasserpotenzial.

Die mit den Bergbaualtlasten verbundenen Risiken liegen für die Bevölkerung und die Umwelt in der Giftigkeit der enthaltenen Substanzen, ihrer Staubverfrachtung, der Einsturzgefahr großer Bergeteiche, dem Sauerwasserpotenzial und in geringerem Maße in aufgelassenen, ungesicherten Schächten und anderen Bergbaueinrichtungen.

Gleichzeitig ist der umweltgerechte Umgang mit Rohstoffen für die in Chile tätigen, zum großen Teil international aufgestellten Bergbaugesellschaften ein immer wichtigeres Element für den Wettbewerb auf dem Weltmarkt. In zunehmendem Maße spielt die Zertifizierung des eigenen Betriebes, aber auch der Nachweis einer Politik der nachhaltigen Entwicklung eine wichtige Rolle.

Fast ausnahmslos stammen daher die Bergbau-altlasten Chiles aus der Zeit vor Inkrafttreten des Umweltgesetzes (1994) und seiner Durchführungsbestimmungen (1997), welche der Genehmigung aller neuen Industrievorhaben eine Umweltverträglichkeitsprüfung vorschalten. Ergänzend dazu werden laufende Bergwerksbetriebe durch eine seit Januar 2004 wirksame Regelung gezwungen, Schließungspläne vorzulegen, die neben der Bergsicherheit auch der Umwelt Rechnung zu tragen haben.

In der Gesetzgebung derzeit noch vollkommen unberücksichtigt sind jedoch die für die Umwelt und auch die Bergwirtschaft zum Teil mit erheblichen Risiken verbundenen Bergbau-altlasten. Obgleich die Umweltbelastungen außer Frage stehen und die Zahl der verlassenen Bergwerke und Aufbereitungsanlagen die der neuen, umweltrechtlich überwachten Betriebe

um ein Vielfaches übersteigt, verfügt Chile bislang über keine Regelung zur Inventur, Klassifizierung und Sanierung der als riskant eingestuften Bergbau-altlasten.

Vor diesem Hintergrund beschloss im Jahre 2002 der staatliche Geologie- und Bergbaudienst Chiles, der „Servicio Nacional de Geología y Minería“ (SERNAGEOMIN), Vorbereitungen für die rechtliche Regelung und technische Lösung der Bergbau-altlasten-Problematik zu treffen und beantragte dafür beim Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) ein Projekt der Technischen Zusammenarbeit mit der Bundesrepublik Deutschland.

Das BGR-SERNAGEOMIN-Projekt

Im Rahmen des Projekts „Grundlagen für die Sanierung von Bergbau-altlasten“, das die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zusammen mit SERNAGEOMIN im Auftrag des BMZ durchführt, sollen die Grundlagen für eine Umweltaufsicht über die Bergbau-altlasten geschaffen und der Prozess der Sanierung gefährlicher Bergbau-altlasten eingeleitet werden.

Mit einer vorgesehenen Laufzeit von fünf Jahren wurden im August 2003 die Arbeiten aufgenommen und die Arbeitsschwerpunkte in drei Bereiche gegliedert:

- **Rechtlicher Rahmen für die Bergbau-altlasten in Chile**

Die Schaffung eines wirksamen rechtlichen Rahmens für den Umgang mit Bergbau-altlasten in Chile bedarf zunächst einer Zieldefinition sowie einer Reihe konzeptioneller Grundlagen, in denen Begriffsdefinitionen und Fragen der Zuständigkeit und Verantwortlichkeit festgelegt werden.

In einem zweiten Schritt wird der bestehende Rechtsrahmen auf seine Wirksamkeit im Hinblick auf einen sachgerechten Umgang mit den Bergbau-altlasten im Sinne der Zieldefinition und der konzeptionellen Grundlagen geprüft. Auf dieser Grundlage geschieht dann die Ausarbeitung von Vorschlägen für eine Neuregelung bzw. Anpassung des bestehenden Rechtswerkes.

Die wesentliche Herausforderung einer gesetzlichen Regelung des Themas Bergbau-altlasten in Chile stellt nach derzeitigem Erkenntnisstand die Frage nach einem angemessenen Umgang mit dem Eigentumsrecht und dem Bergrecht auf den betreffenden Gebieten dar, um in angezeigten Fällen den Sanierungseingriff zu ermöglichen.



Tagebau des sich seit 1910 in Produktion befindlichen Bergbaubetriebs Chuquibambilla, der staatlichen chilenischen Bergbaugesellschaft „Corporación Nacional del Cobre de Chile“ (CODELCO). Er liegt im Norden Chiles auf 2870 Metern Höhe und ist mit insgesamt elf Quadratkilometern Ausdehnung und einer Tiefe von über 700 Metern der größte Tagebau der Welt.

Mit den im Tagebau gewonnenen 467 000 Tonnen Kupfer in 2003 ist Chuquibambilla zudem weltweit der zweitgrößte Kupferproduzent. Dazu kommen 2003 noch 140 000 Tonnen Kupfer aus dem Laugungs-betrieb der SX-EW-Gewinnung. Außerdem wurden 2003 16 430 Tonnen Molybdän, 160 Tonnen Silber und 1,2 Tonnen Gold produziert (Bild: CODELCO).



Historische Erkundung von Bergbaualllasten schließt oft mühsame Suche nach Informationen vor Ort ein.



Das Ausbildungsprogramm des Projekts umfasst bereits in der ersten Phase die Vorbereitung und Durchführung von Pilot-sanierungen, wie sie hier mit der Einkapselung einer Deponie, die toxische Abgänge einer Golderaufbereitung enthält, zu sehen ist.

Im Weiteren sind Fragen der institutionellen Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zu regeln. Im Wesentlichen handelt es sich um historische Altlasten, für die kein Rechtsnachfolger der Verursacher mehr ausgemacht werden kann, oder deren Verantwortlichkeiten nach Ablauf einer 20-jährigen Frist verjährt sind. So wird die Verantwortung für die Sanierung von Bergbaualllasten in den meisten Fällen auf den Staat zurückfallen. Ausnahmen sind jedoch denkbar und müssen in einer Regelung über die Bergbaualllasten berücksichtigt werden.

Die Arbeiten an einem Rechtsrahmen für die Bergbaualllasten werden vom Projekt und einem dafür ins Leben gerufenen Ausschuss, unter Beratung durch ein Team von Rechtswissenschaftlern, durchgeführt. Der Ausschuss setzt sich aus allen auf dem Sektor für Bergbau und Umweltbelange maßgeblich zuständigen Behörden (nationale Umweltbehörde „Comisión Nacional del Medio Ambiente“ (CONAMA), dem Bergbauministerium „Ministerio de Minería“, SERNAGEOMIN in seiner Funktion als Oberbergamt) sowie aus der BGR und der UN-Wirtschaftskommission für Lateinamerika und die Karibik „Comisión Económica para América Latina y el Caribe“ (CEPAL), als beratende Stellen zusammen.

■ Finanzierung der Sanierung von Bergbaualllasten

Die zweite Herausforderung stellt die Finanzierung eines Altlastensanierungsprogramms für den Bergbau dar. Die Bereitstellung der dafür erforderlichen Mittel allein aus dem Staatshaushalt ist nach derzeitiger Einschätzung unwahrscheinlich. Im Rahmen des Projektes werden Vorschläge für alternative Finanzierungsinstrumente erarbeitet, mit den zuständigen Stellen abgestimmt und nach Ablauf der ersten Projektphase zusammen mit den Vorschlägen zur gesetzlichen Neuregelung dem Gesetzgeber vorgelegt.

Heute kann davon ausgegangen werden, dass die Finanzierung in den meisten Fällen durch eine direkte oder indirekte Beteiligung des Bergbau-Sektors geschehen wird. Denkbar sind Fonds und Patenschaften mit entsprechenden steuerlichen Anreizen, sowie die Nutzung nicht-steuerlicher Einkünfte des Staates wie beispielsweise aus der Vergabe von Bergrechten und aus Strafgeldern.

■ Aufbau der fachlichen Qualifikation für die Sanierung der Bergbaualllasten

Der dritte Arbeitsschwerpunkt zielt auf die fachliche Qualifikation des Projektträgers, um diesen in die Lage zu versetzen, für die Altlastensanierung zu werben und künftige Sanierungsmaßnahmen umfassend zu beaufsichtigen. SERNAGEOMIN ist die Institution, der per Gründungsdekret die Aufsicht über die Umsetzung der Normen des Bergbausektors obliegt. Dies betrifft neben der Verwaltung der Bergrechte auch die Aufsicht über die Einhaltung von Bergsicherheitsvorschriften und Umweltbelangen.

SERNAGEOMIN wird bei einer künftigen Regelung des Umgangs mit Bergbaualllasten in Chile die Zuständigkeit für die Identifikation und Risikoklassifizierung der Bergbaualllasten, wie auch, in angezeigten Fällen, für die technische Aufsicht über deren sachgerechte Sanierung zufallen.

Um diese Aufgaben zu bewältigen, wurden Arbeitsgruppen geschaffen, die unter fachlicher Anleitung Informationen zu spezifischen Altlasten erheben und Sanierungen im Pilotmaßstab vorbereiten und beaufsichtigen. Die Durchführung von Pilotprojekten dient vorwiegend dem Erwerb praktischer Erfahrung in der Identifikation, Klassifizierung und Vorbereitung von Maßnahmen zur Sanierung von Bergbaualllasten.

Ausblick

Derzeit befindet sich das Projekt in seiner ersten, auf zwei Jahre ausgelegten Phase. Insgesamt wird die Projektzeit voraussichtlich fünf Jahre betragen.

In einer zweiten Phase, die von 2005 bis 2008 reichen soll, werden die Schwerpunkte auf einem weiteren Aufbau der fachlichen Qualifikation der Partnerinstitution für die Aufsicht und die Steuerung der Bergbaualllasten-Sanierung in Chile und der Implementierung der in der ersten Projektphase vorgelegten Vorschläge für einen rechtlichen Rahmen und der notwendigen Finanzierungsinstrumente liegen.

Während die Sanierungsmaßnahmen im ersten Teil der Projektlaufzeit noch im Wesentlichen unter der technischen Leitung des Projektpersonals und externer Berater unter Begleitung der Partnerfachkräfte durchgeführt werden, soll im zweiten Teil den lokalen Fachkräften eine führende Rolle bei Planung und Aufsicht über die Sanierungen zukommen. Die Sanierungsmaßnahmen sollen dann bereits mit den ersten in Kraft befindlichen Regelwerken und Finanzierungsinstrumenten erfolgen.

Die bislang zugesagten Mittel für die Sanierung von Bergbaualllasten stammen ausnahmslos aus dem privaten Bergbausektor. Daran ist abzulesen, dass seitens dieses Industriezweigs ein starkes Interesse an einer Lösung der Bergbaualllasten-Problematik besteht und auch künftig die Bereitschaft bestehen wird, sich an der Finanzierung eines nationalen Programms zur Sanierung der Bergbaualllasten zu beteiligen.



*Flotationsabgänge der Kupfermine Salvador der staatlichen chilenischen Bergbaugesellschaft „Corporacion Nacional del Cobre de Chile“ (CODELCO), 1100 Kilometer nördlich von Santiago. Bergbaualllasten der über Jahrzehnte ins Meer eingeleiteten Abgänge der Mine führten zur Verlandung großer Flächen mit zum Teil kontaminiertem Material.
(Satellitenaufnahme: Landsat 7, BGR)*



Umweltgeologie in der Stadt- und Regionalplanung – zum Beispiel in **Malawi**

Einführung

Malawi im südöstlichen Afrika gilt als eines der ärmsten Länder der Erde. Das rohstoffarme, landwirtschaftlich orientierte Land sieht sich in seiner Entwicklung vielfältigen Problemen ausgesetzt. Nicht nur der hohe Anteil an HIV/AIDS-infizierten Personen macht es schwer, die Armut im Lande zu bekämpfen. Der nur wenig zurückgegangene Bevölkerungsanstieg führt zu einem steigenden Druck auf die begrenzten Naturressourcen. Im Durchschnitt kommen auf einen Haushalt weniger als 0,5 ha landwirtschaftlich nutzbarer Fläche – zu wenig, um eine Familie zu ernähren. Unvorhersehbare Naturkatastrophen führen immer wieder zu Ernteausfällen. Häufige Überschwemmungen und Hangrutsche belasten den Staatshaushalt zusätzlich durch notwendige Reparaturarbeiten an beschädigten Verkehrswegen.

Zusammenarbeit BGR-GSD

Seit 1990 unterstützt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) den Geologischen Dienst von Malawi (Geological Survey Department, GSD), um seine Fähigkeiten zu stärken und damit zur Entwicklung des Landes beizutragen. Die Bestandsaufnahme der Industriemineralvorkommen im Lande, die Bewertung des Mineralpotenzials und die Untersuchung von „Agro-Mineralen“, die als Düngemittel eingesetzt werden können, waren Ziele der Zusammenarbeit. Nachdem 1991 bei einer Naturkatastrophe in Phalombe über 500 Menschen durch Geröllströme getötet wurden, zielte die Beratung seit 1996 zunehmend auf die Bewertung der Georisiken, um Präventivmaßnahmen ergreifen zu können.

Umweltgeologie-Projekt

Seit 2001 konzentriert sich die Zusammenarbeit ausschließlich auf umwelt-geologische Belange, um den Geologischen Dienst in die Lage zu versetzen, Stadt- und Regionalplaner zielgerichtet zu unterstützen.

Die dringende Notwendigkeit einer solchen Beratung lässt sich erkennen, wenn man das größte Wirtschaftszentrum des Landes, die Stadt Blantyre, betrachtet. Hatte Blantyre 1999 noch weniger als 600 000 Einwohner, so leben 2004 bereits über eine Millionen Menschen in der Stadt. Die wenigen Stadtplaner vermögen nicht, das Wachstum der Stadt wirkungsvoll zu planen und geordnet zu organisieren. Die Lage der Stadt in den Shire Highlands mit Höhenlagen zwischen 750 m und 1600 m verlangt aber eine sorgfältige Planung, um die Einwohner vor Steinerschlag, Schlammfluten und Geröllströmen zu bewahren und angemessene lebenswerte Umweltbedingungen für die künftigen Generationen zu schaffen.



Blantyre: Aufnahme eines Bodenprofils.

Was Stadt- und Regionalplanung mit Geologie zu tun hat, sollen Fallbeispiele aufzeigen. Die in zwei Jahren Geländetätigkeit in Blantyre durchgeführten umweltgeologischen Untersuchungen umfassten die Bewertung der Georisiken im Stadtgebiet, die Suche nach geeigneten Standorten für Hausmüll-Deponien, die Bewertung der mineralischen Baurohstoffe, die Abschätzung der Erosionsempfindlichkeit und die detaillierte umweltgeologische Erkundung von neuen Stadtplanungsgebieten.

Georisiken

Im Stadtgebiet von Blantyre gibt es Berge mit Steilhängen, von denen in der Vergangenheit und Gegenwart Schuttströme und Steinschlag ausgegangen sind. Wegen der starken Bevölkerungszunahme besiedeln die Menschen auch die steilen Bergflanken. Anthropogene Einflüsse verstärken die Risiken für durch Starkregen ausgelöste Massenbewegungen.



Gewinnung von Ziegelton aus einem ehemaligen Geröllstrom am Westhang des Mt. Soche.

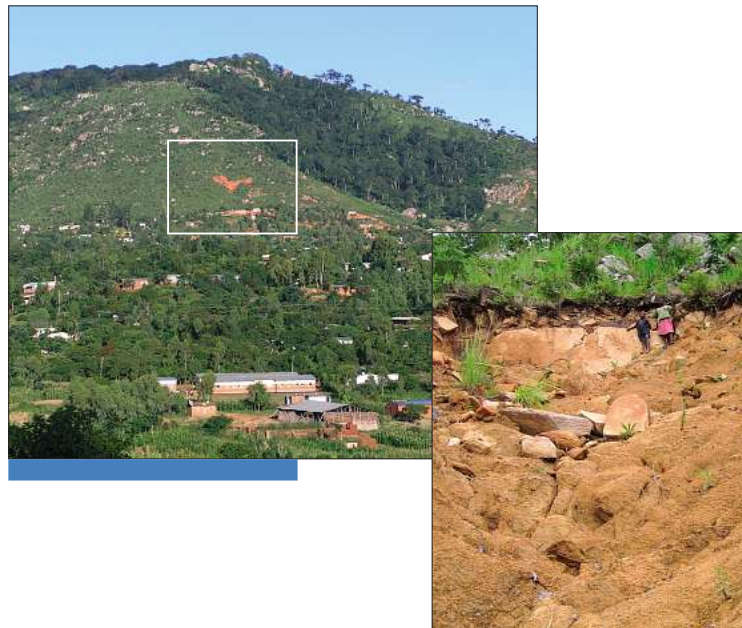
Erosionsempfindlichkeit

Der Verlust an fruchtbarem Boden durch Starkregen führte in Malawi in den letzten Jahren zu einem Rückgang der Ernteerträge im zweistelligen Prozentbereich. Dazu trägt im Stadtgebiet von Blantyre die unsachgemäße Nutzung der Steilhänge für den Maisanbau bei. Für Kleinunternehmer, die Bausand und Baukies aus den Flussläufen gewinnen, ist der ständige Nachschub durch die hohe Sedimentfracht der Bäche willkommen.

Für die Umwelt dagegen ist ein mit Sediment gefülltes Flussbett ein hohes Risiko. Durch die eingeschränkte Kapazität der Flussläufe können große Regenwassermengen zu unerwartet starken Überschwemmungen führen. Die Kosten für die Trinkwasserreinigung stiegen in Blantyre durch die zunehmende Sedimentfracht erheblich bei verminderter Nutzung des Wasserdargebotes.

Mt. Soche, Blantyre:

Durch die Gewinnung von Ziegelton kann der Hang instabil werden und Geröllströme entstehen lassen, die die unterhalb liegenden Siedlungen gefährden.





*Dwambadzi-River-Brücke:
Reste der 1999 weggeschwemmten Brücke.*



*Dwambadzi River:
Zerstörte Behelfsbrücke im Jahr 2001.*

Als Folge der Bodenerosion kommt es im Shire River zur Beeinträchtigung der Stromerzeugung in den drei Wasserkraftwerken des Landes. Im drei Jahre alten Kraftwerk Kapichira reduzierte sich die Wassertiefe des Staubeckens von 8 m auf 2 m. Feinsand schleift die Turbinenblätter derart ab, dass die Ausnutzung der Turbinen auf 30 % gesunken ist.

Müll-Deponie-Standortsuche

Die derzeit für die Entsorgung des Haus- und Industriemülls von Blantyre genutzte Deponie am Mzedi Hill befindet sich in einem Quellgebiet und hat bereits unwiderruflich ein Bachsystem verunreinigt. Die Stadt hat die an diesem Bach angesiedelten Menschen über ein eigens eingerichtetes Leitungssystem mit Trinkwasser zu versorgen. Die rechtzeitige Planung einer sicheren Deponie mit einer geologischen Schadstoffbarriere hätte diese Kosten sparen und das Oberflächen- und Grundwasser schützen können.

Aufgrund der fortschreitenden Verunreinigung des Wassers am Mzedi Hill und des zunehmenden Müllaufkommens der Stadt besteht die dringende Notwendigkeit, eine umweltverträgliche Deponie einzurichten.

Die Suche nach geeigneten Standorten für eine Mülldeponie im Stadtgebiet orientierte sich an folgenden Kriterien:

- mächtige tonreiche Bodenbedeckung auf ausreichender Fläche,
- eine flache Hangneigung,
- ausreichender Abstand zu Siedlungsgebieten,
- ausreichender Abstand zu Wasserläufen,
- genügend tiefer Grundwasserstand,
- verkehrsgünstige Lage.

Da das Stadtgebiet in den Shire Highlands über geologische Zeiträume einer starken Einebnung unterlag, gibt es nur wenige ebene Flächen (Peneplain) mit ausreichender Bodenbedeckung. In akzeptabler Entfernung zum Stadtzentrum bietet sich nur Chigumula als sicherer Standort an.



*Musa, Blantyre:
Gewinnung von Bausand
aus dem Likhubula River.*

Auf einer über 20 ha großen Fläche mit mittleren Bodenmächtigkeiten von 7 m und einem durchschnittlichen Tonanteil von 55 %, einem Grundwasserstand bei 6,5 m und einer Hangneigung von unter 2 % lässt sich eine Deponie mit ausreichender Kapazität für die nächsten Jahrzehnte errichten. Zusätzlich erlaubt es die Morphologie, ein künstliches Feuchtgebiet für die kostengünstige Klärung des Deponie-Sickerwassers zu errichten.

Umweltgeologische Bewertung des Stadtentwicklungsgebietes Malabada

Im Stadtentwicklungsgebiet Malabada plant Blantyre den Bau von Schulen, Kirche, Friedhof und Wohnhäusern. Da sich das Gebiet unterhalb eines Steilhangs des Ndirande Mountain befindet, erfolgte im Rahmen einer Ausbildungsmaßnahme für Mitarbeiter des geologischen Dienstes von Malawi eine umweltgeologische Gesamtbewertung des Gebietes.

Dabei ergaben sich folgende Risiken und Nutzungseinschränkungen für die künftige Nutzung des Gebietes:

- eine bereits errichtete Schule liegt teilweise in einem Gefährdungsgebiet für Schuttströme.
- der Baugrund ist in Teilbereichen durch austretende Hangwässer nicht tragfähig.
- aus fruchtbarem Oberboden produziert man minderwertige Ziegel und außerdem geht der Boden unwiederbringlich verloren und erschwert dadurch den üblichen Gartenanbau in den Häuserparzellen.
- Wegen fehlender Abwassernetze waren Sickergruben geplant. Tonreiche Böden aus in situ verwittertem Gestein sind nahezu wasserundurchlässig und eignen sich daher nicht für eine Versickerung des Abwassers. Bereits errichtete Sickergruben laufen über und erhöhen die Seuchengefahr in der Regenzeit, wenn sich die Cholerafälle häufen. Der Anschluss an eine Hauptabwasserleitung ist angeraten.



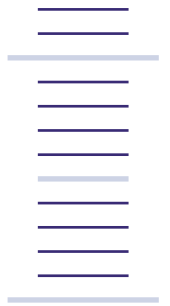
*Mzedi Hill, Blantyre:
Verschmutzter Brunnen auf der Mülldeponie
von Blantyre.*

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Planungen den örtlichen Gegebenheiten anzupassen, um mögliche zukünftige Schäden zu vermeiden. Die bereits errichtete Schule ist durch geeignete Stabilisierungsmaßnahmen im nahe gelegenen Bachbett zu sichern und darf in Zeiten mit extremen Niederschlägen vorsorglich nicht genutzt werden.

Die Quellgebiete sind nicht für die Wohnhausbebauung geeignet und könnten als städtische Grünanlagen genutzt werden.

Da das Brennen von Ziegelsteinen in einem Wohngebiet in Malawi nicht erlaubt ist und die Ziegel zudem von minderer Qualität sind, sollten den Kleinunternehmen von der Planungsbehörde alternative Flächen angeboten werden.

Aufgrund der wasserundurchlässigen Böden ist im Planungsgebiet die Klärung der Abwässer in Sickergruben keine Alternative. Die Planung sollte einen Anschluss an eine der Hauptabwasserleitungen vorsehen, zumal in der Schule mit einem erheblichen Anteil an Fäkalabwässern zu rechnen ist.



Geologische Kartierung

– ein entscheidender Beitrag zum Schutz der Umweltressourcen und zur Verbesserung der Lebensbedingungen zum Beispiel **im Jemen**

Ende der 1990er Jahre wurde zwischen der jemenitischen und der deutschen Regierung das „Yemeni-German Geological Mapping Project (YGGMP)“ vereinbart. Finanziert wurde das Projekt aus Mitteln des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ).

Die BGR unterstützte im Rahmen dieses Projektes den Geological Survey and Mineral Resources Board (GSMRB) auf dem Gebiet der geologischen Landesaufnahme für ein amtliches geologisches Kartenwerk im Maßstab 1 : 100 000. Neben dem Aufbau einer modernen digitalen Kartierabteilung wurde die computergestützte Bildverarbeitung im GSMRB eingeführt, mit deren Hilfe die jemenitischen Partner in die Lage versetzt wurden, Zeit und Kosten sparend Satellitenbilder für geologische und andere thematische Interpretationen auszuwerten und die Ergebnisse auf entsprechenden Karten darzustellen. Ergänzt wurden die genannten Maßnahmen durch den Aufbau einer digitalen Geodatenbank.

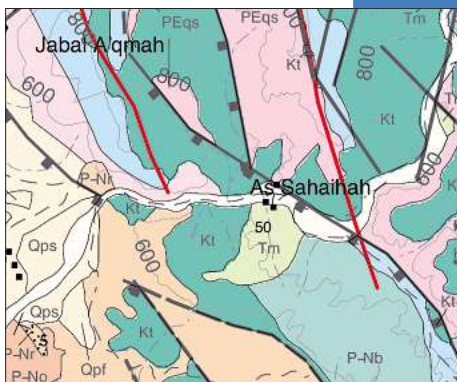
Von besonderer Bedeutung waren Trainingsmaßnahmen, die sowohl on-the-job im Rahmen der täglichen Projektarbeit im Jemen als auch in Deutschland und in Jordanien durchgeführt bzw. organisiert worden sind. Neben Geologen wurden insbesondere Kartographen in der digitalen Kartographie sowie in der Anwendung geographischer Informationssysteme ausgebildet.



Wadi Adim – Fenster zum Präkambrium.

Vervollständigt wurden die geologischen Arbeiten durch mikroskopische Untersuchungen und gesteinschemische Analysen zur Bestimmung der Gesteinszusammensetzung, zu ihrer Klassifikation sowie zur Entschlüsselung des geotektonischen Zusammenhangs ihrer Entstehung.

Insgesamt wurden 14 geologische und thematische Karten angefertigt. Die Abbildung unten zeigt einen Ausschnitt aus der geologischen Karte Yafrus in Originalgröße.



Seit 2002 haben sich die Themenschwerpunkte des Projektes auf Umweltgeologie und Grundwasser verlagert. Damit leistet das Projekt einen direkten Beitrag für den jemenitischen Wassersektor, der Schwerpunkt der deutsch-jemenitischen Entwicklungszusammenarbeit ist.

Dementsprechend wurden zunächst für den Großraum Sana'a thematische Karten mit umweltgeologischen Themen erarbeitet und zusammengestellt. Diese Karten haben die folgenden Themen zum Inhalt:

- Historische Entwicklung von Sana'a,
- Geologie und oberflächennahe Rohstoffe der Steine und Erden,
- Hydrogeologische Karte mit potenziellen Recharge-Dämmen,
- Geomorphologie,
- Landnutzung,
- Grundwasserqualität, z. B. Nitratgehalt, elektrische Leitfähigkeit,
- Potenzielle Verschmutzer von Luft, Boden, Oberflächen- und Grundwasser.



Orientierung im Gelände.

Am Anfang stand die Auswertung und Visualisierung von Daten aus bestehenden Berichten im Vordergrund. Diese wurden in Form leicht verständlicher Karten dargestellt. Anschließend wurden eigene Datenerhebungen insbesondere zu potenziellen Verschmutzern von Luft, Boden, Oberflächen- und Grundwasser durchgeführt.

Die so erarbeiteten „Geobasisinformationen“ bilden eine wichtige und bedeutende Grundlage für Informationen und Diskussionen mit Entscheidungsträgern des Ministeriums für Wasser und Umwelt sowie der Stadtverwaltung Sana'a.

2004 wurde das Arbeitsgebiet auf Wunsch der jemenitischen Partner wegen der großen Resonanz auf das gesamte Sana'a-Becken ausgedehnt.



Digitale Kartographie in Sana'a.



Probenahme im Abstrombereich der städtischen Kläranlage Sana'a.

Auf Grund der durchgeführten Untersuchungen des Oberflächen- und Grundwassers im Abstrombereich der städtischen Kläranlage von Sana'a wurden erhebliche Verschmutzungen festgestellt, die auf die unzureichende Leistungsfähigkeit der Kläranlage zurückzuführen sind. Die gründlichen und eingehenden Besprechungen mit den politisch Verantwortlichen bildeten die Grundlage für die sofortige Bereitstellung von finanziellen Mitteln zur umgehenden Erweiterung der Kläranlage Sana'a.

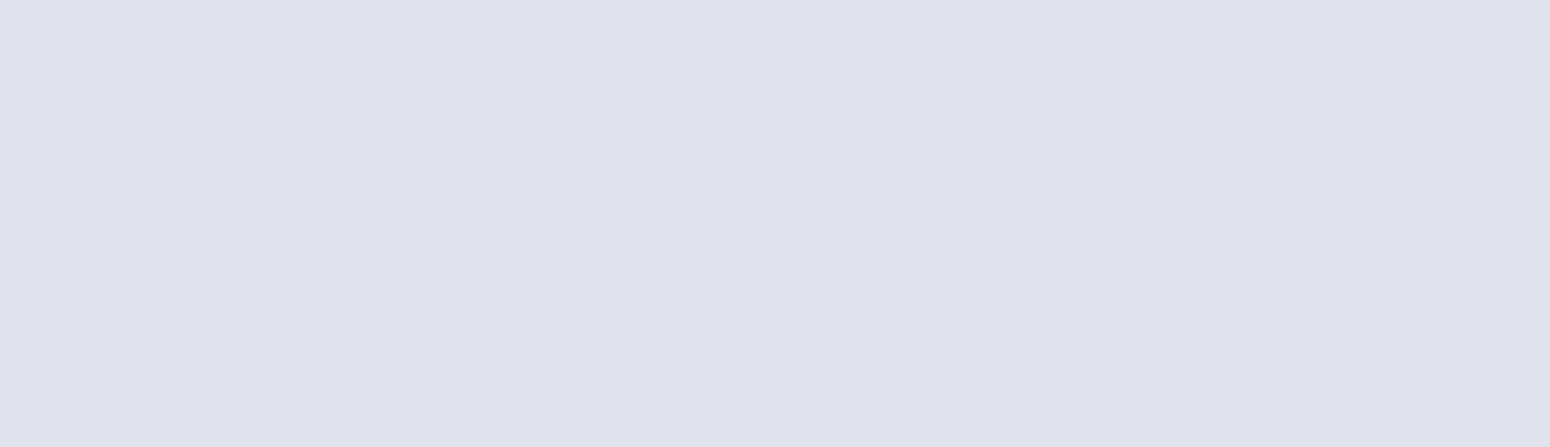
Ein weiteres Ergebnis erbrachte die Studie der im Sana'a-Becken installierten Dämme, die im Wesentlichen der Grundwasserneubildung dienen sollen. Die geologischen Geländearbeiten, die durch geophysikalische Sondierungen ergänzt wurden, zeigten, dass nur ein Teil der Anlagen die Anforderungen an die Grundwasserneubildung erfüllen. Darum werden gegenwärtig Vorschläge zur Verbesserung der Situation vom Projektpartner erarbeitet.

Die durchgeführten Arbeiten belegen eindrücklich, dass insbesondere Maßnahmen zur Qualitätsüberwachung des Oberflächen- und Grundwassers dringend erforderlich sind. Darüber hinaus müssen entsprechende Vorsorgemaßnahmen getroffen werden, um die weitere Verschmutzung der begrenzten Wasserressourcen zu vermeiden.

Ein entscheidender Erfolg des Projektes ist, dass die politischen Entscheidungsträger in den kooperierenden Ministerien sowie Teile des Parlaments erkannt haben, dass umweltgeologische Erkenntnisse für die Stadt- und Regionalplanung von großer Bedeutung sind und diese Ergebnisse bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Eine grundlegende Voraussetzung hierfür war der frühzeitige und kontinuierliche Dialog zwischen Geologen, Regionalplanern und Politikern.

Probenahme von verschmutztem Oberflächenwasser eines Recharge-Dammes.







Energierohstoffe

*nergieroh
rohstoffe*

Energierohstoffe

Energierohstoffe – der Motor der Volkswirtschaft

Unser Alltag ist ohne Energie nicht mehr vorstellbar. Duschen in einem vorgewärmten Badezimmer, heißer Kaffee und ein Brötchen zum Frühstück, die Nachrichten im Radio – alle diese angenehmen Dinge des frühen Morgens sind ohne Energie nicht zu bekommen. Was hier im Kleinen exemplarisch für den individuellen Verbrauch aufgezeigt ist, gilt erst recht für die gesamte Volkswirtschaft. Für industrielle Prozesse, für das Transportwesen und für Dienstleistungen werden jederzeit und in großen Mengen elektrischer Strom sowie Brenn- und Kraftstoffe benötigt.

Welches sind nun die Zutaten für den Energiekuchen?

Der Mix des Primärenergieverbrauchs von Deutschland im Jahre 2003 stützt sich zu mehr als 96 % auf die Energieträger Erdöl, Erdgas, Kohle und Kernbrennstoffe. Alle übrigen Energieträger, wie Wasserkraft, Biomasse, aber auch Wind, Photovoltaik und Geothermie nehmen bisher dementsprechend geringe Anteile ein. Es ist politischer Wille der Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung von derzeit etwa 8 % auf 20 % bis zum Jahre 2020 zu entwickeln. Im Umkehrschluss: Die konventionellen Energieträger werden auch im Jahre 2020 noch 80 % der Stromerzeugung tragen – plus die Bereitstellung als Regelenergie, beispielsweise für die Windkraftanlagen im Fall von Flauten. Diese Abhängigkeit wird sich auch in den nachfolgenden Jahren nur schrittweise verringern lassen.





Deutschland ist zu einem hohen Anteil von Energieimporten abhängig. Dieser Anteil beträgt 100 % bei Uran, 96 % bei Erdöl, 79 % bei Erdgas und auch bereits 63 % bei der Steinkohle. Allein die nur zur Verstromung eingesetzte Braunkohle wird aus heimischen Lagerstätten bezogen.

Welche Rolle spielt nun die BGR in diesem Kontext?

Als nachgeordnete Behörde des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) ist es eine unserer wichtigsten Aufgaben, die Bundesregierung und die Industrie vorausschauend hinsichtlich der Verfügbarkeit von Energierohstoffen zu beraten. Dazu verfolgen wir kontinuierlich die weltweiten Entwicklungen auf dem Energiemarkt. Neben unserer Kernkompetenz auf dem Sektor der geologischen Verfügbarkeit der Energieträger umfassen diese Arbeiten auch die Verfügbarkeit von Förder- und Verarbeitungskapazitäten sowie die Entwicklungen auf dem Transportsektor. Beispielhaft sollen an dieser Stelle die Entwicklungen der so genannten nominalen Preise für die vier wichtigsten Energieträger vorgestellt und kommentiert werden.

In den Medien wird seit Monaten insbesondere über die rasanten Preisentwicklungen beim Erdöl berichtet. Anfang Juli 2004 wurde mit 42 Dollar pro Barrel ein Allzeithoch erreicht, Mitte Oktober wurde in London die 50-Dollar-Marke überschritten. Diese Entwicklung hat ihre Ursache in einer Gemengelage aus der Wirtschaftsentwicklung, dem immens wachsenden Bedarf der Dritten Welt an Energie und auch anderen Rohstoffen, politischen Instabilitäten in den Lieferregionen, Spekulationen, Engpässen bei den Förderkapazitäten, Naturkatastrophen und der Verfügbarkeit von Reserven. Erstaunlicherweise – und bisher wenig registriert – folgen auch die Preise der übrigen Energieträger diesem Trend.

Während man den Gleichklang der Preisentwicklungen in den 1970er Jahren noch ohne weiteres durch die beiden Ölkrisen und eine „Flucht“ in andere Energieträger erklären kann, gilt dieser monokausale Zusammenhang für die augenblickliche Entwicklung sicherlich nicht. Bei der Steinkohle sind beispielsweise Grubenschließungen in Europa, der rapide Zuwachs in der chinesischen Stahlerzeugung sowie Engpässe in den marinen Transportkapazitäten, beim Uran die Schließungen von Bergbaukapazitäten und eine Marktkonzentration auf wenige Anbieter, beim Erdgas die in vielen Ländern gültige Koppelung an den Erdölpreis zu nennen.

Um ihrem Beratungsauftrag kompetent nachkommen zu können, betreibt die BGR mit etwa 40 % ihrer Kapazitäten Forschung. Im sektoralen Aufgabenfeld „Energierohstoffe“ bewegt sich diese Forschung im Vorfeld der industriellen Exploration. Die Aktivitäten spannen einen weiten Bogen – von der Bewertung bisher nicht im Fokus der Industrie befindlicher Regionen (z. B. die Tiefsee, zirkum-arktische Gebiete) und Themen (z. B. Gashydrate) hinsichtlich Vorkommen und Gewinnbarkeit von Kohlenwasserstoffen über eine Geräte- und Methodenentwicklung bis zur Heranführung geothermischer Ressourcen (Wärme und Strom) an eine Marktreife.

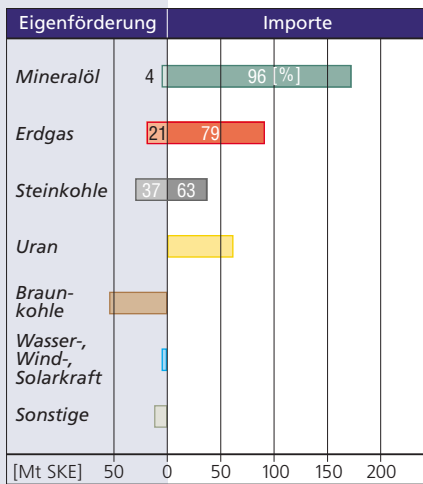
Da der Einsatz fossiler Energieträger immer mit einer Emission von CO₂ verbunden ist, spielt das Thema „Speicherung von CO₂ in geologischen Strukturen des Untergrundes“ eine zunehmend wichtigere Rolle bei den BGR-Aktivitäten. Die Schwerpunkte der Arbeiten liegen in der Bereitstellung planerischer Grundlagen für Staat und Industrie sowie in Forschungsarbeiten über die Speicherung von CO₂ in maturaen Erdgasfeldern und die Entwicklung von gasgeochemischen Monitoringinstrumenten.

Primärenergieverbrauch 2003: 14.334 PJ

Energieträger	Anteil [%]
Mineralöl	36,4
Erdgas	22,5
Steinkohle	13,7
Kernenergie	12,6
Braunkohle	11,4
Wasser- und Windkraft	1,0
sonstige	2,5

Zusammensetzung des deutschen Primärenergieverbrauchs im Jahre 2003.

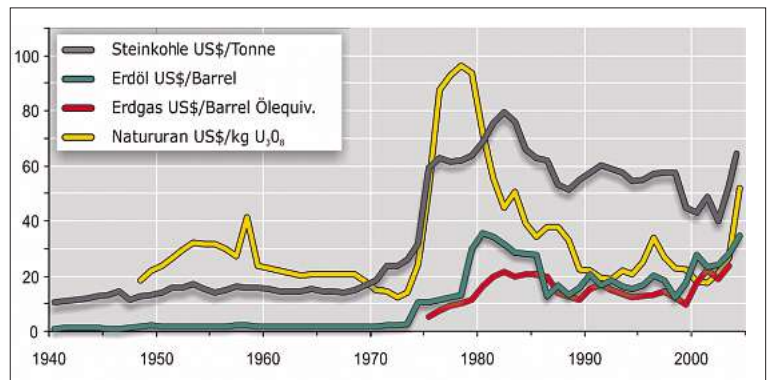
(Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen)



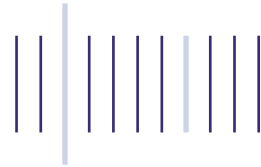
Heimische Produktion und Importe Deutschlands bei den einzelnen Primärenergierohstoffen im Jahre 2003.

Alle Angaben sind in Megatonnen Steinkohleeinheiten umgerechnet. Die Prozentangaben beschreiben die Importabhängigkeit.

Entwicklung der nominalen Preise für Energieträger (Jahresmittelwerte) seit dem Jahr 1940. Die Werte für das Jahr 2004 sind vorläufig.



Magnetotellurische Sondierungen im Norddeutschen Becken – ein Beitrag zur Verbreitung potenzieller Erdgas-Muttergesteine



Der tiefere Untergrund des Norddeutschen Beckens hat in den letzten 15 bis 20 Jahren mit fortschreitender Verlegung der Kohlenwasserstoff-Suche in immer größere Tiefen zunehmend wirtschaftliches Interesse gewonnen. Daraus folgt die Notwendigkeit, die allgemein gültigen Kenntnisse über den geologisch-tektonischen Bau des tieferen Untergrundes ständig zu erweitern und zu versuchen, Gesetzmäßigkeiten des Beckenbildungsprozesses sowie der damit im Zusammenhang stehenden Fragen zur zeitlich-räumlichen Verteilung und Entstehung der Kohlenwasserstoffe besser zu verstehen. Für die Erkundung werden Methoden der Magnetotellurik eingesetzt.

Die in den 1970er und 1980er Jahren von verschiedenen Institutionen durchgeführten magnetotellurischen (MT) Sondierungen erbrachten den überraschenden Nachweis einer gut leitenden Schicht im präsalinaren, präpermischen Untergrund. Die teilweise extrem hohe Leitfähigkeit wurde zunächst auf flüssigkeitsgefüllte Poren und Klüfte zurückgeführt. Dieser Leitungsmechanismus würde aber einen in dieser Tiefe unrealistisch großen Porenraum erfordern. Leitfähigkeitsuntersuchungen an Schwarzschiefern des Unterkarbons der Bohrung Münsterland 1 zeigten, dass als Ursache für die hohe Leitfähigkeit die hochinkohlte und damit quasimetallisch leitende organische Substanz anzusehen ist (elektronischer Leitungsmechanismus).

Gesteinsphysikalische Untersuchungen an Schwarzschiefern weiterer Bohrungen verdeutlichen darüber hinaus, dass neben der organischen Substanz auch die Vernetzung mit Sulfiden für die hohen Leitfähigkeiten verantwortlich ist. Damit wird erklärlich, dass auch in Bereichen relativ niedriger Inkohlung gut leitende Schichten auftreten können. Da Schwarzschiefer bekanntlich als potenzielles Erdgas-Muttergestein angesehen werden, ist ihr Nachweis von wirtschaftlichem Interesse.

Auf diesem Kenntnisstand aufbauend, wurde 1993 durch die BGR eine flächenhafte magnetotellurische Neuvermessung gestartet, die bisher 226 Punkte umfasst. Die Feldmessungen wurden von der Firma METRONIX GmbH (Braunschweig) und dem Institut für Geophysik der Universität Münster durchgeführt. Das Institut ist auch in enger Kooperation mit der BGR an der Interpretation der Daten beteiligt.

Die Ergebnisse der Magnetotellurik zeigen, dass im NW-SE-verlaufenden Depozentrum des Norddeutschen Rotliegend-Beckens (südöstliche Nordsee – westliches Mecklenburg-Vorpommern) gut leitende Schichten aus der Vor-Permzeit fehlen und auf Grund dessen mit der Ausbildung von Erdgas-Muttergesteinen nicht zu rechnen ist, die vor dem Westfal (Karbonzeit) entstanden sind. Damit ist dieses Gebiet für weitere Explorationen auf Tiefengas nicht zu empfehlen.

Während die nördlich des zentralen Rotliegend-Beckens nachgewiesenen gut leitenden Schichten mit den in der Ostseebohrung G 14 aufgeschlossenen kambro-ordovizischen Schwarzschiefern (skandinavische Alaunschiefer) korreliert werden, können die gut leitenden Schichten südlich des Depozentrums mit erbohrten unterkarbonischen Schwarzschiefern der Aufschlüsse Pröttlin 1, Münsterland 1 und Vermold 1 in Beziehung gebracht werden. Letztere sind abhängig vom Reifegrad des organischen Materials als potenzielles Erdgas-Muttergestein anzusehen.

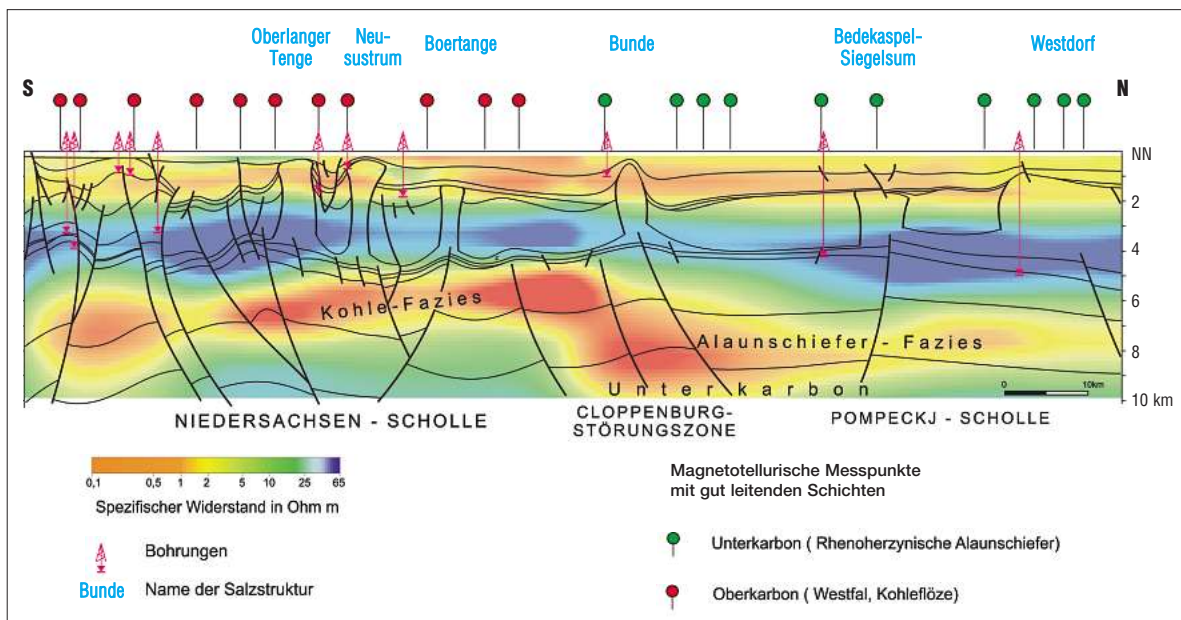
Aktuelle MT-Daten aus dem Glückstadt-Graben (Schleswig-Holstein) belegen im Grabenbereich einen gut leitenden Horizont im Teufenintervall von ca. 8,5 bis 11,0 km. Nach den bisherigen MT-Ergebnissen aus Norddeutschland könnten hier möglicherweise unterkarbonische Schwarzschiefer ausgebildet sein. Sollte dies zutreffen, so ist die Grabenstruktur bereits im Unterkarbon tektonisch aktiv gewesen, damit wesentlich älter als bisher vermutet (Trias oder Rotliegend) und durchaus von wirtschaftlichem Interesse.

In den Rotliegend-Gasfeldern der Emsmündung gelang durch die Verknüpfung magnetotellurischer, paläogeographischer, tektonischer und isotopeochemischer Daten eine genaue Identifizierung der auftretenden Gase. Es konnte erstmalig der Nachweis erbracht werden, dass es sich hier um ein Mischgas

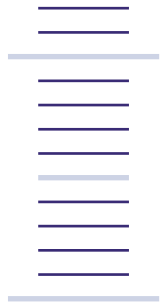
eines höher reifen, trockenen Gases aus einer marinen (sapropelitischen) Substanz des Unterkarbons der rhenoherynischen Alaunschieferfazies, möglicherweise in enger Verzahnung mit der unterkarbonischen Bowland-shale-Fazies Mittelenglands oder deren Äquivalente der südlichen Nordsee und einem geringer reifen Gas aus einem humosen (terrestrischen) organischen Material (Westfal-Kohle) handelt.

Die Einbeziehung der Magnetotellurik in die geologisch-lagerstättenkundliche Interpretation eröffnet somit neue Möglichkeiten sowohl für die geologisch-tektonische Modellierung als auch für die Kohlenwasserstoff-Exploration, speziell für die Erdgas-Höffigkeitsbewertung des tieferen Untergrundes des Norddeutschen Beckens.

Stratigraphische Interpretation des elektrisch gut leitenden präpermischen Horizontes im Gebiet Emsland-Ostfriesland anhand eines geologischen Schnittes.



Gashydrate und freies Gas am Beispiel des Kontinentrandes vor **Nordwest-Borneo, Malaysia**



Als Gashydrat bezeichnet man den festen, kristallinen Zustand aus Wassermolekülen und natürlichen Gasen wie Stickstoff, Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid oder verschiedenen Kohlenwasserstoffen, vor allem Methan.

Bei den Gashydraten bilden die Wassermoleküle ein kristallartiges Gitter, in deren Hohlraum die Gasmoleküle eingeschlossen werden. Für die Entstehung der Gashydrate sind bestimmte Druck- und Temperaturbedingungen und die Anwesenheit ausreichender Mengen an Gas erforderlich. Diese Voraussetzungen werden in Permafrostgebieten, in den Schelfbereichen der aktiven und passiven Kontinentränder und in den Sedimenten von tiefen Inlandseen und -meeren erfüllt.

In marinen reflexionsseismischen Profilen wird die Basis der Gashydrate in vielen Fällen durch den so genannten „Bottom Simulating Reflector“ (BSR) gekennzeichnet. Der BSR zeigt die Untergrenze der Stabilitätszone der Gashydrate in den Sedimenten an. Das bedeutet, dass die Sedimente oberhalb des BSR Gashydrate enthalten und unterhalb des BSR freies Gas vorhanden ist. Namen gebend für den BSR ist sein annähernd paralleler Verlauf zum Meeresboden. Da der BSR den Druck- und Temperaturbedingungen folgt, kann er gegebenenfalls auch Schichtgrenzen kreuzen und ist dann gut in reflexionsseismischen Sektionen zu erkennen.

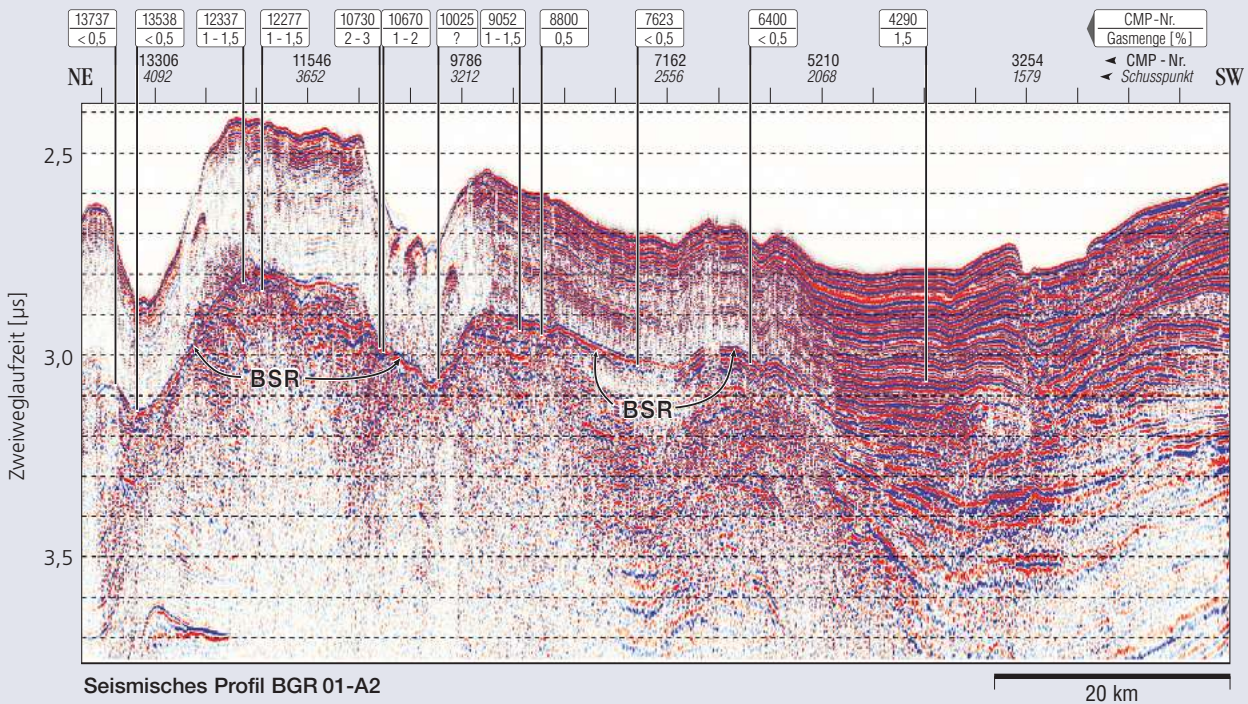
Gashydrate haben in letzter Zeit ein großes allgemeines Interesse gefunden, da sie einerseits potenziell als Energiequelle der Zukunft in Betracht kommen könnten und andererseits als Georisikofaktor gelten. Die Gefährdung durch Gashydrate beruht darauf, dass durch Änderungen der Druck- und Temperaturbedingungen große Mengen des Treibhausgases Methan freigesetzt werden können und so der Treibhauseffekt verstärkt werden würde. Ferner kann die mit der Destabilisierung der Gashydrate verbundene Verringerung der Zementation der Sedimente zu Hangrutschungen im Meer und damit zu verheerenden Flutwellen (Tsunamis) führen.

Dies zeigt die Notwendigkeit einer vertieften Untersuchung der Gashydrate.



Brennendes Eis: Unter geeigneten Druck- und Temperaturbedingungen können Gase mit Wasser so genannte Gashydrate bilden.

Mit dem Forschungsschiff SONNE wurden Gashydrate vor der Westküste Nordamerikas geborgen. Bevor sie zerfielen, lagen sie als weiße Brocken im Tiefseeschlamm vor und ließen sich anzünden.



Seismisches Profil BGR 01-A2

20 km

Das seismische Profil BGR01-A2 aufgenommen am Kontinentrand von Nordwest-Borneo: Der BSR ist hier in einem Bereich 250 ms bis 300 ms (Zweiweglaufzeit) unter dem Meeresboden zu beobachten. Die Amplitude des BSRs ändert sich lateral, was in direktem Zusammenhang mit der Menge des freien Gases unterhalb des BSR steht. Die Menge des freien Gases variiert zwischen 0,5 und 3 %.

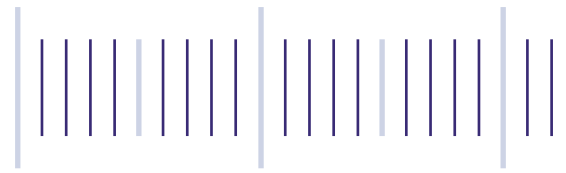
Eine wesentliche Voraussetzung für die Einschätzung der Gashydrate als mögliche Energieressource für die Zukunft sowie als Klimafaktor ist die Abschätzung der in den Gashydraten und den unterliegenden Sedimenten gebundenen Menge an Methan.

Eine aus der Kohlenwasserstoffsuche bekannte Methode (einfallswinkelabhängige Amplitudenvariationen der seismischen Signale) wurde zur Abschätzung der Menge an freiem Gas herangezogen, auf den Spezialfall der Gashydrate angepasst und auf die Daten des Kontinentrandes von Nordwest-Borneo angewandt. Dabei war besonders interessant herauszufinden, ob dieses für Kohlenwasserstoffe viel versprechende Gebiet erhöhte Mengen an Gas anzeigt.

Es stellte sich heraus, dass die Gashydratzone und die darunter befindlichen Gasmengen nur einen geringen Anteil des gesamten Sedimentporenraumes ausmachen. Dabei nehmen die Gashydrate nur etwa fünf Prozent des Sedimentvolumens ein und die Menge an freiem Gas unter den Gashydraten liegt im Bereich zwischen einem und vier Prozent.

Wie lange **reicht** das **Erdöl** noch?

Eine falsch formulierte Frage für ein offensichtliches Problem



Erdöl deckt zu ca. 37 % den weltweiten Primärenergieverbrauch – es ist damit der dominante Energieträger. Der Rohstoff bzw. die daraus hergestellten Produkte werden zum überwiegenden Teil für den Transportsektor verwendet, nachgeordnet zur Erzeugung von Raumwärme sowie als Rohstoff für die chemische Industrie. Ausgelöst durch die rasanten Preisentwicklungen auf dem Rohölmarkt und deren Auswirkungen auf den Benzinpreis an der Tankstelle werden wir alle zwangsläufig mit der Frage nach der weiteren Verfügbarkeit von Erdöl konfrontiert.

Viele Fachleute orientieren sich bei der Frage nach der Verfügbarkeit von Erdöl an den bekannten Reserven R und am Verbrauch V . Aus diesen beiden Kenngrößen leitet sich die so genannte statische Reichweite $L = R/V$ ab, wie der Name schon sagt, eine statische Betrachtung. Reserven und Verbrauch sind jedoch keine unveränderlichen Größen, sondern passen sich kontinuierlich den jeweiligen Gegebenheiten an.

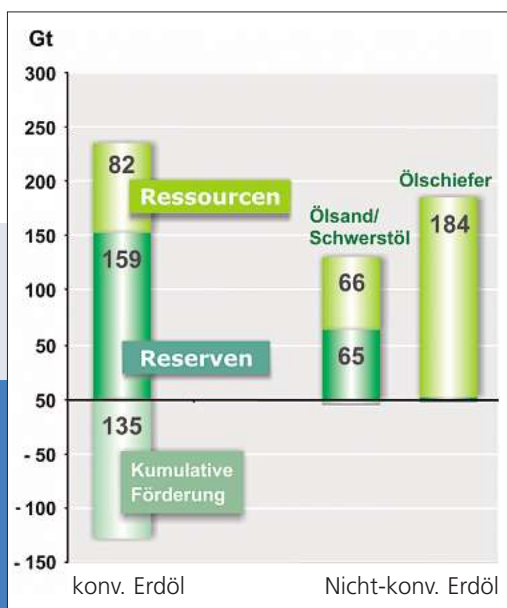
Dass die weltweite Nachfrage nach Erdöl einer Dynamik unterworfen ist, lässt sich leicht nachvollziehen. Hier greifen beispielsweise Faktoren wie die Veränderung in der Wirtschaftsentwicklung, Veränderungen in der Motorisierung und Mobilität, Preisänderungen an der Tankstelle, mittelbar auch klimatische Veränderungen in die Entwicklung ein.

Wie verhält es sich aber mit den Reserven?

Als Reserven gelten die Mengen, die mit heute vorhandener Technologie wirtschaftlich gewonnen werden können – im Gegensatz dazu stehen die Ressourcen, die zurzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar bzw. aufgrund geologischer Befunde vermutet, aber noch nicht nachgewiesen sind. Anhand dieser Definition verdeutlicht sich der dynamische Charakter von Reserven, da Innovation sozusagen täglich stattfindet und infolge der tendenziell steigenden Ölpreise auch vermehrt Ressourcen in Reserven überführt werden.

Wie werden Reserven berechnet?

Ehrlicherweise müsste man eher von einer Reservenabschätzung reden, denn die damit betrauten Experten in der Erdölindustrie müssen bereits vor der ersten Bohrung – auf Basis seismischer Untersuchungen und eigener Erfahrungen – Annahmen über die räumliche Ausdehnung einer Lagerstätte, ihre Porosität und Permeabilität, die Sättigung des Porenraumes mit Erdöl, den Befüllungsgrad der Lagerstätte und auch den Ausbeutefaktor fixieren. Daraus resultieren – leicht nachvollziehbar – bereits von Anfang an gewisse Unsicherheiten bei den Reservenbestimmungen.



Kumulierte Produktion, Reserven und Ressourcen von Erdöl (Stand Ende 2003).

Die nicht-konventionellen Erdöle – Schweröle, Bitumen aus Ölsanden und Ölschiefer – sind separat ausgehalten.

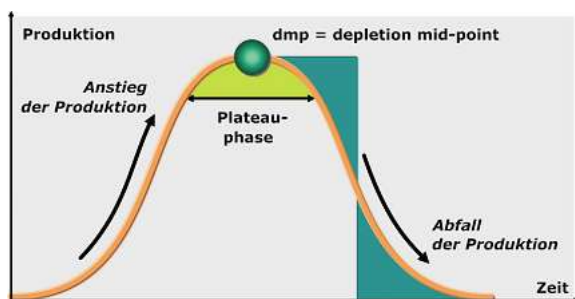
Angesichts der Tatsache, dass sich die so genannte statische Reichweite in den letzten 15 Jahren kaum verändert hat – der Wert hält sich stabil im Bereich zwischen 40 und 50 Jahren – wird suggeriert, dass die Erdölindustrie jederzeit in der Lage ist, den anfallenden Verbrauch durch weitere Reserven aufzufüllen. Unstrittig ist jedoch, dass seit den 1980er Jahren weltweit mehr Öl pro Jahr verbraucht wird als neu hinzu gefunden wird. Die dennoch jährlich berichteten Reservenzuwächse sind zum großen Teil auf innovationsbedingte bessere Ausbeutefaktoren bzw. Neubewertungen bekannter Lagerstätten zurückzuführen.

Die Kernfrage lautet also nicht: Wie lange haben wir noch Erdöl zur Verfügung? Sondern: Wie lange haben wir noch Erdöl in ausreichender Menge zur Verfügung?

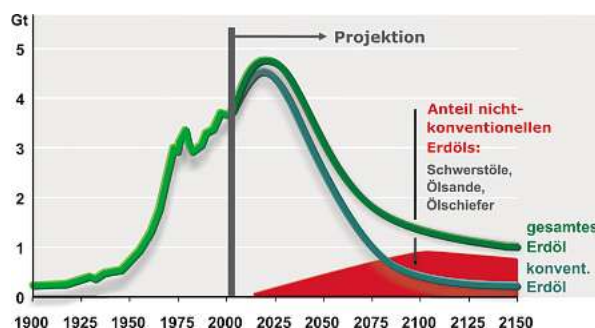
Die Antwort auf diese Frage lässt sich prinzipiell anhand einer so genannten Lebenszyklusurve veranschaulichen. Diese Glockenkurve verdeutlicht auf ideale Weise die Produktion bzw. den Verbrauch von Erdöl – sei es für eine einzelne Lagerstätte, für die Gesamtheit aller Lagerstätten in einem Sedimentbecken, oder aber für eine weltweite Betrachtung. Die Fläche unter der Kurve repräsentiert die verfügbare Menge, der Kurvenverlauf das Gewinnungs- bzw. Verbrauchsprofil über die Zeit. Im Idealfall fällt die maximale Förderung

(„peak production“) mit der 50-prozentigen Rohstofferschöpfung zusammen, dem so genannten „depletion mid-point“. Ab diesem Zeitpunkt fällt die Förderung unwiederbringlich ab. Allein die Steilheit des abfallenden Astes der Glockenkurve kann durch verbesserte Gewinnungsmethoden – auch von nichtkonventionellen Erdölen – und durch Überführung von Ressourcen in Reserven abgefangen werden.

Nun ist es plausibel anzunehmen, dass nach dem Durchlaufen des „peak production“ Nachfrage und Angebot nicht mehr zur Deckung kommen. Entsprechend der verfügbaren Daten in der BGR erwarten wir diesen Zeitpunkt in den nächsten zwei Dekaden. Dieser Zeitpunkt ist bedauerlicherweise – insbesondere wegen der Intransparenz beim Erdölpotenzial der wichtigen OPEC-Golfstaaten (Saudi Arabien, Iran, Irak, Vereinigte Arabische Emirate, Kuwait, Katar) – nicht exakter zu fassen. Darüber hinaus bezweifeln wir, dass der von der EIA (2004) für das Jahr 2025 projizierte Erdölbedarf von deutlich über 5,5 Gt angebotsseitig abzudecken ist.



Eine Glockenkurve wurde erstmals von M. K. HUBBERT im Jahr 1956 für die Modellierung der US-Erdölproduktion verwendet.



Die weltweite Erdölförderung zwischen 1900 und 2150: Rückblende und Versuch eines Ausblicks.

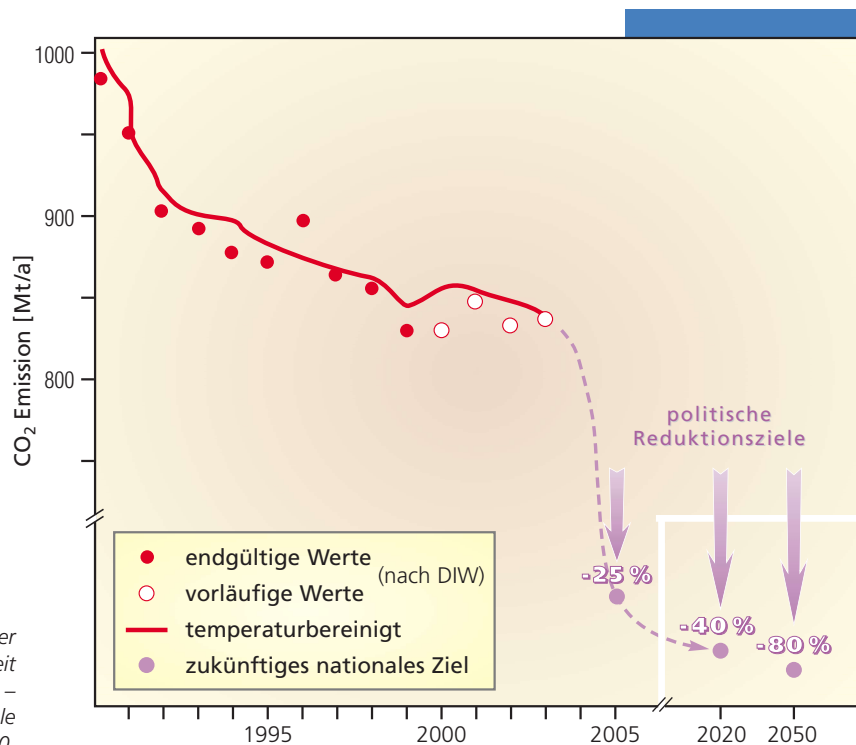
Zurück in den Untergrund

– ein Beitrag zur **Reduktion** von **CO₂-Emissionen**



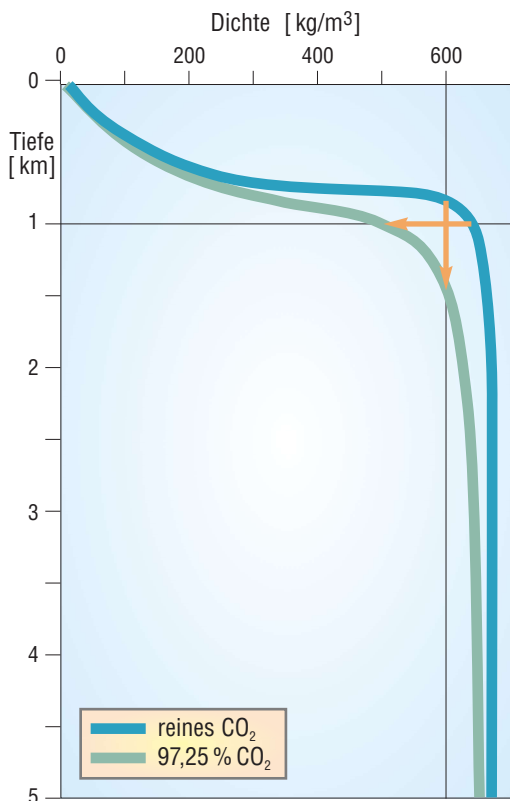
Deutschland hat sich im Kyoto-Protokoll verpflichtet, bis 2008/12 seine Klimagas-Emissionen um 21 % gegenüber dem Jahr 1990 zu reduzieren. Dieses Ziel wird sicherlich erreicht werden – die Reduktionsziele von 25 % für CO₂ (bis 2005) bzw. 40 % (2020) und 80 % aller Klimagase (2050) sind dagegen weitaus ambitionierter. Auf dem Wege dahin könnte die unterirdische CO₂-Speicherung eine Brückentechnologie sein.

Um auf diese Weise einen signifikanten Beitrag zur Reduktion der Emissionen zu leisten, muss das CO₂ an den großen stationären Quellen (Kraftwerke, Raffinerien, Stahlwerke) aus dem Verbrennungsgas abgetrennt und für den Transport komprimiert werden. Nur die an diesen Stellen erfassbaren großen Mengen CO₂ pro Zeiteinheit können wirtschaftlich gespeichert werden.



Bisher erreichte Minderung der CO₂-Emissionen in Deutschland seit dem Jahr 1990 (nach ZIESING 2004) – und Darstellung der Reduktionsziele bis zum Jahr 2050.

Als Senken sind in Deutschland an erster Stelle ausgeförderte Erdgasfelder sowie tief liegende, salzwassergefüllte Aquifere geeignet. Die Speicherung in Kohleflözen (mit gleichzeitiger Flözgasförderung) funktioniert wahrscheinlich nicht in ökonomisch interessanten Größenordnungen. Deutsche Erdölfelder sind in der Regel zu klein bzw. gestört oder unter zu geringer Überdeckung, um als Speicher in Betracht zu kommen. Von den infrage kommenden Feldern ist in erster Linie das Ölfeld Mittelplate geeignet – es befindet sich jedoch erst in etwa zehn Jahren im passenden Förderstadium. Salzbergwerke besitzen nur eine geringe Speicherkapazität und sollten eher zur Deponierung anderer „Abfälle“ genutzt werden. Kohlebergwerke besitzen zahlreiche natürliche und bergmännisch erzeugte Verbindungen zur Erdoberfläche und sind daher als sichere Speicher ungeeignet.



Dichte/Teufen-Darstellung für reines bzw. mit 2,75 % Sauerstoff und Argon kontaminiertes CO₂.



Dieser Steinbruch zeigt die typische Ausbildung von Buntsandstein – einem potenziellen Aquifer für die Speicherung von CO₂.

Die Eigenschaften von CO₂ im Untergrund

Im Untergrund kann CO₂ nur einen flüssigen oder gasförmigen Zustand einnehmen. Der kritische Punkt von Kohlendioxid liegt bei einem Druck von 7,38 MPa und einer Temperatur von 31 °C. Auf Grundlage hydrostatischer Druckgradienten (10 MPa/km) und eines geothermischen Gradienten von 30 °K/km lassen sich exemplarisch die Dichteänderungen von CO₂ mit der Tiefe berechnen. Unter diesen Bedingungen ist CO₂ in Tiefen von weniger als etwa 600 m gasförmig und besitzt nur eine geringe Dichte. Beim Erreichen des kritischen Punktes in etwa 700 bis 800 m Tiefe verursachen geringe Druck- oder Temperaturänderungen starke Variationen der CO₂-Dichte. Unterhalb von etwa 1000 m ist das CO₂ nur noch wenig kompressibel – eine überkritische Flüssigkeit, dessen Dichte sich mit zunehmender Tiefe nur noch geringfügig ändert. Die hier geschilderten Verhältnisse gelten jedoch nur für reines CO₂. Sobald dem Gas Fremdstoffe – beispielsweise Sauerstoff und Argon aus einer „Oxyfuel-Verbrennung“ – zugemischt sind, verändert sich die Dichte hin zu geringeren Werten.

CO₂-Speicherung in Erdgasfeldern

Leer geförderte bzw. nahezu ausgeförderte Erdgasfelder sind ausgesprochen interessante Standorte für die Speicherung von CO₂, weil sie über geologische Zeiten – also Millionen von Jahren – ihre Dichtigkeit behalten haben. Anhand ihrer Entstehungsgeschichten ist nachgewiesen, dass die meisten Erdgasfelder in Norddeutschland vor etwa 80 – 90 Millionen Jahren mit dem heutigen Inhalt befüllt wurden und diesen seitdem speichern. Zudem weiß man aus der Fördergeschichte, wie sich die Reservoirs über die Zeit entleert haben. Dieses Wissen könnte zukünftig auch bei einer Nachnutzung als CO₂-Speicher von großem Wert sein. Mit den Bohrplätzen, den Bohrungen und deren Anbindung an ein Pipeline-Netz existiert bereits eine Infrastruktur, die partiell oder durch Anpassungen auch für die neue Nutzung zu verwenden wäre.

Darüber hinaus gibt es einen weiteren Aspekt, der insbesondere die Wirtschaftlichkeit dieser Nachnutzung von Erdgasfeldern unterstützt: Bei der konventionellen Gewinnung von Erdgas werden etwa 75 bis 80 % einer Lagerstätte ausgebeutet. Wenn es gelänge, durch den rechtzeitigen Beginn der Injektion von CO₂ in ein nahezu leer gefördertes Erdgasfeld die Ausbeute durch Verdrängung zu erhöhen, könnte auf diese Weise ein Teil der Kosten für die CO₂-Speicherung aufgefangen werden.

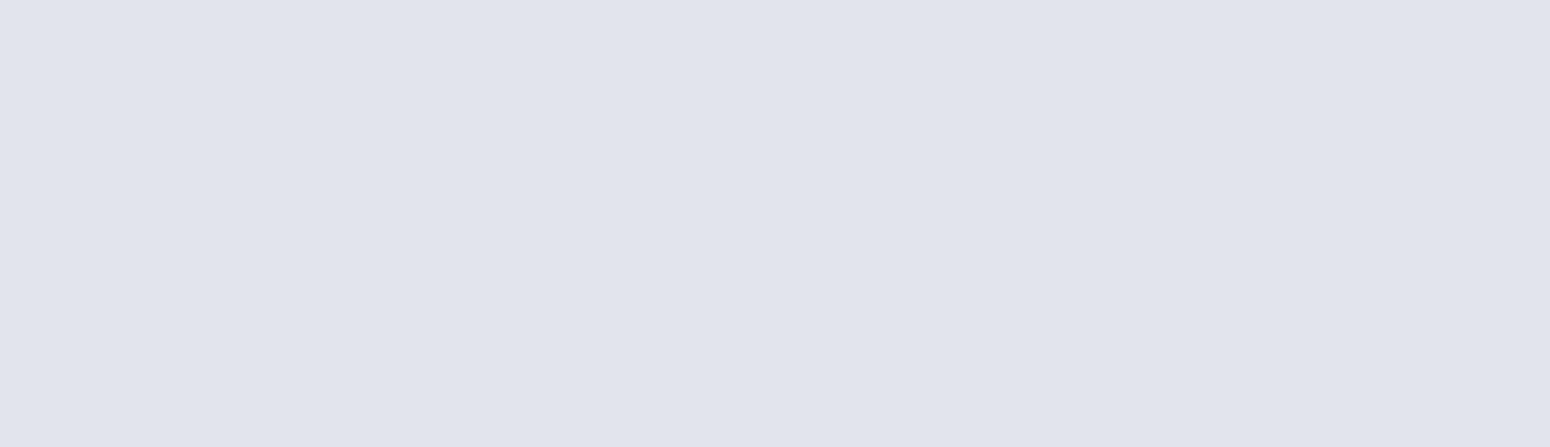
Nur in Norddeutschland gibt es Erdgasfelder mit aus ökonomischen Gründen geforderten Speicherpotenzialen von mindestens 10 Mt CO₂. Die fünf größten deutschen Lagerstätten – Salzwedel-Peckensen, Hengstlage, Siedenburg-Staffhorst, Goldenstedt-Visbeck, Rotenburg-Taaken – haben geschätzte Speicherpotenziale zwischen 572 und 110 Mt. Mithilfe einer numerischen Simulation, die die BGR zusammen mit dem Lawrence Berkeley National Laboratory in Kalifornien durchführte, wurde die Ausbreitung von CO₂ in einem Erdgasfeld (Salzwedel-Peckensen) untersucht: Je nach angenommenen Permeabilitäten der Speicherschichten ist zwischen drei und zehn Jahren mit dem Durchbruch von CO₂ zu einer bis dahin weiter zur Erdgasförderung verwendeten Bohrung zu rechnen. Das bedeutet: Eine Injektion von CO₂ in ein nahezu leer gefördertes Erdgasfeld kann die Lebensdauer einer Lagerstätte verlängern, unter gleichzeitiger Erhöhung der Ausbeute.

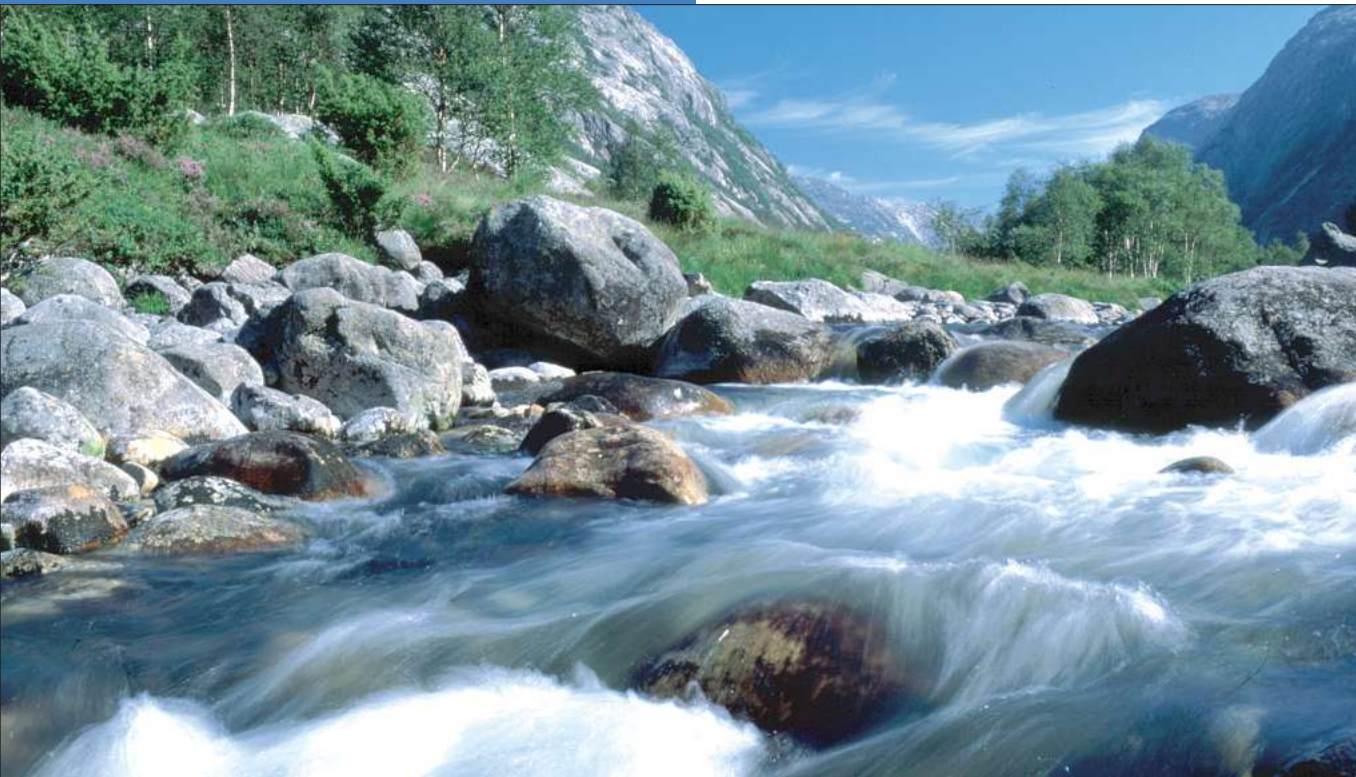
CO₂-Speicherung in tief liegenden, hoch salinaren Aquiferen

Unterhalb der geforderten Mindesttiefe von 800 bis 1000 m sind in den Sedimentbecken in vielen geologischen Formationen Aquifere weit verbreitet, die mit hoch salinaren Wässern gefüllt sind. Aufgrund der Qualität des Poreninhaltes sowie der großen Tiefe kommen diese Gesteinspakete für eine zukünftige Trinkwassergewinnung nicht in Betracht. Das potenzielle Aufnahmevermögen von CO₂ wird als etwa zehnfach höher gegenüber dem von Erdgasfeldern eingeschätzt.

Es gibt jedoch Einschränkungen. Detailinformationen über die laterale Verbreitung, die Mächtigkeit, Porosität und Permeabilität der Speichergesteine beruhen auf vergleichsweise wenigen Bohrungen. Die Gesteinsausbildung kann auf geringen Entfernungen wechseln, die Geometrie der strukturellen Fallen und deren Überlaufpunkte sind oft nicht hinreichend bekannt. Der Viskositätsunterschied zwischen CO₂ und dem Formationswasser sowie die Heterogenität der Speicherausbildung kann zu bevorzugten Strömungspfaden für das injizierte CO₂ führen. Dieses „Auffingern der Injektionsfront“ reduziert einerseits die Speicherkapazität, fördert auf der anderen Seite jedoch die Löslichkeit des CO₂ im Formationswasser. Durch ein gezieltes Reservoirmanagement – zum Beispiel den Einsatz mehrerer Injektionsbohrungen – kann die Ausbreitung des CO₂ im Speicher (Flutungseffizienz) optimiert werden.

Abgesehen von vielen Detailfragen gilt: Im Vergleich mit den besser bekannten Erdgasfeldern hat die CO₂-Speicherung in einem Aquifer den Vorteil, dass man nicht auf die Beendigung einer Erdgasproduktion warten müsste.





Wasser

Wasser
Wasser

Wasser



Wasser – der am weitesten verbreitete Rohstoff und Lebensmittel Nummer 1

Grundwasser ist der am weitesten verbreitete und meist genutzte Rohstoff, zugleich einmaliges, nicht ersetzbares Lebensmittel. Ohne Wasser könnten weder Menschen noch Tiere oder Pflanzen lange überleben. Besonders in den Trockenzonen der Erde ist es von unschätzbarem Wert. Die Bedeutung der Grundwasserressourcen als qualitativ hochwertige und sichere Grundlage der Wasserversorgung wird in Zukunft erheblich wachsen, so dass eine vernünftige, nachhaltige Nutzung des Grundwassers unverzichtbar ist.

Grundwasser ist die Basis für nachhaltige Entwicklung und erweist sich zunehmend als ein wichtiges Wirtschaftsgut. Mehrere internationale Konferenzen (Dublin 1992, Rio de Janeiro 1992, Bonn 2001, Johannesburg 2002, Kyoto 2003) behandelten die Forderung nach einem schonenden Umgang mit den Wasserressourcen und verständigten sich über Grundsätze für ein nachhaltiges Wassermanagement.

In der Sorge um die Ressource Wasser haben die Vereinten Nationen das Jahr 2003 zum Internationalen Jahr des Süßwassers erklärt.

In seiner flüssigen Form ist Wasser für den Menschen das wichtigste Lebensmittel und gleichzeitig die Grundlage von Hygiene und Gesundheitsvorsorge, es ist Energieträger und Produktionsfaktor in Landwirtschaft, Industrie und Bergbau. Sein Wert als wichtigstes Schutzgut in der Umwelt wird vor allem dort deutlich, wo es nicht in genügender Menge oder Qualität zur Verfügung steht. Das Grundwasser bildet den unterirdischen unsichtbaren Teil des natürlichen Wasserkreislaufs, in dem Niederschlag, Verdunstung und Abfluss an oder unter der Erdoberfläche die wichtigsten Komponenten darstellen. Das Grundwasser bildet einen zusammenhängenden Wasserkörper über wasserundurchlässigen Schichten und folgt der Schwerkraft. Es wird durch versickernde Niederschläge (unterirdischer Abfluss, Sickerwasser) gebildet und fließt einem Oberflächengewässer (Vorfluter) zu oder tritt als Quelle oberirdisch aus.





In Abhängigkeit von den Niederschlägen und den Vorflutverhältnissen (z. B. Hochwasser) unterliegt die Grundwasseroberfläche natürlichen Schwankungen. Das Grundwasser stellt das ideale Trinkwasser dar. Normalerweise ist es hygienisch einwandfrei, geschmacklos, frisch, klar und kühl. Naturbelassenes Grundwasser enthält keine pathogenen Keime oder Schadstoffe, so dass es bevorzugt der Trinkwasserversorgung dient.

Bis vor wenigen Jahren galt Wasser als unerschöpfliche natürliche Ressource.

Auf der Erde gibt es Wasser im Überfluss, denn gut 70 % der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Der größte Teil ist jedoch salzig, nur 2,5 % der globalen Wasserressourcen sind Süßwasser – etwa 35 Millionen km³, das 700 000-fache des Bodensees. Doch auch diese Süßwassermenge ist nicht uneingeschränkt verfügbar. Rund 69 % sind in Eis und Schnee, vor allem in der Antarktis und Grönland, gebunden. Nur etwa 0,3 % findet sich als Ober-

flächenwasser in Flüssen und Seen und wird meist intensiv genutzt bzw. sogar übernutzt. Gut 30% der Süßwasservorkommen der Erde sind im Grundwasser gespeichert, d. h. hier verbirgt sich die wohl bedeutendste nutzbare Wasserreserve der Zukunft.

Wasser ist zwar auf der Erde insgesamt in ausreichender Menge verfügbar, es ist aber unterschiedlich auf die Klimagebiete verteilt.

Pflanzen und Tiere der natürlichen Lebensgemeinschaften sind an die jeweiligen Lebensumstände angepasst, so dass hier nur außergewöhnliche Ereignisse wie Nässe oder Dürre Probleme bereiten. Erst durch die Bedürfnisse des Menschen entsteht Wasserknappheit. Die vielfältige Nutzung der Umwelt durch den Menschen kann zur Verschmutzung wertvoller Wasserressourcen führen, die nur durch technische Maßnahmen vermindert, verhindert oder behoben werden kann. Aufgrund des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums steigt die Nachfrage nach Wasser, z. B. als Trinkwasser oder für die landwirtschaftliche Bewässerung. Gleichzeitig nehmen die weltweit verfügbaren Wasserressourcen durch Übernutzung oder Verschmutzung ab. Das Bevölkerungswachstum in Gebieten der Erde, in denen die Wasserressourcen ohnehin gering sind, wird darüber hinaus zu Verteilungskonflikten führen.

Durch Konzepte, die auf eine nachhaltige Nutzung des verfügbaren Wassers abzielen, können Probleme und Konflikte erkannt und gemildert werden. Die Schere zwischen Nachfrage (Bedarf) und Angebot (Dargebot) öffnet sich zusehends. Echte Knappheit besteht in solchen Ländern, die auf die innerhalb ihrer eigenen kleinen Grundfläche sich erneuernden Ressourcen angewiesen sind, wie z. B. Singapur oder Malta. In solchen Ländern mit kleinem spezifischem Dargebot und großem Bedarf ist der Nutzungsgrad entsprechend hoch. Das bedeutet einen hohen Aufwand an wasserwirtschaftlichen Maßnahmen für Speicherung, Reinigung und Wiederverwendung. Manche dieser Länder können alternative Ressourcen nutzen: grenzüberschreitendes Flusswasser wie in Ägypten (Nil) oder gespeichertes Grundwasser wie im Fall von Libyen. Die Länder am Arabischen Golf mit sehr kleinen Süßwasserressourcen, die aber über billige Energie verfügen, können große Wassermengen guter Qualität mit Hilfe der Meerwasserentsalzung erzeugen. Insgesamt ist also der Versorgungsgrad an Trinkwasser weniger Abbild des regionalen Wasserdargebotes, als des Entwicklungsstandes und der finanziellen Mittel der Länder. In der Diskussion über die zukünftige Wasserknappheit, insbesondere



im Hinblick auf die Versorgung mit Trinkwasser, wird deshalb zu Unrecht eine starke Abhängigkeit von der Bevölkerungszahl eines Landes und seiner Wasserressourcen gesehen: Eine ungenügende Versorgung mit gesundem Trinkwasser ist häufig nicht ein Problem ungenügender Wasserressourcen, sondern ein Problem der Armut.

Aufteilung der Süßwasserressourcen der Erde nach UNESCO 2003.

Die Süßwasserressourcen der Erde	
Wasser in Form von	Anteil [%]
Eis und Schnee	68,7
süßes Grundwasser	30,1
Permafrost	0,86
Seen	0,26
Feuchtgebiete	0,03
Flüsse	0,006

Um die wertvollen Grundwasserressourcen zu schützen und zu erhalten, müssen sie erkundet, bewertet, beurteilt und ständig überwacht werden. Es gilt, Verunreinigungen des Grundwassers schon von vornherein zu vermeiden und die Ressourcen in ihrer natürlichen Beschaffenheit langfristig zu erhalten. Vorbeugender Grundwasserschutz ist deshalb eine wichtige Aufgabe der Wasserwirtschaft. Die seit 2000 gültige Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRRL) dehnt z. B. den Wässerschutz auf alle Gewässer europaweit aus und legt klare Ziele fest, um zu gewährleisten, dass bis zum Jahr 2015 ein „guter Gewässerzustand“ für alle europäischen Gewässer erreicht wird und eine nachhaltige Wassernutzung gewährleistet ist.

Wer einmal die großen Einzugsgebiete von Flüssen wie die der Donau und des Rheins besucht hat, weiß, dass Wasser nicht an Grenzen Halt macht. Aus diesem Grund sollte Wasser vorzugsweise im Rahmen internationaler Kooperation bewirtschaftet werden. Die Art und Weise der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie ist einzigartig. Sie stützt sich auf die Beteiligung aller Betroffenen. Sie bietet der Europäischen Kommission, den Mitgliedsstaaten, den beitragswilligen Ländern und allen interessierten Kreisen die noch nie da gewesene Gelegenheit zu einer neuen Partnerschaft zur Lenkung des Prozesses und zur Gewährleistung einer effektiven und kohärenten Umsetzung.

Weltweit wird im Jahresmittel mit einer Wassermenge von etwa 43 000 km³ als erneuerbares globales Wasserdargebot gerechnet.

Dies entspricht etwa der Hälfte des Süßwassers aller natürlichen Seen oder dem Zehnfachen aller Stauseen. Rein rechnerisch stünden also jährlich für jeden Erdenbürger über 7000 m³ erneuerbares Wasser zur Verfügung. Dennoch herrscht in vielen Regionen der Welt Wassermangel. Global lässt sich die Wasserentnahme folgenden Sektoren zuordnen: Landwirtschaft 70 %, Industrie 20 %, Haushalte 10 %. Diese Verteilung variiert je nach Region und Entwicklungsstand: In Europa und Nordamerika dominiert der industrielle Wasserverbrauch, während in Asien und Afrika die Bewässerungslandwirtschaft den größten Teil der Wasserressourcen beansprucht.

In Haushalten wurden bereits erhebliche Anstrengungen unternommen, den Wasserverbrauch zu reduzieren. Dagegen sind mögliche Einsparungspotenziale in der landwirtschaftlichen Bewässerungstechnik noch längst nicht erreicht. Besondere Sorge bereitet der zunehmende Einsatz von kaum erneuerbarem Grundwasser für die Bewässerung marginaler Standorte in ariden Zonen. In vielen semi-ariden und ariden Gebieten beträgt die Nutzung von Grundwasser für Bewässerungszwecke heute bereits 30 % mit steigender Tendenz. Dabei handelt es sich auch um vor Jahr-



tausenden gebildete (fossile) Grundwasserreserven. In manchen Trockengebieten der Welt lagern in tiefen Grundwasserbecken örtlich sehr große Grundwasservorkommen mit hervorragender Trinkwasserqualität. Sie erneuern sich heutzutage nur unwesentlich. Einmal abgebaut, sind sie für den Menschen verloren.

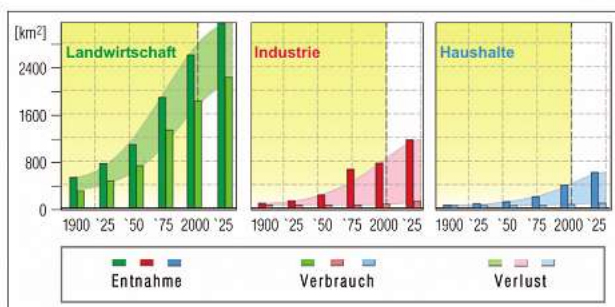
Der gegenwärtige Umgang mit Wasser verschärft die Wassermangelsituation in vielen Trockengebieten der Erde.

Während in den letzten zehn Jahren in Deutschland der tägliche Wasserverbrauch pro Kopf von 130 l auf weniger als 120 l sank, beträgt er in den USA und vielen Ländern der Golfregion das Doppelte bis Vierfache. Zahlreiche wasserarme Länder subventionieren das Wasserangebot. Der Einsatz der wertvollen fossilen Grundwasservorräte zur unwirtschaftlichen Produktion von Nahrungsmitteln in niederschlagsarmen Regionen sollte unbedingt reduziert werden. Stattdessen kann die Wiederverwendung aufbereiteten Abwassers ein Teil der Problemlösung sein.

In der Bundesrepublik Deutschland wird der Wasserbedarf durch Entnahme von „echtem“ und „angereichertem“ Grundwasser aus Brunnen und Quellen sowie von Wasser aus Seen, Flüssen und Talsperren gedeckt. Träger der Wasserförderung und Versorgungsanlagen sind neben den öffentlichen Wasserwerken die Industrie und die Landwirtschaft. Neben der Eigenförderung decken viele Industriebetriebe ihren Bedarf oder Teile ihres Bedarfes durch Fremdbezug aus der öffentlichen Wasserversorgung. Die gespeicherte Grundwassermenge ist im Allgemeinen größer als die in Seen und Talsperren gespeicherten Mengen an oberirdischem Wasser. Daher werden die Grundwasservorräte durch kurze Trockenzeiten nicht ernstlich beeinträchtigt. In Anbetracht der zahlreichen und steigenden Anforderungen an unsere Wasserressourcen ist es unerlässlich, durch effektive Rechtsmittel dazu beizutragen, dass die Ressourcen für zukünftige Generationen gesichert werden.

Die Bedeutung von Wasser für das Leben und als Bestandteil des globalen Ökosystems wird immer offensichtlicher. Es ist eine Ressource, die nicht nur die Grundbedürfnisse der Menschen befriedigt und die Grundlage für deren Entwicklung bildet – insbesondere zur Schaffung und Wahrung von Wohlstand durch Landwirtschaft, kommerzielle Fischerei, Stromerzeugung, Industrie, Transport und Tourismus – sondern vielmehr lebenswichtig für sämtliche Ökosysteme der Welt ist.

Globale Zuordnung der Wasserentnahme nach den Sektoren Landwirtschaft, Industrie, Haushalte.





Nitrat im Grundwasser im südlichen Afrika

– ein Problem für die Trinkwasserversorgung

Durch erhöhte Nitratgehalte in Grundwasservorkommen der Kalahari in Botswana, Südafrika und Namibia ergeben sich große Probleme bei der Trinkwasserversorgung.

Im Zusammenhang mit einer erhöhten Nitratbelastung des Trinkwassers gibt es immer wieder u. a. die Gefahr der „Baby-Blausucht“ (in der medizinischen Fachsprache als „Methämoglobinämie“ bezeichnet) mit tödlichem Ausgang, wobei insbesondere Säuglinge und Kleinkinder gefährdet sind, die das Nitrat mit der Babynahrung aufnehmen. Im Trinkwasser sind deshalb international nur 50 mg Nitrat pro Liter erlaubt.

Die Aufzucht von Rindern ist ein wichtiger Wirtschaftszweig in dieser Region. Die hohen Nitratkonzentrationen im Wasser haben zu Erkrankungen und zahlreichen Todesfällen bei den Tieren und damit auch zu großen wirtschaftlichen Verlusten geführt.

Potenzielle Quellen des Nitrats in der Kalahari sind:

- Niederschlag,
- Vegetation,
- Wildtiere, Bodenlebewesen,
- Rinderzucht,
- Prozesse im Boden,
- Nitratsalze im Gestein,
- Aufsteigendes Grundwasser aus tiefer liegenden Schichten.

Während in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten erhöhte Nitratkonzentrationen im Grundwasser eher normal sind, würde man in der nahezu unbesiedelten Kalahari keine Nitratprobleme erwarten. Die Ursachen für die auftretenden hohen Nitratgehalte im Grundwasser der Kalahari sind bisher weitgehend ungeklärt. Deshalb arbeiten Wissenschaftler in Südafrika, Namibia und Botswana gemeinsam mit der BGR in einer Forschungs Kooperation an der Klärung des Nitratbelastungsproblems in der Kalahari.

Die BGR führt dazu zusammen mit dem Geologischen Dienst von Botswana (DGS) ein Forschungsvorhaben in Botswana durch. Ziel ist es, die Nitratquellen im Verbreitungsgebiet des Ntane-Sandstein-Grundwasserleiters in Botswana mit seinem tief liegenden Grundwasserspiegel zu identifizieren und die Prozesse, welche zu einer Nitrat anreicherung in der Bodenzone oder im unterliegenden Gestein und zu einer Verlagerung des Nitrats ins Grundwasser führen, zu ergründen.

Unter natürlicher Vegetation und Termitenhügeln findet man deutlich erhöhte Nitratkonzentrationen im Bodenwasser.

Untersucht wurden z. B. die Einträge von Nitrat mit dem Niederschlag und die Nitratkonzentrationen im Boden unter den natürlichen Bedingungen und in der Nähe von Viehtränken. Diese Untersuchungen zeigen, dass unter der natürlichen Vegetation bereits Konzentrationen von 50 – 500 mg Nitrat pro Liter im Bodenwasser möglich sind. Unter Termitenhügeln und insbesondere in der Nähe von Viehtränken werden sogar sehr hohe Nitratkonzentrationen von über 1000 mg Nitrat pro Liter gefunden. Während die Nitratinträge aus Termitenbauten natürlicher Herkunft und typisch





für die Kalahari sind, stellen die Einträge aus der Viehzucht eine anthropogen bedingte Quelle dar, die erst seit ca. 50 Jahren existiert.

Hohe Nitratkonzentrationen im Boden im Bereich um Viehtränken sind eine Bedrohung für das Grundwasser.

Neben der Bodenzone wurde auch das Grundwasser im Bereich der Kalahari Botswanas intensiv untersucht. Schon die erste Auswertung der Wasserproben vor Ort und die sich anschließende genaue Untersuchung in den Labors der BGR Hannover ergaben teilweise alarmierend hohe Nitratkonzentrationen im Grundwasser. Allerdings zeigten sich auch extreme Unterschiede in den Nitrat-Messwerten sowohl in der räumlichen Verteilung von Bohrung zu Bohrung als auch im vertikalen Profil innerhalb einer Bohrung. Da das Grundwasser innerhalb eines stark verfestigten Sandsteins gespeichert ist, kann signifikante Wasserbewegung nur entlang von größeren Klüften und Störungen in diesem Gestein erfolgen. Detaillierte Felduntersuchungen zeigten, dass die Komplexität solcher Klüfte und Störungen zusätzlich zu den Nitratquellen und hydrochemischen Prozessen die heterogene Verteilung des Nitrats bestimmen.

Die Grundwasserproben aus dem Ntane-Sandstein unterhalb der Kalahari weisen teilweise sehr hohe Nitratwerte auf.

Eine Analyse der beprobten Grundwässer auf die in ihm enthaltenen Isotope und Edelgase ergab, dass das Nitrat bisher nur aus natürlichen Quellen ins Grundwasser gelangt sein kann. So zeigten die Auswertungen des radioaktiven Kohlenstoff-Isotops, dass die Grundwässer mit einem hohen Nitratgehalt sich nicht nur chemisch von denen mit einem niedrigen Nitratgehalt unterscheiden, sondern auch mit 1 000 bis 5 000 Jahren „relativ jung“ sind. Wässer hingegen, welche generell niedrige Nitratwerte aufweisen, sind chemisch anders zusammengesetzt und weisen ein Grundwasseralter auf, das in der Größenordnung von bis zu 15 000 Jahren liegen kann. Auch ergaben die durchgeführten Edelgasanalysen, dass sich die Infiltrationsbedingungen dieser Wässer und somit auch die klimatischen Bedingungen, unter denen sie gebildet wurden, grundlegend unterscheiden müssen. Vergleicht man die für das Grundwasser ermittelten Alter mit dem berechneten Alter des Bodengewässers, so zeigt sich deutlich, dass bisher nur das Nitrat aus den natürlichen Quellen ins Grundwasser gelangt sein kann. Das Nitrat aus der Nähe von Viehtränken ist offensichtlich noch unterwegs in Richtung Grundwasser und wird erst in Zukunft zu einer erheblichen, zusätzlichen Belastung des Grundwassers beitragen.



HÜK 200 – eine Grundlage für die Umsetzung der **EU-Wasserrahmenrichtlinie**

Für die Umsetzung der im Dezember 2000 verabschiedeten EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) werden bundesweit einheitliche hydrogeologische Sachverhalte und Flächendaten benötigt.

Die EU-WRRL sieht erstmals das Wassermanagement in den naturräumlichen Grenzen der Einzugsgebiete von übergeordneten Fließgewässern vor. Alle politischen Grenzen verlieren bei dieser Vorgehensweise ihre Bedeutung. Diese Sachverhalte machen deutlich, dass die bisherige Praxis, hydrogeologische Flächendaten in den Grenzen der jeweiligen Bundesländer weitgehend untereinander unabgestimmt darzustellen, für die neuen Aufgaben nicht geeignet ist. Eine wesentlich auf die Erfordernisse der EU-WRRL ausgerichtete Gesamtschau der hydrogeologischen Verhältnisse für ganz Deutschland (und darüber hinaus) war daher unausweichlich.

Die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) haben auf diese neue Situation frühzeitig reagiert und die Umsetzung einer digitalen Hydrogeologischen Übersichtskarte von Deutschland auf den Weg gebracht. Nach einem Konzept der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) ist die Hydrogeologische Übersichtskarte (HÜK 200) als GIS-basiertes Informationssystem entwickelt und umgesetzt worden.

Nach der Hydrogeologischen Kartieranleitung der Staatlichen Geologischen Dienste ist definiert: „Hydrogeologische Übersichtskarten sind synoptische Darstellungen hydrogeologischer Informationen in generalisierter Form. Sie informieren zusammenfassend über ein Gebiet und lassen großräumige Zusammenhänge erkennen.“ Dieser Grundsatz gilt auch uneingeschränkt für das seit 2001 erarbeitete Thema „Oberer Grundwasserleiter (OGWL)“ der HÜK 200. Drei Jahre nach Beginn der Arbeiten zur Hydrogeologischen Übersichtskarte von Deutschland 1 : 200 000 (HÜK 200) sind die letzten Blätter des Themas „Oberer Grundwasserleiter“ (OGWL) Ende 2003 für die gesamte Fläche der Bundesrepublik Deutschland fertig gestellt worden. Die 55 Blätter dieser Karten stellen erstmals nach einheitlichen Kriterien die hydrogeologische Situation in Deutschland dar. In einzelnen Bundesländern sind zwar in den letzten Jahren Übersichtskarten in vergleichbaren Maßstäben (1 : 100 000 bis 1 : 500 000) erschienen, als länderübergreifende aktuelle Karten existieren jedoch nur die zwei Blätter Berlin und Bern der „Internationalen Hydrogeologischen Karte von Europa“ 1 : 1 500 000, die das Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland nach einheitlichen methodischen Aspekten beschreiben.

Die HÜK 200 ist ein Gemeinschaftsprojekt der Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) der Länder und der BGR.

Das Gesamtkonzept zur HÜK 200 geht von einer modularen Umsetzung in drei Themengruppen mit darunter angesiedelten Einzelthemen und folgender Grobgliederung aus:

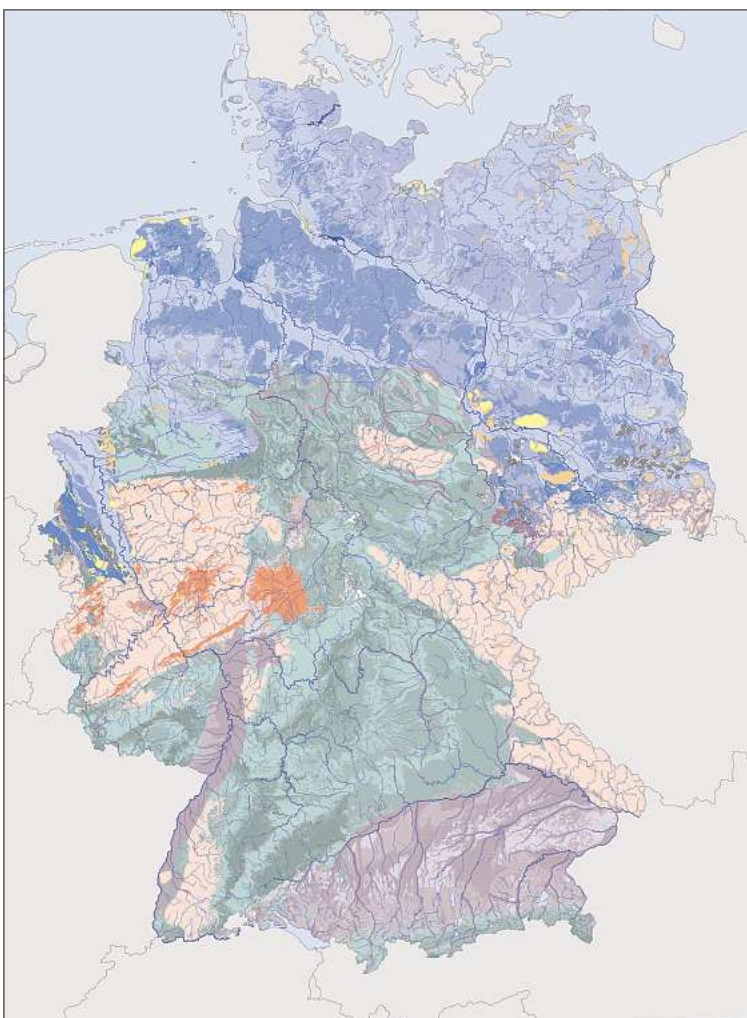
- **Teil 1 Hydrogeologische Strukturen:**
Die Karten stellen flächenhaft die Verbreitung und die Zusammenhänge relevanter hydrostratigraphischer Einheiten dar. Auf der Basis interpretierter Gesteinseigenschaften werden hydrogeologische Strukturen abgegrenzt sowie ihre Lage, Mächtigkeit und Verbreitung dokumentiert.
- **Teil 2 Grundwasserdynamik:**
Die Karten zur „Grundwasserdynamik“ vermitteln die wesentlichen hydraulischen Verhältnisse und Wasserhaushaltsbedingungen.



- **Teil 3 Grundwasserbeschaffenheit:**
In den Karten werden vor allem verschiedene hydrochemische Einzelparameter abgebildet.

Die hydrogeologische Bearbeitung wurde von den SGD durchgeführt, die Projektkoordination und Finanzierung der Arbeiten lag bei der BGR.

Die Mehrheit der Kartenblätter umfasst die Gebiete von zwei oder mehr Bundesländern. Um Inkonsistenzen an Länder- und Blattschnittgrenzen zu vermeiden, war eine intensive Kooperation der an einem Blatt beteiligten SGD erforderlich. Sämtliche Arbeiten zur HÜK 200 wurden im Projektzeitraum von der Unterarbeitsgruppe „UAG EU-WRRRL“ der Ad-hoc-AG Hydrogeologie des Bund-Länder-Ausschusses Bodenforschung (BLA-GEO) fachlich begleitet.



Das erste Thema „Oberer Grundwasserleiter“ (OGWL) aus dem Teil 1 „Hydrogeologische Strukturen“ der HÜK 200 basiert auf den Daten der zu Beginn der Arbeiten an der HÜK nur teilweise digital verfügbaren Geologischen Übersichtskarte 1 : 200 000 (GÜK 200) von Deutschland und wurde schrittweise im Blattschnitt der 55 Blätter der Topographischen Übersichtskarte 1 : 200 000 (TK 200) bearbeitet.

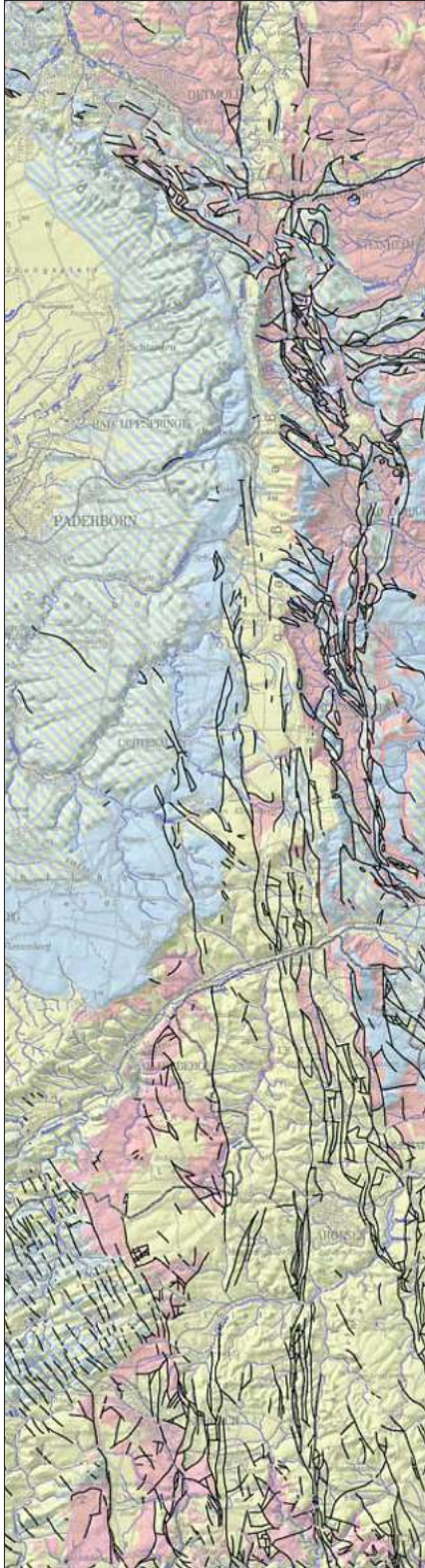
Die GÜK 200 wurde aber noch im Laufe der Arbeiten zur HÜK 200 digital komplettiert.

Die dargestellten hydrogeologischen Inhalte des OGWL beziehen sich auf den oberen großräumig zusammenhängenden und wasserwirtschaftlich relevanten Grundwasserleiter. Die hydrogeologischen Attribute wurden anhand der Legendenangaben der GÜK 200 zur Petrographie, Lithologie, zur Genese und zur Stratigraphie vergeben. Bearbeitet wurden die Attribute „Verfestigung“, „Gesteinsart“, „Art des Hohlraums“, „Geochemischer Gesteinstyp“ und „Durchlässigkeit“ mit den jeweils dazugehörigen Klasseninformationen und sind in eigenständigen Themenkarten abgelegt.

In einer aggregierten Karte „Oberer Grundwasserleiter“ werden die durch die Umattributierung gewonnenen hydrogeologischen Einzelinformationen zusammengetragen und dargestellt. Die Gliederung dieser Karte richtet sich primär nach der hydraulischen Durchlässigkeit innerhalb der hydrogeologischen Großstrukturen des Lockergesteins- und des Festgesteinsbereichs, hier nochmals unterschieden in Deckgebirge sowie Grundgebirge.

Die Abbildung zeigt beispielhaft eine verkleinerte Übersicht (im Maßstab von ungefähr 1 : 7 Mio.) der Karte „Oberer Grundwasserleiter“ in der Bundesrepublik Deutschland – aus 55 Blattschnitten zusammengestellt. Ähnliche Übersichten liegen für alle oben genannten Themenkarten vor.

Mit den so geschaffenen, in den verschiedenen Themenkarten abgelegten Flächeninformationen können weitere hydrogeologisch aussagekräftige Kombinationskarten erstellt werden, z. B.: Geochemischer Gesteinstyp und Art des Hohlraums oder Art des Hohlraums und Durchlässigkeit.



Verkleinerter Ausschnitt aus der Themenkarte „Geochemischer Gesteinstyp“.

Alle Daten der HÜK 200 werden in ein Fachinformationssystem (FIS) der BGR eingebunden und sind so den beteiligten Bearbeitern der SGD zugänglich. Dies erleichtert den Datenaustausch im Rahmen der Bearbeitung. Die Daten sind außerdem in einer MAPSERVER-Anwendung hinterlegt, die einen komfortablen Zugriff auf Einzelkarten ermöglicht. Die spätere Nutzung der Projektdaten im Internetbereich der BGR ist vorgesehen.

Die nunmehr übergreifend geschaffenen Datenbestände können für die Aufgaben, die sich aus der Berichterstattungspflicht der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie im Rahmen der „Bestandsaufnahme“ ergeben, genutzt werden. Darüber hinaus sind die Daten für vielfältige Anwendungen der Wasser- und Abfallwirtschaft, des Boden- und Naturschutzes sowie für planerische Aufgaben geeignet und stehen Interessenten digital zur Verfügung.

Zu den nun vorliegenden Karten werden aktuell Arbeiten zur Erstellung von 40 hydrogeologischen Schnitten über die gesamte Fläche der Bundesrepublik Deutschland nach dem Muster einer zwischen den SGD abgestimmten Schnittlinienkarte vorbereitet. Weiterführende Arbeiten aus den Themengruppen „Grundwasserdynamik“ und „Grundwasserbeschaffenheit“ befinden sich in der Planung.

Verbesserung des im **Kabul-Becken** in Afghanistan

Grundwasserschutz



Knapp drei Jahre nach Ende der über 20 Jahre andauernden Kriegshandlungen befindet sich Afghanistan immer noch in der Phase des Wiederaufbaus. Neben der eingeleiteten und erste Erfolge zeigenden politischen und sozialen Neuorganisation der afghanischen Gesellschaft wird die weitere Entwicklung noch in hohem Maße durch die Dürre und deren Auswirkungen behindert. Die seit fünf Jahren anhaltende Dürre hat dazu geführt, dass die Oberflächengewässer, z. B. der Kabul-Fluss (s. Abbildung oben), nur noch während weniger Wochen im Jahr Wasser führen. In der Landwirtschaft führt der Wassermangel bereits zu Produktionsausfällen, da nicht genügend Oberflächenwasser für die traditionelle Bewässerung der Felder zur Verfügung steht. Darüber hinaus sind viele der traditionellen Bewässerungsanlagen verfallen und nicht mehr zu gebrauchen.

Im Raum Kabul hat sich bereits während des Krieges und verstärkt nach Ende der unmittelbaren Kampfhandlungen eine große Zahl von Flüchtlingen niedergelassen. Während vor 20 Jahren der Raum Kabul noch knapp 800 000 Einwohner zählte, leben hier heute ca. 3 Mio. Menschen. Bedingt durch die stark gestiegene Bevölkerungszahl reicht das Stadtgebiet mittlerweile schon teilweise bis an die Hänge der sie umgebenden, im Winter schneebedeckten Berge (s. Abbildung unten). Diese Berge sind für die Wasserversorgung der Stadt lebenswichtig. So sagt ein Kabuler Sprichwort „Kabul kann ohne Gold sein, jedoch nicht ohne Schnee auf den Bergen...“. Dieses alte Sprichwort hat bis heute seine Aktualität nicht verloren. Da die Grundwasserneubildung fast ausschließlich über die nur kurzzeitig Wasser führenden Flüsse erfolgt, können die Grundwasservorkommen ohne eine nennenswerte Schneeschmelze im Frühjahr nicht in einem ausreichenden Maß ergänzt werden.





Im langjährigen Jahresmittel fallen in Kabul weniger als 300 mm Niederschlag. Schon seit Jahrhunderten wurde und wird daher aufgrund dieser extremen klimatischen Bedingungen zur Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser auf das Grundwasser zurückgegriffen. Erfolgte dies in früheren Zeiten noch durch von Hand gegrabene Brunnen, so wird heute das Wasser aus tausenden von kleinen Handbrunnen gefördert, die sich an jeder Ecke im Stadtgebiet finden lassen. Allerdings sind die Grundwasserstände durch die damit einhergehende Überbeanspruchung der Grundwasservorräte so stark abgesunken, dass mittlerweile ein Drittel dieser flachen Brunnen trocken gefallen ist. Zwar besaß Kabul auch bereits vor dem Krieg ein öffentliches Versorgungsnetz, das allerdings aufgrund der Kriegswirren fast völlig zerstört wurde und derzeit mit Millionenaufwand wieder aufgebaut wird. Trotz der immensen Investitionen in das öffentliche Leitungsnetz wird sich der Anteil der Stadtbevölkerung, der Zugang zu sauberem Trinkwasser hat, in absehbarer Zeit von derzeit ca. 15 % wohl kaum auf mehr als 35 % steigern lassen.

Neben der allgemeinen Wasserknappheit gefährdet die zunehmende Grundwasserverschmutzung die Versorgung der Bevölkerung mit Frischwasser. Die sanitären Verhältnisse können nur als katastrophal bezeichnet werden. So versickert ein Großteil der Abwässer aus unzähligen Stadtgräben, tausenden von einfachsten Klärgruben und dreckigen Tümpeln ungeklärt in das oberflächennahe Grundwasser. Da es im Stadtgebiet keine geordnete Entsorgung von Abwasser gibt, sind bereits über 50 % der flachen Handbrunnen mit Fäkalbakterien belastet. Diese katastrophale sanitäre Situation ist sicherlich mitverantwortlich für die hohe Kindersterblichkeit in Afghanistan. Laut dem Flüchtlingshilfswerk (UNHCR) und dem Kinderhilfswerk (UNICEF) der UNO erreichen von tausend Neugeborenen 148 nicht das erste Lebensjahr. In ca. 70 % der Fälle sind aus verseuchtem Wasser resultierende Durchfallerkrankungen hierfür die Ursache.



Typische Brunnen mit Handpumpe im Kabuler Stadtgebiet. Teilweise ist das Grundwasser im Stadtgebiet von Kabul von sehr schlechter Qualität.



Unsere afghanischen Kollegen bei der Erhebung von Daten zur Chemie und Hygiene des Grundwassers im Stadtgebiet von Kabul.

Derzeit sind die Grundwasserstände durch die lang anhaltende Dürre und Übernutzung der Grundwasservorräte sehr niedrig. Würde der Grundwasserspiegel aufgrund günstigerer klimatischer Bedingungen wieder ansteigen, so besteht die Gefahr des hydraulischen Kurzschlusses zwischen dem Grundwasser und den Sickerabflüssen aus den unzähligen Abwassergruben und geborstenen Abwasserleitungen. Das Hauptproblem der Wasserversorgung besteht also nicht nur in einem Problem der beschränkten Verfügbarkeit von Grundwasser, sondern wird durch die sich rapide verschlechternde Wasserqualität noch potenziert.

Die Fachleute der BGR haben daher mit Förderung des Arbeitsstabes für Humanitäre Hilfe des Auswärtigen Amtes in Berlin damit begonnen, eine erste Erhebung des Zustandes der Grundwasservorräte durchzuführen und vorbeugende Maßnahmen zum Schutz der wertvollen Grundwasserressourcen für die Trinkwasserversorgung des Kabul-Beckens einzuleiten. Es gilt auch hier eine alte, für alle auf dem Wassersektor tätigen Fachleute gültige Maxime, dass jede wie auch immer geartete Vorsorge wesentlich zweckmäßiger und kostengünstiger wird als jedwede Nachsorge. Um dies zu bewerkstelligen, wird gemeinsam mit unseren afghanischen Kollegen die Beschaffenheit der flachen und tiefen Grundwässer untersucht. So belegen die Ergebnisse sehr deutlich, dass im Vergleich zu Messungen Ende der 1960er Jahre zahlreiche Brunnen stark erhöhte Werte für Nitrat und Sulfat aufweisen. Auch sind die gemessenen elektrischen Leitfähigkeiten

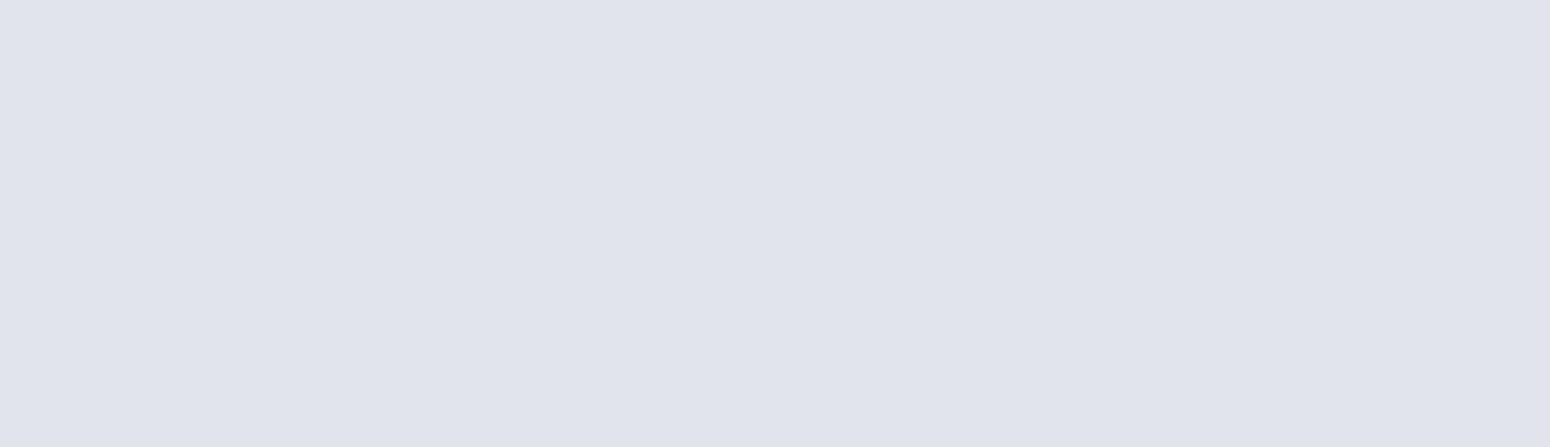
des Wassers, ein Indikator für Lösungsinhalt und Salzgehalt des Wassers, stark angestiegen. In vielen der Brunnen werden die Grenzwerte der deutschen Trinkwasserverordnung um ein Vielfaches überschritten.

Der praktische Grundwasserschutz kann nur angegangen werden, wenn zunächst eine praktische Ausbildung von einheimischen Kräften zur Erhebung von wasserwirtschaftlichen und trinkwasserhygienischen Grunddaten durchgeführt wird. So werden unsere afghanischen Partner vor Ort beispielsweise in der Aufnahme der wichtigsten wasserwirtschaftlichen und trinkwasserhygienischen Parameter des Grundwassers im Kabul-Becken geschult. Nur durch diese Fortbildungsmaßnahmen werden mit Hilfe unserer afghanischen Partner die hydrologischen und hydrogeologischen Planungsgrundlagen, z. B. Kartenwerke, Datenbanken und Geoinformationssysteme (GIS), geschaffen, welche die Grundlage für ein nachhaltiges Management der Grundwasserressourcen sind.

Die Fachleute der BGR tragen somit dazu bei, dass unsere afghanischen Partner auf der Basis der geschaffenen Grunddaten und der neu entstandenen Fachkompetenz in naher Zukunft in der Lage sein werden, die anspruchsvollen Aufgaben der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung in Kombination mit der Überwachung von Grundwasserbeschaffenheit und Grundwasserhygiene in eigenverantwortlicher Regie durchzuführen.



Brunnenneubau in Afghanistan – eine Schulungsmaßnahme in Angewandter Hydrogeologie der BGR Hannover.





**Geotechnische
Sicherheit/
Endlagerung**

*nische Si
lagerung*

Geotechnische Sicherheit / Endlagerung

Geotechnische Sicherheit – wer ist verantwortlich?

Die sichere Versorgung mit elektrischer Energie ist zu einem selbstverständlichen Bestandteil unseres täglichen Lebens geworden. Die wenigsten von uns fragen sich, ob die Vorräte, die wir in den Eisschrank legen, dort wirklich ununterbrochen gekühlt werden ... oder, ob der Aufzug und die U-Bahn nicht plötzlich im Dunkeln stecken bleiben... oder, was ein Landwirt wohl unternehmen wird, wenn eines Morgens seine Melkmaschinen nicht laufen. Es ist unsere Erfahrung, dass wir jederzeit über ausreichend Strom verfügen können, um die Geräte und Prozesse in Gang zu halten, die wir ganz selbstverständlich nutzen – bei uns zu Hause, in Gewerbe und Industrie, in Krankenhäusern, im Verkehr. Und die Erfahrung lehrt auch, dass es eine technisierte Gesellschaft teuer zu stehen kommt, wenn einmal kein Strom da ist: Die Schäden durch den Stromausfall in Nordamerika im August 2003 belaufen sich auf mehrere Milliarden US-Dollar.

Dass der Strom nicht von selbst aus der Steckdose kommt, ist eine Binsenweisheit. Trotzdem machen wir uns nur selten bewusst, welcher Aufwand betrieben werden muss, um die bei uns vorhandene hohe und für uns so wichtige Versorgungssicherheit mit Strom zu gewährleisten. Damit wir jederzeit unabhängig vom Wetter Strom in ausreichender Menge produzieren können, müssen wir Kraftwerke betreiben, in denen fossile Brennstoffe oder Kernbrennstoffe verbraucht werden. Die Stromproduktion allein aus regenerativen Energiequellen zu bestreiten, ist mit unseren heutigen Technologien nicht möglich. Deshalb ist der Anfall von Abgasen und Abfällen bei einer versorgungssicheren Stromversorgung unvermeidlich. Bei der Erzeugung von 1 000 Kilowattstunden elektrischer Energie entstehen etwa 1 000 kg CO₂ in einem Kohlekraftwerk oder 3 g verbrauchter Kernbrennstoff in einem Kernkraftwerk.



Die BGR stellt sich den geowissenschaftlichen Herausforderungen, die im Zusammenhang mit der Energieversorgung an das staatliche Handeln bestehen, indem sie Projekte im Bereich der Erdwärmenutzung (s. Sonderthema Geothermie), im Bereich der CO₂-Verminderung (s. Sonderthema Klima) und im Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle bearbeitet.

Die Abbildungen zeigen das Untertagelabor Mont Terri in der Schweiz.



Der verantwortungsvolle Umgang mit diesen Abgasen und Abfällen aus der Stromproduktion gehört zu den selbstverständlichen Aufgaben einer Industrienation, die, wie Deutschland, nachhaltiges Handeln anstrebt. Nachhaltigkeit bedeutet in Bezug auf unsere heutige Versorgung mit elektrischer Energie konkret, dass wir den Ausstoß klimarelevanter Gase so weit wie möglich reduzieren und dass wir die vorhandenen radioaktiven Abfälle sicher entsorgen.

Daraus ergeben sich für den Staat ganz praktische Herausforderungen: Er selbst muss nämlich immer dann den Stand von Wissenschaft und Technik weiterentwickeln, wenn nicht marktwirtschaftliche Gründe sondern Nachhaltigkeitsbestrebungen den Ausschlag geben. Und dort, wo es um geowissenschaftliche Fragen geht, richtet sich diese Herausforderung an die zentrale Institution der Bundesregierung auf dem Gebiet der Geowissenschaften: die BGR.





Entsorgung radioaktiver Abfälle

Die enge Verknüpfung der Endlagerung radioaktiver Abfälle mit geowissenschaftlichen Fragestellungen liegt auf der Hand: Verschiedene Optionen der Entsorgung, wie Versenkung in Subduktionszonen oder Lagerung im arktischen Eis, wurden gewissenhaft geprüft, und international hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass nur die Endlagerung der Abfälle in tiefen geologischen Formationen den hohen Sicherheitsanforderungen gerecht werden kann. Die Geowissenschaften spielen dabei schon vor der geologischen Charakterisierung eines konkreten Endlagerstandortes eine wichtige Rolle, nämlich bei der Erhebung von standortunabhängigen Eigenschaften der unterschiedlichen Wirtsgesteinstypen (Gesteinstypen, in die eingelagert werden könnte). Diese Kenntnisse helfen, die spätere konkrete Ausgestaltung eines Endlagers optimal an die Wechselwirkungen zwischen Wirtsgestein und Abfall anzupassen. Dadurch lässt sich die Prognostizierbarkeit der zukünftigen Entwicklung verbessern und damit die Sicherheit des Endlagers erhöhen.

Als Wirtsgesteine kommen in Deutschland Salzgesteine und Tonsteine in Betracht. Zu beiden Wirtsgesteinstypen hat sich die BGR in den vergangenen Jahren durch Forschungsarbeiten in verschiedenen internationalen Felslaboren umfangreiches Know-how erarbeitet.

Wirtsgestein Salz

Im Rahmen des Projektes „Bambus“ (Backfill and Material Behaviour in Underground Salt Repositories) zum Beispiel wurden die Einlagerung von wärmeentwickelnden Abfällen im Wirtsgestein Salz erprobt und die Auswirkungen der Erwärmung untersucht. Dafür wurden im deutschen Versuchsbergwerk Asse in einem eigens dafür aufgefahrenen Grubenbereich mehrere Einlagerungsbehälter „endgelagert“. Der Versuch in 800 m Tiefe entsprach den Bedingungen in einem Endlager. Ausnahme war nur der Abfall: Anstelle von hochradioaktiven Abfällen wurden in die Einlagerungsbehälter elektrische Heizelemente eingebaut.

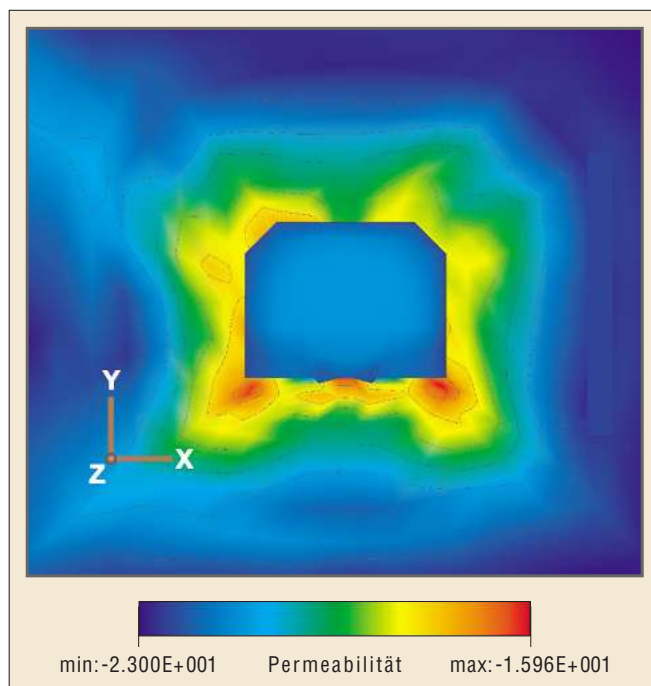


Wiedergewinnung einer im Salzgebirge einzementierten Spannungsmonitorstation nach über zehn Jahren.

Die Vorgänge, die sich in einem Endlager im Salz nach der Verfüllung abspielen, konnten in einer neun Jahre dauernden Heizphase beobachtet werden. Durch intensive geomechanische und geophysikalische Messungen, hier insbesondere die von der BGR durchgeführten Langzeitspannungsmessungen mit Bohrlochmonitorstationen sowie Durchlässigkeitsmessungen zur Bestimmung der Permeabilität von Versatz und Gebirge, wurde zudem die Entwicklung und räumliche Erstreckung von Auflockerungszonen um die Einlagerungsstrecken ermittelt. Im Anschluss an eine Abkühlphase wurden dann zwei der Einlagerungsbehälter wieder ausgebaut, um ihren Zustand direkt zu kontrollieren. Dabei wurde zusätzlich eine große Anzahl von Proben aus dem umgebenden Gebirge und aus dem Versatzmaterial entnommen, also aus dem inzwischen verdichteten Salzgrus, mit dem die Hohlräume zwischen Behältern und Gebirge verfüllt worden waren. Ziel war es, die physikalischen Eigenschaften dieser Proben mit den Größen aus Vorhersagerechnungen zu vergleichen.

Solche Vergleiche sind besonders wertvoll für die Analyse der Langzeitsicherheit eines Endlagers. Bei Prognosezeiträumen von 100 000 Jahren und mehr, können bereits kleinste Veränderungen der Gesteinseigenschaften sehr große Auswirkungen auf das Ergebnis haben. Es ist deshalb wichtig nachzuweisen, dass die Stoffgesetze, mit denen in Prognoserechnungen das Materialverhalten beschrieben wird, auch über längere, den Labormaßstab übersteigende Zeiträume richtige Ergebnisse liefern.

Salzgebirge verhält sich plastisch. Hohlräume im Salz verschließen sich im Laufe der Zeit, weil das Salz – mit Siegelack vergleichbar – in die Hohlräume hinein kriecht. Dieser Kriechprozess ist von der mit dem Abfall eingebrachten Wärme abhängig. Umgekehrt hängt aber auch die Temperaturverteilung von der Versatzverdichtung und damit von der Gebirgsverformung ab. Um diese wechselseitige Beeinflussung richtig vorhersagen zu können, müssen die mechanischen und die thermischen Prozesse gekoppelt berechnet werden. Die BGR hat dazu ein Stoffgesetz für das Salzgebirge und das Versatzmaterial entwickelt. In diesem Stoffgesetz wird auch eine besondere Art der Salzverformung, die Dilatanz, berücksichtigt, bei der sich im undurchlässigen Salzgestein Wegsamkeiten bilden. Für die computergestützte Simulation der thermomechanischen Reaktion des Gebirges und der



Berechnete Permeabilitätsverteilung (logarithmisch) um eine Einlagerungsstrecke im Projekt „Bambus“.

versetzten Versuchsstrecken auf den Wärmeeintrag setzte die BGR zunächst zweidimensionale Modelle ein. Die damit berechneten Größen wiesen zum Teil deutliche Abweichungen gegenüber den in situ beobachteten Gebirgsreaktionen auf. Im Verlauf des Forschungsvorhabens wurde ein neues Programm entwickelt, das nach der Finite-Elemente-Methode arbeitet. Nun war die dreidimensionale, vollständig gekoppelte thermomechanische Modellrechnung des Versuchs möglich. Die so berechneten Ergebnisse (Temperaturen, Spannungen, Gebirgsverformungen, Streckenkonvergenzen, dilatante Gebirgsbereiche, Permeabilität des Versatzes und des Gebirges) zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den Resultaten der In-situ-Untersuchungen. Damit liegt ein geeignetes Instrumentarium vor, mit dem die thermomechanische Reaktion und Integrität der Gebirgsbarriere in einem Endlager prognostiziert werden kann.

Mit diesen Nachuntersuchungen konnte in den vergangenen zwei Jahren das „Bambus-Projekt“ erfolgreich abgeschlossen werden.



Wirtsgestein Ton

Auch im Wirtsgestein Ton hat die BGR in den vergangenen zwei Jahren die Erforschung von sich wechselseitig beeinflussenden Prozessen fortgesetzt. Die BGR hat sich dazu am Aufheizversuch im Tonstein (Opalinuston) des Untertagelabors Mont Terri in der Schweiz beteiligt. Neben thermischen und mechanischen Prozessen beeinflussen im Ton auch hydraulische Vorgänge die Barrierewirkung, weil der Ton im Kontakt mit Wasser aufquillt und dadurch immer undurchlässiger wird. Im Aufheizversuch simuliert ein Heizelement den hochradioaktiven Abfall. Der Hohlraum zwischen dem Abfall und dem Wirtsgestein Opalinuston ist mit Bentonit-Formsteinen, die aus besonders quellfähigem Ton bestehen, ausgefüllt. Der Aufheizversuch dauerte 18 Monate und lief Ende 2004 in seiner Endphase. Die thermisch-hydraulisch-mechanisch gekoppelt berechneten Ergebnisse zeigen bisher eine gute Übereinstimmung mit den Messungen im Versuch.

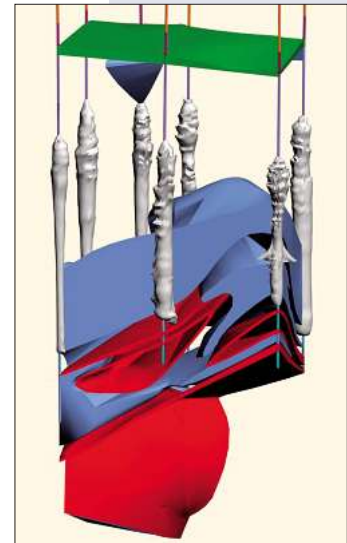
Unsere Zusammenarbeit mit der französischen Gesellschaft zur Endlagerung radioaktiver Abfälle ANDRA (Agence Nationale pour la Gestion des Déchets RADIOactifs) haben wir erfolgreich fortgesetzt. Die ANDRA untersucht nahe dem ostfranzösischen Ort Bure eine Tonformation auf ihre Eignung. Dazu werden zwei Schächte in die Tonformation geteuft, um von dort aus ein Untertagelabor einzurichten. Die Phase des Schachtteufens soll möglichst kurz gehalten werden, und deswegen stehen Messungen in dieser Phase unter hohem Zeitdruck. Die BGR hat als einzige ausländische Partnerorganisation während des Schachtteufens geotechnische Messungen durchgeführt. Wir sind durch diese Untersuchungen direkt an der Erkundung des Tonstandortes beteiligt und haben dadurch auch umfangreichen Zugang zu den Ergebnissen – die Zusammenarbeit ist für beide Seiten von großem Nutzen.

Salzkavernen

Die Frage der geotechnischen Sicherheit spielt nicht nur bei der Endlagerung radioaktiver Abfälle eine wichtige Rolle, sondern bei jeglicher Nutzung des Untergrundes mit möglichen Auswirkungen auf die Tagesoberfläche. Das ist bei der Anlage von Kavernen in Salzstöcken der Fall, sei es zur Speicherung von Gas oder im Zuge der soltechnischen Gewinnung von Salz. Die Stabilität dieser großen unterirdischen Kavernen ist entscheidend von einer günstigen Form des Hohlraums abhängig. Eine günstige Ausformung der Kaverne lässt sich während des Solprozesses, also während der unterirdischen Auflösung von Salz durch Einpumpen von Frischwasser und Auspumpen von Salzwasser, steuern.

Voraussetzung für die gezielte Steuerung des Solprozesses ist, dass die Abfolge der unterschiedlich löslichen Salzgesteinsarten innerhalb der Salzlagerstätte bekannt ist. Die vor etwa 250 Millionen Jahren bei der Eindampfung des Zechsteinmeeres flach abgelagerten Salzschichten im Bereich Norddeutschlands wurden im späteren Verlauf zu Salzstöcken aufgepresst und dabei sehr intensiv verfaltet. Für die dreidimensionale Erfassung des Aufbaus solcher kompliziert verfalteter Strukturen sind Rechenprogramme erforderlich, die an die speziellen Bedürfnisse der Salzgeologie angepasst sind.

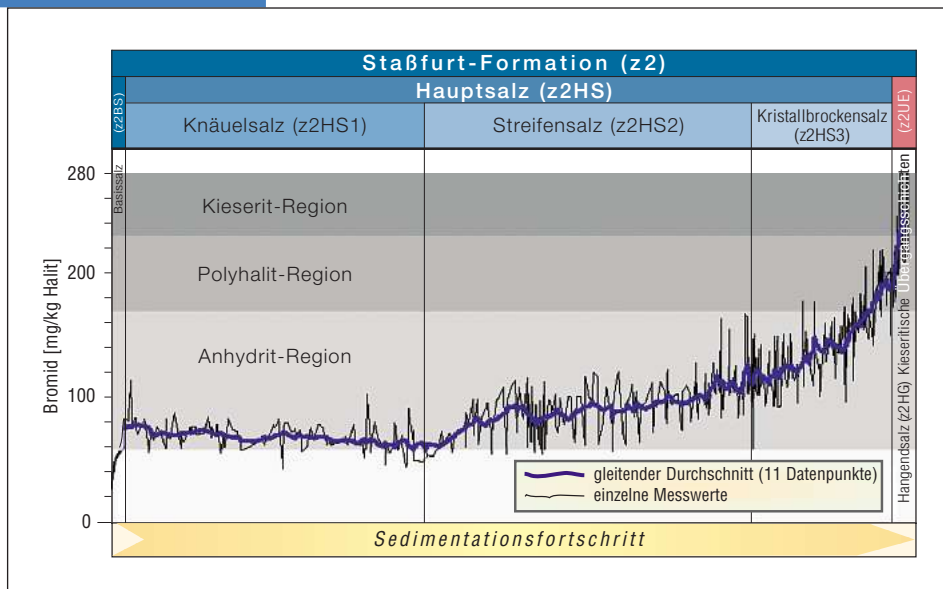
Die BGR hat sich in jüngster Zeit im Umgang mit solchen Programmen und ihrer Weiterentwicklung eine in Deutschland und wohl auch weltweit einmalige Erfahrung erarbeitet.



Ausschnitt aus einem geologischen 3D-Modell für ein Kavernenfeld (graue Körper) in einem Salzstock (Salinarkörper in Farbdarstellung).

Die BGR nutzt für die dreidimensionale geologische Modellierung von Salzstrukturen das Programmsystem OpenGeo. Die Besonderheit dieses Systems gegenüber anderen Softwarepaketen besteht darin, dass die geologischen Einheiten nicht über zweidimensionale Begrenzungsflächen im Raum definiert werden, sondern als echt dreidimensionale Körper modelliert werden. Mit diesen von der BGR entwickelten Verfahren lassen sich Volumenberechnungen vornehmen und die für die Planung eines Solprozesses wichtigen Schnittdarstellungen in jeder beliebigen Schnittebene erzeugen. Ein weiterer wichtiger Vorteil der echt dreidimensionalen Modelle besteht in der Möglichkeit, sie direkt mit Ergebnissen aus Schallmessungen zu verschneiden. So lässt sich während einer Kavernenlösung der tatsächliche Solfortschritt mit der Planung online vergleichen und dadurch der Solprozess wirkungsvoller steuern.

In den Jahren 2003 und 2004 konnten wir in der BGR die Modellierung der Salzstrukturen Benthe (Hannover) und Rüdersdorf (Berlin) erfolgreich abschließen. In laufenden Projekten bearbeiten wir die Salzstrukturen Gorleben, Etzel und Rüstringen (alle Niedersachsen).



Bromidstandardprofil über das Basissalz (z2BS), Hauptsalz (z2HS) und Hangendsalz/Kieseritische Übergangsschichten (z2HG/UE) des Zechstein 2 des zentralen Norddeutschen Zechsteinbeckens.

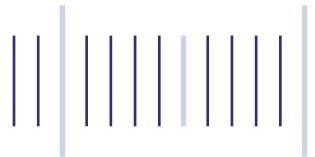
Neben diesen Arbeiten mit einem deutlichen Anwendungsbezug betreibt die BGR im Bereich der Salzgeologie auch Grundlagenforschung, deren praktischer Nutzen erst auf den zweiten Blick deutlich wird. Das ist beispielsweise in den laufenden Untersuchungen zu Bromidverteilungen im Steinsalz (Halit) der Zechsteinfolgen der Fall. In diesem 2003 begonnenen Projekt werden für verschiedene Regionen Standardbromidprofile erarbeitet. Ziel der Untersuchungen ist es, mittels Bromidanalysen belastbare geologische Daten zur Beurteilung von Endlager- und Kavernenstandorten im Salz des mitteleuropäischen Zechsteinbeckens zu erarbeiten. Schwerpunkt sind die Bromiduntersuchungen des Hauptsalzes der so genannten Staßfurt-Folge.

Für dieses Salz, das auch für die Anlage von Salzkavernen geeignet ist, hat die BGR bereits während der Erkundung des Salzstockes Gorleben eine Bromidstandardkurve entwickelt. Deren Übertragbarkeit auf andere Lokalitäten muss überprüft werden, um stratigraphische Einordnungen anhand des Bromidgehalts vornehmen zu können. Dazu müssen Proben aus identischen stratigraphischen Horizonten an unterschiedlichen Lokalitäten miteinander verglichen werden.

Seit Projektbeginn wurden mehrere tausend geochemische Analysen an Haliten des Zechstein durchgeführt. Dazu wurden Bohrklein und Bohrkerne verschiedener Bohrungen des norddeutschen und des sich westlich anschließenden holländischen Raumes beprobt. Die Ergebnisse belegen, dass die charakteristischen Bromidgehalte für die verschiedenen stratigraphischen Einheiten wiederholbar nachzuweisen sind. Der Bromidgehalt beträgt beispielsweise innerhalb des norddeutschen Raumes 180 bis 300 mg/kg im Hangendsalz (z2HG/UE), aber nur 30 bis 60 mg/kg im Basissalz (z2BS). Diese deutlichen und gleichzeitig wiederkehrenden Unterschiede erlauben die schnelle stratigraphische Ansprache, also die Altersbestimmung von erbohrten Salzgesteinen schon während des Bohrprozesses. In Grenzbereichen wird durch die zusätzliche Berücksichtigung des Verhältnisses von Kalium zu Magnesium die Sicherheit in der Ansprache erhöht.

Dieses Verfahren der kombinierten Auswertung von Bromid-Gehalt und K : Mg-Verhältnis wurde bereits in zwei neuen Kavernenerkundungsbohrungen mit großem Erfolg eingesetzt und hat dort zu erheblichen Kosteneinsparungen geführt, da geplante Bohrkernstrecken nicht ausgeführt werden mussten.

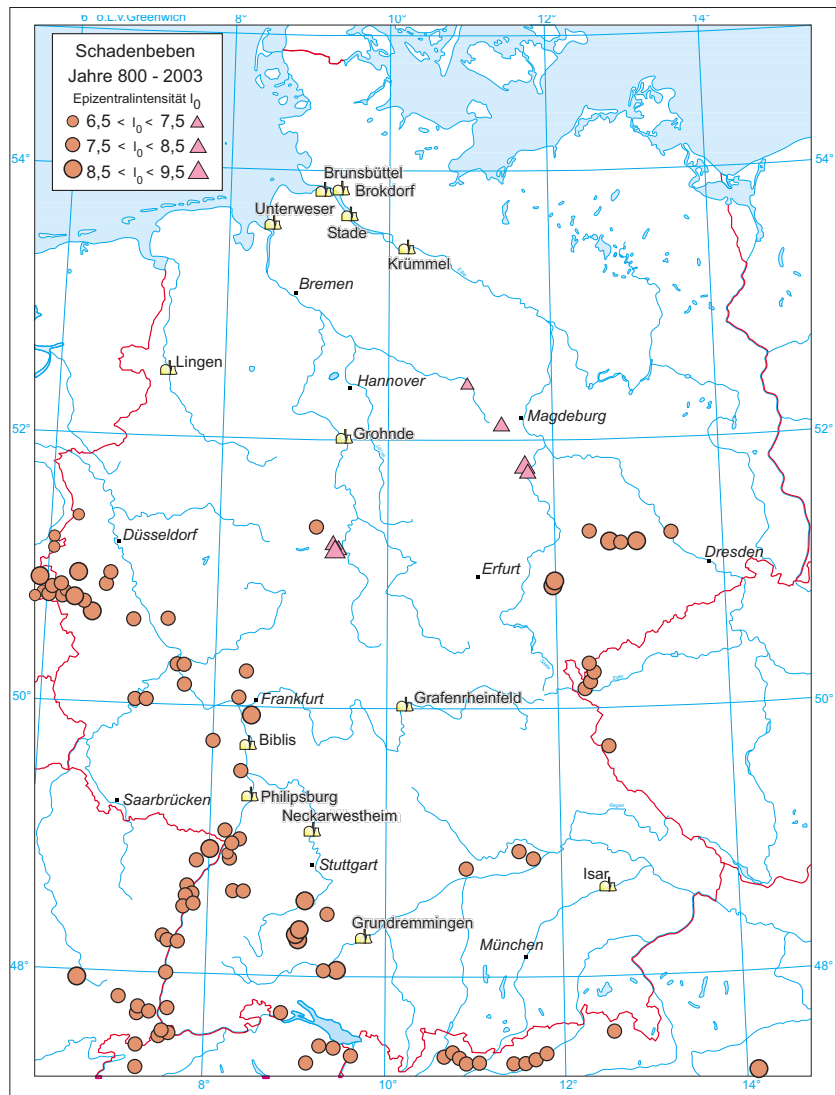
Erdbebensicherheit von Zwischenlagern an Kernkraftwerken



Das Stichwort „Erdbebensicherheit“ zählt zu den Begriffen, die oft spontan – und völlig zu Recht – mit geotechnischer Sicherheit in Verbindung gebracht werden. Und auch in dieser Disziplin leistet die BGR ihre Beiträge.

Als die Bundesregierung und die Betreiber der deutschen Kernkraftwerke am 14. Juni 2000 die Befristung der Kraftwerkslaufzeiten vereinbarten, wurde dabei von den Kraftwerksbetreibern unter anderem der Bau von Zwischenlagern für abgebrannte Brennelemente an den Kraftwerksstandorten zugesagt.

Karte der Epizentren der Schadenbeben in Deutschland mit Randgebieten und der Standorte der (geplanten) Zwischenlager an deutschen Kernkraftwerken. Dargestellt sind für die Jahre 800 bis 2003 alle Beben ab Intensität 6 bis 7 (kleinere Gebäudeschäden) der 12-teiligen makroseismischen Skala MSK. Dreiecke kennzeichnen nichttektonische Beben wie z. B. Gebirgschläge (Zusammenbrüche von Teilbereichen eines Bergwerks), die Schäden an oberirdischen Gebäuden zur Folge hatten.



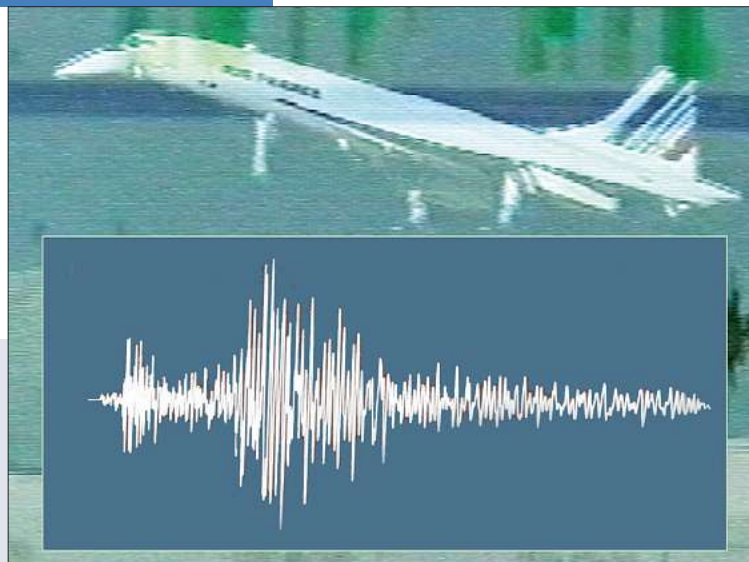
Im Zuge der Genehmigungsverfahren für diese Bauvorhaben muss auch nachgewiesen werden, dass die Bauten gegen Schäden durch Erdbeben ausgelegt sind. Die Antragsteller, also die Kraftwerksbetreiber, müssen entsprechende Unterlagen mit der Abschätzung der seismischen Gefährdung vorlegen. Die Genehmigungsbehörde prüft diese Unterlagen und zieht immer dann, wenn dazu spezielles Know-how erforderlich ist, Spezialisten als Gutachter hinzu. Für die Unterlagen zur seismischen Gefährdung wurde die BGR als Gutachter beauftragt.

Neben der langjährigen und national wie international anerkannten Erfahrung der BGR auf diesem Gebiet sprechen auch grundsätzliche Überlegungen für die Beauftragung der BGR: Gerade in einem politisch so sensiblen Themenbereich wie der Kernenergie muss die Unabhängigkeit der für die Genehmigungsbehörde tätigen Gutachter über jeden Zweifel erhaben sein. Diese Unabhängigkeit muss zwar auch von einem privatwirtschaftlichen Gutachter garantiert werden, sie ist jedoch bei der BGR schon aufgrund ihres Behördenstatus und der daraus resultierenden wirtschaftlichen Unabhängigkeit besonders offensichtlich.

Die von der BGR geprüften seismologischen Gutachten geben für den jeweiligen Standort die Kenngrößen an, die benötigt werden, um mögliche Belastungen des Bauwerkes bei Erdbeben zu berechnen. Damit lässt sich das Bauwerk so auslegen, dass im Falle eines Erdbebens keine sicherheitsrelevanten Schäden auftreten.

Um zu überprüfen, ob die vorgelegten Kenngrößen angemessen sind, muss zunächst das Bemessungserdbeben ermittelt werden, also dasjenige Erdbeben, das in Anbetracht der seismischen Aktivität der Umgebung für die Auslegung unterstellt wird. Datenbasis hierfür ist der von der BGR geführte deutsche Erdbebenkatalog, der im Internetangebot der BGR öffentlich verfügbar ist. Auf seiner Grundlage wird die seismische Aktivität des jeweiligen Standortes bewertet und daraus entsprechend den sicherheitstechnischen Regeln des Kerntechnischen Ausschusses das Bemessungserdbeben festgelegt. Dabei wird sowohl die Bemessungsintensität bestimmt, als auch seine Überschreitenswahrscheinlichkeit bzw. Wiederkehrperiode berechnet. Daraus ergeben sich schließlich unter Berücksichtigung der standortspezifischen Untergrundverhältnisse die für die Auslegung des Bauwerkes benötigten Kenngrößen: die frequenzabhängigen maximalen Vertikal- und Horizontalbeschleunigungen sowie die Zeitdauer, für die sie bei einem Erdbeben auftreten und vom Bauwerk ertragen werden müssen.

Die Prüfung der seismologischen Gutachten für die dreizehn Zwischenlagerstandorte und die Festlegung der jeweils anzusetzenden Lastannahmen konnte die BGR im vorgegebenen engen Zeitrahmen erfolgreich abschließen.



**Nationales Seismologisches
Datenzentrum /
Kernwaffenteststoppabkommen**

*eismologisches
stoppabkommen*

Lauschen für den Frieden – was ist der CTBT?

Die Anstrengungen der internationalen Staatengemeinschaft zur Beendigung der Atomtests führten am 10. September 1996 zur Verabschiedung des Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty, kurz CTBT, durch die Vollversammlung der Vereinten Nationen. Zwei Wochen später wurde der Vertrag zum Verbot von Nuklearversuchen zur Unterschrift ausgelegt und noch am gleichen Tag von 147 Staaten, darunter auch der Bundesrepublik Deutschland, unterzeichnet. Bis Ende 2004 sind 173 Staaten diesem Vertrag beigetreten, der jedoch erst dann in Kraft tritt, wenn er von allen Atomwaffenstaaten sowie den Ländern mit zivilem Atomprogramm ratifiziert worden ist.

Auch wenn die Erreichung dieses Ziels aus politischen Gründen gegenwärtig noch nicht in Sichtweite liegt, werden die technischen Vorarbeiten zur Überwachung der Einhaltung des CTBT fortgesetzt. Dazu wird ein Netz aus insgesamt 321 weltweit verteilten „Horchposten“ aufgebaut, das etwa zu einem Drittel fertig gestellt ist. Spätestens bis 2009 sollen alle Stationen des International Monitoring System (IMS) in Betrieb sein.



Um die Entdeckung, Lokalisierung und Identifizierung einer Kernexplosion unter der Erde, im Wasser oder in der Atmosphäre sicherzustellen, kommen bei dem Überwachungsnetz vier verschiedene Technologien zum Einsatz: Seismologie, Infraschall, Hydroakustik und Radionuklide.

Mit knapp 80 % ist das Netz der so genannten seismischen Primärstationen am weitesten fortgeschritten, das nach seiner Fertigstellung insgesamt 50 Stationen umfassen wird. Diese Primärstationen bilden das Rückgrad des CTBT-Verifikationssystems, da die Zündung einer Kernexplosion unter der Erde immer noch als das wahrscheinlichste Szenarium für die heimliche Umgehung des Vertrags gilt.



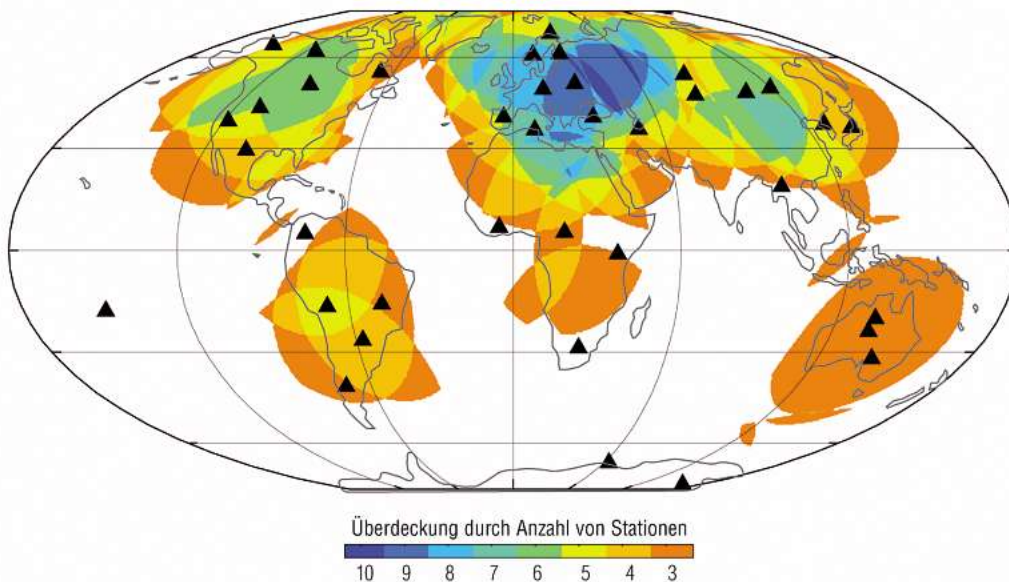
Hinsichtlich der Beteiligung deutscher Stationen an dem Überwachungsnetz hat die Bundesrepublik Deutschland ihre Verpflichtungen bereits erfüllt. Die BGR hat daran maßgeblichen Anteil, da sie für vier der insgesamt fünf deutschen IMS-Stationen verantwortlich ist. Es handelt sich dabei um das aus 25 Einzelstationen bestehende seismische Array GERESS im Bayerischen Wald sowie um ein in demselben Gebiet errichtetes, aus fünf Stationen bestehendes Infrasschallarray.

Diese Infrasschall-Messanlage – sie ist im Kernwaffenteststoppabkommen unter der Bezeichnung IS26 aufgeführt – war die erste ihrer Art, die alle technischen Anforderungen einer IMS-Infrasschallstation erfüllte und im Jahre 2001 von der CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test Ban Treaty Organization) zertifiziert wurde.

Die beiden anderen Stationen in BGR-Verantwortung befinden sich in der Antarktis. Der Aufbau von IS27, ein aus neun Einzelstationen bestehendes Infrasschallarray nahe der deutschen antarktischen Forschungsbasis Neumeyer des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung (AWI), war eine technische und logistische Herausforderung, die mit der Zertifizierung im Juni 2004 erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Bereits einen Monat zuvor wurde die seismische 3-Komponentenstation SNAA zertifiziert. Diese Station befindet sich an der südafrikanischen antarktischen Forschungsbasis SANAE IV. Ursprünglich vom Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung in Zusammenarbeit mit dem südafrikanischen geologischen Dienst eingerichtet, wurde SNAA von der BGR auf den technischen Stand einer IMS-Station gebracht. Nach Einbau des neuen hochempfindlichen Breitbandseismometers stellte sich der Standort als der gegenwärtig ruhigste Platz der Erde heraus. Derartig geringe Bodenunruhwerte werden sonst nirgendwo gemessen.

Welches Detektionsvermögen das Überwachungsnetz im gegenwärtigen Zustand bereits besitzt, ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die farbigen Bereiche kennzeichnen dabei die Zahl der Primärstationen, die eine unterirdische Kernexplosion der Stärke von etwa 1 kt TNT herkömmlichen Sprengstoffs an diesem Ort entdecken würden.

Um ein seismisches Ereignis als solches zu definieren und nachfolgend lokalisieren zu können, müssen die Signale von mindestens drei Stationen entdeckt werden. Die weißen Gebiete und die Farbverteilung machen deutlich, welche Lücken dieses Netz hinsichtlich seines Detektionsvermögens gegenwärtig noch aufweist. Auch bei den übrigen Verifikationstechnologien sind die Ergebnisse ähnlich.



Status des Detektionsvermögens des seismischen Überwachungssystems der CTBTO im Dezember 2004. In der Weltkarte sind farbkodiert alle Orte eingetragen, die von mindestens drei oder mehr Seismometerstationen überdeckt werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass die durch ein Dreieck markierten IMS-Stationen in der Lage sind, ein seismisches Ereignis, dessen Ladungsstärke etwa 1 kt herkömmlichen Sprengstoffs entspricht, bis zu einer Entfernung von 30° zu entdecken.



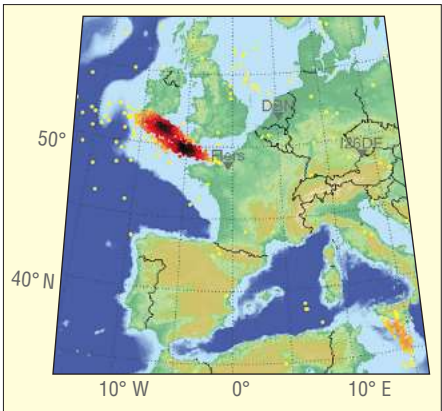
BGR – Kontrollinstitution für die Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens

An das internationale Datenzentrum (IDC – International Data Center) der CTBTO in Wien werden zwar alle Daten des internationalen Überwachungssystems über ein weltumspannendes Satellitensystem übermittelt, dort bearbeitet und aufbereitet, die Kontrolle der Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens liegt jedoch in den Händen der nationalen Datenzentren (NDCs – National Data Centers). Die BGR als deutsches NDC hat somit nicht nur die Verantwortung für die am internationalen Überwachungssystem (IMS) beteiligten deutschen seismischen und Infraschall-Stationen, sondern ist darüber hinaus gefordert, einen Verstoß gegen den Teststoppvertrag aufzudecken und nachzuweisen.

Zur Erfüllung dieser Aufgabe muss das NDC über die technische und wissenschaftliche Infrastruktur verfügen, Daten in geeigneter Form vom IDC abrufen, analysieren und bewerten zu können. Soweit es sich um die beiden Verifikationstechniken Hydroakustik und Radionuklide handelt, kann die BGR auf das Fachwissen der FWG (Forschungsanstalt der Bundeswehr für Wasserschall und Geophysik) und des BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) zurückgreifen. Bei Seismologie und Infraschall ist jedoch eigenes Know-how gefragt.

Die entsprechenden Fähigkeiten sind im Bereich Seismologie aufgrund langjähriger Erfahrungen bei der Analyse, Interpretation und Identifikation seismischer Messdaten von nationalen und internationalen Seismometerstationen vorhanden, auf dem Gebiet Infraschall musste dagegen Neuland beschritten werden.

Mit Beginn der Inbetriebnahme der ersten Infraschallstation IS26 (Stationskennung I26DE) im Jahre 2000 stellte sich das Problem, in den Messdaten akustische Signale zu entdecken, diese zu lokalisieren und zu identifizieren. In einem ersten Schritt wurden für diesen Zweck aus der Seismologie bekannte Verfahren genutzt. Es zeigte sich jedoch, dass deren Einsatz nur teilweise erfolgreich war. Dieser Erkenntnis zufolge wurden neue, den Erfordernissen von Infraschall besser angepasste Methoden gesucht. Nach umfangreichen Tests kristallisierte sich der PMCC-Algorithmus (Progressive MultiChannel Correlation) heraus, dessen wesentliche Stärke auf der Aufdeckung zusammenhängender Signalenergie in Abhängigkeit von deren Richtung und scheinbaren Geschwindigkeit beruht, wobei die Signalamplitude eine untergeordnete Rolle spielt.



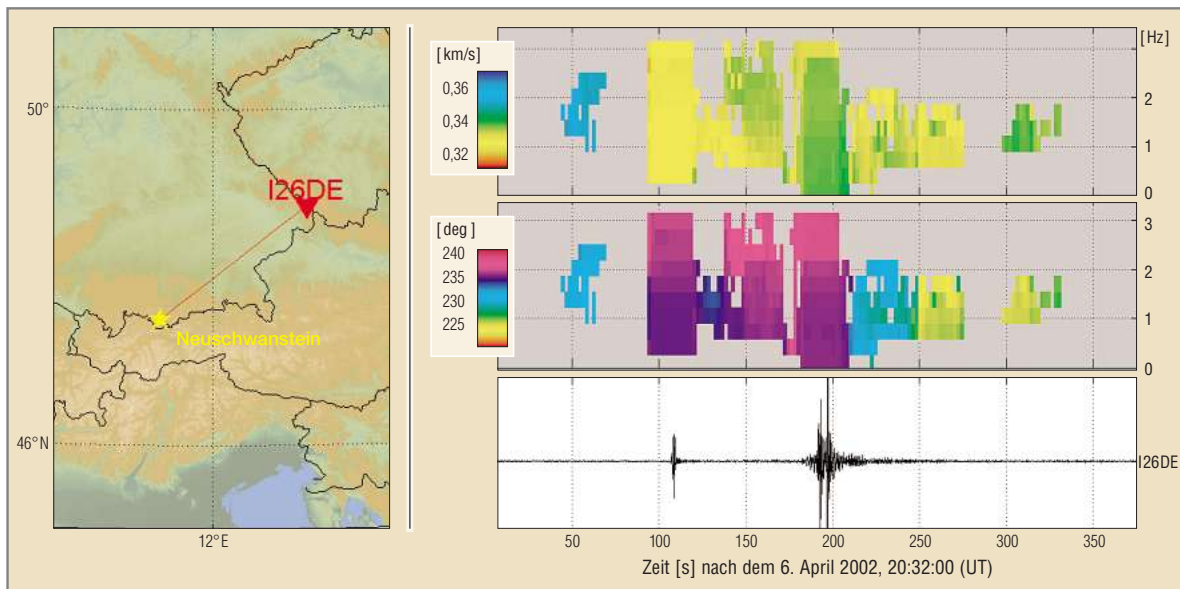
Lokalisierungsergebnis, entsprechend der relativen Häufigkeit von gelb über rot bis schwarz eingefärbt, von akustischen Quellen für den Zeitraum von September 2000 bis August 2004 mit Hilfe der Infraschallmessstationen I26DE (Deutschland), Flers (Frankreich) sowie DBN (Niederlande).

Sofern von mindestens zwei Infraschallarrays eine Ankunftsrichtung bekannt ist, kann die Quelle der akustischen Energie durch Kreuzpeilung ermittelt werden. Diese Möglichkeit besteht für IS26 jedoch nur in solchen Fällen, bei denen Infraschallmessanlagen in den Niederlanden oder Frankreich, die nicht zum IMS gehören, die Signale ebenfalls registriert haben. Zu den prominentesten Beispielen gehören dabei Aufzeichnungen vom Ätna oder der Concorde, die bei ihrem Flug nach Paris die Schallmauer durchbrach. Bei den übrigen Ereignissen handelt es sich bei den Quellen um Explosionsunglücke, wie z. B. in Toulouse 2001 oder in Brüssel 2004, Militärflugzeuge, Meteoriten, wie z. B. der Neuschwanstein-Meteorit, sowie um Erdgasverbrennungen auf Bohrinseln in der Nordsee.

Sofern keine Aufzeichnungen von weiteren Stationen vorliegen, ist die Lokalisierung der Signalquelle weit-

aus komplizierter, da eine Entfernungsbestimmung anhand der Differenzlaufzeiten von unterschiedlichen Laufwegen in der Atmosphäre betrachtet werden muss. Dies stellt hohe Anforderungen an das Lokalisierungsverfahren und geht weit über die Ableitung von Laufzeitkurven in der Seismologie hinaus, denn die Atmosphäre unterliegt starken tages- und jahreszeitlichen Variationen in der Phasen- und Windgeschwindigkeit, die wiederum wesentliche Veränderungen in den Signalformen hervorrufen. So ist trotz der Kenntnis eines globalen vierdimensionalen Atmosphärenmodells nicht notwendigerweise gewährleistet, dass mit nur einer Station eine Infraschallquelle geortet werden kann.

Mit den vorgestellten Analyseverfahren verfügt das deutsche NDC nunmehr über die erforderliche Infrastruktur, um Infraschall zur Verifikation des Kernwaffenteststoppabkommens zu nutzen.



Anwendung des Analyseverfahrens zur Auffindung kohärenter Energie am Beispiel des Neuschwanstein-Meteoriten vom 6. April 2004. Die Kartendarstellung links zeigt den Standort von I26DE (rotes Dreieck) sowie das Epizentrum der Fragmentation des Meteoriten (gelber Stern) in einer Entfernung von 260 km. Im rechten Bild ist neben dem Barogramm (unten) farblich die Zeit-Frequenzanalyse der Richtungsbestimmung (mittleres Diagramm) sowie die scheinbare Geschwindigkeit (oben) dargestellt.

Inbetriebnahme und



Zertifizierung von IS27 und AS035 in der Antarktis

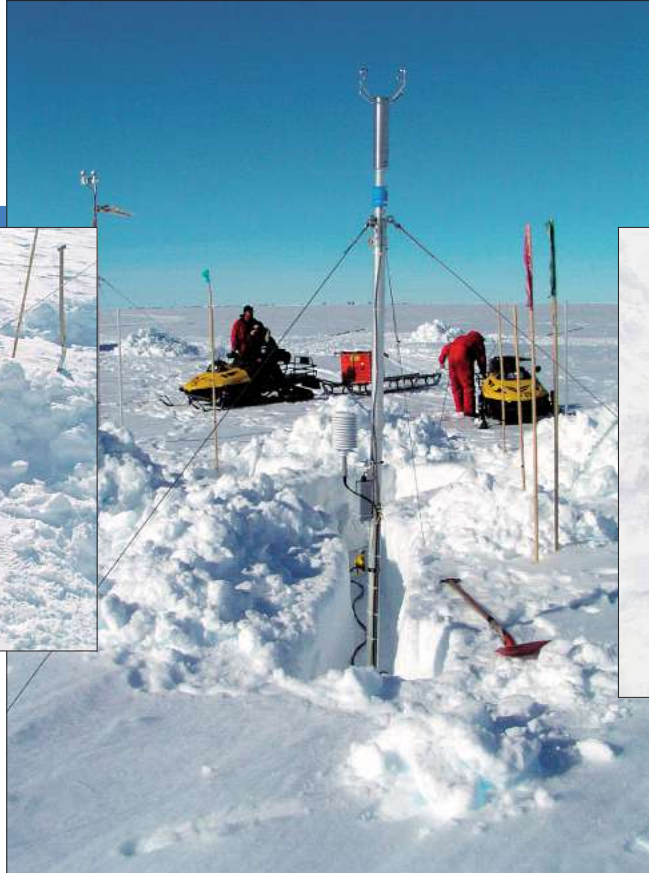


Der erste Schritt in das bis dahin unbekannte Terrain „Infraschall“ erfolgte im Jahre 1997 mit einer Standorterkundung im Bayerischen Wald für die unter der Bezeichnung IS26 im Kernwaffenteststoppvertrag aufgeführte Infraschallmessanlage. Diese Station, die im Jahre 2000 von der BGR in Betrieb genommen wurde, war gleichzeitig die erste Station des weltweiten IMS-Infraschallnetzes, die von der CTBTO zertifiziert wurde. Zertifizierung bedeutet nicht nur, dass ein umfangreiches Testprogramm erfolgreich absolviert

werden muss, sondern auch, dass die Station bereits über mehrere Monate hinweg mit einer Sicherheit von 98 % betrieben worden ist und der Nachweis für die weitere Erhaltung dieser hohen Betriebssicherheit erbracht werden kann. Weiter wird von IMS-Stationen gefordert, dass die Datenwerte von den Sensoren innerhalb von fünf Minuten über ein satellitenbasiertes Kommunikationssystem am IDC in Wien eintreffen.



Ausgraben einer von neun Infraschallstationen aus dem Eis nach einer Betriebszeit von einem Jahr und Neuinstallation an der Oberfläche.



Während bei Infraschallstationen in anderen Gebieten der Welt, zum Beispiel auch im Bayerischen Wald, der Einfluss des Windes durch dichte Vegetation weiter vermindert wird, kann dieser Effekt in antarktischen Gebieten durch Schneebedeckung erreicht werden. Das Windrauschen wird reduziert, ohne dass die Infraschallsignale wesentlich gedämpft werden. Zusätzlich wird durch den natürlichen Schneezutrag von durchschnittlich 60 cm pro Jahr eine homogene und immer dicker werdende Schneebedeckung erreicht. Dieser Schneezutrag macht es allerdings auch erforderlich, die Messstationen und Filtersysteme regelmäßig auszugraben und dicht unter der Oberfläche neu zu installieren.



Arbeiten an der Station AS035 während des Zertifizierungstests.

Neben technischen Aspekten hat die Zertifizierung auch wirtschaftliche Relevanz. Nach den Regeln der CTBTO werden Gelder, die für den Bau oder für technische Erweiterungen von einer Institution verauslagt werden, erst im Folgejahr nach der Zertifizierung erstattet. Die Devise „ohne Zertifizierung kein Geld“ ist zugleich Anreiz und Druckmittel, um möglichst schnell die Inbetriebnahme einer Station zu erreichen.

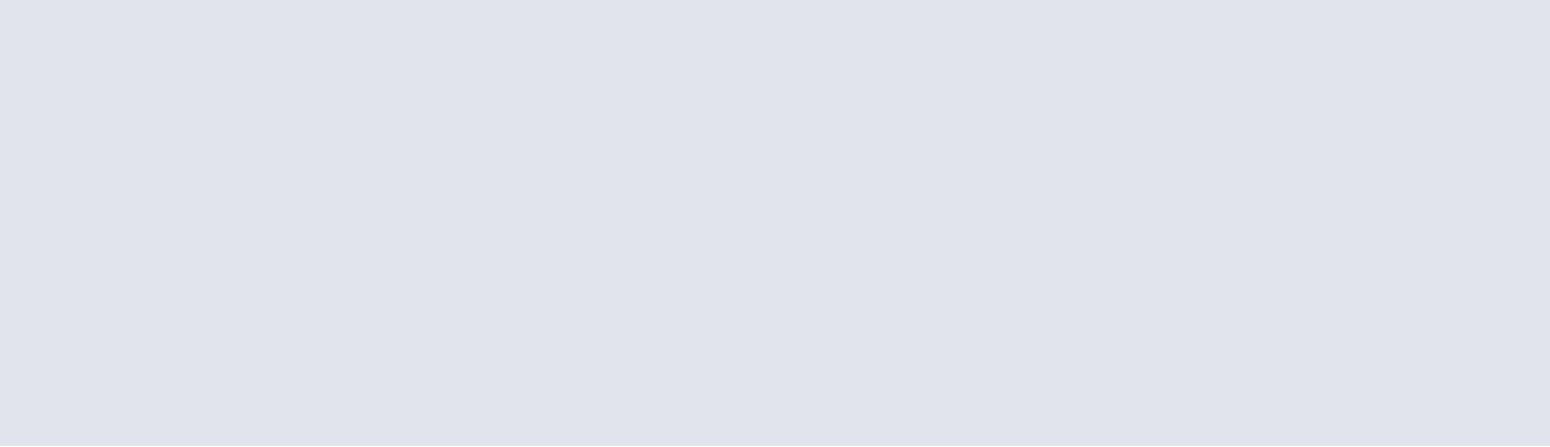
Der Aufbau und Betrieb eines Infraschallarrays in Deutschland bzw. in Bayern, unter Nutzung der bereits vorhandenen Infrastruktur des seismischen Arrays GERESS, erwies sich im Vergleich zu der Aufgabe, eine derartige Anlage in der Antarktis bei der Neumeyer-Forschungsstation zu installieren, geradezu als „Kinderspiel“. Die Arbeiten der Standorterkundung begannen im antarktischen Sommer 2000/2001. Die Installation war für 2002/2003 geplant.

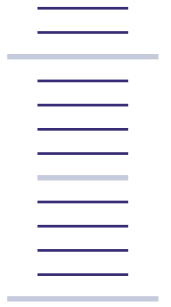
Um alle Unwägbarkeiten beim Aufbau der Anlage in der Antarktis so weit wie möglich auszuschließen, sollten die Stationen vor der Verschiffung in die Antarktis an der BGR komplett aufgebaut, getestet, wieder zerlegt und anschließend verpackt werden. Dieser Plan ließ sich wegen Verzögerungen bei der Lieferung der meisten Geräte jedoch nicht realisieren. Nahezu die gesamte Elektronik wurde in letzter Sekunde geliefert und die Geräte mussten unbesehen auf das Forschungsschiff Polarstern weitergeleitet werden. Nach Überprüfung der Geräte erwiesen sich die Befürchtungen als berechtigt. Mit viel Einsatz und Improvisation des Installationsteams gelang es, die Station bis zum Ende dieser Antarktisexpedition im Februar 2003 vollständig in Betrieb zu nehmen. Ein Jahr später bestand diese Anlage alle Zertifizierungstests.

Ähnlich umfangreiche Tests wurden bei derselben Antarktisexpedition an der technisch erweiterten seismischen Station AS035 mit der Kennung SNAA durchgeführt. Diese befindet sich an der Nordseite der südafrikanischen Forschungsstation SANAE IV, 200 km Luftlinie von der Neumeyer-Station entfernt. Die technischen Umrüstungsarbeiten wurden bereits im antarktischen Sommer 2002/2003 durchgeführt. Die offizielle Anerkennung als IMS-Stationen durch die CTBTO erfolgte für SNAA im Mai und für IS27 im Juni 2003. Damit hatte die BGR eine der grundlegenden, aus dem Kernwaffenteststoppvertrag resultierenden Verpflichtungen für die Bundesrepublik Deutschland erfüllt.



Standort der deutsch-südafrikanischen seismischen IMS-Station AS035 an der Forschungsbasis SANAE IV.





Geologische Schadensrisiken

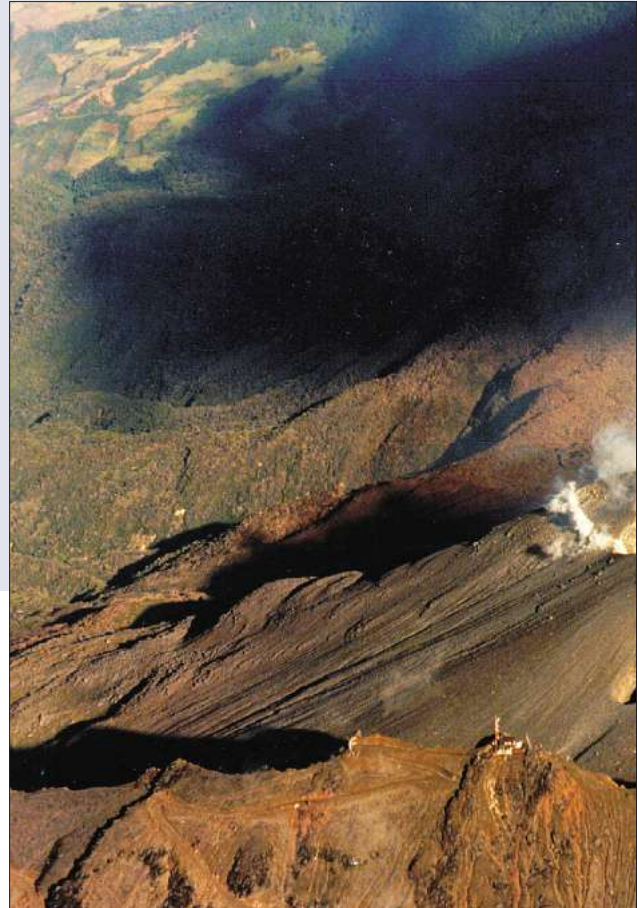
Geologische
Schadensrisiken

Geologische Schadensrisiken

Georisiko – ein unvorhersehbares Schicksal?

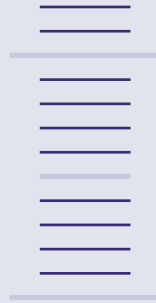
Die Weltbevölkerung wächst ständig weiter. Immer mehr Menschen leben in Regionen, die durch Naturkatastrophen gefährdet sind. Dazu gehören z. B. die meisten Küstenregionen der Erde, von Erdbeben gefährdete Hanglagen oder die Umgebung von Vulkanen. Neben Menschenleben ist zunehmend auch teure und oft lebenswichtige hochtechnische Infrastruktur gefährdet. Diese Naturkatastrophen lassen sich im Regelfall nicht verhindern. Durch vorbeugende Maßnahmen können aber viele Schäden oder deren Ausmaß gemindert werden.

In Bereichen, in denen geologische Vorgänge eine Gefährdung des Menschen und seiner Umwelt darstellen können, engagiert sich die BGR in der Erforschung der häufig vielschichtigen Zusammenhänge und arbeitet gezielt an Methoden zur Früherkennung geogener Gefährdungen. Damit schaffen die Arbeiten der BGR die Verbindung zwischen Grundlagenforschung und ihrer wirkungsvollen Anwendung zu Zwecken der Daseinsvorsorge und zum Schutz der menschlichen Lebensgrundlagen.





Monitoring von Schlammvulkanen in Aserbaidtschan



Schlammvulkane – das sind Vulkanberge aus getrocknetem Schlamm – werden von episodisch aus dem Untergrund aufsteigenden Schlammströmen aufgebaut, die in tief liegenden, undichten Erdöl-/Erdgasvorkommen ihren Ursprung finden. Schlammvulkane können wie Asche und Lava speiende, konventionelle Vulkane ausbrechen – dann ergießen sich aus ihnen Schlammströme, manchmal steigen auch Feuerfackeln auf. Diese Ausbrüche können für jede nahe gelegene Besiedlung oder Infrastruktur höchste Gefahr bedeuten. Aserbaidtschan verfügt über die höchste Dichte an Schlammvulkanen – über 400, von denen jährlich einige wenige ausbrechen.

Die aserbaidtschanischen Schlammvulkane sitzen einem ultratiefen Sedimentbecken auf, das sich während der Schließung des vormaligen, zwischen Afrika und Eurasien gelegenen Thethys-Meeres gebildet hatte. Die Beckenbildung erfolgte so rasch, dass sich Sedimentschichten selbst in größeren Tiefen zum Teil noch nicht ausreichend verfestigen konnten. Sie werden daher hin und wieder mobilisiert und steigen entlang Störungszonen zur Erdoberfläche in

Schlammströmen auf, und bilden dort Schlammvulkane. Im Schlammaufstiegskanal können auch beträchtliche Mengen an brennbaren Gasen (zumeist Methan) aufsteigen, die während eines Ausbruchs durch Selbstzündung zehner Meter hohe Feuerfackeln verursachen, während hunderttausende von Kubikmetern an Schlamm aus dem Vulkan herausquellen.



Brennendes Gas.

Eruptionen erfolgen zumeist ohne Vorwarnung. Um eine bessere Vorstellung zu entwickeln, welche Mechanismen entlang des Aufstiegswegs eine Rolle spielen und welche Warnsignale vor Ausbrüchen auftreten – sei es zum Beispiel eine Änderung in der Gaschemie oder eine Änderung in der Gasaustrittsrate – betreibt die BGR gemeinsam mit der Azerbaijan National Academy of Sciences in Baku seit Ende 2003 ein Monitoring-Programm auf Schlammvulkanen. Inzwischen wird der Methanausstoß an zwei Schlammvulkanen, auf dem Dashgil und auf dem Perikushkul, ständig gemessen. Neben Methan wird am Dashgil auch der Radonausstoß beobachtet. Erste Messergebnisse deuten auf periodisch sich ändernde Gasaustrittsraten, im Tagesrhythmus wie auch im monatlichen Rhythmus. Wir erhoffen uns, im Laufe der Zeit Daten bis unmittelbar vor einem zukünftigen Ausbruch zu gewinnen. Langfristig streben wir an, eine Methodik zu entwickeln, um an gefährdeten

Standorten ein System einzurichten, das die Bevölkerung rechtzeitig vor gewaltsamen Schlammvulkanausbrüchen warnt.



Die BGR-Monitoring-Station auf dem Dashgil-Schlammvulkan fängt auf einem See aufsteigendes Gas ein und misst u. a. die zeitlichen Variationen der Gasaufrate aus dem Untergrund.



Aktuelle Ergebnisse zum **Ausbruch** des **Galeras** im August 2004

Der ca. 4300 m hohe Galeras in Südkolumbien ist einer der gefährlichsten Vulkane der südamerikanischen Andenkette – mit wiederholten Eruptionen auch in der jüngsten Vergangenheit. Er stellt eine potenzielle Gefahr für die mehr als 300 000 Einwohner der nahe gelegenen Stadt Pasto dar. Um die Vorgänge im Inneren des Vulkans zu erforschen, betreibt die BGR gemeinsam mit ihren Partnern vom kolumbianischen Geologischen Dienst (INGEOMINAS) eine Multiparameter-Station in dessen Caldera. Mit ihr werden gemeinsam seismische und elektromagnetische Signale, Gaskonzentrationen von Fumarolen, deren Temperaturen und der jeweilige Druck gemessen. Mit einer Thermokamera wurde mehrfach die Temperaturverteilung an der Oberfläche des Caldera-Bereichs vom Hubschrauber aus registriert. Aus dem zeitlichen Verlauf der Daten werden Rückschlüsse auf den Aktivitätszustand des Galeras abgeleitet.

Die Instrumente der Multiparameterstation haben ab Juli 2004 eine erhöhte Erschütterungs-Aktivität (Seismizität) angezeigt und somit auf einen erhöhten allgemeinen Aktivitätszustand des Vulkans hingewiesen. Viele Tage vor Beginn der ersten Eruptionen hat sich die Zusammensetzung der Fumarolengase geändert und kurz vor dem ersten Ausbruch die Temperaturen der Fumarolen. Am 16. Juli des Jahres 2004 erhöhte sich die Aktivität des Vulkans stark, erste Asche- und Dampferuptionen wurden beobachtet. Die Aschewolken haben sich bis nach Quito, der Hauptstadt Equadors, ausgebreitet, stellten aber in erster Linie eine Gefahr für die dicht am Vulkan lebende Bevölkerung dar. Die Eruptionen waren begleitet von dem Ausstoß von Gesteinsbrocken, die bis in einige Kilometer Entfernung ausgeschleudert wurden.

Im Zuge dieses Projektes ist es gelungen, mehr über charakteristische Signale eines Vulkans vor einem drohenden Ausbruch zu lernen und gleichzeitig in einem frühen Stadium die Verantwortlichen auf ein drohendes Georisiko hinzuweisen.

Während der Eruptionen wurden die zur Energieversorgung der Multiparameter-Station vorhandenen Solarzellen mit Asche bedeckt und fielen somit zur Stromversorgung aus. Die weiteren Änderungen der Gaszusammensetzung und der Fumarolentemperaturen konnten danach nur im Ansatz registriert werden. Die Aktivität des Vulkans mit Dampf-, Asche- und Gesteinsausstößen hält zurzeit weiter an. Der Kraterbereich kann aus Sicherheitsgründen derzeit nicht betreten werden, wodurch sich eine Überprüfung, die eventuelle Reparatur und die Wiederinbetriebnahme der Messgeräte bisher verzögern.

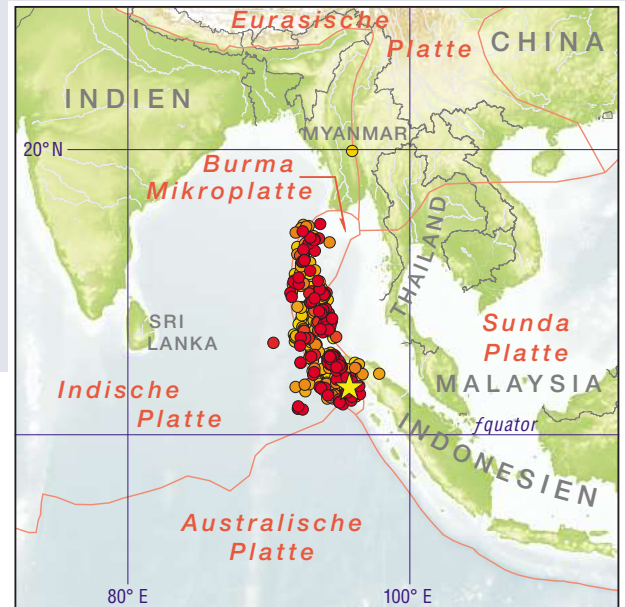


Installierte BGR-Messinstrumente an einer Fumarole des Galeras.

Streiflicht Seebeben Südasien

Seit dem 26. Dezember 2004 weiß die ganze Welt, was ein Tsunami ist, seit an diesem Tag ein schweres Seebeben der Magnitude 9 vor der Insel Sumatra eine riesige Flutwelle, einen Tsunami, erzeugte, der entlang der Küsten Indiens, Thailands, Malaysias, Indonesiens sowie Sri Lankas und den Malediven ungezählte Todesopfer forderte und schwere Verwüstungen verursachte. Selbst die afrikanische Küste der Staaten Somalia und Kenia waren von den Ausläufern des Tsunamis betroffen. Mehr als 300 000 Menschen sind ums Leben gekommen und mehrere Millionen obdachlos geworden. Am stärksten betroffen sind die Ostküste Sri Lankas, die westthailändische Ferienregion um Phuket und die im Norden der indonesischen Insel Sumatra gelegene Region Aceh.

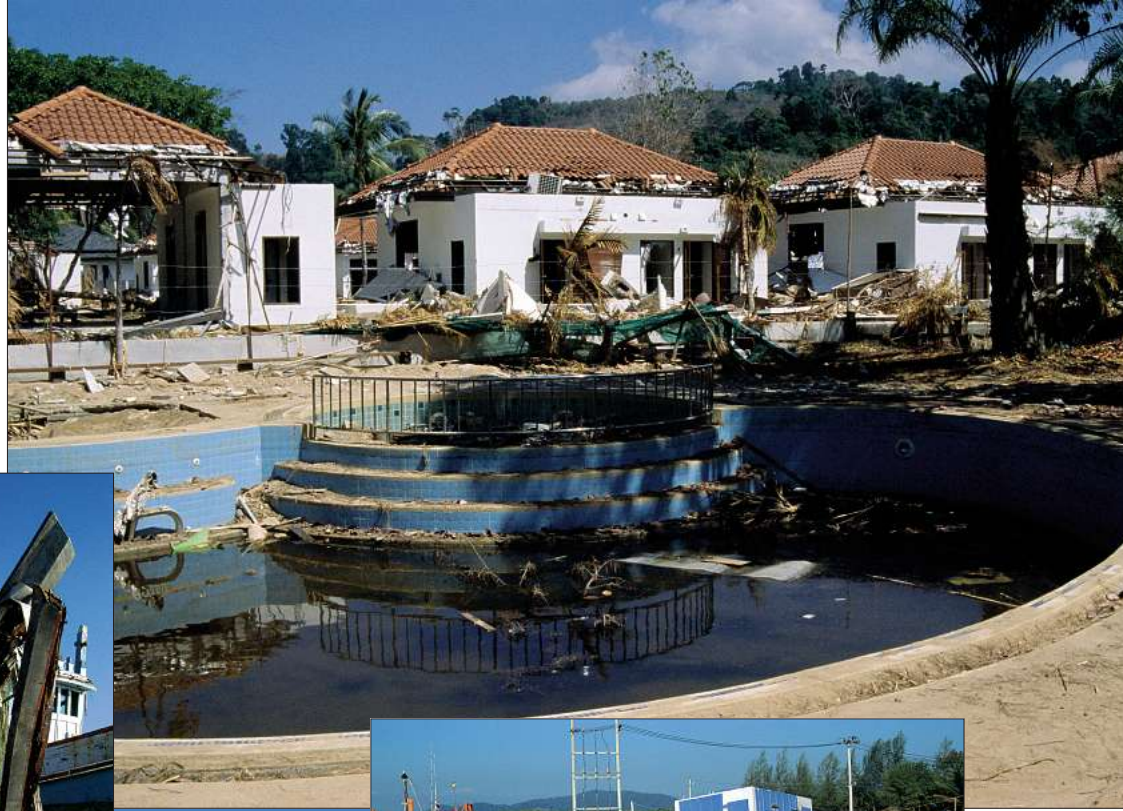
Das Hauptbeben (Stern in der Karte oben) ereignete sich vor der Nordspitze von Sumatra, ca. 250 km südsüdöstlich von Banda Aceh. Dort taucht die Indo-Australische Platte unter die im Nordosten gelegene Sunda-Platte und die Burma-Mikroplatte mit einer Geschwindigkeit von etwa 5 cm pro Jahr ab. Bei dieser Bewegung können sich die Platten miteinander verhaken, Spannung baut sich auf. Erdbeben sind die Folge, wenn die Bruchfestigkeit des Gesteins überschritten ist und die Platten sich ruckartig voneinander lösen.



Bei einem Starkbeben wie am 26. Dezember 2004 besteht die Bruchzone meist aus mehreren Bruchflächen, die kaskadisch aktiviert werden. In der Karte sind die mehr als 100 Nachbeben mit einer Magnitude größer 5,0 dargestellt, die sich entlang einer 1 000 km langen, in Süd-Nord-Richtung verlaufenden Bruchfläche aufreihen.

Die Länge des Bruchs ist anhand der Registrierung der so genannten Ersteinsätze an den mehr als 9 000 km vom Epizentrum entfernten Stationen des Deutschen Seismologischen Regionalnetzes GRSN (German Regional Seismological Network) einwandfrei nachvollzogen worden. Die bei diesem Ereignis, einem der weltweit stärksten Beben überhaupt, freigesetzte Energie hat auch in Deutschland Bodenbewegungen von einigen Zentimetern ausgelöst.





Dank der Langsamkeit der Bodenbewegung konnte sie nicht verspürt werden und keine Schäden verursachen. Derart große Amplituden werden durch Oberflächenwellen hervorgerufen, die im Gegensatz zu Raumwellen nicht durch die Erde sondern wesentlich langsamer (mit etwa 3,7 km/s) an der Oberfläche laufen und bei diesem Beben mehrmals um die Erde gelaufen sind.

Ein Tsunami (japanisch: große Hafenwelle, lange Woge) wird durch ein starkes oberflächennahes Seebeben (Magnitude größer 7, Tiefe kleiner 10 km), einen Vulkanausbruch oder durch unterseeische Hangrutschungen angeregt. Der Tsunami breitet sich an der Wasseroberfläche nahezu konzentrisch von seinem Epizentrum aus, wobei die gesamte Wassersäule von der Meeresoberfläche bis zum Meeresboden bewegt wird, bis er auf die Küste trifft. Dort läuft er, ähnlich wie Brandungswellen, zu großer Höhe auf. Die größten bisher beobachteten Wellen erreichten dabei eine Höhe von 30 m. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wogen hängt wesentlich von der Wassertiefe ab.

Bei einer mittleren Tiefe von 5 km liegt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen bei ca. 220 m/s (800 km/h), hierbei beträgt die Wellenlänge bis zu 200 km. Die extrem großen Wellenlängen sowie die geringen Amplituden auf hoher See (im Bereich von 1 m) erklären auch, weshalb Tsunamis dort von Schiffen aus nicht wahrgenommen werden.

Neben Japan und den Inseln der Südsee gehören Hawaii und Teile der Pazifikküste Nord- und Südamerikas zu den durch Tsunamis am stärksten gefährdeten Gebieten. Dies wird in der Karte (auf der folgenden Seite) anhand der globalen Verteilung der Erdbeben deutlich, die Tsunamis hervorgerufen haben. Wegen der weitaus höheren Anzahl an Tsunamis im Pazifischen Raum wurde dort ein Frühwarnsystem eingerichtet. Im Indischen Ozean, wo es weitaus seltener zu Tsunamis kam, existiert bislang ein derartiges System nicht, übrigens auch nicht für den Atlantik und das Mittelmeer.

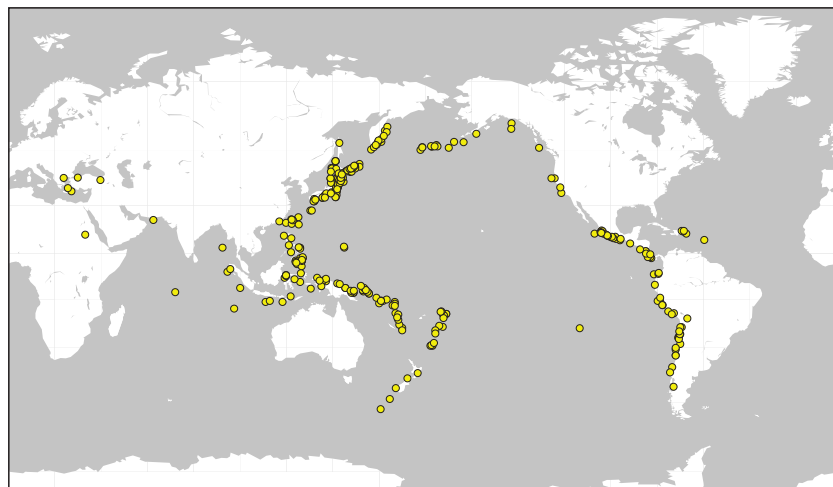
Georisiken Indonesien

Erdbeben, Überschwemmungen, Vulkanausbrüche, Hangrutschungen und Tsunamis sind Naturbedrohungen, die sich in Indonesien fast täglich ereignen und jedes Jahr eine große Anzahl von Personen- und Sachschäden zur Folge haben. Sie stellen eine ernste und stetige Bedrohung für die Bewohner dar, bewirken jährlich erhebliche wirtschaftliche Verluste und beeinträchtigen soziale und wirtschaftliche Aktivitäten im ganzen Land. Allein im Jahre 2003 ereigneten sich in Indonesien um die 500 Naturkatastrophen, in deren Folge 800 Menschen starben, 4 500 verletzt wurden und nahezu 500 000 ihr Obdach verloren.

Die meisten dieser Katastrophen haben eines gemeinsam: Sie ereignen sich normalerweise plötzlich und unerwartet. Aber treten Katastrophen wirklich unerwartet ein? Und kann die Bevölkerung in den betroffenen Regionen aktiv vorbeugende Maßnahmen ergreifen, um die Risiken zu vermeiden oder wenigstens zu reduzieren?



Als Folge der Erkenntnis, dass eine Reduzierung der Folgen von Naturkatastrophen ein zwingendes gesellschaftliches und wirtschaftliches Gebot ist, hat sich die indonesische Regierung mit der Bitte um Technische Zusammenarbeit an Deutschland gewandt. Seit 2003 wird Indonesien durch das deutsch-indonesische Kooperationsprojekt „Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen von Georisiken“ (Mitigation of Georisks, GEORISK) unterstützt. Das Projekt wird in Kooperation mit der Generaldirektion für Geologie und Rohstoffe (Directorate General of Geology and Mineral Resources, DGGMR), ihren Direktionen für Geologie und Bergbauumwelt (Directorates for Geological and Mining Area Environment, DGMAE) und



Weltkarte mit den 299 Beben, die Tsunamis hervorgerufen haben, für den Zeitraum von 1900 bis 2004 (Quelle: NOA). Der größte Teil der Beben ereignete sich im Pazifischen Raum.



der Direktion für Vulkanologie und dem Management geologischer Katastropheneignisse (Directorate for Volcanology and Geological Hazard Mitigation, DVGHM) in Bandung, West Java, durchgeführt. Das Projekt ist wesentlicher Bestandteil des deutsch-indonesischen Projektes der Technischen Zusammenarbeit „Zivilgesellschaft und interkommunale Zusammenarbeit für verbesserte städtische Dienstleistungen und Qualität“, welches von der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) und dem indonesischen Innenministerium durchgeführt wird. Innerhalb dieses Projektes fördern die beiden Regierungen gemeinsam die Zusammenarbeit zwischen nichtstaatlichen Interessengruppen und den örtlichen Regierungsstellen mit dem Ziel einer effizienteren Stadt- und Distriktverwaltung.

Durch die beiden Projektsegmente „Qualifizierte Stadtentwicklung“ und „Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen von Georisiken“ wird die Effizienz ausgewählter örtlicher Verwaltungen in Ostjava und auf den Inseln Lombok und Flores in folgenden Bereichen gefördert:

- Beratung lokaler Stadt- und Distriktverwaltungen sowie privater Interessengruppen im Sinne eines aktiven Katastrophenmanagements,
- Stärkung der Beratungskompetenz der Partnerbehörden bei der Analyse und Bewertung der Ursachen und Auswirkungen von Naturkatastrophen und der Fähigkeit der Gesellschaft im Umgang mit bekannten Gefahren,
- die Zusammenstellung von Richtlinien für ein Naturkatastrophenmanagement als Basis für einen landesweiten Gesetzesrahmen für örtliche Entscheidungsträger.

Beratungen wurden in den Verwaltungsdistrikten Sikka (Projektstadt Maumere) und Ende (Ende Stadt) auf der Insel Flores durchgeführt. Dort hatte eine Gerölllawine nördlich der Stadt Ende im April 2003 mehr als 30 Menschen getötet.

Für den Distrikt Sikka wurde eine Abschätzung der Gefährdung durch Naturkatastrophen durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurden Empfehlungen erarbeitet, die Planer und politische Entscheidungsträger in die Lage versetzen, das lokale Georisikopotenzial in die Stadtplanung einzubeziehen. Besonders die Stadt Maumere weist ein hohes, durch Tsunamis hervorgerufenes Überflutungsrisiko auf und ist starken Bodenbewegungen durch Erdbeben ausgesetzt. Deshalb erfordert eine verantwortungsvolle Stadtplanung eine Änderung der Planungskonzepte: Das Küstengebiet, in dem sich große Teile des Stadtgebietes befinden,

sollte frei von strategischen Gebäuden sein. Zusätzlich braucht die Stadt eine zweite sichere Zufahrtsstraße zum Flughafen, da die bereits existierende Straße in der drei Meter hohen Tidenzone liegt. Würde die Straße durch einen Tsunami zerstört, wäre die Stadt von Nothilfmaßnahmen abgeschnitten. Auf der Grundlage dieser Erkenntnis wurde der Stadtverwaltung der Bau einer zweiten Zufahrtsstraße empfohlen. Die Stadtverwaltung stellte als Folge die erforderlichen Finanzmittel zum Bau der Straße in den Haushalt ein. Weiterhin wurde in einer Doktorarbeit der Universität Göttingen unter der Leitung des Projektes „Georisiken“ das Gefahrenpotenzial dieses Gebietes durch Tsunamis untersucht.

Die Vulkane Egon, Iya und Kelimutu auf Flores wurden kartiert und ihr Gefahrenpotenzial abgeschätzt. Die Gefahrenkarte für den Vulkan Egon war gerade fertig gestellt, als der Vulkan ausbrach und daraufhin 5 000 Personen evakuiert werden mussten. Weiterhin wurde deutlich, dass ein eventueller Ausbruch des Vulkans Iya in Richtung Meer erfolgen würde, wobei ungefähr 70 Mio. m³ vulkanischen Materials produziert werden könnten. Da die Stadt Ende in genau entgegen gesetzter Richtung liegt, ist eine direkte Bedrohung der Stadt durch Lava, Lahars und pyroklastische Ströme eher unwahrscheinlich; auch wenn ein geringes Risiko durch vulkanische Aschen für die Stadt nicht ausgeschlossen werden kann. Mit großer Wahrscheinlichkeit aber würde ein solcher Vulkanausbruch einen Tsunami auslösen. Dieser könnte die östliche und westliche Küstenlinie der Stadt bis zu einer Höhe von 3 m überfluten und dadurch strategische Infrastrukturgebäude wie den Flughafen (er wurde bereits einmal überflutet), die zentralen Brennstofftanks und eines der dort vorhandenen Elektrizitätswerke beschädigen.

Die Stadt Semarang ist schon lange für ihre beträchtlichen Landsenkungen bekannt, die in erster Linie für das Zentrum des Hafengebiets, die benachbarten Industriegebiete sowie den Bahnhof problematisch sind. DGMAE führte geodätische Untersuchungen durch, die im Ergebnis zu präzisen Subsidenzraten führten. Auf der Basis dieser Subsidenzraten wurden zwei Subsidenzscenario berechnet: eines für das Jahr 2008 und eines für 2013. Derzeit befinden sich 1500 Häuser mit 8 000 Bewohnern ständig auf oder unter Meeresspiegelhöhe. Im Jahr 2008 werden sich diese Zahlen auf 5 000 Häuser und 25 000 Personen erhöhen und im Jahr 2013 werden mehr als 20 000 Häuser mit ungefähr 65 000 Personen in diesem Gebiet zu erwarten sein.

Die Projektaktivitäten in der Stadt Yogyakarta konzentrieren sich auf eine Erhöhung des Risikobewusstseins der Bevölkerung für die Auswirkungen von Naturkatastrophen. Die Stadt wird von dem bekannten Vulkan Merapi und den von ihm ausgehenden sekundären und tertiären Gefahren dominiert. Da bereits eine große Anzahl von Risikountersuchungen durchgeführt wurde, konzentriert sich das Georisikoprojekt auf das Katastrophenmanagement in den Gemeinden. Gemeinsam mit den Vertretern örtlicher Behörden und privaten Interessengruppen wurde auf der Basis einer eigens dafür entwickelten Reihe von Risikoindikatoren eine auf die Gemeinde bezogene Risikoabschätzung durchgeführt. Im Laufe der Zeit werden diese Indikatoren Informationen über ein abnehmendes oder zunehmendes Katastrophenrisiko liefern und können dann ein Überwachungswerkzeug für eine effektive Verminderung von Georisiken und den Umgang der Bevölkerung mit diesen Bedrohungen darstellen.

Zur Stärkung der Beratungskompetenz der indonesischen Generaldirektion wurde im Rahmen des Georisikoprojektes ein Datenbankkonzept umgesetzt, um alle im Lande verfügbaren Informationen aller gegenwärtigen und vergangenen Risiken in einem einheitlichen Erfassungs- und Bewertungsschema zu sammeln. Die Datenbank umfasst zurzeit die Naturkatastropheneignisse der letzten zehn Jahre und spiegelt bereits ein

verwertbares Abbild der regionalen Variationen aller im Lande vorkommenden Naturgefahren wider. Die Datenbank liefert verlässliche Informationen für eine bessere Vorhersage von Naturkatastrophen und ihren Auswirkungen. Das Projekt kooperiert eng mit der Nationalen Naturkatastrophenschutzbehörde (National Secretariat for Natural Disaster Management, BAKORNAS PBP), dem Gesundheitsministerium und der Nationalen Erdbebenwarte (Meteorological and Geophysical Agency, BMG), um deren separate Datenbanken in einer nationalen Datenbank zu integrieren.

Im Rahmen dieses Projektes wurde auch eine Methode zur ökonomischen Risikobewertung für die Stadt Semarang erarbeitet. Es besteht international die Übereinkunft, dass die unterschiedlichen Typen von Naturkatastrophen nur auf der Basis ihrer wirtschaftlichen Verluste verglichen werden können. Nur bei Betrachtung der wirtschaftlichen Verluste als geldwerte Einbußen können die politischen Entscheidungsträger den Wert von Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen von Georisiken ermessen. In die Verlustabschätzungen gehen Informationen über die Wohnsituation und Bevölkerungsdichte ein. Zusätzlich werden Daten über Einkommen aus industrieller oder landwirtschaftlicher Produktion sowie über den Wert öffentlicher und privater Infrastruktureinrichtungen integriert.



Geoumwelt- und Ressourcenschutz

oumwelt
essource

Geoumwelt- und Ressourcenschutz

Arbeiten für die **Umwelt** – Geoumwelt- und Ressourcenschutz

Zum Schutz der Umwelt wollen wir alle beitragen – und eine vernünftige Nutzung der Ressourcen sollte doch wohl selbstverständlich sein!

Was ist der Beitrag der BGR dazu?

Umweltgeochemie ist ein interdisziplinäres Forschungsgebiet, in dem das Verhalten von Stoffen in der Umwelt untersucht wird. Damit werden diejenigen Vorgänge untersucht, die organische oder anorganische, biotische oder abiotische, vom Menschen geschaffene oder in der Natur entstandene Stoffe verändern oder die diese Stoffe selber auszulösen vermögen.

Das Erkennen und Verstehen solcher Vorgänge ist sowohl im Rahmen des Geoumweltschutzes als auch des Ressourcenschutzes wichtig, um rechtzeitig Beeinträchtigungen der Umwelt erkennen und umweltschonende Verfahren zur nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen vorschlagen zu können, besonders auch für die Umweltpolitik und die Umweltgesetzgebung.

Fragestellungen in diesem Aufgabengebiet bearbeiten wir in enger Zusammenarbeit mit unseren Partnern an Universitäten, Forschungseinrichtungen, staatlichen geologischen Diensten und der Industrie, um kurzfristig auf ein vielseitiges, aktuelles und spezielles Wissen zurückgreifen und dieses Wissen anwenden zu können.





Unsere aktuellen Schwerpunkte liegen bei

- der Erkennung von Ölkontaminationen,
- der in-situ-Langzeitüberwachung von Altlasten
- und der Beschreibung von geochemisch und mikrobiologisch beeinflussten Stoffumsetzungen in Bergbaualtlasten.



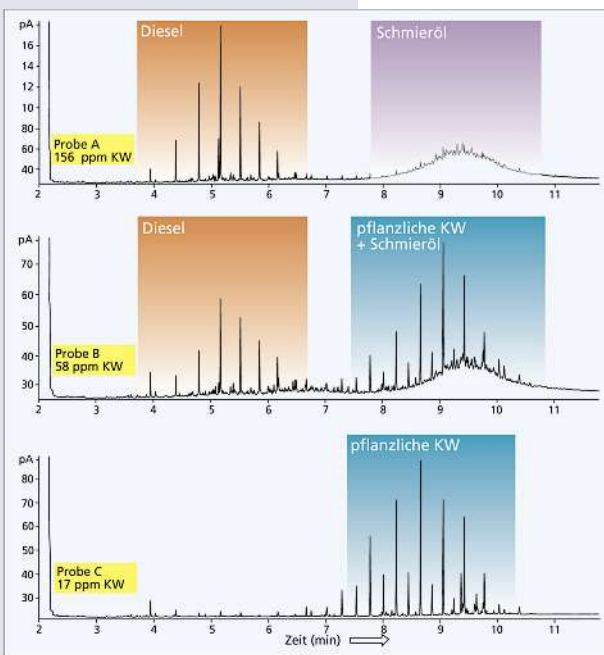
Nachweis von Kohlenwasserstoff-Verseuchung im Boden – Einsatz der Hyperspektralfernerkundung

Während die Erkennung von Ölverunreinigungen in Meeresgebieten heute mit Hilfe von Radarmessungen vom Flugzeug und Satelliten aus sicher möglich ist, gab es für das weitaus schwierigere Problem, ölkontaminierte Böden aus der Luft zu erkennen, bisher keine zuverlässige Methode.

Im Rahmen unserer Untersuchungen wurden ölverseuchte Böden simuliert, die durch eine künstliche Mischung aus Bodenmaterial und Öl hergestellt wurden. Diese Versuchsfelder wurden aus der Luft mit einem HyMap-Hyperspektralscanner aufgenommen. Anschließend wurden die gewonnenen Daten analysiert. Die Auswertung erbrachte erstmalig den Nachweis, dass das 1,73 µm-Kohlenwasserstoff-Absorptionsmerkmal für elektromagnetische Strahlung zur Direkterkennung von Ölverunreinigungen in Böden geeignet ist.

Es wurde eine Rechenformel (Hydrocarbon Index Formel = HI) entwickelt und für den flugzeuggestützten Direktnachweis von Ölkontaminationen in Böden erfolgreich erprobt. Die Eignung des Ansatzes wurde durch weitere Tests im Auftrag der Ölindustrie bestätigt.

Zur genaueren Identifizierung der vorliegenden Kohlenwasserstoffarten (Dieselöl und ähnliche Flüssigkeiten) ist eine Bodenkontrolle notwendig. Mineralölverunreinigungen, ob diesel- oder schmierölbürtig, lassen sich durch eine spezielle Untersuchung – die Gaschromatographie – von Bodenextrakten von natürlich entstandenen, pflanzenbürtigen Kohlenwasserstoffen anhand des Verteilungsmusters der normal-Alkane, das sind „Paraffine“, unverzweigte Moleküle, unterscheiden. Mineralölkohlenwasserstoffe weisen eine ausgeglichene n-Alkanverteilungskurve aus, bzw. im Gaschromatogramm tritt ein nichtaufgelöster Untergrund (sog. „hump“) auf. n-Alkane aus der Wachsschicht höherer Pflanzen, die häufig in Böden und Sedimenten konserviert werden, zeichnen sich dagegen durch eine ausgeprägte Bevorzugung der ungeradzahigen Moleküle aus. Damit liefert die Gaschromatographie mit dem Flammen-Ionisations-Detektor – GC-FID-Methode – gegenüber der früher angewandten Infrarotspektalanalyse, die auf der Auswertung von Molekül-Schwingungen im Infrarot-Spektrum beruht, deutlich genauere Informationen.



Verteilungsmuster (Gaschromatogramm) der normal-Alkane.



Untersuchungen von **Deponien** und **Altlasten** – Umweltschutz in **Thailand**



*Mülldeponie Mae Hia'
unweit der Stadt
Chiang Mai, die aufgrund
von befürchteter Grund-
wasserverschmutzung
geschlossen wurde.*

Von 1996 bis Ende 2004 führte die BGR das TZ-Vorhaben „Umweltgeologie für Regionalplanung“ zusammen mit dem Department of Mineral Resources (DMR) in Thailand durch. Ziel war es, die nachhaltige Nutzung der geologischen Ressourcen in schnell wachsenden Regionen Thailands durch Bereitstellung umweltrelevanter Geoinformationen für Regionalplaner zu unterstützen. Dies betrifft Gebiete im Umfeld städtischer Ballungszentren mit einer hohen Ausbeutungsrate der geologischen Ressourcen und konkurrierenden Ansprüchen an die Nutzung des verfügbaren Landes.

Der deutsche Beitrag bestand darin, Fachkräfte des DMR durch praxisbezogene und problemspezifische Aus- und Fortbildung in den Sektoren Grundwasserschutz, Abfalllagerung, nichtmetallische Rohstoffe / oberflächennahe Baurohstoffe, Ingenieurgeologie, Bodenschutz, Fernerkundung, Geographisches Informationssystem (GIS) und Datenbankmanagement zu qualifizieren.

Für die Pilotgebiete Chiang Mai (Phase I: 1996 – 1999) und Surat Thani (Phase II: 2000 – 2001) wurden dabei umweltrelevante Geoinformationen in thematischen Karten (1 : 100 000) der oben genannten Themenbereiche dargestellt. Das Projekt lief mit dem Abschluss der Nachbetreuungsphase (Projektgebiet Nakhon Ratchasima mit Schwerpunkt Grundwasser- und Bodenversalzung) im Dezember 2004 aus.

Als Ergebnis der Projektaktivitäten kann festgehalten werden, dass ausgehend von den vermittelten Kenntnissen und Erfahrungen das DMR mittlerweile landesweit die Erstellung von Karten der Georisiken und Umweltgeologie für die Regionalplanung als Daueraufgabe selbstständig durchführt und der Bereich Umweltgeologie im DMR personell und finanziell deutlich gestärkt wurde.

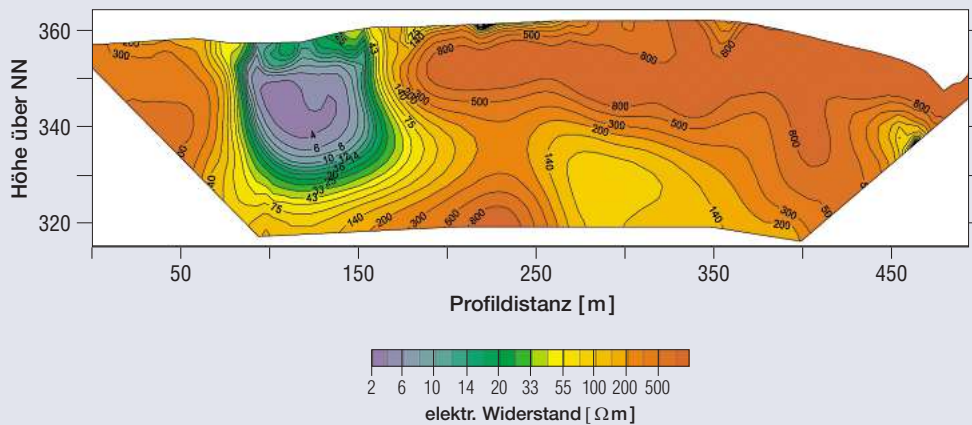
In einem zweiten – vom TZ-Projekt unabhängigen – Abkommen zwischen BGR und DMR wurde die Problematik der geologischen Barriere von städtischen

Mülldeponien aufgegriffen und durch systematische Standortuntersuchungen vertieft. Das vom BMBF (Projekträger Wasser und Entsorgung, Karlsruhe) geförderte Forschungsprojekt WADIS (Investigation of Waste Disposal Sites) hat zum Ziel, das in Deutschland bereits seit 1994 verbindliche Multibarrieren-System mittelfristig auch in Thailand zu etablieren und spezifische Handlungsempfehlungen für die zur Evaluierung der geologischen Barriere geeigneten Untersuchungsmethoden zu entwickeln. Unter Federführung der BGR kooperieren im Verbund mit thailändischen Partnern die Brandenburgische Technische Universität Cottbus und die Firmen Geophysikalische Dienste GGD Leipzig, Boden-Grundwasser Dresden und Hansa Luftbild Münster.

Die Auswertung der Feldarbeiten wurde in 2004 abgeschlossen, die Ergebnisse werden in 2005 einem Interessentenkreis aus Behörden, Universitäten und Ingenieursgremien durch Publikationen und durch ein Arbeitsseminar vermittelt. Die Kooperation zwischen deutschen und thailändischen Behörden und Firmen begünstigt die Länder übergreifende Verbreitung deutscher Umweltstandards und erhöht die Chance für die deutsche Wirtschaft, sich an zukünftigen Ausschreibungen für Deponieplanungen zu beteiligen.

Im Raum Chiang Mai wurden exemplarisch mittels einer breiten Palette geophysikalischer und hydrogeologischer Verfahren an zwei aufgelassenen Deponiestandorten die Schutzeigenschaften der geologischen Barrieren untersucht und das Gefährdungspotenzial evaluiert. In einem weiteren Beispiel im Khorat Plateau wurde aus mehreren für eine geplante Deponie zur Auswahl stehenden Standorten der aus geowissenschaftlicher Sicht am besten geeignete ermittelt.

Vertikalschnitt des elektrischen Widerstandes durch eine in einem ehemaligen Baustoff-Abbau angelegte Deponie. Der scharf begrenzte Kontrast zwischen dem elektrisch gut leitenden Deponieinhalt und dem schlecht leitenden Umgebungsgestein (sehr trockene, tonreiche kolluviale Sedimente) belegt an dieser Stelle die Wirksamkeit der geologischen Barriere gegen die Ausbreitung von Kontamination in den ca. 15 m tiefer gelegenen Grundwasserhorizont.



Umweltgefährdung durch Bergbauhalden in Botswana



Aufbringen von Aufbereitungsrückständen auf die Berghalde, im Hintergrund sind Erzaufbereitungsanlagen zu sehen.

Bergbauhalden bestehen aus Abraum des Bergbaus oder aus Rückständen der Rohstoffaufbereitung. Halden des Erzbergbaus enthalten häufig beträchtliche Mengen an Metallsulfiden. Durch den Zutritt von Luftsauerstoff und Wasser werden Metallsulfide, wie z. B. die Minerale Pyrit (FeS_2) oder Kupferkies (CuFeS_2), langsam zu Schwefelsäure mit darin gelösten Schwermetallen umgesetzt. Diese sauren Bergbauwässer (Acid Mine Drainage = AMD) stellen eine erhebliche Umweltgefährdung dar. Mikroorganismen in Abraumhalden des Bergbaus spielen bei der Entstehung von AMD eine entscheidende Rolle, da sie die Geschwindigkeit der Stoffumsätze um Größenordnungen erhöhen.

Um geeignete Maßnahmen gegen die Bildung von AMD ergreifen zu können, müssen die biogeochemischen Prozesse in einer Berghalde verstanden und quantifiziert werden. Daher wurde im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit mit Botswana, in Kooperation mit der Abteilung „Umweltgeologie“ und dem Bohrtrupp des Geologischen Dienstes Botswana im November 2003 eine Berghalde der Kupfer-, Nickel- und Kobalt-Mine in Selebi-Phikwe intensiv beprobt. Insgesamt wurden drei Bohrungen bis 25 m abgeteuft. Dabei wurden 66 Proben gewonnen, die nachfolgend geochemisch, mineralogisch und mikrobiologisch untersucht wurden.



Bakterien vom Typ *Acidithiobacillus ferrooxidans* wurden in hoher Zahl bis in 25 m Haldentiefe nachgewiesen. Sie werden für die Auflösung von Metallsulfiden und die Bildung von AMD verantwortlich gemacht. Ihr Vorkommen erklärt die durchgehend niedrigen pH-Werte von 3 bis 4. Aufgrund einer sehr schnellen biologischen Oxidation des Minerals Pyrrhotin (FeS) wird schon innerhalb der ersten Jahre nach Ablagerung des Materials aus der Erzaufbereitung ein Großteil des Pyrrhotins zu Schwefelsäure und Eisenoxiden umgesetzt. Daher sollte in Zukunft der Pyrrhotin vor der Ablagerung vom Bergematerial getrennt und unter Ausschluss von Luftsauerstoff separat gelagert werden.

Die Ergebnisse wurden im Hinblick auf die im Rahmen der Erstellung des „Mine closure plans“ diskutierten Maßnahmen zur Sicherung der Berghalde sowohl der Mine, der Genehmigungsbehörde, als auch der Öffentlichkeit auf einem „TZ-Workshop“ in Botswana im November 2004 vorgestellt.



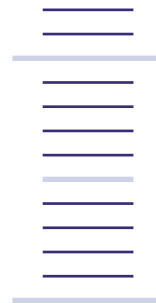
Probenahme bis zu 25 m Tiefe durch den Bohrtrupp des Geologischen Dienstes Botswana.

Moderne Analysetechniken

– quantitative und qualitative Beschreibungen von aktiven Oberflächenbereichen in Umweltproben

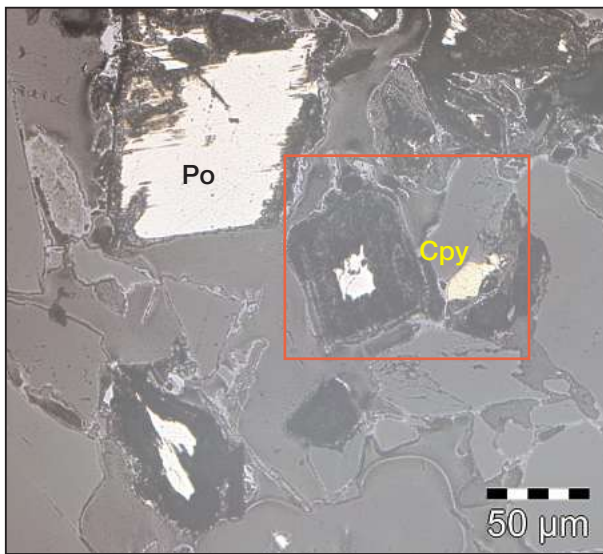
Bei der Entstehung von sauren Wässern (Acid Mine Drainage = AMD) in sulfidischen Mineralhalden spielen Mikroorganismen – wie Fe²⁺-oxidierende Bakterien der Gattungen *Acidithiobacillus* und *Leptospirillum* – eine bedeutende Rolle. Eine Methode zur Bestimmung des Gefährdungspotenzials durch bakterielle Stoffumsetzung ist es, den Anteil des Sulfid-Schwefels in dem Untersuchungsgebiet zu bestimmen. Mit der so genannten quantitativen Kolorimetrie-Methode (Absorptionsphotometrie) lässt sich eine recht genaue Analyse des Gesamtgehalts bewerkstelligen. Es gibt dagegen jedoch keinerlei Hinweis auf die räumliche Verteilung der Sulfid-Mineralen in dem zu untersuchenden Bereich oder gar über ihre Zugänglichkeit für Mikroorganismen. Die Zugänglichkeit ist zum Beispiel durch die Korngröße, die Kornform und den Verwachsungsgrad der Minerale charakterisiert. Diese Kenngrößen bedingen letztlich die Geschwindigkeit und den Anteil des bakteriellen Stoffwechsels.

Die Korngrößen und spezifischen Oberflächen aller mineralischen Komponenten in einer Probe, die für eine Reaktion zur Verfügung stehen, lassen sich durch Sieben und daran anschließende Adsorptionsexperimente ermitteln. Die für Bakterien wichtigen Phasen werden allerdings nicht erkannt und ausgewiesen, sondern es werden vielmehr alle Oberflächen der mineralischen Komponenten ermittelt. Es kommt zur Überschätzung der Oberflächen. Diese zeitaufwändigen Verfahren sind direkt nur für Lockerproben anzuwenden. Gut zementierte Proben müssten erst gebrochen und gemahlen werden. Hierdurch kommt es zu einer Veränderung des tatsächlich vorliegenden Kornverbandes und damit einem verfälschten Resultat.

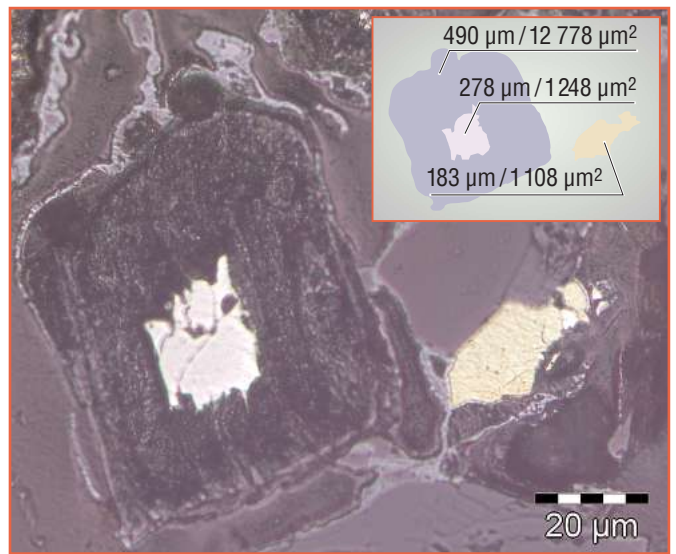


Bildanalytische Methoden ermöglichen eine Charakterisierung einzelner relevanter Komponenten (z. B. Pyrrhotin, Pyrit) in einer zusammenhängenden Probenseerie. Diese statistischen Verfahren kann man sich entsprechend zu der seit langem genutzten so genannten point-counting Methode vorstellen, bei der, in Übereinstimmung mit einem zuvor gewähltem Raster, die gesuchten Phasen gezählt werden. Neben dem prozentualen Anteil der Phase am Gesamtvolumen lassen sich zusätzlich z. B. ihre räumliche Verteilung, Nachbarschaftsverhältnisse, Kornoberflächen sowie ihre vorherrschende Kornform und Umfang mathematisch erfassen. Durch Einsatz besonderer Software sind die Ergebnisse computergesteuert zu gewinnen und auszuwerten.





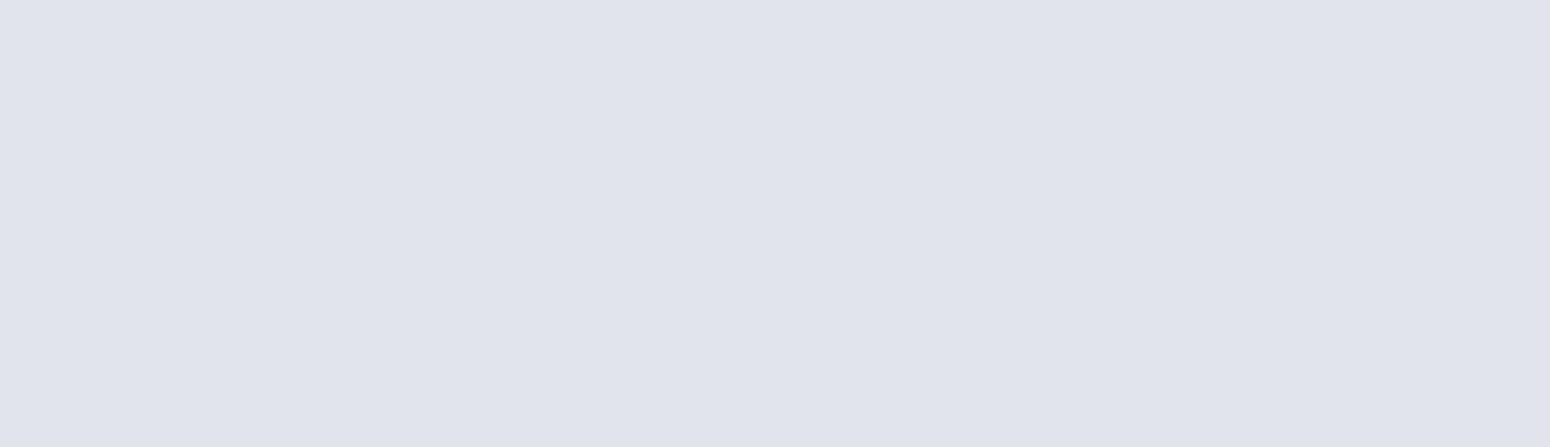
Anschliffpräparat einer Probe aus der Selebi Phikwe-Abraumhalde im Auflichtmikroskop. Fragmente von Pyrrhotin (Po – FeS) und Chalcopyrit (Cpy – CuFeS₂) schwimmen mit Silikatbruchstücken in einer Aralditmatrix. Die Po-Ränder sind stark ausgefranst. Die ursprüngliche Po-Korngröße ist durch den Alterationssaum aus Eisenoxiden gekennzeichnet. Chalcopyrit ist nur wenig verändert.



Detailliertere Ansicht des im linken Bild rot umrandeten Ausschnittes. Die im rechts oben eingeklinkten Bild eingetragenen Werte repräsentieren die ermittelten Umfang-zu-Flächen-Verhältnisse. Das Umfang-zu-Flächen-Verhältnis ist beim restitischen Pyrrhotin um den Faktor 5.5 gegenüber der angenommenen Ausgangssituation erhöht.

Die Zugänglichkeit der Oberfläche der jeweiligen reaktiven Phase (z. B. Pyrrhotin) und die individuelle Toxizität der reaktiven Phase (erhöhte Co-, Ni-, Cu-Gehalte, ermittelt durch Elektronenmikrosondenanalytik) beeinflusst die Aktivität der Mikroorganismen. Diese äußerst detaillierten bildanalytischen Untersuchungen erlauben einen Vergleich der mikrobiellen Aktivitäten bezogen auf die verschiedenen Sulfidphasen.

Das angewendete Verfahren, Anschliffproben aus einer Bohrung im Abraumhaldenkörper zu untersuchen und über die Analyse von Oberflächen, Strukturen und Texturen mit einfachen zweidimensionalen Darstellungen belastbare Aussagen zu treffen, ist durch bildanalytische Methoden möglich. Diese Technik ist technisch relativ einfach und daher ohne großen Aufwand einzusetzen. Es können Oberflächen einzelner Minerale bestimmt werden, wodurch ein verbessertes Verständnis von Verwitterungs- und Veränderungsprozessen in den Bergbauhalden gewährleistet ist.





Boden



den Boden Boden Boden

Boden

Boden – Lebensgrundlage, ökonomische Ressource und Schutzgut

Ebenso wie Luft und Wasser ist Boden ein lebensnotwendiges Medium mit vielfältigen Funktionen: Böden bilden die Lebensgrundlage für Menschen, Tiere, Pflanzen sowie Bodenorganismen und sind mit ihren Wasser- und Stoffkreisläufen Bestandteil unseres Naturhaushalts. In Böden werden Stoffe – auch schädliche – umgewandelt oder festgehalten. Damit funktionieren Böden als Puffer und Filter. Sie ermöglichen so das Wachstum der Pflanzen, schützen das Grundwasser und sichern damit unsere Ernährung.

Seit Beginn der Siedlungsgeschichte haben Menschen die Böden vielfältig genutzt und darin ebenso ihre Spuren hinterlassen wie vergangene Klimaschwankungen. Böden sind dadurch auch ein Archiv der Natur- und Kulturgeschichte. Nicht zuletzt erfüllen Böden auch Nutzungsfunktionen, sowohl als Rohstofflagerstätten und Flächen für Siedlung, Erholung und land- und forstwirtschaftliche Nutzungen als auch als Standorte für Verkehr sowie Ver- und Entsorgung.

Böden entstehen, wenn Gesteine verwittern und Luft und Wasser zusammen mit den feinen Gesteinsteilchen das Leben von Tieren und Pflanzen ermöglichen.

Je nach der Zusammensetzung der Gesteine, aus denen sich Böden bilden und den Vorgängen, die dabei stattfinden, sind auch die Stoffe und ihre Gehalte in Böden sehr unterschiedlich. Dabei entwickeln sich Böden nur langsam. Je nach Klima und Gestein dauert es zwischen 100 und 400 Jahren, damit sich 1 cm Boden bilden kann. Bodenkundler bezeichnen Böden daher auch als eine knappe, kaum erneuerbare natürliche Ressource.

Mit Blick auf die gesteinsabhängige Bildung der Böden, ihre Vielfalt und ihre unterschiedlichen Funktionen, insbesondere ihre wirtschaftlichen Nutzungsfunktionen sowie den Aspekt der knappen Ressource gehört das sektorale Aufgabenfeld „Boden“ zu den Kernbereichen der geowissenschaftlich ausgerichteten BGR.





Neben wirtschaftlichen Aspekten spielt insbesondere die nachhaltige Nutzung unserer Umwelt eine wichtige Rolle. Und dies nicht nur national, sondern auch im europäischen Zusammenhang. So waren in den vergangenen zwei Jahren vier Bodenkundler der BGR in unterschiedlichen Expertengruppen vertreten, um für die Kommission der Europäischen Gemeinschaft an der Ausgestaltung einer europäischen Bodenschutzstrategie mitzuwirken.

Vor dem Hintergrund zunehmender Bedeutung der Böden für nachhaltige Entwicklung nimmt die standardisierte Erfassung, Auswertung und Anwendung von Bodeninformationen eine immer wichtigere Rolle ein. Das gilt für Deutschland und Europa gleichermaßen. Die Erarbeitung und Bereitstellung staatenübergreifender europäischer Grundlagenkarten wird u. a. vom Europäischen Bodenbüro betrieben, einer europäischen Vereinigung, in der die BGR nicht nur Mitglied ist, sondern mit der Karte der Bodenregionen der Europäischen Union und ihrer Nachbarstaaten fundamentale Arbeit liefert.

Standardisierte Erfassung, Auswertung und Anwendung bodenkundlicher Daten in Deutschland heißt vor allem Vereinheitlichung bereits bestehender Bodendatenbestände bei Behörden, in Universitäten und anderswo. Die BGR arbeitet daran zusammen mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) der Länder. So wird beispielsweise von der BGR im Auftrag des Bund-Länder-Ausschusses Bodenforschung (BLA-GEO, einem von der Wirtschaftsministerkonferenz eingesetzten Gremium) die Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 200 000 gemeinsam mit den Bundesländern für ganz Deutschland erarbeitet. Ein Übersetzungsschlüssel zwischen den bodenkundlichen Nomenklaturen KA 3, KA 4, FAO, und WRB ist im Jahr 2004 erschienen, die Bodenkundliche Kartieranleitung wird 2005 in ihrer fünften Auflage (KA 5) vorgelegt.

Das 1999 in Kraft getretene Gesetz zum Schutz des Bodens (Bundes-Bodenschutzgesetz, BBodSchG) soll in Verbindung mit der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) den langfristigen Schutz der Böden in Deutschland sicherstellen. Bei der Anwendung der rechtlichen Regelungen sind jedoch in einigen Punkten Fragen offen geblieben, die einer weiteren Bearbeitung bedürfen. Die anwendungsorientierten Forschungsvorhaben zum Thema Sickerwasserprognose dienen beispielsweise dem Ziel, die Ausbreitungspfade des Sickerwassers im Boden und die damit verbundene Verlagerung von Schadstoffen zu erforschen und abzuschätzen. Damit werden geowissenschaftliche Grundlagen für die Fortschreibung der gesetzlichen Regelungen bereitgestellt. Das Beispiel verdeutlicht das enge Zusammenwirken von Boden und Wasser, das gleichermaßen auch für die Experten der jeweiligen Fachgebiete selbst gilt. Sie bearbeiten nicht nur national gemeinsame Forschungsaufgaben, sondern auch im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit solche Aufgaben, die z. B. die langfristig gesicherte Bereitstellung von Trinkwasser in Entwicklungsländern betreffen. So gehen die Wasser- und Bodenexperten der BGR in der Kalahari dem Problem einer erhöhten Nitratbelastung des Grundwassers in Botswana nach.

Alle diese Projekte dienen der Beratung derjenigen politischen Gremien, die über die zukünftige Entwicklung unserer wirtschaftlichen und natürlichen Umwelt entscheiden. Die Bundesregierung, die Kommission der Europäischen Union, aber auch Entscheidungsträger in den Entwicklungsländern müssen über die Möglichkeiten der Nutzung und die Notwendigkeit des Schutzes der begrenzten und kaum erneuerbaren Ressource „Boden“ stets gut informiert sein. Nur dann können deren Bürger in einer nachhaltig genutzten Umwelt leben.

Karte der **Bodenregionen** der Europäischen Union und ihrer Nachbarstaaten im Maßstab **1 : 5 000 000**



Vergleichbare georeferenzierte Bodendaten sind die Voraussetzung für eine gemeinsame europäische Landwirtschafts- und Umweltpolitik. Daher gab das European Soil Bureau (ESB) unter Mitwirkung der BGR bereits 1998 eine Arbeitsanleitung heraus, in der die Methoden zur Schaffung einer abgestimmten europäischen Bodendatenbank beschrieben werden. Dieses „Manual of Procedures of the Georeferenced Soil Database for Europe“ enthält auch eine erste Version der Bodenregionenkarte Europas.

Die jetzt vorgelegte, deutlich veränderte und erweiterte Version 2.0 wurde vor allem aus drei Gründen notwendig:

- Seit 1998 erfolgte eine Umstellung in der internationalen Bodenklassifikation von der „FAO Soil Map of the World – Revised Legend“ hin zur Nomenklatur der „World Reference Base for Soil Resources (WRB)“, die jetzt auch in der neuen Bodenregionenkarte Berücksichtigung findet.
- Die „Soil Geographical Database of Europe 1 : 1 000 000“, die derzeit die wichtigste Grundlage zur Bewertung der Böden in Europa bildet, wurde zwischenzeitlich inhaltlich bedeutend verbessert und räumlich auf Osteuropa, ganz Russland, die Mongolei sowie auf den kompletten Mittelmeerraum ausgedehnt. Damit konnten einerseits die erforderlichen Grunddaten für die neuen EU-Mitgliedsländer, für Osteuropa sowie für die Türkei abgerufen werden, die mittlerweile in die Karte integriert sind, und andererseits inhaltliche Fortschreibungen gegenüber der ersten Version eingebracht werden.
- Um Verschneidungen mit Kartenunterlagen aus anderen Ländern sowie mit graphischen Darstellungen aus der EU-Bodendatenbank zu ermöglichen, musste die topographische Grundlage auf die „Digital Chart of the World“ umgestellt werden.

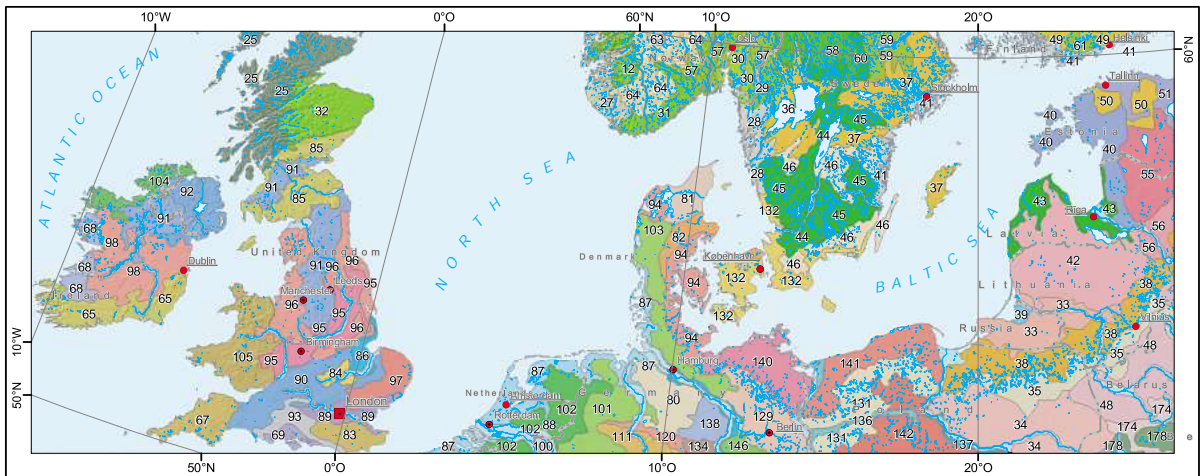
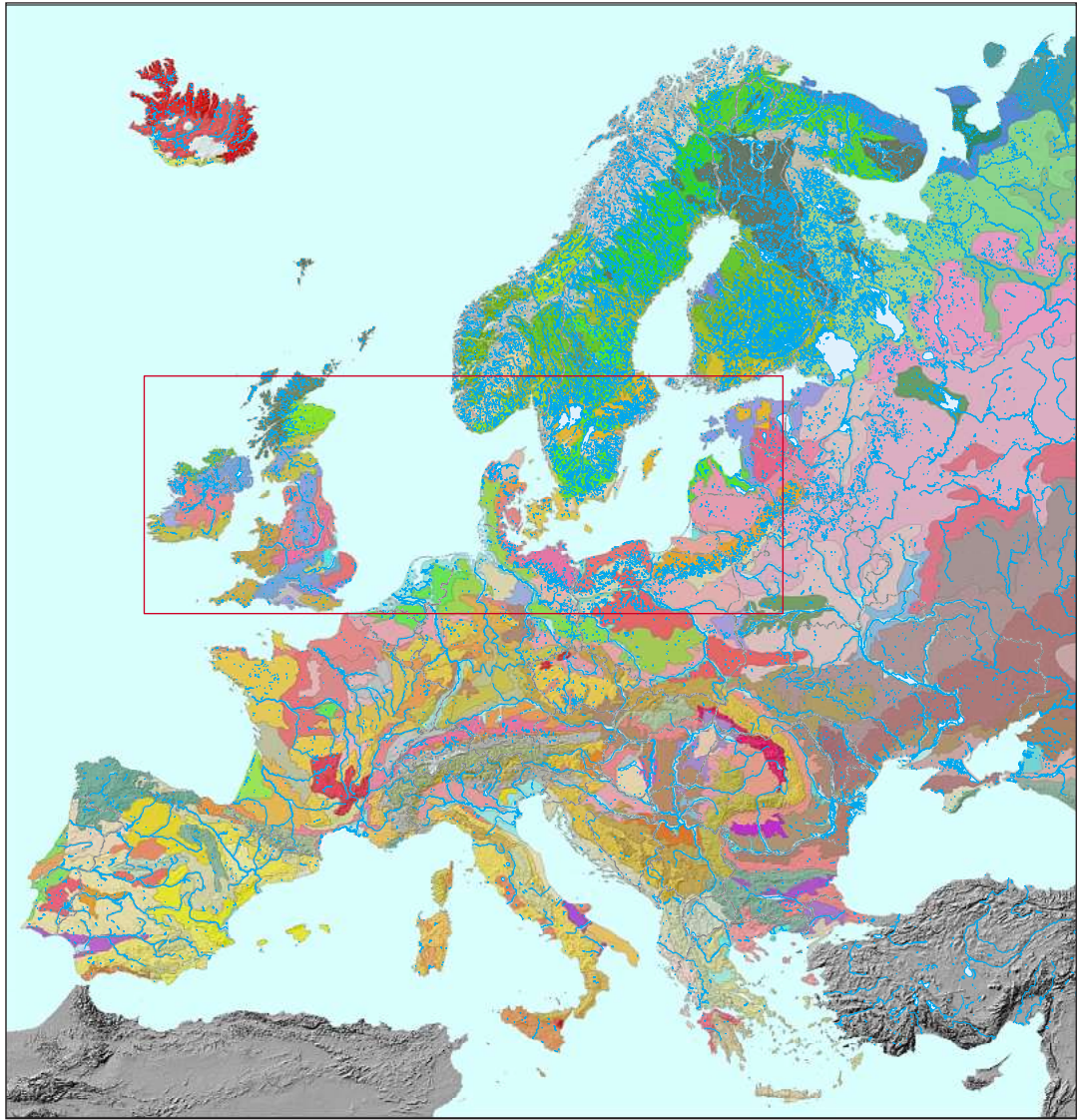
Allgemeine Kennzeichnung von Bodenregionen

Im nationalen Rahmen und auch auf EU-Ebene bilden die Bodenregionen das oberste Niveau der Bodenkartierung. Als natürliche bodengeographische Einheiten, in denen die Bodenbildungsbedingungen sehr ähnlich sind, stellen sie räumlich und inhaltlich das am stärksten zusammenfassende Generalisierungsniveau dar. Bei ihrer Abgrenzung und inhaltlichen Beschreibung wird ganz bewusst auf bodenkundliche Detailaussagen verzichtet.

Bodenregionen sind überregionale Bodeneinheiten. Ihre Abgrenzung basiert hauptsächlich auf geologisch-morphologischen und klimatischen Kriterien. Geologisch-morphologische Faktoren steuern die Ausprägung und Verteilung der Reliefformen und bestimmen die Substratzusammensetzung in der jeweiligen Bodenregion. Die Klimafaktoren üben einen entscheidenden Einfluss auf die pedogenetischen Prozesse aus und bestimmen so Charakteristika und Tendenz der Bodentypen. Sie sind darüber hinaus von ausschlaggebender Bedeutung für deren Ertragspotenzial.

Die vergesellschafteten Böden werden in Bodenregionen sehr allgemein beschrieben, indem die wichtigsten Bodentypen, getrennt nach Leit- und Begleitböden, und die vorherrschenden Bodenausgangsgesteine genannt werden. Eine Zusammenstellung nach Bodenformen als Kombination von Bodentyp und Substrattyp erfolgt im Allgemeinen nicht. Jedoch ist es möglich, die Substratzusammensetzungen bereits aus vielen Bodennamen der Nomenklatur der „World Reference Base for Soil Resources (WRB)“ indirekt abzuleiten.

Entsprechend ihrer Definition enthält eine Bodenregionenkarte nur allgemeine, aggregierte Informationen zu den einzelnen Böden. Die Grenzen der Bodenregionen sind dem kleinen Maßstab entsprechend stark generalisiert und nur für kleinmaßstäbliche Darstellungen und Anwendungen gedacht.



Die Karte der Bodenregionen der Europäischen Union und ihrer Nachbarstaaten. Der obere Teil der Abbildung zeigt das gesamte, stark verkleinerte Kartenbild, unten ist ein Ausschnitt in ca. 1 : 15 Mio. abgebildet.



Eine für Darstellungszwecke durchgeführte Hochzeichnung auf größere Maßstäbe muss immer mit einer Anpassung an die adäquate topographische Grundlage verbunden sein. Die Anwendung der Bodenregionen in größeren Maßstäben ist wegen ihrer oftmals heterogenen Zusammensetzung nur bedingt sinnvoll. Sollte dies aber auf Grund einer Nutzeranforderung notwendig sein, so ist auch ein höherer Auflösungsgrad der Bodendaten zu berücksichtigen.

Zweck der Bodenregionen

Bodenregionen sind nicht nur Bodeneinheiten mit sehr starker flächenhafter und inhaltlicher Verallgemeinerung, sondern sie sind auch eine Gliederungskategorie in Legenden und Bodendatenbanken. Damit erfüllen sie gleichzeitig mehrere Aufgaben:

- Mit ihrer Darstellung auf Karten ermöglichen die Bodenregionen den schnellsten und umfassendsten Überblick über die Bodenverbreitung in einem überregionalen oder länderübergreifenden Gebiet.
- Sie sind eine erste Informationsquelle für die Bewertung und Gliederung der Böden Europas.
- Die Bodenregionen dienen dem Vergleich der Bodenbildungsbedingungen in verschiedenen Klimagebieten Europas.
- Als Gliederungskategorie in einer Bodendatenbank können den Bodenregionen typische Bodengesellschaften (z. B. als Legendeneinheiten) zugeordnet werden.
- Sie bilden die Grundlage für die Auswahl von Pilotgebieten für den Aufbau der Georeferenced Soil Database for Europe 1 : 250 000.
- Bei länderübergreifenden Projekten bilden die Bodenregionen den Vergleichsrahmen für die Böden.

Die neue Bodenregionenkarte ist die derzeitige einzige graphische Darstellung der Böden Europas, bei der alle Grunddaten aus dem selben Blickwinkel bewertet und die Bodeneinheiten nach einheitlichen Kriterien abgegrenzt wurden. Sie bildet ein Arbeitsmaterial, das in die bestehenden Datenbanken integriert wird und insbesondere für die Umwelt betreffende Zwecke Verwendung findet.

Zur Abgrenzung der Bodenregionen

Die wichtigste Grundlage zur Erfassung der Böden in den Bodenregionen war die Soil Geographical Database of Europe 1 : 1 000 000, da sie die notwendigen Daten bezüglich der Leit- und Begleitböden liefert. Für einige der alten EU-Mitgliedsländer bildet die „Soil Map of the European Communities 1 : 1 000 000“ die Grundlage dieser Datenbank. Europaweite Bodeninformationen liefern auch die „Soil Map of the World, Volume V, Europe“, die „World Map on Status of Human-induced Soil Degradation“ – Global Assessment of Soil Degradation sowie andere allgemeine Bodenkarten, z. B. die Übersichtskarten der FAO World Soil Resources und Global Soil Regions.

Für die Bildung von Bodenregionen fast ebenso bedeutungsvoll wie die Bodenkarten sind geologische und geomorphologische Karten. Sie dienen zur Kennzeichnung von Gebieten mit mehr oder minder einheitlichem Bodenausgangsgestein, ähnlichen Relief- und Wasserverhältnissen, vergleichbaren Transportbedingungen für Nähr- und Schadstoffe sowie für die Bodenerosion und -akkumulation.

Sehr von Nutzen für die Abgrenzung von Bodenregionen ist auch die „Karte der Natürlichen Vegetation Europas 1 : 2 500 000“, die einen guten Überblick über die Vegetationsverhältnisse in Europa gibt und die sowohl die natürlichen Bodenbildungsbedingungen als auch die Klimaverhältnisse, die sich auf die pedogenetischen Prozesse und auf das Pflanzenwachstum auswirken, hervorragend widerspiegelt.

Da aber alle diese Unterlagen zur Abgrenzung der Bodenregionen nicht ausreichen würden, erfolgte eine direkte Zusammenarbeit mit Fachkollegen aus den beteiligten Ländern. Die beigesteuerten Länderentwürfe waren in ihrem Aufbau und Detaillierungsgrad jedoch sehr unterschiedlich. Häufig, und gerade bei kleineren Ländern, waren sie zu kleinflächig und damit kaum auf die gesamteuropäische Ebene übertragbar. Eine Anpassung an den Übersichtscharakter der Bodenregionenkarte war in diesen Fällen unabdingbar.





Aufbau des Kartenwerkes

Das Projekt „Bodenregionenkarte der Europäischen Union und ihrer Nachbarstaaten“ besteht aus drei Hauptteilen:

- 1 – die Karte mit Blattrandlegende
- 2 – das Erläuterungsheft
- 3 – die Datenbank

Während Karte und Erläuterungen vorliegen, ist mit dem Aufbau der Datenbank erst begonnen worden. Ein Abschluss wird im zweiten Halbjahr 2005 erwartet.

Die Karte im Maßstab 1 : 5 000 000

Diese Karte enthält die durch Grenzen, Farben und Kennnummern gekennzeichneten Bodenregionen sowie im Hintergrund eine Reliefdarstellung. Dadurch kann visuell eine direkte Verbindung zwischen Bodenformen, Höhenlage und Hauptgeländeformen vermittelt werden.

Die Grenzen der Bodenregionen sind entsprechend der topographischen Grundlage dem Maßstab 1 : 5 000 000 angepasst. Die topographische Kartengrundlage bildet eine generalisierte Version der „Digital Chart of the World (DCW)“, die mit einem Hintergrundrelief unterlegt ist. Zur geographischen Orientierung sind Staatsnamen, Städte, Seen und Flüsse sowie Einschreibungen in den Meeresflächen enthalten.

Die Farben richten sich nach dem wichtigsten Leitboden und sind an die „Soil Map for Europe 1 : 4 500 000“ angepasst. Beachtet werden muss allerdings, dass mit den Farben nur die Grundtendenz der Bodenvergesellschaftung in der jeweiligen Bodenregion ausgedrückt werden kann und dass ein zweiter oder ein dritter Leitboden dadurch stets unterrepräsentiert erscheint. Die Farben der Bodenregionen sind also immer mit den entsprechenden Legendenbeschreibungen zu vergleichen.

Mit der Kennnummer, die fortlaufend geführt wird, lassen sich einerseits die in der Legende beschriebenen Inhalte den Kartiereinheiten (als Flächen auf der Karte) zuordnen. Andererseits ist mit ihnen auch die Verbindung zu den Beschreibungen der Bodenregionen gegeben.

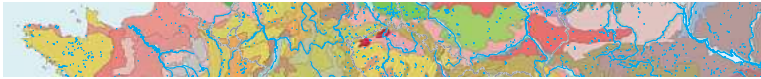
Ein Gitternetz mit geographischen Koordinaten unterstützt die Orientierung auf der Karte. Bei der Projektion handelt es sich um die Lambert'sche konforme (winkeltreue) Kegelpjektion. Diese eignet sich besonders gut für die Darstellung europäischer Länder und bildet auch größere Gebiete mit relativ geringen Verzerrungen ab.

Die Blattrandlegende

Die Blattrandlegende ist nach Klimagebieten gegliedert, da Europa ein Kontinent mit sehr verschiedenen Klimazonen ist, die sich entsprechend unterschiedlich auf die Bodenbildung auswirken. Sie beinhaltet eine Kurzkennzeichnung der Bodenregionen nach Leit- und Begleitböden und nach den vorherrschenden Bodenausgangsgesteinen.

Die Leit- und Begleitböden der jeweiligen Bodenregion werden nach der Nomenklatur der World Reference Base for Soil Resources (WRB) angegeben. Die Anzahl der auftretenden Böden ist ein indirektes Maß für die Homogenität bzw. die Heterogenität der Bodenregion und hängt weitgehend auch von der Komplexität der Bodenausgangsgesteine ab.

Der Legende ist eine Übersicht mit den Leitfarben der Hauptbodenformen beigefügt, so dass deren Verbreitungsgebiete schnell erfasst werden können, ohne auf die Details der Beschreibung eingehen zu müssen. Weiterhin sind wichtigste Datengrundlagen sowie eine Auswahl spezieller Literatur aufgeführt, die zur Abgrenzung der Bodenregionen benutzt wurden.



Inhalt der Karte

■ Die Klimagebiete Europas

Viele Bodenparameter und Bodeneigenschaften werden durch das Klima beeinflusst, wie z. B. die klimatische Wasserbilanz, die Grundwassererneuerungsrate oder die Vernässung vieler Böden in großen Teilen Europas im Frühjahr. Eine Karte der Klimagebiete Europas, einschließlich ihrer Kennzeichnung, ist dem Erläuterungsheft beigegeben. Sie zeigt die von Nord nach Süd auftretenden Klimazonen sowie deren weitere Unterteilung durch Klimatypen mit ozeanischem bis kontinentalem Einfluss. Insgesamt werden 35 Klimagebiete abgegrenzt, die sich hinsichtlich Durchschnittstemperatur, Jahresniederschlag und Länge der Vegetationsperiode deutlich unterscheiden.

■ Die Böden

In der Legende der Bodenregionenkarte sind die Leit- und Begleitböden für die jeweilige Bodenregion entsprechend ihrer Dominanz aufgeführt, d. h. der wichtigste Boden steht an erster Stelle, die nächst wichtigen folgen danach. In einer Bodenregion werden immer Bodengesellschaften beschrieben. Je weniger Bodenformen in einer Region auftreten, desto einheitlicher ist deren Aufbau hinsichtlich Klima, Relief, Bodenausgangsgestein, Wasserbedingungen und Landnutzung. Je mehr und je kontrastreichere Böden auftreten, desto differenzierter sind die Bodenbildungsbedingungen und desto zergliederter ist die Region.

Insgesamt sind auf der Bodenregionenkarte über 120 verschiedene Leitbodengesellschaften dargestellt. Das bedeutet bei 284 Bodenregionen, dass in fast jeder zweiten die gleiche Abfolge der Leitböden auftritt. Jedoch unterscheiden sich die Bodengesellschaften durch die Begleitböden, durch das Bodenausgangsgestein oder sie gehören einem anderen Klimagebiet an.

Betrachtet man die Bodenverteilung in Europa allgemein, so erkennt man, dass in Nord- und Osteuropa große Bereiche mit einer sehr einheitlichen Bodenausstattung ausgebildet sind. Mittel-, West- und Südeuropa sind dagegen durch eine differenziertere Bodendecke gekennzeichnet. Die geologischen Strukturen und die damit assoziierten Bodenausgangsgesteine sind hierbei die differenzierenden Bodenbildungsfaktoren.

■ Die Bodenausgangsgesteine

Die geologischen Verhältnisse, zu denen auch die Bodenausgangsgesteine gehören, bestimmen ganz entscheidend den Charakter einer Bodenregion. Sie wirken sich auf das Relief und auf die Höhenlage eines Gebietes aus und sind von sehr hoher Bedeutung für die mineralische Zusammensetzung, den Chemismus und die Struktur der Böden. Die Bodenausgangsgesteine beeinflussen die Bodentextur und wirken sich deutlich auf die Bodenfruchtbarkeit und Nährstoffversorgung aus, denn die Eindringtiefe der Wurzeln, der Porenraum zur Aufnahme von Wasser und Luft sowie die Verwitterbarkeit der Mineralien, die die wichtigen Spurenelemente zur Verfügung stellen, hängen von ihnen ab und sind je nach Gesteinsart verschieden. In gewisser Weise wirkt sich die Gesteinszusammensetzung auch auf die Bodennutzung aus, da z. B. auf schwer verwitterbaren Gesteinen mit sehr flachgründigen Böden kaum Ackerbau betrieben werden kann und diese eher forstwirtschaftlich oder als Grünland genutzt werden.

Für die Kennzeichnung der Bodenausgangsgesteine in den Bodenregionen werden Gesteinsgesellschaften aus oftmals sehr unterschiedlichen Gesteinen gebildet. Wichtig ist auf diesem Niveau der Aggregation vor allem die Angabe, ob es sich um Locker- oder Festgesteine, um Magmatite, Metamorphite oder Sedimentite handelt. Angaben zum Chemismus – sauer, intermediär oder basisch – und zur Textur – tonig, sandig oder lehmig – ergänzen die Information ebenso, wie Hinweise zur Geogenese und zur Stratigrafie.

Für die Darstellung der „Associations of Dominant Parent Material“ in einer Nebenkarte wurde eine Zusammenfassung zu 18 Gesteinskomplexen vorgenommen. Es sind Gesteine miteinander kombiniert, die durch eine gemeinsame geologisch-paläographische Entwicklung entstanden sind oder die durch verschiedene geologische Prozesse zusammengefügt wurden und nun gemeinsam in einer Landschaft vorkommen. Für ihre Bewertung ist zu beachten, dass sich die Böden überwiegend nicht direkt auf dem Gestein selbst bildeten, sondern auf dessen Verwitterungsmaterial. Durch Umlagerungen verschiedenster Art, wie Hangrutschungen, vertikaler und lateraler Materialtransport, Solifluktion und kryogene Durchmischung im Periglazial sowie äolische Zufuhr von Löss und Flugsand, besteht dieses Verwitterungsmaterial jedoch nicht mehr nur aus dem im Liegenden anstehenden Gestein, sondern hat zahlreiche Fremdkomponenten aufgenommen. Es haben sich hauptsächlich unter periglaziären Verhältnissen, mehrere Lagen von Deckschichten gebildet, deren Vertikalabfolge und stoffliche Zusammensetzung ganz wesentlich den Bodenaufbau und die Bodeneigenschaften beeinflussen.

■ Das Relief

Das Relief ist eine Geokomponente mit nahezu unveränderlichen Merkmalen. Es hat sowohl für die Eigenschaften der Böden, als auch für die Abgrenzung von Boden- und Landschaftseinheiten, eine große Bedeutung. Besonders eng ist es mit der Hydromorphie der Böden verknüpft, da es, je nach Substrat, die Lage der Grundwasser- oder Stauwasserkörper bestimmt. Starke Einfluss nimmt das Relief auch auf die Bodenerosion, insbesondere auf die Wassererosion.

In Nebenkarten wird zunächst das Grundrelief Europas dargestellt und dann als Kombination von sieben Höhen- und Hangneigungsklassen auf die Bodenregionen übertragen. Für die Bodenregionen werden die Faktoren Höhe und Hangneigung flächengewichtet gruppiert und in Anlehnung an das SOTER-Programm dargestellt. Das Kartenbild gibt die typische Ausprägung der beiden Faktoren in den Bodenregionen wieder. Es zeigt deutliche Beziehungen zwischen Relief und Bodentypen.

■ Die Landnutzung

Neben der natürlichen Vegetation spielt die gegenwärtige Landnutzung, die aus dem CORINE-Landcover (Coordinated Information on the Environment) sowie aus dem PELCOM-Programm (Pan-European Land Use and Land Cover Monitoring) abgeleitet wurde, eine große Rolle bei der Beurteilung der Böden Europas. In der Nebenkarte werden das dominante Nutzungsmuster und dessen Mannigfaltigkeit jeder Bodenregion abgebildet. Insgesamt sind 21 Klassen dargestellt, die sich aus zehn Nutzungsarten und fünf Heterogenitätsstufen ergeben. Das Landnutzungsmuster erlaubt Rückschlüsse auf die natürliche Bodenverbreitung in Europa.

Zusammenfassung

Die Bodenregionenkarte der Europäischen Union und ihrer Nachbarstaaten ist in ein Programm des European Soil Bureau Network eingebunden, das die Verbesserung der Kenntnisse über die Böden Europas und des Mittelmeerraumes zum Ziel hat. Die entsprechende Bodendatenbank hält unterschiedliche Aggregierungs- und Generalisierungsstufen vor, um sowohl Bodenkundlern die notwendigen Fachinformationen zur Verfügung zu stellen, als auch Politikern, die auf europäischer Ebene Entscheidungen zu Landwirtschafts- und Umweltfragen zu treffen haben, eine Beratungsgrundlage zu bieten. Die vorliegende Karte enthält 284 Bodenregionen mit Legende. In einem Begleitheft mit Nebenkarten zu den Klimagebieten in Europa, zum Bodenausgangsgestein, zu den Reliefverhältnissen und zur Landnutzung werden Inhalt und Zweck der Bodenregionenkarte erläutert.

Modellgestützte Sickerwasserprognose für anorganische Schadstoffe

Die Weiterentwicklung gesetzlicher Regelungen des vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutzes benötigt wissenschaftlich abgesicherte Erkenntnisse. Experten der BGR aus den Bereichen Boden und Wasser beteiligen sich an einem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsschwerpunkt zum Thema Sickerwasserprognose. Unter Sickerwasserprognose versteht man eine Vorhersage des Eintrags von Schadstoffen aus dem Boden (Ort der Probenahme) über das Sickerwasser in das Grundwasser (Ort der Beurteilung). Das Sickerwasser ist derjenige Anteil des Regenwassers, der durch den Boden bis zum Grundwasser sickert und auf diesem Weg Schadstoffe von einer oberflächlichen Bodenverunreinigung in das Grundwasser transportieren kann.

Das Einleiten von Schutzmaßnahmen für das Grundwasser muss rechtzeitig, das heißt, deutlich vor dem Eintritt eines Grundwasserschadens erfolgen. Hierzu müssen Prognoseverfahren entwickelt werden, die die Verlagerung von in Böden eingetragenen Schadstoffen ins Grundwasser vorhersagen können. Derartige Prognosemodelle sollen in Zukunft von Behörden und Ingenieurbüros im Zuge der Begutachtung von Boden- und Grundwasserbelastungen zum Einsatz kommen.



Die Wissenschaftler der BGR arbeiten an der Entwicklung eines solchen Prognosemodells, mit dem der Eintrag von anorganischen Schadstoffen wie Antimon, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Molybdän, Nickel, Thallium oder Zink über das Sickerwasser in das Grundwasser abgeschätzt werden kann. Wesentliche Schwerpunkte dieser Entwicklung sind die breite Anwendbarkeit des Modells auf unterschiedlichste Standorte sowie die Erfassung der Unsicherheit des Prognoseergebnisses.

Böden schützen Grundwasser vor Schadstoffeinträgen.

Böden können die Schadstoffe mehr oder weniger stark zurückhalten und somit die Gefahr einer Verunreinigung verringern. Diese Puffer- und Filterwirkung der Böden variiert mit den vor Ort anzutreffenden Bodeneigenschaften. Ihre Kenntnis ist eine zwingende Voraussetzung für die Entwicklung eines allgemein gültigen Prognoseverfahrens. Aus diesem Grunde wurden in diesem Vorhaben ca. 390 repräsentative Bodenproben aus Deutschland im Hinblick auf ihre Fähigkeit, die oben genannten Spurenstoffe zu binden, untersucht. Hierzu wurden den Böden im Labor steigende Mengen an Schadstoffen zugesetzt und anschließend gemessen, welche Anteile von der Bodenfestphase gebunden bzw. welche Anteile im Bodensickerwasser verbleiben und somit ins Grundwasser auswaschbar sind. Im Ergebnis führen diese Laboruntersuchungen zu so genannten „Adsorptionsisothermen“.

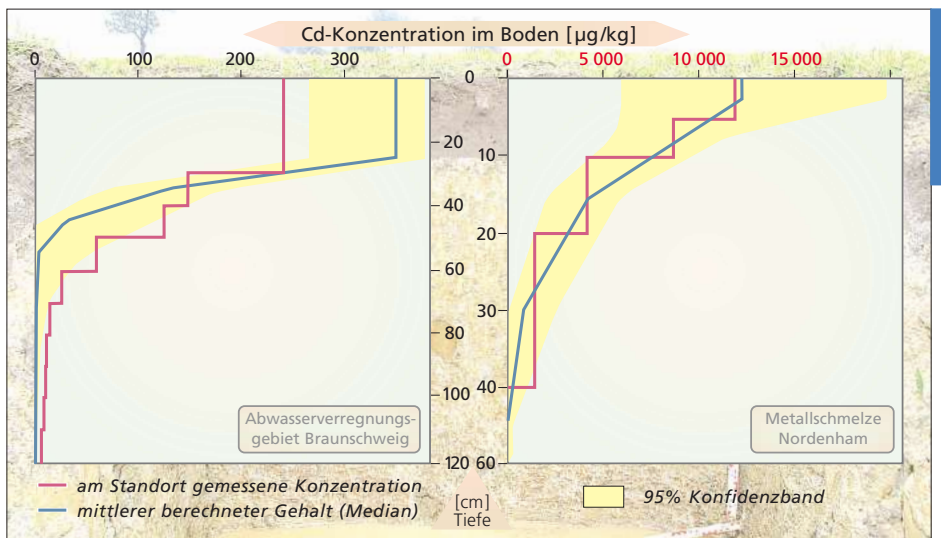
Mittels statistischer Auswertungsverfahren lassen sich nun die Adsorptionsisothermen zu übergreifenden Funktionen (so genannten „Pedotransferfunktionen“) verrechnen. Diese Pedotransferfunktionen erlauben es dem Anwender, das Schadstoffrückhaltevermögen eines Bodens aus seiner Zusammensetzung und seinen Eigenschaften mit bekannter statistischer Sicherheit abzuleiten. Hierdurch lassen sich kostenintensive Beprobungs- und Analysekampagnen einsparen und der Zeitbedarf einer Sickerwasserprognose wesentlich verkürzen.

Das Prognoseergebnis stimmt gut mit gemessenen Daten überein.

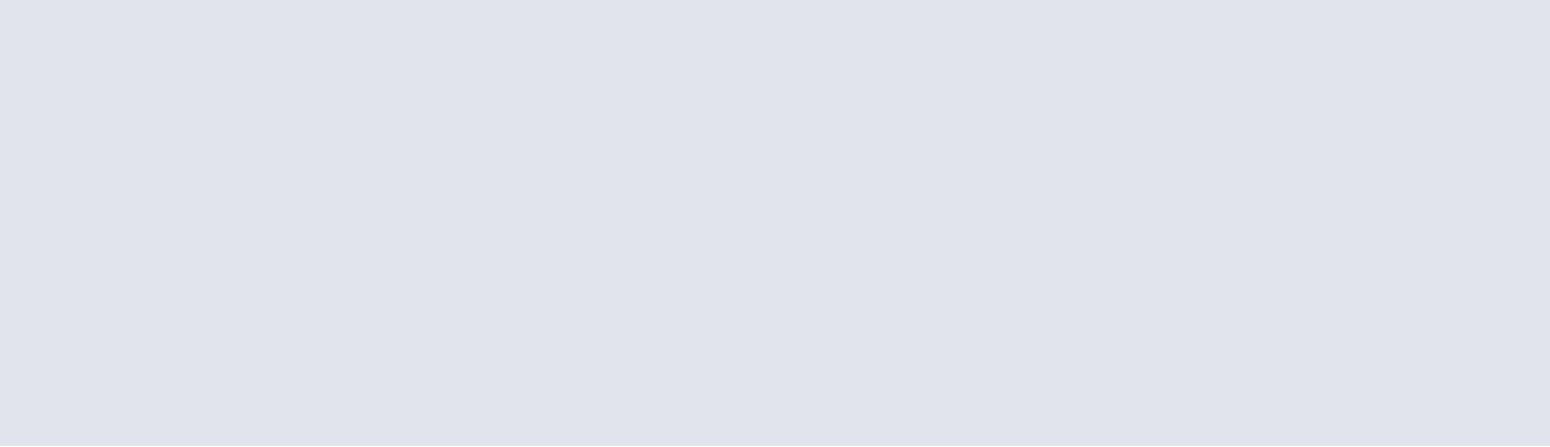
Da die Zusammensetzung eines Bodens in der Fläche starken Schwankungen unterliegen kann (und mit ihr auch das Schadstoffrückhaltevermögen), ist ein Prognoseergebnis immer mit einer Unsicherheit verbunden. Daneben führen die Abschätzungen des Schadstoffrückhaltevermögens mit Hilfe von Pedotransferfunktionen ebenfalls zu Prognoseunsicherheiten. In dem entwickelten Prognosemodell werden diese Unsicherheiten explizit berücksichtigt und mit dem Prognoseergebnis ausgewiesen.

Das von der BGR entwickelte Sickerwasserprognosemodell wurde an realen Messdaten aus Gebieten, in denen es in den zurückliegenden Jahrzehnten u. a. zu erheblichen Cadmiumeinträgen gekommen ist, überprüft.

Die Abbildung zeigt das Ergebnis dieses Vergleiches für ein Bodenprofil in der Nähe einer Metallschmelze in Nordenham sowie für ein Bodenprofil aus dem Abwassererregungsgebiet Braunschweig. In beiden Fällen stimmen die berechneten mittleren Cd-Konzentrationen an der Bodenfestphase vergleichsweise gut mit den gemessenen Cd-Gehalten überein, wenn man die ebenfalls dargestellten Vertrauensbereiche der prognostizierten Konzentrationen (95%-Konfidenzbänder), die aus der Unsicherheit und der räumlichen Variabilität der betrachteten Bodeneigenschaften resultieren, berücksichtigt. Die dargestellten Prognoseergebnisse geben berechtigten Anlass zu der Feststellung, dass das entwickelte Prognosemodell einschließlich der zugrunde liegenden Schätzfunktionen für die Beschreibung des Schwermetallrückhaltevermögens von Böden auf unterschiedlichsten Standorten in Deutschland zum Zwecke der Sickerwasserprognose einsetzbar ist.



Gemessene und prognostizierte Cadmiumgehalte in zwei verschiedenen Bodenprofilen.





Mineralische Rohstoffe

Mineralische
Rohstoffe

Mineralische Rohstoffe

Mineralische Rohstoffe – nichts geht ohne sie

Wer in diesen Tagen ein Haus baut, einen Altbau saniert oder auch seine Küche modernisiert, erhält nicht selten einen Aufschlag auf die geplanten Kosten: Dachrinnen werden teurer, weil der Zinkpreis steigt, der Elektriker muss für die Kupferkabel mehr berechnen und selbst bei der neuen Edelstahlspüle schlägt der Rohstoffpreis deutlich stärker zu Buche als noch vor wenigen Jahren.

Was für Heimwerker und Häuslebauer ärgerlich ist, kann für den Handwerks- und Industriebetrieb schlimme Folgen haben. Fortgesetzt steigende Rohstoffpreise und unerwartete Kostenschwankungen wirken sich nachteilig für das produzierende und verarbeitende Gewerbe aus. Deutschland ist bis auf Salz und mineralische Baustoffe fast vollständig vom Import abhängig. Zur Sicherung der Rohstoffversorgung stellt der Staat der deutschen Wirtschaft eine technisch-wissenschaftliche Infrastruktur zur Verfügung. Die BGR ist die wichtigste Einrichtung zur Untersuchung von mineralischen Rohstoffen und zur Beobachtung der internationalen Rohstoffmärkte.



Die BGR ist die einzige Institution in Deutschland, in der breite Kenntnisse, erfahrenes Personal und aktuelle Datenbanken für einen weiten Bereich von Beratungsaufgaben zu mineralischen Rohstoffen, Bergbau-Umweltschutz und Abbaufolgen gebündelt sind. Die umfassende Beratungskapazität wird unterstützt durch eine in Deutschland einzigartige personelle und technische Ausstattung, die es erlaubt, international herausragende Forschung in weiten Bereichen der mineralischen Rohstoffe durchzuführen. Ein wichtiges Ziel der BGR ist es, durch eine planbare Rohstoffversorgung Deutschlands die industrielle Grundlage zu sichern.



Fast alle Rohstoff-Projekte der BGR werden in enger Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern an Universitäten, Forschungseinrichtungen, Geologischen Diensten oder der Industrie durchgeführt. Dadurch kann kurzfristig auf spezielles Know-how und zusätzliche Techniken zurückgegriffen werden.

Aktuelle BGR-Projekte befassen sich mit Industriemineralen (Charakterisierung von Bentoniten und Glassanden) und Hochtechnologiemetallen wie den Platingruppen-Elementen, über die im Folgenden berichtet wird.

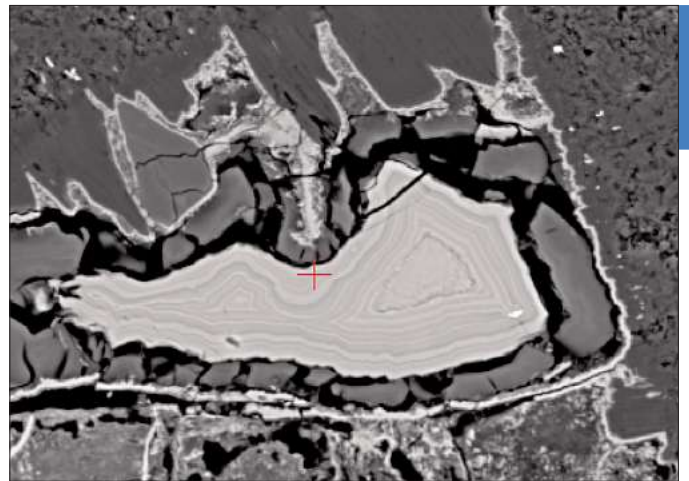
Oxidierte Platinerze

Platin und die anderen Platingruppen-Elemente (Palladium, Rhodium, Ruthenium, Iridium und Osmium) werden aus vererzten Festgesteinen gewonnen. Informationen über oberflächennahe, oxidierte Bereiche existierten bislang kaum. Die BGR untersucht diese oxidierten Platinerze, um sie ebenfalls nutzbar machen zu können und damit ein breiteres Angebot zu schaffen.

Oxidierete Bereiche (Verwitterungszonen) von Lagerstätten der Platingruppen-Elemente (PGE) sind wirtschaftlich bedeutende PGE-Ressourcen (beispielsweise mehr als 400 Millionen Tonnen am Great Dyke in Simbabwe). Aufbereitungsmethoden für solche Erze existieren bislang nicht.



Oxidiertes Erzlager der „Main Sulfide Zone“ mit Platingruppen-element-Anreicherung, Hartley Mine, Simbabwe.



Anschnitt eines oxidierten Platinerzes in der Elektronenstrahl-Mikrosonde (Bildbreite ca. 200 μm).

Die ökonomisch gewinnbaren PGE-reichen Horizonte der „Main Sulfide Zone“ (Great Dyke) sowie des Platereef, Merensky Reef und UG2 (Bushveld Komplex, Südafrika) sind bis in 20 – 50 m Tiefe tiefgründig verwittert. In den nicht oxidierten Bereichen sind die PGE zum Teil in Buntmetallsulfiden ersetzt (vor allem Palladium in Pentlandit), oder sie bilden diskrete Platingruppenminerale (PGM), meist Verbindungen mit den Elementen Schwefel, Arsen, Wismut, Tellur und Antimon.

In den verwitterten Erzen sind die PGE-Konzentrationen im Gesamtgestein, bis auf etwas niedrigere Pd / Pt-Verhältnisse (Palladium / Platin), durchaus mit denen der unverwitterten Erze vergleichbar, obwohl die primären Buntmetallsulfide weitgehend oxidiert und die meisten PGM entweder modifiziert oder gelöst sind.

In den oxidierten Erzen liegen die PGE unterschiedlich vor, und zwar als

- (1) reliktsche PGM und Pentlandit,
- (2) PGE-Oxide/Hydroxide,
- (3) sekundäre PGM (< 1 μm),
- (4) in sekundären Schichtsilikaten und
- (5) in Fe-, sowie Mn-Co-Ni-Hydroxiden.

In diesem Vorhaben werden oxidierte PGE-Erze aus Simbabwe und Südafrika mineralogisch-geochemisch untersucht, um die Bindungsformen der PGE zu klären und eine Quantifizierung der verschiedenen PGE-Phasen durchzuführen. Darauf aufbauend sollen Versuche zur Mineraltrennung im Labormaßstab durchgeführt werden.

Quarz-Ringversuch für § 3 Bundesberggesetz (BBergG)

Im Herbst 2003 bat die Ad-hoc AG Rohstoffe des Bund-Länder-Ausschusses Bodenforschung (BLA-Geo) die BGR, einen Ringversuch zur quantitativen Bestimmung von Quarzgehalten in Sanden zu organisieren.

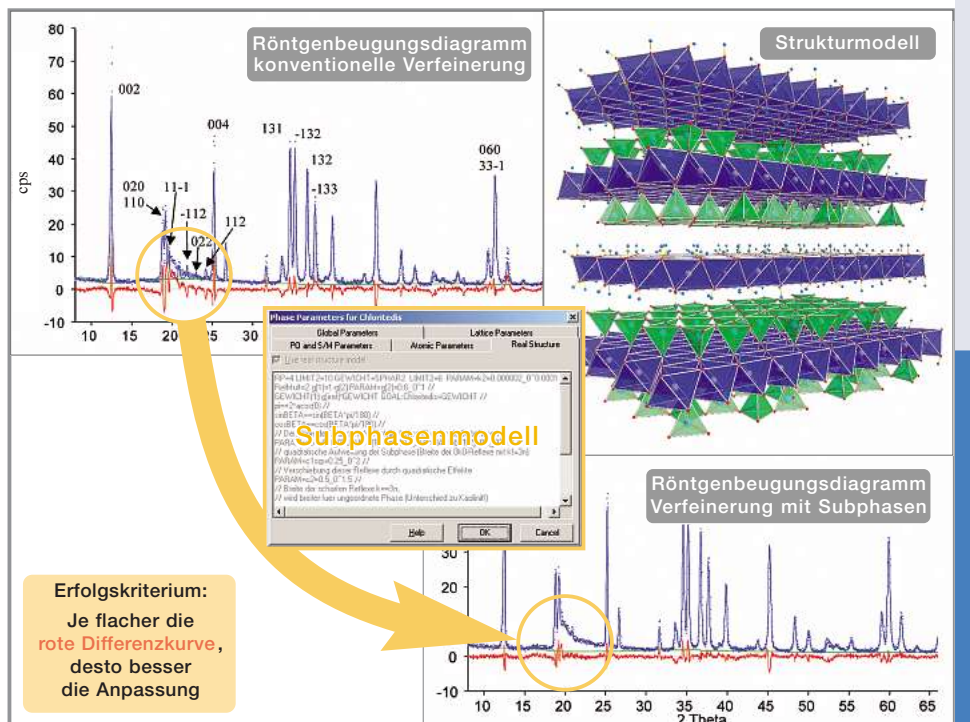
Hintergrund für diese Initiative ist das Bestreben, eine von allen Bundesländern getragene, einheitliche Methodenvorschrift zu empfehlen, um den sicheren Nachweis der Aussage „in der Rohstoffprobe sind weniger als / größer bzw. gleich 80 Gew.-% Quarz vorhanden“ zu gewährleisten. Diese soll in § 3 BBergG (Bundesberggesetz) aufgenommen werden. Die BGR als Bundesbehörde wurde diesbezüglich von den Staatlichen Geologischen Diensten als neutrale Institution akzeptiert.

Von acht Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) wurden insgesamt neun verschiedene Rohstoffmuster (zwischen 1 und 5 kg) zur Verfügung gestellt. Die BGR stellte zwei künstliche Mischproben bekannter Zusammensetzung aus geeigneten natürlichen und

künstlichen Standards bereit. Diese Materialien wurden von den teilnehmenden Laboratorien analysiert. Als Maßstab dienten die von der BGR mit einer Kombination aus unterschiedlicher Analytik bestimmten Mengenanteile, die so genannten BGR-Referenzwerte. Die besten Übereinstimmungen mit den BGR-Referenzwerten wurden mit der Röntgendiffraktometrie (röntgenografische Bestimmung von Mineralbestandteilen) erzielt. Hierbei lagen die Ergebnisse eines Labors bei Verwendung der Rietveldmethode (quantitatives Berechnungsprogramm für Mineralbestandteile) knapp vor einem Labor, das ein Einzellinienverfahren (klassische Methode zur quantitativen Mineralbestimmung) eingesetzt hatte.

Nach Auswertung der Ergebnisse und Diskussion im Kreis der Ad-hoc AG Rohstoffe wurde eine lange kontrovers geführte Diskussion beendet. Die Empfehlung lautet, dass Röntgendiffraktometrie durchgeführt werden soll. Der Einsatz von Orthophosphorsäure bei der Bestimmung wird nicht mehr empfohlen.

Fehlorderungsmodelle innerhalb von Fundamentalparameter-Rietveldprogrammen ermöglichen eine verbesserte Beschreibung von variabler Peakverbreiterung, verschobenen Positionen und asymmetrischen Peaks. Dies führt zu der guten Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung.



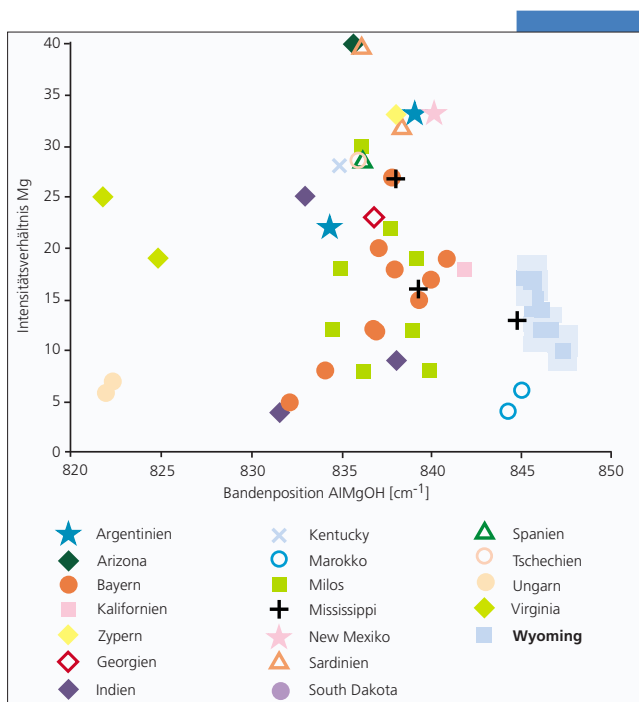
Identifizierung von Wyoming-Bentoniten mit Infrarotspektroskopie als Schnellmethode

Bentonite (Tonminerale) werden weltweit in großen Mengen und für unterschiedliche Anwendungen abgebaut und eingesetzt. Hauptbestandteil von Bentonit sind Tonminerale der Smektitgruppe (in der Regel Montmorillonit). Die technischen Eigenschaften der Bentonite unterschiedlicher Lagerstätten zeigen deutliche Unterschiede.

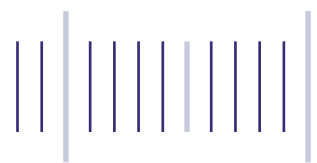
In vielen Anwendungsbereichen konnte bislang nicht zweifelsfrei geklärt werden, warum ein Bentonit gut und ein anderer weniger oder gar nicht geeignet ist. Besonders Bentonite aus dem Lagerstättendistrikt Wyoming und S-Dakota („Wyoming-Bentonit“) zeigen Besonderheiten, die bislang nur selten auf messbare Parameter zurückgeführt werden können. Generell ist die Identifizierung der unbekanntenen Herkunft einer Bentonitprobe für die Industrie von Interesse.

Die Identifizierung eines Wyoming-Bentonites ist von besonderem Interesse. In dieser Studie der BGR wurde eine Methode entwickelt, anhand derer möglichst schnell und genau bestimmt werden kann, ob es sich um einen Wyoming-Bentonit handelt. Die Basis der Methode stellt die Infrarotspektroskopie dar, mit deren Hilfe im MIR-Bereich (mittleres Infrarot) Banden beobachtet werden können, die die chemische Zusammensetzung der Oktaederschicht der Smekтите widerspiegeln. Dabei ist bekannt, dass diese Zusammensetzung im Vergleich verschiedener Lagerstätten untereinander deutlicher variiert, als innerhalb einer Lagerstätte oder eines Distriktes.

Als besonders charakteristisch für Wyoming-Bentonite erwies sich die Berücksichtigung der Intensität und Position der AlMgOH-Bande. Basierend auf der Untersuchung von 60 Bentoniten wurde ein Diagramm entwickelt, mit dessen Hilfe Wyoming-Bentonite auch noch als Weiterverarbeitungsprodukte identifiziert werden können, sofern es sich nicht um Mischungen aus Wyoming-Bentoniten mit solchen anderer Herkunftsgebiete handelt.



Anhand des blauen „Wyoming-ATR-Feldes“ können Wyoming-Bentonite gut von Bentoniten der meisten anderen Lagerstätten unterschieden werden. Eine Probe aus Mississippi (schwarzes Kreuz) zeigt die genetische Verwandtschaft dieses Materials mit Wyoming-Bentoniten.

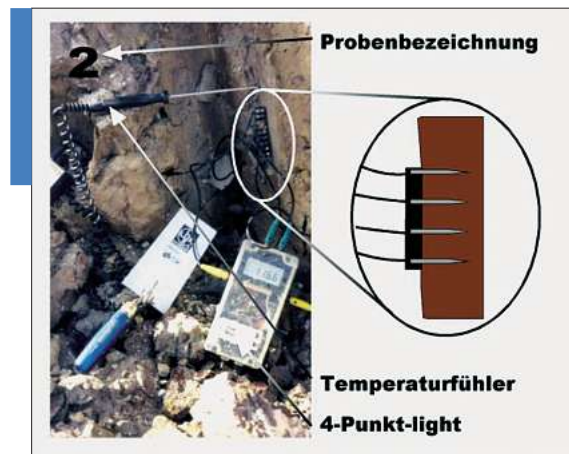


Test der SER-Methode an keramischen Tonen



Für die Verwendung von Tonen als Keramikrohstoff, Deponieabdichtung bis hin zu Katzenstreu werden einfach zu bestimmende Qualitätsmerkmale gesucht, die bereits in der Tongrube eine Aussage über die mögliche Nutzung erlauben.

1998 wurde eine geoelektrische Methode (SER-Methode) entwickelt und patentiert (DE 19839531), mit der die Qualität von bayerischen Bentoniten bereits in der Tongrube (in situ) abgeschätzt werden kann.



SER-Methode: Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes mit einer miniaturisierten Wenneranordnung ($dES = 2 \text{ cm}$) sowie der Temperatur. Der Wassergehalt wird parallel mit einer Schnelltrochungswaage bestimmt.

Die Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes (SER) von Gesteinen wird in den Geowissenschaften vielfältig eingesetzt (Bohrlochgeophysik, Grundwassererkundung, Lagerstättenprospektion bzw. Exploration, Überwachung der Dichtheit von Deponieabdichtungen usw.). Der Leitfähigkeitsmechanismus von tonarmen Gesteinen ist weitgehend verstanden. Das Zusammenspiel unterschiedlicher Leitfähigkeitsmechanismen tonreicher Gesteine ist hingegen kaum bekannt. Dies liegt vor allem daran, dass die Tonminerale in ihrer Art und Anordnung stark variieren und die analytische Erfassung aller möglicherweise bedeutsamen Parameter immer noch schwierig ist.

Anschauliche Ergebnisse lassen sich erzielen, wenn man die Untersuchungen auf spezielle Tone beschränkt, wodurch sich die Anzahl der variierenden Parameter verringert. Auf diese Weise ist es möglich, weitere Informationen über die Leitfähigkeitsmechanismen tonreicher Gesteine zu erfahren.

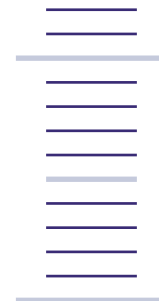
Der spezifische elektrische Widerstand dieser speziellen Tone hängt hauptsächlich von der Kationenaustauschkapazität (KAK), dem Wassergehalt und der Temperatur ab. Durch die Messung des SER, des Wassergehaltes (mit Schnelltrochungswaagen) und der Temperatur (Einstichfühler) lässt sich die KAK errechnen, die in einer Näherung in den „Wertstoffgehalt“ (Smektitgehalt) umgerechnet werden kann. Der Wertstoffgehalt stellt ein wesentliches Qualitätsmerkmal von Bentoniten dar. Es ist dabei unbekannt, ob der Smektitgehalt oder die Kationenaustauschkapazität den leitfähigkeitsbestimmenden Parameter darstellen. Beide Größen hängen über die Schichtladungsdichte (SLD) der Smektite zusammen, die in dem untersuchten Gebiet relativ homogen ist. Bei zwei Einzelproben (von 80 Messungen) wurden je eine vergleichsweise höhere und niedrigere Schichtladungsdichte festgestellt. Die Berücksichtigung dieser Proben indiziert, dass weniger die Kationenaustauschkapazität sondern die Menge der vorhandenen Smektite den

spezifischen elektrischen Widerstand bestimmt. Aufgrund der Vielzahl der zu berücksichtigenden Parameter kann diese Frage nicht eindeutig beantwortet werden.

Das Ziel dieser von der BGR durchgeführten Studie war die Bewertung der Anwendbarkeit der SER-Methode für keramische Tone. Das übliche Qualitätsmerkmal ist der Al_2O_3 -Gehalt (Aluminiumoxid-Gehalt), der stark mit dem Kaolinit-Gehalt zusammenhängt. In vier Tongruben wurden 25 Messungen des spezifischen elektrischen Widerstandes und der Temperatur durchgeführt sowie Proben zur Bestimmung des Wassergehaltes genommen. Diese Proben wurden bezüglich der chemischen und mineralogischen Zusammensetzung sowie keramischen Kennwerten untersucht. Zur Bewertung der Anwendbarkeit der SER-Methode erfolgt ein Vergleich der in-situ messbaren Parameter mit unterschiedlichen keramischen Kennwerten bzw. dem Hauptqualitätsmerkmal Al_2O_3 -Gehalt. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der spezifische elektrische Widerstand der keramischen Tone (analog zu den bayerischen Bentoniten) durch die

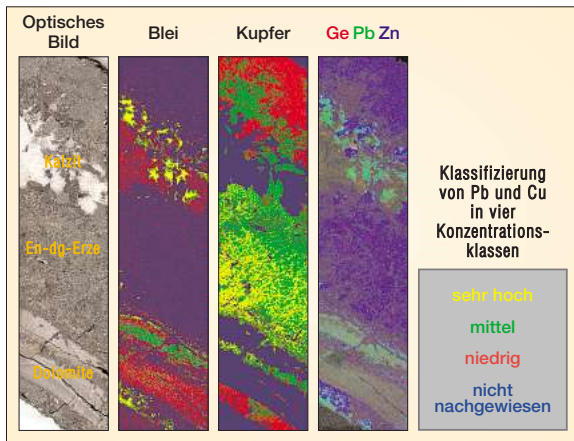
Kationenaustauschkapazität und den Wassergehalt beschreiben lässt. Die keramischen Tone zeigen jedoch eine, bezogen auf die Kationenaustauschkapazität, geringfügig bessere Leitfähigkeit. Es wird vermutet, dass die zusätzlich und in größerer Menge im Vergleich zu Smektiten – sie bestimmen die Kationenaustauschkapazität – vorkommenden Tonminerale Kaolinit und Illit einen Einfluss auf die Leitfähigkeit haben. Bei gleichwertigen Gehalten der Tonminerale wird die Leitfähigkeit von Kaolinit und Illit auf 1/10 der Leitfähigkeit von Smektiten geschätzt.

Die Kationenaustauschkapazität von keramischen Tonen wird in der Regel als Qualitätsmerkmal nicht berücksichtigt. Da sich die keramischen Parameter besser anhand der chemischen Zusammensetzung erklären lassen als anhand der SER-Methode, ist die Einsatzmöglichkeit der SER-Methode als Werkzeug zur Qualitätskontrolle von keramischen Tonen zur Verwendung in der keramischen Industrie gering. Diese Tone werden allerdings auch teilweise zur Deponieabdichtung und als Katzenstreu verwendet. Für diese Anwendungen stellt die KAK ein wesentliches Qualitätsmerkmal dar, das mittels SER-Methode bereits in-situ abgeschätzt werden kann.



Die Mikroanalyse – High-Tech-Methoden ergänzen die klassische Feldarbeit

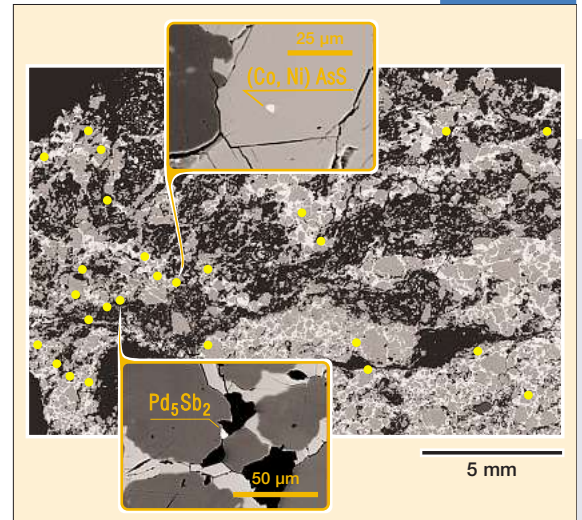
„Mente et malleo“, Geist und Hammer, sind das klassische Rüstzeug der Geowissenschaftler. Auch in Zeiten moderner Informations- und Analysetechnik bleiben diese Werkzeuge unverzichtbare Voraussetzung bei der Aufsuchung und Bewertung mineralischer Rohstoffe. Neben klassischen Fertigkeiten wie Gesteinsansprache und Kartierung haben sich Geowissenschaftler in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von Hightech-Methoden zu Nutze gemacht, die die klassischen „Feldmethoden“ wesentlich ergänzen.



Verwittertes Erz aus Tsumeb, Namibia. Der Geoscaner liefert Bilder der Element-Verteilung, zeigt das Erzgefüge und die Positionen seltener Minerale.

In der BGR werden viele moderne Analysemethoden nach dem neuesten Stand der Technik angewendet. Aktuelle Mess- und Analysetechnik wird auf ihren Nutzen für die Erkundung und Verwertung mineralischer Rohstoffe geprüft oder entwickelt. Hier bietet die BGR neben Expertenwissen eine starke fachliche und apparative Spezialisierung.

Ein Schwerpunkt ist die Mikroanalyse, die Untersuchung kleinster Bereiche innerhalb einer Probe. Mit der Elektronenstrahl-Mikrosonde können selbst feinstverteilte Minerale lokalisiert und ihre chemische Zusammensetzung bestimmt werden. Übersichten von Element-Verteilungen im Detail, selbst in großen Proben, gestattet das Röntgen-Mikroskop (EDXRF).



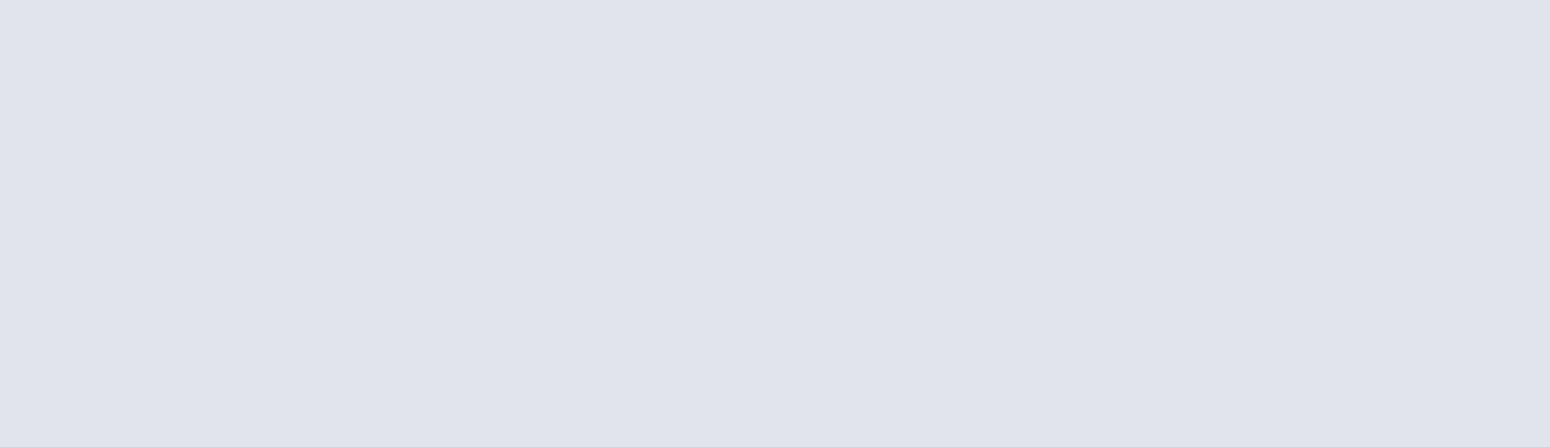
Nickel-Sulfid-Erz, Epoch-Grube, Simbabwe: Die gelben Punkte zeigen feinstverteilte Platingruppen-Minerale, die mit dem automatischen Suchprogramm der Elektronenstrahl-Mikrosonde lokalisiert und gemessen wurden.

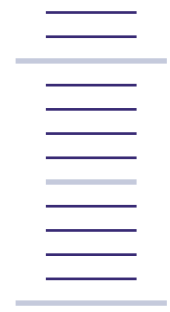
Mit dem Geoscaner kann entlang von Profilen die Zusammensetzung ganzer Bohrkerns visualisiert werden.

Die Kombination hoch auflösender Messmethoden mit einer modernen Visualisierung, Bildanalyse und Bilddokumentation zeichnet auch weitere, in der BGR vorhandene mikroanalytische Verfahren aus: ein atmosphärisches Raster-Elektronenmikroskop erlaubt die detaillierte Beobachtung und die schnelle Bestimmung der Zusammensetzung feuchter und empfindlicher Materialien, mit der Infrarot-Mikroskopie werden die chemischen Bindungen „sichtbar gemacht“, und die Kathodolumineszenz-Mikroskopie ermöglicht Einblicke in den inneren Aufbau von Kristallen.

Die Arbeitsgruppe „Mikroanalytik“ sorgt mit Blick auf die geowissenschaftlichen Fragestellungen dafür, dass die mikroanalytischen Methoden rationell, wirtschaftlich und wissenschaftlich korrekt eingesetzt werden. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Dokumentation und die Bereitstellung der umfangreichen Bild- und Analysedaten in einer flexiblen und übersichtlichen Datenbank.

Zusätzlich bietet die Arbeitsgruppe „Mikroanalytik“ ein Forum für die Bewertung von Neu- und Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Mikroanalytik und steht bei komplexen Analyse-Fragestellungen beratend zur Verfügung.





Erkundung der Meere und Polarregionen

er Meere
olarregionen

Erkundung der Meere und Polarregionen

Warum Forschung in Meeren und Polarregionen?

Weshalb werden Steuergelder genutzt, um mit teuren Forschungsschiffen zu den exotischsten Plätzen der Welt zu reisen? Warum ist die BGR in den Polarregionen der Arktis und Antarktis aktiv? Geologische Erkundung der Nordsee? Mensch, das ist doch alles längst erforscht! Dies oder Ähnliches werden Sie sich fragen.

Eine der vielen Aufgabengebiete der BGR ist die geowissenschaftliche Erkundung der Meere und Polarregionen. Die Ozeane und Polargebiete zählen zu den letzten weitgehend unerkundeten Gebieten unseres Planeten. Sie bergen Rohstoffquellen, deren Ausmaß wir noch nicht abschätzen können. Die BGR erforscht diese für die Industrie noch unrentablen Regionen und ermöglicht damit die Erschließung zukünftiger Energie- und Rohstoffquellen.





Ebenfalls weitgehend unerschlossen ist der Meeresboden als Nutzungsraum für die Menschen. Der Grund flacher Meere kann zum Beispiel für Windkraftanlagen, die weit vor den Küsten Energie erzeugen, genutzt werden. Meeresforscher der BGR sind auch hier aktiv und erkunden daher die Geologie der Nordsee.

Viele der Forschungsaktivitäten der BGR sind eingebunden in zum Teil langfristige internationale Kooperationsverträge und Abkommen. So hält die BGR gemeinsam mit dem Alfred-Wegener-Institut den Konsultativstatus Deutschlands im Rahmen des Antarktisvertrages und ist damit verpflichtet regelmäßige Forschungsexpeditionen in die Antarktis zu unternehmen. Ebenfalls wird die BGR die deutschen Abbaurechte für Manganknollen im Pazifik wahren und diese für die deutsche Industrie vorhalten. Auch dort müssen zum Erhalt dieser Abbaurechte regelmäßige Forschungsaktivitäten vorgewiesen werden.

Es sind jedoch nicht nur Rohstoffaspekte und internationale Verpflichtungen, die die Aktivitäten der Meeres- und Polarforscher der BGR leiten.

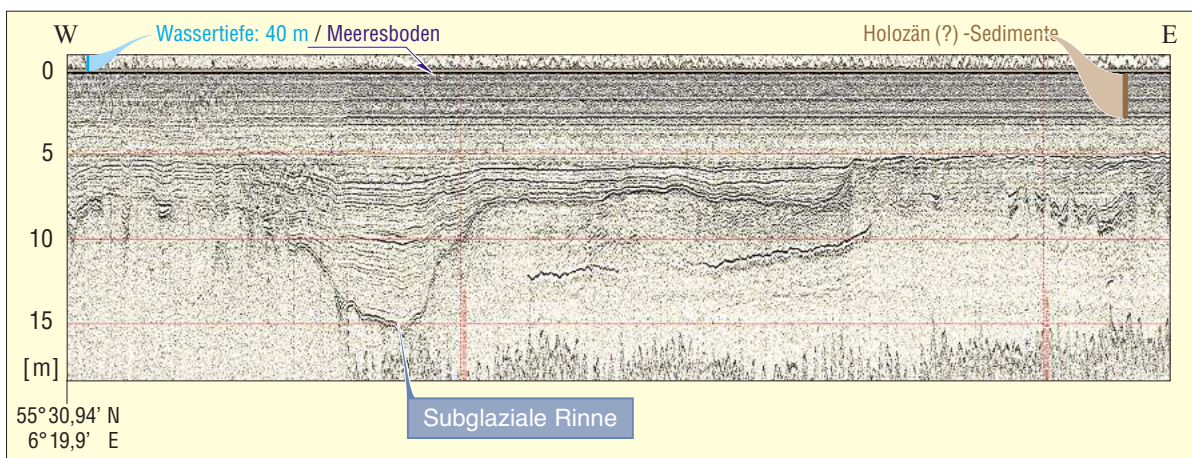
Wissenschaftler der BGR liefern wichtige Beiträge für die Erforschung der Klimageschichte unserer Erde. Sie tragen damit dazu bei, die Ursache heutiger Klimaänderungen besser zu verstehen. Natürliche Ereignisse wie submarine Hangrutsche und Seebeben können katastrophale Flutwellen auslösen. Aktivitäten der BGR-Forscher an den Kontinenträndern der Weltmeere schaffen hier Basisdaten, die zu einem besseren Monitoring solcher Risikofaktoren beitragen.

Das Nordseeprojekt der BGR – Geobasisdaten für die deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ)

Schon heute ist die Nordsee vor unserer Haustür ein äußerst vielfältig genutztes Meer: Kabeltrassen stellen Verbindungen her, für Bauzwecke werden Sand und Kies gewonnen; es ist ein dicht befahrener Verkehrs- und Handelsweg, die Fischerei erschließt eine bedeutende Nahrungsquelle, durch Pipelines werden Öl und Gas gepumpt und Offshore-Windenergieparks sollen in Zukunft Strom und Wasserstoff produzieren. Daneben ist die Nordsee Siedlungsraum, Erholungsgebiet und schützenswerter Naturraum.

Mitte des Jahres 2002 startete das Nordseeprojekt der BGR, um bisher nur lückenhaft vorhandene Geobasisdaten des oberflächennahen Untergrundes systematisch zusammenzutragen, die als Grundlage für jegliche Art von Planungen und Nutzungen dienen sollen. Dabei werden bereits digital vorhandene seismische Linien und Bohrungsdaten in einem Interpretationssystem erfasst und mit neuen, hochauflösenden Daten mit der Zielsetzung verknüpft, flächendeckende Informationen in einem Geoinformationssystem (GIS) zur Verfügung stellen zu können.

Der tiefere Untergrund war bereits durch die Kohlenwasserstoffsuche gut bekannt, ebenso wie der eigentliche Meeresgrund, der durch die systematischen Kartierungen des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) und der Wasser- und Schifffahrtsämter, die die Sicherheit des Schiffsverkehrs gewährleisten, untersucht wurde. Allerdings standen bisher keine flächendeckenden Informationen über den geologischen Aufbau des oberflächennahen Untergrundes zur Verfügung: so war beispielsweise der genaue Verlauf der unter dem Eis der Gletscher entstandenen Rinnensysteme nur teilweise kartiert. Diese Rinnensysteme sind häufig etwa 100 bis 250 m tief, können aber auch bis zu 500 m in die unterliegenden Schichten eingeschnitten sein. Die Rinnen entstanden während der pleistozänen Vereisungen zwischen etwa 1,8 Mio. Jahren vor heute bis zum Ende der letzten Eiszeit etwa 18 000 Jahre vor heute.



Boomer-Seismik: Profil AUR_09 (swell filter).



In drei Kampagnen mit dem gecharterten Schiff MV Aurelia wurden in 2003 und 2004 mit dem Seismik-System der BGR und verschiedenen anderen Methoden (Boomer-, Sparker- und CHIRP-Seismik-Systeme) neue Linien vermessen. Mit einem Vibrationskerngerät wurden bis zu 6 m lange Kerne gewonnen, um oberflächennahe Sedimentkörper charakterisieren und datieren zu können.

Das Schmelzwasser unter den mächtigen Gletschern, die damals bei einem um bis zu 120 m abgesenkten Meeresspiegel bis in den Bereich der heutigen Nordsee vorgerückt waren, hat sie ausgeschürft. Heute sind diese ehemaligen Hohlformen wieder vollständig mit einer uneinheitlichen Wechselfolge von Sanden, Tonen, aber auch großen Blöcken, die mit den Gletschern antransportiert wurden, verfüllt.

Diese Rinnenfüllungen sind in ältere Abfolgen aus dem jüngeren Tertiär (= Neogen, zwischen etwa 12 Mio. und 2 Mio. Jahre vor heute) eingeschnitten, die im Wesentlichen aus Ablagerungen eines sehr großen Flussdeltas aufgebaut sind, das NE-Europa bis zum Beginn der Eiszeiten entwässert hat. Daneben treten aber auch kleinere verfüllte Rinnen auf, die von den Flüssen angelegt wurden, die nach dem Ende der letzten Eiszeit den Raum der heutigen Nordsee entwässert haben, bis der Meeresspiegel wieder soweit angestiegen war, dass sich dort marine Verhältnisse einstellten. Zudem finden sich auch von der ehemaligen Eisauflast zerscherte Sedimentkörper, Endmoränen und vorgelagerte Sanderflächen.

Neue Ergebnisse zur **Öffnungsgeschichte** des **Südatlantiks**

– marine geophysikalische Untersuchungen am **Kontinentrand** von **Südafrika**

Die marine geowissenschaftliche Forschung im Vorfeld der industriellen Exploration als Informations- und Entscheidungsgrundlage für eine langfristige deutsche Energiepolitik zählt zu den originären Aufgaben der BGR. Hauptzielregion der marinen Forschung sind seit langem die Kontinentränder und die angrenzenden Tiefseebereiche mit ihrem derzeit noch wenig geklärten Nutzungs- und Gefährdungspotenzial.

Die seit 1978 von der BGR vor Brasilien, Uruguay, Argentinien und Namibia durchgeführten marin-geowissenschaftlichen Arbeiten haben gezeigt, dass große Teile dieser Kontinentränder vom Typ „vulkanischer passiver Kontinentrand“ sind.

Es wurde nachgewiesen, dass die Öffnung des Südatlantiks vor über 130 Millionen Jahren von ausgesprochen starkem, aber kurzlebigen Vulkanismus begleitet wurde, ein Vulkanismus, der um Größenordnungen stärker war als alles, was aus historischer Zeit von der Erde bekannt ist. Diese vulkanischen Gesteine an den Kontinenträndern des Südatlantiks sind heute von mächtigen Sedimenten bedeckt. Die genauen zeitlichen und räumlichen Verhältnisse bei der Ablagerung dieser Vulkanite und die Auswirkungen der geodynamischen Prozesse auf das Sedimentationsgeschehen, die Kohlenwasserstoff-Bildung und das Kohlenwasserstoff-Potenzial sind bislang jedoch noch wenig verstanden.

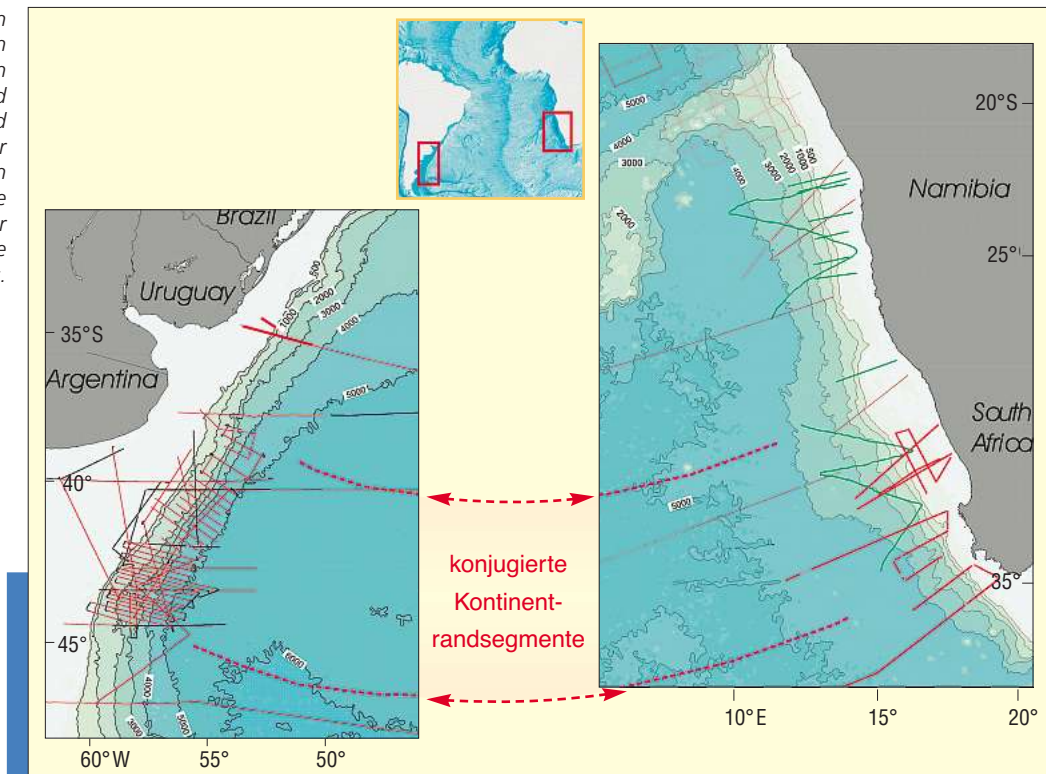
In Ergänzung der bisherigen Untersuchungen der BGR, die sich vorwiegend mit dem südamerikanischen Kontinentrand beschäftigt haben, wurden im Frühjahr 2003 marin-geophysikalische Messungen vor Südafrika durchgeführt. Auf einem Profilnetz wurden mehrkanalseismische, magnetische und gravimetrische sowie fächerbathymetrische Messungen durchgeführt und auf einem Profil Ozeanboden-Hydrophone (OBH) eingesetzt. Untersuchungen an konjugierten Teilen der südatlantischen Kontinentränder, d. h. von gegenüberliegenden Teilen Argentinien und Südafrikas, die vor dem Aufbrechen des Atlantiks einmal eine gemeinsame Landmasse (Gondwana-Kontinent) bildeten, sind deshalb von besonderem Interesse, da aus den Ergebnissen wesentliche neue Erkenntnisse über (1) die geodynamischen Prozesse, die während des Aufbrechens eines Kontinents wirksam waren und (2) erste Abschätzungen des Rohstoffpotenzials ableitbar sind.



*Ein seismisches Messschiff
im Einsatz.*



Seismische Messlinien
der BGR an den
Kontinenträndern
Südafrikas und
Südamerikas und
Verteilung der
abgeleiteten
Kontinentrandsegmente
– Zeugnisse der
Öffnungsgeschichte
des Südatlantiks.



Die Ergebnisse zeigen das Vorkommen von kreidezeitlichen Schwarzschiefern, die potenzielle Erdöl-Muttergesteine sind, und eine Gleichverteilung der bei der Öffnung des Südatlantiks gebildeten Vulkanitbereiche entlang der beiden Kontinentränder. Beide Kontinentränder sind dabei segmentiert in Abschnitte, die durch mehr- bzw. einphasigen Vulkanismus geprägt sind.

Die genaue Analyse der seismischen Profile ergibt, dass die Vulkanite hinsichtlich ihrer internen Struktur (Mächtigkeit und Ausdehnung senkrecht zum Kontinentrand) merklich variieren. So finden sich in den nördlich gelegenen Messlinien breitere Vulkanitfolgen als entlang der südlicher gelegenen Profile. Diese Ungleichverteilung lässt auf eine Transform-Störung schließen, die mit dem argentinischen Kontinentrand (Colorado-Offset) korreliert.

CASE 8, Ellesmere Island – Vendom Fiord



Seit 1992 untersuchen Geologen der BGR in Zusammenarbeit mit deutschen Universitäten sowie norwegischen, dänischen, russischen und kanadischen Institutionen im Rahmen des Projekts „Circum-Arctic Structural Events“ (CASE) die Entwicklung und die Deformationen der arktischen Kontinentalränder, um Aufschluss über die Vorgänge zu bekommen, die nach dem Zerfall des Nordkontinents Laurasia zur Bildung des Arktischen Ozeans geführt haben. Nach Expeditionen nach Spitzbergen, Nordgrönland, Sibirien und ins nördliche Ellesmere Island wurde im Sommer 2004 (CASE 8) eine 70 km breite Störungszone im Süden von Ellesmere Island untersucht (Vendom Fiord Fault Zone – VFFZ), die im Tertiär kurzzeitig an der Grenze Paläozän / Eozän aktiv war.

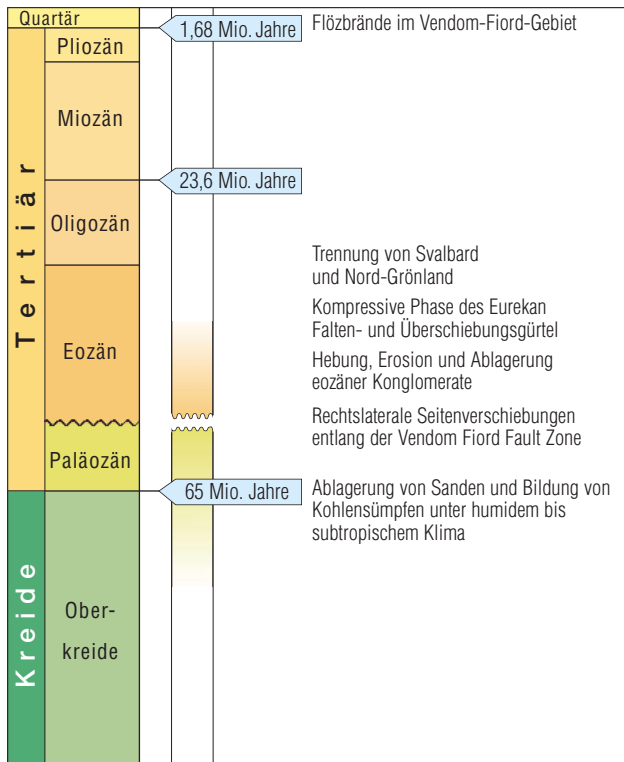
Die sedimentologischen und paläontologischen Arbeiten während CASE 8 zeigen, dass die paläozänen Tone, Silte und Sande vor der aktiven tektonischen Phase entlang der VFFZ in einem weiten, flachen Ablagerungsraum sedimentiert wurden, der die Bildung ausgedehnter Kohlensäumpfe begünstigte. Die zahlreichen Kohlenflöze und feinkörnigen Flussablagerungen sprechen für eine lang anhaltende Phase tektonischer Inaktivität in einem gemäßigten bis subtropischen Klima, wobei das Untersuchungsgebiet im Alttertiär bereits seine heutige geographische Breite von ca. 78° Nord erreicht hatte.



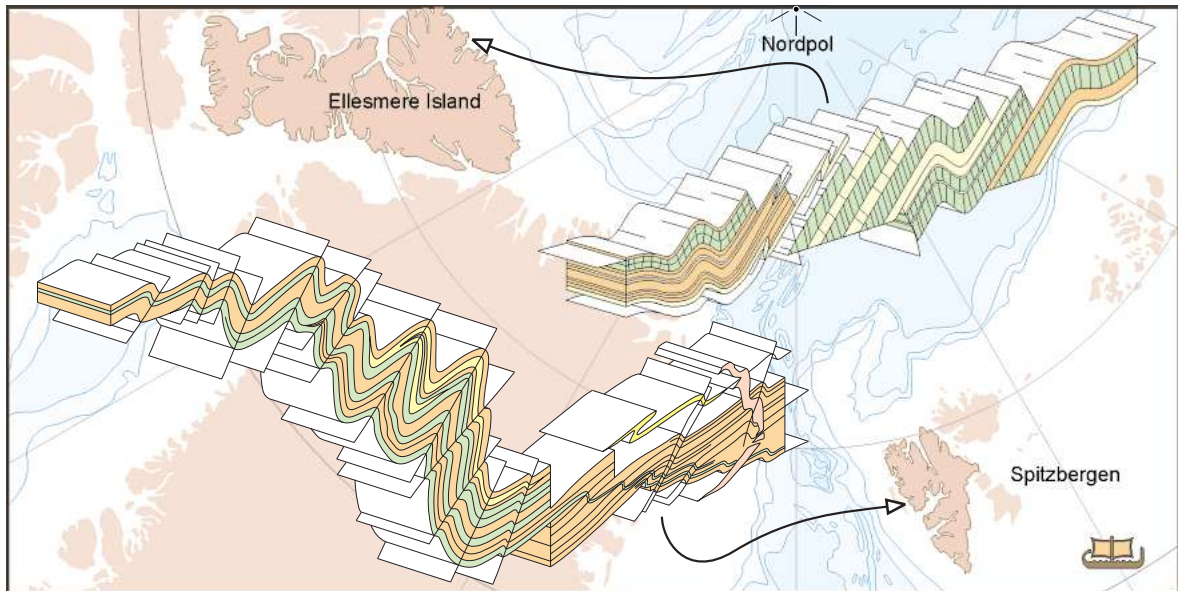


Während der Geländearbeiten wurden in einigen Tertiärbecken Vorkommen roter bis gelber Silt- und Tonsteine gefunden, die durch Frittung und Imprägnierung aus den ursprünglich unverfestigten Tertiärsedimenten gebrannt wurden. In den Zentren dieser Vorkommen sind metergroße Schloten aufgeschlossen, aus denen dunkle, massige, teils blasige und hochmagnetische Gesteine herauswittern. Nachdem erste Laboruntersuchungen auf einen vulkanischen Ursprung dieser Laven hindeuteten, mehren sich mittlerweile die Anzeichen dafür, dass es sich bei den Schmelzen um Paralaven handelt, die bei selbstentzündeten Bränden tertiärer Kohlenflöze entstanden sind.





Geologische Zeittafel der wichtigsten Ereignisse im Vendom-Fiord-Gebiet in den letzten 100 Millionen Jahren.



Was heute getrennt ist, gehörte ursprünglich zusammen: Die ähnlichen Strukturen kaledonisch deformierter Metasedimentserien in Spitzbergen und an der Nordküste Amerikas bilden Indizien für die ehemalige plattentektonische Nachbarschaft beider Gebiete.



Um die Vorgänge bei der kretazischen und tertiären plattentektonischen Umstrukturierung der Arktis, die zur Bildung der zirkum-arktischen Falteingürtel und letztendlich zur Öffnung des Arktischen Ozeans geführt haben, in Raum und Zeit verstehen zu können, ist die Kenntnis ihrer ursprünglichen Positionen und Zusammenhänge eine der wichtigsten Voraussetzungen. Für diese Rekonstruktionen muss die ganze Bandbreite geowissenschaftlicher Forschung aus der Geologie und der Geophysik eingesetzt werden. Neben den paläontologischen, stratigraphischen und petrographischen Ver-

gleichen ist dabei die Strukturgeologie eines der wichtigsten Werkzeuge, um Unterschiede oder Verwandtschaften der geologischen Entwicklung auf den heute getrennten und voneinander isolier-

ten Kontinentalplatten vergleichen und gegebenenfalls korrelieren zu können. So belegen die ähnlichen Strukturen kaledonisch deformierter Metasedimentserien in Spitzbergen und an der Nordküste Amerikas (Pearya-Terrane), dass beide Kontinentalfragmente lange vor ihrer Trennung im Tertiär eine vergleichbare Entwicklung durchlaufen haben und damit in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander lagen.



Permafrost in Kanada



Flug über ein Messfeld an der Ostküste der Hudson Bay / Kanada. Genau in der Bildmitte ist ein Palsa abgebildet.

Der in den letzten zwanzig Jahren beobachtete Trend einer deutlichen Erwärmung der kanadischen Arktis wird in der öffentlichen Berichterstattung als wichtiges Indiz einer Klimaerwärmung wahrgenommen. Damit verbunden sind Vorstellungen von einem rapiden Zerfall der Permafrostzone und einer umfassenden Wandlung des Erscheinungsbildes der arktischen Tundra. Die BGR hat in Kooperation mit der Université Laval/Quebec im Jahr 2000 ein Messfeld in Permafrost eingerichtet, um dessen Reaktion auf die klimatische Änderung zu beobachten.

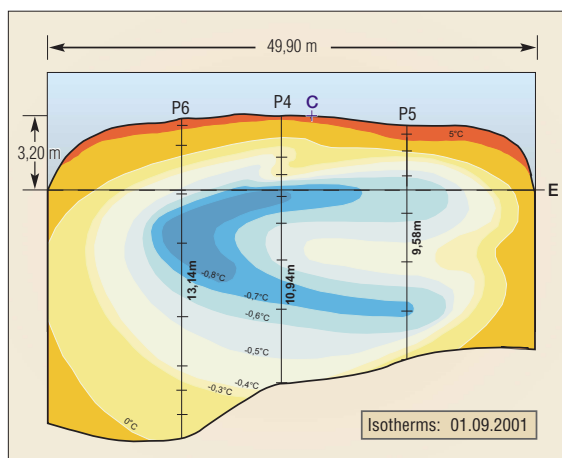
Neben dem klimatischen Aspekt verfolgen wir mit diesen Studien das Ziel, mehr über die physikalischen Eigenschaften von Permafrost zu erfahren, um daraus verlässliche Rechenmodelle zu Permafrostwachstum und -zerfall zu entwickeln. Dieser Ansatz ist auch von Bedeutung für die entsprechende Betrachtung von den schwer zugänglichen Gashydraten in den Weltmeeren – denn Permafrost und Gashydrate verhalten sich physikalisch sehr ähnlich.

Das Messgebiet liegt nahe der Ostküste der Hudson Bay. Untersucht wurde ein ca. 3 m über die Umgebung ragender, ringförmiger Frostkörper, den man vom Typus her als Palsa bezeichnet. Die seit 2000 laufenden Messungen der Temperaturen im Permafrost zeigen ab 2002 eine sich stetig verlangsamende Erwärmung an, verursacht durch den Einfluss zuneh-

mend strenger Winter, speziell in 2002/03. Immerhin hat die Erwärmung zu einem teilweisen Abschmelzen des Palsas geführt. Die Palsa-Oberfläche ist seit 2000 im Schnitt um ca. 30 cm abgesunken.

Überrascht haben drei Beobachtungen: plötzlich auftretende Spalten an der Permafrostbasis, in die Grundwasser eindringt, seitwärts gerichtete Fließbewegungen – es handelt sich offenbar um leicht mineralisiertes, daher nicht anfrierendes Wasser, das sich entlang bevorzugten Bahnen bewegt, sowie stark reduzierter Druck im ungefrorenen Restwasser des Permafrostes. Der letztere Effekt beruht auf dem so genannten „Kryo-Suktionsprozess“, der sich aus der bevorzugten Anlagerung von Wassermolekülen an Eis zu Lasten des umgebenden tonigen Materials ergibt. In Konsequenz wirkt der Palsa wie eine langsam wirkende Wasserpumpe, der aus dem Umfeld Wasser anzieht, das mit der Zeit in ihm anfriert und zu seinem weiteren Wachstum beisteuert. Ein weiterer Aspekt, der das Temperaturfeld des Palsas stark beeinflusst, ist die Schwankung der winterlichen Schneebedeckung.

Alle diese Prozesse führen zu einem erstaunlich unruhigen Temperaturfeld in dem Palsa. Mächtigkeit und Ausbildung eines temperierten – also nahe dem Schmelzpunkt existenten Permafrostes – werden nach unserem Befund wesentlich durch Fluidbewegung beeinflusst. Eine Modellierung der Reaktion des Permafrostes und der gleichzeitig ablaufenden Stoff- und Wärmeaustauschprozesse kann somit nicht durch vereinfachende Modelle zum Aufschmelzprozess erfolgen.



Temperaturfeld des Palsas in einem Vertikalschnitt. Die positive Temperaturanomale im Palsa, verursacht durch lateral eindringende Wässer, ist offenkundig.

Deutsche Aktivitäten im internationalen Tiefseebohrprogramm IODP – von der BGR koordiniert



Die zunehmend intensive Nutzung und Beanspruchung der Erde durch den Menschen erfordern ein erheblich besseres Verständnis der natürlich ablaufenden geodynamischen Prozesse. Die innovativen Forschungsprojekte des internationalen Integrated Ocean Drilling Program (IODP) untersuchen die Vielfalt der Umwelt, die Entstehung von Georisiken und Georesourcen, um ein besseres Geo-Management unseres Planeten zu ermöglichen.

Basierend auf den bahnbrechenden Erfolgen des Deep Sea Drilling Project (DSDP) und des Ocean Drilling Project (ODP) konzentrieren sich die Forschungsinitiativen des IODP auf folgende Forschungsgebiete und Forschungsschwerpunkte:

- die fast unbekannte, umfassende mikrobielle Lebewelt in der Erde unterhalb der Ozeane.
 - die Gashydrate, jenes riesige gefrorene Kohlenstoffreservoir in den Ablagerungen der Kontinentalränder.
 - die Erdbebenherde unter den Kontinentalrändern, an denen Erdkrustenplatten in das Erdinnere abtauchen.
 - das vollständige Durchbohren der Erdkruste unter den Ozeanen, um den Erdmantel zu erreichen. Diese Initiative verfolgt als „Projekt MOHOLE des 21. Jahrhunderts“ den lang gehegten Wunsch der Wissenschaft, den am weitesten verbreiteten Erdkrustentyp, die ozeanische Kruste, vollständig zu durchdringen.
- die lang- und kurzfristige Umweltentwicklung in allen Klimazonen der Ozeane, einschließlich des bisher unzugänglichen Arktischen Ozeans, um die Sensibilität des Klimasystems auch auf vom Menschen verursachte Einträge zu testen.
 - die extrem warmen Perioden der Erdgeschichte, um Variationen des Erdklimas unter Treibhausbedingungen zu definieren.
 - die Fluidzirkulation und Stoffkreisläufe an den mittelozeanischen Rücken und in den Tiefseegräben, an denen ozeanische Kruste gebildet wird oder in den Erdmantel abtaucht.
 - die Entwicklung der mächtigen Sedimentbecken während des Auseinanderbrechens von Kontinenten, um neue Konzepte für die Suche nach den letzten großen Energiereservoirien zu erstellen.

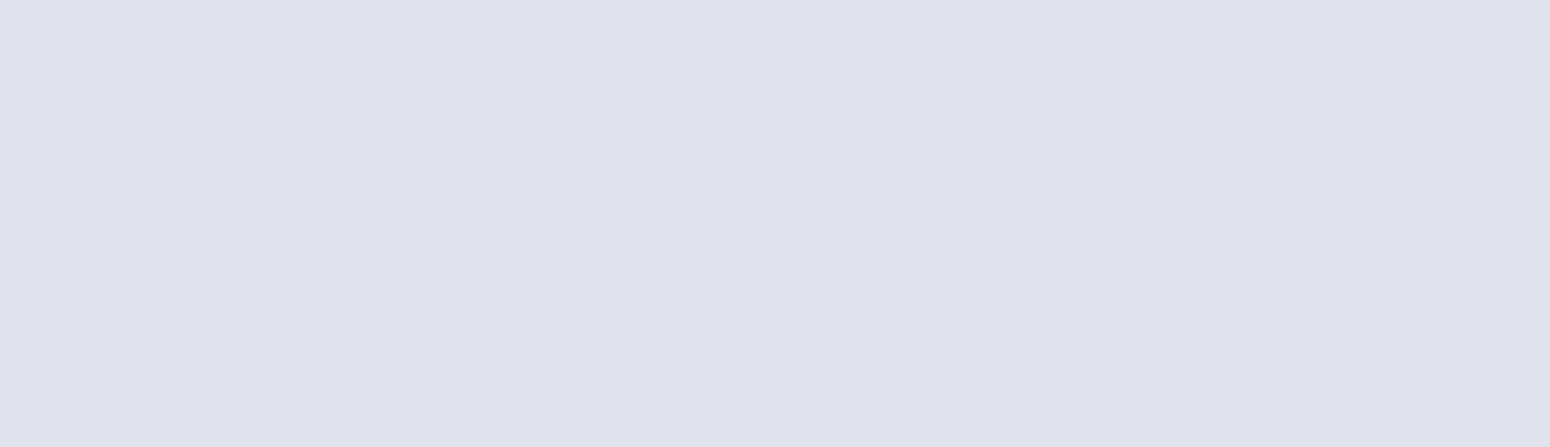
Das Programm wird ausschließlich nach wissenschaftlichen Stellenwerten organisiert und die festgelegten Forschungsziele können nur im Rahmen eines weltweit handelnden, langfristig angelegten Programms erreicht werden, in dem die besten wissenschaftlichen Konzepte mit den neuesten Methoden der Bohrtechnologie kombiniert werden.

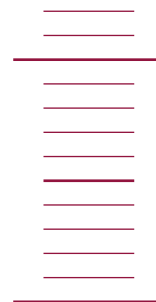
Das Ozean-Bohrprogramm ist von enormer Bedeutung für die deutschen Geowissenschaften. Etwa 250 deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sind derzeit in ODP/IODP-bezogene Arbeiten eingebunden und haben stets an der vordersten Front der internationalen Geowissenschaften mitgewirkt (allein 1186 ODP-Publikationen mit deutscher Beteiligung in den letzten fünf Jahren). Fast jede deutsche Geowissenschaftlerin und jeder deutsche Geowissenschaftler der jüngeren Generation und eine große Anzahl der heutigen Lehrstuhlinhaberinnen und Lehrstuhlinhaber haben während ihrer Karriere direkt oder indirekt vom ODP profitiert.

Das deutsche ODP/IODP-Koordinationsbüro gehört seit über 20 Jahren zum Geozentrum Hannover und wurde lange Jahre von Herrn Professor Dr. HELMUT BEIERSDORF geführt, der am 30.05.2004 verstorben ist. Wir werden HELMUT BEIERSDORF als würdigen internationalen Vertreter der Belange der deutschen Geowissenschaften nicht vergessen.

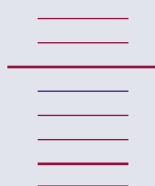


Prof. Dr. HELMUT BEIERSDORF





SONDERTHEMA
„Klima“



*ma Klima
lima Klima*

Klima, Kyoto und Kohlendioxid

Klima und Klimaänderungen sind ein brisantes Thema in der öffentlichen Diskussion und in den Medien.

Emotionale Bilder verdrängen allerdings oft die objektive Darstellung klimatischer Sachverhalte. Dennoch, die Kernfrage bleibt:

Verursachen wir durch den hohen Ausstoß von Treibhausgasen in die Atmosphäre eine globale Klimaänderung oder befinden wir uns lediglich in einer der vielen natürlichen Klimaschwankungen, wie sie die Menschheit wiederholt durchlebt hat?

Die Klärung dieser Frage mag noch lange auf sich warten lassen.

Gerade deshalb versucht die Politik bereits heute, den möglicherweise durch Klimaänderungen verursachten Gefahren vorzubeugen oder diese von der Gesellschaft abzuwenden, so etwa durch Emissionsminderungen im Rahmen des Kyoto-Protokolls.

Da Klimapolitik immer wirtschaftspolitische Maßnahmen beinhaltet, ist es eine der Aufgaben der BGR, Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit zum Themenbereich Klima kompetent und objektiv zu beraten respektive zu informieren.





Anthropogene Kohlenstoff-Emissionen bedingen zweifellos einen Eingriff in den globalen Kohlenstoff-Kreislauf. Klimaforscher glauben zudem, dass hierdurch klimatische Veränderungen größeren Ausmaßes verursacht werden könnten. Es gilt, beides im Rahmen einer Beratung der politischen Ressorts kompetent zu bewerten.

Hierfür wurden in einem Forschungsschwerpunkt Szenarien des möglichen zukünftigen Einsatzes fossiler Energie und der daraus resultierenden Kohlenstoff-Emissionen entwickelt und mit Hilfe eines Kohlenstoffzyklus-Modells und eines Klimamodells hinsichtlich ihrer ökologischen und klimatischen Wirkungsweise beurteilt.

Durch die umweltpolitischen Maßnahmen nationaler und internationaler Programme wurden die angestrebten Minderungsziele des Kyoto-Protokolls für CO₂-Emissionen bisher nicht erreicht. Daher könnte sich die CO₂-Speicherung untertage als eine zusätzliche Möglichkeit anbieten, Emissionen zu mindern.

Im Sinne des Beratungsauftrages gegenüber der Bundesregierung und der Industrie beschäftigt sich die BGR daher seit dem Jahr 2000 aktiv mit dem Thema „CO₂-Speicherung im Untergrund“, um das Potenzial des Untergrundes zur möglichen Aufnahme von Kohlendioxid zu erfassen. In diesem Kontext untersucht die BGR auch das Verhalten von Speicherstrukturen des Untergrundes, denn natürlich existierende CO₂-Lagerstätten sind Analoga für mögliche Speicher, die zukünftig mit Kohlendioxid gefüllt werden könnten. An diesen heute existierenden natürlichen Speicherstrukturen lassen sich zudem Methoden zum Nachweis von CO₂-Leckagen entwickeln. Die Bewertung der CO₂-Speicherung beschränkt sich nicht nur auf geotechnische Aspekte, sondern schließt ökologische, sozioökonomische, kraftwerks- und sicherheitstechnische Faktoren ein. Zudem werden Szenarienrechnungen zur Bewertung des klimatischen Einflusses von CO₂-Speichermaßnahmen im tiefen Untergrund durchgeführt.

Anthropogene CO₂-Emissionen im Rahmen des Kohlenstoffzyklus

Von besonderer Bedeutung in der Forschung der BGR sind natürliche Klimaveränderungen sowie ihre mögliche Überlagerung durch menschliche Einflüsse. Über die Verbrennung von fossilen Energieträgern werden jährlich große Mengen an Kohlendioxid in die Erdatmosphäre transportiert. Zudem führen Landnutzungsänderungen und Brandrodung zu weiteren vom Menschen verursachten Kohlendioxid-Emissionen.

Im Jahre 2000 wurden insgesamt 8,8 Mrd. Tonnen Kohlenstoff (im CO₂) ausgestoßen. Die anthropogenen Kohlenstoffmengen verbleiben aber nur zu einem Teil in der Atmosphäre, da der überwiegende Anteil durch so genannte Senken wie Ozeane und Wälder aufgenommen wird. Allerdings sind seit 1960 zunehmende jährliche Schwankungen der Kohlenstoffaufnahme zu verzeichnen, die bis zu 6,5 Mrd. Tonnen Kohlenstoff pro Jahr erreichen können. Worauf diese Schwankungen der Kohlenstoffaufnahme basieren, ist leider nur unvollkommen zu erklären.

Um den Einfluss der zukünftigen vom Menschen verursachten Emissionen auf den Kohlenstoffkreislauf und das Klima bewerten zu können, betreibt die BGR ein komplexes Kohlenstoffzyklus-Modell. Aus der Simulation der Vergangenheit wird deutlich, dass das Modell die atmosphärischen Kohlenstoffmengen wie auch die Kohlenstoffaufnahme in so genannten Senken gut beschreibt. Starke Jahresvariationen der Senken können allerdings derzeit nicht modelliert werden, da Erkenntnisse über die Ursachen der Senkenvariationen noch nicht genau genug sind.

Mit Hilfe des Modells lassen sich dennoch pauschale Aussagen über die Entwicklung der Kohlenstoffmengen in Atmosphäre und Senken auf der Grundlage von Emissionsszenarien herleiten.

In der Abbildung 1 ist am Beispiel des „IPCC-Emissions-Szenarios IS92a“ die Atmosphären- und Senkenentwicklung für die nächsten 100 Jahre dargestellt. In diesem Beispiel wurde zudem von einem konstanten Beitrag der Brandrodung von ca. 2 Mrd. Tonnen Kohlenstoff pro Jahr zu den Gesamtemissionen ausgegangen.

Die häufig geäußerte Befürchtung, dass die Kohlenstoffsenken durch anhaltende Emissionen bereits im heutigen Jahrhundert an die Grenze ihrer Aufnahmefähigkeit gelangen, kann durch die Modellrechnungen der BGR nicht bestätigt werden, vielmehr wird sich die Kapazität der Senken auch zukünftig erhöhen. Das verwendete Szenario „IPCC IS92a“ ist eines der konservativen „Business-as-Usual“-Szenarien (BaU) und damit im Bereich der maximal zu erwartenden zukünftigen Emissionsmengen angesiedelt.

Abb. 1:

Die Aufnahmefähigkeit von Senken unterliegt seit ca. 1960 großen jährlichen Schwankungen (dunkelgrüne Fläche). Das Aufnahmevermögen der Senken wird im Verlauf der nächsten 100 Jahre weiter ansteigen (blaue Linie und hellgrüne Fläche), wenn die menschlichen Emissionen zunehmen (rote Linie).

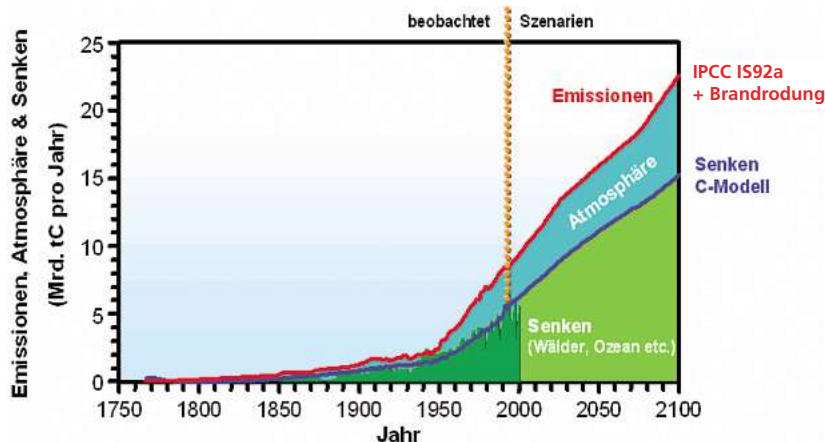
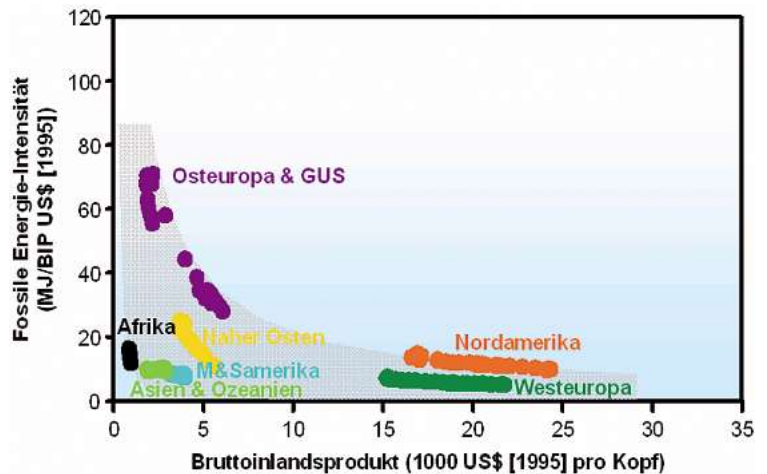


Abb. 2:

In den verschiedenen sozioökonomischen Regionen der Erde zeichnet sich bei einem Zuwachs des Bruttoinlandsproduktes (BIP pro Einwohner) eine Abnahme der fossilen Energie-Intensität (Energie-Menge pro Einheit des erzeugten BIP) ab.



Szenarien zukünftiger anthropogener CO₂-Emissionen

Szenarien der fossilen Energiegewinnung legen nahe, dass auch in Zukunft die daraus resultierenden Emissionen steigen werden. Die gezeigten Szenarien sind so genannte „Business-as-Usual“-Szenarien, die von geringer technischer Weiterentwicklung und geringer Energieeffizienz in der Zukunft ausgehen. Auch das Kyoto-Szenario gehört zu dieser Klasse, da es sich aus dem „IPCC IS92a“-Szenario ableitet.

Es erhebt sich die Frage nach der Relevanz dieser Zukunftsszenarien, da sie auf Extrapolationen des Energieeinsatzes seit 1950 basieren. Herkömmliche „Business-as-Usual“-Szenarien (BaU) lehnen sich an überholte Energietrends an; dabei wird übersehen, dass im Verlauf der letzten 30 Jahre deutliche Fortschritte bezüglich Technologieentwicklung und Energieeffizienz zu verzeichnen sind. Diesen Trend eines immer wirksameren Einsatzes fossiler Energieträger auch in Zukunft zu fördern, bedeutet mit den endlichen Ressourcen nachhaltig umzugehen. Allerdings gilt es zu bedenken, dass eine technische Weiterentwicklung nicht global gleichförmig stattfinden, sondern diese sich in den Regionen der Erde unterschiedlich ausgestalten wird.

Die großen sozioökonomischen Regionen der Erde verzeichnen im Verlauf der letzten 20 Jahre deutliche Unterschiede in ihrer Entwicklung. Allen Regionen ist allerdings gemeinsam, dass bei einem Zuwachs des Bruttoinlandsproduktes (BIP pro Einwohner) der fossile Energieeinsatz pro Einheit des erzeugten BIP sinkt. In einer Abschätzung der zukünftigen globalen Energieproduktion aus fossilen Energieträgern müssen diese Zusammenhänge berücksichtigt werden. Es ist daher unerlässlich, dass die individuellen regionalen Trends in die Berechnungen des möglichen zukünftigen fossilen Energieverbrauchs einbezogen werden.

„Business-as-Usual“-Szenarien, die auf der Grundlage der sozioökonomischen Entwicklung einzelner Regionen und den Reserve- und Ressourcen-Daten der BGR ermittelt wurden, zeigen, dass der weltweite Energiebedarf sich auch in Zukunft erhöhen wird. Während Westeuropa, Mittel- und Südamerika, Afrika und der Nahe Osten sich gegen Ende des 21. Jahrhunderts in ihren moderaten Emissionen annähern könnten, ist zu erwarten, dass Nordamerika und besonders Asien und Ozeanien ihre bereits heute schon extremen Emissionen weiter ausbauen. Die Emissionen aus den asiatischen Ländern übersteigen schon heute die von Nordamerika. Asien und Ozeanien könnten auch in Zukunft die stärksten Kohlenstoff-Emittenten sein. Die Szenarien für Nordamerika sowie Asien und Ozeanien legen allerdings nahe, dass sich die dortigen Emissionen ab 2080 auf einem stabilen Niveau halten könnten. Die Summe der regionalen Szenarien ergibt die möglichen globalen Emissionen.

Die in der Abbildung 3 dargestellte, auf der Summe der regionalen Ansätze beruhende Entwicklung weist eine Streubreite von Emissionen auf, die durch den unterschiedlichen Energiemix in den Teil-Szenarien verursacht wird. Hohe Kohlenstoff-Emissionen entstehen unter der Annahme, dass Kohle auch in der Zukunft eine wichtige Rolle in der Energiegewinnung spielt, während aus den Szenarien mit erhöhtem Gaseinsatz niedrige Kohlenstoff-Emissionen resultieren.

Aus dem regionalen Szenario ist zu erkennen, dass nach einem anfänglichen Anstieg des Energiebedarfs sich die Emissionen zum Ende des jetzigen Jahrhunderts stabilisieren. Allerdings lässt sich aus den regionalen Einzelszenarien in der Summenbetrachtung (Abb. 4) ablesen, dass in Zukunft der globale fossile Energieeinsatz pro Kopf wieder steigen könnte. Dieser Trend scheint bereits durch den immensen Energiebedarf in Asien vorgezeichnet zu sein.

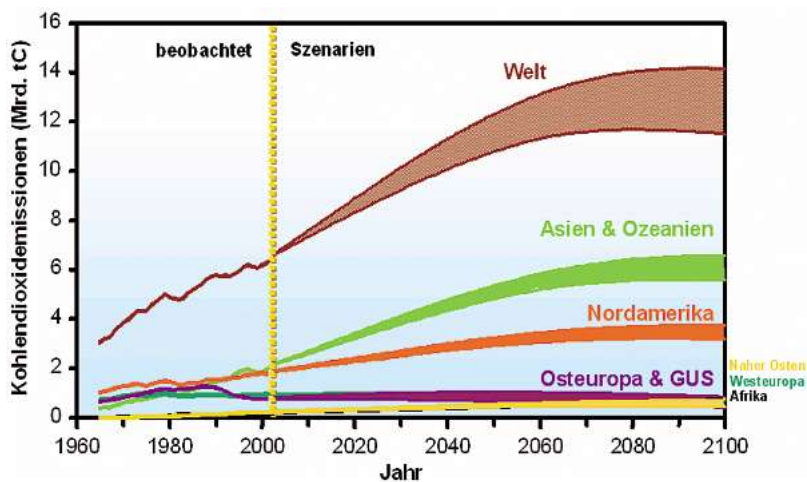


Abb. 3:

Die globalen Kohlendioxidemissionen werden auch im Verlauf des 21. Jahrhunderts steigen.

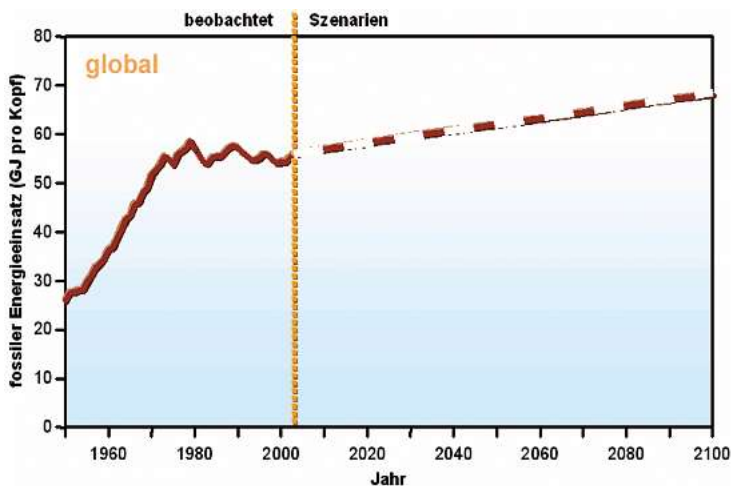


Abb. 4:

Aus der Aufsummierung der regionalen Einzelszenarien lässt sich ablesen, dass in Zukunft der globale fossile Energieeinsatz (pro Kopf) steigen könnte.

Das Szenario „BaU-Regional“ der BGR, abgeleitet aus Daten der letzten 30 Jahre, unterscheidet sich deutlich durch seine geringeren Emissionen von den BaU-Szenarien „IPCC IS92a“ und „Kyoto“ (Abb. 5).

Da die Szenarien „IPCC IS92a“ und „Kyoto“ durch Grundannahmen beeinflusst sind, die seit drei Jahrzehnten als überholt gelten, stellt das Szenario „BaU-Regional“ die wahrscheinlichere Projektion des zukünftigen Energieeinsatzes und die daraus resultierenden möglichen Emissionen dar.

Um die Klimawirksamkeit des BGR-„BaU-Szenarios“ beurteilen zu können, wurde mit dem Kohlenstoffzyklus-Modell der BGR zunächst der mögliche, durch die anthropogenen Emissionen bedingte Anstieg des atmosphärischen Kohlendioxids ermittelt. Für das „BaU-Regional“-Szenario fällt er im Verlauf des 21. Jahrhunderts deutlich geringer aus als die Vergleichsszenarien „IPCC IS92a“ und das sich daran orientierende „Kyoto“-Szenario (Abb. 6). Das „BaU-Regional“ legt einen durch Kohlendioxid-Emissionen verursachten geringeren zukünftigen Klimaeinfluss nahe, als die Szenarien „IPCC IS92a“ und „Kyoto“.

Vergleichende Modellrechnungen für das „IPCC IS92a“-Szenario und das „Kyoto“-Szenario zeigen deutlich, dass durch die möglichen Maßnahmen aus dem Kyoto-Protokoll keine deutlichen klimatischen Effekte zu erzielen sind (Abb. 7). Aus den Szenarien ist eine ähnlich globale Temperaturerhöhung gegenüber 1990 von ca. 2 °C abzulesen. Die berechnete Temperatur-Reduktion des „Kyoto“-Szenarios gegenüber dem „IPCC IS92a“-Szenario beträgt im Jahr 2100 ca. 0,16 °C und ist damit klimatisch ohne Bedeutung. Das BGR-„BaU-Regional“ hebt sich von diesen Hochrechnungen „IPCC IS92a“ und „Kyoto“ deutlich zu einem niedrigeren Temperaturanstieg gegenüber 1990 ab (Abb. 7). Er beträgt für den regionalen Ansatz ca. 1,2 °C mit Bezug auf die globale Mitteltemperatur (Mittelwert der Teil-Szenarien aus den Annahmen über den Energiemix). Einschneidende klimatische Veränderungen gegenüber der heutigen Situation sind auf der Grundlage des „BaU-Regional“ nicht zu erwarten.

Szenarien zukünftiger anthropogener CO₂-Emissionen unter Berücksichtigung von CO₂-Speicherungskonzepten

Weiterführende Überlegungen zur Reduktion von Kohlendioxid-Emissionen beinhalten u. a. Maßnahmen zur Versenkung von Kohlendioxid in Speicher des tieferen Untergrundes. Um die Klimawirksamkeit dieser technologisch aufwändigen Maßnahmen zu testen, wurden Szenarien ohne CO₂-Speicherung mit Szenarien verglichen, die eine Versenkung des Kohlendioxids berücksichtigen.

Das Ausgangsszenario für den möglichen zukünftigen Energiebedarf „BaU-Regional“ fußt auf dem Szenario einer regional unterschiedlich fortschreitenden Technologie-Entwicklung mit zunehmender Energieeffizienz als „Business-as-Usual“-Trend. Das Szenario mit CO₂-Versenkung („BaU-CO₂minus“) weicht von dem bisher erläuterten „BaU-Szenario“ ohne CO₂-Versenkung in folgenden Annahmen ab:

Ab 2012 werden 5 % der globalen CO₂-Emissionen aus Kohle-Kraftwerken durch Speicherung im Untergrund aufgefangen und bis 2020 steigt dieser Anteil auf 10 %. Danach wird eine dekadische Steigerung um jeweils 10 % bis zum Jahr 2100 angenommen. Für den zusätzlichen Energiebedarf für die CO₂-Speicherung wurde ein pauschaler Wert von maximal 30 % verwendet. Dieser zusätzliche Energiebedarf wird im Szenario „BaU-CO₂minus“ durch einen zusätzlichen Kohleeinsatz abgedeckt.

Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass das Szenarium eines „BaU-CO₂minus“ von sehr optimistischen Voraussetzungen bezüglich der Einrichtung der CO₂-Abscheidungstechnologie und -speicherung ausgeht (ab dem Jahr 2012!).

Aus den Annahmen des „BaU-CO₂minus“ ergibt sich gegenüber dem „BaU-Regional“ ein um ca. 100 EJ deutlich erhöhter globaler Energiebedarf für die Aufwendungen der CO₂-Speicherung am Ende des Jahrhunderts (Abb. 8). Die Bandbreite des Energiebedarfs errechnet sich aus den Einzelszenarien des dem „BaU-Regional“ zugrunde liegenden fossilen Energiemix. Die Differenzen zwischen den Szenariensätzen treten ab 2030 deutlich hervor.

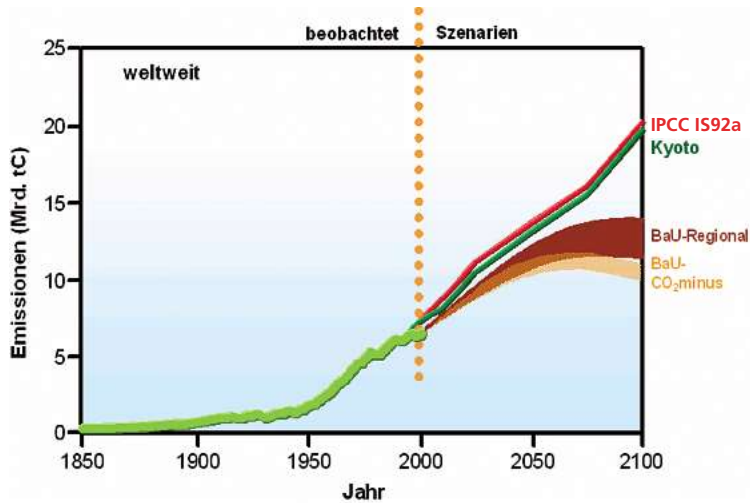


Abb. 5:

Die Szenarien „BaU-Regional“ und „BaU-CO₂minus“ unterscheiden sich deutlich durch ihre geringeren Emissionen von den BaU-Szenarien „IPCC IS92a“ und „Kyoto“.

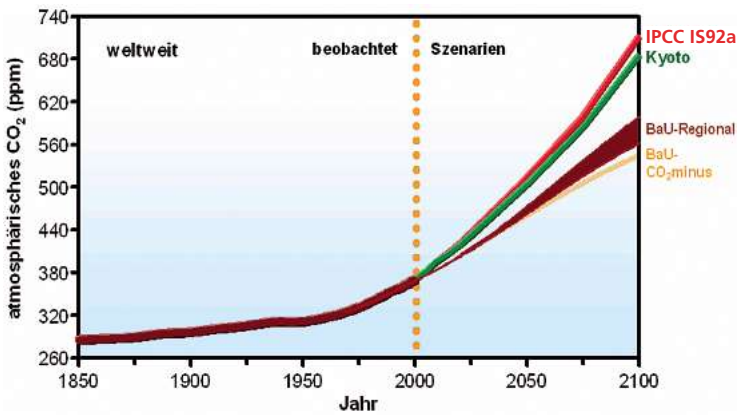


Abb. 6:

Die Szenarien „BaU-Regional“ und „BaU-CO₂minus“ unterscheiden sich deutlich durch ihre geringeren atmosphärischen CO₂-Gehalte von den BaU-Szenarien „IPCC IS92a“ und „Kyoto“.

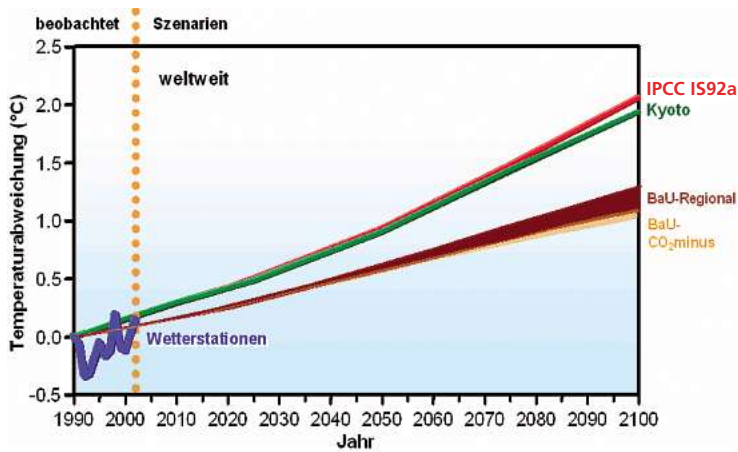


Abb. 7:

Die Szenarien „BaU-Regional“ und „BaU-CO₂minus“ unterscheiden sich deutlich durch ihren geringeren Temperaturanstieg von den BaU-Szenarien „IPCC IS92a“ und „Kyoto“ (Bezugsjahr ist 1990).

Die aus dem „BaU-CO₂minus“ resultierenden Kohlendioxid-Emissionen sind gegenüber dem „BaU-Regional“ ab etwa 2030 zu geringeren Werten verschoben. Sie sinken sogar nach Erreichen eines Maximums von ca. 11,5 Mrd. t Kohlenstoff um 2070 zum Ende des Jahrhunderts auf etwa 10,5 Mrd. t Kohlenstoff (Abb. 5). Damit wären die Emissionen aus „BaU-CO₂minus“ um fast die Hälfte geringer als die des „Kyoto“-Szenarios.

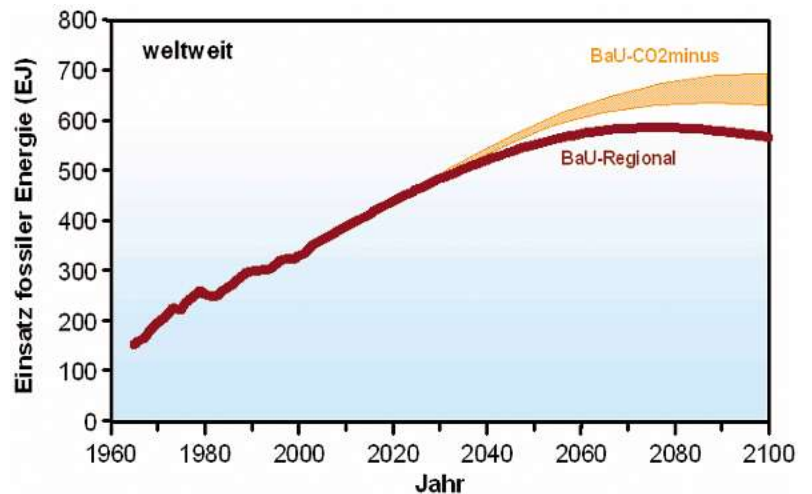
Um die Klimawirksamkeit der beiden „BGR-BaU-Szenarien“ („BaU-Regional“ und „BaU-CO₂minus“) beurteilen zu können, wurde mit dem Kohlenstoffzyklus-Modell der BGR zunächst der mögliche, durch die anthropogenen Emissionen bedingte Anstieg des atmosphärischen Kohlendioxids ermittelt. Für beide Szenarien fällt er im Verlauf des 21. Jahrhunderts deutlich geringer aus als die Vergleichsszenarien „IPCC IS92a“ und das sich daran orientierende „Kyoto“-Szenario (Abb. 6).

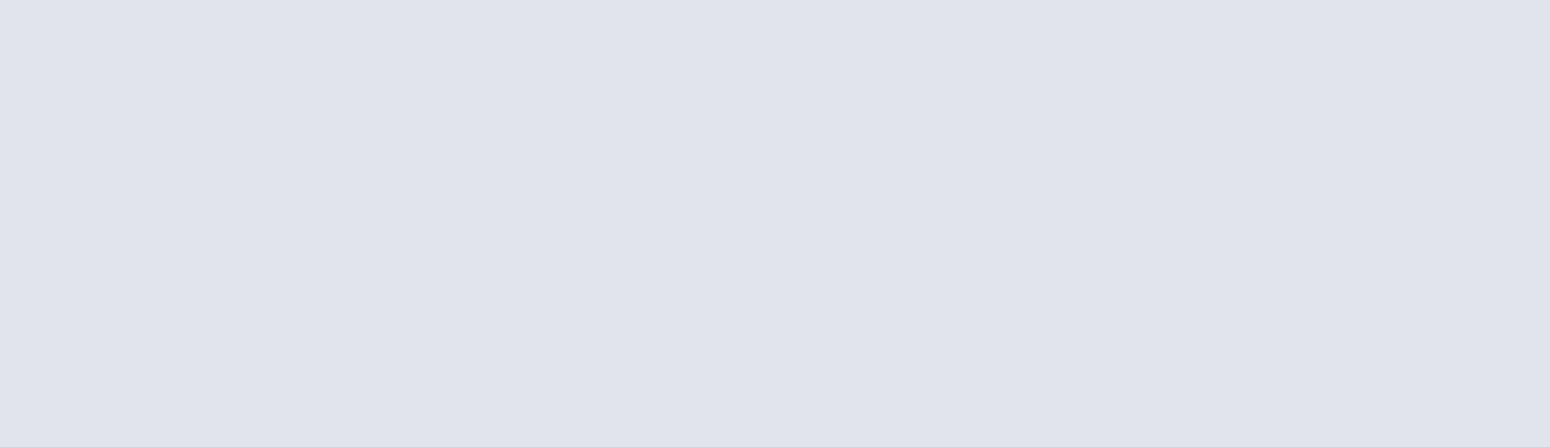
Die BGR-„BaU-Szenarien“ heben sich von den Hochrechnungen „IPCC IS92a“ und „Kyoto“ deutlich zu einem niedrigeren Temperaturanstieg gegenüber 1990 ab. Er beträgt für das „BaU-Regional“ ca. 1,2 °C (Mittelwert der Teil-Szenarien) für das Jahr 2100 und erreicht am Ende des Jahrhunderts für das Szenario „BaU-CO₂minus“ mittlere Werte von ca. 1,1 °C mit Bezug auf die globale Mitteltemperatur (Abb. 7).

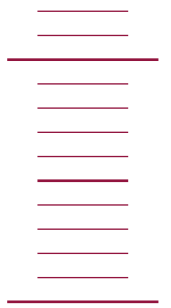
Einschneidende klimatische Veränderungen gegenüber der heutigen Situation sind auf der Grundlage der BGR-„BaU-Szenarien“ nicht zu erwarten. Allerdings wird auch deutlich, dass der Aufwand einer Kohlendioxidabscheidung (und anschließender Speicherung im tiefen Untergrund) zu keiner nennenswerten Änderung der klimatischen Situation gegenüber dem „BaU-Regional“ führt.

Abb. 8:

Die Szenarien „BaU-Regional“ und „BaU-CO₂minus“ unterscheiden sich sehr deutlich durch die Annahmen über den zukünftigen fossilen Energieeinsatz.







SONDERTHEMA
„Geothermie“



oothermie
ermie Ge

Stromerzeugung aus der Tiefe der Erde

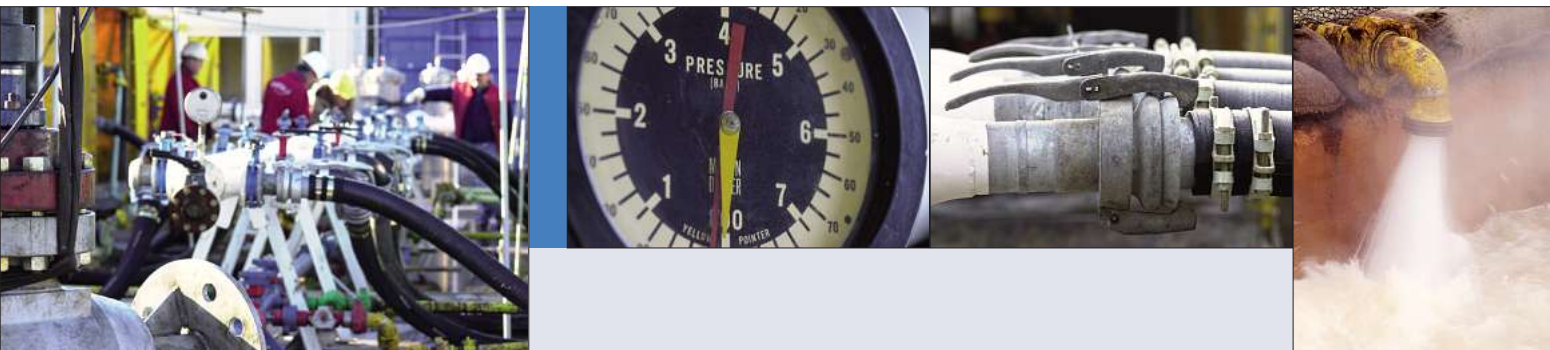
Mit dem Wort Geothermie verbindet man allgemein die Vorstellung von heißen Quellen, dampfenden Geysiren oder Vulkanen. Tatsächlich gibt es viele Gebiete auf der Erde, in denen heiße Quellen aus der Erde sprudeln oder allgemein die Temperatur des Untergrundes stark erhöht ist. Besonders in vulkanisch aktiven Gebieten ist daher die Nutzung der Erdwärme für die Wärme- oder die Stromproduktion nahe liegend und schon seit langem bekannt. In Ländern wie Island, den Philippinen oder Indonesien wird ein erheblicher Anteil der Stromproduktion aus Erdwärme gedeckt.

Weniger offensichtlich hingegen ist, dass auch in „geologisch normalen Regionen“, wie z. B. in Deutschland, geothermische Energiegewinnung eine Rolle spielen kann. In Mitteleuropa nimmt die Temperatur der Erde im Mittel um ca. 30 °C pro Kilometer mit der Tiefe zu. Das Abteufen von Bohrungen bis fünf Kilometer ist technisch beherrschbar, so dass Temperaturen von mehr als 100 °C auch in Mitteleuropa erreichbar sind.



In Deutschland wird die Nutzung so genannter alternativer Energiequellen in den letzten Jahren verstärkt gefördert. Ein wesentliches Argument für die Förderung der Erdwärmennutzung als alternative Energiequelle ist deren Grundlastfähigkeit. Im Gegensatz zur Wind- und Sonnenenergie ist die Erdwärme von Jahres- und Tageszeiten sowie von Witterungsbedingungen unabhängig verfügbar.

Vor allem durch das Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes und der damit garantierten Vergütung von geothermisch erzeugtem Strom wurden und werden eine Vielzahl von Projekten in Deutschland initiiert. Vorrangig konzentrieren sich diese Projekte auf Gebiete, in denen eine gute hydraulische Durchlässigkeit im tiefen Untergrund oder erhöhte Untergrundtemperaturen angetroffen werden. Geothermisch begünstigt sind in Deutschland vor allem der Oberrheingraben und das Molassebecken im Alpenvorland.



Die Gesteinswärme wird durch die Zirkulation von Wasser dem Untergrund entnommen. Die geothermische Energiegewinnung setzt daher eine hydraulische Mindestdurchlässigkeit des Gesteins voraus. Die in Deutschland häufig anzutreffende geringe hydraulische Durchlässigkeit des Gesteins im tiefen Untergrund kann die flächenhafte Nutzung der Erdwärme einschränken.

Daher müssen für eine flächenhafte Nutzung von Erdwärme Methoden zur künstlichen Verbesserung der hydraulischen Durchlässigkeit im tiefen Untergrund entwickelt werden. Eine bedeutende Rolle kann die Stimulation der Bohrungen durch hydraulische Risserzeugung spielen. Durch massives Einpressen von Wasser (Wasserfrac) oder einer anderen Flüssigkeit werden Risse im tiefen Untergrund erzeugt. Die künstlich geschaffenen Risse erlauben dann die Zirkulation von Wasser zwischen zwei Bohrungen. Heißes Wasser wird aus einer Bohrung gefördert, obertägig energetisch genutzt und anschließend abgekühlt in eine zweite Bohrung verpresst. Untertägig wärmt sich das Wasser wieder auf und der Wasserkreislauf beginnt von neuem.

Die BGR beteiligt sich an mehreren Forschungsvorhaben, in denen die künstliche Erschließung von Erdwärme durch hydraulische Risserzeugung im Vordergrund steht.

Seit dem Beginn der Untersuchungen im Jahr 1987 ist die BGR maßgeblich im europäischen Hot-Dry-Rock-Forschungsvorhaben Soultz (HDR) engagiert. In diesem Projekt im Elsass wird die Gewinnung von Erdwärme aus tiefen, dichten Gesteinsformationen (Granit) durch künstliche Risserzeugung untersucht.

Ein wesentlicher Meilenstein im Gesamtvorhaben wurde 1997 erreicht, als in einem Langzeitzirkulationstest die Energiegewinnung aus einem 3000 m tiefen Reservoir mit 10 MW thermischer Leistung an diesem Standort erfolgreich demonstriert wurde.

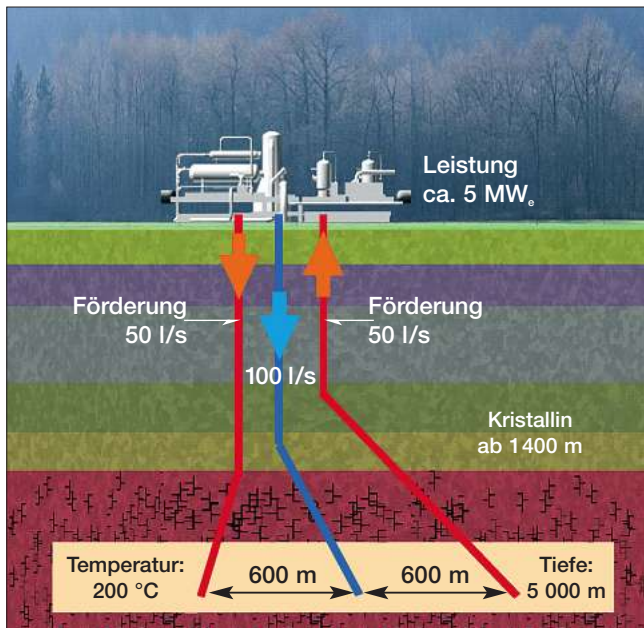
Im Berichtszeitraum wurden zwei weitere Bohrungen bis auf 5000 m als Basis für einen künstlichen Wärmetauscher in dieser Tiefe abgeteuft. Nunmehr stehen zwei Produktions- und eine Injektionsbohrung für die Entwicklung des Reservoirs zur Verfügung. Durch Stimulationsexperimente konnte die hydraulische Verbindung zwischen den Bohrungen deutlich verbessert werden.

In der kommenden Projektphase sind Zirkulationsexperimente vorgesehen, bei denen Wasser mit einer Temperatur von 200 °C bei einer Fließrate von 100 l/s produziert werden kann. Eine geothermisch erzeugte elektrische Leistung von 5 MW wird angestrebt.

Die guten Erfahrungen im HDR-Projekt Soultz haben die BGR, das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben und das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung im Geozentrum Hannover veranlasst, die Übertragbarkeit der Wasserfrac-

Technik auf Sedimentgesteine zu testen. Im gemeinsam betriebenen Projekt GeneSys steht die Gewinnung von Erdwärme aus dichten Sedimentgesteinen im Vordergrund. Das Gesamtvorhaben läuft in zwei Phasen ab. Zunächst wurden an einer Testbohrung (Bohrung Horstberg Z 1 in der Nähe von Unterlüß, ca. 80 km nördlich von Hannover) hydraulische Untersuchungen durchgeführt, um hier grundsätzliche Konzepte für die Warmegewinnung aus dichten Sedimentgesteinen zu erproben. Es wurden hier Konzepte getestet, bei denen aus einer Bohrung sowohl heißes Wasser gefördert als auch das abgekühlte Wasser wieder verpresst wird (Einbohrlochkonzepte). Aufbauend auf diesen Erfahrungen soll später auf dem Gelände des Geozentrums Hannover eine Tiefbohrung abgeteuft und die geothermische Wärmeversorgung der Gebäude des Geozentrums realisiert werden.

Im Vordergrund der Untersuchungen an der Bohrung Horstberg stand die massive Stimulation durch Wasserfracs im Bereich der Detfurth-Schichten des mittleren Buntsandsteins in 3 800 m Tiefe. Es konnte hier ein großflächiger Riss (mehrere 100 000 m² Fläche) in einer „quasi“ dichten Gesteinsmatrix erzeugt werden, der in Teilbereichen eine sehr gute hydraulische Leitfähigkeit aufweist. Die guten hydraulischen Eigenschaften des künstlich geschaffenen Risses boten Gelegenheit, zwei unterschiedliche Einbohrlochkonzepte auf ihre Eignung für die Warmegewinnung zu testen.



Schema der geplanten Pilotanlage zur geothermischen Stromerzeugung in Soultz.



Entlüftung des Saugmanifolds (Horstberg Z 1).



Nachtaufnahme vom Bohrplatz Horstberg Z 1 während der massiven Stimulationsexperimente im Herbst 2003.

*Hochdruckpumpen,
Saugmanifold und
Bohrlochkopf bei den
Stimulationsexperimen-
ten an der Bohrung
Groß Schönebeck im
Januar/Februar 2003.*



In so genannten „zyklischen Tests“ wurde der Riss zunächst mit kaltem Frischwasser aufgefüllt und nach einer Verweilzeit das injizierte und nunmehr aufgewärmte Wasser zurückgefördert. Auf diese Weise kann in einem zyklischen Betrieb Wärme aus dem Riss gewonnen werden. Derartige Tests wurden im Tagesrhythmus (Injektion in der Nacht und Förderung am Tag), bzw. auf Wochenbasis (Injektion eines großen Volumens am Wochenende und kontinuierliche Förderung an den Wochentagen) durchgeführt. Die Tests und die am GGA-Institut durchgeführten Modellrechnungen sind viel versprechend und zeigen, dass ein derartiges Verfahren auch über Jahre eine zyklische Wärmeproduktion aus dem Riss ermöglicht.

Als weiteres Konzept wurde die Einbohrloch-Zirkulation zwischen zwei Schichten (Solling-Sandstein und Detfurth-Sandstein) getestet. Es wurde Wasser in den Detfurth-Sandstein injiziert und aus dem Solling-Sandstein produziert, wobei die hydraulische Verbindung zwischen den beiden Schichten durch den künstlich erzeugten Riss geschaffen wurde. Auch dieses Experiment lieferte viel versprechende Ergebnisse. Die Steigerung der Zirkulationsfließrate auf die Zielmarke von 7 l/s erscheint nach zusätzlicher Stimulation des Solling-Sandsteins als realistisch.

Nach Evaluierung aller an der Bohrung Horstberg Z 1 erzielten Ergebnisse wird zu Beginn des Jahres 2005 über den Beginn der Arbeiten für die Pilotanlage am Geozentrum Hannover entschieden.

Die BGR beteiligt sich weiterhin an den vom GeoForschungsZentrum Potsdam koordinierten Untersuchungen an der Bohrung Groß Schönebeck, ca. 50 km nördlich von Berlin. An dieser Bohrung werden sowohl die Nutzung einer porösen Formation (Rotliegend-Sandsteine) als auch einer teilweise geklüfteten Formation (Rotliegend-Vulkanite) angestrebt. Beide Formationen sind im Norddeutschen Becken weit verbreitet und können interessante Zielformationen für

die geothermische Erschließung darstellen. Im Jahr 2003 wurden an dieser Bohrung massive Stimulationsexperimente in ca. 4300 m Tiefe mit dem Ziel durchgeführt, die Produktivität bis auf ökonomisch relevante Fließraten zu steigern. Zur Anwendung kam auch hier die Wasserfrac-Technik. Durch die Stimulation konnten sowohl die hydraulischen Eigenschaften eines bereits vorhandenen Risses als auch der hydraulische Anschluss an die porösen Sandsteinschichten deutlich verbessert werden. Es wird nun angestrebt, eine zweite Bohrung für den Aufbau eines Zirkulationssystems abzuteufen.

Den Schwerpunkt der Tätigkeit der BGR im Projekt Groß Schönebeck wie auch im Projekt Soultz bilden die Planung und Auswertung der hydraulischen Tests sowie der Stimulationsexperimente. Daneben werden die operativen Arbeiten personell und technisch unterstützt. Das Projekt GeneSys wird sowohl operativ als auch fachlich durch die Institutionen des Geozentrums Hannover durchgeführt.

Ein neues Tätigkeitsfeld für die BGR im Bereich der Geothermie ist mit dem Projekt GEOTHERM entstanden.

GEOTHERM ist ein Programm zur Förderung der Nutzung geothermischer Energie in Entwicklungsländern. Die Mittel werden vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung zur Verfügung gestellt. Aktivitäten finden in verschiedenen Ländern mit unterschiedlichem Charakter statt. Derzeit ist die BGR in Eritrea, Kenia und Uganda aktiv.

In Eritrea ist die Erfahrung mit der Erkundung von Geothermiestandorten sehr gering, und es existieren keine Geothermiekraftwerke. Mit Mitteln aus GEOTHERM wurden ein Geologe und ein Chemiker sechs Monate lang an der Universität der Vereinten Nationen in Island ausgebildet, damit die eritreischen Wissenschaftler des staatlichen Geologischen Dienstes mit

der eigenständigen Untersuchung ihrer Erdwärme-Lagerstätten beginnen können.

In Kenia gibt es bereits drei Geothermiekraftwerke (Olkaria I, II, III) und die Erfahrung mit geothermischer Exploration ist mit Abstand die größte in Afrika. Die Regierung plant, die Geothermienutzung zukünftig stark auszubauen. Im Rahmen von GEOTHERM wird gemeinsam mit der Firma KenGen (Kenya Electricity Generating Company Ltd.) das geothermische Potenzial im Gebiet des Menengai-Vulkans untersucht. Anschließend wird eine Bewertung dieses Gebietes im Vergleich zu den bereits erkundeten Standorten Suswa und Longonot erfolgen. Der am meisten Erfolg versprechende Standort soll für Erkundungsbohrungen ausgewählt werden.

In Uganda gibt es noch keine Geothermiekraftwerke, und es existieren im Lande nur geringe Erfahrungen mit geothermischer Exploration. Die drei potenziellen Geothermiestandorte des Landes (Katwe, Kibiro und Buranga) liegen im westlichen Arm des ostafrikanischen Grabenbruchs. Im Rahmen des GEOTHERM-Programmes wird eine Machbarkeitsstudie für den Standort Buranga durchgeführt. Wenn die Ergebnisse vorliegen, werden die erwähnten drei potenziellen Standorte miteinander verglichen und der am meisten Erfolg versprechende weiter entwickelt.



Geothermisches Dampfkraftwerk Olkaria II, Kenia, mit ca. 70 MW elektrischer Leistung.

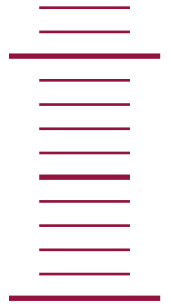
Zukünftig werden weitere Länder im Rahmen des GEOTHERM-Programmes unterstützt. Mit den Mitteln des GEOTHERM-Projekts können jedoch keine Erkundungsbohrungen finanziert werden. Um einzelne Geothermiestandorte möglichst weitgehend zu entwickeln, wird die Zusammenarbeit mit weiteren Förderorganisationen gesucht.

Von UNEP und KfW (United Nations Environment Programme, Kreditanstalt für Wiederaufbau) und dem italienischen Umweltministerium wurde 2003 mit Mitteln des GEF (Global Environment Facility) das Programm ARGeo (African Rift Geothermal Development Facility) eingeführt. Es hat zum Ziel, Treibhausgasemissionen durch die verstärkte Nutzung und Förderung umweltverträglicher geothermischer Energie in Ostafrika zu reduzieren. Dieses Programm soll die Barrieren zur Entwicklung geothermischer Kraftwerke beseitigen bzw. minimieren.

Das Vorhaben ARGeo ist als ganzheitlicher Ansatz zur Entwicklung geothermischer Kraftwerke zu sehen. Bereits zu Beginn der Entwicklung, wenn geowissenschaftliche Fragestellungen und Probleme im Vordergrund stehen, sollen Politikunterstützung, Wirtschaftlichkeits- und Finanzierungsfragen einbezogen werden, um insgesamt den Entstehungsprozess zu beschleunigen. In diesem Sinne ergänzen sich die Ansätze im ARGeo- und GEOTHERM-Vorhaben und erhöhen zusammen die Erfolgchancen der Unterstützung. GEOTHERM wird innerhalb dieses Ansatzes im Wesentlichen geowissenschaftliche Beratung zur Standortbewertung und Risikominimierung im Vorfeld einer Finanzierung sowie Know-How-Transfer anbieten.



Heiße Quelle am potenziellen Geothermiestandort Buranga, Uganda.



SONDERTHEMA
„Öffentlichkeitsarbeit“



entlichkeitsarbeit

*Fest der
Wissenschaften
in Hannover.*



SONDERTHEMA „Öffentlichkeitsarbeit“

Geowissenschaft für die Gesellschaft

Der Beitrag einer geowissenschaftlichen Fachbehörde für die Gesellschaft erschließt sich dem unbeteiligten Betrachter und Steuerzahler nicht immer auf den ersten Blick. Dabei gehören Geowissenschaften zum täglichen Leben – mehr, als uns bewusst ist.



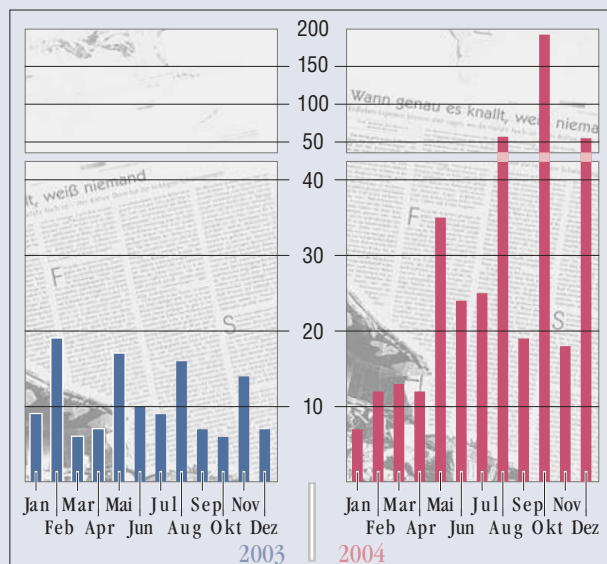
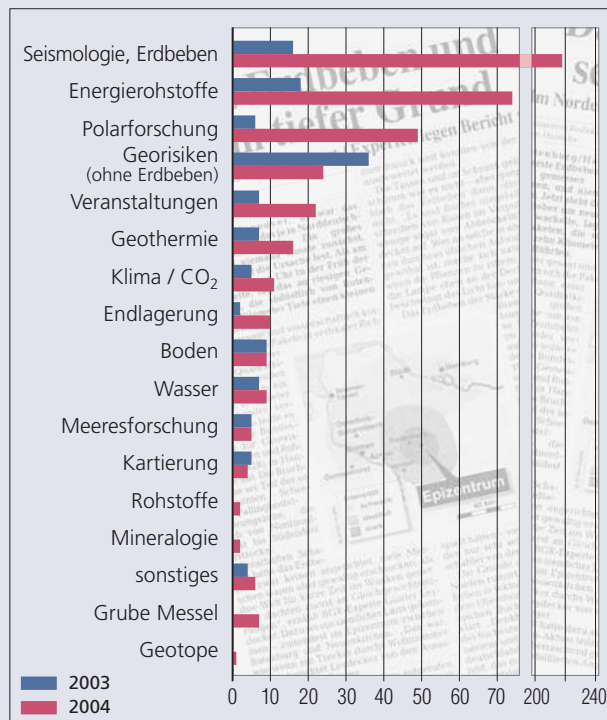
Sauberes Trinkwasser, Salz für das Frühstücksei, Sand und Ton für den Wohnungsbau, Energie und Heizwärme sind ebenso Inhalt und Ziel geowissenschaftlicher Forschung wie der Schutz menschlichen Lebens vor Georisiken und Umweltzerstörung. Die BGR arbeitet an all diesen Themen – allerdings meist im Kreise fachkundiger Partner und daher weitgehend unmerklich von der Öffentlichkeit.

Dass Bürgerinnen und Bürger Einblick in die Highlights und Alltäglichkeiten geowissenschaftlicher Forschung und Beratung erhalten, ist das Ziel der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit. Denn ob Hochwasser, Erdbeben oder Klimawandel – der Zustand unseres Planeten bewegt die Gesellschaft. Das gestiegene Medienecho und die hohen Besucherzahlen bei den öffentlichen Veranstaltungen spiegeln es wider: die Arbeiten der BGR werden mit Interesse wahrgenommen.



Die BGR im Medienecho

Die fachlichen Arbeitsergebnisse, Meinungen und Stellungnahmen der BGR wurden 2003/2004 über 500-mal in Presse und Rundfunk zitiert. Insgesamt zeigen die Statistiken ein deutliches Wachstum des Medieninteresses an unserem Haus. Die beiden Balkendiagramme veranschaulichen das Interesse der Presse, einerseits nach fachlichen Themen sortiert, andererseits, wie stark BGR-Themen im Berichtszeitraum gefragt waren.





Tag der offenen Tür in der Außenstelle Berlin-Spandau.



Ausstellung „Wissenschaft auf Reisen“ auf dem Flughafen Münster-Osnabrück.



Das größte Medienecho fand die BGR mit dem Thema „Georisiken“, das die Öffentlichkeit insbesondere im Zusammenhang mit den aktuellen Ereignissen des Jahres 2004, dem norddeutschen Erdbeben von Rotenburg/Wümme und dem verheerenden Tsunami im Indischen Ozean, bewegt hat. Hier wird insbesondere die Expertise der BGR zur Erdbebenüberwachung von den Medien wahrgenommen und für die Berichterstattung herangezogen.

Ein weiterer Themenschwerpunkt der BGR-Medienpräsenz war „Energierohstoffe“, konkret die Verfügbarkeit von Erdöl und Erdgas. Auch hier spiegelte das Interesse der Medien aktuelle Ereignisse, wie den starken Anstieg der Rohöl- und Benzinpreise in der ersten Jahreshälfte 2004, wider.

Auf eigene Initiative wurden die Themen Polarforschung, Geothermie, Boden und Wasser an die Medien herangetragen. Die Berichte der Polarforschung fanden in der hannoverschen Presse große Resonanz und bereicherten das positive Image der BGR ganz erheblich. Auch die Geothermie, die mit dem Projekt GeneSys mutige Forschung für die Erschließung umweltfreundlicher Energiequellen betreibt, trifft auf ein wachsendes Medieninteresse. Die Themen Boden und

Wasser wurden mit einzelnen ausführlichen Artikeln gewürdigt. Hier gilt es, am Ball zu bleiben und Medien und Öffentlichkeit auch auf eher unspektakuläre, aber für die Daseinsvorsorge der Gesellschaft nicht weniger wichtige Arbeiten der Experten aus Hannover aufmerksam zu machen.

Wissenschaft als Volksfest

Inspiriert von den guten Erfahrungen im „Jahr der Geowissenschaften“ 2002, hat die BGR auch in den Folgejahren großen Wert auf eine gute Öffentlichkeitsarbeit gelegt. Ein direktes Erbe des Geojahrs war die „Aktion Geobotschafter“, bei der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Geozentrums in die Schulen gingen und dort jeweils eine Schulstunde mit geowissenschaftlichen Inhalten gestalteten. Die Bestimmung von Bodenproben mit allen Sinnen oder der Umgang mit dem Gefügekompas fanden großen Anklang bei den Kindern. Und beim jährlich im Frühjahr stattfindenden „Girls' Day“ waren insbesondere die Mädchen angesprochen, einen Blick hinter die Kulissen des Geozentrums zu werfen.



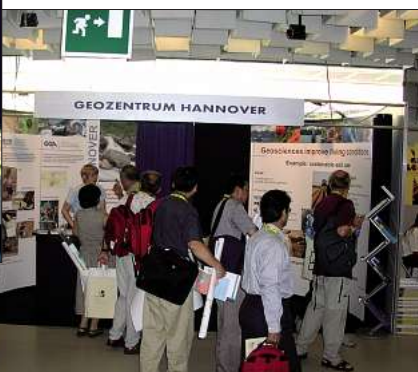
Girls' Day.

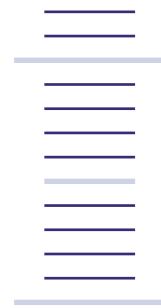
Ein herausragender Höhepunkt war die erstmalige Teilnahme der BGR am hannoverschen „Fest der Wissenschaften“ am 25. April 2004, an dem alle Forschungseinrichtungen Hannovers dem interessierten Publikum ihre Türen öffneten. Die Premiere des Geozentrums lockte über 2000 Besucher auf die Festwiese, auf der in sieben großen Zelten Mitmach-Experimente und Geowissenschaften „zum Anfassen“ auf Groß und Klein warteten. Der Dienstbereich Berlin präsentierte sich am 11. September 2004 der Öffentlichkeit. Vor allem die Gesteinsammlung erwies sich als Publikumsmagnet, so dass wir auch hier über 500 Besuchern unsere Arbeit nahe bringen konnten.

Auch auf zahlreichen Messen, Tagungen und Ausstellungen präsentierte sich die BGR. Highlights waren die Industriemesse Hannover 2003 und 2004, die INTERGEO 2003 und 2004 sowie der International Geological Congress in Florenz 2004 und die Ausstellung „Wissenschaft auf Reisen“ auf dem Flughafen Münster-Osnabrück im Oktober 2004, um nur einige zu nennen.



International Geological Congress in Florenz.





BGR *spezial*

BGR spezial
spezial BGR



Die Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft ist eingerichtet

Das Wirtschaftspotenzial, das in Deutschlands staatlichen Geoinformationen schlummert, wird mittelfristig auf acht Milliarden Euro geschätzt. Allein in den ersten Jahren nach Aktivierung eines Geoinformationsmarktes können nach einer Studie bis zu 14 000 neue Arbeitsplätze in den unterschiedlichsten Branchen entstehen. Etablierte Unternehmen können davon profitieren und neue Geschäftsmodelle entwickeln. Neue Unternehmen können entstehen. Die Marktposition ganzer Branchen kann gestärkt werden. Mit Geoinformationen sind hier alle Daten gemeint, die mit Lage- und Höhenkoordinaten festgelegt werden können. Das Spektrum reicht von bundesweiten liegenschaftsbezogenen Hausnummern über die Verteilung von Apotheken im Rheinland bis hin zum geothermischen Potenzial in Mardorf. Es geht also darum, alle staatlichen Geoinformationen von der Bundes- über die Landesbehörde bis zur Kommune für die Wirtschaft nutzbar zu machen. Den Anteil geowissenschaftlicher Informationen schätzen wir hierbei auf etwa 10 %.

Die Bundesregierung, vertreten durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, hat durch die Einrichtung der Kommission für Geoinformationswirtschaft (GIW-Kommission) für diesen wirtschaftspolitischen Entwicklungsprozess die Weichen gestellt.

Seit dem 17. November 2004 hat die GIW-Kommission unter der Schirmherrschaft des Parlamentarischen Staatssekretärs REZZO SCHLAUCH ihre Arbeit aufgenommen.



Die Kommission setzt sich aus Vertretern nahezu aller Branchen zusammen, die einen Bezug zu Geoinformationen aufweisen. Vertreten sind unter anderem die Informationswirtschaft, die Entsorgungswirtschaft, die Landwirtschaft, die Wasser- und Energieversorger, die Industrie- und Handelskammern, der Bergbau und die Erdöl-/Erdgas-Branche, das Handwerk, die Tourismuswirtschaft, die Versicherungswirtschaft, die Finanz- und Immobilienwirtschaft sowie die Werbewirtschaft. Das Ziel der Kommission ist es, durch gemeinsame Aktivitäten branchenspezifisch bundeseinheitliche Geschäftsmodelle anzuregen. Gelingen kann dies nur in enger Zusammenarbeit mit den staatlichen Stellen, dem Lenkungs-gremium für die Geodateninfrastruktur Deutschlands (GDI-DE).

Die Vielzahl der Nutzerbranchen, die sich an der Arbeit der GIW-Kommission beteiligen, zeigt deutlich, dass Geoinformationen breit gefächert benötigt werden. Mit der GIW-Kommission besteht die große Chance, das enorme Kapital der staatlichen Geoinformationen in Deutschland besser nutzbar zu machen. Die Aktivitäten werden koordiniert von der Geschäftsstelle der Kommission für Geoinformationswirtschaft an der BGR.



Staatssekretär
REZZO SCHLAUCH
eröffnete am
17. November 2004
die konstituierende
Sitzung der Kommission
für Geoinformations-
wirtschaft.

www.geoinformationswirtschaft.de

Ausbildungsplatzinitiative der BGR



*„Im Altertum lernte man,
um sich selbst zu vervollkommen;
heute dagegen lernt man,
um Anderen gegenüber etwas zu gelten“
(Konfuzius 551-479 v. Chr.)*

Auch heute noch ist diese von Konfuzius stammende Aussage in den Köpfen vieler Menschen verankert.

Um Anerkennung in der Gesellschaft zu finden und um sein Leben eigenständig und unabhängig von der helfenden Hand von Eltern oder „Vater Staat“ führen zu können, nutzen viele junge Menschen die sich ihnen bietende Möglichkeit, eine „Lehre“ in einem Ausbildungsberuf zu machen.

Der Bedarf an Ausbildungsplätzen ist, ebenso wie die Zahl der Schulabgänger, in den letzten Jahren stetig gestiegen. Die Betriebe sollten ein deutliches Eigeninteresse haben, die Zahl der Ausbildungsplätze zu erhöhen. Mit diesem Ziel vor Augen, vereinbarten Bundesministerin EDELGARD BULMAHN, der Präsident des Deutschen Industrie und Handelskammertages (DIHK), LUDWIG GEORG BRAUN, und MICHAEL SOMMER, Vorsitzender des Deutschen Gewerkschaftsbundes (DGB), eine

Alle Auszubildenden der BGR.



Die Auszubildenden des 1. Ausbildungsjahres im Sommer 2004.

Ausbildungsplatzoffensive, um allen interessierten Schulabgängern ein Ausbildungsplatzangebot machen zu können.

Auch die BGR kam der Vereinbarung nach und schuf weitere Ausbildungsplätze, z. T. in neuen Ausbildungsberufen. Im Jahre 2002 waren es noch 18 Auszubildende. 2003 stieg die Anzahl auf 21 und 2004 sogar auf 27. Und der Trend hält weiter an, denn 2005 werden über 30 Auszubildende in der BGR beschäftigt sein.

Die BGR bildet zurzeit in sechs verschiedenen Berufen aus: Kartographen, Fachangestellte für Bürokommunikation (FABK), KFZ-Mechatroniker, Feinwerkmechaniker, Chemielaboranten und Elektroniker. Die Anzahl der Auszubildenden in den einzelnen Berufen ist jedoch unterschiedlich.

Der häufige Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Beschäftigten liefert auch in diesem Fall ein positives und zugleich vorbildliches Ergebnis:
2003: 11 weiblich, 10 männlich,
2004: 15 weiblich, 12 männlich.

Die Ausbildung wird in jedem Beruf gewissenhaft und mit viel Einsatz durchgeführt. Zum Beweis der guten Ausbildung der BGR dienen die vielen erfolgreich – teilweise mit Auszeichnung – abgeschlossenen Ausbildungen.

Zahlen und Fakten

Budget (Soll-Ausgaben)

2003 61,8 Mio. Euro Haushaltsmittel, davon 11,5 Mio. Euro innerhalb externer Kooperationen und Projekte, also Drittmittel.

2004 61,5 Mio. Euro mit 10,1 Mio. Euro aus Drittmittelprojekten.

MitarbeiterInnenanzahl

2003 725, davon 307 WissenschaftlerInnen.
Neueinstellungen:
16 Mitarbeiterinnen und 36 Mitarbeiter,
7 weibliche und 10 männliche Auszubildende.

2004 762, davon 331 WissenschaftlerInnen.
Neueinstellungen:
24 Mitarbeiterinnen und 37 Mitarbeiter,
15 weibliche und 12 männliche Auszubildende.

Auszubildende

2003 20 Auszubildende,
11 weiblich und 9 männlich.

2004 27 Auszubildende,
15 weiblich und 12 männlich.

Ausbildungszeige:

- ♦ *Chemielaborant/in,*
- ♦ *Elektroniker/in,*
- ♦ *Fachangestellte/r für Büroorganisation,*
- ♦ *KFZ-Mechatroniker,*
- ♦ *Feinmechaniker/in und*
- ♦ *Kartograph/in.*

Die Homepage der BGR

2003 11 076 496 Zugriffe auf Text-Dateien (Page-Impressions), durchschnittlich 30 347 pro Tag.
Besucher: 651 699,
durchschnittlich pro Tag: 964.

2004 10 572 865 Zugriffe auf Text-Dateien (Page-Impressions), durchschnittlich 28 967 pro Tag.
Besucher: 690 524,
durchschnittlich pro Tag: 1 070.

Die Fachbibliothek

Mit mehr als 355 000 Büchern und Zeitschriften sowie 100 000 Kartenblättern eine der größten geowissenschaftlichen Spezialbibliotheken der Welt.
4 000 Neuzugänge pro Jahr;
mehr als 1 000 Tauschpartner weltweit.

Die Sammlung

Eine der größten geowissenschaftlichen Sammlungen Deutschlands;
60 000 wissenschaftliche Originale;
mehrere 100 000 Belegstücke (Fossilien, Gesteine, Mineralien);
65 km Bohrkerne.

Geosport

200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter nutzen das Sportangebot regelmäßig. Die Sportgemeinschaft SBL der BGR bietet an:

- ♦ *Segeln,*
- ♦ *Badminton,*
- ♦ *Tischtennis,*
- ♦ *Fußball,*
- ♦ *Volleyball,*
- ♦ *Haltungsschulung,*
- ♦ *Walking und*
- ♦ *Lauftraining,*
- ♦ *Yoga.*
- ♦ *Schwimmen,*

Impressum

© Bundesanstalt für Geowissenschaften und
Rohstoffe (2005)

Redaktionskomitee

Dr. UDO BARCKHAUSEN (B 3.15), Dr. ULRICH BERNER (B 4.11),
JENS BOEHME (B 1.18), Dr. OLAF DÜWEL (B 4.24),
Dr. JOCHEN ERBACHER (B 3.23), PETRA GERBER (B Z.3),
MELANIE HEIN (B 4.21), BRIGITTE MEBNER (B Z.8),
Dr. THOMAS PLETSCH (B 4.21), Dr. SIMONE RÖHLING (B 1.22),
Dr. FRAUKE SCHÄFER (B Z.8), Dr. WOLFGANG SCHRÖDER (B 1.12),
Dr. THOMAS SCHUBERT (B Z.8), Dr. Jan Richard WEBER (B 2),
Dr. THOMAS WIPPERMANN (B 4.1)

Redaktion

Dr. THOMAS SCHUBERT,
BRIGITTE MEBNER, KAROLA OTREMBÄ, HANS-JOACHIM STURM
und REINHARD DÖRGE

Bildnachweis

Viele der verwendeten Fotos stammen von Mitarbeiter-
innen und Mitarbeitern des Geozentrums Hannover.
Ganz herzlicher Dank geht an Frau A. WEITZE,
Herrn G. LANGE, Dr. C. GRISSEMANN, Dr. T. OBERTHÜR,
Herrn K. PIEPJOHN, Dr. N. ROLAND, Dr. F. SCHÄFER,
Dr. M. SCHMIDT-THOMÉ und Herrn T. TÜNNERMEIER.

Druck und Herstellung

Bonifatius GmbH
Druck, Buch, Verlag
Karl-Schurz-Str. 25
33100 Paderborn



	Pressesprecherin	Präsident	Vizepräsident	GIW-Geschäftsstelle
LB Leiter Dienstbereich Berlin	Abteilung Z Zentrale Angelegenheiten	Abteilung 1 Rohstoffe, Internationale Zusammenarbeit		Abteilung 2 Ingenieurgeologie, Geotechnik
	Z.1 Personal	Fachgruppe 1.1 Internationale Zusammenarbeit, Grundwasser	Fachgruppe 1.2 Mineralische Rohstoffe, Energierohstoffe, Methodenentwicklung	2.C Controlling Endlagerung
	Z.2 Betriebstechnik, Innerer Dienst	1.11 Grundlagen der Internatio- nalen Zusammenarbeit, Controlling	1.21 Metallrohstoffe, Rohstoffwirtschaft	2.1 Felsbau, Baugeologie
	Z.3 Organisation	1.12 Amerika	1.22 Nichtmetallrohstoffe, Explorationsmethoden	2.2 Ingenieurseismologie, Baugrunddynamik
	Z.4 Haushalt, Finanzcontrolling	1.13 Afrika	1.23 Energierohstoffe	2.3 Langzeitsicherheit
	Z.5 Beschaffung, Materialwirtschaft	1.14 Europa, Asien, Ozeanien	1.24 Fernerkundung	2.4 Gesteins- und Gebirgsphysik
	Z.6 Geowissenschaftliche Informationsdienste	1.15 Grundwassererkundung, Methodenentwicklung	1.25 Internationale Kartierung, Karten	2.5 Geologie der Barrieren Salz, Ton, Granit
	Z.7 Bibliothek, Archiv	1.16 Grundwasserressourcen, Grundwasserdynamik	1.26 Bergwirtschaft, Bergbauumweltschutz	2.6 Modellberechnungen, Numerische Verfahren
	Z.8 Öffentlichkeitsarbeit, Schriftenpublikationen	1.17 Grundwasser- beschaffenheit, Grundwasserschutz		2.7 Georisiken, Fachinformationssysteme
	Z.9 Zentrale Informationstechnik	1.18 Berlin Hydrogeologisches Fachinformationssystem		

Organigramm

... der BGR

Endlagerung
radioaktiver Abfälle

Einzelprojekte
Morsleben · Gorleben · Konrad

Abteilung 3

Geophysik,
Meeres- und Polarforschung

Fachgruppe 3.1

Geophysikalische
Forschung

3.11

Seismologie

3.12

Seismologisches
Zentralobservatorium

3.13

Angewandte Aero-
und Bodengeophysik

3.14

Geophysik für das
Ressourcenmanagement

3.15

Marine nichtseismische
Messverfahren,
Methodenentwicklung

3.16

Marine seismische
Messverfahren,
Methodenentwicklung

Fachgruppe 3.2

Geologische
Forschung

3.21

Berlin
Nutzung des
tieferen Untergrundes

3.22

Strukturgeologie

3.23

Meeresgeologie,
Tiefseebergbau

3.24

Polargeologie

3.25

Paläontologie,
Sammlungen

Abteilung 4

Geochemie, Mineralogie, Bodenkunde

Fachgruppe 4.1

Geochemie

4.11

Organische Geochemie,
Organische Petrographie

4.12

Geomikrobiologie

4.13

Gasgeochemie,
Isotopengeochemie

4.14

Geochemische
Informationstechnologie

4.15

Geochemie
Gesteine und Erze

4.16

Hydro- und
Umweltgeochemie

Fachgruppe 4.2

Mineralogie,
Bodenkunde

4.21

Technische Mineralogie,
Sedimentologie

4.22

Petrologie und
Isotopengeologie

4.23

Lagerstättenforschung

4.24

Berlin
Informationsgrundlagen im
Boden- und Umweltschutz

4.25

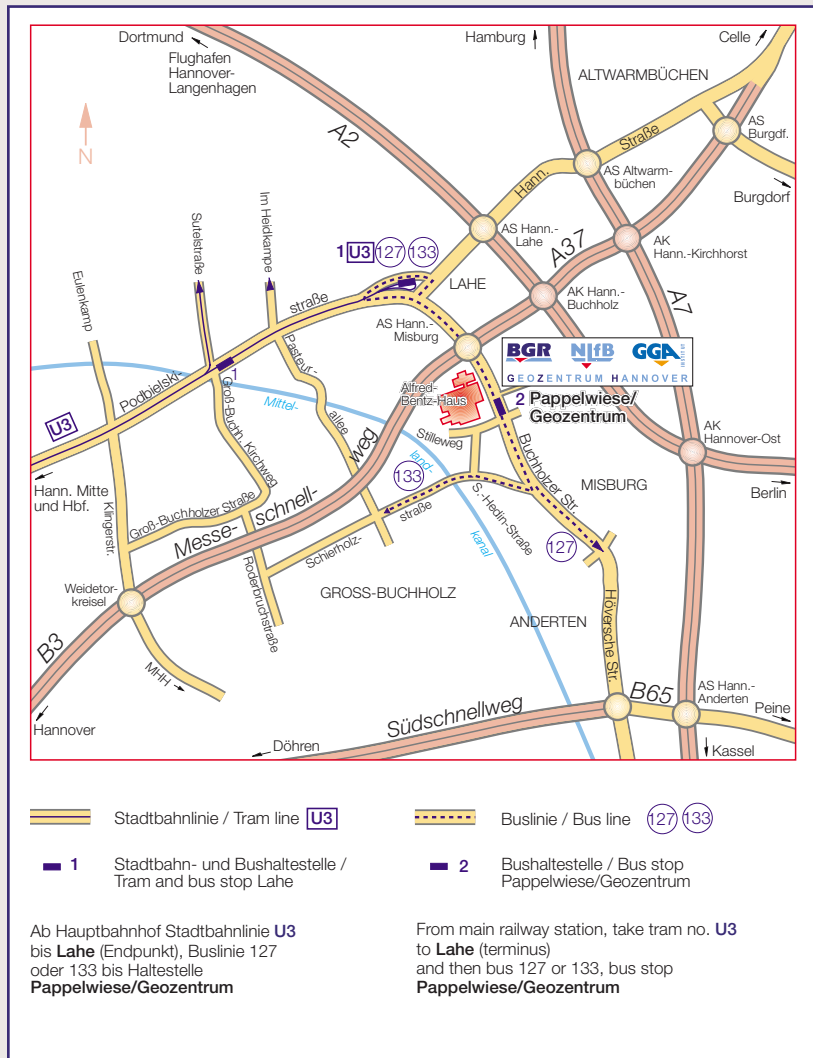
Bodennutzung,
Bodenschutz,
Bodenanalytik

4.26

Bodenwasser,
Stoffhaushalt

Anfahrtskizze

... so finden Sie uns





Kontakt



Kontakt

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

Telefon (05 11) 6 43 – 0
Telefax (05 11) 6 43 – 23 04
Internet <http://www.bgr.de>

Kontakt