Tätigkeitsbericht

der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

2005

2006















BGR

05

Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe

BGR

Tätigkeitsbericht 2005/2006

Hannover, Mai 2007

06



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

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
Referat Z.8 Öffentlichkeitsarbeit, Schriftenpublikationen
Stilleweg 2, 30655 Hannover

Telefon (0511) 643 – 2249
Telefax (0511) 643 – 3685
E-Mail info@bgr.de

Internet http://www.bgr.bund.de

Info.

Vorwort



Liebe Leserin, lieber Leser,

in den vergangenen Jahren hat die Weltkonjunktur durch die aufstrebende Wirtschaft einiger Schwellenländer enorme Impulse erhalten. Mehr als die Hälfte der deutschen Exporte besteht aus Waren, die einen hohen Anteil an Metallrohstoffen und Industriemineralen aufweisen.

Diese Entwicklung hat erneut die Fragen aufgeworfen, wie lange unsere Rohstoffreserven noch reichen werden und welchen Preis wir zur Befriedigung unseres zukünftigen Rohstoffbedarfs zahlen müssen. Eine wichtige Aufgabe der BGR ist es, zur Sicherung unseres industriell bedingten Wohlstands die Politik und Wirtschaft in allen Fragen der Rohstoffversorgung zu beraten.

Bereits im Juli 2005 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie auf der Grundlage von BGR-Daten einen umfassenden Bericht zur aktuellen rohstoffwirtschaftlichen Situation vorgelegt und Handlungsoptionen für die deutsche Wirtschaft vorgeschlagen. Durch Bereitstellung umfassender Rohstoff-Datenbanken und Marktanalysen trägt die BGR zu einem breit gefächerten Verständnis der Rohstoffmärkte und der rohstoffwirtschaftlichen Zusammenhänge bei.

Die Nutzung nationaler Potenziale an mineralischen Rohstoffen und an Energierohstoffen ist nach vielen Jahren erneut in das Blickfeld der internationalen Politik gekommen. „Die stetig steigende Weltbevölkerung wird trotz gesteigerter Substitutions- und Sparanstrengungen auch in Zukunft auf primäre Rohstoffe zurückgreifen müssen“ schreibt das Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung: „Die Verfügbarkeit von Rohstoffen in ausreichender Menge und Qualität sowie zu kalkulierbaren Preisen ist eine der entscheidenden Voraussetzungen sowohl für den Fortbestand von Industriegesellschaften als auch für die sozioökonomische Weiterentwicklung in den Entwicklungsländern“.

Die rohstoffproduzierenden Entwicklungsländer sind ebenfalls stark von den sich verändernden Weltrohstoffmärkten betroffen. Im Rahmen der deutschen Entwicklungszusammenarbeit trägt die BGR dazu bei, die nationalen Geopotenziale zu Faktoren der Entwicklung werden zu lassen. Sie regt an, fördert und stimuliert Prozesse, die zu einer engeren Verzahnung von Ressourcenanbietern and Ressourcennutzern führen. Sie stärkt durch Know-how-Transfer die Fähigkeiten der Entwicklungsländer, ihre eigenen Potenziale besser ausschöpfen zu können, bei gleichzeitiger Beachtung der Erfordernisse zum Schutz der natürlichen Umwelt.

Die Arbeiten der BGR auf dem Gebiet der technischen Zusammenarbeit sind in die Verpflichtung der Bundesregierung zur weltweiten Armutsminderung eingebunden; sie helfen auf den Sektoren „gute Regierungsführung", „Krisenprävention", „ökologische Nachhaltigkeit" sowie beim Aufbau weltweiter „Entwicklungspartnerschaften". Mitarbeiter der BGR haben sich eingesetzt, die Ressourcenpotenziale (Mineralische Rohstoffe, Energierohstoffe, Boden, Wasser) in den jeweiligen Partnerländern zu bewerten. Sie unterstützen die Schaffung und Umsetzung ordnungspolitischer Rahmenbedingungen (Bergbaugesetzgebung, Wasserrahmenrichtlinie, Gesetze zum Naturkatastrophen-Management). Die BGR hat sich außerdem beim Aufbau „Runder Tische" zur Integration von Investoren und Betroffenen sowie zur besseren Teilhabe der Bevölkerung an regionalen Entwicklungsentscheidungen engagiert. Sie trägt damit dazu bei, ordnungspolitische Rahmenbedingungen zu etablieren, die einerseits den ökonomischen Interessen der globalisierten Märkte, andererseits aber auch den sozialen Erfordernissen der zivilgesellschaftlichen Gruppen Rechnung tragen.

Mit ihrer Forschungstätigkeit leistet die BGR einen Beitrag zur zukünftigen Rohstoffsicherung unseres Landes und wirkt so bei der strategischen Zukunftsvorsorge mit. Hierzu gehört auch die laufende Erkundung neuer Erz- und Industrieminerallagerstätten. Der Erfolg hängt maßgeblich vom Zusammenwirken der Investitionen, der Technik, dem Fachwissen und der Kreativität der Explorationsgeologen ab.

Angesichts deutlich steigender Rohstoffpreise gewinnen die Manganknollen aus dem Pazifik erneut an Aktualität, die bereits einmal in den 1970–1980er Jahren ein wichtiges Rohstoff-Thema waren. Damals, in den Zeiten des „Kalten Krieges", wurden neue Ansätze gesucht, um die ausgeprägte Rohstoffabhängigkeit unseres Landes zu verringern. Die in der Tiefsee verbreiteten Manganknollen wurden als eine neue, bisher nicht genutzte Quelle für verschiedene Metalle wie Kupfer, Kobalt und Nickel entdeckt.

Auf der Basis der damals erarbeiteten wissenschaftlichen Ergebnisse und umfangreicher Datensätze aus einem von der Preussag übernommenen Archiv hat die BGR einen neuen Vorstoß zur Exploration der Manganknollen im Pazifik gestartet. Dazu wurde im Juni 2005 ein Erforschungsantrag bei der Internationalen Meeresbodenbehörde der Vereinten Nationen (UN) gestellt, die gemäß dem Seerechtsabkommen für Fragen der Rohstoffgewinnung auf hoher See verantwortlich ist. Der deutsche Antrag wurde von den politischen Entscheidungsgremien der UN positiv aufgenommen und der entsprechende Erforschungsvertrag zwischen der BGR und der Internationalen Meeresbodenbehörde wurde am 19.07.2006 in Berlin unterzeichnet.

Damit wird Deutschland ein Meeresareal von 75 000 km^2 Größe zugesprochen, in dem es für einen Zeitraum von 15 Jahren das exklusive Recht zur Exploration von Manganknollen besitzt. Die detaillierte Erkundung dieses Areals wird nun von der BGR gezielt vorbereitet und stufenweise umgesetzt.

Steigende Preise bei den Energierohstoffen, das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und auch die gezielte Förderung durch die Bundesregierung machen es für Wirtschaft und Kommunen zunehmend attraktiv, Geothermie als immer verfügbare Energiequelle zu nutzen. Die Möglichkeiten reichen, je nach geologischen Voraussetzungen, von der Wärmenutzung bis zur Stromerzeugung, und die BGR beteiligt sich an der Erkundung von geeigneten geologischen Strukturen für Geothermieanlagen. Detaillierte Studien zum tieferen Untergrund, verbesserte strukturgeologische Modelle und Informationen zu den Fluiden helfen den potenziellen Investoren, das Risiko gering zu halten.

Die BGR beabsichtigt, auf ihrem eigenen Gelände eine Demonstrationsanlage zur Gewinnung geothermischer Energie zu errichten und die eigenen Dienstgebäude mit der so gewonnenen Wärme zu beheizen. Erfolgreiche Vorversuche führten dazu, dass die Weichen für eine Durchführung des Demonstrationsprojektes im Geozentrum Hannover gestellt werden konnten. Im Mai 2005 fiel der Startschuss zu diesem Projekt; der Rahmenbetriebsplan wurde im Dezember 2005 zugelassen. Zurzeit werden vorbereitende Arbeiten zum Abteufen der Bohrung durchgeführt.

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich in internationalen Abkommen (Kyoto-Protokoll) und in nationalen Vereinbarungen zur verbindlichen Reduktion der Emissionen des klimawirksamen Treibhausgases CO_2 verpflichtet. Eine der technischen Möglichkeiten, die Emissionen des Treibhausgases CO_2 aus Industrieanlagen zu reduzieren, ist dessen Speicherung im Untergrund. Die BGR beteiligt sich an verschiedenen europäischen Forschungsprogrammen mit dem Ziel, dass Europa weiterhin eine führende Rolle bei der Erforschung und Durchführung der Untertagespeicherung von CO_2 behält.

Am 26. Dezember 2004 ereignete sich im Pazifik eine schwere Tsunami-Katastrophe. In den Jahren 2005 und 2006 hat die BGR im Rahmen verschiedener Projekte die Regierungen der betroffenen Länder im Hinblick auf den Wiederaufbau der geschädigten Regionen intensiv beraten. Im gleichen Zeitraum ereigneten sich aber auch weitere schwere Naturkatastrophen. Dies zeigt uns, dass unsere Erde einem stetigen – manchmal plötzlichen – Wandel unterliegt, den wir in günstigen Fällen rechtzeitig genug bemerken, um Schutzmaßnahmen treffen zu können. Die BGR kann mit ihrem Know-how dazu beitragen.

Seit dem verheerenden Erdbeben vor Sumatra gibt es ein gesteigertes öffentliches Interesse an der Errichtung von Erdbeben-Alarm- und Informationssystemen. Hierfür möchte ich zwei Beispiele aufführen, an denen die BGR maßgeblich mitgewirkt hat.

Beispiel 1:

Die Sundastraße stellt eine der wichtigsten Verkehrsverbindungen im südostasiatischen Raum dar, grenzt an die bevölkerungsreichsten Zentren Indonesiens und ist gleichzeitig einer starken seismischen und vulkanischen Gefährdung ausgesetzt. Vor diesem Hintergrund wurde von der BGR Anfang 2004 mit dem „Krakatau Monitoring Projekt" (KrakMon) zur Abschätzung von und Frühwarnung vor vulkanischen Risiken in der Sundastraße begonnen. Die wissenschaftliche Dringlichkeit einer realistischen Einschätzung von Georisiken in der Region wurde durch die verheerenden Folgen des Erdbebens vor Sumatra tragisch verdeutlicht und auch durch die ständige Aktivität des Vulkans, die dazu führte, dass die indonesischen Behörden die Sperrung des Vulkans für den Tourismus veranlassen mussten.

Als direkte Folge wird zurzeit die Einbindung des KrakMon-Systems in das im Aufbau befindliche Tsunami-Frühwarnsystem für den Indischen Ozean vorangetrieben. Für die Zukunft wird eine Ankopplung an ein einzurichtendes globales Multi-Hazard-Frühwarnsystem angestrebt.

Beispiel 2:

Obwohl Deutschland nicht zu den seismischen Risikoregionen zählt, sind auch hier in der Vergangenheit schon ernstzunehmende Schadenbeben aufgetreten. Nicht nur für diese Schadenbeben, sondern auch für kleinere Erdbeben besteht in Deutschland ein Bedarf an schnellen, zuverlässigen und umfassenden Informationen. Diese helfen Einrichtungen wie Polizei, Feuerwehr oder Lagezentren der Innenministerien, eine schnelle und objektive Einschätzung der Situation nach einem Erdbeben vorzunehmen und die notwendigen Maßnahmen zu veranlassen. Hierzu gehört auch die Weitergabe von Informationen an besorgte Mitbürger, was zu einer Beruhigung der Situation beiträgt, wenn bei einem Ereignis mit keinen Schäden zu rechnen ist.

Um diese Informationen liefern zu können, wurde ALISE entwickelt, ein Alarm- und Informationssystem für Erdbeben in Deutschland. Direkt nach einem Erdbeben in Deutschland und Umgebung können mit diesem System die zuständigen Einrichtungen schnell und umfassend über dieses Ereignis informiert werden.

ALISE besteht aus den drei Komponenten Seismometernetz, Auswertesoftware und einer Benutzerschnittstelle zur Visualisierung der Ergebnisse. Für das Seismometernetz werden die digitalen seismischen Breitbandstationen des Deutschen Regionalnetzes (GRSN), eigene Stationen, wie z. B. das GERES Array im Bayerischen Wald, sowie einige Stationen in benachbarten Ländern genutzt. Sie liefern kontinuierliche Wellenformdaten, die praktisch in Echtzeit zur BGR übermittelt werden und eine schnelle Lokalisierung gewährleisten.

Die Forschungsaktivitäten der BGR in den Polarregionen sind in zum Teil langfristige internationale Kooperationsverträge und Abkommen eingebunden. Gemeinsam mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) trägt die BGR dazu bei, den Konsultativstatus Deutschlands innerhalb des Antarktisvertrages aufrecht zu erhalten, indem sie regelmäßig Forschungsexpeditionen in die Antarktis durchführt. Es existiert hier eine Aufgabenteilung zwischen dem AWI und der BGR, bei der der BGR die terrestrische geowissenschaftliche Komponente der Antarktisforschung zufällt. Durch Nutzung der BGR-Logistik konnten zudem zahlreiche geowissenschaftliche Programme von universitären Gruppen, die über das Schwerpunktprogramm „Antarktisforschung" der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wurden, überhaupt erst realisiert werden.

Nach insgesamt acht GANOVEX-Unternehmen seit 1979 wurden im Südsommer 2005/06 im Rahmen von GANOVEX IX geologische und geophysikalische Untersuchungen zur Krustenstruktur und tektonischen Entwicklung des Nord-Viktoria-Landes, des Rossmeeres und der Pennell-Küste durchgeführt. Der wissenschaftliche Schwerpunkt der Expedition lag in der Rekonstruktion des beginnenden Zerfalls Gondwanas, der Öffnung der Meeresverbindung zwischen Australien und der Antarktis und der damit einhergehenden Isolierung und Klimaentwicklung des heutigen Kontinentes Antarktika.

Mit diesen Arbeiten in der Antarktis leistet die BGR einen bedeutenden Beitrag zur Klärung der Rolle der Polarregionen bei globalen Veränderungen des Systems Erde von der Vergangenheit bis in die Zukunft und deren Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Menschen.

Der Stiftungsrat der vom Kuratorium der BGR getragenen Hans-Joachim-Martini-Stiftung vergab im Berichtszeitraum nur den Hans-Joachim-Martini-Nachwuchspreis. Im Jahre 2005 erhielt Frau Martina Klingenberg den Hans-Joachim-Martini-Nachwuchspreis für ihre hervorragenden wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet „Identifizierung von Wyoming-Bentoniten mittels Infrarotspektroskopie durch eine Schnellmethode".

Ich hoffe, dass wir in den kommenden Jahren wieder beide Preise an erfolgreiche Geo-Wissenschaftlerinnen und Geo-Wissenschaftler vergeben können, um auch so die Bedeutung der Geowissenschaften zu unterstreichen.

Wie auch in den vergangenen Jahren danke ich den Mitgliedern des Kuratoriums der BGR 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 ihre kollegiale Zusammenarbeit und ihr Engagement bei der Erfüllung unserer Aufgaben.



Prof. Dr. rer. nat. habil. Alfred Hollerbach
Präsident



Kuratorium

der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Der Bundesminister für Wirtschaft und Technologie, vormals 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

Prof. Dr. K. M. REINICKE
TU Clausthal
Abteilung Erdöl/Erdgasgewinnung
und Erdgasversorgung
Clausthal-Zellerfeld

Mitglieder

Dr. K. ÅKER
Director, Espoo Unit
Geological Survey of Finland
Espoo, Finnland

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

Dr.-Ing. D. BÖCKER
Brühl

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

Prof. Dr. P. M. HERZIG
Direktor des Leibniz-Instituts
für Meereswissenschaften Kiel (IFM-GEOMAR)
Kiel

Dr. G. KALKOFFEN
Vorsitzender des Vorstandes
ExxonMobil Production Deutschland GmbH
Hannover

Dr. P. KLAUS
Mitglied des Vorstandes
der Kreditanstalt für Wiederaufbau
Frankfurt am Main

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

Prof. Dr.-Ing. K.-U. KÖHLER
Vorsitzender des Vorstands der
ThyssenKrupp Steel AG
Duisburg

Prof. Dr. V. MOSBRUGGER
Direktor
Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum
Frankfurt/M.

Prof. Dr. G. TEUTSCH
Wissenschaftlicher Geschäftsführer des
Umweltforschungszentrums (UFZ)
Leipzig-Halle GmbH
Leipzig

Prof. Dr. J. THIEDE
Direktor der Stiftung Alfred-Wegener-Institut
für Polar- und Meeresforschung
Bremerhaven

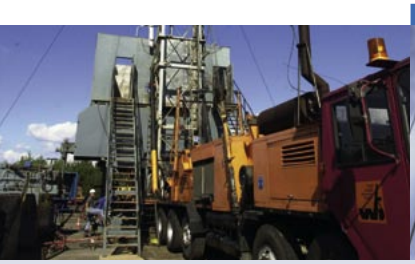
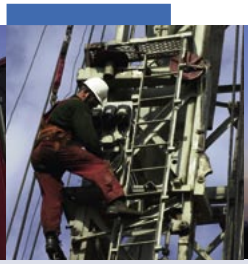
Dr. B. THOMAUSKE
Geschäftsführer der
Vattenfall Europe Nuclear Power GmbH
Berlin

Dipl.-Ing. B. TÖNJES
Vorsitzender des Vorstandes
der Deutschen Steinkohle AG
Herne

P. VOS
Sprecher des Vorstandes
Basalt-Actien-Gesellschaft
Linz/Rhein

R. ZWITSERLOOT
Vorsitzender des Vorstandes
der Wintershall AG
Kassel

Inhaltsverzeichnis




Rohstoffe

Energierohstoffe

16 ..... Ist die Verfügbarkeit von Erdöl allein eine Frage von ausreichenden Investitionsmitteln?

20 ..... Steinkohle – nur noch ein geduldetes Übel oder ein Dauerbrenner?

23 ..... Risikominimierung beim Betrieb von geothermischen Anlagen
CO_2-freie Energie aus der Erde wirtschaftlich nutzen

26 ..... Verbundprojekte zur CO_2-Speicherung

32 ..... Abschätzung des Rohstoffpotenzials der südatlantischen Kontinentalränder

34 ..... Das GeneSys-Projekt
Planung und Genehmigung

37 ..... Wie entstehen die Gesteine, aus denen das Erdöl stammt?

Mineralische Rohstoffe

39 ..... Mineralische Rohstoffe
Grundlagen für Deutschlands Wirtschaft

42 ..... Rohstoffe werden Chefsache beim BDI

43 ..... Deutsche Automobilhersteller wünschen nachhaltige Rohstoffversorgung

44 ..... Wie kamen Dioxine in geologischen Urzeiten in den Tonrohstoff?

46 ..... Gold vom Meeresboden
Rauchende Schlote in der Tiefe der Südsee

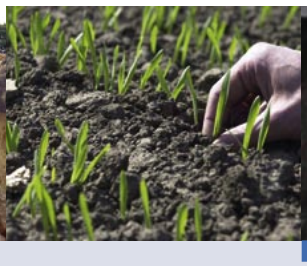
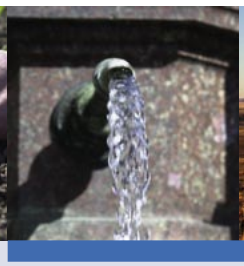
48 ..... Der achte Kontinent und das Königreich:
Madagaskar und Marokko verbessern ihr Metallrohstoff-Angebot

50 ..... Beratung der Bergbaubehörden in Vietnam und in der Mongolei

52 ..... Erzsuche in kanadischem Meteoritenkrater
Die Wirklichkeit ist spannender als Science Fiction

Inhaltsverzeichnis




54 ..... Nigrin – Auf schwarzen Pfaden zu hellem Gestein

56 ..... Löscht Flammen und schmilzt Erze: Flussspat

57 ..... Allophan – Es müssen nicht immer Ziegel sein

59 ..... Manganknollen – eine Rohstoffquelle der Zukunft

Georessource Boden

62 ..... Boden – grundlegend

65 ..... Landnutzung und Böden in Deutschland

68 ..... Die Bodenart – eine zentrale Größe der Bodenbewertung

70 ..... Welche und wie viele Tonminerale sind im Boden und wie kann man das messen?

72 ..... Gesetze brauchen wissenschaftliche Grundlagen: Schwermetalle in Böden

Georessource Wasser

78 ..... Geht unser Trinkwasser zur Neige?

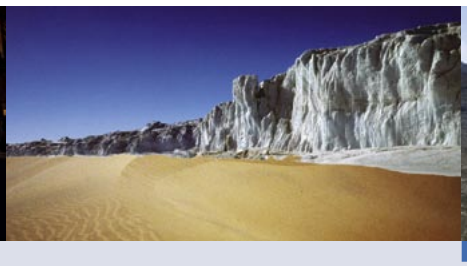
81 ..... Grundwasserressourcen-Management in Jordanien

85 ..... Mit Hubschrauber und Geländewagen Grundwassererkundung im Nordosten Namibias

90 ..... Grundwassermonitoring in Kirgisistan

92 ..... Die Colbitz-Letzlinger Heide im Spannungsfeld zwischen militärischer Nutzung und Trinkwasserschutz

95 ..... WHYMAP – Grundwasservorkommen global betrachtet



Geosicherheit

Geotechnische Sicherheit / Endlagerung

100 ..... Experten sind sich weltweit einig: Am besten geeignet für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle sind tiefe geologische Formationen

102 ..... Langzeitsicherheitsanalyse: Blick in die Zukunft eines Endlagers im Salz

104 ..... Moderne Rechenwerkzeuge helfen Forschern, extrem langsame und komplexe Prozesse in einem Endlager für radioaktive Abfälle zu beschreiben

108 ..... Echte 3D-Modelle von Salzkavernen
so groß wie ein fünfzigstöckiges Hochhaus?

110 ..... Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands
Untersuchung und Bewertung von Tongesteinsformationen

Geologische Schadensrisiken

114 ..... Geohazards – Georisiken

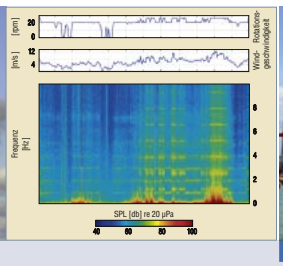
116 ..... Geowissenschaftliche Beobachtung des Vulkans Krakatau
Krakatau Monitoring Projekt – KrakMon

119 ..... Verminderung von Georisiken in Indonesien

121 ..... Chinesisch-Deutsche Kohlefeuer-Forschungsinitiative

124 ..... Erdbeben-Gefährdungskarten für Bulgarien und Rumänien

Inhaltsverzeichnis




Seismologisches Zentralobservatorium und CTBT-Verifikation

128 ..... Zehn Jahre CTBT

131 ..... ALISE, das Alarm- und Informationssystem für Erdbeben in Deutschland

133 ..... Der unhörbare Lärm von Windkraftanlagen

136 ..... Atomteststopp-Kontrolle mit satellitengestützten und seismischen Daten

Tsunami-Hilfe

140 ..... Das Sumatra-Beben vom 26. Dezember 2004

142 ..... HELicopter Project ACEH – HELP ACEH

144 ..... Unterstützung beim Wiederaufbau in der Provinz Banda Aceh in Indonesien – Das Projekt ManGeoNAD

147 ..... SeaCause



Sonderthemen

152 ..... Die Pressearbeit der BGR
„Auf der Jagd nach den Trüffeln der Tiefsee“

154 ..... Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern

156 ..... GANOVEX IX – Expedition ins ewige Eis der Antarktis

160 ..... Geologie ohne politische Grenzen
Die neue Internationale Geologische Karte von Europa und den angrenzenden Gebieten im Maßstab 1 : 5 000 000 (IGME 5000)

163 ..... Atlantische Klimaschaukel:
Erwärmungen des tropischen Atlantiks als Indikator nordatlantischer Klimaeinbrüche

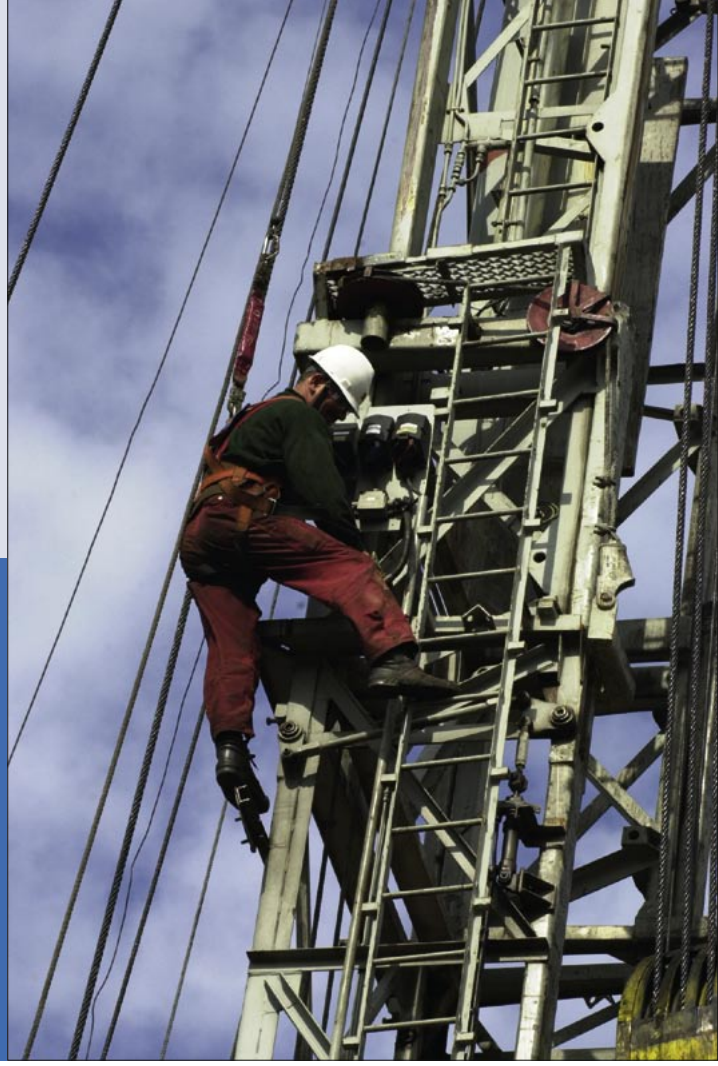
165 ..... Zahlen und Fakten





Rohstoffe

hstoffe
Rohstoff



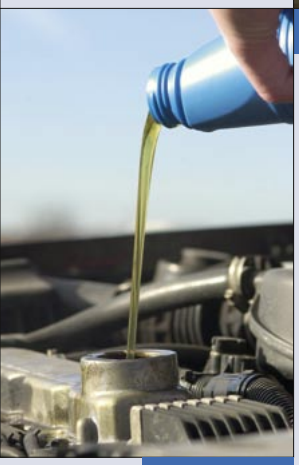
Ist die **Verfügbarkeit von Erdöl** allein eine Frage von ausreichenden Investionsmitteln?

Weltweit ist Erdöl mit einem Anteil von reichlich 36 % am Primärenergieverbrauch nach wie vor der wichtigste Energieträger. Diese Situation wird sich auch in den nächsten Jahrzehnten nicht gravierend ändern, zumal es bisher keinen adäquaten Energieträger als Alternative gibt. Nun hat sich der Ölpreis seit Ende der 1990er Jahre mehr als verfünffacht. Wie lässt sich diese Entwicklung verstehen? Drückt sich im Preis nur ein simples marktwirtschaftliches Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage aus? Oder sind wir, wie von mancher Seite vertreten wird, bereits jenseits des weltweit maximal möglichen Fördermaximums – des so genannten „Peak Oil"?

Der Ölpreis ist zweifellos ein Indikator für die kurzfristige Verfügbarkeit dieses Rohstoffs. Welche Gründe gibt es dabei für den Anstieg des Ölpreises in den letzten sechs Jahren? Ein entscheidender Faktor sind die in den 1990er Jahren wegen des niedrigen Ölpreises nicht vorgenommenen Investitionen der Branche. Daraus resultierte ein Mangel an ausreichenden Reserveförderkapazitäten seit Beginn dieses Jahrzehnts, als die Weltwirtschaft wieder florierte und dementsprechend die Nachfrage nach Erdöl anzog. Verschärft wurde diese Situation zudem durch den exorbitanten Energiehunger Chinas. Auf der Angebotsseite war





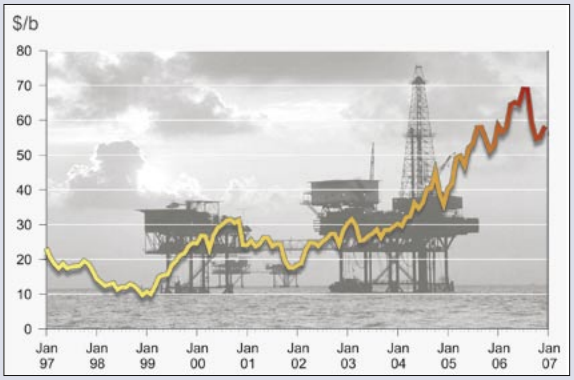


zeitweise nur noch in Saudi Arabien – dem dominierenden „Swing Producer" – eine Reserveförderkapazität von einer Million Barrel pro Tag vorhanden, und das umfasste ein Erdöl minderer Qualität. In dem Fall kommt verschärfend zum Tragen, dass nicht jede Raffinerie jedes Erdöl verarbeiten kann. Abgesehen davon sind die Kapazitäten der Raffinerien in den USA und in Europa zu mehr als 90 % ausgelastet.

Jedoch – es gibt produktionstechnisch auch Vorteile durch die derzeitige Hochpreissituation: Auch Lagerstätten mit relativ hohen Verwässerungsgraden verbleiben in Produktion. Falls nämlich die Infrastruktur für ein Ölfeld erst einmal abgebaut ist, werden bestimmte Lagerstätten – insbesondere im marinen Bereich – vermutlich niemals wieder in Angriff genommen.

Ein weiteres Element der Verfügbarkeit von Erdöl sind Transportmittel. Infolge der ungleichmäßigen weltweiten Verteilung von Erdöl – etwa 70 % der Reserven konventionellen Erdöls befinden sich in einer so genannten strategischen Ellipse zwischen dem Persischen Golf und NW-Sibirien – werden mehr als zwei Drittel des weltweit geförderten Erdöls grenzüberschreitend gehandelt. Dabei erfolgt der Transport des Erdöls innerhalb einzelner Kontinente in der Regel per Pipeline, zwischen den Kontinenten mit Tankern bzw. in Kombination. Der Tankertransport überwiegt und dürfte augenblicklich etwa einen Anteil von 75 – 80 % erreichen. Angesichts dieser Tatsache ist ohne weiteres nachvollziehbar, dass der augenblickliche Schwankungsbereich des Rohstoffpreises auf dem Ölmarkt (Preisvolatilität) auch die Frachtraten für Öltanker treibt. Insbesondere die Charterpreise der Supertanker mit bis 350 m Länge und bis 500 000 t Wasserverdrängung (Very Large Crude Carriers – VLCC), die vor allem auf den Routen vom arabischen Golf nach Nordamerika und Fernost eingesetzt werden, haussieren.

Da kleinere Reedereien Probleme haben, die auf vielen Weltmeeren bereits vorgeschriebenen Doppelhüllen-Tanker zu kaufen oder zu derzeitigen Preisen einen VLCC zu chartern, hat bereits eine Verdoppelung des Marktanteils der großen Reedereien auf über ein Drittel seit 1999 eingesetzt. Schließlich darf man nicht außer Acht lassen, dass kritische Meerengen, wie die Straßen von Hormuz bzw. Malakka oder auch die Passage durch das Rote Meer, Achillesfersen für den Tankertransport darstellen.



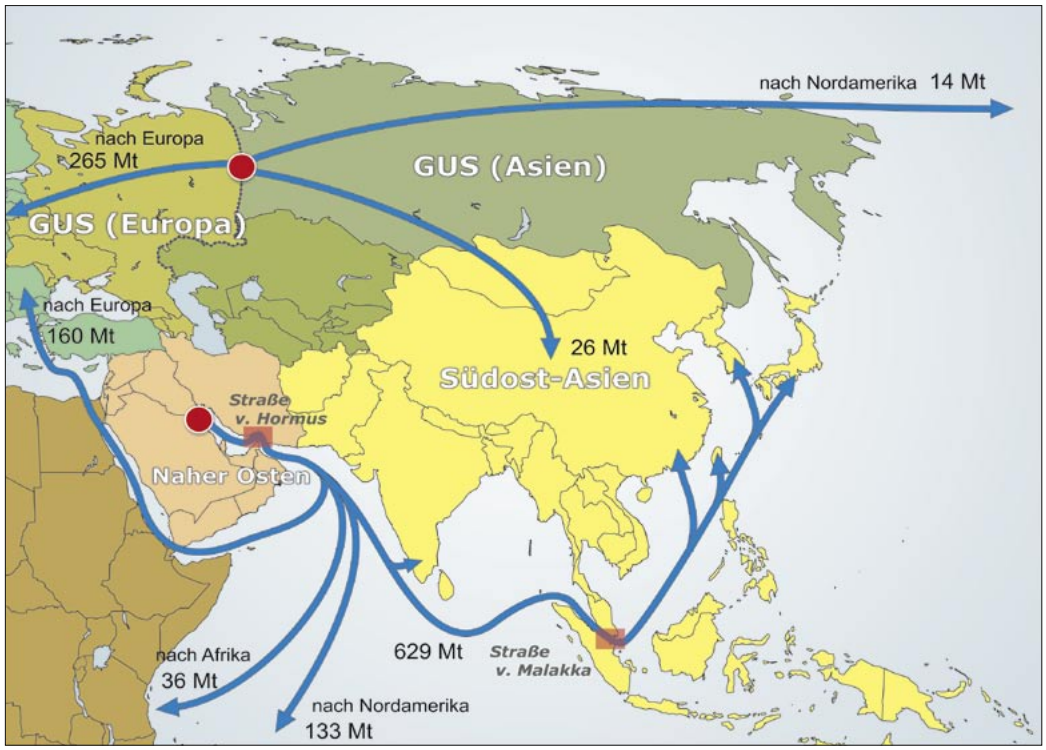
Die Ölpreisentwicklung der letzten 10 Jahre.

Trotz all der aufgeführten Faktoren sind die geologischen Bedingungen für Bildung, Migration und Akkumulation von Erdöl das Kernelement der Erdölverfügbarkeit. Eckpfeiler sind:

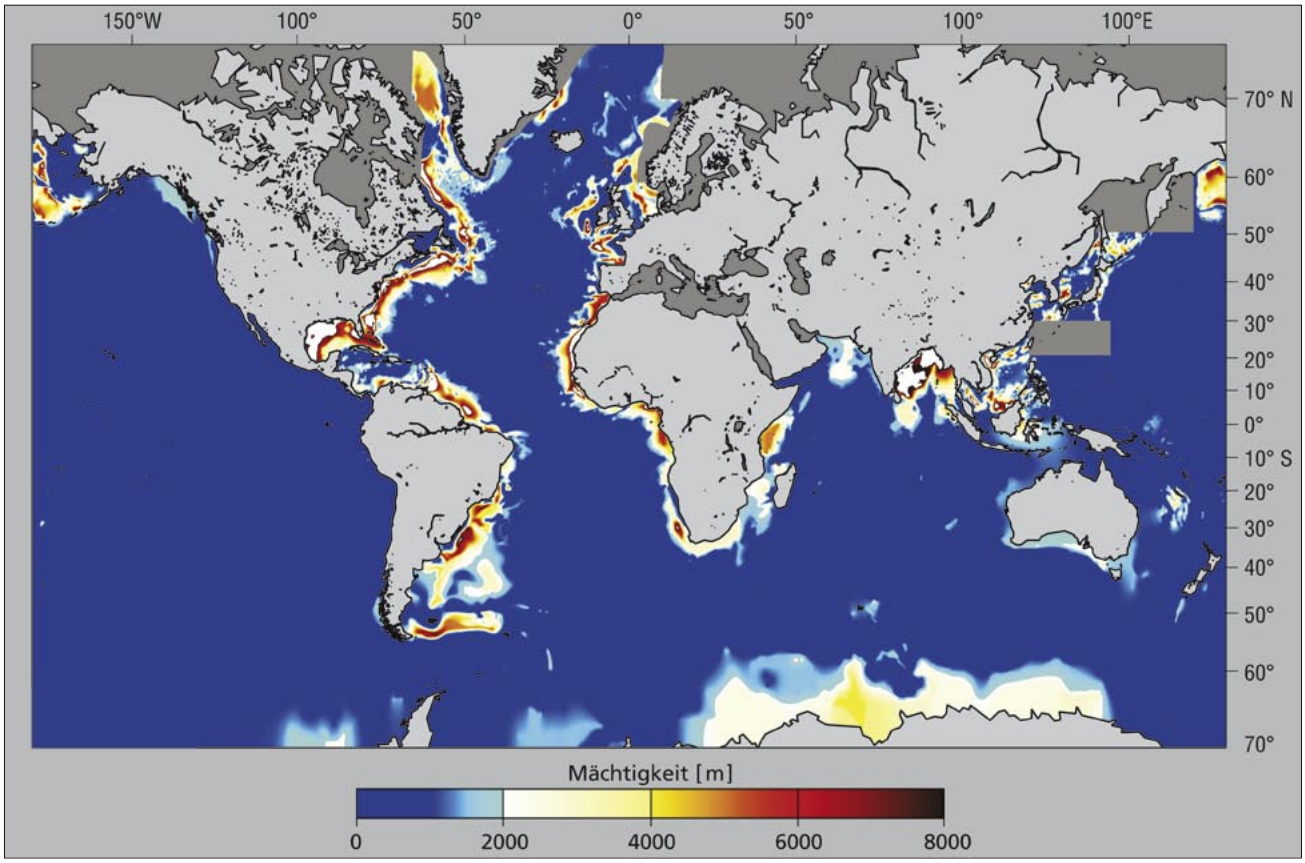
- Erdöl entsteht nur in einem bestimmten Tiefenbereich der Erdkruste, etwa zwischen 1 500 und 3 500 m. Oberhalb ist es zu kalt, unterhalb zu heiß. Dieses Tiefenintervall ist in nahezu allen relevanten Sedimentbecken der Erde weitgehend erkundet.
- In etwa 90 % aller marinen Regionen sind die geologischen Bedingungen (Sedimentmächtigkeiten) nicht ausreichend für eine Erdölbildung. Nur die Kontinenträndern des Atlantiks werden als erdölhöffig eingestuft.
- Die großen Erdölfelder werden zuerst gefunden, weil – einfach gesagt – es sehr viel leichter ist, ein großes Feld zu finden als ein kleines.
- Die schiefe Verteilung der Lagerstätten: In nur 1 % aller Erdölfelder befinden sich 75 % allen Erdöls.
- Eine Erdöllagerstätte ist ein sensibles Zusammenspiel von Gas, Öl und Wasser. Genau austarierte Förderbedingungen sind Garant für eine möglichst hohe Ausbeuterate. Das bedeutet, es ist unsinnig, ein Erdölfeld überschnell zu produzieren.
- Aufgrund von Gesteinspetrographie und Reservoirphysik beträgt die Ausbeuterate aus Erdölfeldern im weltweiten Mittel etwa 35 %.
- Seit 1980 wird jährlich mehr Öl verbraucht als in neuen Lagerstätten hinzu gefunden.

Was bedeutet das nun für die künftige Verfügbarkeit? Mit Ausnahme einiger Regionen an den tiefen Kontinenthängen und der zirkum-arktischen Gebiete sind keine für die Weltversorgung überraschenden Großfunde mehr zu erwarten. Dennoch werden bisher Jahr für Jahr höhere Erdölreserven berichtet. Diese sind jedoch zum überwiegenden Teil auf technische Innovationen, wie Horizontalbohrungen oder sekundäre und tertiäre Fördermaßnahmen zurückzuführen.

Stellt sich die Frage: Sind all die oben aufgeführten Fakten ausreichend – und ausgewogen – im Ölpreis berücksichtigt? Hier sind Zweifel berechtigt. Der Erdölmarkt ist seit ca. 1990 wesentlich dadurch gekennzeichnet, dass Angebot, Nachfrage, Preisentwicklung und Investitionen weitgehend der Eigendynamik des Marktes unterworfen sind. Die immer stärkere Ausweitung des Handels auf Terminkontrakte an der Börse (= „paper barrels") führt zu Spekulationen und Preisvolatilität. Dadurch rücken die Fundamentaldaten des Handels, nämlich die aktuelle Angebots-Nachfrage-Situation nach dem „physikalisch vorhandenen" Öl (= „wet barrels") immer mehr in den Hintergrund.



Die Transportwege des Erdöls aus dem Persischen Golf und NW-Sibirien.



Sedimentmächtigkeiten von weniger als 2000 m erlauben in den meisten Regionen der Ozeane keine Erdölgenese.

In der Tat ist die Verlaufskurve der Förderung bzw. des Angebots sehr viel ruhiger als die der Preise. Der Rohölpreis wird heute entscheidend durch unterschiedliche Erwartungen auf die zukünftige Verfügbarkeit und Nachfrage von Öl beeinflusst. Die unterschiedlichen Einschätzungen bezüglich der Furcht vor Versorgungsengpässen durch steigende Nachfrage und begrenzte Reserven, vor Terror und politischen Unruhen, aber auch Erwartungen an neue Technologien bilden damit eine zusätzliche Grundlage für unterschiedliche Bewertungen von Termingeschäften. Die Tatsache, dass die Menge des gehandelten Öls etwa hundertmal so groß ist wie die Menge der tatsächlich physikalisch vorhandenen Ölproduktion, unterstreicht die Bedeutung der Termingeschäfte als preisbildender Faktor.

Verlieren wir also angesichts dieser Situation die geologische Verfügbarkeit des Erdöls aus den Augen?

Steinkohle – nur noch ein **geduldetes Übel** oder ein **Dauerbrenner?**

Kohle ist nach Erdöl der weltweit zweitwichtigste Energierohstoff. 2005 trug Kohle zu 28 % zum Welt-Primärenergieverbrauch bei. 93 % davon kamen aus der Steinkohle und 7 % aus der Braunkohle. Der gesamte Steinkohleverbrauch 2005 machte 5 Milliarden t oder 26 % des Weltenergieverbrauches aus. Dabei hat sich der Steinkohleanteil am Weltenergieverbrauch seit 1980 kaum verändert. In absoluten Zahlen ist der Steinkohleverbrauch jedoch um 79 % gestiegen (1980: 2,8 Milliarden t), davon allein seit 2001 um 34 %.

Gegenüber Erdöl und Erdgas besitzt die Kohle drei bemerkenswerte Vorteile:

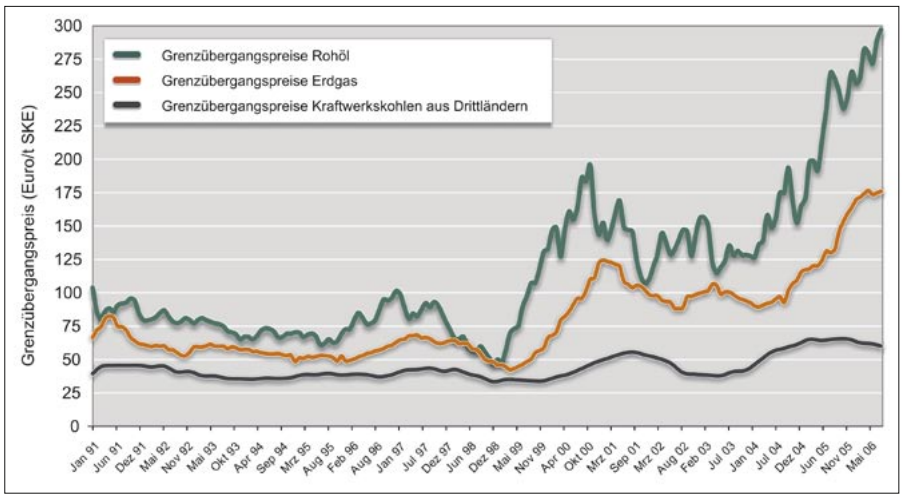
- sie ist weltweit relativ gleichmäßig verteilt,
- die Vorräte reichen noch für mehrere hundert Jahre und
- der Preis ist – bezogen auf den Energieinhalt – vom Erdöl/Erdgas entkoppelt.

Die heutige und insbesondere zukünftige Wichtigkeit der Steinkohle für die Weltenergieversorgung lohnt einen detaillierten Blick auf diesen Rohstoff, seine Eigenschaften und zukünftig zu erwartende Trends.

Je nach Charakteristik sind Steinkohlen aus technischer Sicht in Kesselkohlen, Kokskohlen und Einblaskohle zu gliedern. Kesselkohlen (auch Kraftwerkskohlen genannt) dienen allein zur Energiegewinnung. Folglich ist ein hoher Heizwert entscheidend. Erwünscht sind ferner ein geringer Schwefelgehalt sowie niedrige Wasser- und Ascheanteile. Kokskohlen dienen besonders der Herstellung von Koks (Hüttenkoks), der in der Stahlindustrie zur Roheisenerzeugung eingesetzt wird. Die Kokskohle muss dazu ein gutes Verkokungsverhalten zeigen und bei Erhitzung aufblähen. Einblaskohlen sind schwefel- und aschearme, aber hochflüchtige Kohlen, die kein Verkokungsverhalten zeigen, aber in Hochöfen eingeblasen werden können, um einen Teil des teuren Hüttenkokses zu ersetzen. Vielfach handelt es sich bei Einblaskohlen um Anthrazit.

Steinkohlevorräte

Jedes Jahr verbraucht die Welt große Mengen an fossilen Energierohstoffen. Damit immer ausreichend Rohstoffe zur Verfügung stehen, ist es notwendig – ähnlich der Vorratshaltung in privaten Haushalten oder der Lagerhaltung in Unternehmen – eine Bevorratung vorzunehmen. Aus diesem Grund sichern Bergbauunternehmen durch Exploration und Lagerstättenerschließung ihre Jahresproduktion für einige Jahrzehnte.



Seit dem Jahr 1999 folgen die Importpreise für Kohle nicht mehr denjenigen von Erdöl und Erdgas.

Diese erschlossenen Vorräte – mit heute verfügbarer Technik und zu heutigen Preisen wirtschaftlich gewinnbare Mengen – werden Reserven genannt.
Ressourcen sind sowohl jene Mengen, die bekannt, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar sind, als auch Mengen, die nur vermutet werden, deren Existenz aber wahrscheinlich ist. Jedes Jahr werden Steinkohleressourcen in Reserven umgewandelt, indem Kenntnisse über Steinkohlelagerstätten verbessert und neue Gruben bzw. Grubenteile erschlossen werden. Diese Konvertierung von Ressourcen in Reserven ersetzt einen Teil der durch die jährliche Kohleförderung bedingten Reservenverluste.

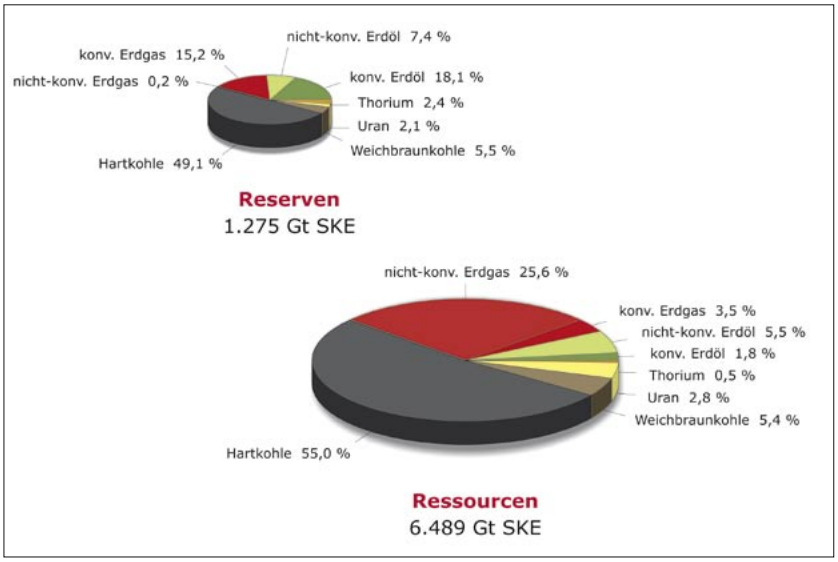
Steinkohleverbrauch der Welt

Steinkohle wird zu 84 % in den Produktionsstaaten verbraucht. Die regionale Verteilung des Verbrauches hat sich seit 1980 deutlich zugunsten Asiens verschoben. Besonders durch den in China und benachbarten Staaten stark gestiegenen Strombedarf entfielen 2005 auf Asien bereits 58 % (2 882 Millionen t) des globalen Steinkohlekonsums, mit steigendem Trend. Allein China verbrauchte 42 % des Weltbedarfs. Nordamerika hatte einen Anteil von 22 %, Europa 8 % und die GUS hatten 6 % Anteil am globalen Steinkohleeinsatz. Knapp 4 % verbrauchte Afrika (v. a. Südafrika), rund 2 % Ozeanien und ca. 1 % Mittel- und Südamerika.

Steinkohle wird in drei Sektoren verbraucht, in Kraftwerken zur Stromerzeugung, auf dem Wärmemarkt (Heizkraftwerke, Industrie, Privathaushalte) sowie in der Stahlindustrie zur Roheisenproduktion. Die weltweiten Anteile dieser Sektoren haben sich seit 1980 stark verschoben. Gingen 1980 nur 36 % der Steinkohlen in die Kraftwerke, 43 % in den Wärmemarkt und 21 % in die Stahlindustrie, so liegen die Anteile in gleicher Reihenfolge jetzt bei 70 %, 10 % und 20 %. Damit werden weltweit fast drei Viertel der Steinkohleproduktion (i. w. Kesselkohle) in Kraftwerken verstromt.

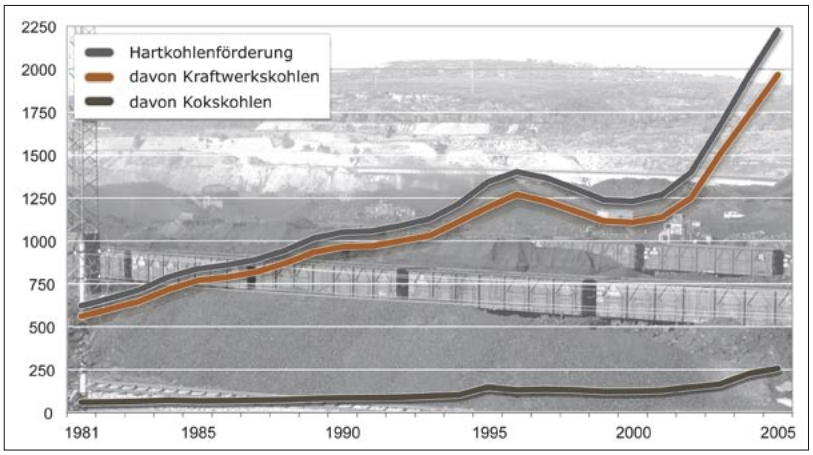
Der Sonderfall China

Die VR China ist mit rund 7 % der Landfläche der viertgrößte Staat der Erde. 1,32 Milliarden Menschen lebten hier im Jahre 2006 – das sind circa 20 % der Weltbevölkerung. Nach den USA (22,2 %) war die VR China im Jahr 2005 der zweitgrößte Primärenergieverbraucher. Bedingt durch die heimischen Energierohstoffe entfielen dabei nahezu 70 % des chinesischen Primärenergieverbrauchs auf Kohle. Dieser Anteil ist vergleichsweise hoch – im gleichen Jahr betrug er weltweit 28 %, in der EU-25 lediglich 17 %.



Steinkohle ist der dominierende geogene Energieträger (SKE = Steinkohleeinheiten, Maß für den Energiegehalt fossiler Brennstoffe. 1 kg SKE = 29 308 kJ = 8,14 KWh).

Entwicklung der chinesischen Hartkohlenförderung. Bemerkenswert ist der Anstieg seit 2001.



Mit 2 179 Millionen t verbrauchte die VR China im Jahre 2005 etwa 44 % der weltweit geförderten Hartkohlen. Dies ist sowohl absolut (+ 1 555 Millionen t) wie auch relativ (+ 249 %) ein signifikanter Zuwachs gegenüber 1981.

Die VR China förderte mit 2 225,6 Millionen t rund 45 % der weltweit geförderten Hartkohlen im Jahre 2005. Die chinesische Hartkohlenförderung stieg in den letzten 25 Jahren um 258 %, davon allein seit 2002 um 59 %. Sie erfolgte 2005 zu 95 % im Tiefbau.

Der Trend des steigenden chinesischen Energiebedarfs wird auch in den nächsten Jahren anhalten und vorwiegend über Kohle gedeckt werden. Trotz kräftig gestiegener Eigenförderung verzwölffachten sich die chinesischen Hartkohleimporte im Zeitraum 2000 bis 2005. Die EIA (Energy Information Administration, Washington, Vereinigte Staaten) prognostizierte noch in ihrem im Juni 2006 erschienen International Energy Outlook (Referenzfall) für die VR China Hartkohleexporte von 88 Millionen t für das Jahr 2015 und 96 Millionen t für 2030. Die chinesischen Hartkohleimporte im Jahre 2030 werden auf 128 Millionen t geschätzt, womit sich die VR China dann von einem Nettoexporteur zu einem Nettoimporteur gewandelt hätte. Allerdings zeigen die Entwicklungen bei den chinesischen Im- und Exporten der letzten drei Jahre einen wesentlich rascheren Trend zum Nettoimporteur.

Lässt sich die Kohle in Zukunft klimafreundlich nutzen?

Kohle ist mit dem Stigma der relativ hohen Klimagasemissionen bei Verbrennung versehen. Sofern es gelingt, die klimaschädlichen Emissionen bei der Verbrennung von Kohle zukünftig signifikant einzudämmen, hat dieser Rohstoff eine klare Chance zum Dauerbrenner. Hier ist Optimismus angebracht. Mittels Integration von Effizienzsteigerungen in der Kraftwerkstechnologie sowie Implementierung der CO_2-Abscheidung im Kraftwerk und nachfolgender Ablagerung im Untergrund wird uns dieser Rohstoff den notwendigen Freiraum bis zur fossilfreien Volkswirtschaft verschaffen. Jedoch – zur erfolgreichen Umsetzung der Klimaschutzziele muss die Technologie weltweit flächendeckend eingesetzt werden.

Kohle als Erdölsubstitut

Über die reine Verstromung bzw. den Einsatz in der Stahlindustrie hinaus kann die Steinkohle mittels Vergasung oder Verflüssigung Substitute für den Transportsektor liefern. Dieses Potenzial wird zunehmend wichtig, weil der weltweite KFZ-Bestand sich bis zum Jahr 2030 auf ca. 1,5 Milliarden Einheiten mehr als verdoppeln wird – und das angesichts der limitierten Verfügbarkeit von Erdöl.

Abgesehen von den bereits lange währenden Aktivitäten in Südafrika – im Jahr 2004 wurden etwa 40 Millionen t Steinkohle verflüssigt – sind bei der Kohleverflüssigung insbesondere in China und den USA bereits umfangreiche Initiativen gestartet worden. In Deutschland wurden nach der ersten Ölkrise zwischen 1977 und 1980 sieben Pilotanlagen zur Kohleverflüssigung errichtet, die jedoch bereits bis 1985 wegen Unwirtschaftlichkeit alle wieder geschlossen wurden.

Die Kohlevergasung wird insbesondere zu dem Zeitpunkt eine wichtige Marktfunktion erlangen, wenn das in den Medien viel diskutierte Antriebsaggregat Brennstoffzelle flächendeckend eingesetzt wird.

Risikominimierung beim Betrieb von **geothermischen Anlagen – CO_2-freie Energie** aus der Erde wirtschaftlich nutzen

Steigende Rohstoffpreise, das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) und zum Teil auch die gezielte Förderung durch die Bundesregierung machen es für Wirtschaft und Kommunen zunehmend attraktiv, Geothermie als Energiequelle zu nutzen. Die Möglichkeiten reichen, je nach geologischen Voraussetzungen, von der Wärmeproduktion und deren direkte Nutzung als Fernwärme oder Prozesswärme bis hin zur Stromerzeugung. Trotz der vielfältigen Möglichkeiten, die die Geothermie auch in Deutschland bietet, muss sie ihre Wirtschaftlichkeit noch beweisen und ihren Platz im künftigen Energiemix finden.

Die geologischen Verhältnisse in Deutschland erscheinen zunächst eher ungeeignet, da die Geothermiefelder durch tiefe Bohrungen von meist über 2 000 m erschlossen werden müssen und die geförderten Thermalwässer zudem häufig korrosiv sind. Dies erfordert eine hohe Anfangsinvestition für Bohrungen und für den Bau der Förderanlagen. Der Investor geht dabei ein nicht unbedeutendes wirtschaftliches Risiko ein, wobei dies je nach Erkundungsstand der Felder unterschiedlich hoch sein kann. Detaillierte Studien zum tieferen Untergrund, verbesserte strukturgeologische Modelle und Informationen zur Formationswasserzusammensetzung helfen, das Risiko gering zu halten.



Sondenkopfinstallationen der Förderbohrung in Neustadt-Glewe.

In Norddeutschland konnte am Standort Neustadt-Glewe gezeigt werden, dass Fernwärme aus Geothermie gegenüber fossilen Energieträgern konkurrenzfähig sein kann. Der große wirtschaftliche Vorteil liegt derzeit, wie bei allen regenerativen Energien, in der weitgehenden Unabhängigkeit von den Rohstoffmärkten. Dass bei der Nutzung von Geothermie kein CO_2 erzeugt wird, ist vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung ein ganz wesentlicher Umweltaspekt. Durch den Emissionshandel bekommt dieser Aspekt auch eine wirtschaftliche Bedeutung.

Erfahrungen mit dem Betrieb von Geothermieanlagen gibt es in Deutschland nur für Thermalwassertemperaturen von unter 100 °C. In den nächsten Jahren werden jedoch mehrere Anlagen mit deutlich höheren Temperaturen in Betrieb gehen. Ebenfalls gibt es kaum Erfahrung mit hohen Gasgehalten und den unterschiedlich korrosiven Wässern. In den verkarsteten Jurakalken Süddeutschlands kann das Wasser z. B. auch in über 2 000 m Tiefe noch annähernd Trinkwasserqualität aufweisen. Die Verhältnisse im Norddeutschen Becken oder im Rheingraben sind dagegen wesentlich ungünstiger, vor allem, weil hier auch ein erhöhter Gasgehalt die Nutzung der Erdwärme unter Umständen erschweren kann. Zudem muss berücksichtigt werden, dass sich an den Fördereinrichtungen und innerhalb der Anlagen Ablagerungen bilden können, die den Betrieb beeinträchtigen. Der Verschleiß von einzelnen Bauteilen wird nicht zu vermeiden sein, in welchen Umfang dies geschieht, kann allerdings darüber entscheiden, ob der Betrieb wirtschaftlich ist.

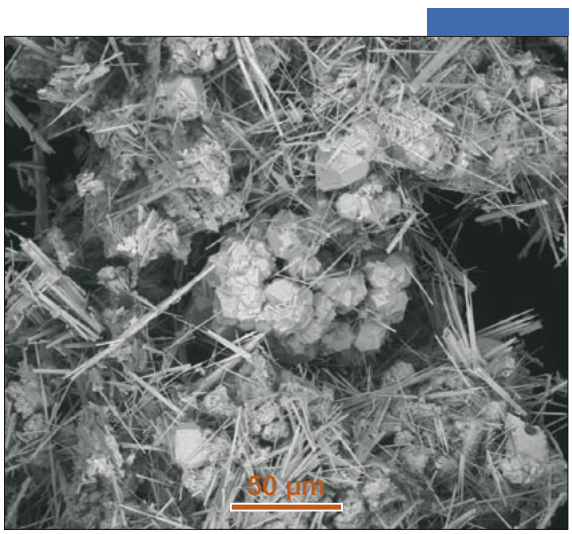
Das Verbundprojekt „Langfristige Betriebssicherheit geothermischer Anlagen" führt die BGR in enger Kooperation mit Unternehmen aus der Wirtschaft und staatlichen Forschungseinrichtungen durch. Es beschäftigt sich mit den Verschleißerscheinungen von Förderanlagen, der Veränderung von Porenspeichern nach mehrjährigem Förderbetrieb, der Herkunft von Kohlenwasserstoffen und Gasen im Thermalwasser, Korrosionsprozessen und Ablagerungen an kritischen Anlagenteilen. Es wird ein umfangreiches Untersuchungsprogramm zur Geochemie der Thermalwässer und der Speichergesteine, zu den gelösten Gasen sowie zur Zusammensetzung der Ablagerungen durchgeführt.

An der Geothermieanlage Neustadt-Glewe steht seit Anfang 2006 ein „Thermalwasser-Bypass" für In-situ-Experimente zur Verfügung, hier können z. B. Werkstoffe auf ihre Beständigkeit im Thermalwasser getestet werden.

Die thematischen Schwerpunkte der BGR liegen in den Bereichen organische Geochemie, Gasgeochemie, Strukturgeologie und Bildung von Ablagerungen. Speziell der letzte Punkt ist für die Industrie von großem Interesse, da Ablagerungen und Korrosion Betriebsausfälle verursachen können. Im Anschluss an Umbaumaßnahmen an der Geothermieanlage Neustadt-Glewe wurden Feststoffproben aus verschiedenen Anlagenbereichen analysiert.

Ablagerungen im Thermalkreislauf

Die Feststoffanalysen deuten darauf hin, dass sich in bestimmten Bereichen vorzugsweise Ablagerungen bilden. In manchen Bereichen beobachtet man Barium- und Strontiumsulfate. Diese Ausfällungen können zu feinen Belägen führen, die kaum Einfluss auf den Betrieb der Anlage haben. Unter ungünstigen Umständen können sich dort jedoch bis zu mehrere Zentimeter dicke Ablagerungen bilden, die zu einer Querschnittsverengung der Rohre und damit zu einer Beeinträchtigung des Betriebs führen.



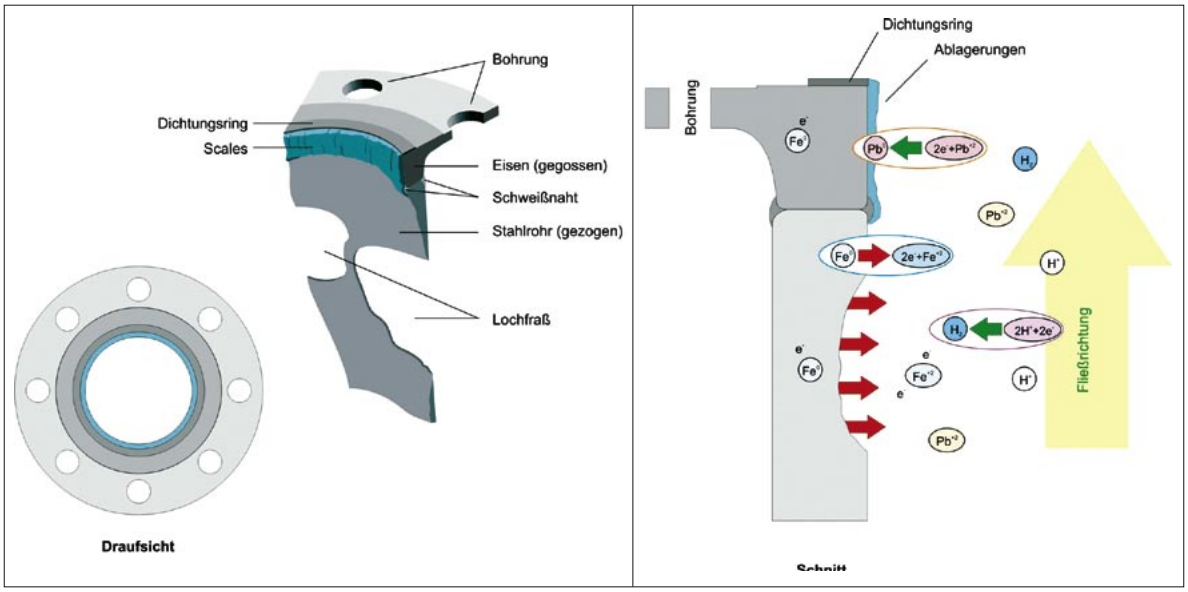
Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer Feststoffprobe aus dem Inneren einer Rohrtour, man sieht kubische Bleisulfidkristalle und Bleinadeln.

Erste Ergebnisse aus Neustadt-Glewe zeigen, dass Ausfällungsprozesse z. B. dort auftreten, wo unbeschichtete Stahlrohre eingesetzt werden. Letztlich führen diese Prozesse zu einer erheblichen Wandstärkenreduktion und schließlich zu Leckagen im Leitungsnetz. Die Ablagerungen selbst können allerdings auch zur Querschnittsverringerung der Rohre führen. Die Korrosion und die Bildung von Ablagerungen in Geothermieanlagen betreffen nicht nur Stahlrohre, der Einsatz von unbeschichteten Stahlrohren ist die Ausnahme. Ablagerungen wurden aber auch an beschichteten Rohren festgestellt, die jedoch besser vor Korrosion geschützt sind. Selbstverständlich ist die Entstehung von bleihaltigen Ablagerungen kein spezifisches Problem der Anlage von Neustadt-Glewe. Die Art der Ablagerungen ist unter anderem von der Zusammensetzung des geförderten Thermalwassers und somit von den geologischen Bedingungen abhängig. Ursache für Ausfällungen ist meist eine Änderung des Wasserchemismus, z. B. die Erhöhung des pH-Werts.

Gasmessungen

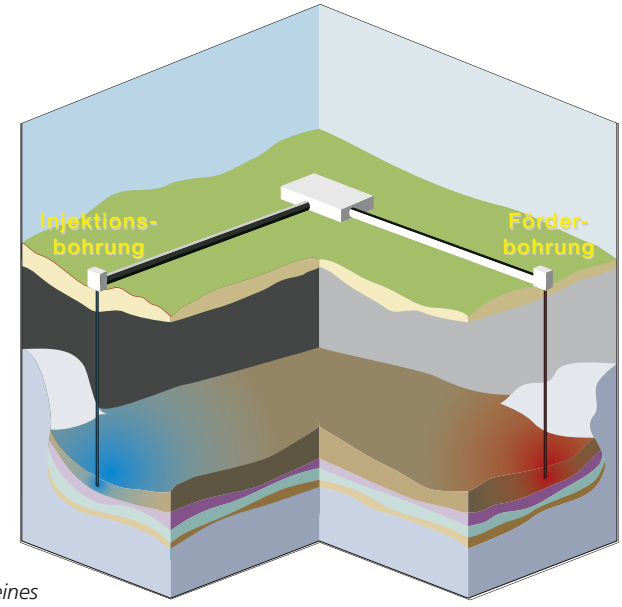
Die BGR betreibt in Neustadt-Glewe ein Permanentgasmonitoring, das den Gasgehalt und die Gaszusammensetzung des geförderten Thermalwassers überwacht. Der Gasgehalt der Thermalwässer ist ein wichtiger Parameter für den Betrieb von Geothermieanlagen. Es muss darauf geachtet werden, dass das Gas im Wasser gelöst bleibt. Freies Gas kann zur Bildung von Ablagerungen führen und zusätzlich verringert es die Leistung der Anlage, da ein Gaswassergemisch einen geringeren Wärmeinhalt hat.

Das geförderte Thermalwasser in Neustadt-Glewe enthält etwa 10 % gelöstes Gas, d. h. 10 l Thermalwasser enthalten 1 l Gas bei Normaldruck. Dieses Gasgemisch setzt sich aus verschieden Komponenten zusammen, wobei 77 % CO_2, 12 % N_2, 10,5 % CH_4 sowie 0,5 % C_2H_6 gemessen wurden. Außerdem konnten in geringen Konzentrationen längerkettige Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff, Argon und Helium nachgewiesen werden. Zusätzlich zu den Untersuchungen in Neustadt-Glewe sind Kurzzeitmessungen auch an anderen Anlagen geplant. Die Kenntnis der unterschiedlichen Gasgehalte, die Thermalwasserchemie und die jeweilige Gaszusammensetzung sollen schließlich helfen, Korrosion frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden.



Vereinfachte Darstellung der Korrosion eines Stahlrohrs.

Die Bildung von Ablagerungen innerhalb der Anlage muss möglichst gering gehalten werden, um Ausfallzeiten zu vermeiden und nicht zuletzt auch um das geothermische Reservoir zu schützen. Wie groß der Anteil der Geothermie in den nächsten Jahrzehnten als Ressource zur Wärmeproduktion und Stromerzeugung sein wird, hängt davon ab, wie wirtschaftlich der Betrieb von Geothermieanlagen sein wird. Möglicherweise steckt das größte Potenzial der Geothermie nicht in der Stromerzeugung sondern in der Wärmeproduktion oder in der Kombination von beidem.



Prinzipskizze eines Geothermiekraftwerkes.

Verbundprojekte zur CO_2-Speicherung



Natürliche Kohlendioxid-Austritte am Laacher See in der Eifel.

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich in internationalen Abkommen (Kyoto-Protokoll) und in nationalen Vereinbarungen zur verbindlichen Reduktion der Emissionen des klimawirksamen Treibhausgases CO_2 verpflichtet. Die mittelfristig angestrebten Ziele zur Emissionsminderung sind nach Einschätzung des Deutschen Instituts für Wirtschaftsförderung allerdings ohne zusätzliche Maßnahmen kaum zu erreichen.

Eine der technischen Möglichkeiten, die Emissionen des Treibhausgases CO_2 aus Industrieanlagen zu reduzieren, ist dessen Speicherung im Untergrund. Die aufwendige Abscheidung des Gases lohnt sich allerdings nur bei großen ortsfesten Anlagen, wie beispielsweise Kraftwerken. Weltweit wird CO_2 erst an wenigen Orten zum Klimaschutz im Untergrund gespeichert. Sollte diese Technologie merklich zum Erreichen der umweltpolitischen Minderungsziele beitragen, ist die Errichtung vieler CO_2-Speicher erforderlich. Aufgrund der begrenzten praktischen Erfahrungen sind Bewertungen der Chancen und Gefahren dieser Option noch als unsicher und vorläufig zu betrachten. Abtrennung, Transport und Speicherung von CO_2 stellen eine Kette dar, die nur dann belastbar sein kann, wenn alle Glieder ineinander greifen und für sich tragfähig sind. Die Herausforderung besteht in der Kombination, Anpassung und Optimierung von Verfahrensschritten, die teilweise schon für andere Zwecke zur Verfügung stehen. Diese interdisziplinäre Aufgabe kann nicht allein von Ingenieuren oder Ökonomen sondern nur in Zusammenarbeit mit Geowissenschaftlern gelöst werden. Daher beteiligt sich die BGR aktiv an nationalen und internationalen Verbundforschungsprojekten, um Wissenslücken zu schließen und die Grundlage für ihren Beratungsauftrag gegenüber Regierung, Industrie und Öffentlichkeit zu verbessern. Aktuelle Themen der Forschung und Entwicklung sowie die Arbeit der BGR werden anhand einiger Projekte beispielhaft dargestellt.

CO_2GeoNet

Die Europäische Kommission hat in ihrem sechsten Rahmenprogramm ein neues Förderinstrument etabliert: Netzwerke der Exzellenz. Eines dieser Netzwerke befasst sich mit allen Aspekten der untertägigen Verbringung von Kohlendioxid: CO_2GeoNet. Ziel des Netzwerkes ist es, sicherzustellen, dass Europa weiterhin eine führende Rolle bei der Erforschung und Durchführung der CO_2-Speicherung untertage behält.

Das CO_2GeoNet existiert seit 2004 und wird fünf Jahre lang finanziell durch die Europäische Kommission unterstützt. Die in diesem Netzwerk eingebundenen 13 Institute aus sieben europäischen Ländern haben sich verpflichtet, nach der Förderphase selbständig als europäische Institution zu wirken. Als Kompetenzzentrum könnte sie europaweit als Forum für Fragen der CO_2-Speicherung dienen, technische Standards festlegen und weitere Forschungsprojekte gemeinsam bearbeiten. Zur Stärkung seiner Kompetenzen steht das Netzwerk im Dialog mit internationalen Organisationen, die im Bereich der CO_2-Speicherung aktiv sind, sowie national und international agierenden Entscheidungsträgern.

Das Netzwerk hat sechs Forschungsschwerpunkte definiert, in die die Netzwerkpartner ihre fachliche Kompetenz einbringen, Synergien nutzen und gemeinsame Projekte durchführen. Ein Forschungsschwerpunkt des Netzwerks ist die Optimierung existierender Überwachungsmethoden und die Erprobung neuer Monitoringtechniken an ausgewählten Standorten. Teststandorte wurden an Land sowie in der Nordsee und im Mittelmeer ausgewählt, um Untersuchungsmethoden an natürlichen CO_2-Austritten zu eichen, ökologische Auswirkungen in der Umgebung der Austritte zu erkennen und als Indikatoren für CO_2-Leckagen nutzbar zu machen. Die BGR ist an Versuchen im Golf von Triest, in einem norwegischen Fjord und in der Nähe Roms beteiligt.



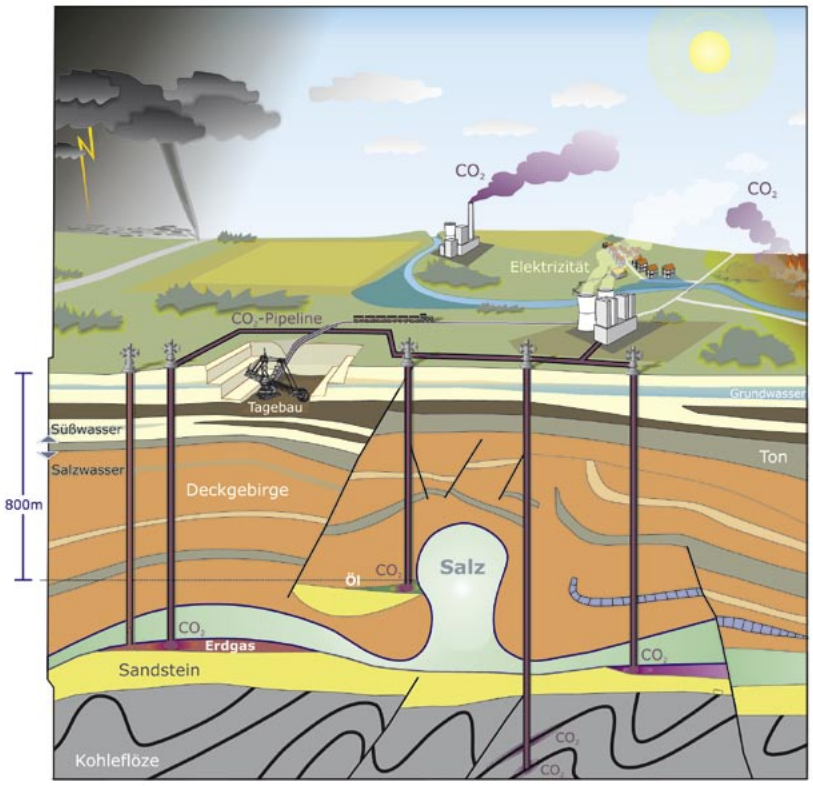
Monitoring-Bojen für den Einsatz im Meeresbereich zur Registrierung von möglichen CO_2-Austritten.

Weitere Schwerpunkte bilden: Anwendungsstrategien numerischer Vorhersagewerkzeuge, mit deren Hilfe das Verhalten von Kohlendioxid in Speichern vorhergesagt werden kann, deren Optimierung aufgrund experimenteller Untersuchungen, die Steigerung der Erdgas- und Erdölförderung durch CO_2-Injektion in erschöpfte Felder, geologische Modelle, mit deren Hilfe die Untergrundstruktur und die interne Struktur von Speichergesteinen realitätsnah dargestellt werden können. Zur Prognose der Speichereignung werden Modellrechnungen angewandt, die zwar Standardmethoden der Erdölindustrie darstellen, jedoch für eine CO_2-Speicherung neue Grundlagen mit einbeziehen müssen.

CO_2STORE

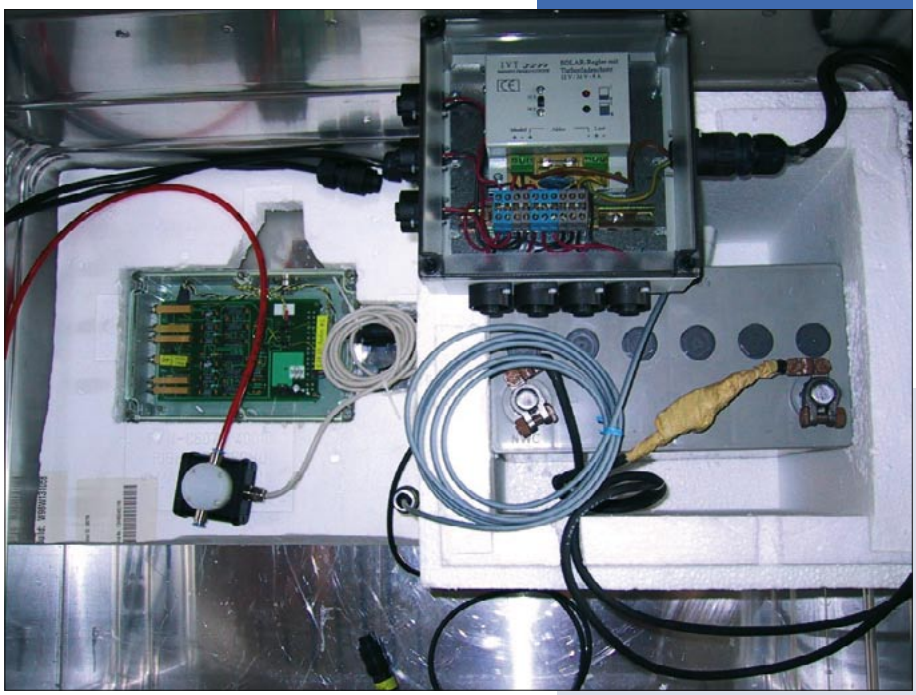
Das EU-Projekt „CO_2Store" beruht auf Erkenntnissen, die in dem weltweit ersten Projekt der CO_2-Speicherung zum Zweck des Klimaschutzes im norwegischen Sektor der Nordsee gewonnen wurden. Ziel des Projektes ist es, die Übertragbarkeit der Technologie auf Speichervorhaben an Land und in anderen Speichergesteinen zu untersuchen. Dazu wurden vier Fallstudien ausgesucht, eine davon in Deutschland. Die Aufgabe der BGR besteht darin, eine geologische Struktur in einem tiefen, Salzwasser führenden Grundwasserleiter zu finden. Diese soll groß genug sein, das gesamte während der Nutzungsdauer eines großen Braunkohlekraftwerks anfallende CO_2 aufzunehmen. Ausgangspunkt der Überlegungen ist die Annahme eines neuen Kraftwerkstyps mit CO_2-Abscheidung, der sich derzeit noch in der Entwicklung befindet. Dessen Leistung soll der moderner Braunkohlekraftwerke entsprechen, z. B. das Kraftwerk „Schwarze Pumpe" in der Lausitz.

In einem ersten Schritt zur Standortfindung erfolgte die Erfassung von Antiklinalstrukturen in Nordostdeutschland und eine erste Abschätzung ihres Speichervolumens. Anhand weiterer Kriterien, wie beispielsweise Tiefenlage der Struktur, Qualität der Deckschichten aber auch Verfügbarkeit von Untergrundinformationen, wurde eine Rangfolge der Strukturen erstellt und eine Struktur unterhalb des Ortes Schweinrich an der Grenze von Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern ausgewählt. Anhand vorhandener geophysikalischer Bohrlochmessungen und seismischer Daten wurden Strukturkarten für verschiedene Speicherhorizonte erstellt. Die mineralogische und chemische Zusammensetzung sowie gesteinsphysikalische Eigenschaften wurden an Kernproben der Speicher und Deckschichten analysiert. Diese standortspezifischen Daten bilden die Grundlage zur Modellierung chemischer und physikalischer Prozesse infolge einer Injektion von CO_2. Die numerischen Simulationen dienen der Prognose der Ausbreitung des CO_2 im Untergrund sowie der geochemischen Reaktionen während der Injektionsphase, aber auch des Langzeitverhaltens nach Beendigung der Einspeicherung. Die Simulationen erfolgten gemeinsam mit den Projektpartnern der geologischen Dienste Frankreichs und der Niederlande.



In Deutschland dürften insbesondere weitestgehend erschöpfte Erdgas- und Erdöllagerstätten ideale CO_2-Speicher darstellen. Es besteht wahrscheinlich ebenfalls die Möglichkeit der Speicherung von CO_2 in tiefen Salzwasserhorizonten oder in Kohleflözen.

CASTOR



Messapparatur für Bodengasmonitoring.

Im CASTOR-Projekt („CO_2 from Capture to Storage") haben sich 30 europäische Partner aus Forschungseinrichtungen, Universitäten und der Industrie zusammengeschlossen. Deren Ziel ist die Entwicklung innovativer Technologien, die für eine verbesserte Kohlendioxid-Abtrennung aus industriellen Rauchgasen und eine sichere CO_2-Speicherung untertage notwendig sind. Dieses vier Jahre dauernde Projekt wird durch die Europäische Kommission in ihrem sechsten Rahmenprogramm unterstützt und durch Industriepartner gefördert.

Ein wichtiger Aspekt des Projektes ist die Auswahl von CO_2-Speichern. Die öffentliche Akzeptanz einer untertägigen Verbringung von Kohlendioxid ist im Wesentlichen abhängig von der Sicherheit dieser Speicher. Es müssen Auswahlkriterien für Speicherstandorte sowie kostengünstige Überwachungsstrategien definiert und klassifiziert werden. Zu diesem Zweck werden vier europäische Erdöl- und Erdgaslagerstätten untersucht, um ihre Eignung als CO_2-Speicher zu testen. Neben drei Offshore-Lagerstätten wird das nahezu leergeförderte Erdgasfeld Atzbach-Schwanenstadt untersucht, das sich zwischen Salzburg und Linz in der österreichischen Molasse befindet. Es ist das Ziel, einen auf diesen Erfahrungen basierenden Auswahlkriterienkatalog zu erarbeiten und die erworbenen Erkenntnisse möglichen Endnutzern zugänglich zu machen.

Für alle Modell-Lagerstätten werden geologische 3D-Modelle entwickelt, die neben der Speicherstruktur die für eine Speicherung von CO_2 relevanten Gesteinseigenschaften beschreiben. An den ausgewählten Standorten werden besonders Fragen zur Dichtheit und Sicherheit des Deckgebirges mittels Gasdurchbruchexperimenten und durch geomechanische Modellrechnungen untersucht. Laborexperimente sollen Aufschluss geben über mögliche chemische Prozesse, die durch das zu injizierende CO_2 bedingt sein und Porosität und Permeabilität des Speichers und somit das Migrationsverhalten im Speicherkörper verändern können. Diese Untersuchungen dienen unter anderem der Überprüfung von Simulationsrechnungen, in denen das Langzeitverhalten des CO_2 im Speicher berechnet wird.

Vor einer möglichen Injektionsphase ist eine Überwachung der Bodengasflüsse erforderlich. Der Vergleich von Messungen während und nach der Injektion mit den Ausgangswerten vor der Injektion ermöglichen es, mögliche Leckagen zu erkennen und deren ökologische Auswirkungen zu bewerten. Aus diesem Grunde werden im Rahmen des Projektes verschiedene Überwachungstechniken getestet, um kostengünstige und effiziente Messgeräte und Überwachungsstrategien zu entwickeln.

Die Abdeckgesteine von Erdöl- und Erdgaslagerstätten wurden durch eine Vielzahl von Bohrungen durchörtert. Die im Bohrloch verbauten Zemente und Rohre werden hinsichtlich ihrer Standfestigkeit untersucht, da diese Materialien durch CO_2 bzw. Kohlensäure verändert werden können. Ein Erkennen derartiger Schwachstellen bildet die Grundlage für Empfehlungen an künftige CO_2-Speicherbetreiber, um diesbezüglich präventive, aber auch korrektive Sicherheitsmaßnahmen ergreifen zu können.

CSEGR

Kann man CO_2 in erschöpften Erdgaslagerstätten speichern und so die Ausbeute an Erdgas erhöhen?

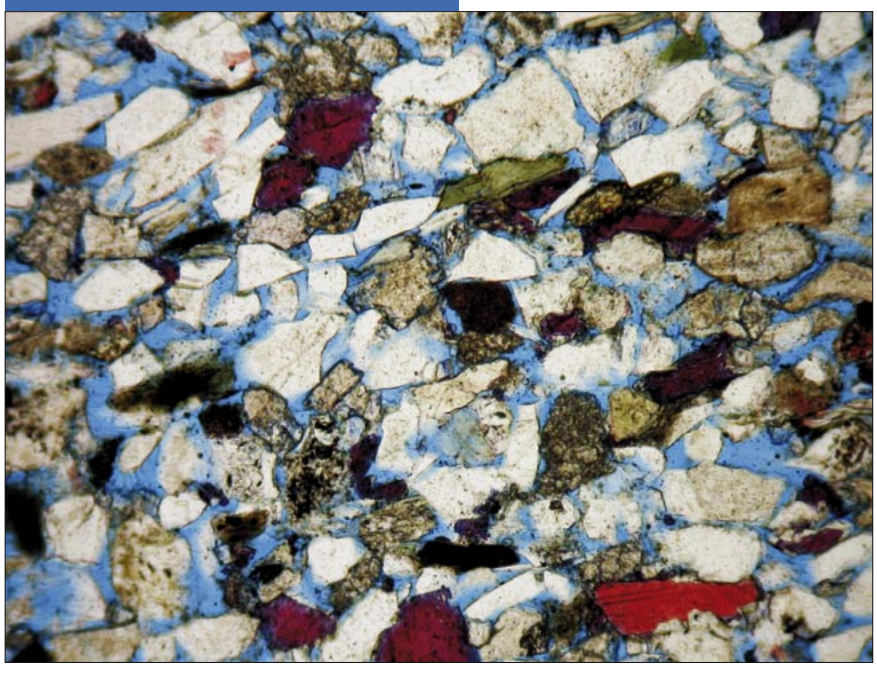
Die Injektion von CO_2 zur Ausbeutesteigerung wird bereits seit einigen Jahren erfolgreich bei der Ölproduktion (Enhanced Oil Recovery = EOR) eingesetzt. Daher liegt es nahe, diese Verfahren auch bei Erdgaslagerstätten einzusetzen. Eine vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für einen Zeitraum von drei Jahren finanzierte Machbarkeitsstudie beschäftigt sich mit der Möglichkeit der Speicherung von CO_2 in erschöpften Erdgaslagerstätten bei gleichzeitiger Steigerung der Erdgasausbeute (Carbon Sequestration with Enhanced Gas Recovery = CSEGR).



Bohrlochkopf in einem Gasfeld in der österreichischen Molasse. Im Bohrloch verbaute Rohre und Zemente werden auf ihre Langzeitsicherheit für eine Endnutzung als CO_2-Speicher getestet.

Mehr als die Hälfte aller deutschen Gasfelder befinden sich heute in einem fortgeschrittenen Abbaustadium und kommen somit als potenzielle CO_2-Speicher in Frage. Durch die CO_2-Injektion steigt der Lagerstättendruck wieder an und ein Teil des zuvor im Untergrund verbliebenen Erdgases kann gefördert werden. Auf diesem Wege könnte die Produktionsdauer der Lagerstätte verlängert und gleichzeitig die Gesamtfördermenge an Ergas aus den betreffenden Feldern erhöht werden. Nach dem CO_2-Durchbruch an den Erdgas-Förderbohrungen könnten diese verschlossen und die Strukturen weiterhin zur CO_2-Speicherung verwendet werden. Die CSEGR-Option wurde noch nicht in großem Maßstab praktisch erprobt. Ein erstes Pilotprojekt in Verbindung mit dem EU-Projekt CASTOR wurde im niederländischen Sektor der Nordsee durchgeführt.

Von der BGR wird im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie durch reaktive Transportmodellierung und die Studie natürlicher Analoga ermittelt, ob das Konzept für die Verhältnisse deutscher Erdgaslagerstätten anwendbar ist. Als repräsentative Untersuchungsgebiete wurden die Rotliegend-Erdgasfelder der Altmark in Sachsen-Anhalt und die Buntsandstein-Gaslagerstätte Barrien in Niedersachsen ausgewählt. Die Untersuchungen sollen Antworten auf praxisbezogene Fragen liefern, z. B. zu geochemischen und mechanischen Reaktionen im Speicher und Deckgebirge oder zur Injektionsstrategie hinsichtlich der Optimierung von Erdgasausbeute und effizienter CO_2-Speicherung.



Dünnschliffbild eines typischen Speichergesteins in der österreichischen Molasse. Der Porenraum, blau gefärbt, kann Kohlendioxid aufnehmen. Die lange Bildseite entspricht 0,3 mm.

Abschätzung des **Rohstoffpotenzials** der **südatlantischen Kontinentalränder**

Die BGR führt im Vorfeld der industriellen Exploration als Informations- und Entscheidungsgrundlage für eine langfristige deutsche Energiepolitik geowissenschaftliche Forschungen durch. Hauptzielregionen 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, Namibia und Südafrika durchgeführten Arbeiten haben gezeigt, dass große Teile dieser Kontinenträndern vom Typ „vulkanischer passiver Kontinentrand" sind. Die Öffnung des Südatlantiks vor über 130 Millionen Jahren wurde von einem ausgesprochen starken, aber kurzlebigen Vulkanismus begleitet, 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 Kohlenwasserstoffbildung und das Kohlenwasserstoffpotenzial sind bislang jedoch noch wenig verstanden.

In Ergänzung und Erweiterung der bisherigen Untersuchungen der BGR wurden im Spätherbst 2004 marin-geophysikalische Messungen vor Uruguay und dem südlichen Argentinien durchgeführt. Auf einem Profilnetz wurden mehrkanal-seismische, magnetische und gravimetrische sowie fächerbathymetrische Messungen durchgeführt und auf einem Profil Unterwassermikrophone eingesetzt. Die Untersuchungen an den sich im Atlantik gegenüberliegenden und gleich alten Teilen der Kontinenträndern sind deshalb von besonderem Interesse, da aus den Ergebnissen wesentliche neue Erkenntnisse über

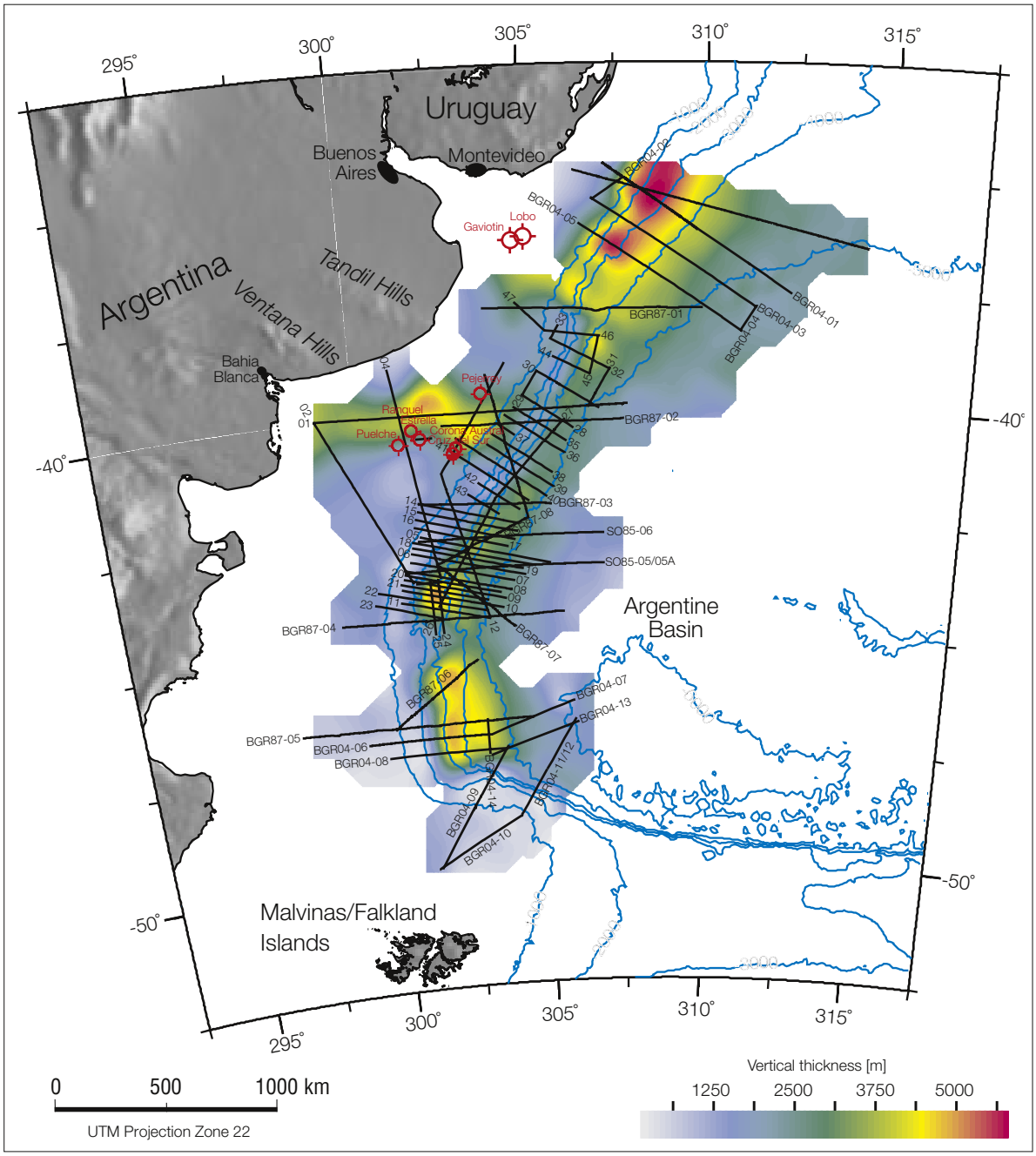
- die geodynamischen Prozesse, die während des Aufbrechens eines Kontinents wirksam waren, und
- erste Abschätzungen des Rohstoffpotenzials

ableitbar 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, d. h. eine rechtwinklig zum Mittelozeanischen Rücken verlaufende Störung, an denen keine horizontale Bewegung stattfindet, schließen, die mit dem argentinischen Kontinentrand korreliert.

Die Ergebnisse hinsichtlich des zu erwartenden Rohstoffpotenzials dieses noch nicht prospektierten Kontinenthanges werden ausgehend von den durch die seismischen Aufzeichnungen ermittelten Sedimentmächtigkeiten und einigen auf dem Schelf befindlichen Bohrungen gewonnenen. Sie zeigen das Vorkommen von kreidezeitlichen Schwarzschiefern, die sich entlang des Kontinentrandes von Süden nach Norden in unterschiedlichen Reifestadien befinden.

Im Süden (ca. 48°S) zeigen die Modellierungen eine überwiegende Ölreife an. Im mittleren Teil (bei ca. 40°S) ist sowohl mit Öl- als auch Gasreife zu rechnen, während im nördlichen Teil vor Uruguay der überwiegende Teil der Schwarzschiefer bereits eine Gasreife erreicht hat. Der Grund dieses Reifegradienten wird zurzeit noch diskutiert. Möglicherweise steht er mit der von Süden nach Norden verlaufenden fortschreitenden Öffnung des Südatlantiks in Zusammenhang. Es könnte aber auch eine längere vulkanische Aktivität im Norden – in der Nähe des so genannten „Rio-Grande-Rise/Walfisch-Rücken"-Hotspots – und damit eine zusätzliche Wärmequelle als Grund herangeführt werden. Auch eine Kombination beider Mechanismen ist denkbar.



Netz der geophysikalischen Profile vor Argentinien und Uruguay und Verteilung der Sedimentmächtigkeit in Reflexionszeit.

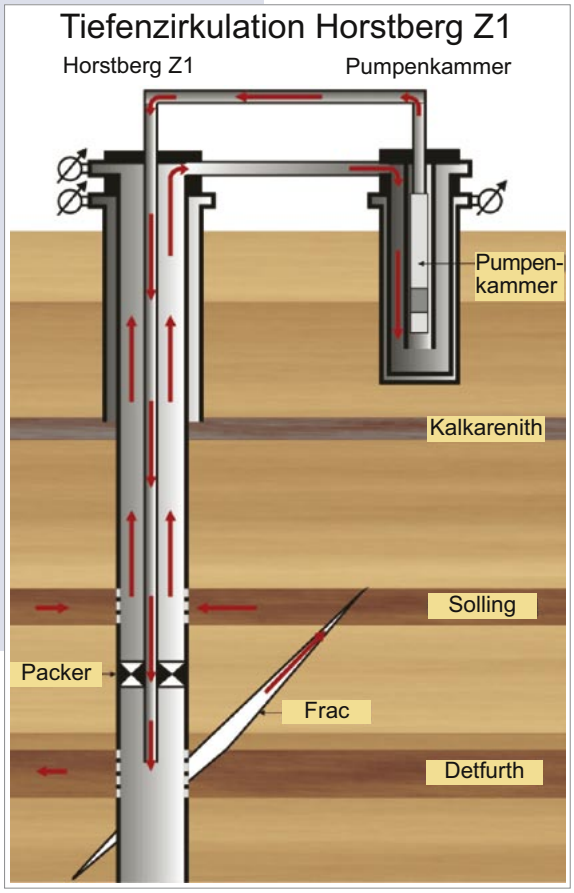
Öl- bzw. Gasreife

In der Erdölwissenschaft versteht man unter Öl- bzw. Gasreife ein bestimmtes Reifestadium (Maturität) von Sedimenten. Ein Sediment wird als öl- bzw. gasreif bezeichnet, wenn es nach seiner Ablagerung gewisse Druck- und Temperaturbedingungen durchlaufen hat, die dazu führen, dass sich vorhandenes organisches (meist pflanzliches) Material zu Erdöl bzw. Erdgas umgewandelt hat.

Das **GeneSys-Projekt**
Planung und Genehmigung

Bei dem Projekt GeneSys steht die Gewinnung von geothermischer Energie aus den dichten Sedimenten des Norddeutschen Beckens im Vordergrund. Mit den zu entwickelnden Konzepten soll aufgezeigt werden, dass eine Wärmeversorgung des Geozentrums Hannover durch Direktwärmenutzung möglich ist.

In den Jahren 2003 und 2004 wurden verschiedene hydraulische Tests in der aufgelassenen Erdgasbohrung Horstberg Z1 zum Projekt GeneSys ausgeführt.



Langzeit-Tiefenzirkulationsversuch. Die Stimulation des Solling-Sandsteins ist vorgesehen.

Die im Vorfeld des Projektes von der Industrie erhobenen Bedenken konnten im Forschungsprojekt GeneSys1 durch hydraulische Versuche in der aufgelassenen Erdgasbohrung Horstberg Z1 widerlegt werden. Die Versuche belegen, dass die Wasserfrac-Technik – Erzeugung von Risssystemen durch Einpressen von großen Mengen Wasser in die Formation ohne den Einsatz von Stützmitteln – wie sie in kristallinem Gestein Anwendung findet, auch bei Sedimentgesteinen möglich ist und dass die erzeugten Risse über längere Zeiträume offen bleiben. Im Verlauf der Versuche wurden zwei weitere innovative Konzepte, das „Zyklische Konzept" sowie das „Konzept der Tiefenzirkulation", entwickelt.

Die Ergebnisse der in Horstberg durchgeführten Versuche wurden im Februar 2005 einem Expertenteam von Industrie und Wissenschaft vorgestellt und weitgehend positiv bewertet. Die Weichen für die Durchführung des Demonstrationsprojektes Geozentrum Hannover waren gestellt. Im Mai 2005 fiel der Startschuss zu dem neuen Projekt. Damit kam eine Vielzahl von Planungs- und Genehmigungsarbeiten auf die Projektgruppe zu. Zunächst war die erste Stufe im Genehmigungsverfahren der Bergbehörde – der Rahmenbetriebsplan – zu nehmen.

Rahmenbetriebspläne

dienen als Mittel zur abschließenden Behördenbeteiligung. D. h. alle im Zuge eines betriebsplanpflichtigen Projektes beteiligten Behörden werden mit dem Projekt vertraut gemacht und um Stellungnahme gebeten.



So könnte es demnächst auf dem Gelände des Geozentrums Hannover aussehen. Die geplante Bohrung ist mittels einer weißen Ellipse hervorgehoben. Außerdem markiert ein Pfeil zwecks schneller Orientierung wie in der Rasterlärmkarte die Straßenkreuzung an der Ecke des BGR-Geländes.

Rasterlärmkarte für das Gebiet der Bohrung GeneSys GT 1 in Hannover: Der Farbverlauf stellt die nächtlichen Pegelwerte dar. Sie reichen von 35 dB(A) (an der Grenze zum dunklen Grün) bis 70 dB(A) (kräftiges Rot). Der Verlauf der 15 m hohen Schallschutzwand ist in der Karte mit „W" markiert.



Ein weiteres „Problem" ergab sich nach § 48 BBergG (Bundesberggesetz). Da der geplante Bohransatzpunkt für die ca. 3 800 m tiefe Bohrung in Hannover an ein Wohngebiet angrenzt, mussten die Anwohner am Genehmigungsverfahren beteiligt werden. Größtes Augenmerk wurde hier auf das Thema Lärm gelegt. Bei reinen Wohngebieten liegt der zulässige Geräuschpegel für die Nachtstunden bei 35 dB(A). Aufgabe war es zunächst nachzuweisen, dass es technisch möglich ist, diesen Wert mit vorhandenen Bohranlagen und unter Zuhilfenahme intensiver schallreduzierender Maßnahmen zu erreichen. Mit der Durchführung einer Schallstudie wurde eine Fachfirma beauftragt. Hierbei zeigte sich, dass auch bei bester technischer Ausrüstung ein Wert von 35 dB(A) nicht erreicht werden kann. Andererseits zeigte die Studie aber auch, dass der Grundgeräuschpegel in dieser Wohnsiedlung auf Grund des Umgebungslärms auch in den Nachtstunden bei über 40 dB(A) liegt. Dieser Wert ist mit technischen Mitteln erreichbar.

In einer von der zuständigen Bergbehörde veranstalteten Anhörung wurden die Anwohner über dieses Ergebnis informiert und der Rahmenbetriebsplan im Dezember 2005 zugelassen. Nach der Zulassung konnten die Arbeiten am Demonstrationsprojekt Hannover fortgesetzt werden. Um zusätzliche Informationen zum Untergrund und den geologischen Verhältnissen im Bereich der geplanten Bohrung zu erhalten, wurde im Mai 2006 ein weiteres seismisches Profil aufgenommen.





Arbeiten zur Erstellung eines seismischen Profils mit Vibratoren der Firma DMT Essen.

Neben diesen Arbeiten wurden die Leistungen zum Abteufen der Bohrung in Hannover europaweit ausgeschrieben. Auf Grund der derzeitigen Situation auf dem Sektor der Bohrindustrie ist mit einer Ausführung der Arbeiten zum Abteufen der Bohrung nicht vor dem 1. Quartal in 2007 zu rechnen. Durch die boomenden Aktivitäten auf dem Öl- und Gasmarkt liegen die Lieferzeiten für verschiedene Ausrüstungskomponenten, wie z. B. die Stahlrohre, bei sechs bis zwölf Monaten. Auch sind die für das Abteufen einer 3 800 m tiefen Bohrung geeigneten Bohranlagen fast ausnahmslos durch langfristige Verträge gebunden.

Parallel zum Projekt Hannover wurde ein Antrag zur Weiterführung des Projektes auf der Bohrung Horstberg gestellt und im Mai 2005 bewilligt. Ziel dieses Forschungsprojektes GeneSys2 ist es, die Bohrung zu einem permanent verfügbaren Versuchsfeld auszubauen, um die bisher gewonnenen Ergebnisse in weiteren Versuchen zu verifizieren und durch neue Versuche zu ergänzen bzw. zu erweitern.

Zu diesem Zweck sind technische Einrichtungen wie zwei Hochdruckpumpen incl. aller Hochdruck- und Niederdruckleitungen, eine für höchste Ansprüche geeignete Tiefpumpe, eine Messwinde incl. Messsonden für Druck und Temperatur sowie diverse Messsysteme und Datenerfassungseinrichtungen angeschafft worden. Durch diese Beschaffungsmaßnahmen ist eine größere Flexibilität bei der Durchführung von Versuchen gegeben. Ferner können durch diese Beschaffung der Kernausrüstung auch Langzeitversuche wirtschaftlich durchgeführt werden. Alle Systeme sind so ausgelegt, dass ein Einsatz sowohl in Hannover als auch auf einer anderen Baustelle möglich ist.

Die Lieferung der Ausrüstung erfolgte im Juli bzw. Oktober 2006, eine erste Installation erfolgte im November für die Durchführung eines vierwöchigen hydraulischen Tests. Zunächst wurde der 2004 erzeugte Riss durch Injektion von ca. 10 000 m^3 Frischwasser in den Detfurth-Sandstein wieder aufgeladen, um die Eigenschaften des Risses nach langer Stillstandsphase zu erkunden und das Druckverhalten im über den Riss verbundenen Solling-Sandstein zu beobachten.

Anschließend wurde ein Produktionstest aus dem Solling-Sandstein bei gleichzeitiger Injektion in den Detfurth-Sandstein ausgeführt, der einen Tiefenzirkulationstest simulieren sollte. Bei dem Versuch zeigte sich, dass im Solling-Sandstein ein bohrlochnaher Fließwiderstand (Skin) vorhanden ist, der eine höhere Produktionsrate verhindert. Die Erkundung der Ursache und Art des Skins sind jetzt Hauptziel weiterer Untersuchungen, um Maßnahmen zur Beseitigung und/oder Verringerung des Effektes zu erzielen.

Nach erfolgter Stimulation des Solling-Sandsteins und „Beseitigung" des Skins soll in einem weiteren Versuch mittels der vorhandenen Tiefpumpe ein Langzeit-Tiefenzirkulationsversuch gefahren werden.

Wie entstehen die **Gesteine, aus denen das Erdöl** stammt?

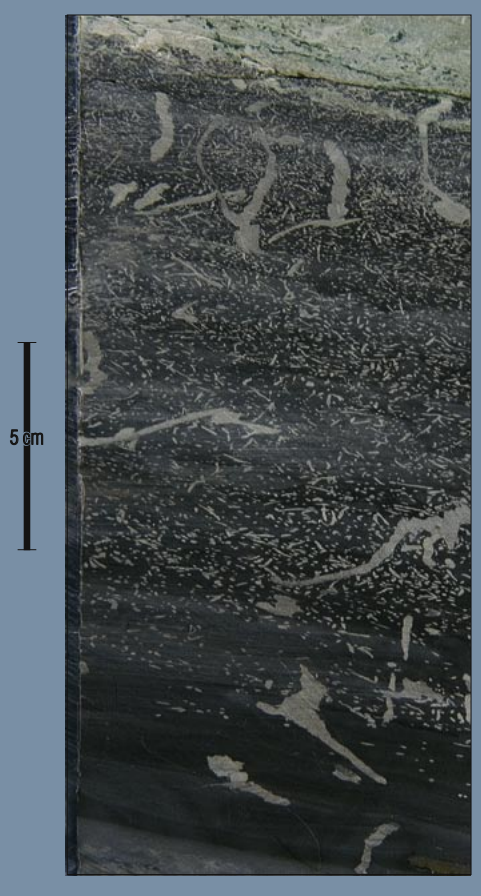
Eine der Hauptursachen für die stetig steigenden Rohöl- und Erdgaspreise ist die zurückgehende Verfügbarkeit einfach zu fördernder Erdgas- und Erdöllagerstätten. Die Suche nach neuen Lagerstätten in Gebieten, die aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht interessant für die Erdöl- und Erdgasindustrie sind, ist eine der zentralen Aufgaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hierbei ist die Rekonstruktion der Ablagerungsbedingungen von Erdölmuttergesteinen eine zunehmend wichtige Komponente. Die Arbeiten der BGR konzentrieren sich derzeit auf zwei Gebiete des kreidezeitlichen Atlantischen Ozeans vor ca. 90 Millionen Jahren. Ziel ist, durch mehrere paläoozeanografische Datensätze derselben Zeitintervalle von verschiedenen Regionen der Erde ein komplexes Bild der kreidezeitlichen Ozeanografie zu modellieren und somit bislang unbekannte Ablagerungsgebiete von Erdölmuttergesteinen zu finden. Für die Modellierung ist die exakte Datierung einzelner Phasen der klimatischen und ozeanografischen Veränderungen durch ein Referenzprofil notwendig.

Erdölmuttergesteine

nennt man die Gesteine, aus denen sich im Verlauf der Erdgeschichte Erdgas und Erdöl bildeten. Sie entstanden auf dem Grund sauerstoffarmer Meere unter meist sehr warmen Klimabedingungen. Der Transport von gelösten Nährstoffen, entweder vom Land oder durch Auftrieb aus tieferen Wasserschichten, führte zur Düngung der obersten Wasserschichten der Meere. Diese Düngung mündete in Algenblüten und einer Zehrung des Sauerstoffgehalts in den tieferen Wasserschichten der Meere. Faulschlämme, reich an organischem Kohlenstoff, bildeten sich auf den Meeresböden, deren Einbettungen über Jahrmillionen und durch Druck, Temperatur und mikrobiologische Prozesse zur Bildung von Erdöl und Erdgas führten.

So ist das generelle Szenarium. Doch wie genau waren die klimatischen und ozeanografischen Bedingungen, die zur Bildung von Erdölmuttergesteinen führten? Lassen sich durch Rekonstruktion der Umweltbedingungen Voraussagen über das potenzielle Vorhandensein von Erdölmuttergesteinen treffen?

Eines der Untersuchungsgebiete liegt vor der Küste Venezuelas und Surinams mit reichen Erdölvorkommen. Dort durchteuften Bohrungen einer Expedition des internationalen Tiefseebohrprogramms „Ocean Drilling Program“ (ODP) mächtige Sedimentpakete kreidezeitlicher Erdölmuttergesteine. Anhand der Chemie von Mikrofossilien, die sich in diesen Sedimentgesteinen befinden, lassen sich die Temperaturen des Meerwassers am Meeresboden und in den oberen Wasserschichten rekonstruieren. Temperaturen des Oberflächenwassers geben Hinweise auf die Lufttemperaturen zur Zeit der Ablagerungen der Sedimentgesteine. Temperaturunterschiede zwischen Boden- und Oberflächenwasser lassen zu, die Strömungen der kreidezeitlichen Ozeane und damit die ozeanografischen Verhältnisse des Atlantiks vor ca. 90 Millionen Jahren zu ermitteln.



Bohrkern mit Grabspuren, gewonnen aus der Bohrung Wunstorf.





Impressionen von der Bohrung Wunstorf.

Für die von Mitarbeitern der BGR untersuchten Bohrkerne ergibt sich folgendes Bild. Warme Temperaturen des Oberflächenwassers von bis zu 34 °C sprechen für sehr warme Lufttemperaturen. Diese warmen Temperaturen führten zu einem verstärkten Verdampfen von Meerwasser und, besonders in Randmeeren, zur Bildung sehr salzhaltigen Meerwassers, ähnlich der Situation des heutigen Persischen Golfes.

In den ODP-Bohrungen sieht man Hinweise auf diese salzigen Wässer in der Chemie von Mikrofossilien, die am Meeresboden lebten. Sie sind das Ergebnis von salzigem Wasser, welches aus den Randmeeren in den Atlantik floss und dort aufgrund seiner Schwere auf den Meeresgrund sank. Salziges Wasser ist sauerstoffarm, ein Faktor, der die Bildung von Faulschlämmen unterstützt und, wie oben beschrieben, zu Erdölmuttergesteinen führt.

Zeitgleich zur Ablagerung der Erdölmuttergesteine vor Venezuela und Surinam wurden in einem Randmeer des Atlantiks im heutigen Niedersachsen Sedimente abgelagert, die reich an organischem Kohlenstoff sind. Auch diese Sedimentgesteine werden derzeit anhand einer durch die BGR und das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben durchgeführten und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Forschungsbohrung bei Wunstorf untersucht. Die Gesteinsabfolge bei Wunstorf soll als das Referenzprofil für die exakte zeitliche Datierung anderer Abfolgen, z. B. der vor Venezuela und Surinam, dienen. Bei Wunstorf sind die Gesteinsmächtigkeiten sehr groß. Es ist also möglich, die Umweltveränderungen, die zur Bildung von Erdölmuttergesteinen führten, dort in einer zeitlich detaillierten Auflösung zu untersuchen.



Mineralische Rohstoffe –
Grundlagen für Deutschlands Wirtschaft

In den vergangenen Jahren hat die Weltkonjunktur durch die aufstrebende Wirtschaft einiger Schwellenländer enorme Impulse erhalten. Seit 2001 stieg das Wachstum der Weltwirtschaft um rund 3,5 Prozentpunkte an. Vor dem Hintergrund dieses globalen Wirtschaftswachstums boomte auch die deutsche Exportindustrie: Im Jahr 2005 wurde Deutschland mit einem Warenexport in Höhe von 786 Milliarden € – dies ist etwa ein Drittel des Bruttoinlandsproduktes – wieder Exportweltmeister.

Mehr als die Hälfte der deutschen Exporte besteht aus Waren, die einen hohen Einsatz an Metallrohstoffen und Industriemineralen aufweisen. Dies sind vor allem Produkte aus dem Metall verarbeitenden Gewerbe sowie aus der Maschinenbau-, Automobil- und chemischen Industrie. Das vierte Jahr in Folge steigen jedoch die Rohstoffpreise aufgrund der positiven Weltkonjunktur, und ein Ende der Rohstoffpreis-Hausse ist nicht in Sicht. Die teilweise mehr als verdoppelten Rohstoffpreise bereiten der deutschen Wirtschaft Sorge.



Woher Deutschland seine Rohstoffe bezieht.

Diese Entwicklung hat erneut die Frage aufgeworfen, wie lange unsere Rohstoffreserven noch reichen werden und welchen Preis wir zur Befriedigung unseres zukünftigen Rohstoffbedarfs zahlen müssen. Eine wichtige Aufgabe der BGR ist es, zur Sicherung unseres Wohlstands Politik und Wirtschaft in allen Fragen der Rohstoffversorgung zu beraten.

Aus rein geologischer Sicht sind für Metallrohstoffe und Industrieminerale Verknappungsbefürchtungen unbegründet. Aber zahlreiche Risiken der technischen Verfügbarkeit und des Marktzugangs begleiten das Rohstoffgeschäft und gefährden eine ausgeglichene Rohstoffversorgung zu wettbewerbsfähigen Preisen. Laufend müssen neue Erz- und Industrieminerallagerstätten erkundet und erschlossen werden. Der Erfolg hängt maßgeblich vom Zusammenwirken der Investitionen, der Technik, dem Fachwissen und der Kreativität der Explorationsgeologen ab. Neben dem geologischen Risiko sind die Produktions- und Lieferrisiken für Bergbauprodukte vielfältig.

Ebenso breit gefächert sind auch die Aufgabenstellungen im Tätigkeitsbereich „Mineralische Rohstoffe" der BGR. Auf nationaler Ebene und im Rahmen der technischen Zusammenarbeit umfassen sie zum Beispiel die Entwicklung von Explorationskonzepten und lagerstättenkundlichen Untersuchungsmethoden, Mineraluntersuchungen, Bewertung von Rohstoffvorkommen sowie Marktstudien und -analysen. Weiterhin stehen Fragen zum Umweltschutz im Bergbau und Bergrecht, zur Bergbausicherheit sowie Untersuchungen zur nachhaltigen Nutzung von mineralischen Rohstoffen in Entwicklungsländern im Vordergrund.

Die BGR stellt in jährlicher Folge Zahlen und Fakten als Bericht zur Rohstoffsituation bereit, die den Handel, den Verbrauch und die Versorgung Deutschlands mit mineralischen und energetischen Rohstoffen charakterisieren.



Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, Band XXXIV (2006): Bundesrepublik Deutschland, Rohstoffsituation 2005. – 203 Seiten, 21 Abbildungen, 116 Tabellen, 1 CD. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Johannesstr. 3A, 70176 Stuttgart.

Rohstoffe werden **Chefsache beim BDI**

Die Preise für viele mineralische Rohstoffe sind drastisch gestiegen. Das hat seinen Grund in veränderten Strukturen auf den Weltmärkten, in der wachsenden Weltkonjunktur und im gestiegenen Rohstoffbedarf. Die deutsche Industrie konnte die gestiegenen Rohstoffpreise nicht an ihre Kunden weiterreichen, weil sie langfristig vertragliche Bindungen eingegangen ist. Dadurch kam es zu Wettbewerbsnachteilen im Handel, die in Einzelfällen zu Liquiditätsproblemen mittelständischer Zulieferbetriebe und zu erheblichen Problemen in der industriellen Wertschöpfungskette geführt haben.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) hat vor diesem Hintergrund mit Beteiligung der BGR auf dem „Rohstoffpolitischen Forum" im Dezember 2004 Thesen zur Rohstoffpolitik entwickelt. Beim „Rohstoffgipfel" des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI) haben der damalige Bundeskanzler Schröder und der BDI-Präsident Thumann im März 2005 vereinbart, eine gemeinsam von Wirtschaft und Politik getragene Rohstoffstrategie für Deutschland zu entwickeln. Der BDI hat dafür die Präsidialgruppe „Internationale Rohstofffragen" eingerichtet. Das Ziel ist die Entwicklung von Konzepten zur Sicherung der Verfügbarkeit von Rohstoffen zu wettbewerbsfähigen Preisen und von Handlungsempfehlungen für Industrie und Politik. Bereits im Juli 2005 hat das BMWi – auf der Grundlage von BGR-Daten – einen umfassenden Bericht zur aktuellen rohstoffwirtschaftlichen Situation vorgelegt und Handlungsoptionen vorgeschlagen.

Die BGR arbeitet im Lenkungskreis der Präsidialgruppe sowie in der Arbeitsgruppe „Lagerstätten, Verfügbarkeit, geostrategische Risiken" mit. Das Ziel der Arbeitsgruppe ist die Entwicklung von Verfügbarkeitskriterien für die Versorgungssicherheit und Bewertung wichtiger Rohstoffe.

Insbesondere werden folgende Themen behandelt:

- Herkunft der in Deutschland verbrauchten Rohstoffe,
- Verfügbarkeit und regionale Verteilung der Vorkommen,
- Technische Verfügbarkeit wie Produktions- und Verarbeitungskapazitäten,
- Infrastruktur und Transportwege,
- Rohstoffmärkte und Marktkonzentrationen,
- Rechtliche Rahmenbedingungen und
- Veränderung der Nachfragestruktur.

Durch Bereitstellung umfassender Rohstoff-Datenbanken und Marktanalysen trägt die BGR zu einem breit gefächerten Verständnis der Rohstoffmärkte und rohstoffwirtschaftlichen Zusammenhänge bei.

Deutsche Automobilhersteller wünschen **nachhaltige Rohstoffversorgung**

Die vergangenen zwei Jahre haben für die Automobilindustrie einen seit Jahrzehnten ungewöhnlich hohen Kostenschub bei Rohstoffen gebracht. Von 2002 bis 2005 sind die Preise für Aluminium und Platin um 75 % bzw. 110 % gestiegen. Für Stahlblech und Kupfer haben Automobilhersteller und -zulieferer sogar Preissteigerungen bis 200 % hinnehmen müssen. Gleichzeitig wächst der gesetzliche Druck auf die Automobilhersteller, im Sinne einer ökologisch nachhaltigen Nutzung den Materialeinsatz und die Rückführung von Materialien in den Stoffkreislauf zu optimieren.

Die Möglichkeiten der Automobilhersteller und -zulieferer, den steigenden Rohstoffpreisen und ökologischen Anforderungen zu begegnen, sind begrenzt. Entwickler sind bemüht, die hohen Materialkosten durch Produktinnovationen oder schlanke Fertigungsprozesse zu kompensieren. Bekanntlich haben solche Entwicklungsarbeiten lange Vorlaufzeiten, bis durch Materialeinsparungen oder Substitution Kosten eingespart werden können. Für die Märkte der Zukunft werden außerdem Treibstoff sparende, innovative und umweltfreundliche Antriebstechnologien gebraucht. Auch hierin liegt eine der Herausforderungen an die Automobilindustrie und deren Entwickler.

Über die reine Kostenbelastung hinaus wirken sich die hohen Rohstoffpreise und die spürbare hohe Preisvolatilität für Rohstoffe negativ auf die Planungssicherheit der Unternehmen aus. Aus diesem Grund hat die Volkswagen AG die BGR beauftragt, Indikatoren zur Bewertung der Risiken in der Versorgung mit mineralischen Rohstoffen zu erstellen. Untersucht werden vor allem solche Rohstoffe, die in neuen Technologien zum Einsatz kommen oder Rohstoffe, mit denen sich kostspielige oder ökologisch negativ belastete Materialien substituieren lassen.

Die Bewertung der Rohstoffsituation erfolgt auf der Basis von rohstoffwirtschaftlichen Marktanalysen über Angebot und Nachfrage unter Einbindung in ein numerisches Bewertungsmodell. Anhand eines entwickelten Indikatorenkataloges werden wesentliche Einflussgrößen der Versorgungssicherheit in Zeitreihenanalysen untersucht. Neben einer Einschätzung der Marktsituation dient die Analyse der weltweiten Explorations- und Bergbauprojekte vor allem der Prognose der zukünftigen Vorratsentwicklung und Versorgungslage einzelner Rohstoffe.

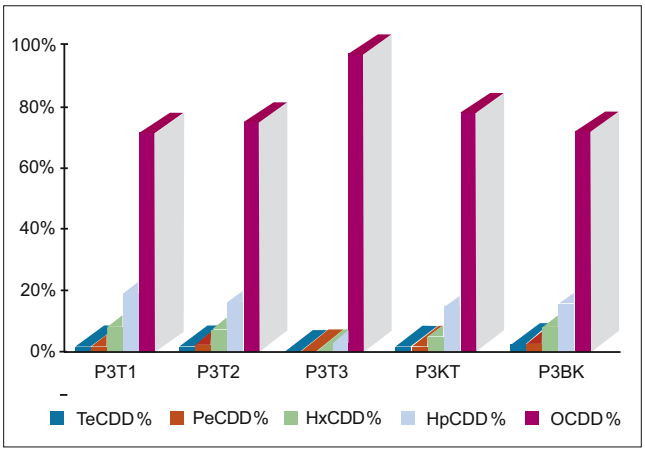
Bewertungskriterien zur Untersuchung des Versorgungsrisikos für mineralische Rohstoffe sind

- Überhang und Defizit in der Versorgung,
- Verlauf der weltweiten Lagerbestände an den Börsen und bei Produzenten in Abhängigkeit zur Preisentwicklung und dem Auftreten globaler Ereignisse,
- Entwicklung der Bergwerks- und Raffinerieauslastungen,
- Entwicklung der Erschließungs- und Produktionskosten der Bergbaubetriebe,
- Möglichkeiten der Ausübung von Marktmacht durch Firmenkonzentration,
- Gefahren geostrategischer Risiken und
- Entwicklung der weltweiten Explorations- und Bergbauprojekte.

Wie kamen **Dioxine** in geologischen Urzeiten in den **Tonrohstoff?**

Die Futtermittelskandale Ende der 1990er Jahre brachten zum Vorschein, dass in manchen Tonrohstoffen erhöhte Gehalte von polychlorierten Dioxinen vorkommen. Betroffene Tone haben meist einen hohen Kaolinitanteil. Die so genannten Dioxine, eine Gruppe von toxischen organischen Verbindungen, gehören zur Gruppe der halogenierten aromatischen Kohlenwasserstoffe. Das gefundene Muster der verschiedenen Dioxinverbindungen ließ sich keiner bekannten Quelle zuordnen. Werden nun solche Tonrohstoffe in Futtermitteln eingesetzt, könnten sich über die Nahrungskette die Dioxine im menschlichen Körper in gefährlicher Weise anreichern. Daher werden die als belastet identifizierten Rohstoffe nicht mehr dort eingesetzt, wo sie mit Tierfutter oder Lebensmitteln in Berührung kommen.

Dioxine sind den meisten Menschen als anthropogene Problemstoffe bekannt. Sie entstehen als unerwünschte Nebenprodukte zumeist im Zuge von Verbrennungsprozessen wie z. B. der Müllverbrennung. Dabei bildet sich immer eine Vielzahl verschiedener Dioxine mit unterschiedlicher Anzahl gebundener Chloratome. Diese oft prozessspezifischen Zusammensetzungen werden als Kongenerenmuster bezeichnet. So lässt sich anhand des in einer Probe festgestellten Kongenerenmusters Rückschluss auf die Quelle der Dioxine ziehen.



Prozentuale Verteilung der Dioxin-Kongenere der Ton-(P3T1-3), Kohle- (P3KT) und Braunkohleproben (P3BK).

Die sofort begonnene Suche nach solchen anthropogenen Quellen als Ursache für die Dioxin-Belastung in den Tonrohstoffen verlief aber erfolglos. Besonders auffällig war das in den Tonen gefundene Kongenerenmuster der Dioxine, dominiert durch das achtfachchlorierte OCDD. Hieraus wurde gefolgert, dass die Belastung natürlichen Ursprungs und schon vor geologische langen Zeiträumen entstanden ist. Ein Zusammenhang mit dem Alter oder der Mineralzusammensetzung der Rohstoffe konnte bis dahin nicht gefunden werden. Für die BGR war dies der Ansatzpunkt für eine Studie, die in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Berlin durchgeführt wurde. Das Projekt wurde von der Hans-Joachim-Martini-Stiftung gefördert.

Es gibt zwei Hauptentstehungswege für kaolinitreiche Tonrohstoffe. Zum einen können einige Gesteine zu Kaolinit und anderen Begleitmineralen umgewandelt werden, ohne dass sie direkt mit der Atmosphäre und den dort vorherrschenden klimatischen Einwirkungen in Berührung kommen: Das sind „primäre" Tonrohstoffe. Der zweite Entstehungsweg schließt immer eine mehr oder weniger lange und intensive Phase der Verwitterung ein. In dieser Phase waren die heute im Rohstoff auffindbaren Minerale den vor geologisch langen Zeiträumen herrschenden Bedingungen wie Klima und Vegetation ausgesetzt: Die Minerale wurden erodiert, um- und wieder abgelagert. Die entstandenen Ablagerungen werden als „sekundäre" Tonrohstoffe bezeichnet. Die beobachteten Prozesse nehmen normalerweise Jahrtausende in Anspruch.

In der Studie konnte festgestellt werden, dass in den für „primäre" Kaolinrohstoffe typischen Tonhorizonten keine nennenswerten Gehalte an Dioxinen auftreten. Im Gegensatz dazu werden Dioxine heute aber dann angetroffen, wenn die Tone vor geologisch langen Zeiten umgelagert wurden, dabei klimatischen Prozessen ausgesetzt waren und stofflichen Eintrag aus der damaligen Umwelt erhielten. Die untersuchten sekundären Tonhorizonte wiesen alle gering erhöhte Gehalte an Dioxinen auf und unterscheiden sich darin eindeutig von den primären Kaolinen.

Neben dieser klaren Antwort waren noch Fragen zur genauen Entstehung der Dioxinvorkommen in den Tonen ungeklärt. Es wurde untersucht, ob die Dioxine bevorzugt an sehr feinteiligen so genannten Tonmineralen anhaften, die ja den Wertstoff der Rohstoffe bilden, oder ob sie eher an Begleitsubstanzen gebunden sind. Tonminerale können Wasser gut aufnehmen. Da Dioxine aber wasserabweisend sind, können sie besser von dem ebenfalls wasserabweisenden sedimentären organischen Material gebunden werden. Dieses organische Material besteht aus Rückständen mit ursprünglich abgelagerten Teilen abgestorbener Pflanzen und Tiere und ist in sekundären Tonrohstoffen enthalten.

Detaillierte mikroskopische und stoffliche Untersuchungen des organischen Materials aus den sekundären Tonrohstoffen wiesen eine vielfältige und wechselnde Zusammensetzung nach, die im Wesentlichen aus erhaltenen Resten eines damaligen Landpflanzenbewuchses besteht. Die vergleichende Untersuchung von Korngrößenfraktionen zeigt den Trend, dass es in für sekundäre Tonrohstoffe typischen Horizonten keine Hinweise auf eine Bindung der Dioxine an Tonminerale gibt, jedoch auf eine Bindung an das organische Material. Die Kenntnis der Art des organischen Materials konnte allerdings keine konkreten Hinweise auf mögliche Entstehungsbedingungen der natürlichen Dioxine in den belasteten Tonen liefern.

Es bleibt also weiterhin offen, wie sich diese Dioxine in dem Rohstoff angereichert haben. Sicher ist jedoch, dass auch die vor Jahrmillionen natürlich gebildeten Dioxine im Zuge der unterschiedlichen Umwelteinflüsse und im Laufe der Zeit ab- und umgebaut wurden, sich also in Menge und Zusammensetzung verändert haben. Das stabilere und weniger toxische OCDD-Kongener, eine achtfach-chlorierte Dioxin-Einzelverbindung, ist gegenüber den toxischeren, weniger stabilen Dioxinen wie dem vierfach-chlorierten TeCDD stark angereichert. Die Tone zeigen damit ein typisches Erhaltungs-Kongenerenmuster. Dies legt den Schluss nahe, dass die Dioxine nicht im Ton entstanden sondern in ihm erhalten geblieben sind.

Die geringe Wasserdurchlässigkeit der Tone und die Einlagerung unter Sauerstoffabschluss sind als Voraussetzung dafür zu betrachten, dass die Dioxine bis zur heutigen Zeit überliefert sind. Es muss davon ausgegangen werden, dass für die Stärke der Dioxinbelastung in Tonvorkommen auch die Erhaltungsprozesse eine entscheidende Rolle spielen. Gleichwohl muss nach heutigem Verständnis ein bislang unbekannter Entstehungsmechanismus oder ein besonderer Anreicherungsprozess angenommen werden, um die Höhe der festgestellten Dioxingehalte wissenschaftlich erklären zu können.

Weitere Studien sollen die erdgeschichtliche Entwicklung von Dioxin-Belastungen verschiedener Tonlagerstätten im Zusammenhang mit dem Klima während der Lagerstättenbildung untersuchen. Außerdem sollen die Untersuchungen zur Geschichte der Dioxine Hinweise auf mögliche Quellen der Dioxine und ihre Einlagerung in den Ton geben.

Gold vom Meeresboden
Rauchende Schlote in der Tiefe der Südsee

In den Tiefen um die Südsee-Insel Tonga brodelt es gewaltig: Wohin man durch die armdicken Scheiben der Tauchkapsel blickt, ist der Meeresboden unruhig. Gewaltige Säulen krustiger Minerale ragen vom Meeresboden auf, kochend heiße Laugen dringen aus Löchern und Spalten und Gasblasen tanzen als schimmernde Girlanden der Oberfläche entgegen. Die Strahler des U-Bootes PISCES beleuchten eine Welt, die mit dem Katalogbild der palmenumkränzten Südseestrände nichts gemein hat. Hier bilden sich Erze; weit jenseits und unterhalb der Bade- und Taucherparadiese in 200 bis 1 000 Metern Wassertiefe.

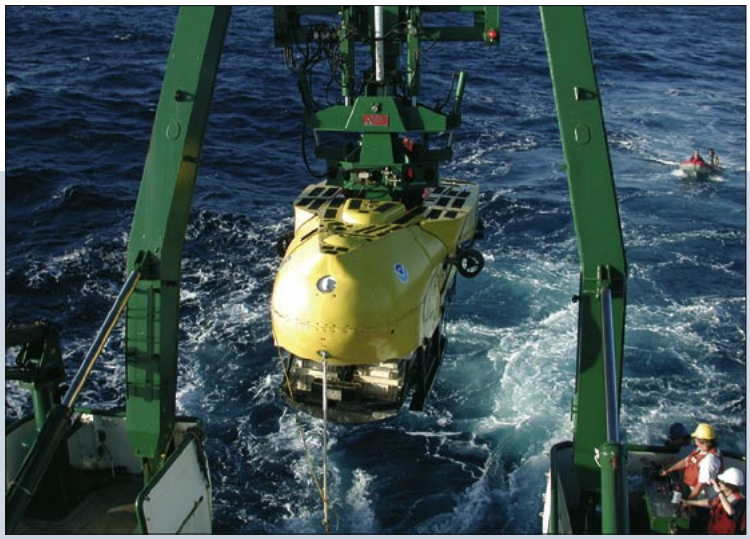
Wissenschaftler der BGR und der Universität Kiel leiteten eine internationale Forschungsfahrt, bei der die untermeerischen Vulkane im südwestlichen Pazifischen Ozean auf ihre Erzgehalte untersucht wurden. Das unterseeische Vulkangebiet, das erst 2002 während einer Forschungskampagne mit dem deutschen Forschungsschiff SONNE entdeckt wurde, gehört zum Tonga-Inselbogen, einer Kette von mehr als 20 Tiefseevulkanen. Dort treten heiße, metallreiche Lösungen aus dem Meeresboden, die auf Erzvorkommen mit erhöhten Kupfer- und Goldgehalten schließen lassen. Eine wesentliche Rolle bei der Anreicherung der Metalle spielt die Freisetzung magmatischer Lösungen aus dem Inneren der Vulkane.

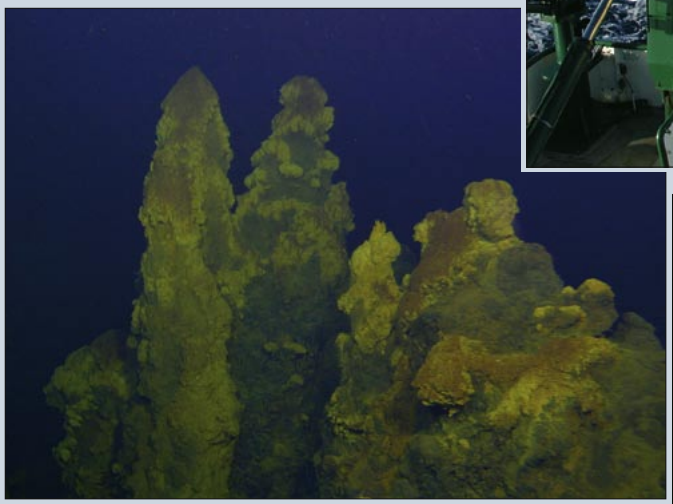
Im Rahmen dieser internationalen Forschungskampagne wurden mit Hilfe des amerikanischen Forschungs-U-Bootes PISCES und seines Mutterschiffs KA'IMIKAI-O-KANALOA die Austrittgebiete der magmatischen Lösungen untersucht und intensiv beprobt. Die Untersuchungsergebnisse erlauben wichtige Rückschlüsse auf die Prozesse der Bildung von Lagerstätten in dieser Region.

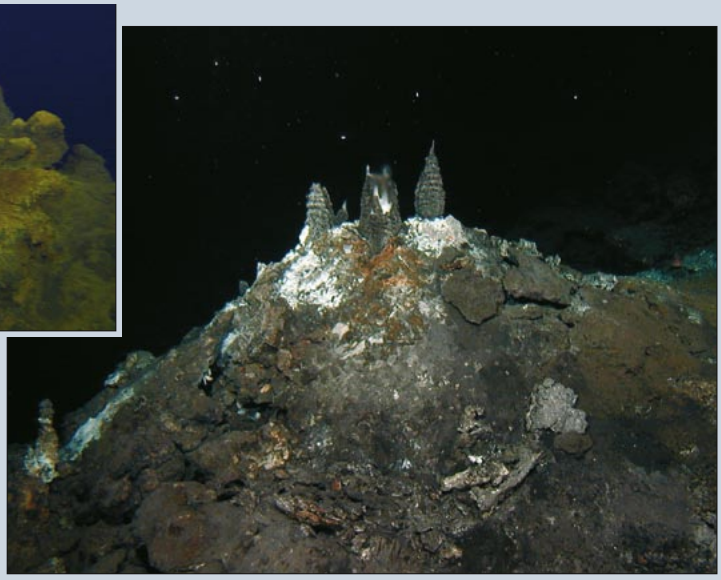
Wirtschaftliche Bedeutung hat die Untersuchung der aktuellen Lagerstättenbildung um Tonga nicht allein wegen der erhöhten Kupfer- und Goldgehalte „vor Ort". Der Tonga-Inselbogen ist auch ein geologisches Modell für die Bildung bedeutender Gold- und Buntmetall-Lagerstätten an Land, wie sie zurzeit in Chile, Indonesien, Papua-Neuguinea oder auf den Philippinen abgebaut werden. Auch diese Lagerstätten bildeten sich im Ozean durch vulkanische Aktivität an Inselbögen – jedoch vor vielen Millionen Jahren. Durch die Kräfte der Plattentektonik wurden die fossilen Inselbögen und ihre Erze verfaltet und aus dem Meer gehoben. Seitdem unterliegen sie völlig anderen Druck- und Temperatur-Bedinungen als während der Lagerstättenbildung, was die Untersuchung der Bildungsprozesse sehr kompliziert macht.

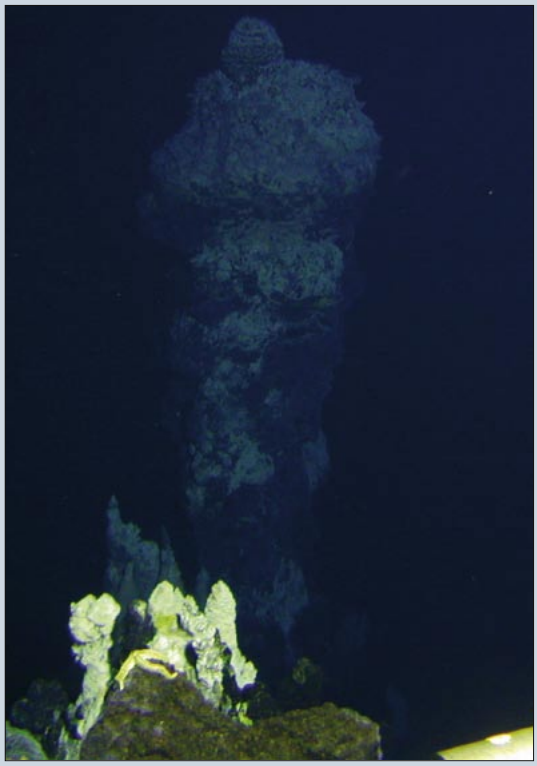
Anders als in diesen fossilen Lagerstätten an Land lässt sich am Tonga-Inselbogen die Lagerstättenbildung in ihrem ursprünglichen geologischen Zusammenhang quasi „live" beobachten. Die untermeerischen Vulkane um Tonga sind also ein perfektes natürliches Labor, in dem die Bildungsprozesse von Inselbogen-Lagerstätten untersucht werden können. Das Verständnis der Bildungsprozesse dient der planmäßigen Auffindung weiterer Lagerstätten – auch an Land.

Impressionen vom Forschungs-U-Boot PISCES und dem Meeresgrund in den Tiefen um die Südsee-Insel Tonga.











Der **achte Kontinent** und das Königreich: **Madagaskar** und **Marokko** verbessern ihr **Metallrohstoff-Angebot**

„Gold, Silber und Palladium!“ Mustapha, der marokkanische Doktorand platzte förmlich vor Stolz und Begeisterung, als er bei seinen Untersuchungen in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe immer wieder auf mikroskopisch kleine Einschlüsse der gefragten Edelmetalle stieß. Damit hat er nicht nur der Minenindustrie seines Heimatlandes einen Zusatznutzen verschafft, sondern auch zur Verbreiterung des weltweiten Angebotes für das Metall Palladium beigetragen, ein Hochtechnologie-Rohstoff, auf den auch die deutsche Wirtschaft zurückgreift.

Marokko, mit seiner günstigen Lage vor den Toren Europas, ist ein steinreiches Land: Einen Großteil seiner Einnahmen erzielt das nordafrikanische Königreich aus der Gewinnung von mineralischen Rohstoffen. Die Palette reicht von Eisen, Stahlveredlern wie Kobalt und Nickel, Silber und Buntmetallen über diverse Spezialtone bis zu hochwertigem Schwer- und Flussspat. Bei Phosphorit, das zur Düngemittelherstellung verwendet wird, liegt Marokko weltweit auf Platz drei.



Probennahme von Kobalt-Arsen-Erz in Diorit in der Bou-Azzer-Mine.



Ausbildung madegassischer Geologen im Gelände.

Gold und Silber gehörten bereits früher zu den bedeutenden Erzeugnissen der marokkanischen Minenproduktion. Seit Jahren steigen die Preise auf dem Weltmarkt jedoch so kräftig, dass eine weitere Vergrößerung der Produktion gute Ergebnisse verspricht.
Anders als Gold und Silber spielte Palladium im marokkanischen Bergbau bisher keine nennenswerte Rolle. Umso erfreulicher ist es, dass durch die Zusammenarbeit mit dem marokkanischen Kollegen und seine intensive messtechnische Betreuung in der BGR in den Lagerstätten des Antiatlas-Gebirges eine bisher unbekannte Gold-Silber-Palladium-Mineralisation entdeckt wurde.

Diese erfolgreiche Kooperation mit der BGR hat Marokkos Rolle als wichtiger Partner für die deutsche Rohstoff-Versorgung und als Schwerpunkt der deutschen Entwicklungszusammenarbeit bekräftigt.

Marokko und Madagaskar – zwei große afrikanische Länder, wie sie verschiedener nicht sein könnten: Madagaskar, die viertgrößte Insel der Welt wird wegen ihrer seit 90 Millionen Jahren isolierten geologischen Entwicklung auch der „achte Kontinent" genannt. Isolation prägte auch die jüngste politische Situation Madagaskars, wodurch die Entwicklung der wirtschaftlichen Infrastruktur, so zum Beispiel auch die geologische Erkundung der Insel, über Jahrzehnte ein Schattendasein fristete. Anders als Marokko mit seiner jahrtausendealten Bergbau-Tradition müssen in Madagaskar, einem der ärmsten Länder der Welt, erst die Grundlagen für eine bergbauliche Entwicklung geschaffen werden. Und zu diesen Grundlagen gehört eine moderne geologische Karte.

Mit finanzieller Unterstützung der Weltbank hat sich die BGR aktiv an der geologischen Kartierung im Süden Madagaskars beteiligt, einem Gebiet von der Größe Bayerns und Baden-Württembergs zusammen! Neben der üblichen kartografisch-geologischen Aufnahme der Gesteine an der Erdoberfläche wurde besonderer Wert auf die genaue Lokalisierung und Klassifizierung von Rohstoff-Vorkommen gelegt. Das geologisch-lagerstättenkundliche Kartenwerk wird ein wichtiges Planungselement für zukünftige Investitionen in den Bergbausektor Madagaskars sein.



Beratung der Bergbaubehörden in **Vietnam** und in der **Mongolei**

Die Entwicklung des Bergbausektors sowie die steigenden Rohstoffpreise haben in den letzten Jahren in der Mongolei und in Vietnam zunehmend zu ökonomischen Chancen sowie zu ökologischen und soziologischen Risiken geführt. Dabei hatte sich die industrielle Tätigkeit einschließlich des Bergbaus bis in die jüngere Vergangenheit den wirtschaftlichen Zielvorgaben ohne Rücksicht auf Arbeitssicherheit und Umweltschutz unterzuordnen.



Unfallträchtig: Ein ungesicherter, öffentlich zugängiger Stolleneingang zu einem untertägigen, aktiven Eisenerzabbau.

Erst mit der Schaffung einer für die Sicherheit und den Umweltschutz zuständigen Bergaufsicht und entsprechender Berggesetze sowie einheitlicher Bergverordnungen war die Grundlage für eine funktionierende staatliche Bergaufsicht gegeben, die die bestehenden Berggesetze kompetent umsetzt.

Trotz der Schaffung des gesetzlichen Rahmens und der zuständigen Behörden ist der Vollzug der Bergaufsicht nicht effizient und wirkungsvoll. Dies liegt daran, dass qualifizierte Fachkräfte und Ausrüstung fehlen und Zuständigkeits- und Kompetenzüberschneidungen vorliegen.

Dies hat folgende Wirkungen:

- Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten und Dritter werden gefährdet,
- Landschaft, Boden-, Luft- und Wasserqualität werden beeinträchtigt,
- umweltbelastende Deponierung von Gruben- und Aufbereitungsbergen,



Im Rahmen des Projekts erfolgte eine ergänzende Ausbildung der vietnamesischen Inspektoren in Australien durch die dortigen Bergaufsichtsinstitutionen.

- umweltverträgliche Rekultivierung des Bergbaugeländes nach Abschluss der Betriebsphase wird nicht durchgeführt,
- hohe Wertstoffverluste bei der Gewinnung und Aufbereitung von Rohstoffen,
- illegaler Rohstoffabbau und
- geringe Bereitschaft einiger Bergbaugesellschaften, die Produktionsdaten an die zuständige Behörde weiterzugeben.



Arbeitssicherheitsrisiko: Nicht eingezäunte, öffentlich zugängige Eisenerzhalde. Die von Hand bewegten Loren sind nicht gegen unkontrolliertes Wegrollen gesichert.

Unfallträchtige und gesundheitsschädliche Deponierung von Schlammkohle aus einer Steinkohletagebauentwässerung.





Umweltzerstörung durch einen aktiven Kaolin-Abbau.

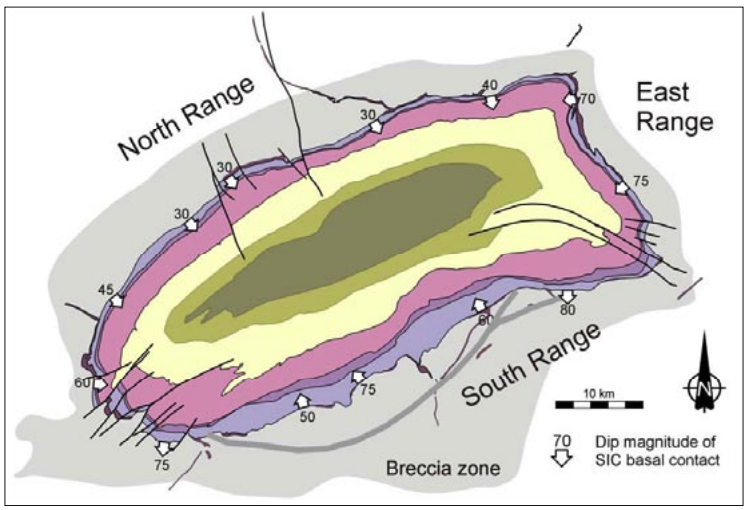
Die TZ-Projekte „Unterstützung Bergaufsicht" in Vietnam und „Umweltschutz im Bergbau" in der Mongolei unterstützen die Bergaufsichtsbehörden. Zu den Aufgaben gehören Umsetzung der Berggesetze hinsichtlich eines geordneten Aufsuchens, Gewinnens und Aufbereitens von Bodenschätzen sowie der Sicherheit der im Bergbau Beschäftigten und Verbesserung des Umweltschutzes im Bergbau, insbesondere der Bergbaurekultivierung. Dies geschieht durch Aufbau und Unterstützung der Bergbauinspektion, technische Unterstützung der Inspektoren und Entwicklung von Methoden, Richtlinien und Kapazität der Aufsichtsbehörde für bergbaulichen Umweltschutz und Bergbau.

Durch Know-how-Transfer, Counterpart-Training, Einführung und Weiterentwicklung moderner Bergbau-Rekultivierungsmethoden, Erarbeitung und Umsetzung von Richtlinien zum Bergbau und Umweltschutz und Einführung moderner Messtechnik soll die Bergaufsicht in die Lage versetzt werden, ihre Aufgaben zur Überwachung der Sicherheit der Bergbaubetriebe, der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten sowie des bergbaulichen Umweltschutzes wahr zu nehmen. Dafür setzen sich Mitarbeiter der BGR in Vietnam und in der Mongolei ein.

Erzsuche in kanadischem Meteoritenkrater **Die Wirklichkeit** ist spannender als **Science Fiction**

Ein massiver Block kosmischen Gesteins durchzieht den Weltraum, verirrt sich in unser Sonnensystem und stürzt der Erde entgegen. Beim Eintritt in die Atmosphäre verdampft die Außenhaut des Meteoriten durch die Reibungswärme. Mit rauchendem Schweif, der an dem glühenden Feuerball zehrt, rast der Meteorit der Erdoberfläche entgegen. Trotz Gewichtsverlust bleibt der Bolide mit 12 Kilometern Durchmesser so groß, dass er bei der Kollision mit der Erde einen 30 Kilometer tiefen Krater gräbt, das umliegende Gestein mit seiner Gluthitze schmilzt und verdampft und ein schweres Erdbeben auslöst. Zehn Minuten nach dem Einschlag hat der Krater etwa 250 Kilometer Durchmesser und ist mit einem bis zu 5 000 Meter tiefen See aus brodelnder Gesteinsschmelze gefüllt.

Lange bevor uns Hollywood mit „Deep Impact" und „Armageddon" die dramatischen Folgen eines Meteoriteneinschlags in Kinos und Wohnzimmer brachte, haben sich Geowissenschaftler mit Meteoriten und ihren Einschlägen auf der Erde intensiv auseinandergesetzt. Katastrophale Meteoriten-Einschläge werden wir und auch unsere Urenkel mit großer Wahrscheinlichkeit nicht erleben. Und doch ereignen sie sich über die für Geowissenschaftler so vertrauten langen Zeiträume fast überall auf der Welt „immer mal wieder". Die apokalyptischen Folgen sind ebenfalls keine Drehbuch-Phantasie: Meteoriten-Einschläge verwüsteten im Laufe der Erdgeschichte ganze Landstriche und rafften große Teile der Pflanzen- und Tierwelt dahin.



Geologische Karte des Sudbury-Meteoritenkraters. Wie Strahlen zeigen die „Offset Dikes" (schwarze Linien) von der Kratermitte nach außen.

Rostfarben verwitternde Nickel-Sulfiderze in einem „Offset Dike" des Sudbury-Meteoritenkraters. Dieses Gestein wird zur Nickel-Produktion abgebaut.



Und wo bleibt das Positive? Unter den besonderen Druck- und Temperatur-Bedingungen solcher Boliden-Einschläge haben sich zum Beispiel im Nordosten Kanadas große Lagerstätten gebildet. Vor allem Nickel wird seit mehr als hundert Jahren im Sudbury-Krater abgebaut, der vor knapp 2 Milliarden Jahren in die Erdkruste Nordamerikas gerissen wurde. Mit einem Anteil von 11 % der Weltproduktion gehört der Sudbury-Komplex zu den größten Nickel-Lieferanten.

Neben Nickel beherbergt der Sudbury-Komplex auch wirtschaftlich interessante Kupfer- und Platinelement-Vorkommen in mineralisierten Dehnungsrissen, die wie Strahlen vom Krater weg zeigen. Diese „Offset Dikes" genannten Erzgänge werden ebenfalls seit langem abgebaut. Der lohnenswerte Abbau wird jedoch durch die bisher schwer vorhersagbare räumliche Lage und das überraschende Aussetzen oder Vertauben der Gänge behindert.

Wissenschaftler der Humboldt-Universität zu Berlin haben im Auftrag der BGR den Bau und die Bildung dieser Erzgänge untersucht und ein Modell der Platznahme der „Offset Dikes" entwickelt. Anders als bisher angenommen entstanden die Erzgänge tausende Jahre nach dem Meteoriteneinschlag, als sich im umliegenden Gestein durch die fortschreitende Abkühlung des Kratergrundes Dehnungsrisse bildeten, in die metallhaltige Gesteinsschmelzen aus der darüber liegenden Schmelze eindrangen und auskristallisierten. Die Brauchbarkeit dieses Modells wird nun im Gelände überprüft, um die Vorhersage der Abbauwürdigkeit von „Offset Dikes" zu verbessern.

Nigrin – Auf **schwarzen Pfaden** zu **hellem Gestein**

Die Farbe Schwarz spielt in den verschiedensten Wissenschaftsdisziplinen eine Schlüsselrolle. Der Astrophysiker erhofft sich über schwarze Löcher Hinweise auf die Entstehung des Universums, der Meeresgeologe verschafft sich über die schwarzen Raucher Einblick in das metallogenetische Geschehen in den Tiefen der Ozeane. Was aber hat ein bodenständiger Lagerstättenkundler mit sedimentologischem Ehrgeiz mit der Farbe Schwarz zu tun? Er sucht schwarze Sande, nicht mit Bitumen durchsetzt, sondern aufgebaut aus schwarzen Mineralen, die zusammen geschwemmt in Flüssen und an Stränden in Gesteinen auftreten. Die werden im Fachvokabular als „Seifen" bezeichnet.

Bereits am Namen erkennbar, ist Nigrin (lateinisch niger = schwarz) gewissermaßen das Lehrbuchbeispiel unter den schwarzen Seifenmineralien. Ob es aber wirklich ein Mineral im Sinne der klassischen Definition ist oder eine Anhäufung von Mineralen, darüber sind sich die Fachleute noch uneins. Mikroskopische Untersuchungen haben bisher den Beweis erbracht, dass es sich um eine innige Verwachsung der Titanminerale Rutil (TiO_2) und Ilmenit ($FeTiO_3$) handelt.

Weitergehende Analysen zeigten eine auffallende chemische Vielfalt von Rutil und Ilmenit bei den Elementen Niob, Eisen und Wolfram. Mikrospische Untersuchungen machen darüber hinaus kleinste Einschlüsse der Minerale Columbit, Wolframit, Betafit, Pyrochlor, Zirkon, Magnetkies und Zinkblende sichtbar. Auch der Nachweis von Zinnstein gelang in diesen Seifen mit Hilfe der Mikrosonde und der Röntgendiffraktometrie. Die vielfältigen Einschlüsse des Nigrin könnten also durchaus das Herz eines Mineraliensammlers erfreuen, wenn diese Minerale hübsch kristallisiert wären und wenigstens die Größe eines Stecknadelkopfes erreichten.

Einen Aufbereitungsingenieur oder Lagerstättengeologen werden zwar die Vielfalt der Elemente und der Titangehalt beeindrucken, dagegen wird sie die enge Verwachsung der Minerale stören, weil sie die Aufbereitung und Anreicherung der Wertminerale verteuert. Zudem sollte eine Seifenlagerstätte die Minerale nahe der Oberfläche, als Einzelkörner und in genügender Menge enthalten. Dies ist in Nigrin-Anreicherungen aber selten erfüllt. Wozu also eine lagerstättenkundliche Untersuchung der Nigrine?



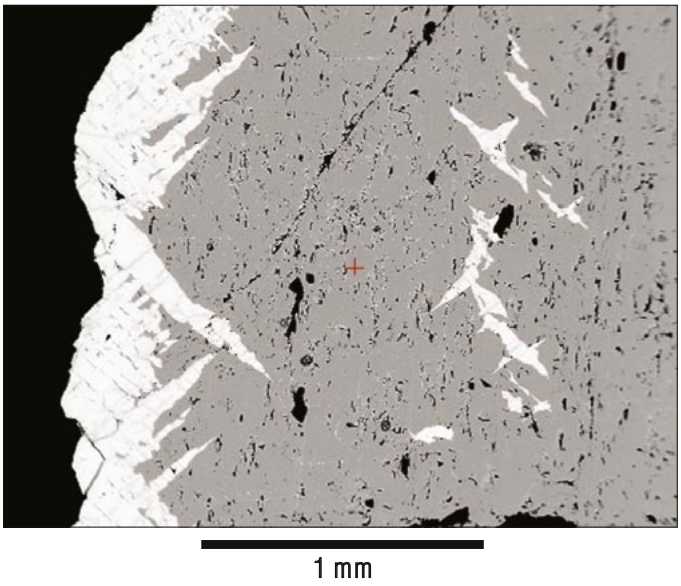
Nigrinkörner aus einer Flussseife bei Pleystein in der Oberpfalz.

Die wirtschaftliche Bedeutung – und damit das Interesse des Rohstoffgeologen – an den schwarzen Mineralaggregaten liegt in ihrer edlen Herkunft, verbunden mit einer großen Widerstandsfähigkeit: Nigrine stammen aus Pegmatit-Gesteinen. Die hellen alkalifeldspatreichen und glimmerführenden Pegmatite – nahe Verwandte der Granite – enthalten oft eine weite Palette von wirtschaftlich interessanten Mineralen.

Besonders die Sondermetalle (Niob, Lithium, Uran) und Phosphat führenden Pegmatite durchlaufen das Nigrinstadium. Auf deren besondere Zusammensetzung weisen die schwarzen Minerale, die Nigrine hin. Sie spiegeln eine entscheidende Entwicklungsphase der Entstehung dieser Pegmatite wider. Einfacher zusammengesetzten Pegmatiten dagegen fehlen diese Zeiger- oder Pfadfinderminerale, wie der Fachmann sagt.

Nun sind Pegmatite alles andere als der „Fels in der Brandung", wenn die Verwitterung die kristallinen Gesteine des Grundgebirges attackiert. Da hilft es, dass die enge Verwachsung von Rutil und Ilmenit sich schützend um die eingeschlossenen Minerale legt. Das Haupt-Titanmineral im Nigrin, der Rutil, ist sehr widerstandsfähig gegen Verwitterung und Transportbeanspruchung in den Flüssen. Nigrine sind also „gepanzerte Relikte" ihrer Muttergesteine und der darin enthaltenen Wertstoffe.

Es hängt vom Aufgabenspektrum und vom Kenntnisstand des Explorationsgeologen ab, ob er die Nigrine als eine wirtschaftliche Ansammlung schwarzer Mineralkörner in ihrer Bedeutung erkennt und ob er diesen schwarzen Pfad zu den hellen Pegmatiten beschreitet. Der Lohn liegt in der vergrößerten Chance, die gefragten Sondermetalle zu finden.



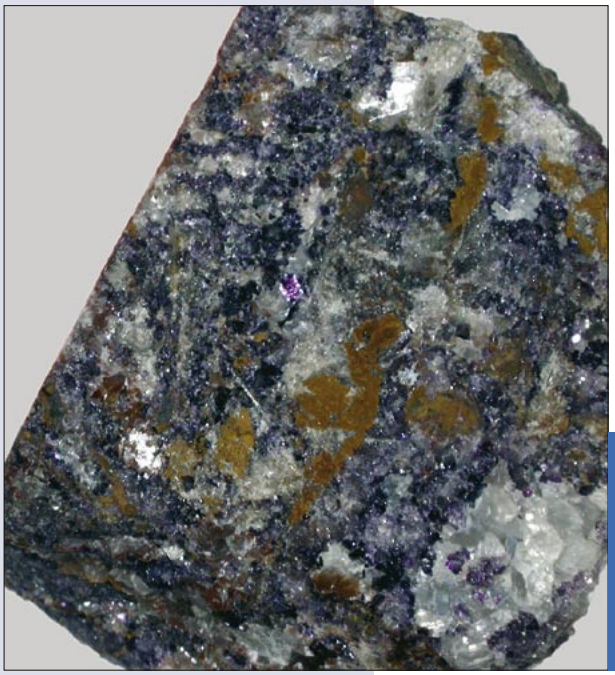
Nigrinkorn im Anschliff unter der Elektronenstrahl-Mikrosonde. Die hellen randlichen und zentral gelegenen spindelförmigen Anteile im Mineralaggregat werden von Ilmenit, einem Eisen-Titan-Oxid gebildet, die dunkle Matrix besteht aus Rutil, einer Titandioxid-Modifikation.

Löscht Flammen und schmilzt Erze: **Flussspat**

Leuchtend violette, gelbe, grüne – aber auch durchsichtige würfelförmige Kristalle? Das ist Flussspat, oder Fluorit, wie die Mineralogen sagen. Seinen Namen hat das gesuchte Industriemineral von der Nutzung als Flussmittel. Seit Jahrhunderten werden faustgroße Flussspat-Klumpen bei der Verhüttung von Erzen zur Schmelze gegeben, um deren Temperatur niedrig zu halten und dadurch Brennstoff zu sparen. Auch Glas- und Keramik-Schmelzen wird Flussspat zugegeben und dadurch wertvolle Energie gespart.



Blick auf die Flussspat-Mine Okorusu im Hochland von Nord-Namibia.



Farbenfrohes Flussspat-Erz.

Aber Flussspat kann noch mehr: Deutsche Industriebetriebe gehören zu den führenden Produzenten von Fluorwasserstoff, dessen Fluor aus dem Flussspat gewonnen wird. Aus Fluorwasserstoff werden Katalysatoren für die Superbenzin-Erzeugung, besonders wirksame Ätz- und Poliermittel für die Glasindustrie und auch Flammen hemmende Kunststoffe hergestellt.

Große Teile des deutschen Bedarfs werden aus Lagerstätten im südlichen Afrika gedeckt und müssen sich den harten Qualitätsanforderungen unterwerfen, die die chemische Industrie an ihre Rohstoffe stellt. Im Interesse einer kostenbewussten und umweltfreundlichen Produktion sind Beimengungen da grundsätzlich unerwünscht.

Die BGR untersuchte Flussspat-Erze und die daraus gewonnenen Konzentrate aus zwei Minen in Namibia und Südafrika, die einen erheblichen Anteil des nach Deutschland exportierten Flussspats produzieren. Dabei zeigte sich, dass die Erze beider Minen reiner sind als bisher vermutet.

Mit der Elektronenstrahl-Mikrosonde stellten wir fest, dass der bisher als Anzeiger für unerwünschtes Karbonat verwendete Strontiumgehalt in einem der Vorkommen zum größten Teil im Fluorit selbst steckt – und nicht im Karbonat. Das Strontium im Fluorit ist jedoch für die Weiterverarbeitung unproblematisch. Für die Minen im südlichen Afrika ist das ein handfester Vorteil, denn bei geringeren Karbonat-Verunreinigungen des Flussspat-Konzentrats erhalten sie einen besseren Preis. Die verarbeitenden Betriebe in Deutschland können auf unnötige Aufbereitungsschritte verzichten und die Ersparnis zu einem Wettbewerbsvorteil machen.

Allophan –
Es müssen nicht immer Ziegel sein

Allophan ist ein häufiges Mineral, besonders in Böden. Da es aber keine gut ausgebildete Kristallstruktur besitzt und seine Korngröße sehr gering ist, ist es schwer nachweisbar. Nur wenn in einem Boden sehr viel Allophan vorkommt, können Geowissenschaftler ihn eindeutig nachweisen. Das Besondere an diesem Mineral ist, dass es aus winzigen Hohlkugeln besteht. Dadurch ergibt sich eine immens große Gesamtoberfläche von ca. 1 000 Quadratmetern in nur einem Gramm Allophan. Im Rasterelektronenmikroskop sehen unzählige beieinander liegende Hohlkugeln wie Wölkchen aus.



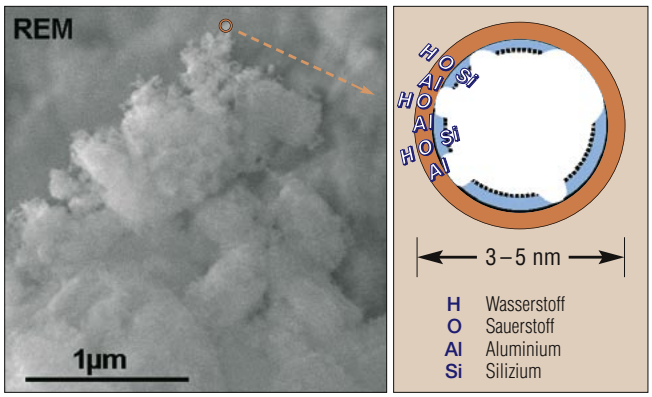
Fünfzehn Meter mächtige Allophan-Lage in Ecuador.

Die sehr hohe Gesamtoberfläche sorgt dafür, dass Allophan die Eigenschaften eines Bodens bestimmen kann – auch wenn sein Gehalt gering ist. Allophanhaltige Böden können gut Wasser speichern und Schadstoffe (z. B. organische Schadstoffe, Arsen- oder Chrom-Verbindungen) derart fest binden, dass sie nicht in Pflanzen oder ins Grundwasser gelangen.

Um diese faszinierenden technischen Eigenschaften wirtschaftlich nutzen zu können, muss der Allophan im Boden stark angereichert sein, also eine Allophan-Lagerstätte bilden. Solche hohen Anreicherungen sind aus den jungen Vulkangebieten rings um den Pazifischen Ozean bekannt, wo mehrere Meter mächtige Böden vorkommen, die zwischen 40 und 60 % Allophan enthalten.

Bereits in den 1980er Jahren hat die BGR in Ecuador Ziegelei-Rohstoffe untersucht. Dabei wurden verschiedene Tone beprobt, weil sich aus Tonen fast immer mehr oder weniger stabile Ziegel herstellen lassen. Einige Ton-Proben fielen jedoch aus der Reihe, weil sie überraschenderweise zur Ziegel-Herstellung gänzlich ungeeignet waren. Die Erklärung dafür liegt in der Zusammensetzung: diese Proben enthielten sehr viel Allophan.

Wenn sich also aus den Tonen keine Ziegel herstellen lassen, weil sie reich an Allophan sind, warum dann nicht die besonderen Eigenschaften des Allophans nutzen? Welche Möglichkeiten und welche Probleme gibt es bei der Produktion (Anreicherung, Mahlung, Trocknung)? Welche Markt- und Produktvorteile können in diversen Branchen durch den Einsatz von Allophan erzielt werden? Diese Fragen waren das Motiv einer Untersuchung, die in Zusammenarbeit mit der Universität Halle im Rahmen einer Doktorarbeit an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe durchgeführt wurde.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme und Modell der Kristallstruktur von Allophan.

Bei Erkundungsarbeiten in Ecuador wurden bis zu 15 Meter mächtige Allophan-Lagen mit geringen Anteilen von organischem Material gefunden. Auch wenn dem erdigen Material im Gelände nicht anzusehen war, dass unterhalb von neun Metern nicht mehr Allophan, sondern das verwandte Mineral Halloysit dominiert. Derart große Anreicherungen von Allophan waren bislang unbekannt. Eine besonders hochwertige Lage soll weiter erkundet werden.

Aufgrund seiner Rückhaltefähigkeit für organische und anorganische Schadstoffe wird das Haupt-Anwendungsgebiet von Allophan in der Umwelttechnik gesehen. Es wurde ein Verfahren zur Produktion von stabilen Allophan-Aggregaten (Körner von 3–5 nm Durchmesser) entwickelt, um Allophan in Rauchgasfiltern einzusetzen. Schwach saure bis basische Abwässer (pH > 5) können mit Allophan-Pulver behandelt werden. Besonders vorteilhaft ist dabei, dass sich Allophan auch unter diesen Bedingungen selbstständig absetzt – im Gegensatz zu vielen anderen Tonmineralen.

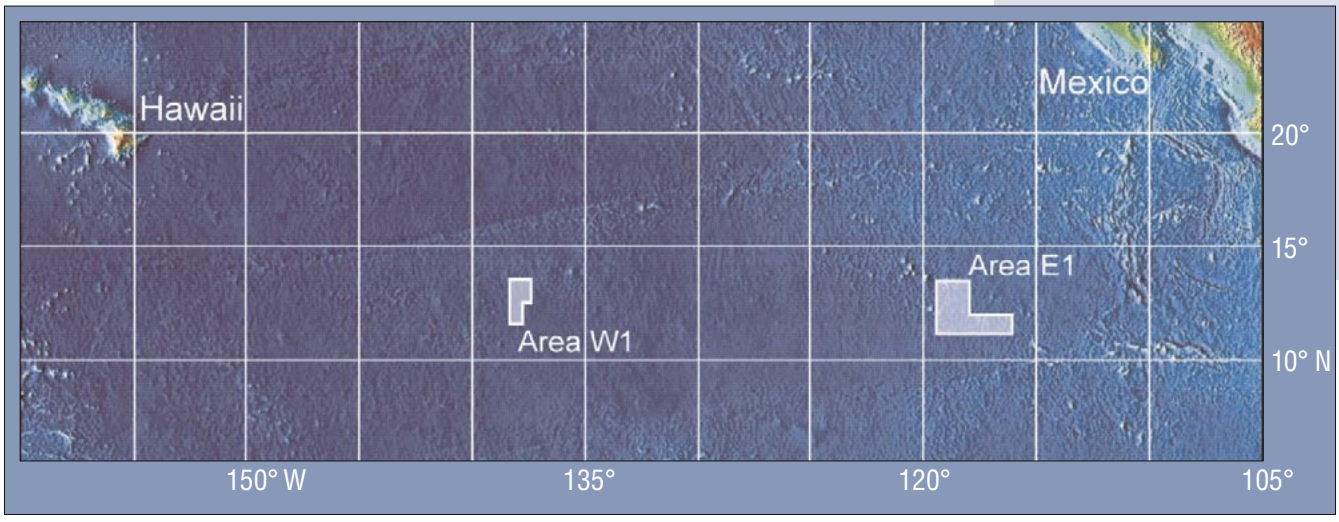
Aus unserer Forschung haben sich weitere, technisch und wissenschaftlich interessante Nischenanwendungen ergeben, die in der Regel einen geringen Rohstoffbedarf besitzen. Die möglichen Hauptanwendungen des Allophans werden derzeit von der Industrie mit großem Interesse getestet.

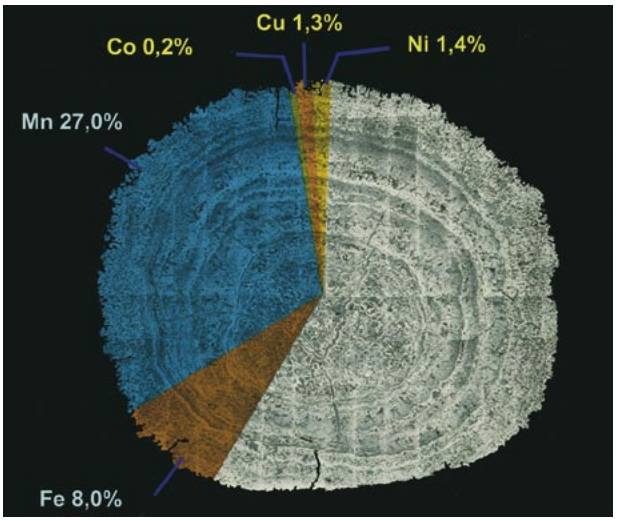
Manganknollen – eine **Rohstoffquelle** der Zukunft

Manganknollen waren bereits einmal in den 1970–1980er Jahren ein wichtiges Rohstoff-Thema. Damals, in den Zeiten des „kalten Krieges", wurden neue Ansätze gesucht, um die ausgeprägte Rohstoffabhängigkeit unseres Landes zu verringern. Die in der Tiefsee verbreiteten Manganknollen wurden als eine neue, bisher nicht genutzte Quelle für verschiedene Metalle wie Kupfer, Kobalt und Nickel entdeckt. Wegen ihrer komplexen chemischen Zusammensetzung werden die Knollen daher häufig auch als polymetallische Knollen bezeichnet. Nach Jahren intensiver Forschungstätigkeit durch die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Universitäten und nach der Entwicklung geeigneter Fördertechnik für den Tiefsee-Einsatz durch deutsche Firmen erschien ein submariner Abbau greifbar nahe. Ein Konsortium mit Beteiligung deutscher Firmen erwarb 1984 eine Förderlizenz im zentralen Pazifik. Nur der anschließend einsetzende Preisverfall bei Metallrohstoffen verhinderte den Beginn der kommerziellen Gewinnung von Manganknollen.

In einer kleiner werdenden Welt und angesichts deutlich steigender Rohstoffpreise gewinnen die Manganknollen erneut an Aktualität. Auf der Basis der damals erarbeiteten wissenschaftlichen Ergebnisse und umfangreicher Datensätze aus einem von der Preussag übernommenen Archiv hat die BGR einen neuen Vorstoß zur Exploration der Manganknollen im Pazifik gestartet. Dazu wurde im Juni 2005 ein Erforschungsantrag bei der Internationalen Meeresbodenbehörde der Vereinten Nationen (UN) gestellt, die gemäß dem Seerechtsübereinkommen für Fragen der Rohstoffgewinnung auf hoher See verantwortlich ist. Der deutsche Antrag wurde von den politischen Entscheidungsgremien der UN positiv aufgenommen und der entsprechende Erforschungsvertrag zwischen der BGR und der Internationalen Meeresbodenbehörde wurde am 19.07.2006 in Berlin unterzeichnet.

Karte des zentralen Pazifik mit der Lage der Erforschungsareale der BGR. Zusammengenommen ergeben die beiden Teilgebiete W1 und E1 eine Fläche von rd. 75 000 km².





Mittlere Metallgehalte einer Manganknolle aus dem Zentralpazifik

Kennwerte des BGR-Lizenzgebietes im Zentralpazifik		
Gebietsgröße gesamt [km²]		75 000
Mittlere Wassertiefe [m]		4 500
Min. - Max.[m]		3 700 – 5 100
Belegungsdichte [kg/m²]		meist 8 – 13
Berechnete Knollenmenge bei 106 t [Stk.]		920
anteilige Metallgehalte [%]	Mn	27 – 29
	Fe	6,2 – 7
	Ni	1,3
	Cu	1,0 – 1,1
	Co	0,17 – 0,22
Ni + Cu + Co (106 t)		24

Damit wird Deutschland ein Meeresareal von 75 000 km² Größe zugesprochen, in dem es für einen Zeitraum von 15 Jahren das exklusive Recht zur Exploration von Mn-Knollen besitzt. Die detaillierte Erkundung dieses Areals wird nun von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe gezielt vorbereitet und stufenweise umgesetzt. Die notwendigen Forschungsarbeiten sind multidisziplinär: Sie beinhalten die Erforschung der Verteilung der Knollen sowie der Bestimmung ihrer Mengen und chemischen Zusammensetzung mit modernen Methoden höchster Nachweisgrenzen. Die Topographie des Gebietes wird mit Fächerecholoten hochauflösend kartiert, um ein exaktes „Geländemodell" erstellen zu können. Das wenig bekannte Bodenleben der Tiefsee dieses Gebiets wird sorgfältig untersucht und klassifiziert, um auch mögliche Umwelteinflüsse einer zukünftigen Manganknollen-Gewinnung abschätzen und beurteilen zu können.

Das Vorhaben ist eine Maßnahme der strategischen Zukunftsvorsorge. Durch die frühzeitige Forschungstätigkeit der BGR wird damit ein Beitrag zur zukünftigen Rohstoffsicherung unseres Landes geleistet.



Boden

Boden Boden Boden



Boden – grundlegend

Der Boden gehört in der klassischen Volkswirtschaftslehre neben Arbeit und Kapital zu den grundlegenden Produktionsfaktoren. In diesem Zusammenhang wird der Begriff „Boden" in erster Linie als Standort sowie als An- und Abbaufläche verwendet.

Boden: *Der zweite originäre Produktionsfaktor neben der menschlichen Arbeit. Der Boden ist Produktionsfaktor als Grundlage a) der landwirtschaftlichen Produktion, b) der Urproduktion, d. h. des Abbaus der in ihm enthaltenen Rohstoffe wie Kohle, Erz, Erdöl usw., c) jeder sonstigen Produktion („als Unterlage").*

(aus: Dr. Gablers Wirtschaftslexikon, Kurzausgabe; 1969)

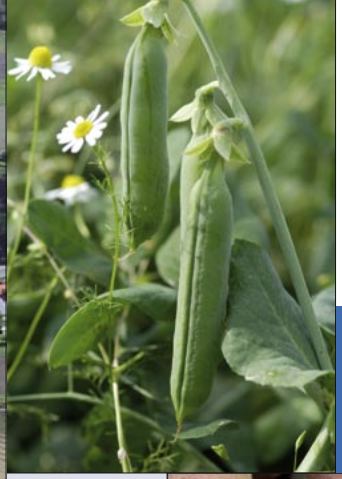
Diese ökonomische Sichtweise hat insofern Eingang in die deutsche Bodenschutz-Gesetzgebung gefunden, als die „Nutzungsfunktion" des Bodens im Bundes-Bodenschutzgesetz von 1998 als eine von insgesamt drei Funktionen ausdrücklich benannt wird. Die weiteren Funktionen werden beschrieben als „natürliche Funktionen" und „Funktionen als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte". Unter den natürlichen Funktionen wird u. a. herausgestellt, dass der Boden grundlegend für das Leben und für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen ist.

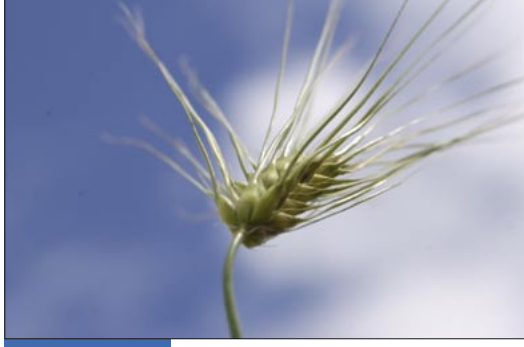
Wenngleich sich die Bodenfunktionen nicht in jedem Falle in Übereinstimmung bringen lassen – Bodenschützer sprechen von konkurrierenden Nutzungsansprüchen – sind sich Ökonomen und Ökologen darüber einig, dass Boden kaum vermehrbar und begrenzt ist. Der Boden ist deshalb als eine knappe und kaum

Der Boden erfüllt im Sinne dieses Gesetzes natürliche Funktionen als Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen, ...

(Auszug aus § 2, Abs. 2 Bundes-Bodenschutzgesetz, BBodSchG; 1998)











erneuerbare Ressource anzusehen, die einen schonenden und nachhaltigen Umgang erfahren muss.

Nutzungs- und Schutzaspekte erfordern gleichermaßen fundierte wissenschaftliche und standardisierte Grundlageninformationen über die Eigenschaften und die Verbreitung der Böden (in Kenntnis der Vielzahl von unterschiedlichen Bodentypen und Bodeneigenschaften verwenden Bodenwissenschaftler den Begriff in der Mehrzahl).

An der Schaffung, Fortentwicklung und Bereitstellung wissenschaftlicher Grundlagen arbeiten die Bodenwissenschaftler der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Die bereits 1995 aus Bodenkarten der alten und neuen Bundesländer zusammengestellte Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 1 000 000 (BÜK1000) wurde aktuell überarbeitet und unter Einbeziehung von Nutzungs- und Klimainformationen wesentlich präzisiert. Das entstandene Kartenwerk – die nutzungsdifferenzierte BÜK1000n – ist Bestandteil des Fachinformationssystems Boden und steht den Anwendern in der BGR sowie universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zur Verfügung. Sie bietet die Informationen, die zum Beispiel für flächenbezogene Auswertungen zu Hintergrundwerten für Spurenelemente notwendig sind. In einem begleitenden Projekt wurde der Frage nachgegangen, wie die Eigenschaften der länderübergreifend betrachteten Böden hinsichtlich ihrer Bodenartenverteilung zu bewerten sind. Beide Themen, sowohl Hintergrundwerte für Spurenstoffe als auch Bodenartenverteilungen, spielen eine wichtige Rolle bei der Überarbeitung der bundesdeutschen Bodenschutz-Gesetzgebung und sind für die Beratung der Ressorts von grundlegender Bedeutung.

Beratung der Ressorts findet darüber hinaus im Rahmen von Methodenentwicklungen statt. Die Beantwortung der Frage „Welche und wie viele Tonminerale sind im Boden und wie kann man das messen?“ dient beispielsweise unter anderem der Beratung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Rahmen der fachlichen Begleitung der Bodenzustandserhebung im Wald.



Bei der Schaffung geowissenschaftlicher Grundlagen arbeitet die BGR mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) der Bundesländer im Rahmen der Ad-hoc-AG Boden zusammen, eine vom Bund/Länder-Ausschuss Bodenforschung (BLA-GEO) der Wirtschaftsministerkonferenz eingerichteten Arbeitsgruppe. Unter dem Vorsitz der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat die Ad-hoc-AG Boden 2005 die Bodenkundliche Kartieranleitung in ihrer fünften, verbesserten und erweiterten Auflage vorgelegt.

„Boden ist wertvoll"

Mit Hilfe dieser Leitidee soll das Bewusstsein „Boden ist Leben" unter den verschiedenen Akteuren (z. B. Bürger, Unternehmer, Verbraucher, Gesetzgeber, öffentliche Versorger) gestärkt werden und der Stellenwert des Bodens im Rahmen der übrigen Umweltgüter verbessert werden. ...

(Auszug aus dem Gutachten des wissenschaftlichen Beirats Bodenschutz beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; 2000)

Grundlegend für einen nachhaltigen und schonenden Umgang mit der Ressource Boden sind nicht nur wissenschaftliche Informationen. Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung wird von Experten als ebenso wichtig angesehen.

Bodenkundler der BGR leisten hier ihre Beiträge, sei es im Rahmen von öffentlichkeitswirksamen Anlässen oder Publikationen, die sowohl Politiker als auch interessierte Bürger erreichen sollen. Ein anschauliches Beispiel ist der 2005 veröffentliche europäische Bodenatlas, an dessen Erstellung Bodenkundler der BGR beteiligt waren.

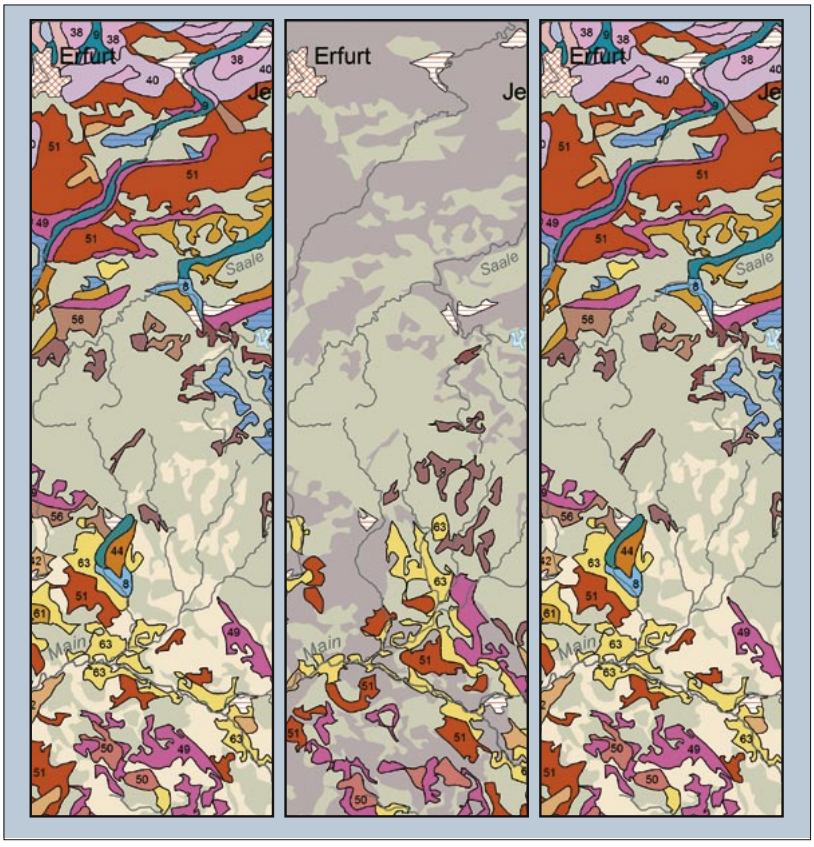
Diese Bemühungen tragen Früchte: Nach Ergebnissen einer 2005 durchgeführten Internet-Befragung zum Thema Bodenschutz schätzen mehr als 90 % der EU-Bürger die Vermeidung und Verringerung von Bodenverlusten bzw. Verluste von Bodenfunktionen als „sehr wichtig" oder „wichtig" ein. Mehr als 70 % der EU-Bürger sind darüber hinaus der Meinung, dass einheitliche „Rahmenregelungen" auf der europäischen Ebene geschaffen werden sollten, die einzelnen Maßnahmen jedoch auf nationaler oder lokaler Ebene zu treffen sind.

Mit Blick auf die notwendigen geowissenschaftlichen Grundlagen im bodenkundlichen Bereich ist Deutschland mit der BGR gut gerüstet.

Landnutzung und Böden in Deutschland

Bereits im Jahre 1995 wurden durch die BGR die kleinmaßstäbigen digitalen Bodenkarten der alten und neuen Bundesländer inhaltlich und nomenklatorisch zu einer gemeinsamen Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 1 000 000 (BÜK1000) zusammengeführt. Die Daten der BÜK1000 bilden seitdem die Basisinformation in der Flächendatenbank des Fachinformationssystems Boden. Seit dem Inkrafttreten des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG, 1998) hat die Nachfrage nach bundesweit einheitlichen und qualitätsgeprüften Bodendaten stark zugenommen. Bei der Bearbeitung von Anforderungen, die Nutzer an die Bodendaten stellen, zeigt sich, dass die unterschiedliche Bodenausstattung, die man unter forstlich und landwirtschaftlich genutzten Flächen vorfindet, für das Bewertungsergebnis von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, die Vergesellschaftung der Böden in den Legendenbeschreibungen der BÜK1000 zusätzlich unter den existierenden Landnutzungen Wald, Acker und Grünland abzubilden. Die bislang vorliegende Kartengrafik der BÜK1000-Legendeneinheiten wurde deshalb in die Teilflächen der jeweiligen Landnutzung gegliedert. Die Inhalte (Bodenvergesellschaftung, Referenzböden) der landnutzungsbezogenen Legendeneinheiten, die in Deutschland ein großes Verbreitungsgebiet aufweisen, wurden unter Einbeziehung der Grenzen großräumiger Klimagebiete (Klimaregionen) zusätzlich präzisiert (klimatische Ausprägung der Böden).



Darstellung der Teilkarten Acker, Grünland und Wald in einem verkleinerten Ausschnitt der nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte 1 : 1 000 000.

In der nun vorliegenden nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte 1 : 1 000 000 erfolgt die Kennzeichnung der bodenkundlichen BÜK1000-Legendeneinheiten nach den Hauptnutzungsarten Acker, Grünland und Wald. Dabei werden nicht nur die Grenzen der Landnutzung in das kartographische Grundmuster der Bodenübersichtskarte einbezogen, es erfolgt auch eine Unterscheidung der Inhalte je nach Nutzung der Böden.

Abgrenzung und Zuweisung der Landnutzung in der Bodenübersichtskarte

Als Datengrundlage zur Kennzeichnung der Landnutzung in den Legendeneinheiten der nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte wurde das Landnutzungsmodell CORINE Land Cover (1990) verwendet. Den Daten liegt ein Erhebungsmaßstab von 1 : 100 000 zugrunde, der die Darstellung der Landnutzung ab einer Flächengröße von 25 ha zulässt.

Die Kartiereinheiten der ursprünglichen BÜK1000 bilden die räumliche Bezugsgrundlage für den bodenkundlichen Teil der Legendenbeschreibungen. Diese erfassen das oftmals heterogene und räumlich strukturierte Inventar der Böden in der Fläche. Eine fehlerfreie Zuordnung dieser Bodeninformation zu den häufig sehr kleinen Flächen aus dem Landnutzungsmodell ist nicht möglich. Deshalb bestanden erst mit der grafischen Generalisierung des Landnutzungsmodells die wesentlichen Voraussetzungen für die Zusammenführung von Boden- und Landnutzungsdaten.

Nutzungsdifferenzierte Bodeninventare und Referenzprofile

Die Bestimmung der Bodeninventare, die in Teilflächen der Nutzungsarten auftreten, ist auf der Basis der vorliegenden BÜK1000 Legendenbeschreibungen nicht möglich. Dazu mussten Bodenkarten in größeren Maßstäben herangezogen werden. Erst aus diesen Bodenkarten, mit einer detaillierteren Darstellung und Inhaltsbeschreibung der Bodendecke, konnten Informationen gewonnen werden, um für die nutzungsbezogenen Teilflächen eine exakte Zuweisung von Bodengesellschaften (Ausweis von Leit- und Begleitböden) vorzunehmen. Gestützt auf die Bodenprofile der Bodenzustandserhebung im Wald sowie die Labor- und Profildatenbank des FISBo BGR konnten jedoch ausschließlich für die Leitböden der nutzungsdifferenzierten Legendeneinheiten entsprechende qualitätsgeprüfte Bodenprofile gewonnen werden.

Bestandteile der nutzungsdifferenzierten BÜK1000

Kartendarstellung
Der digitale Grafikdatenbestand der nutzungsdifferenzierten BÜK1000 bildet die Grundlage für die vorliegenden analogen Karten. Die bodenkundlichen Inhalte werden in drei Kartenblättern, getrennt für die Hauptnutzungsarten Ackerland, Grünland und Wald, dargestellt. Nicht abgebildete Hauptnutzungsarten sind in den jeweiligen Karten in hellen Pastelltönen gehalten. Die Farbauswahl zur Darstellung der Böden entspricht den Festlegungen der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 4. Auflage.

Als topografische Grundlage für die Kartendarstellung dient das Digitale Landschaftsmodell 1 : 1 000 000 des Bundesamtes für Kartografie und Geodäsie. Auf dieser Basis werden Hydrografie, Siedlungs- und Bergbauflächen, das Gradnetz und die administrativen Grenzen dargestellt bzw. die Lagegenauigkeit der Kartiereinheiten gewährleistet. In einem Begleitheft zur Karte werden Arbeitsgrundlagen, Bearbeitungsablauf und die vorliegenden Ergebnisse beschrieben.

Textlegende
Die drei nutzungsspezifischen Teilkarten enthalten in der Blattrandlegende in kurz gefasster Form eine Beschreibung der Leit- und Begleitböden sowie der Ausgangsgesteine. Erstreckt sich das Verbreitungsgebiet einer bodenkundlichen Legendeneinheit über mehrere Klimagebiete, so steht eine differenzierte Inhaltsbeschreibung zur Verfügung. Legendeneinheiten der BÜK1000, in denen eine bestimmte Landnutzung nicht vorkommt, sind in der jeweiligen Teilkarte auch nicht dargestellt. Deshalb ist die Blattrandlegende in den Teilkarten auch nicht durchgehend fortlaufend nummeriert. Unter der Bezeichnung „Flächen sonstiger Nutzung“ werden u. a. Siedlungen, Tagebaue, Gewässer sowie die im jeweiligen Kartenblatt nicht dargestellten Hauptnutzungsarten aufgeführt.

Für jede Teilkarte liegt eine ausführliche Textlegende in digitaler Form vor, die zunächst mit der Legendenbeschreibung der ursprünglichen BÜK1000 beginnt, die nutzungsunabhängige Informationen enthält (z. B. Ausgangsgesteine, Angaben zu Gründigkeit). Nachfolgend werden die nutzungsdifferenzierten Legendenbeschreibungen angefügt (z. B. Leit- und Begleitböden).

Flächendatenbank
Die Sachdaten der nutzungsdifferenzierten BÜK1000 und die zugehörige Kartengrafik sind in der relationalen Struktur einer ArcInfo-Geodatenbank abgelegt. Für jede Einzelfläche der Teilkarten liegt ein Datensatz vor, der über wichtige Parameter (bodenkundliche Legendeneinheit, Landnutzung, Bodengroßlandschaft und Klimagebiet) gekennzeichnet ist. Der Datensatz enthält Angaben zur charakteristischen Bodenvergesellschaftung und die Darstellung eines definierten Leitbodens.

Inhalt der Karte

Böden
Von den insgesamt 69 bodenkundlichen Legendeneinheiten der nutzungsdifferenzierten BÜK1000 weisen 66 Einheiten Ackerflächen, 56 Grünland und 63 Wald auf. Berücksichtigt man weiterhin die Differenzierung, die sich aus der Einbeziehung der Klimagebiete ergibt, so liegen insgesamt 205 Legendenbeschreibungen für die Hauptnutzungen Ackerland, Grünland und Wald vor.

Neben den Bodenparametern, die sich auf die gesamte Legendeneinheit beziehen und damit feste Bestandteile der Blattrand- bzw. Textlegende sind, bestehen Möglichkeiten zur Ableitung optionaler Parameter von Referenzprofilen.

Landnutzung
Die nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte informiert in enger Verzahnung mit der Bodenverbreitung auch über die räumliche Verteilung der Landnutzung in der Bundesrepublik.

Zur korrekten Inhaltskennzeichnung und aus Gründen der Darstellbarkeit wurde die Anzahl der Einzelflächen der Landnutzung wesentlich verringert und eine Mindestflächengröße von etwa 4 km^2 als Grundlage für die Übersichtsdarstellung im Kartenmaßstab 1 : 1 000 000 definiert.

Die für das Gebiet der Europäischen Union ausgewiesenen 44 Landnutzungsklassen wurden zu vierzehn Klassen zusammengefasst. Die hier verwendete Zusammenlegung inhaltlich ähnlicher Einzelflächen zu den Hauptnutzungen Acker, Grünland und Wald deckt etwa 90 % der Gesamtfläche der Bundesrepublik ab.

Bodenregionen, Bodengroßlandschaften
Die bundes- oder europaweiten Aussagen zur Bodennutzung und zum Bodenschutz sind an kleinmaßstäbige Bodenübersichtskarten gebunden, die nach bundesweit einheitlichen Kriterien erarbeitet und auch bundesweit ausgewertet werden können. In der Systematik der regionalen Bodengliederung Deutschlands bilden die Grenzen der Bodenregionen und Bodengroßlandschaften hierfür den geeigneten Rahmen.

Europäische Klimagebiete
Unterschiedliche klimatische Bedingungen haben einen deutlichen Einfluss auf die Ausprägung der Bodengesellschaften und ihrer Bodeneigenschaften. Dies muss insbesondere bei den Legendeneinheiten der BÜK1000 beachtet werden, die über weite Teile des Staatgebietes der Bundesrepublik Deutschland verbreitet sind. Die Ursachen wechselnder Flächenanteile der Böden bzw. der Variabilität der Bodeneigenschaften in diesen Legendeneinheiten liegen vorrangig in makroklimatischen Unterschieden.

Die Grenzen der Klimagebiete der „Georeferenced Soil Database for Europe" wurden deshalb in die Bodenübersichtskarte übernommen. Damit steht eine zwar sehr allgemeine, aber für alle Bodeneinheiten und Landnutzungen einheitliche räumliche Gliederung zur Verfügung, die einen unmittelbaren Bezug zum europäischen Übersichtsmaßstab hat. Insbesondere im Norddeutschen Tiefland kann auf dieser Basis die Bodenansprache differenzierter erfolgen.

Zusammenfassung

Für die Ableitung thematischer Karten im Bereich der Bodennutzung und des Bodenschutzes steht mit der nutzungsdifferenzierten BÜK1000 eine deutlich verbesserte Datengrundlage zur Verfügung. Der Anwender kann damit auf Bodendaten zugreifen, die unter der jeweiligen Landnutzung auch tatsächlich zu erwarten sind. Bundes- und Landesbehörden benötigen derartige Informationen zur Beratung ihrer Ressorts zur Beurteilung potenzieller Bodengefährdungen (z. B. Bodenerosion). Universitäten / Hochschulen und außeruniversitäre Forschungseinrichtungen nutzen Bodendaten im Rahmen bundesweiter Forschungsvorhaben, beispielsweise zur nachhaltigen Nutzung des Bodens. Institute der Industrieforschung verwenden Bodendaten im Rahmen der Produktentwicklung, so u. a. zur Abschätzung des möglichen Umfangs der Anwendung entwickelter Wirkstoffe im Pflanzenschutz.

Die Bodenart – eine zentrale Größe der **Bodenbewertung**

Die BGR erstellt geowissenschaftliche Grundlageninformationen im bundesweiten Maßstab zur Beratung der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft. Dies betrifft u. a. auch das Themenfeld Boden, in dem beispielsweise für Fragen des vorsorgenden Bodenschutzes bodenkundliche Basisparameter länderübergreifend benötigt werden. So ist die Zusammensetzung der mineralischen Bestandteile (Korngrößenzusammensetzung, Textur) ein wichtiges Bewertungskriterium für Böden und für eine Vielzahl ökologischer (z. B. Grundwassernachlieferung, Schadstoffrückhaltevermögen der Böden) und ökonomischer Fragestellungen (z. B. landwirtschaftliche Produktion) von großer Bedeutung.

Vor diesem Hintergrund wurden Anstrengungen unternommen, eine möglichst exakte und flächendeckende Aussage über typische Bodenartenverteilungen der Oberböden Deutschlands sowie deren Variabilität im Raum zu treffen. Diese sollen bestehende und ausschließlich auf Expertenwissen beruhende Aussagen ergänzen und differenzierter charakterisieren.

Bodenart ist ein Ausdruck für die Größe und Zusammensetzung der mineralischen Bodenteilchen, die zusammen mit organischen Teilchen die feste Substanz der Böden ausmachen. Art, Größe und Eigenschaften der Mineralkörner sind abhängig vom Ausgangsgestein der Bodenbildung und der Verwitterung und damit der Intensität der Bodenbildung. Je nach Größe der Mineralkörner werden die Kornfraktionen Sand (mit einem Korndurchmesser von ø = 2 – 0,063 mm), Schluff (ø = 0,063 – 0,002 mm) und Ton (ø < 0,002 mm) unterschieden.

Die einzelnen Kornfraktionen weisen sehr unterschiedliche Eigenschaften auf: Sandkörner sind nur sehr schlecht in der Lage, Wasser sowie Nähr- und Schadstoffe zu halten. Tonteilchen können dagegen diese Stoffe an sich binden und halten. Böden mit sehr hohen Tonanteilen neigen aufgrund ihres hohen Wasserhaltevermögens allerdings zur Vernässung und sind schwer zu bearbeiten.

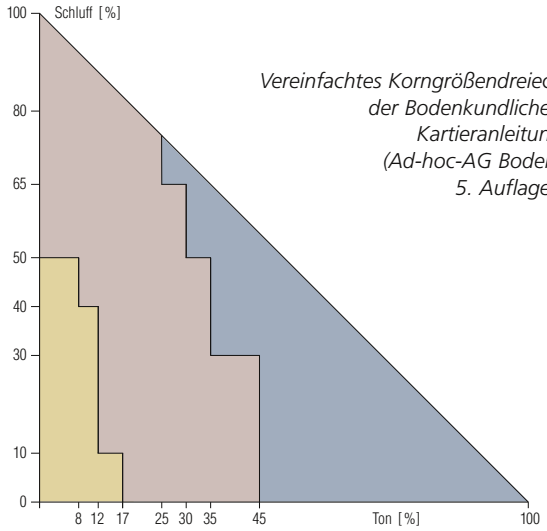
Eigenschaft	Sandboden*)	Tonboden*)
Korngröße	groß (>0,063 mm)	klein (<0,002 mm)
Porengröße	groß	klein
Durchlüftung	gut	schlecht
Wasserdurchlauf	gut	schlecht
Festhaltevermögen für Nähr- und Schadstoffe	schlecht	gut
Erwärmung	schnell	langsam
Bearbeitbarkeit	gut	schlecht

*) Lehmböden nehmen eine Mittelstellung zwischen Sand- und Tonböden ein

In der Tabelle sind die Eigenschaften von Sand- und Tonböden als Extreme gegenübergestellt. Mischungen aus mehr oder weniger gleichen Anteilen von Sand, Schluff und Ton werden als Lehm bezeichnet. Hinsichtlich der Eigenschaften nehmen Böden aus Lehm eine Mittelstellung zwischen Sand- und Tonböden ein und haben aufgrund ihrer guten physikalischen und chemischen Eigenschaften eine große wirtschaftliche Bedeutung. Sehr deutlich werden die unterschiedlichen Eigenschaften der Korngrößenzusammensetzungen in Böden im Frühjahr, wenn frisch bearbeitete Ackerflächen aufgrund wechselnder Bodenarten sehr unterschiedliche Abtrocknungsmuster zeigen.



Unterschiede in der Korngrößenzusammensetzung eines Bodens bedingen unterschiedliches Abtrocknungsverhalten.



Vereinfachtes Korngrößendreieck der Bodenkundlichen Kartieranleitung (Ad-hoc-AG Boden, 5. Auflage).

Bei der Klassifizierung der Bodenart spielt das Verhältnis Sand, Schluff, Ton die entscheidende Rolle. Die hieraus resultierende Bodenart wird aus dem Bodenartendiagramm, dem sog. Korngrößendreieck, ermittelt.

Bodenbasisinformationen als Karte

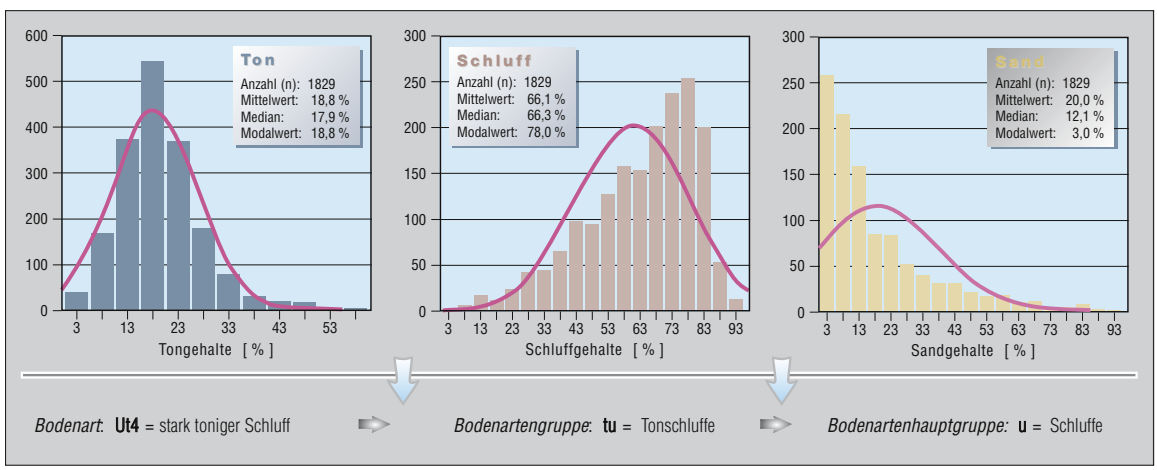
Die Bedeutung der Bodenart macht sie zu einer Basiskenngröße jeder bodenkundlichen Information. Die Karte der Bodenartengruppen in Oberböden gibt einen Überblick über die vorherrschenden Bodenarten der Böden in Deutschland. Hierzu wurden Informationen von Oberbodenhorizonten aus ca. 16 000 Bodenprofilen der BGR und weiterer staatlicher geologischer Dienste mit Hilfe ihrer geografischen Koordinaten den in Deutschland vorkommenden Bodengesellschaften zugewiesen und statistisch ausgewertet. Als Kartengrundlage dient die nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1 : 1 000 000 (BÜK1000). Den Beschreibungen der Bodengesellschaften sind auch Informationen über die für die Entstehung der Bodenarten wichtigen Ausgangsgesteine (Substrate) zu entnehmen.

Für die Summe aller für eine Legendeneinheit repräsentativen Profile wurde die statistische Verteilung der Sand-, Schluff- und Tongehalte ermittelt und aus dem Medianwert der Ton- und Schlufffraktionen die Bodenart im Bodenartendiagramm bestimmt. Die Darstellung als Karte (Bodenartengruppen in Oberböden Deutschlands) beschränkt sich auf die Ebene der Bodenartengruppen, um eine dem Maßstab angepasste Übersichtlichkeit zu gewährleisten. Die detaillierteren statistischen Ergebnisse stehen für die Bearbeitung ökologischer und ökonomischer Fragestellungen zur Verfügung.

Im Ergebnis liegen damit typische Korngrößenverteilungen und Bodenarten für die Bodengesellschaften in Deutschland vor.

Was geschieht mit den Informationen?

Die Bereitstellung geowissenschaftlicher Grundlageninformationen gehört zu den Kernaufgaben der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Die Informationen zu Bodenarten und ihren Verteilungen können auf der wissenschaftlichen Seite als Modelleingangsparameter zur Berechnung von Funktionen, Potenzialen und Gefährdungen der Böden (z. B. Sickerwasserrate aus dem Boden, Nitratrückhaltevermögen, Erosionsgefährdung der Böden) ebenso dienen wie zur Erhöhung der Aussagegenauigkeit bodenthematischer Auswertungen durch die Präzisierung der Unsicherheit und Variabilität im Raum. Das Wissen um die typischen Verteilungen der Bodenarten spielt aber auch auf der Beratungsseite eine wichtige Rolle, dienen Bodenarten doch als Referenzgrößen für die Einteilung von Vorsorgewerten im stofflichen Bodenschutz, wie er in der gegenwärtigen Bodenschutz-Gesetzgebung (BBodSchG) in Verbindung mit der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vorgeschrieben ist.

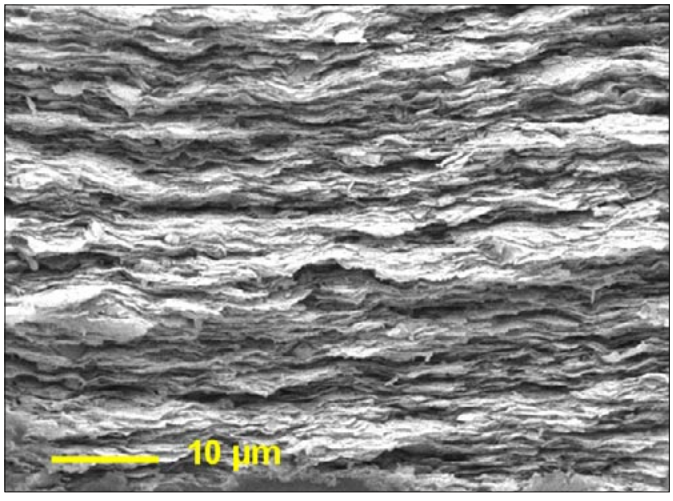


Verteilung der Ton-, Schluff- und Sandgehalte der Bodengesellschaft „Mittel- bis tiefgründige, braune Schluffböden mit tonreicherem Unterboden aus Löss oder umgelagertem Lösslehm...".

Welche und wie viele **Tonminerale** sind im Boden und wie kann man das **messen?**

Böden entstehen aus anstehenden Gesteinen durch oberflächennahe, klimatisch beherrschte Prozesse am Festland. Sie haben viele wichtige Funktionen in der Ökosphäre: Regelung der Kreisläufe von Luft, Wasser und Feststoffen, Lebensraum für Mikroorganismen und land- und forstwirtschaftliche Nutzung. Böden bestehen aus Mineralen und organischen Substanzen. Sie enthalten Minerale, von denen vor allem die Tonminerale die Funktionen maßgeblich bestimmen.

Um die Zusammenhänge ihrer Funktionen verstehen zu können, müssen Bodenprozesse verstanden werden. Es ist wichtig, die Mengenanteile und die Eigenschaften der Minerale zu kennen. Normalerweise sind in Böden etwa fünf bis 15 Minerale nebeneinander vorhanden. Die qualitative (welche Minerale?) und quantitative (wie viele Minerale?) Mineralanalytik ist kompliziert, fehlerträchtig und arbeitsintensiv. Deshalb beschäftigen sich Wissenschaftler der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und des Landesamts für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) mit der Entwicklung und Standardisierung von Verfahren zur Quantifizierung von Bodentonmineralen.



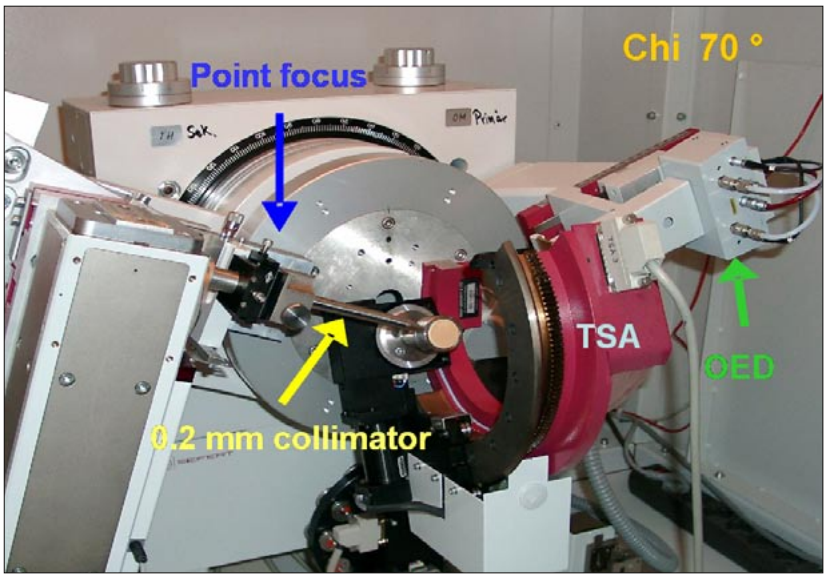
Die Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme gibt Auskunft auf die Frage: Wie stark ist die Einregelung?

Zwei Projekte mit dieser Zielsetzung wurden in Zusammenarbeit mit der Universität Halle/Saale und der Technischen Universität Freiberg/Sachsen sowie der RWTH Aachen erfolgreich abgeschlossen.

Gemeinsam gelang es, Modelle zu entwickeln, mit denen quellfähige Tonminerale quantifiziert werden können. Dazu werden die blättchenförmigen Minerale mehlfein gemahlen und mit möglichst wenig Vorzugsausrichtung in eine Messapparatur eingebaut. Schwierig ist daran, dass die millionstel Millimeter kleinen elementaren Baueinheiten (Kristallite) nicht exakt parallel zueinander liegen. Dieser in der Natur hergestellte Zustand ist vergleichbar mit einem Stapel Spielkarten, die seitlich angestoßen wurden. Es liegen dann zwar die Flächen zweidimensional parallel zueinander, aber für die dritte Dimension ist keine genaue Vorausberechnung möglich, da jede Karte um einen zufälligen Winkel gegenüber der jeweils unteren verdreht sein kann. Der Fachbegriff hierfür lautet turbostratische Fehlordnung. Für ein physikalisches Auswerteverfahren (Rietveldmethode) ist dies eine knifflige Ausgangssituation.

Das Problem konnte jedoch gelöst werden. Für die Minerale der „Smektitgruppe", also der häufigsten quellfähigen Tonminerale, wurde mit Hilfe von Programmierungsentwicklungen ein Realstrukturmodell zur Beschreibung der Anordnung entwickelt. Die Promotionsarbeit darüber von Dr. Kristian Ufer wurde 2005 von der Deutschen Ton- und Tonmineralgruppe (DTTG) mit dem Karl-Jasmund-Preis wissenschaftlich ausgezeichnet.

In dem Projekt mit der Universität Halle/Saale wurde ein anderer Ansatz zur Quantifizierung von Tonmineralen unter die Lupe genommen. Hierbei wird die genaue Parallelität von blättchenförmigen Tonmineralen studiert. Auch mit solchen „Texturpräparaten" kann quantifiziert werden. Jedoch wurde hier schon seit Jahren über den physikalischen Sinn der Auswertetechnik diskutiert. Die Tonmineralblättchen sind nämlich alle unterschiedlich groß, die typischen Durchmesser reichen von millionstel bis tausendstel Millimeter.



Entwicklung der Messmethode.

Manche der Minerale sind zudem durch Verwitterung ausgefranst, andere eher leistenförmig.

Im Laufe des Projektes gelang es erstmals, die Texturierung von quellfähigen Tonmineralen zu messen. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass sich verschiedene Tonminerale in Mischungen so verhalten, dass die Textur immer anders ist, wenn man von einer Probe zur nächsten wechselt. Große Minerale wirken dabei oft so, dass sie kleinere Minerale, die sich eher schlecht einregeln, zu einer besseren Einregelung „zwingen". Sehr kleine Minerale sind derart flexibel, dass sie nicht wie erhofft überwiegend parallel zur Oberfläche eines Analysepräparates liegen.

Die Projektergebnisse haben gezeigt, dass Methoden, die davon ausgehen, dass die Minerale immer die gleiche gute oder schlechte Textur haben, nicht funktionieren können.

Beide Arbeiten sind wichtig, um zu erkennen, welche Grenzen und Möglichkeiten diese Methoden haben. Der Vorteil der Methodenentwicklungen besteht darin, dass die Qualität der Quantifizierungsergebnisse dieser für die Eigenschaften von Böden so wichtigen Minerale nun nachvollziehbarer wird, und dass mehr Bodenproben quantitativ untersucht werden können. Damit wurde ein wichtiger Grundstein gelegt, um in Zukunft Prozesse besser nachvollziehen zu können.

Die BGR wird dieses Wissen nutzen, um zusammen mit dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) im Rahmen der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) das Projekt „Klassifikation der Ausgangssubstrate nach dem Mineralbestand" zu begleiten.

Gesetze brauchen wissenschaftliche Grundlagen: **Schwermetalle in Böden**

Seit 1998 ist in Deutschland das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (kurz Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG)) in Kraft. In Verbindung mit dem Gesetz wurde eine Verordnung (Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)) verabschiedet. Darin wird die Durchführung des Gesetzes geregelt, indem z. B. Anforderungen an die Untersuchung und Bewertung von Flächen mit dem Verdacht einer Bodenkontamination konkretisiert werden oder Anforderungen an die Vorsorge gegen schädliche Bodenbelastungen festgelegt werden.

Bereits bei der Zustimmung zu der Verordnung hatte der Bundesrat beschlossen, die festgeschriebenen Vorsorgewerte aufgrund von Erfahrungen und fortschreitendem wissenschaftlichen Kenntnisstand zu überprüfen und ggf. zu ändern (BR-Drs. 244/99).

Vorsorgewerte

Bodenwerte, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht.

(BBodSchG, § 8, Abs. 2)

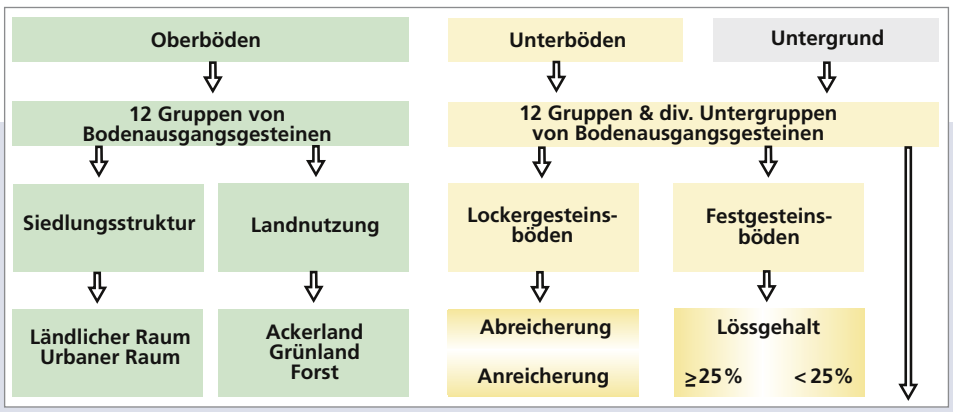
Vor diesem Hintergrund wurden in den zurückliegenden Jahren von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe umfangreiche geowissenschaftliche Arbeiten zur Ableitung von flächenrepräsentativen Hintergrundwerten für ausgewählte Spurenelemente (Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei und Zink) in Ober- und Unterböden durchgeführt.

Hintergrundwerte

Hintergrundwerte sind repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes oder einer Stoffgruppe in Böden.

(Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LA-BO) 2003)

Hierzu wurden Konzepte entwickelt, nach welchen Kriterien Gehalte von Spurenelementen in Böden sinnvollerweise unterschieden werden sollten. Anschließend wurden die entwickelten Konzepte anhand von ca. 5 000 bis 8 000 bodenkundlichen Profilbeschreibungen der Bundesländer und der BGR umgesetzt und die ermittelten Hintergrundwerte unter Verwendung der aktualisierten Version einer nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte im Maßstab 1 : 1 000 000 flächenhaft dargestellt.



Stratifizierungskonzept zur Ableitung von Hintergrundwerten in Ober- und Unterböden sowie im Untergrund.

Von den so erstellten Übersichtskarten für typische Spurenelementgehalte in Ober- und Unterböden werden auf der nächsten Seite die Ergebnisse für Blei (Pb) und Nickel (Ni) dargestellt. Blei soll dabei als Beispiel für ein Element dienen, das vor allem durch menschliche Aktivitäten in unsere Umwelt gelangt („anthropogenes" Leitelement) und Nickel für ein Element, welches überwiegend gesteinsbedingt in unserer Umwelt vorliegt („geogenes" Leitelement).

Das wissenschaftliche Konzept

Die Faktoren, die Elementgehalte von Spurenstoffen in Böden beeinflussen, sind aus zahlreichen Untersuchungen hinreichend bekannt. Da Böden sich durch Verwitterung aus Gesteinen entwickeln, werden Hintergrundwerte für Spurenelemente primär nach Bodenausgangsgesteinen (BAG), im Falle der Unterböden zusätzlich nach BAG-Untergruppen unterschieden. Hierfür stehen aus der Bodenübersichtskarte abgeleitete Informationen über die flächenhafte Verbreitung von zwölf Gruppen von Bodenausgangsgesteinen zur Verfügung. In der untergeordneten Ebene erfolgt für Oberböden eine Unterteilung nach siedlungsstrukturellen Räumen (urbane/ländliche Räume) sowie nach Hauptlandnutzungsarten (Ackerland, Grünland, Wald, sonstige), für Unterböden nach Locker-/Festgesteinsböden.

Weiterhin wird bei der Ableitung von Hintergrundwerten in Unterböden berücksichtigt, dass während der Eiszeiten weite Teile Deutschlands (vor allem in den Festgesteinsregionen) mit einem mehr oder weniger mächtigen Lössschleier bedeckt wurden. Darum wird im Falle der Festgesteinsböden bei Unterböden zusätzlich nach dem Grad der Lössbeimengung unterschieden, während bei Lockergesteinsböden An- und Abreicherungshorizonte unterschieden werden, die bei unterschiedlichen Bodenbildungsprozessen (pedogenetische Prozesse) eine Rolle spielen.

Auf der o. g. Kartengrundlage wurden die stratifizierten Profilinformationen mit der nach Hauptnutzungsarten differenzierten Karte der Bodenausgangsgesteinsgruppen verschnitten. Um eine dem Maßstab angemessene Repräsentanz zu erreichen, erfolgte die Verschneidung unter der Maßgabe, dass Punkt- und Flächeninformation hinsichtlich des Bodenausgangsgesteins und der Flächennutzung übereinstimmen. Zudem sollten die Häufigkeitsverteilungen der Bodenarten bzw. -typen der jeweiligen Stichproben mit den für die entsprechenden Legendeneinheiten charakteristischen Verteilungen als Maß für die inhaltliche Repräsentanz übereinstimmen. Es wurden Stichproben mit einem Umfang von $n \geq 20$ ausgewertet.

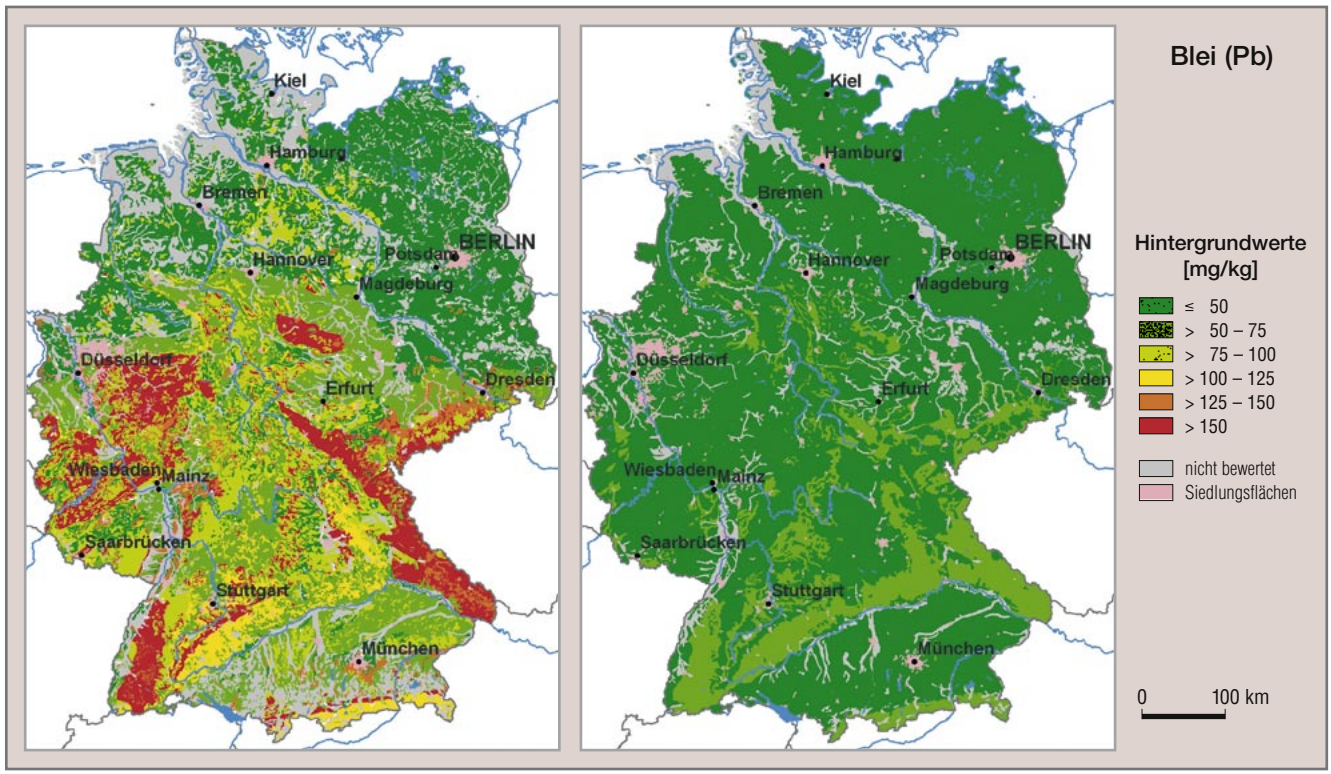
Das Ergebnis

Im Ergebnis können länderübergreifende Hintergrundwerte für Ober- und Unterböden sowie den Untergrund von denjenigen anorganischen Spurenstoffen vorgelegt werden, die in der BodSchV hinsichtlich der Vorsorgewerte geregelt werden. Zur Charakterisierung der abgeleiteten Hintergrundwerte werden entsprechend den Empfehlungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) die zugrunde liegende Anzahl an Profilen, der 50. Perzentilwert (Median) und der 90. Perzentilwert angegeben. Die Auswertungen beziehen sich auf die Totalgehalte der angegebenen Stoffe.

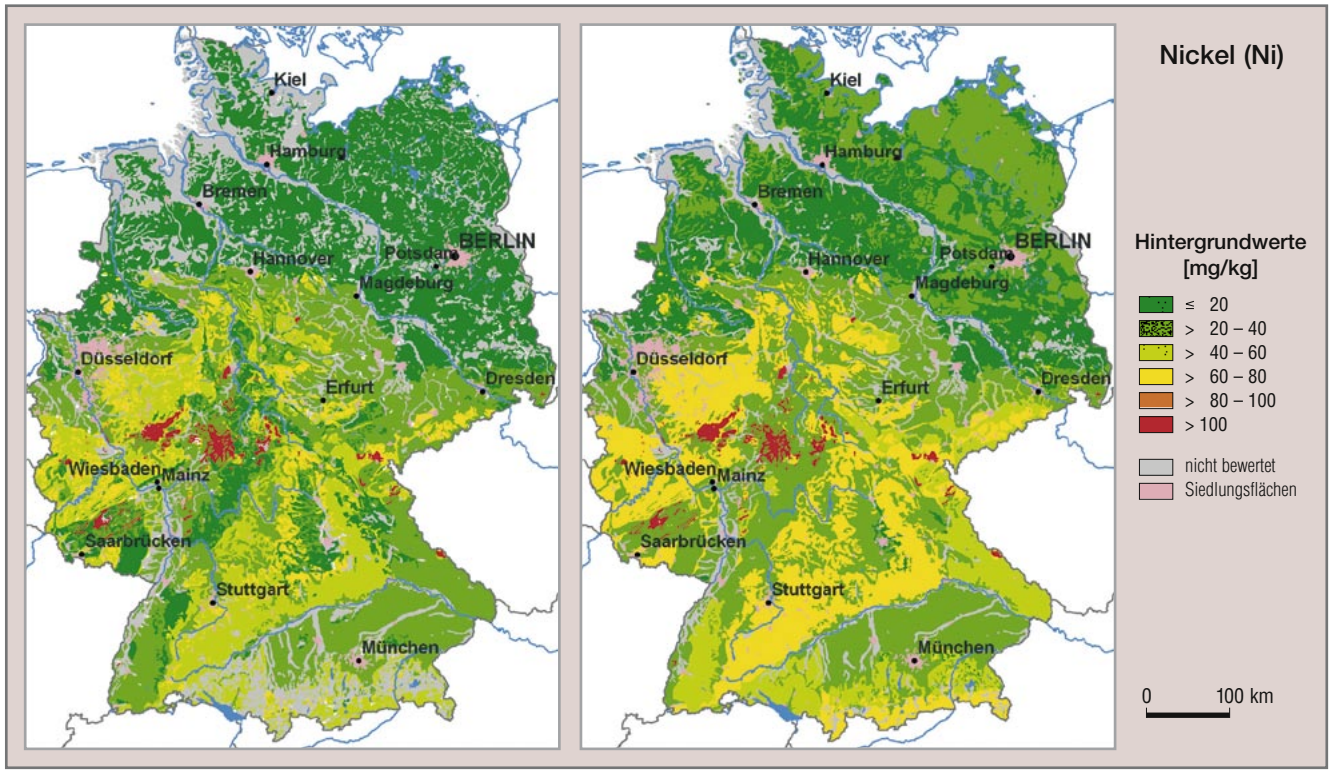
Mit den durch die bodenkundlichen Profilbeschreibungen der Bundesländer deutlich erhöhten Stichprobenumfängen konnte eine nahezu flächendeckende Belegung von bundesweit relevanten Legendeneinheiten mit Hintergrundwerten für die o. g. Spurenelemente erzielt werden. Wenn man beispielhaft die 90. Perzentilwerte der Verteilungen von Blei- und Nickelgehalten in Ober- und Unterböden als Karte darstellt, werden die typischen Verteilungsmuster für stärker anthropogen oder geogen beeinflusste Elemente deutlich.

Die Bleigehalte liegen in Oberböden mit wenigen Ausnahmen (z. B. Lias-Tonstein) deutlich über denen in Unterböden. Dabei lassen sich als Folge der gleichsam auskämmenden Wirkung der Wälder für Luftpfad getragene Spurenelemente die höchsten Gehalte in den Oberböden unter Forst in den Mittelgebirgen nachweisen. In den Unterböden differenzieren die Bleigehalte vergleichsweise wenig (Ausnahme: Lias-Tonstein), die Böden über Festgestein weisen tendenziell doppelt so hohe Gehalte an Blei wie die Lockergesteinsböden des Tieflandes auf.

Für Nickel als geogenes Leitelement lassen sich umgekehrte Verhältnisse aufzeigen: die Unterböden weisen im Vergleich zu den Oberböden vor allem im Festgesteinsbereich deutlich höhere Gehalte auf. Die höchsten Ni-Gehalte werden für die Gruppe der basischen Magmatite und Metamorphite (BAG) ausgewiesen. In dieser BAG-Gruppe wird auch der Verdünnungseffekt durch die Lössbeimengung offensichtlich: Die höchsten Nickelgehalte finden sich im lössfreien Untergrund, gefolgt von den lössarmen Unterböden, den lössreichen (oberflächennahen) Unterböden und den Oberböden. Trotz der Verdünnung durch die Lössbeimengung prägen sich die geogen erhöhten Ni-Gehalte deutlich bis in die Oberböden durch. Nutzungsbedingte Gehaltsunterschiede in den Oberböden sind im Vergleich zu den geogen bedingten Unterschieden



Perzentilwerte der Bleigehalte in Ober- und Unterböden.



Perzentilwerte (klassiert) der Nickelgehalte in Ober- und Unterböden.

marginal und uneinheitlich. Die Lockergesteinsböden des Tieflandes differenzieren vergleichsweise wenig, weder zwischen den BAG-Gruppen noch innerhalb der BAG-Gruppen zwischen Ober- und Unterböden.

Das Fazit

Mit dem entwickelten Stratifizierungskonzept lassen sich auf der Grundlage einer deutlich verbesserten Datenlage im bundesweiten Maßstab flächendeckend plausible Hintergrundwerte ableiten. Mit den Ergebnissen erfolgt die allgemeine Beschreibung des stoffbezogenen Bodenzustandes, die als Beratungsgrundlage im Hinblick auf gesetzgeberische Maßnahmen notwendig ist. Der Bezug zur Bodenschutzgesetzgebung steht dabei im Vordergrund. Hintergrundwerte dienen hierbei der Plausibilitätsprüfung im Rahmen der Ableitung von Vorsorgewerten und stellen eine wesentliche Grundlage für die Begründung, Fortschreibung und Harmonisierung von Regelungen zur Begrenzung von Stoffeinträgen dar.

So sind Experten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in verschiedenen Themengruppen an Beratungen beteiligt, die die Novellierung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und der Bundes-Bodenschutzverordnung vorbereiten. Über den Bereich der Vorsorge hinaus finden Hintergrundwerte bei Regelungen Anwendung, die sich aus Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden ergeben (§12 BBodSchV); ein Themenfeld, welches unmittelbar Auswirkungen auf Akteure im Handlungsbereich des Wirtschaftsressorts hat.

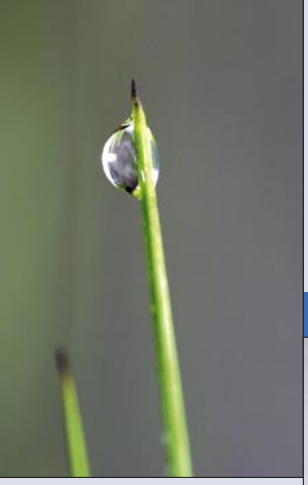
Zukünftig ist vorgesehen, die Datenlage zu typischen Stoffgehalten in Böden weiter zu verbessern (z. B. im Zusammenhang mit der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)) und zusätzliche Elemente (z. B. As, Se, Mo, Sb, U) einzubeziehen.

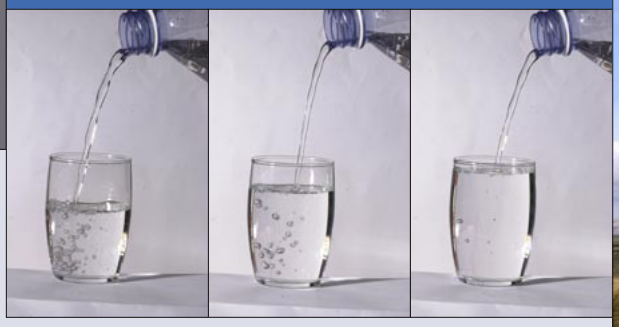


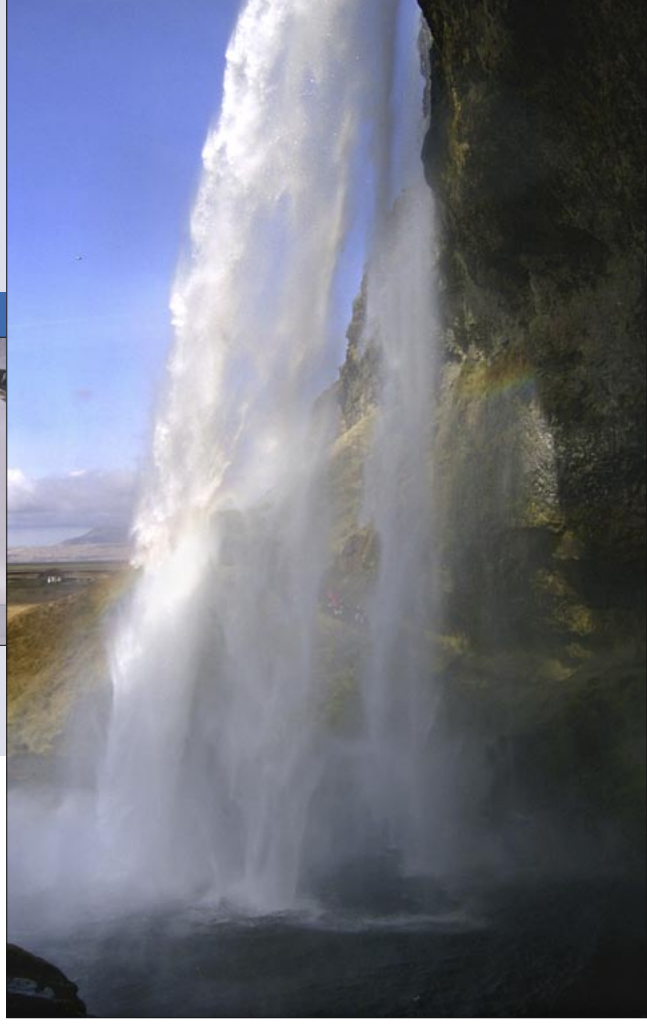


Georessource Wasser

Wasser







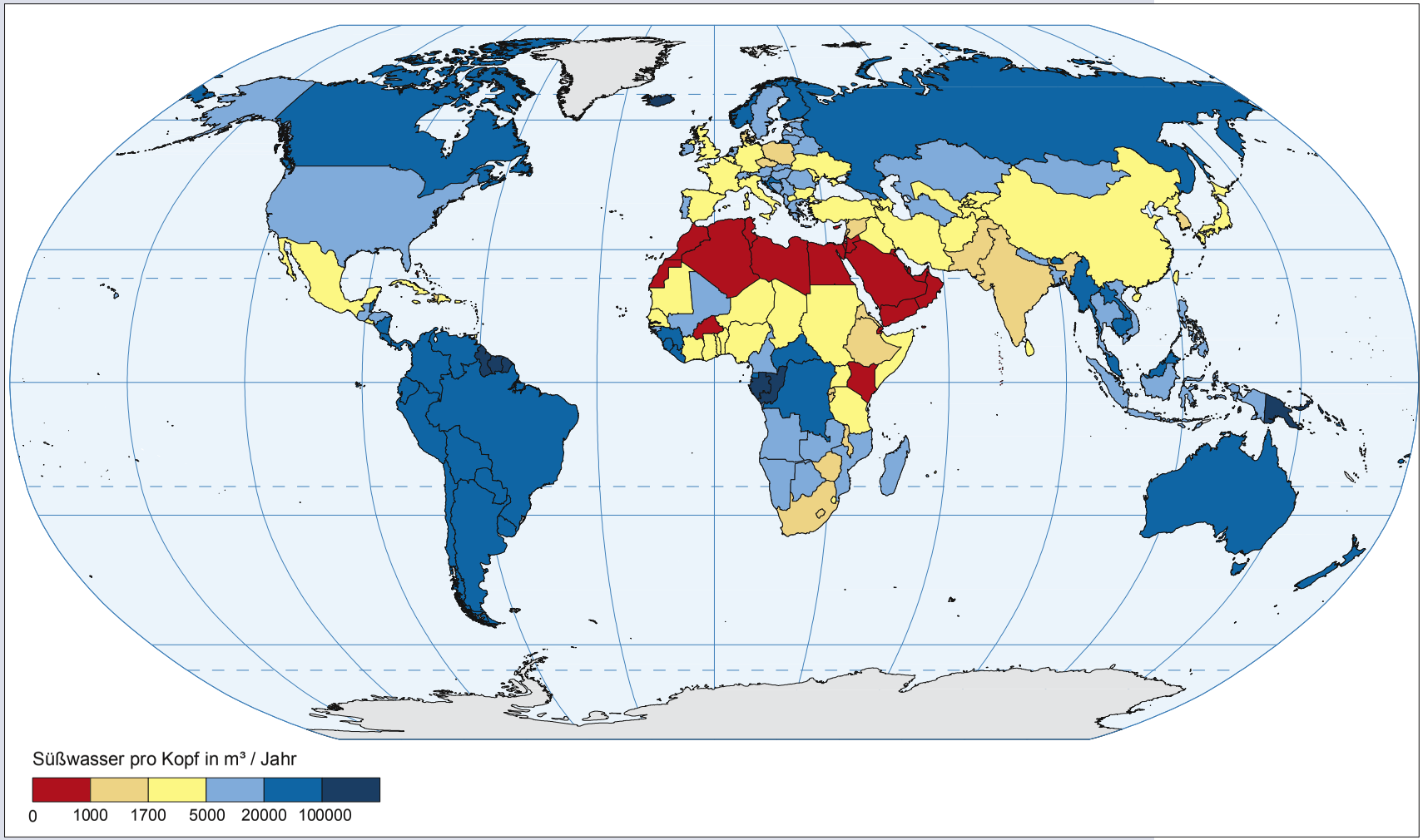
Geht unser **Trinkwasser zur Neige?**

In letzter Zeit ist in den Medien immer wieder von einer weltweit drohenden Wasserkrise die Rede. Auch im ersten Weltwasserentwicklungsbericht der Vereinten Nationen liest man davon. Wird unser Trinkwasser wirklich knapp?

Nicht ohne Grund wird die Erde als blauer Planet bezeichnet, denn rund 71 % der Erdoberfläche sind von Wasser bedeckt. Berechnungen ergaben die unvorstellbare Menge von rund 1,4 Milliarden km^3 Wasser. Allerdings ist der größte Teil davon Salzwasser und nur rund 2,5 % der globalen Wasservorkommen (ca. 35 Millionen km^3) sind Süßwasser.

Von diesen Süßwasservorräten kann nur ein Teil genutzt werden, da etwa 69 % aus Eis und Schnee bestehen, die vor allem in den Polargebieten und Gebirgsregionen gebunden sind. Der Rest verteilt sich auf Grund- und Oberflächenwasser. Der Anteil von Oberflächenwasser in Feuchtgebieten, Flüssen und Seen beträgt weniger als 0,5 % der weltweiten Süßwasservorkommen, während unterirdisches Grundwasser mit mehr als 30 % (ca. 10,5 Millionen km^3) die bedeutendste verfügbare Süßwasserreserve darstellt.

Wie viel Wasser steht nun weltweit nachhaltig, d. h. ohne die Ressource zu übernutzen, zur Verfügung? Die Menge von rund 43 000 km^3, die jährlich ins Meer abfließt, wird als erneuerbare weltweite Süßwasserressource betrachtet. Auf die Bevölkerungszahl von ca. 6,6 Milliarden im Jahre 2006 umgerechnet, ständen theoretisch jedem Menschen 6 500 m^3 Süßwasser pro Jahr zur Verfügung. Im Jahr 2025 wären es bei einer prognostizierten Weltbevölkerung von 7,9 Milliarden immer noch 5 400 m^3 Süßwasser pro Person.



Verbreitungskarte der erneuerbaren Süßwasservorkommen.

Diese Zahl von durchschnittlich über 5000 m^3 Süßwasser pro Person und Jahr täuscht allerdings einen Überfluss vor, der durch die regionale Verteilung der Wasserressourcen relativiert wird. Schon heute leiden die Menschen in knapp 30 Ländern unter Wassermangel, da ihnen pro Einwohner jährlich weniger als 1000 m^3 Wasser zur Verfügung stehen. Die meisten dieser Länder liegen im nördlichen Afrika und auf der arabischen Halbinsel. Durch Bevölkerungswachstum, wirtschaftliche Entwicklung und Klimawandel wird sich diese ungleiche Verteilung in den kommenden Jahrzehnten weiter verschärfen. So werden im Jahr 2025 nach Schätzungen der UNESCO etwa 1,8 Milliarden Menschen in Ländern oder Regionen mit absolutem Wassermangel leben.

Von einer weltweiten Wasserkrise kann trotz alledem keine Rede sein. Selbst in den wasserarmen Regionen der Welt gibt es ein riesiges Einsparpotenzial in der Wassernutzung. Ein effektiverer Einsatz des Wassers ebenso wie ein besserer Schutz der Grundwasserressourcen kann hier zu einer deutlichen Entspannung der Lage beitragen. Gegenwärtig stellen falsches oder fehlendes Wassermanagement in Form von unangepasster Nutzung, fehlende Fachkenntnis über wassersparende Bewässerungsmethoden und den Schutz der Ressourcen sowie Finanz- und Infrastrukturmängel meist ein größeres Problem dar als die eigentliche physische Wasserknappheit.

Es gibt viele Ansätze und Methoden, die Bewirtschaftung zu verbessern und somit der Wasserknappheit entgegenzuwirken. Dies reicht von der Feststellung nutzbarer Grundwasservorkommen über die Entwicklung und Umsetzung von zukunftsweisenden Managementstrategien bis zur Initiierung gesetzlicher Schutz- und Nutzungsmaßnahmen. In diesem Sinne berät die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe die Bundesregierung auf dem Wassersektor, leistet grundwasserbezogene Beiträge zum integrierten Wasserressourcenmanagement in Partnerländern und unterstützt national und international Maßnahmen zur Sicherung der Ressource Wasser.

Im Rahmen von Projekten der technischen Zusammenarbeit auf dem Sektor Grundwasser wird die Bundesregierung außerdem bei der Erreichung des Millennium-Entwicklungsziels unterstützt, bis 2015 den Anteil der Menschen zu halbieren, die keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser haben.

- In Jordanien wurde ein landesweites Grundwassermodell erstellt, das als Grundlage für ein nachhaltiges Wassermanagement dient und somit einen entscheidenden Beitrag zur Sicherung der für das Land überlebenswichtigen Wasserressource leisten kann.
- In Namibia führte ein BGR-Projekt zur Grundwassererkundung zum Auffinden bisher unbekannter Vorkommen im Nordosten des Landes, die nun zur langfristigen Versorgung der ländlichen Bevölkerung genutzt werden können.
- In Kirgisistan führt die Sicherung uranhaltiger Abraumhalden bei Mailuu-Suu zu einem verbesserten Grundwasserschutz in einer der am stärksten verschmutzten Regionen der Welt.

Ein Beispiel für Aktivitäten der BGR in Deutschland ist die Installierung eines Grundwasserdauermonitorings auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz Altmark in der Colbitz-Letzlinger Heide. Hierdurch trägt sie zur nachhaltigen Sicherung der Wasserversorgung Magdeburgs und der nördlich angrenzenden Landkreise bei.

Schließlich werden im Projekt WHYMAP gemeinsam mit der UNESCO und anderen auf dem Wassersektor weltweit tätigen Institutionen erstmals die globalen Grundwasservorkommen in einer auch für Nicht-Wasserfachleute verständlichen Form kartiert, bewertet und als Karte dargestellt.

Grundwasserressourcen-Management
in Jordanien

Das landesweite Grundwassermodell als Basis für den „National Water Master Plan“

Das Haschemitische Königreich Jordanien gliedert sich mit dem Hochland, dem Senkungsgraben des Jordan und der Wüste in drei physiographische Regionen und ist von einer Kombination aus mediterranem und trockenem Wüstenklima geprägt.

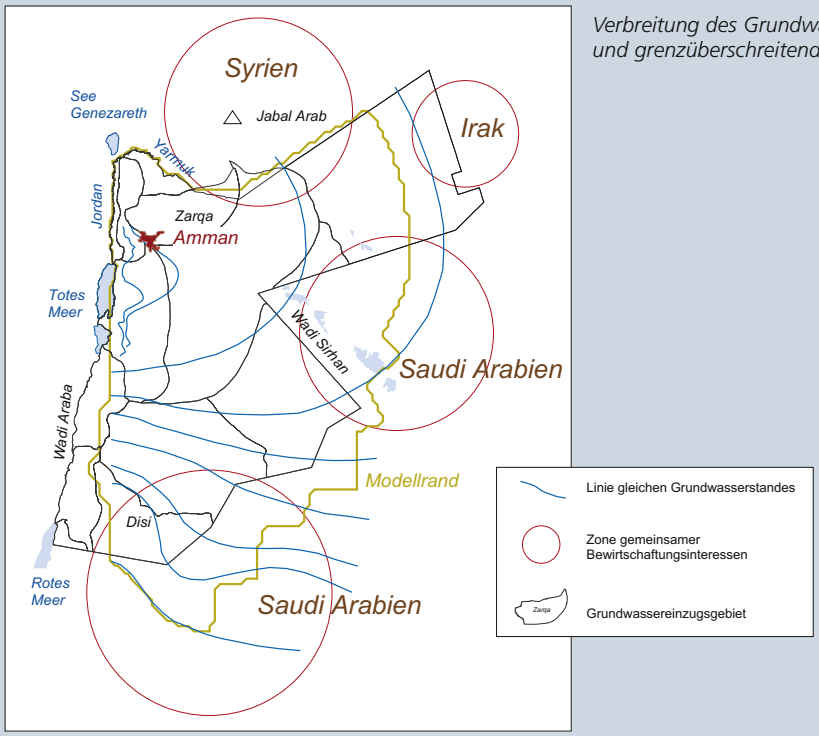
Bei einer Gesamtfläche von 89 206 km^2 wird das Land von 5,5 Millionen Jordaniern bewohnt (2005; Department of Statistics; zuzüglich 0.8 Millionen irakische Flüchtlinge 2006; lt. UNHCR). Infolge der unterschiedlichen klimatischen und damit wasserrelevanten Lebensbedingungen konzentriert sich der Großteil der Bevölkerung auf wenige Ballungsräume, insbesondere aber auf den Raum Amman-Zarqa. Allein im Großraum von Amman leben 1,9 Millionen Menschen. Da Jordanien mit ca. 3 % eine der höchsten Bevölkerungswachstumsraten weltweit hat, wird die ausreichende Wasserversorgung auch ein zentrales Thema der Zukunft bleiben.

Im Vergleich mit allen anderen Ländern gehört Jordanien zu den zehn Ländern mit den geringsten pro Kopf verfügbaren und erneuerbaren Wasservorräten und erleidet seit vielen Jahren eine Wasserkrise. Obwohl Jordanien mit täglich ca. 90 Litern pro Kopf den niedrigsten Wasserkonsum im Nahen Osten hat, verbraucht das Land dennoch mehr Wasser als auf natürliche Weise durch Niederschläge (Grundwasserneubildung) und Flusswasser (Jordan und Yarmuk) nachgeliefert wird. In zunehmendem Maße werden nunmehr auch die nichterneuerbaren fossilen Grundwasservorräte ausgebeutet.

Da der Hauptanteil des Wasserbedarfs durch Entnahmen aus dem erneuerbaren Grundwasser gedeckt wird, führt diese Übernutzung zu erheblichen Absenkungen des Grundwasserspiegels mit den Konsequenzen des Trockenfallens von Brunnen und Feuchtbiotopen. Konkurrierende Nutzungsansprüche von Bevölkerung, Landwirtschaft und Industrie gefährden die sichere landesweite Wasserversorgung auch unter dem Aspekt der Wasserqualität: infolge der Übernutzung dringt salzhaltiges Wasser bereichsweise in Süßwasserleiter ein, und der Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden in der Landwirtschaft sowie die zum Teil noch ungeregelte Entsorgung von Müll und Abwasser stellen ein hohes Verschmutzungsrisiko für das Grundwasser dar.

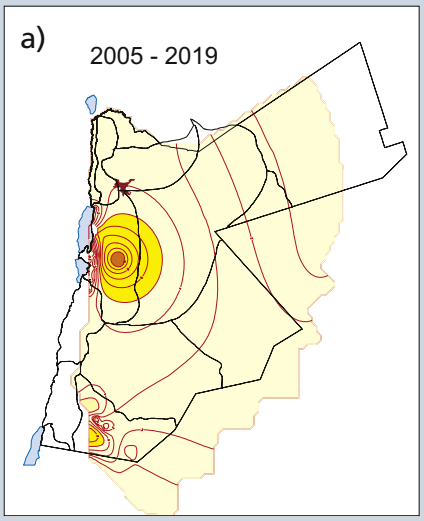
Der Schutz der Wasserressourcen vor Verunreinigung und Übernutzung ist Kernpunkt der BGR-Kooperationsprojekte mit den Wasserbehörden Jordaniens. Seit ca. 30 Jahren beteiligt sich die BGR am Ausbau entsprechender Fachkompetenzen, u. a. bei der Erkundung und Bewertung von Grundwasservorkommen in ganz Jordanien. Ein wesentliches Planungsinstrument zur nachhaltigen Bewirtschaftung und zum Schutz der Grundwasserressourcen in Jordanien stellt der „National Water Master Plan“ (NWMP) dar, der von der BGR in den Bereichen hydrogeologische Grundlagen und Wasserbilanzen unterstützt wird. Die Wasserbilanzen werden aktuell aus einem landesweiten Grundwassermodell berechnet, welches BGR und das Ministerium für Wasser und Bewässerung gemeinsam entwickelt haben.

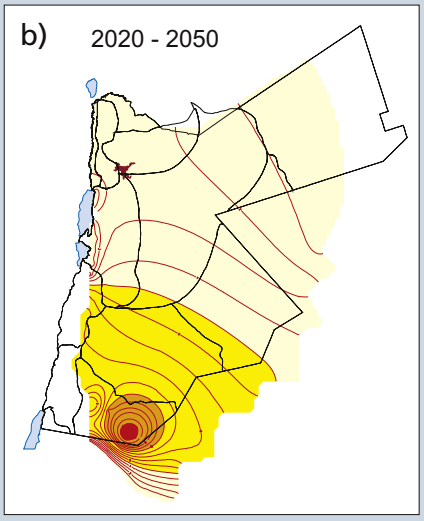
Das Grundwassersystem in Jordanien ist Teil eines regionalen Systems, das sich in den Anrainerstaaten Syrien, Irak und Saudi Arabien fortsetzt. Es besteht aus einer komplexen Abfolge von Basalten, Kalk- und Sandsteinen, die durch gering durchlässige bis nahezu undurchlässige Gesteinsformationen (Mergel, Ton und Schiefer) voneinander getrennt sein können. Näherungsweise lässt sich das Grundwassersystem in zwei Fließsysteme aufgliedern. Das obere System aus Basalten und Kalksteinen wird durch die jährlichen Niederschläge in den Hochlagen des Landes gespeist und entwickelt eine oberflächennahe Grundwasserdynamik mit natürlichen lokalen Abflüssen und Quellaustritten; der Grundwasserstrom ist generell auf die Geländedepression des Wadi Sirhan im Osten des Landes ausgerichtet.

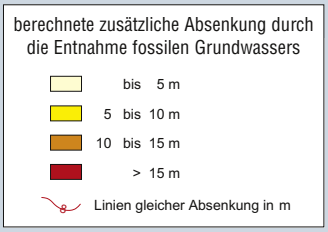


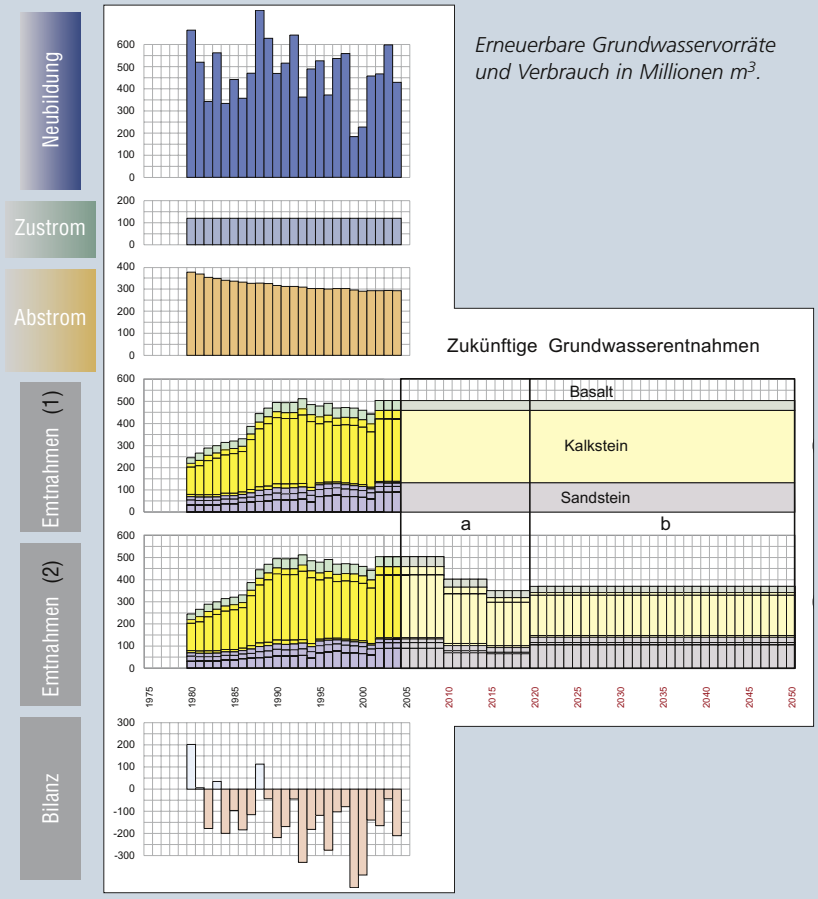
Verbreitung des Grundwassers in Jordanien und grenzüberschreitende Situation.

Prognosen zur Nutzung des fossilen Grundwassers.









Erneuerbare Grundwasservorräte und Verbrauch in Millionen m³.

Das tiefe System der Sandsteinformationen ist mit fossilem Wasser gefüllt, das im Wesentlichen vor Jahrtausenden unter den damaligen Klimabedingungen (Feuchtzeit) gebildet wurde. Dieser Grundwasserstrom ist generell auf die Tieflagen des Jordangrabens ausgerichtet und speist letztlich in das Tote Meer ein, dessen Wasserspiegel bei ca. 400 m unter Weltmeeresniveau liegt. Lokal zutage tretende Partien des Sandsteinkomplexes erfahren heute nur im Nordteil des Landes eine Grundwasserneubildung; die großen Sandsteinausstreichflächen im Süden des Landes stellen unter dem heutigen dort vorherrschenden Zustand der Dürre keine Grundwasserneubildungsgebiete mehr dar.

Das räumliche Grundwasserströmungsmodell bedeckt eine Fläche von ca. 100 000 km^2 und berücksichtigt zehn hydrogeologische Einheiten (Gesteinsformationen), die bis zu einer Tiefe von ca. 2 000 m abtauchen. Aus geohydraulischen Gründen wurden Teile Saudi Arabiens (Wadi Sirhan und Gebiete südlich der jordanischen Landesgrenze) mit in das Modell einbezogen – Wasser kennt keine politischen Grenzen.

Ausgehend von einer mit diesem Modell berechneten Grundwassersituation unter der Annahme nahezu natürlicher, idealerweise nicht von Förderaktivitäten beeinflusster Bedingungen, simuliert das Modell die Entwicklung des Grundwassersystems in Jordanien während der letzten drei Jahrzehnte unter Berücksichtigung der jeweiligen Niederschlagsereignisse und Grundwasserentnahmen.

Das anhand von Wasserstandsbeobachtungen und Abflüssen abgeglichene Modell stellt somit ein wesentliches Instrument dar, das geeignet ist, die aktuelle Grundwassersituation nachzubilden und darüber hinaus die Auswirkungen geplanter Strategien zur Grundwasserförderung zu prognostizieren. Die möglichen Auswirkungen werden in Form von Wasserspiegelabsenkungen und Grundwasserbilanzen (auch für ausgewählte Teilgebiete wie z. B. Verwaltungseinheiten oder Wassereinzugsgebiete) dargestellt. Exemplarisch wurden mit dem Modell bereits zwei Strategieszenarien simuliert, die sich an den Zukunftsplanungen des NWMP orientieren und die möglichen Auswirkungen bis zum Jahre 2050 vorausberechnen.

Alle wasserwirtschaftlichen Maßnahmen bedeuten eine Veränderung des Grundwassersystems und können grenzüberschreitende Auswirkungen haben. Daher verlangen Aktivitäten im großen Maßstab aus Gründen der Konfliktvermeidung nach überregionalen Vereinbarungen und nach einem Informationsaustausch auf internationaler Ebene. In diesem Zusammenhang sind insbesondere das Wadi Sirhan, die Südregion Jordaniens und im Norden der Basaltkomplex um den Jabal Arab von hohem bilateralen Interesse für eine gemeinsame Bewirtschaftung.

Im Hinblick auf die erneuerbaren Grundwasservorräte ist der jordanische Wasserhaushalt von einem dramatischen Defizit zwischen dem natürlichen Dargebot und dem Wasserverbrauch gekennzeichnet. Als Mittelwert aus den Jahren 1980 bis 2004 hat eine Niederschlagsmenge von 7400 Millionen m^3 (MCM) zu einer jährlichen mittleren Grundwasserneubildung von 470 MCM geführt; wobei die Extremereignisse von 700 bzw. 185 MCM in den Jahren 1988 und 1999 Jordaniens Abhängigkeit von den Jahresniederschlägen deutlich machen.

Das Wasserdargebot erhöht sich im Nordosten des Landes um den grenzüberschreitenden Grundwasserzustrom aus dem syrischen Bereich des Basaltkörpers an den Flanken des Jabal Arab (68 MCM/Jahr) und landesweit um weitere 42 MCM/Jahr, die im Modellgebiet als Rücklaufmengen aus der landwirtschaftlichen Bewässerung geschätzt werden.

Von diesen insgesamt 580 MCM/Jahr (im Mittel) verliert das Grundwassersystem im Laufe des Jahres Wassermengen auf natürliche Weise, zum Beispiel über Quellaustritte. Der natürliche Grundwasseraustritt hat sich – einhergehend mit dem allgemeinen Absinken des Grundwasserspiegels – mit stetigem Trend seit 1980 von knapp 400 auf unter 300 MCM/Jahr reduziert.

Die verbleibende Dargebotsmenge liegt weit unter der jährlichen Grundwasserentnahme aus dem Reservoir der erneuerbaren Ressourcen, die im Mittel 410 MCM beträgt. Damit ergibt sich in der Gesamtbilanz ein mittleres jährliches Defizit von 135 MCM (mit Spitzenwerten von 400 MCM in den niederschlagsarmen Jahren 1999 und 2000). Im Ballungsbereich von Amman-Zarqa allein beträgt das jährliche Defizit 50 bis 70 MCM.

Die zukünftige Entwicklung des Grundwassersystems in Jordanien wurde mit Modellrechnungen auf der Grundlage von verschiedenen Entwicklungsszenarien abgeschätzt. Bei einer fortschreitenden Übernutzung des erneuerbaren Grundwassers sind bis zum Jahre 2019 zusätzliche regionale Absenkungen des Grundwasserspiegels in der Größenordnung von fünf bis zehn Metern zu erwarten; entsprechende Umweltfolgen würden sich zwangsläufig einstellen.

Zur Vermeidung dieser Folgen sieht der National Water Master Plan eine Umstellung der Grundwasserförderung vor. Mit der modifizierten schrittweisen Reduzierung der Entnahmeraten aus den erneuerbaren Ressourcen sollen weitere Grundwasserabsenkungen verlangsamt und langfristig gestoppt werden. Zur Kompensation müssen andere Ressourcen bzw. Potenziale erschlossen werden: zum Beispiel durch die generelle Wassereinsparung (auch im landwirtschaftlichen Bereich über verbesserte Bewässerungstechniken) und durch die verstärkte Entnahme fossiler Grundwässer, die bereits jetzt 90 MCM im Jahr beträgt.

Gegenwärtig fließen jährlich ca. 200 MCM an fossilem Grundwasser als natürliche Entwässerung der Sandsteinkomplexe ungenutzt in das Tote Meer. Eine stärkere Nutzung dieser Wässer ist vorgesehen und wird bis zum Jahr 2019 zu einer regionalen Absenkung von ca. zehn Metern führen. Der verminderte Zufluss zum Toten Meer würde auch zu einer Absenkung des Seespiegels beitragen, der ohnehin schon durch die versiegenden Zuflüsse des Jordan-Flusses stetig absinkt. Eine weitere zusätzliche Absenkung des fossilen Grundwassers von ca. 20 Metern wird sich durch die geplanten intensiven Entnahmen im Disi-Gebiet bis 2050 einstellen.



Wadi-Wala-Damm: dieser Damm dient zur künstlichen Grundwasseranreicherung; Grundwasser wird wenige Kilometer stromab im Hidan-Brunnenfeld entnommen und nach Amman zur Trinkwasserversorgung gepumpt.

Mit **Hubschrauber** und **Geländewagen** **Grundwassererkundung** im Nordosten Namibias



Trockental am Rande der Namib.

Namibia, mit einer Landesfläche von etwa 825 000 km² rund 2,5 mal so groß wie Deutschland und mit zwei Millionen Einwohnern eines der am dünnsten besiedelten Länder des Kontinents, liegt in der trockensten Region des südlichen Afrikas. Die Hälfte des Landes gilt als arid. Wassermangelsituationen gibt es häufig, denn die Niederschläge fallen räumlich und zeitlich sehr ungleichmäßig.

Auf Wunsch der namibischen Regierung wurde von 2002 bis 2005 ein deutsch-namibisches Kooperationsprojekt zur Grundwassererkundung im Nordosten Namibias durchgeführt. Ziel war die Erkundung von ausgewählten potenziellen Grundwasserressourcen in Oshivelo, Caprivi und Omaheke in der östlichen namibischen Kalahari. Namibischer Projektpartner der BGR für die Grundwassersuche war das Department of Water Affairs (DWA) im Ministry of Agriculture, Water and Rural Development (MAWRD). Kriterium für die Auswahl der Untersuchungsgebiete waren akuter lokaler Wasserbedarf und eine realistische Chance auf Erfolg bei der Prospektion.

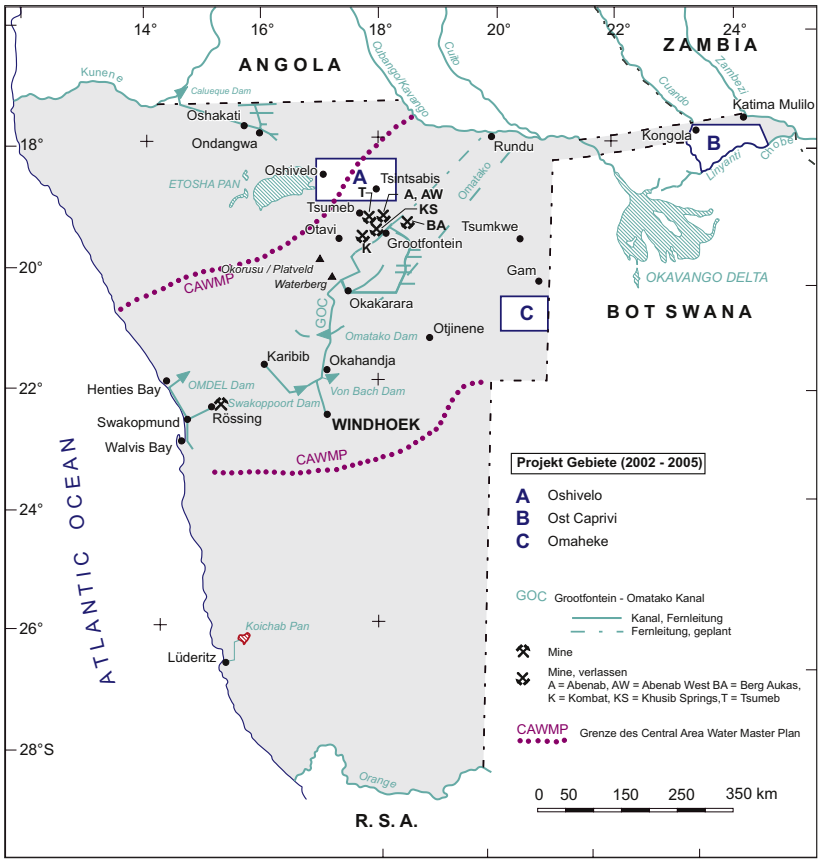
Die Regionalauswahl basierte vor allem auf den hydrogeologischen Erfahrungen der Partner. Eine Analyse der tektonischen und geologischen Großstrukturen anhand von Satellitenbildern führte zur Einengung der Messgebiete. Die BGR setzte zur Untersuchung der potenziellen Grundwasserleiter Widerstandsmessungen sowohl vom Hubschrauber als auch vom Boden ein. Während die Messungen aus der Luft flächendeckende, detaillierte Informationen bis in Tiefen von ca. 80 m unter Gelände lieferten, ergaben die Messungen am Boden punktförmige Aussagen bis zu einer Tiefe von ca. 400 m unter Gelände. Die Widerstandssondierungen am Boden wurden an eine Privatfirma vergeben, die Messungen vom Hubschrauber aus führte die BGR-Arbeitsgruppe für Aerogeophysik (2002/2003) eigenständig durch.



Blick vom Vogelfederberg in die Namib. Geländewagen mit Ausstattung für die Messung in der Wüste.

Die Ergebnisse der Messungen wurden mit Testbohrungen überprüft. Pumpversuche lieferten Aussagen zur Ergiebigkeit der nachgewiesenen Grundwasservorkommen und mit Isotopenanalysen an Wasserproben wurde Fragen zur Herkunft und zum Alter des Grundwassers nachgegangen. Alle Informationen flossen schließlich in hydrogeologischen Konzeptmodellen zusammen. Diese Modellvorstellungen über Genese und Hydraulik der Wasservorkommen bilden die Basis einer sinnvollen Steuerung der Wasserentnahme zur Sicherstellung einer nachhaltigen Nutzung.

Die Projektgebiete waren glücklich gewählt, und die Untersuchungen verliefen sehr erfolgreich. In Caprivi und in Omaheke wurden bisher unbekannte, ergiebige Vorkommen süßen Grundwassers nachgewiesen. Bei den Messungen in Oshivelo zeigte sich jedoch, dass der dort bekannte „Oshivelo-Artesian-Aquifer" nicht die von namibischen Hydrogeologen vermutete große Ausdehnung erreicht.



Übersichtskarte mit Lage der Projektgebiete.

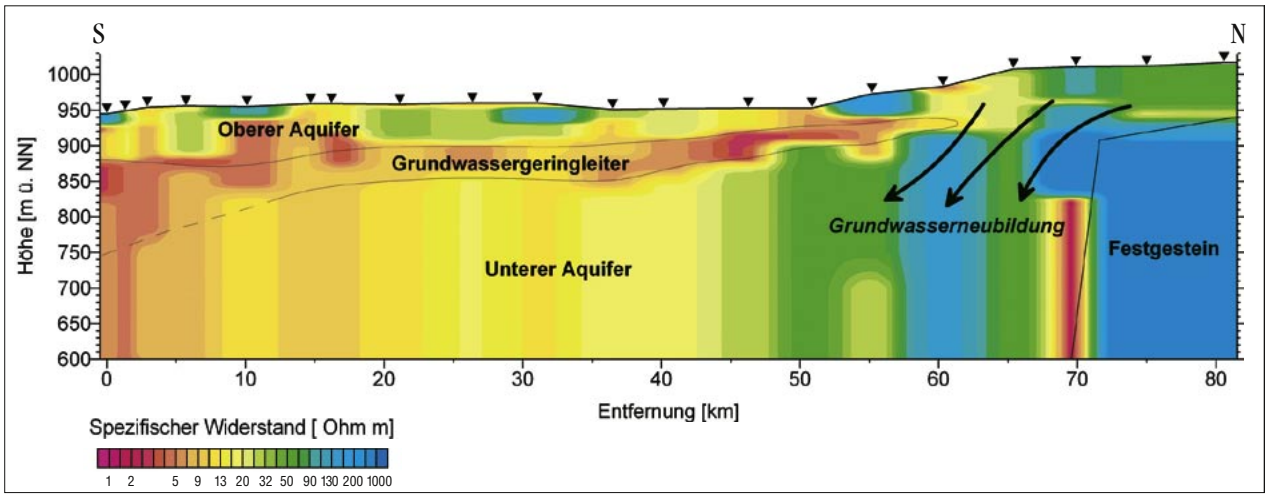
Ergebnisse der Untersuchungen in Caprivi

In Caprivi nutzt die Bevölkerung zur Wasserversorgung abseits der drei Grenzflüsse von jeher Süßwasserlinsen, die in einen oberflächennahen Aquifer mit vorherrschend brackigem und salzigem Wasser eingelagert sind. Diese kleinen Süßwasservorkommen werden während der dreimonatigen Regenzeit durch Niederschläge direkt gespeist; ihr Volumen ist aber zu klein, um eine ganzjährige Wasserversorgung zu ermöglichen. Dies spiegelt sich in der Verteilung der Bevölkerung in Caprivi wieder. Wegen der Versorgungssicherheit sind lediglich zwei schmale Streifen entlang der beiden Hauptverkehrswege von Kongola nach Katima Mulilo besiedelt. Nur hier kann im Notfall die Versorgung von Mensch und Vieh mit Tankwagen sichergestellt werden.

Das Ziel des Projektes in Caprivi war die Bestimmung der Lage und Größe der kleinräumigen Süßwasserlinsen. Für diese Aufgabe waren die horizontal hoch auflösenden Messungen vom Hubschrauber aus ideal geeignet. Beflogen wurde ein Streifen im Südosten Caprivis entlang der Grenze zu Botswana, in dem die Wasserversorgung besonders kritisch ist. Es konnten Süßwasser führende Zonen und isolierte Wasservorkommen nahe der Oberfläche nachgewiesen werden, deren Ausdehnung jedoch begrenzt ist. Versuchsweise durchgeführte Widerstandsondierungen am Boden außerhalb des Befliegungsgebiets ergaben dagegen deutliche Hinweise auf eine tief liegende, viel versprechende und bisher unbekannte Süßwasserressource.

Nachdem eine Reihe von Sondierungen dies bestätigte, wurden die weiteren Untersuchungen auf das neue Gebiet konzentriert. Es zeigte sich, dass unterhalb des bekannten, meist Brackwasser führenden Aquifers in Tiefen von über 100 m unter Gelände ein zweiter Aquifer existiert, der süßes Grundwasser führt. Vom oberen Aquifer ist dieser durch eine Stauschicht getrennt, und er steht unter erhöhtem hydrostatischen Druck. Die Existenz dieser bedeutenden Süßwasserressource wurde mit sechs Testbohrungen bestätigt. Damit ist der nördliche Teil des neuen Aquifers erkundet, seine genaue Verbreitung ist jedoch bisher noch unbekannt. Die geophysikalischen Sondierungen lassen ein allmähliches Anwachsen der Salinität des Grundwassers in Richtung Südost erwarten.

Der neu entdeckte Aquifer eröffnet neue Entwicklungsmöglichkeiten für Caprivi. Vorausgesetzt, weitere Untersuchungen zeigen, dass dieser Grundwasserleiter eine ausreichende Grundwasserneubildung erhält, ist erstmals eine flächenhafte Wasserversorgung großer Bereiche des östlichen Caprivi und damit die landwirtschaftliche Nutzung großer Flächen abseits der Hauptstraßen möglich. Auf kostspielige Alternativen wie eine Pipelineversorgung entlang des so genannten Golden Highways, deren Planung bereits weit fortgeschritten ist, könnte dann zumindest teilweise verzichtet werden.



Profilschnitt durch das Untersuchungsgebiet Caprivi.

Ergebnisse der Untersuchungen in Omaheke

In Omaheke wurde ein tektonischer Graben, der so genannte Eiseb-Graben, zur genaueren Untersuchung ausgewählt, weil er in weitem Umkreis die einzige realistische Chance für eine erfolgreiche Prospektion darstellte. Das Kernproblem der Grundwasserexploration in Omaheke ist die große Tiefe des Grundwasserspiegels. In der Umgebung des Eiseb-Grabens trifft man Grundwasser erst ab einer Tiefe von etwa 150 m unter Gelände an und da außerhalb des Grabens die Sedimentbedeckung meist geringer als 100 m mächtig ist, ist dort Grundwasser ausschließlich in den Klüften im Festgestein zu finden. Wassergefüllte Klüfte im Festgestein können jedoch in Tiefen von über 100 m unter Gelände mit keinem existierenden geophysikalischen Verfahren von der Oberfläche aus geortet werden.

Das Bohren von Brunnen wird damit zu einem Glücksspiel mit sehr geringen Erfolgschancen. In der Vergangenheit traf lediglich eine von zehn Bohrungen außerhalb des Grabens auf Wasser. Die Ergiebigkeiten von „erfolgreichen" Brunnen schwankten zwischen 1 m^3/h und 3 m^3/h. Innerhalb des Eiseb-Grabens konnte dagegen eine mächtige Sedimentfüllung erwartet werden. Da diese Sedimente fluviatil abgelagert sind, bestand zudem die Hoffnung, dass Gebiete innerhalb des Grabens existieren, in denen die Sedimentation bei einer besonders hohen Strömungsgeschwindigkeit erfolgte. Sie sollten sich heute durch eine besonders hohe Durchlässigkeit und Ergiebigkeit sowie durch süßes Grundwasser auszeichnen. Diese Zonen mit grobem Sediment waren das Ziel der Exploration.

Mit Widerstandssondierungen am Boden wurde das Gebiet des vermuteten Grabens systematisch untersucht. Die Messungen bestätigten die Interpretation der Satellitenbilder. Die anhand der Bilder lokalisierten Grabenränder zeichneten sich exakt in der Widerstandsverteilung des Untergrundes ab. Am nördlichen Grabenrand wurde zudem unterhalb des Wasserspiegels eine tiefreichende, lineare Struktur mit erhöhten spezifschen Widerständen entdeckt. Sie wurde als ehemaliger, heute verschütteter Flusslauf (paleo-channel) interpretiert und mit insgesamt drei Bohrungen getestet. Diese drei Bohrungen sind heute die drei produktivsten Brunnen, die im weiten Umkreis jemals erstellt wurden. Der ergiebigste dieser Brunnen liefert ungefähr 120 m^3/h Wasser, und auch die weiteren Brunnen sind um einen Faktor 10 bis 20 produktiver als alle vorher dort bekannten Brunnen. Dabei ist das geförderte Wasser von ausgezeichneter Qualität und entspricht in allen Aspekten den Anforderungen der namibischen Trinkwasserklassifizierung.

Das im Eiseb-Graben nachgewiesene Grundwasservorkommen kann dazu genutzt werden, die Wasserversorgung der lokalen Bevölkerung zu verbessern, deren Haupterwerb auf Viehwirtschaft basiert. Da einerseits die Grundwasserneubildung und andererseits die Weidekapazität der Omaheke-Steppe sehr gering sind, ist ein verantwortungsvolles Wassermanagement von größter Bedeutung. Da die Anzahl von Rindern, die jetzt mit Wasser versorgt werden könnten, bei weitem die Weidekapazität in der Kalahari überschreitet, ist die Gefahr einer Wüstenbildung durch Überweidung immens groß. Zur Sensibilisierung der lokalen Behörden und Entscheidungsträger und zur Erläuterung der Zusammenhänge wurde eine Reihe von Informationsveranstaltungen durchgeführt



Bohrmannschaft der DWA bei der Arbeit im Caprivi-Gebiet.

Ergebnisse der Untersuchungen in Oshivelo

Das Untersuchungsgebiet in Oshivelo lag am südlichen Rand des Cuvelai-Beckens, östlich von der Siedlung Oshivelo, nahe der am dichtesten besiedelten ländlichen Gegend Namibias. Mit den Untersuchungen sollte die horizontale und vertikale Ausdehnung des Oshivelo-Artesian-Aquifers bestimmt sowie seine Ergiebigkeit und die Qualität des Grundwassers charakterisiert werden. Der Oshivelo-Artesian-Aquifer war in einem früheren Untersuchungsprogramm des DWA entdeckt worden und man vermutete, dass er durch den Otavi-Dolomit-Aquifer mit Grundwasser aus dem Otavi-Bergland gespeist wird. Man hoffte, einen ausgedehnten und ergiebigen Grundwasserleiter anzutreffen. Die größten Optimisten hofften sogar darauf, das Grundwasser aus dem Oshivelo-Artesian-Aquifer für die Trinkwasserversorgung in den dicht besiedelten Regionen im Norden Namibias nutzen zu können.



Grundwassererkundungen mit dem Hubschrauber D-HBGR im Nordosten Namibias.

Die Hubschrauber-Messsonde kurz vor dem Start.



Wie in Caprivi wurde der Hubschrauber zur Erkundung des flacheren Untergrundes eingesetzt, während die tieferen Formationen mit Hilfe von Widerstandssondierungen am Boden untersucht wurden. Die Ergebnisse waren diesmal jedoch enttäuschend. Die horizontale Ausdehnung des Oshivelo-Artesian-Aquifers war bedeutend geringer als vermutet und lediglich in einem schmalen Streifen entlang des Ovambo-Flusses wurden bei Testbohrungen gute Ergiebigkeiten angetroffen. Darüber hinaus wurde unterhalb des Oshivelo-Artesian-Aquifers ein weiterer Sandstein-Aquifer entdeckt, dessen Grundwasser in nördlicher Richtung jedoch schnell versalzt.

Grundwassermonitoring in Kirgisistan

Die Sicherung, Verwahrung und Beseitigung radioaktiver Altlasten aus der Sowjetzeit ist ein zentrales Anliegen Kirgisistans zum Schutz seiner Bevölkerung. Die Hinterlassenschaften des ehemaligen Uranbergbau-Kombinates Mailuu-Suu, einer kleinen ehemaligen Bergbaustadt in den kirgisischen Bergen, stellen durch ihre unsachgemäße Lagerung und durch das hohe geologische Risiko – Erdbeben und Hangrutsche – ein überregionales Gefahrenpotenzial dar.



Der BGR-Experte vor Ort, Dr. Hagen Gunther Jung (2.v.r.) mit dem Leiter der örtlichen Sanitätsstation Nemad Mambetov (l.) und Einheimischen in Mailuu-Suu.

Aufgrund des Umfangs der Sanierungsarbeiten sowie der damit verbundenen Kosten in zweistelliger Millionenhöhe hat die Weltbank mit der kirgisischen Regierung im April 2003 das Programm „Natural Disaster Mitigation Project Mailuu-Suu" zur Sanierung der Uranbergbau-Altlasten initiiert. Die bestehende Gefährdung für die betroffene Bevölkerung soll dauerhaft auf ein verträgliches und kontrollierbares Maß reduziert werden.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ist seit Anfang 2006 bei den Aktivitäten der Weltbank mit einem eigenen, vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) finanzierten Projekt in Mailuu-Suu vertreten. Ein Geologe der BGR richtet vor Ort gemeinsam mit der Stadtverwaltung und dem zuständigen Ministerium in der Hauptstadt Bischkek ein System zur langfristigen Kontrolle des Grundwassers ein. Wissenschaftliche Unterstützung kommt dabei von den Experten für Radiologie des Zentrums für Strahlenschutz an der Universität Hannover.

Mailuu-Suu verfügt über eine zentrale Wasserversorgung, die sich aus dem gleichnamigen Fluss oberhalb des ehemaligen Bergbaugebietes speist. Dieses Wasser – aufbereitet in einem alten Wasserwerk – entspricht dem Trinkwasserstandard der WHO, erreicht aber leider nicht alle Bewohner des Tales. Es werden auch einige artesische Brunnen zur Wasserversorgung genutzt. Besonders im südlichen Teil, wo das Tal breiter wird, versorgen sich die Menschen der kleinen dörflichen Siedlungen oft mit selbst angelegten Schachtbrunnen. Aber welches Wasser ist trinkbar, wie viele Schadstoffe verbergen sich in der klaren Flüssigkeit, und mit welcher radioaktiven Belastung ist zu rechnen?



Wasseranalyse am Fuße einer Abraumhalde in der Nähe von Mailuu-Suu mit mobilem Equipment.



Wasseranalyse an einem artesischen Brunnen in Mailuu-Suu mit mobilem Equipment.

Damit die Einwohner von Mailuu-Suu Antworten auf diese Fragen bekommen, hat die BGR folgende Aufgaben übernommen:

- hydrogeologische Begleituntersuchung der Sanierungsarbeiten an Abraumhalden und Bewertung des Gefährdungspotenzials,
- Messkampagnen zur Dokumentation der Grund- und Oberflächenwasserqualität,
- Erarbeitung eines langfristigen Monitoringkonzeptes für Grundwasser und
- theoretische und praktische Schulung von lokalen Kräften für selbstständige Probennahme und einfache Feldanalytik.

Damit kann bewirkt werden, dass sich eine aktive ortsansässige Gruppe bildet, die das Wasser in Mailuu-Suu langfristig und selbstständig kontrolliert. Sie kann konkrete Warnungen aussprechen, wenn bestimmte Wasserquellen nicht mehr verwendet werden dürfen, weil sich deren Werte aufgrund eines Erdrutsches oder veränderter hydrologischer Bedingungen verschlechtert haben. Im Jahr 2007 wird die BGR gemeinsam mit den kirgisischen Partnern mindestens zehn feste Grundwassermessstellen entlang des Flusstales errichten.

Das Projekt trägt mit der Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen und dem Counterpart-Training dazu bei, die Motivation und Befähigung der Menschen in Mailuu-Suu zu stärken, selbst etwas für ihre Stadt und die eigenen Lebensbedingungen zu tun. Technische Unterstützung ist dabei sehr willkommen, weil es in Zentralasien meist nicht an Engagement fehlt, wohl aber an Ausrüstung und Finanzen.





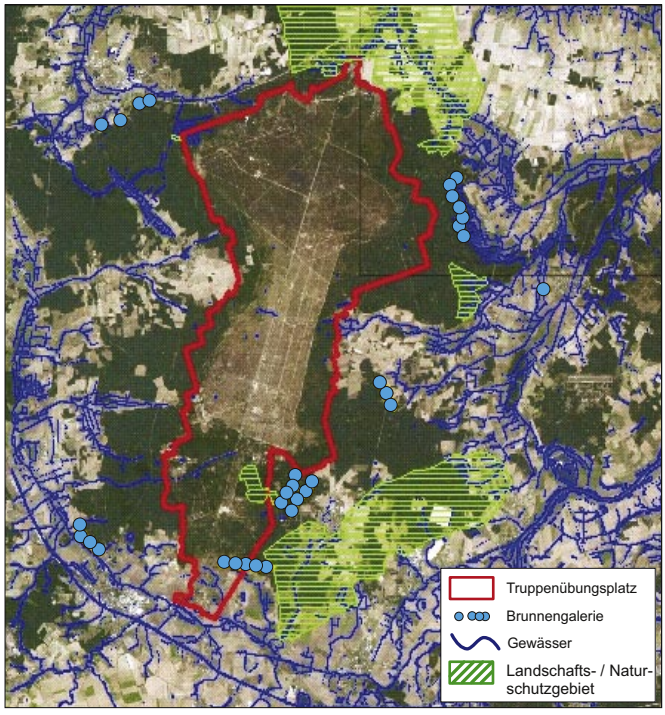
Die Stadt Mailuu-Suu im gleichnamigen Flusstal im Südwesten Kirgisistans.

Die **Colbitz-Letzlinger Heide** im Spannungsfeld zwischen **militärischer Nutzung** und **Trinkwasserschutz**

Veranlassung

Die Grundwasservorkommen der Colbitz-Letzlinger Heide sind die Grundlage für die Trinkwasserversorgung von Magdeburg und nördlich angrenzender Landkreise der Magdeburger Börde und der Altmark. Das Grundwasser des ca. 980 km^2 großen Gebietes zwischen Uchte, Tanger, Ohre, Milde und Secantsgraben wird von den Wasserwerken Colbitz (Trinkwasserversorgung Magdeburg), Haldensleben, Gardelegen und Schernebeck genutzt. Das zentrale Gebiet der Colbitz-Letzlinger Heide wird seit 1934 militärisch genutzt: bis 1945 zunächst als Artillerie-Versuchsschießplatz der Firma Krupp, dann von der deutschen Wehrmacht und danach bis 1993 von der Sowjet-Armee.

Das Untersuchungsgebiet mit dem Truppenübungsplatz Altmark.



Die Bundeswehr hat dieses Gebiet übernommen und richtet auf dem Truppenübungsplatz Altmark ein Gefechtsübungszentrum des Heeres ein. Aus der zurückliegenden militärischen Nutzung des Geländes resultieren Bodenbelastungen u. a. in Bereichen von Spreng- und Schießplätzen, Waschanlagen, Kasernen, Treibstoffdepots und Versuchsanlagen. Davon ausgehend müssen Einträge unterschiedlicher Schadstoffe (z. B. Schwermetalle, Sprengstoffrückstände, Mineralöle) in das Grundwasser befürchtet werden, zumal sich Brunnengalerien am Rande des Truppenübungsplatzes befinden.

Neben der Nutzung der Colbitz-Letzlinger Heide zur Trinkwasserversorgung und als Truppenübungsplatz sind einige Flächen als Naturschutzgebiete ausgewiesen oder haben den Status „zeitweilig gesichert". Insgesamt ergibt sich somit ein Konflikt aus den unterschiedlichen Interessen des Militärs, der Wasserwirtschaft und des Umweltschutzes. Eine wichtige Grundvoraussetzung für eine einvernehmliche Regelung der Nutzungsinteressen ist eine langfristige Grundwasserüberwachung.

Die Nutzung von großen Teilen des alten Truppenübungsplatzes als Gefechtsübungszentrum, das auch den aktuellen Ansprüchen des Umweltschutzes genügen soll, wurde von den Ergebnissen detaillierter hydrogeologischer Untersuchungen und Begutachtungen abhängig gemacht. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe wurde vom Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) mit der Begleitung, Durchführung und Bewertung von hydrogeologischen Untersuchungen beauftragt, die u. a. Fragestellungen zur Geologie, Hydrogeologie, Hydrochemie, Fernerkundung, Oberflächen- und Bohrlochgeophysik, zum Ansatz von Bohrungen, zum Bau von Grundwassermessstellen sowie zur Landesvermessung betreffen. Die Untersuchungen erfolgen in enger Absprache mit dem Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt, dem Landesamt für Geologie und Bergwesen, dem Landesverwaltungsamt und dem Landesbetrieb Bau.

Arbeitsphasen

Der gesamte Truppenübungsplatz mit seiner Umgebung wurde in mehreren Arbeitsphasen seit 1992 intensiv untersucht. An 56 Stellen auf dem Truppenübungsplatz wurden 176 Grundwasserbeobachtungsmessstellen zur Erkundung der hydrogeologischen Strukturen, für Grundwasserstandsmessungen und zur Wasserprobenahme eingerichtet. An elf Messstellen wurden Pumpversuche durchgeführt und die hydraulischen Parameter ermittelt. Durch Oberflächengeophysik wurden die geologischen Informationen verdichtet. Das Beobachtungsnetz umfasst neben den neu erstellten Grundwassermessstellen auch solche der Wasserwirtschaft und des Landes Sachsen-Anhalt in der Umgebung des Truppenübungsplatzes.

Von 1993 bis 1998 wurden an rund 650 Grundwassermessstellen fünf Stichtagsmessungen durchgeführt. Wasserproben wurden zeitparallel genommen und auf die standardisierten anorganischen und organischen Parameter sowie auf nutzungsrelevante organische Parameter (u. a. sprengstofftypische Verbindungen) hin untersucht.

Die Grundwasserüberwachung wird seit 1998 im Rahmen eines Dauermonitorings weitergeführt, das in verschiedenen Mess- und Beprobungskampagnen durchgeführt wird. Im Jahr 2006 wurde mit einem zusammenfassenden Bericht über die vier bisher durchgeführten Kampagnen die erste Phase des Grundwasserdauermonitorings abgeschlossen.

Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchungen wurden alle hydrogeologisch wichtigen Daten des Gebietes in einer zentralen Datenbank zusammengeführt. Unter Verwendung der Ergebnisse der neu errichteten Aufschlüsse und unter Berücksichtigung von vorhandenen Altunterlagen wurden insgesamt 20 hydrogeologische Profilschnitte angefertigt.

Die Basis der süßwasserführenden Grundwasserstockwerke bildet der mitteloligozäne Rupelton. Im Südteil der Colbitz-Letzlinger Heide lagert er direkt unter mächtigen quartären, überwiegend sandigen Bildungen des Elster- und Saaleglazials. Der elsterzeitliche Geschiebemergel bildet in diesem Grundwasserstock-

Peilfilterbrunnen auf dem Truppenübungsplatz Altmark.





Landschaft auf dem Truppenübungsplatz Altmark.

werk eine lückenhaft verbreitete grundwasserhemmende Trennschicht zwischen einem unteren und einem oberen Grundwasserleiter. Diese Grundwasserleiter werden durch weitere bindige Einlagerungen lokal gegliedert. Das obere Grundwasserstockwerk wird intensiv zur Trinkwassergewinnung genutzt. Die ältesten bekannten grundwasserleitenden Bildungen sind die Feinsande und Mittelsande des Oberoligozäns bis tiefen Miozäns. Diese repräsentieren den tiefsten Grundwasserleiter im süßwassererfüllten Deckgebirge, der nur nördlich des Gardelegener Abbruchs verbreitet ist. Im Südteil des Truppenübungsplatzes ist ein lokal signifikantes gehobenes Grundwasserstockwerk mit z. T. schwebendem Grundwasser ausgebildet.

Durch die periodisch erstellten Grundwassergleichenpläne ist der Grundwasserabstrom aus weiten Teilen des Truppenübungsplatzes zu den Fassungsanlagen der Wasserwerke Colbitz, Haldensleben, Schernebeck und Gardelegen gut belegt. Die Grundwasserflurabstände betragen im Bereich der Endmoränen über 60 m. Die Grundwasserstandsmessungen zeigen örtlich Druckunterschiede zwischen den saaleglazialen und den elsterglazialen Aquiferen.

Die bisher durchgeführten chemischen Analysen lassen den Schluss zu, dass das Grundwasser durch die militärischen Nutzungen nur gering und örtlich begrenzt belastet ist. Die Hauptanzahl der militärischen Einrichtungen und Nutzungen befand sich innerhalb des Verbreitungsgebiets des gehobenen Stockwerks. Dort werden die Schadstoffeinträge im Rahmen des Altlastenprogramms der Bundeswehr eingehend untersucht. Diese Ergebnisse werden bei der Auswertung des Grundwassermonitorings berücksichtigt. Die überwiegend großen Grundwasserflurabstände führen zu hohen Verweilzeiten eventuell kontaminierter Sickerwässer in der Grundwasserüberdeckung. Darüber hinaus sind die Fließzeiten möglicher kontaminierter Grundwässer zu den Brunnengalerien mit einigen Jahrzehnten bis Jahrhunderten vergleichsweise hoch.

Zur Simulation wasserhaushaltlicher Maßnahmen und zur Erstellung von Prognosen wurde ein regionales numerisches Modell zur Grundwasserströmung und zum Stofftransport für das weitere Untersuchungsgebiet des Truppenübungsplatzes Altmark erstellt.

WHYMAP –
Grundwasservorkommen global betrachtet

In der internationalen Wasserpolitik hat das Interesse an der bedeutendsten Süßwasserressource, dem Grundwasser, in den letzten Jahrzehnten beträchtlich zugenommen. Die Nutzung der noch nicht überall hinreichend erkundeten Grundwasservorkommen wird als ein Ausweg aus regionalen Wasserkrisen betrachtet, die durch Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum und damit verbundener Verknappung der Wasserressourcen hervorgerufen werden. Um einen Beitrag zu den weltweiten Anstrengungen zum nachhaltigen Management und Schutz der Wasserressourcen einschließlich des Grundwassers zu leisten, wurde im Jahr 1999 das World-wide Hydrogeological Mapping and Assessment Programme (WHYMAP) ins Leben gerufen.

Ziel des Projektes ist es, hydrogeologische Informationen im globalen Maßstab in einem Geoinformationssystem (GIS) zu sammeln, zu verarbeiten und zu visualisieren. Grundwasser bezogene Karteninformationen sollen so für Politik und Fachwelt zur Verfügung gestellt und in auch für Nichtfachleute leicht verständlicher Form aufbereitet werden, so z. B. für das World Water Assessment Programme (WWAP) der Organisationen der Vereinten Nationen. Hierzu bündelt WHYMAP die Aktivitäten hydrogeologischer Kartierung auf nationaler, regionaler und kontinentaler Ebene. Mit dem International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC) in Utrecht wurde eine enge Kooperation vereinbart, um gemeinsam über die Rolle des Grundwassers zur Erreichung der Millennium-Entwicklungsziele der internationalen Staatengemeinschaft aufzuklären.

WHYMAP-Strukturen

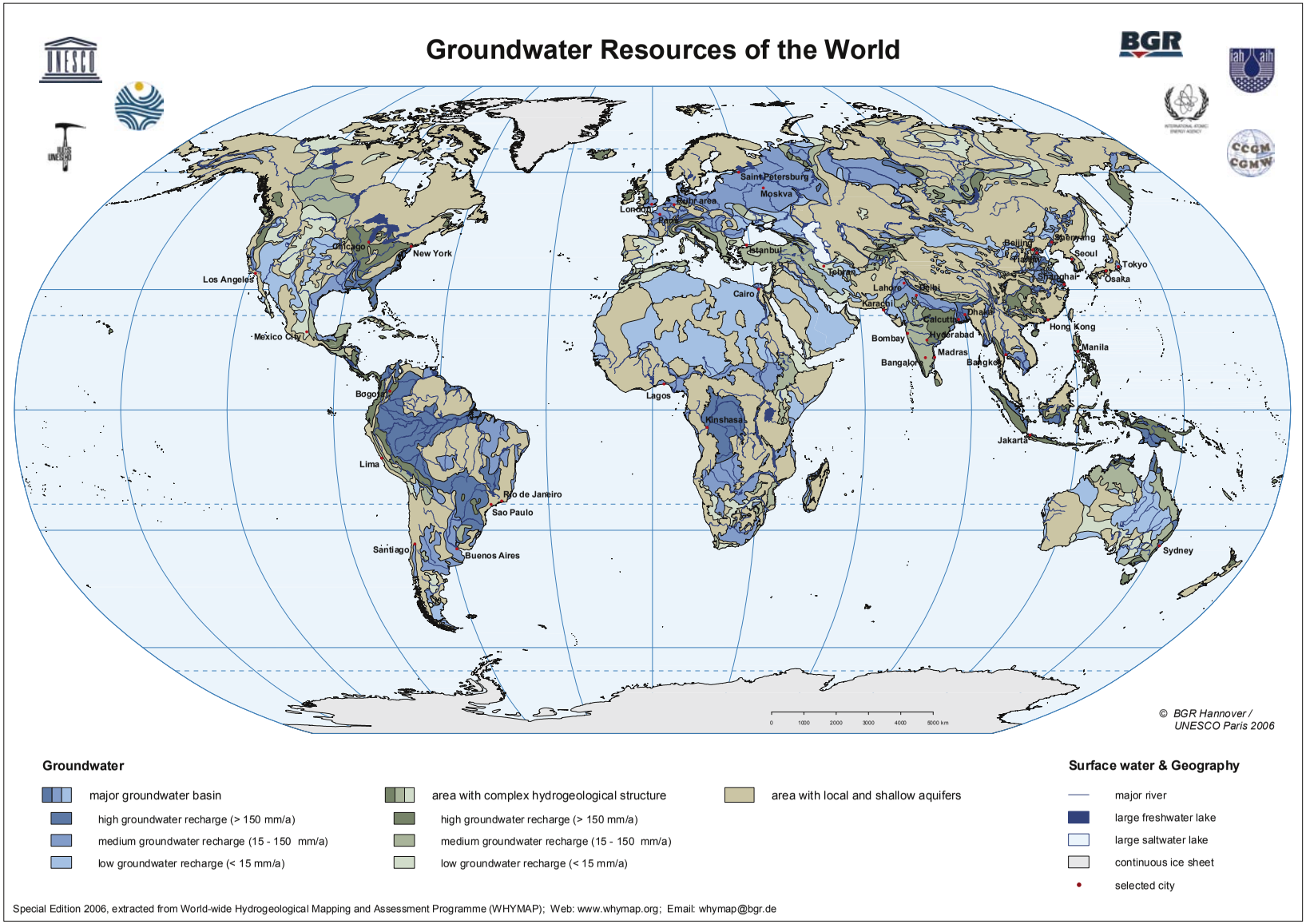
WHYMAP ist das Gemeinschaftsprojekt eines Konsortiums bestehend aus der Organisation der Vereinten Nationen für Bildung, Wissenschaft, Kultur und Kommunikation (UNESCO), der Kommission für die Geologische Weltkarte (CGMW), der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA), der Internationalen Assoziation der Hydrogeologen (IAH) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Das Konsortium ist für die inhaltliche und organisatorische Steuerung des Programms verantwortlich. Die BGR ist die ausführende Fachinstitution.

Im Jahr 2002 wurde ein Komitee aus internationalen Kartenexperten etabliert. Dieses WHYMAP-Steering-Committee wird von den kontinentalen Vizepräsidenten der IAH und der CGMW, den regionalen UNESCO-Büros sowie den nationalen Komitees der IAH und des Internationalen Hydrologischen Programms IHP der UNESCO unterstützt.

Im Rahmen der WHYMAP-Aktivitäten entstanden bereits mehrere Karten der Grundwasservorkommen der Erde. Hierzu wurden zunächst für jeden Kontinent Entwürfe im Arbeitsmaßstab 1 : 10 000 000 angefertigt, die auf bereits vorhandenen hydrogeologischen Karten der Kontinente, Regionen und Länder basieren. Da die existierenden Karten nicht nur inhaltlich sehr heterogen sind, sondern auch in unterschiedlichen, oft unbekannten Projektionen vorliegen, war neben einer geometrischen Transformation eine Uminterpretation und Übersetzung in die zuvor entwickelte WHYMAP-Legendensystematik erforderlich.

Die Mitglieder des WHYMAP-Steering-Committees sowie weitere hydrogeologische Kartierexperten aus allen Erdteilen überarbeiten und ergänzen mit ihrem regionalen Sachverstand und zusätzlichen eigenen Daten die kontinentalen Entwürfe, die anschließend zu einer neuen, konsistenten hydrogeologischen Weltkarte zusammengeführt werden.

Auf diese Weise entstehen nach und nach verschiedene thematische Layer für globale Grundwasserkarten. Einige Themen werden federführend von einzelnen Institutionen bearbeitet, z. B. das Thema Grundwasser-



Die Basisversion der globalen Grundwasserressourcen-Karte zeigt die hydrogeologischen Großeinheiten der Erde.

neubildung unter der Schirmherrschaft der IAEA oder das Thema grenzüberschreitende Grundwasservorkommen gemeinsam mit IGRAC und der Internationally Shared Aquifer Resources Management (ISARM)-Gruppe unter Leitung der UNESCO. Verschiedene Kommissionen der IAH arbeiten an globalen Karten der Karstvorkommen, der Grundwasserverschmutzungsempfindlichkeit, der küstennahen Aquifere und der Hydrogeologie der Festgesteine.

Ein Schwerpunkt von WHYMAP ist der Aufbau und die Implementierung eines Geoinformationssystems, in dem möglichst viele grundwasserrelevante Informationen im globalen Maßstab zusammengeführt und digital und georeferenziert vorgehalten werden. Bisher in Form analoger Karten vorliegende hydrogeologische Informationen aus Ländern und Regionen werden in die digitale Form überführt und sind somit in Zukunft im GIS-Format verfügbar. Darüber hinaus werden vorhandene gescannte Karten als Graphiken aufgenommen und entsprechende Metadaten zu jeder Karte erfasst. Hieraus entsteht ein weltweites Nachweissystem für hydrogeologische Karten.

Die im Rahmen des WHYMAP-Programms entstehenden Kartenprodukte werden aus dem WHYMAP-GIS-Datenbestand abgeleitet. Zudem werden die Daten mit Hilfe einer webbasierten Kartenanwendung visualisiert und über das Internet bereitgestellt. Eine im Aufbau befindliche Kartenapplikation ist auf der WHYMAP-Webseite unter www.whymap.org verfügbar.

Bisherige Ergebnisse und Produkte

Eine erste Übersichtskarte im Maßstab 1 : 100 000 000 konnte zum dritten Weltwasserforum im März 2003 in Kyoto fertig gestellt und als Beitrag zum ersten Weltwasserentwicklungsbericht (WWDR) der Vereinten Nationen veröffentlicht werden. Darüber hinaus existiert ein erster vorläufiger Entwurf einer globalen Wandkarte der Grundwasservorkommen im Maßstab 1 : 25 000 000, der laufend korrigiert, überarbeitet und ergänzt wird und im Herbst 2007 erscheinen soll.

Im August 2004 wurde eine Weltkarte der Grundwasserressourcen im Maßstab 1 : 50 000 000 als Sonderveröffentlichung für den Internationalen Geologenkongress in Florenz herausgegeben. Eine zweite Sonderausgabe, ebenfalls im Maßstab 1 : 50 000 000, zum Thema „grenzüberschreitende Grundwasservorkommen der Welt“ wurde im März 2006 aus Anlass des 4. Weltwasserforums in Mexico City erarbeitet. Die Erläuterungstexte auf den jeweiligen Rückseiten der einzelnen Blätter liefern Hintergrundinformationen zum Projekt und eine Beschreibung der vorliegenden Karte. Damit soll zum einen die breite Fachöffentlichkeit über das WHYMAP-Programm informiert und zur Mitarbeit aufgefordert werden. Zum anderen ist die Sensibilisierung von Politik und Öffentlichkeit für den bedeutenden Rohstoff Grundwasser ein wesentliches Anliegen. Jeweils mehrere tausend Exemplare wurden verkauft und auf wichtigen Fachkonferenzen verteilt. Einzelne Exemplare sind auf Anfrage über die BGR zu beziehen.

Die Basisversion der globalen Grundwasserressourcen-Karte zeigt die hydrogeologischen Großeinheiten der Erde, unterschieden nach

- Gebieten mit bedeutenden Grundwasserbecken (blau),
- komplex aufgebauten Gebieten mit bedeutenden Grundwasserleitern (grün) und
- Gebieten mit lokalen und oberflächennahen Grundwasservorkommen (braun).

Die Grundwasserbecken und komplexen Gebiete werden darüber hinaus abhängig von der Höhe der Grundwasserneubildung in drei weitere Klassen unterteilt. Dargestellt sind auch Gebiete mit versalztem Grundwasser (Gesamtsalzgehalt TDS > 5 g/l). Neben einigen topographischen und administrativen Informationen enthält die Karte zudem die Gebiete des Polar- und Inlandeises sowie die Permafrostgrenzen in Nordamerika und Asien.

Aus den bisher gesammelten Daten und erstellten Karten ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Grundwasser steht fast überall als bedeutende Naturressource zur Verfügung, allerdings nicht immer in ausreichender Menge und Qualität. Vor einer Nutzung ist eine umfassende Erkundung von Quantität und Qualität der vorhandenen Grundwasservorkommen unerlässlich. Zudem muss bestimmt werden, welcher Anteil im Jahreszyklus langfristig erneuert wird und damit dauerhaft verfügbar ist.
- Viele Grundwasserbecken und regionale Aquifere erstrecken sich über mehrere Staaten; sie bedürfen einer Länder übergreifenden Abstimmung bei ihrer Bewirtschaftung, um irreparable Schäden (Übernutzung, Versalzung, Kontamination) zu vermeiden. Die UNESCO und die IAH betreiben zu diesem Thema die gemeinsame ISARM-Arbeitsgruppe.
- Nicht erneuerbare, fossile Grundwasservorkommen sind in einigen Trockengebieten der Erde vorhanden; vor einer Nutzung müssen sie jedoch genau quantifiziert und modelliert werden. Eine ungeplante und ungeregelte Nutzung ist zu vermeiden, vor allem, wenn das kostbare Grundwasser unter hohen Verdunstungsverlusten für die Bewässerungslandwirtschaft eingesetzt werden soll.
- Vornehmlich in den Trockengebieten klaffen die Begrenzung der Grundwasserbecken und Oberflächenwasserscheiden erheblich auseinander; hier ist darauf zu achten, dass die Wassermanagement-Räume sinnvoll, d. h. unter Beachtung der Grundwassersituation, definiert werden.

Schon die erste Weltkarte der Grundwasserressourcen hat erheblich dazu beigetragen, das Thema Grundwasser in der Wasserfachwelt zu verankern und das in der Regel unsichtbare Grundwasser zu einem Diskussionsgegenstand werden zu lassen.

Mit der Publikation der großformatigen Wandkarte im Maßstab 1 : 25 000 000 einschließlich eines Erläuterungsheftes zur UNESCO-Vollversammlung im Herbst 2007 wird das WHYMAP-Programm ein weiteres wesentliches Ziel erreichen. Das WHYMAP-GIS soll auch über 2007 hinaus gepflegt und weiterentwickelt werden und der Unterstützung der deutschen Entwicklungspolitik auf dem Wassersektor sowie der Verbesserung der Fachinformationen für die internationale Wasserpolitik dienen.



Geotechnische Sicherheit / Endlagerung

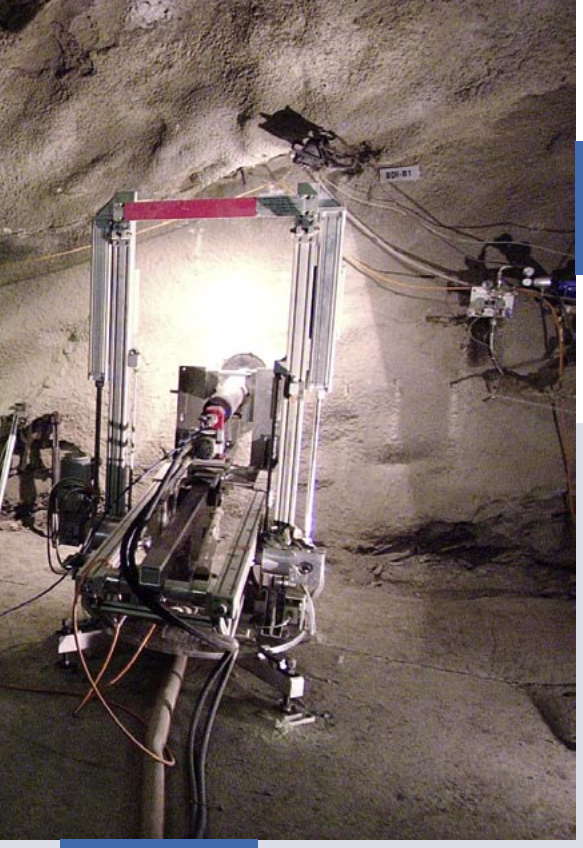


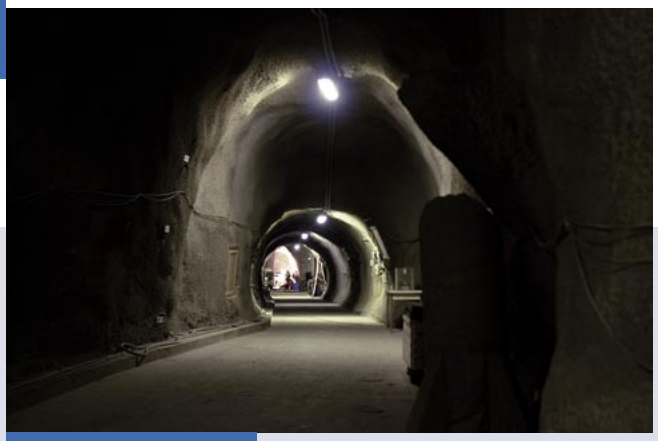
Experten sind sich weltweit einig: Am besten geeignet für die **Endlagerung hochradioaktiver Abfälle** sind tiefe **geologische Formationen.**

Radioaktive Abfallstoffe entstehen nicht nur bei der Stromerzeugung in Kernkraftwerken, sondern auch bei der Nutzung radioaktiver Substanzen in Medizin und Forschung und in industriellen Anwendungen. Diese Abfälle müssen sicher entsorgt werden.

Oberstes Sicherheitsgebot für ein Endlager radioaktiver Abfälle ist der Schutz von Mensch und Umwelt vor schädlichen Auswirkungen ionisierender Strahlung. Aufgrund der langen Halbwertszeiten einzelner Bestandteile in den hochradioaktiven Abfallstoffen müssen sie über sehr lange Zeiträume sicher von der Biosphäre isoliert sein. International sind sich die Experten einig, dass hierfür tiefe geologische Formationen am besten geeignet sind.

In Deutschland ist für die sichere Entsorgung der radioaktiven Abfälle der Bund zuständig, so schreibt es das Atomgesetz vor. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) als die zentrale Beratungsinstitution des Bundes auf dem Gebiet der Geowissenschaften bearbeitet dabei die geowissenschaftlichen Fragestellungen.





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 CO_2-Verminderung (s. Sonderthema Klima) und im Bereich der Endlagerung radioaktiver Abfälle bearbeitet.

Die Abbildungen zeigen das Untertagelabor Mont Terri in der Schweiz.





Langzeitsicherheitsanalyse
Blick in die **Zukunft eines Endlagers** im Salz

Das Wissen um die Vergangenheit der Erde befähigt die Geowissenschaftler, zukünftige geologische Prozesse zu prognostizieren. In der „Langzeitsicherheitsanalyse" untersuchen sie die unterschiedlichen Prozesse, die im Endlager in einer Million Jahre ablaufen werden, in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit.

Die geologische Barriere muss in einem Endlager für radioaktive Abfälle eine besonders wichtige Funktion erfüllen: Sie muss, im Zusammenspiel mit auf den jeweiligen Standort abgestimmten technischen Barrieren, die Isolation der eingelagerten Stoffe über sehr lange Zeiträume gewährleisten. Ob sie dazu in der Lage ist, wird von der BGR mit Langzeitsicherheitsanalysen untersucht.

Warum geologische Barrieren besonders geeignet sind, wird klar, wenn man die Zeiträume betrachtet, für die eine Isolation der Abfälle sichergestellt werden muss. International wird gefordert, dass auch nach einer Million Jahren keine schädlichen Auswirkungen von einem Endlager ausgehen dürfen.

Ein solcher Zeitraum ist, gemessen an der Entwicklungsgeschichte der Menschheit, unvorstellbar lang. Genauso wenig, wie sich der Frühmensch vor einer Million Jahren, also lange bevor es Cro-Magnon-Menschen und Neandertaler gab, unser heutiges Leben vorstellen konnte, genauso wenig können wir voraussehen, welche Entwicklung der Menschheit in den nächsten eine Million Jahren bevorsteht.

Gemessen an geologischen Prozessen ist ein Zeitraum von einer Million Jahren jedoch kurz. Für Standorte, an denen wir die geologische Entwicklung für viele Millionen Jahre zurückverfolgen können, ist eine Voraussage für eine Million Jahre zuverlässig möglich.

Eine Voraussetzung ist aber, dass wir nicht nur nachvollziehen können, welche Entwicklung in der Vergangenheit stattgefunden hat, sondern auch, warum sie stattgefunden hat. Dafür müssen die verschiedenen wirksamen Prozesse verstanden und ihre Wechselwirkungen bekannt sein. In der Langzeitsicherheitsanalyse werden dann die unterschiedlichen Prozesse, die im Endlager in der Zukunft ablaufen werden, in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit untersucht, und zwar vorwiegend mithilfe numerischer Werkzeuge, also durch Computersimulationen.

Die BGR hat begonnen, für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle im Wirtsgestein Salz eine solche Sicherheitsanalyse durchzuführen. Ausgangspunkt ist eine so genannte FEP-Liste, in der alle Zustände, Ereignisse und Prozesse (features, events, processes – FEP), die das Endlager in der Zukunft beeinflussen können, zusammengestellt werden. Für die Sicherheitsanalyse könnte es fatal sein, wenn in der FEP-Liste ein wichtiger Prozess fehlt. Um das zu verhindern, wurde auf die internationale FEP-Datenbasis der NEA (Nuclear Energy Agency der OECD) zurückgegriffen. Diese umfangreiche Datenbasis wurde auf der Grundlage bestehender Sicherheitsanalysen verschiedener Länder erstellt und ihre Verwendung gewährleistet, dass auch solche Vorgänge, die für ein Endlager im Wirtsgestein Salz weniger offensichtlich sind, berücksichtigt werden.

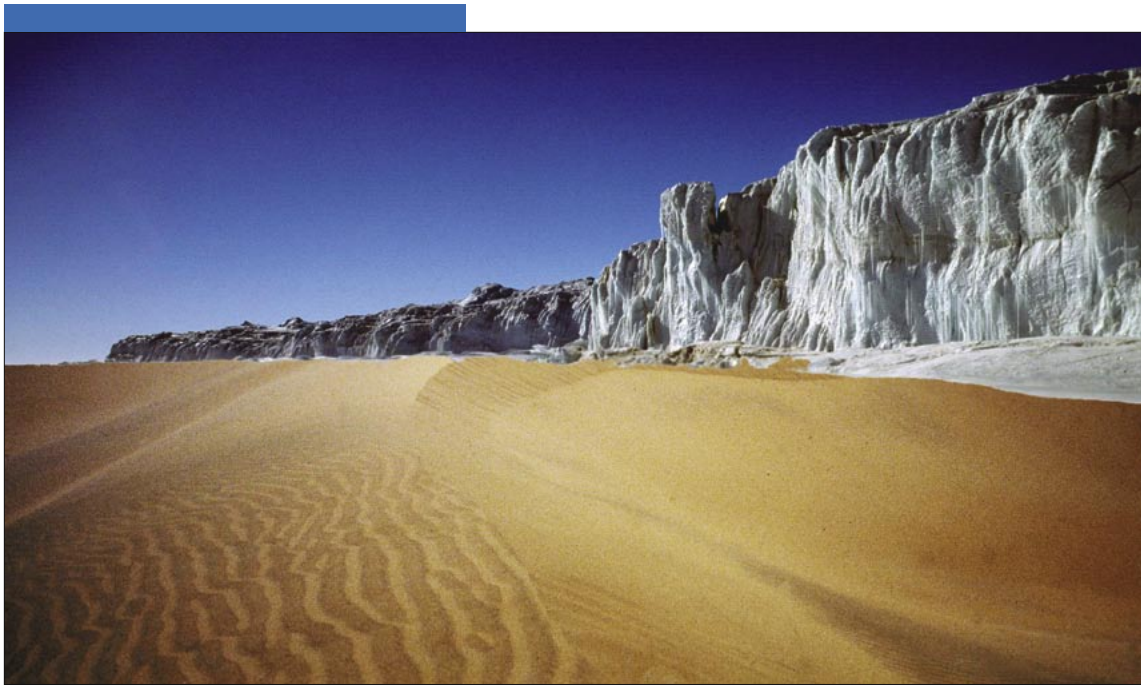
Um aus der internationalen FEP-Datenbasis der NEA eine standort- und wirtsgesteinsspezifische FEP-Liste abzuleiten, wurde in einem Screeningverfahren jedes einzelne FEP auf seine Relevanz für ein Endlager im Wirtsgestein Salz sowie auf Wechselwirkungen mit anderen FEPs untersucht. Dabei hat es sich als vorteilhaft erwiesen, das gesamte Endlagersystem in Teilsysteme wie das Deckgebirge oder das Nahfeld um die Abfälle zu untergliedern, weil so vermieden wird, dass unsinnige Wechselwirkungen zwischen FEPs, beispielsweise zwischen der Korrosionsrate der Abfallverpackung und der Erosion an der Tagesoberfläche, behandelt werden mussten. Trotz dieser Straffung des Verfahrens mussten für über tausend mögliche FEP-Kombinationen die Wechselwirkungen angegeben und, damit das Vorgehen transparent bleibt, diese Angabe begründet werden. Im Ergebnis liegt nun eine standortspezifische FEP-Liste vor, aus der im nächsten Arbeitsschritt Szenarien für die zukünftige Entwicklung abgeleitet werden. Von besonderer Bedeutung sind dabei Szenarien, in denen die Umgestaltungen an der Tagesoberfläche während der nächsten Eiszeiten oder Szenarien zu den thermomechanischen Prozessen im Wirtsgestein infolge des abfallbedingten Wärmeeintrags beschrieben werden.

Klima-Szenarien

Ein Beispiel für ein zu betrachtendes Szenario ist das Kaltzeit-Szenario. Hier herrscht periglaziales oder glaziales Klima am Endlagerstandort und es müssen Prozesse berücksichtigt werden, die bei Permafrost auftreten, z. B. veränderte Grundwasserströmungen, und zusätzlich all die einschneidenden Veränderungen, die mit einer Gletscherrandlage in der Nähe des Endlagers oder sogar mit einer Gletscherüberfahrung des Endlagers verbunden sind.

Aber auch im Szenario „Super-Warmzeit" können Prozesse die Isolationseigenschaften der geologischen Barriere beeinträchtigen. Bei diesem Szenario wird davon ausgegangen, dass die natürlichen Klimazyklen, die uns gerade in die nächste Eiszeit führen, um einige hunderttausend Jahre verschoben werden und zunächst eine weitere Erwärmung stattfindet, z. B. durch den vermehrten Ausstoß von Treibhausgasen. Mit diesem Szenario verbundene Prozesse (FEP) wären beispielsweise eine reduzierte Grundwassererneuerung und Grundwasserversalzung.

Bei der Erarbeitung der standortspezifischen FEP-Liste für das Wirtsgestein Salz konnte die BGR auf ihre umfangreichen Kenntnisse aus den zurückliegenden Untersuchungen im Forschungsbergwerk Asse, im Endlager Morsleben und im Erkundungsbergwerk Gorleben zurückgreifen. Für die Zusammenstellung dieser zuvor gewonnenen Einzelinformationen in der standortspezifischen FEP-Liste war es notwendig, Fachleute aus verschiedenen Wissenschaftsgebieten zu beteiligen. Dabei hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, dass Spezialisten aus verschiedenen geowissenschaftlichen Fachdisziplinen in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe unter einem Dach zusammen arbeiten.



Klima-Szenario: Der Gletscher in der Wüste.

Moderne Rechenwerkzeuge helfen Forschern, extrem langsame und komplexe Prozesse in einem **Endlager für radioaktive Abfälle** zu beschreiben

Hochradioaktive Abfälle sollen in tiefen geologischen Formationen für extrem lange Zeiträume eingeschlossen werden. Das deutsche Entsorgungskonzept sieht außerdem vor, dass das Endlager nach Einlagerung der Abfälle wartungsfrei betrieben werden soll. Das bedeutet, dass die möglichen thermischen, hydraulischen, mechanischen und chemischen Prozesse (THMC-Prozesse), die für die Langzeitsicherheit eines Endlagers relevant sind, nicht direkt beobachtet werden können. Oder diese Prozesse sind so komplex, dass sie nicht immer vorab im Experiment analysiert werden können. Untereinander zeigen diese Prozesse mehr oder weniger starke Wechselwirkungen. Der Fachmann spricht deshalb von „gekoppelten" Prozessen. Um die Auswirkungen dieser komplexen „gekoppelten" Prozesse und ihre Wechselwirkungen untereinander dennoch beschreiben und bewerten zu können, bedienen sich Wissenschaftler numerischer Modellberechnungen. Dazu wird die Finite-Elemente-Methode (FEM) eingesetzt, die die zwei- oder dreidimensionale Simulation geologischer Strukturen mit verschiedenen Gesteinschichten sowie beliebige Hohlraumkonfigurationen ermöglicht. Grundlage der Modellerstellung ist das geologische Strukturmodell. Daraus wird ein THMC-Modell entwickelt, das einen bestimmten Gebirgsausschnitt umfasst und in dem die maßgebenden Gebirgsschichten zu Homogenbereichen mit jeweils einheitlichen Materialeigenschaften zusammengefasst sind. Daran schließt sich die Diskretisierung des FE-Modells an, d. h. die Unterteilung der betrachteten Struktur in finite Elemente.

Mit diesem FE-Modell werden die gesuchten physikalischen Größen und ihre räumlichen und zeitlichen Veränderungen berechnet, z. B. bei mechanischen Fragestellungen, wie z. B. Gebirgsspannungen und -verformungen, Hohlraumkonvergenzen und dilatante Gebirgsbereiche. Dazu setzt die BGR die FE-Programme wie z. B. RockFlow und Jife ein.

Das Programm RockFlow

Seit 1984 entwickeln die Forscher der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in einem Gemeinschaftsprojekt mit dem Institut für Strömungsmechanik und Elektronisches Rechnen im Bauwesen (ISEB) der Universität Hannover und dem Zentrum für Angewandte Geowissenschaften (ZAG) der Universität Tübingen den Finite-Elemente-Code „RockFlow".

Der in der Programmiersprache FORTRAN-77 geschriebene Code wurde ursprünglich zur Beschreibung der Strömung und des Stofftransports im Granit (geklüftetes poröses Medium) eingesetzt. Das Thema bildete einen Schwerpunkt der BGR-Aufgaben im Felslabor Grimsel (Schweiz). Im Zuge der internationalen Aktivitäten der BGR in anderen Forschungsbereichen, z. B. Bentonit als geotechnische Barriere und Tonformationen als alternative Wirtsgesteine für die Endlagerung radioaktiver Abfälle, wurde RockFlow in den vergangenen Jahren zu einem Programmsystem für gekoppelt ablaufende thermische, hydraulische, mechanische und chemische (THMC) Prozesse weiterentwickelt.

Damit können der zu betrachtende Prozess und entsprechende Einflussprozesse gleichzeitig simuliert werden. Im Vergleich zu anderen Programmen mit Schwerpunkt in der Thermomechanik konzentriert sich die Entwicklung des Codes RockFlow auf die Hydraulik (Mehrphasenströmung) und die Chemie (Transport und Reaktion). Die wachsende Komplexität der zu modellierenden physikalischen Prozesse in Geosystemen und die damit einhergehende Notwendigkeit dynamischer Datenstrukturen machte auch eine Neuentwicklung des Programmsystems in der Programmiersprache ANSI-C und seit 2004 in C++ (objektorientierte Programmierung) notwendig.

Zahlreiche Forschungsprojekte, auch EU-Vorhaben, haben die Forscher der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe mit RockFlow bereits erfolgreich abgeschlossen.



Im Untertagelabor Mont Terri in der Schweiz.

Eines ihrer aktuellen Forschungsprojekte ist die Charakterisierung der Auflockerungszone um Hohlräume im Tonstein. Tonsteine werden in der Schweiz im Felslabor Mont Terri sowie in den Felslaboren Meuse/Haute-Marne (Bure) und Tournemire in Frankreich als Wirtsgestein für die Endlagerung radioaktiver Abfälle untersucht. Die BGR ist hier seit vielen Jahren an den internationalen Untersuchungsprogrammen beteiligt.

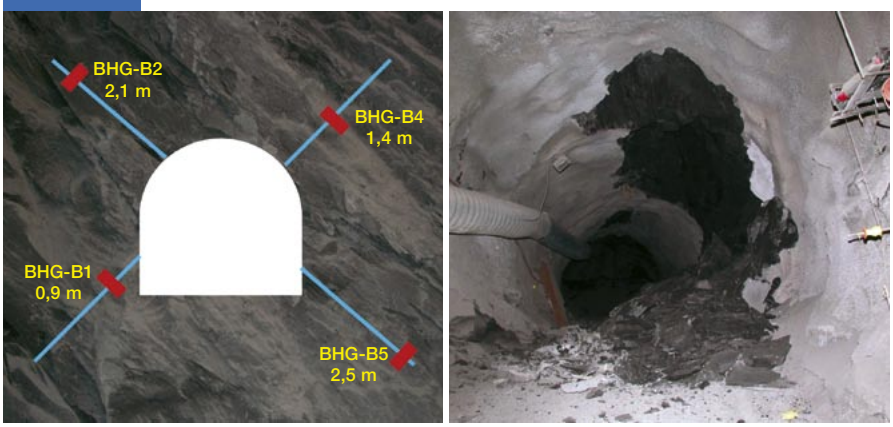
Tonsteine haben als abdeckende, dichte Schichten z. B. für Kohlenwasserstoff-Vorkommen ihre langfristige Wirksamkeit als geologische Barriere nachgewiesen. Hierfür günstige Eigenschaften der Tongesteine sind insbesondere die sehr geringe Durchlässigkeit und die Fähigkeit, Schadstoffe zu binden. Tonsteine bestehen überwiegend aus Tonmineralen mit Korngrößen kleiner als 0,002 mm. Aufgrund ihrer Schichtung zeigen Tonsteine richtungsabhängige hydraulische und mechanische Eigenschaften (Anisotropie). Die Durchlässigkeit beispielsweise ist senkrecht zur Schichtung geringer als parallel zur Schichtung. Auch die Auflockerungszone um Hohlräume im Tonstein bildet sich nicht gleichmäßig um den Hohlraum herum aus. Auflockerungszonen entstehen bei der Auffahrung neuer Strecken. Die Gesteine weisen in diesen Zonen veränderte Materialeigenschaften auf, wie z. B. höhere Durchlässigkeiten für Flüssigkeiten oder Gase. Deshalb sind diese Bereiche für die Endlagerforscher von besonderem Interesse.

Tonsteine variieren je nach ihren Entstehungsbedingungen in der Mineralzusammensetzung sowie im Korngefüge. In der Natur existieren deshalb unterschiedliche Typen, vom plastischen Ton bis zum stark verfestigten und z. T. geklüfteten Tonstein. Dabei können erhebliche Unterschiede im Verformungsverhalten, der Temperaturempfindlichkeit und der Gebirgsstabilität auftreten. Tonminerale wie der Montmorillonit besitzen zudem die besondere Eigenschaft, bei Wasseraufnahme zu quellen und bei Wasserentzug zu schrumpfen.

Um den Einfluss der Quellfähigkeit toniger Gesteine auf das Endlagersystem besser beurteilen zu können, wurde ein hydraulisch-mechanisch gekoppelter Ansatz unter zusätzlicher Berücksichtigung der Quellfähigkeit toniger Gesteine in den Code RockFlow eingebaut.

Als Beispiel wurde eine Modellberechnung zur Entstehung der Auflockerungszone im Opalinuston im Felslabor Mont Terri (Schweiz) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Modellberechnung können mit In-situ-Messungen der Permeabilität des Gebirges in der Auflockerungszone nach Auffahrung des Hohlraums verglichen werden. Im ursprünglichen Zustand (vor Auffahrung des Hohlraums) ist die Gebirgsfestigkeit parallel zur Schichtung doppelt so groß wie in senkrechter Richtung. Die Gesteinspermeabilität ist im ursprünglichen Zustand parallel zur Schichtung fünfmal höher als senkrecht zur Schichtung.

In vier Bohrungen wurde die Gesteinspermeabilität nach Auffahrung des Hohlraums durch Injektion von Stickstoff bestimmt und mit der ursprünglichen Gesteinspermeabilität verglichen. Während parallel zur Schichtung eine Zone mit erhöhter Permeabilität (10^{-16} m^2) bis etwa 2,5 m Abstand vom Stoß gemessen wurde, weist die Zone senkrecht zur Schichtung nur die Hälfte der Ausdehnung auf.

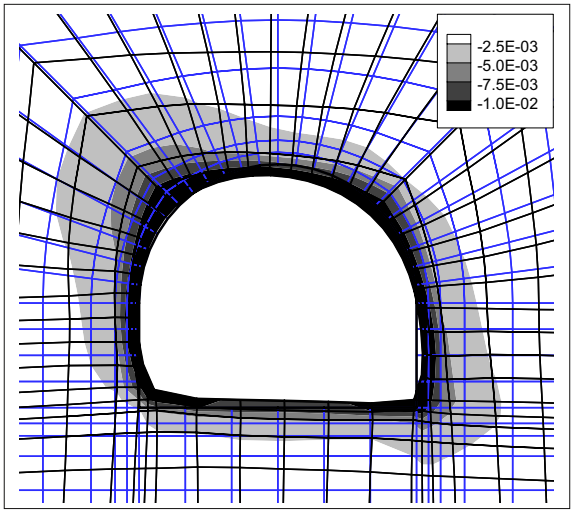


Gemessene Permeabilitätsverteilung um die Strecken (links) und aufgenommene Einbrüche während Auffahrungsphase (rechts).

Aufgrund des niedrigen Elastizitätsmoduls (E-Moduls) und damit auch einer niedrigen Gebirgsfestigkeit senkrecht zur Schichtung wurden Brucherscheinungen während der Auffahrung der Strecken beobachtet. Die durch die hydraulische und mechanische Anisotropie hervorgerufene ellipsenförmige Auflockerungszone kann gut mit einem hydromechanisch gekoppelten Modell nachvollzogen werden.

Die Rechenergebnisse zeigen, dass die beobachteten Verformungen zum großen Teil durch Schrumpfungsprozesse hervorgerufen werden. Der Betrieb von Ventilatoren zur Bewetterung der Strecken führt zu einer niedrigen Luftfeuchtigkeit von nur 40 % in den Strecken. Dadurch trocknen die Tonsteine um die Strecken herum aus. Dieses führt schließlich zu der erhöhten Permeabilität.

Ziel der Experten ist eine vollständige Beschreibung des Materialverhaltens von Tonstein. Hierfür wollen sie zukünftig das aus Laborversuchen entwickelte Stoffgesetz für Tonstein unter Berücksichtigung von Kriechen und Rissbildung im Code RockFlow implementieren und auf seine Anwendbarkeit prüfen. Zurzeit koppeln sie einen anderen Code (PhreeqC) mit dem Code RockFlow, um auch chemische Prozesse in ihren Modellberechnungen berücksichtigen zu können. Für Modellberechnungen, die eine Berücksichtigung von Temperaturen deutlich über 100 °C und hohe Salzgehalte erforderlich machen, ist die Kopplung mit anderen chemischen Codes ebenfalls in Arbeit.



Berechnete gesamte volumetrische Verformung um die Strecke durch ein hydromechanisch gekoppeltes Modell.

Das Programm JIFE

Seit mehreren Jahren wird von der BGR in einer intensiven Zusammenarbeit mit der Firma SRD, Berlin, das Finite-Elemente-Programm JIFE (Java Interactive Finite Element Code) zur numerischen Simulation gekoppelter thermo-hydraulisch-mechanisch-chemischer (THMC-) Prozesse entwickelt. Dieses Programm soll das bisherige von der BGR für thermomechanische Fragestellungen eingesetzte Programm ANSALT (Analysis of Nonlinear Thermomechanical Response of Rocksalt) ersetzen, das aufgrund einer nicht mehr zeitgemäßen Programmstruktur für aktuelle Anforderungen, insbesondere hinsichtlich komplexer dreidimensionaler Berechnungen, nur beschränkt verwendbar ist. JIFE basiert auf der Programmiersprache JAVA, die eine modulare Programmstruktur, die rasche Implementierung neuer Programmoptionen sowie eine interaktive Bedienung und grafische Visualisierungstechniken ermöglicht. Aufgrund der Verwendung spezieller Lösungsalgorithmen weist JIFE sehr kurze Berechnungszeiten auf und ermöglicht so auch die Analyse sehr großer dreidimensionaler Strukturen.

Im Mittelpunkt der Programmentwicklung stand zunächst die Erstellung und Implementierung von Berechnungsalgorithmen für thermomechanische Fragestellungen, um die in ANSALT enthaltenen Programmoptionen auch für JIFE-Modellierungen in aktuellen Projekten zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus wurden auch Algorithmen zur Berechnung hydromechanisch gekoppelter Prozesse implementiert.

Der derzeitige Entwicklungsstand von JIFE umfasst beispielsweise verschiedene Elementtypen für ein-, zwei- und dreidimensionale Berechnungsmodelle, eine große Zahl von Stoffgesetzen zur Berücksichtigung unterschiedlicher geologischer Materialien sowie spezielle Möglichkeiten der interaktiven Darstellung und Animation von Berechnungsergebnissen.

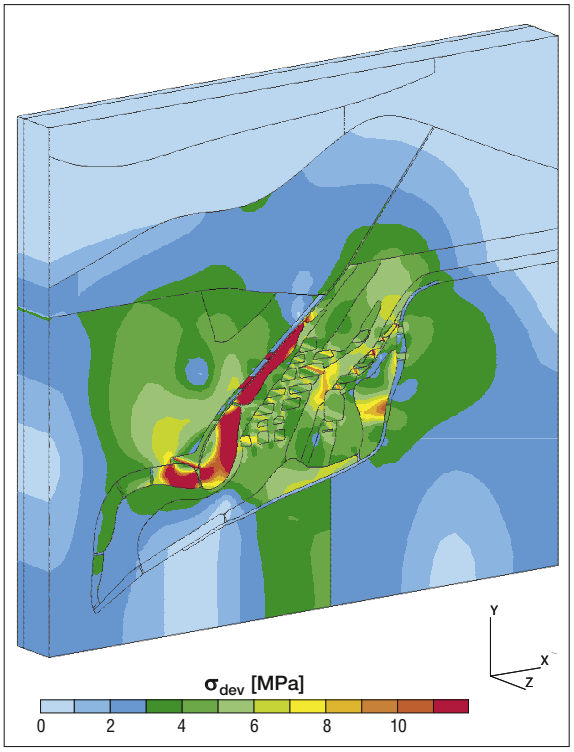
Im Hinblick auf die bevorzugte Anwendung von JIFE in Endlagerprojekten sind verschiedene, dem Stand der Wissenschaft entsprechende Materialgesetze zum thermomechanischen Verhalten von Salz- und Tongestein implementiert worden. Damit kann beispielsweise zeitabhängiges Verhalten von Salzgestein wie Kriechen und Dilatanz oder anisotropes inelastisches Verhalten von Tongestein modelliert werden.

Das Programm JIFE wurde in verschiedenen Projekten für die folgenden rechnerischen Nachweise und Untersuchungen eingesetzt:

- Nachweis der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Solekavernen in Salzstöcken und in flacher Lagerung unter Betriebsbedingungen,
- Nachweis der Standsicherheit alter Abbaubereiche im Endlager für radioaktive Abfälle (ERA) Morsleben sowie der Integrität der Salzbarriere über diesen Abbaubereichen,
- Untersuchung des Tragverhaltens und Nachweis der Wirksamkeit von Streckenabdichtungsbauwerken im ERA Morsleben,
- rechnerische Simulation der Auffahrung einer Bergwerksstrecke im Tonstein im Endlager Bure, Frankreich,
- Modellierung der Einlagerung von Abfallbehältern in Strecken eines Endlagers für radioaktive Abfälle im Salzgebirge.

Exemplarisch zeigt die Abbildung unten rechts die Ergebnisse aus dreidimensionalen Modellberechnungen mit JIFE. Dargestellt ist der Spannungszustand des Salinars für den heutigen Zeitpunkt im südlichen Zentralbereich der Schachtanlage Bartensleben im Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben. Die dargestellten Spannungen, die insbesondere in den Schweben zwischen den Abbaukammern und in den benachbarten Anhydritschollen hohe Werte erreichen, sind Grundlage für die Beurteilung der mechanischen Beanspruchung von Tragelementen im Bergwerk wie Pfeiler und Schweben sowie für die Bewertung der geomechanischen Integrität der Salzbarriere.

Mit den Programmsystemen JIFE und RockFlow verfügt die BGR heute über leistungsstarke Werkzeuge, die auf die Besonderheiten im Materialverhalten von Salz wie dilatantes Kriechen (JIFE), aber auch auf besondere Mechanismen in Strömungsprozessen wie das Quellen von Tonstein oder chemische Wechselwirkungen (RockFlow) spezialisiert sind.



Dreidimensionale Modellierung des südlichen Zentralbereichs der Schachtanlage Bartensleben im ERA Morsleben sowie Darstellung der mit JIFE berechneten Gebirgsspannungen.

Echte 3D-Modelle von Salzkavernen
so groß wie ein fünfzigstöckiges Hochhaus?

Mit dem Salz-Know-how der BGR und dem weiterentwickelten Programm OpenGeo ist es jetzt noch detaillierter möglich, echte 3D-Modelle von Salzkavernen zu erstellen.

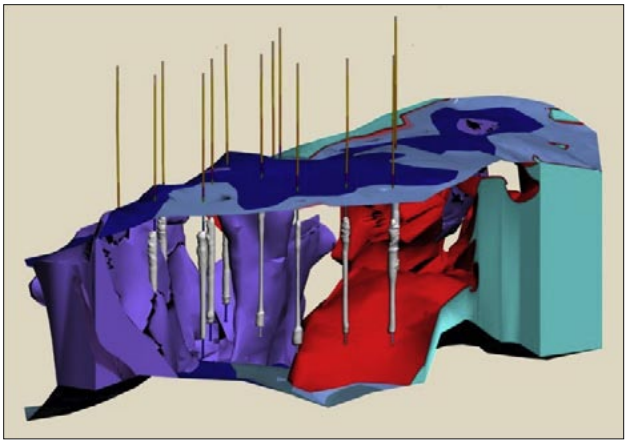
Seit Mitte der sechziger Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts werden Salzkavernen in Deutschland sowohl in horizontal gelagerten hinreichend dicken Salzschichten als auch in Salzkissen oder Salzstöcken über bis zu 2 000 m tiefe Bohrungen ausgesolt. Durchschnittlich große Kavernen sind bis 300 m hoch, bei einem Durchmesser von ca. 60 m. Sie haben ein Volumen von ca. 500 000 Kubikmetern und mehr. Das entspricht ungefähr dem umbauten Raum eines fünfzigstöckigen Hochhauses.

Bei den Salzkavernen können Produktions- und Speicherkavernen unterschieden werden. Erstere dienen der Gewinnung der Sole zur Herstellung von Steinsalz oder zur Nutzung der Sole als Rohstoff und Weiterverarbeitung in chemischen Fabriken. Letztere dienen zur Speicherung von gasförmigen und flüssigen Kohlenwasserstoffen sowie Druckluft oder Kohlendioxid CO_2. Darüber hinaus werden derzeit auch Nutzungsmöglichkeiten von ausgesolten Salzkavernen zur untertägigen Deponierung von Rest- und Abfallstoffen diskutiert.

Auf dem Gebiet der Erkundung und Erforschung von Salzstrukturen für die Endlagerung radioaktiver Abfälle verfügen die Salzgeologen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe über langjährige Erfahrungen. Dieses umfangreiche Wissen stellen sie den Betreibern von Salzkavernen für Erkundung, Bau und Betrieb ihrer unterirdischen Speicher zur Verfügung. Aufgrund steigender Nachfrage des Rohöls weltweit und steigender Preise gewinnt die Speicherung dieses Rohstoffes im eigenen Land mehr und mehr an Bedeutung. Die BGR ist deshalb derzeit ein besonders geschätzter Ansprechpartner der Kavernenindustrie.

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 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 sondern als echt dreidimensionale Körper modelliert werden. Dadurch lassen sich sehr einfach Volumenberechnungen vornehmen und für die Planung eines Solprozesses wichtige Schnittdarstellungen in jeder beliebigen Schnittebene erzeugen. Zur Strukturaufklärung und der Vorfelderkundung können ganze Schnittserien



Ausschnitt aus dem geologischen 3D-Modell des Kavernenfeldes Etzel. Die Kavernen (hellgrau) sind ca. 600 m hoch und haben einen Durchmesser von ca. 35 m.

unter beliebigen Raumlagen automatisch generiert und an beliebigen Stellen im Modell virtuelle Bohrungen mit einem dort geltenden Schichtenverzeichnis errechnet werden.

Ein weiterer wichtiger Vorteil der echt dreidimensionalen Modelle besteht in der Möglichkeit, sie direkt mit echometrischen Messergebnissen zu verschneiden. So lässt sich während einer Kavernensolung der tatsächliche Solfortschritt mit der Planung online vergleichen und dadurch der Solprozess effektiver steuern.

Die Salzgeologen der BGR entwickeln ihr Programm OpenGeo ständig weiter. So haben sie zuletzt den Konstruktionskern des Programms so verändert, dass sie jetzt auch komplizierte Salzstrukturen einfacher modellieren können. Aufgrund der Kriecheigenschaften von Steinsalz treten im Salzstock typischerweise kleinräumige und großräumige, zum Teil stark disharmonische Falten nebeneinander auf. Auch die kleinräumigen Falten lassen sich mit OpenGeo exakt modellieren. Spezialtools für die geophysikalische Auswertung, zum Beispiel von Radarmessungen, sind dazugekommen.

Nur die Kombination von exakter geologischer Gesteinsansprache und -einstufung und die 3D-Auswertung führen zu verlässlichen 3D-Modellen. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat sich in Deutschland und auch weltweit eine einmalige Erfahrung auf diesem Gebiet erarbeitet.

In den Jahren 2005 und 2006 konnten wir in der BGR die Modellierung der Salzstrukturen Krümmhörn, Lesum und Etzel (Niedersachsen) erfolgreich abschließen. In laufenden Projekten bearbeiten wir die Salzstrukturen Gorleben, Rüstringen (beide Niedersachsen) und Mökow (Mecklenburg-Vorpommern).

Auch bei der Modellierung abgesoffener oder gefluteter Salzbergwerke und ihres Deckgebirges wird OpenGeo derzeit von der BGR im Verbundvorhaben „Bergbaufolgeschäden Staßfurt“ eingesetzt. Das Verbundvorhaben startete 2006 mit elf Projektpartnern aus Industrie und Universitäten. Ziel des Projektes ist eine Prognose der Oberflächenentwicklung in der durch jahrzehntelangen Salzbergbau stark setzungsgefährdeten Region Staßfurt. Anhand der Untersuchungen soll ein nachhaltiges Gestaltungs- und Nutzungskonzept für diese Region erstellt werden.

Ein 3D-Lagerstättenmodell für das Kavernenfeld Etzel

Das nordwestdeutsche Kavernenfeld Etzel besteht derzeit aus 40 Salzkavernen. Für den Betreiber, die IVG Logistik GmbH, hat die BGR ein geologisches dreidimensionales Lagerstättenmodell dieses Kavernenfeldes mit dem Programm OpenGeo erstellt.



3D-Präsentation im Medienraum des Geozentrums Hannover.

Das Lagerstättenmodell umfasst die angetroffenen Schichten des Salinars ebenso wie die Kavernen und dazugehörige Bohrungen. Für die Modellierung des Kavernenfeldes setzten die Salzgeologen der BGR verbesserte Methoden zur Feingliederung der Schichten der Staßfurt-Folge (u. a. Neuinterpretation von Bohrlochlogs, Bromidanalysen) ein. Dadurch konnte erstmalig komplexes Falteninventar im Salzstock viel detaillierter erfasst werden als das bisher möglich war.

Die im Salzstock angetroffenen salinaren Schichten bilden eine vollständige stratigraphische Abfolge von der Staßfurt-Folge (z2) bis zur Leine-Folge (z3). Als Besonderheit lässt sich das Kristallbrockensalz (z2HS3) in ein Oberes und Unteres Kristallbrockensalz untergliedern. Das gewährleistet eine verbesserte Mächtigkeitsabschätzung der salinaren Schichten. Damit kann der Sicherheitsabstand zwischen Kavernen und leicht löslichen Schichten, wie dem Kaliflöz Staßfurt (z2SF), genauer bestimmt werden. Insgesamt wird die Ausweisung neuer Kavernenstandorte deutlich sicherer.

Mit OpenGeo steht für den Betrieb der Lagerstätte Etzel ein effizientes Planungswerkzeug zur Verfügung, das zukunftsweisend für die Analyse und Visualisierung komplexer geologischer Daten ist.

Endlagerung radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands **Untersuchung und Bewertung** von **Tongesteinsformationen**

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe erhielt im Jahre 2003 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) den Auftrag, eine Studie über die Verbreitung von Tongesteinen als potenzielle Wirtsgesteine für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland zu erstellen. Die Untersuchung sollte komplementär zu den bereits 1995 von der BGR veröffentlichten beiden Studien über Steinsalz und Kristallingesteine erarbeitet werden und damit die Wissenslücke über die in Deutschland vorkommenden potenziell für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle geeigneten Wirtsgesteine und deren Verbreitung schließen.



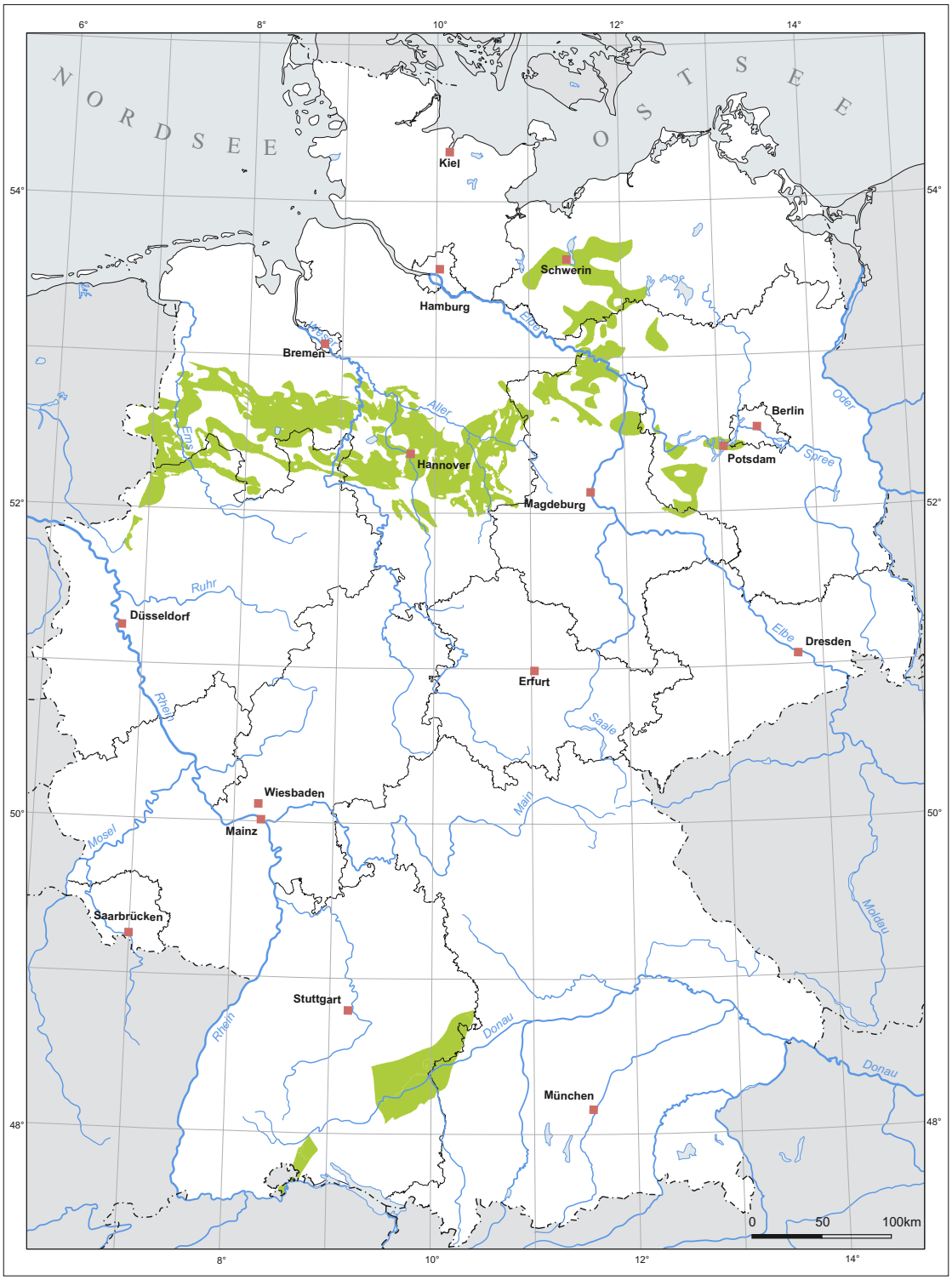
Beispiel für eine Tongesteinsformation – hier in einem übertägigen Aufschluss.

Tongesteine weisen eine große Bandbreite vom plastischen Ton mit Übergangsformen bis zum stark verfestigten und z. T. geklüfteten Ton (wie hier abgebildet) auf.

Bei den jetzt für Tongesteine durchgeführten Untersuchungen dienten international anerkannte, von der BGR für die Wirtsgesteine Salz und Kristallin formulierte Ausschluss- und Abwägungskriterien als Grundlage. Sie wurden ergänzt durch die im Jahr 2002 vom Arbeitskreis Auswahlverfahren Endlagerstandorte (AkEnd) aufgestellten wirtsgesteinsunabhängigen Ausschlusskriterien und Mindestanforderungen. Zusätzlich wurden von der BGR weitere aus geowissenschaftlicher Sicht als maßgeblich erachtete Abwägungskriterien bei der Auswahl der Regionen herangezogen. Als Grundlage der Bearbeitung dienten alle verfügbaren Daten aus Karten, Archivmaterial und Bohrungen. In-situ-Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Eine Buch-Veröffentlichung mit der Darstellung der detaillierten Ergebnisse wurde im Rahmen einer Veranstaltung des BMWi der Öffentlichkeit vorgestellt.





untersuchungswürdige Tongesteinsformationen in Deutschland

Teilgebiete mit untersuchungswürdigen Tongesteinsformationen in Deutschland.





Geologische Schadensrisiken

ologische
densrisi



Geohazards – Georisiken

In einer Welt mit stetig wachsender Weltbevölkerung gefährden Naturkatastrophen – aber auch durch den Menschen verursachte Umweltbelastungen – in wachsendem Maße Menschenleben und lebenswichtige, hochtechnische Infrastrukturen. Naturkatastrophen lassen sich im Regelfall nicht verhindern. Sie sind aber, soweit Gebiete mit z. B. periodisch aktivem Erdbebengeschehen oder Vulkanismus betroffen sind, in begrenztem Maße vorhersagbar.

Impressionen vom Krakatau, einem Inselvulkan in der Sundastraße zwischen Java und Sumatra.











Die BGR engagiert sich zum Beispiel am indonesischen Vulkan Krakatau durch den Aufbau eines Monitoring-Systems, um dessen Vulkanaktivität besser zu verstehen und Grundlagen für ein zukünftiges Frühwarnsystem zu entwickeln. Das seit 2003 laufende Projekt der Technischen Zusammenarbeit mit Indonesien, welches sich dem Themenkomplex „Verminderung von Georisiken" (Mitigation of Georisks) annimmt, wird fortgesetzt. Und gleichermaßen engagiert versucht die BGR einen umfassenden Beitrag zur Eindämmung von Kohlefeuern in China zu leisten – einer Umweltkatastrophe, die zum einen täglich wertvolle Energierohstoffe vernichtet, andererseits durch ihre CO_2-Emissionen eine nicht zu vernachlässigende Belastung für das Erdklima darstellt.



Geowissenschaftliche Beobachtung des **Vulkans Krakatau**

Krakatau Monitoring Projekt – KrakMon

Der Inselvulkan Krakatau in der Sundastraße zwischen Java und Sumatra erlangte 1883 traurige Berühmtheit, als er in gewaltiger Explosion ausbrach und an den Küsten von Süd-Sumatra und West-Java durch verheerende Tsunamis etwa 35 000 Menschen das Leben kostete. An der Stelle der nahezu völlig zerstörten ehemaligen Vulkaninsel hat im Jahre 1927 ein neuer Vulkan die Meeresoberfläche durchbrochen: der Anak Krakatau, das „Kind des Krakatau". Die junge Vulkaninsel wächst mit durchschnittlich vier Metern pro Jahr, der Asche- und Gesteinskegel türmt sich heute bereits zu einer Höhe von über 300 m über dem Meersspiegel auf. Gerade im April 2005 machte der Vulkan durch charakteristisches Zittern wieder auf sich aufmerksam, so dass die indonesischen Behörden die Sperrung des Vulkans für den Tourismus veranlassen mussten.

Die Sundastraße stellt eine der wichtigsten Verkehrsverbindungen im südostasiatischen Raum dar, grenzt an die bevölkerungsreichsten Zentren Indonesiens und ist gleichzeitig einer starken seismischen und vulkanischen Gefährdung ausgesetzt. Vor diesem Hintergrund wurde von der Bundesanstalt für Geowissenschaften Rohstoffe Anfang 2004 mit dem „Krakatau Monitoring Projekt" (KrakMon) zur Abschätzung von vulkanischen Risiken in der Sundastraße und einer möglichen Frühwarnung begonnen. Dieses Projekt ist ein Teil des Gesamtvorhabens SUN-DAARC, das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird. Die wissenschaftliche Dringlichkeit einer realistischen Einschätzung von Georisiken in der Region wurde durch die verheerenden Folgen des Erdbebens vor Sumatra am 26. Dezember 2004 tragisch verdeut-



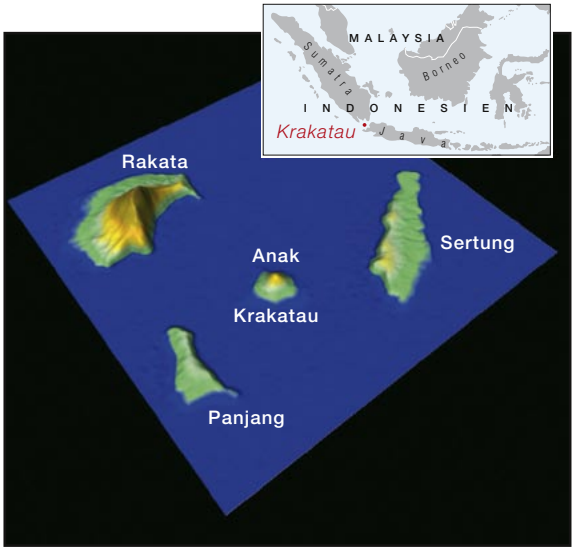
Der Anak Krakatau im Juni 2004. Im Hintergrund die Calderainsel Rakata.



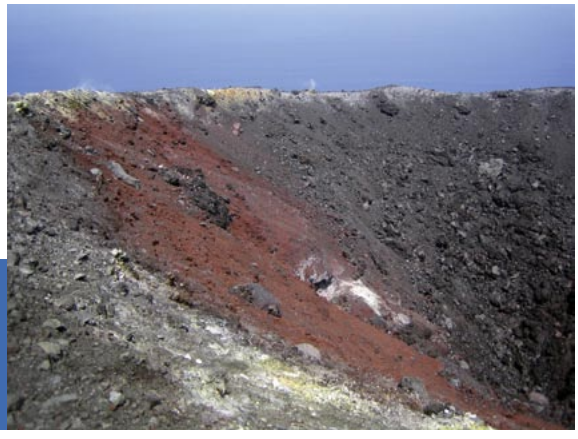
Instrumente für das Vulkan-Monitoring.

licht. Als direkte Folge wird zurzeit die Einbindung des KrakMon-Systems in das im Aufbau befindliche Tsunami-Frühwarnsystem für den indischen Ozean vorangetrieben. Für die Zukunft wird eine Ankopplung an ein einzurichtendes globales Multi-Hazard-Frühwarnsystem angestrebt.

Der Ausbruch eines Vulkans ist das Ergebnis einer komplizierten Verknüpfung von internen und externen Vorgängen. Die Vorläufer einer Eruption verraten sich am ehesten durch die Beobachtung und Interpretation einer Vielzahl gleichzeitig registrierter Parameter. Das Multiparameter-Messsystem der BGR am Krakatau setzt sich daher aus zahlreichen geophysikalischen, meteorologischen und geochemischen Messapparaturen zusammen. Die verschiedenen Sensoren registrieren seismische Signale aus dem Inneren des Vulkans sowie Veränderungen im elektrischen und magnetischen Feld. Deformationen des Vulkangebäudes werden über hochpräzise GPS-Messungen erfasst. Geochemische Sensoren messen den Anteil verschiedener Gase im Dampf der Fumarolen. Um den Einfluss externer Faktoren zu erfassen, wird eine Wetterstation eingerichtet, die über Niederschlag, Wind, Temperatur, Luftdruck sowie den Meerespegel Auskunft gibt. Zusätzlich wird der Krater optisch mit einer Kamera überwacht. Alle so erfassten Daten werden an ein etwa 50 km entferntes Observatorium auf Java gesendet, wo ihre Speicherung und Weiterverarbeitung erfolgt. Aus der Gesamtheit der Daten und ihrer zeitlichen Variationen sollen Informationen über Änderungen des Zustandes des Vulkans und damit mögliche gefährliche Situationen abgeleitet werden. Eine konzeptionell ähnliche Multi-Parameter-Station betreibt die BGR seit 1997 auf dem Vulkan Galeras in Kolumbien.



Lage des Anak Krakatau.



Auf dem Kraterrand des Anak Krakatau.



Transport von Messgeräten im Gelände des Krakatau.

In Indonesien liegen weltweit die meisten aktiven Vulkane. Die vulkanische Aktivität hat ihren Ursprung in denselben geologischen Prozessen, die auch die großen Erdbeben vor Sumatra verantworten. Die schwerere Indische Ozeankrustenplatte schiebt sich unter die leichtere kontinentale Eurasische Platte, der Geowissenschaftler spricht von Subduktion. Das Verhaken und plötzliche Lösen der sich aneinander vorbeischiebenden Platten ist für die Subduktions-Erdbeben verantwortlich. Der Subduktions-Vulkanismus geht auf das unterschobene Material zurück, welches bei Erreichen einer gewissen Tiefe zu Aufschmelzungen und zur Bildung von Magmen führt, die in typischem Abstand von der Platten-Kollosionszone die Vulkane des Indonesischen Feuerbogens speisen.

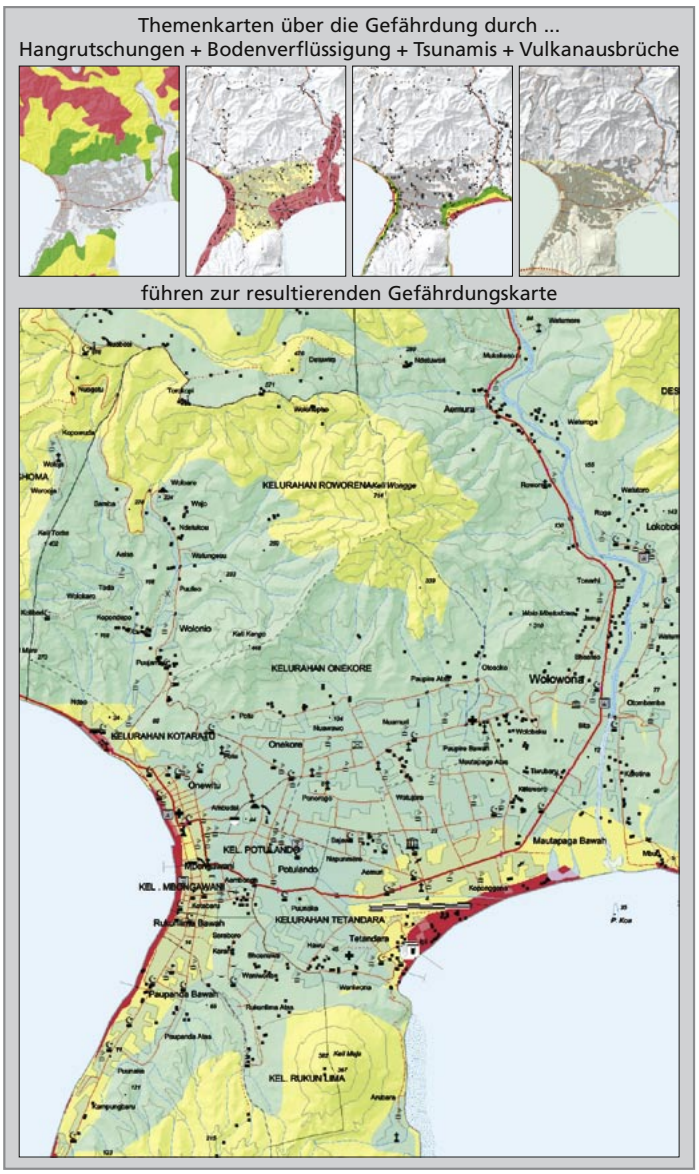


Die Küste der Insel Sebesi nördlich des Vulkans Krakatau in der Sundastraße.
Auf dieser Insel wurde im Rahmen des KrakMon-Projektes von der BGR eine seismologische Station aufgebaut.

Verminderung von Georisiken
in Indonesien

Indonesien wurde auch nach dem verheerenden Tsunami vom 26. Dezember 2004 von weiteren Naturkatastrophen heimgesucht. Im Mai 2006 bebte die Erde in Zentraljava mit einer Magnitude von 6,3 auf der Richterskala. Das Erdbeben ereignete sich just, während sich der Indonesische Geologische Dienst um den schon seit Monaten Lava und Asche speienden Vulkan Merapi sorgte, der an die Stadt Yogyakarta grenzt. Die Behörden hatten mit der Evakuierung der bedrohten Bevölkerung begonnen. Trotz der dadurch erhöhten Alarmbereitschaft forderte das plötzliche Erdbeben in den Städten Yogyakarta, Bantul, Sleman und Klaten in wenigen Minuten mehr als 5 700 Opfer.

In Bantul sind 80 % der Gebäudesubstanz zerstört. Dieses Beispiel zeigt die enorme Herausforderung, die sich auf nationaler und lokaler Ebene an ein Georisiken-Management stellt, welches in einem „Multi-Hazard-Ansatz" Maßnahmen zur Prävention und Reaktion auf völlig unterschiedliche Naturgefahren bereithalten muss. Seit 2003 wird der Indonesische Geologische Dienst durch das Projekt der Technischen Zusammenarbeit „Verminderung von Georisiken" mit Sitz in Bandung bei der Konzipierung und Implementierung von Georisiken-Management-Systemen unterstützt.



Zusammenfassende Gefährdungskarte vom Gebiet um die Stadt Ende (Flores, Indonesien) unter Berücksichtigung der Gefahren durch Hangrutschungen, Bodenverflüssigung, Tsunamis und durch Vulkanausbrüche in Folge eines Erdbebens.

In Folge des Erdbebens in Yogyakarta wurde das Projekt vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung mit einer regionalgeologischen Georisiken-Analyse des Großraums Yogyakarta beauftragt. Um einen erdbebensichereren Wiederaufbau der zerstörten Städte zu gewährleisten, werden vom Projekt ingenieurgeologische und seismische Messungen in den Städten Bantul und Klaten vorgenommen, um Gebiete mit erhöhtem Erdbebenrisiko auszugrenzen. Das Methodenspektrum orientiert sich an dem Vorgehen und den Erfahrungen, die die indonesischen Partner zusammen mit der BGR in dem Wiederaufbauprogramm in Banda Aceh auf Sumatra sammeln. Bohrungen werden niedergebracht und die Bodenbeschaffenheit wird in Form von geotechnischen Parametern erfasst.

Die ingenieurgeologischen Daten werden zu einer regionalen 3D-Analyse zusammengesetzt, die Profil- und Horizontalschnitte an jedem beliebigen Punkt mit Aussagen zur Baugrundstabilität ermöglichen. Die Untersuchungen werden sowohl von der BGR und der GGA als auch von der Geological Agency (Bandung) und den Universitäten in Bandung und Yogyakarta durchgeführt.

Ein weiteres Erdbeben im Juli 2006 löste einen Tsunami aus, durch den entlang der Südküste Javas über 700 Menschen ihr Leben verloren. Neben diesen auch in den Medien kommunizierten Naturkatastrophen ereignen sich in Indonesien jedoch nahezu täglich z. B. Hangrutschungen und Überflutungen, die nicht nur Menschenleben kosten sondern maßgebliche sozioökonomische Schäden verursachen.

Das Projekt führt eine Datenbank, in der alle diese Naturkatastrophen-Ereignisse – vorrangig der letzten zwölf Jahre – aufgeführt werden. Diese Datenbank umfasst heute ca. 11 000 Ereignisse und stellt damit die derzeit umfassendste Naturkatastrophen-Datenbank des Landes dar. Die nationale Behörde zur Koordination des Katastrophenschutzes BAKORNAS PB wird diese Datenbank übernehmen und in Zukunft in Eigenregie und in Form eines intra-institutionellen Datenverbundnetzwerks weiterführen.

Chinesisch-Deutsche **Kohlefeuer-Forschungsinitiative**

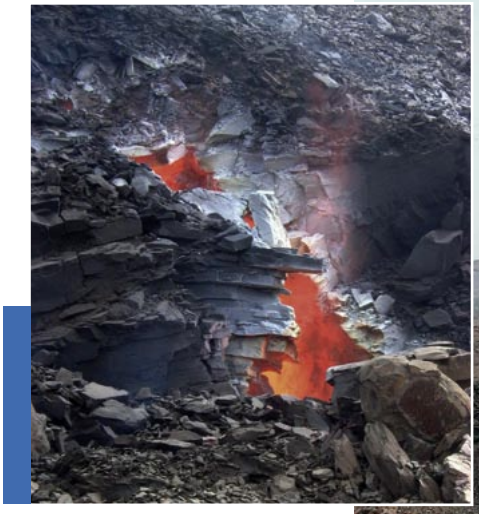
Spontane Brände von oberflächennahen Kohleflözen und Kohlehalden können überall auf der Welt auftreten. Kohlefeuer stellen in zweierlei Hinsicht ein großes Problem dar: Zum einen werden in großem Umfang Ressourcen eines wertvollen Energierohstoffes vernichtet, zum anderen werden vielfältige toxische Gase, insbesondere aber auch klimarelevante Gase wie CO_2 freigesetzt. In Nord-China wüten derartige Brände in einem sich von West nach Ost über etwa 2 000 km erstreckendem Gürtel. In diesem Gebiet gibt es Hunderte von Brandfeldern, in denen pro Jahr geschätzte 10 bis 20 Millionen Tonnen Kohle verbrennen. Zum Vergleich: In Deutschland werden jährlich etwa 25 Millionen Tonnen Steinkohle abgebaut. Durch diese Kohlefeuer wird eine etwa zehnfache Menge an Kohle unbrauchbar oder ist nicht mehr zugänglich für den Abbau. Angesichts des wachsenden Energiehungers Chinas und der schwindenden weltweiten Energierohstoffreserven wird das Problem stetig drängender. Der Ausstoß an giftigen Gasen und Stäuben ist so groß, dass die Bevölkerung in großen Regionen Chinas stark gesundheitlich gefährdet ist. Der Anteil der Treibhausgase ist selbst in globaler Hinsicht beträchtlich.



Durch Gasausstoß entstandene Mineralkrusten.

Vor etwa drei Jahren wurde eine chinesisch-deutsche Initiative zur Erforschung und Bekämpfung von Kohlefeuern in Nord-China gegründet. Das Projekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert und wird in enger Kooperation und Absprache mit dem Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) ausgeführt. Bisherige Projektpartner sind das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen, HarbourDom in Köln, die Deutsche Montan Technologie GmbH (DMT) in Essen, die TU Bergakademie Freiberg, die Bundesanstalt für Materialforschung (BAM) in Berlin, das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) in Hannover.

Das Gesamtziel des Vorhabens ist es, durch einen multidisziplinären Ansatz Möglichkeiten zur Vermeidung, Überwachung und zum Löschen derartiger Brände zu erarbeiten. Der Beitrag der BGR wird auf drei wissenschaftlichen Ebenen geleistet. Die Petrographie liefert wichtige Aussagen über die chemisch-physikalische Struktur und die Entzündlichkeit der Kohlen, die Geochemie liefert qualitative sowie in lokalen Bereichen zusätzlich quantitative Gasmessungen, die Geophysik liefert wichtige Daten zur Erkundung der Kohlefeuer in der Fläche und der Tiefe. In der Zusammenschau von Petrographie und Geochemie können Aussagen über die Art der Verbrennung getroffen werden, also, ob ein offener Brand, eine Verkokung oder Verschwelung vorherrscht. Die Art des Brandes bestimmt die freigesetzten Gase. Da viele Brandflächen nicht begehbar sind, wurde eine begrenzte Hubschrauberbefliegung durchgeführt, um in diesem Gebiet die elektromagnetischen und magnetischen Anomalien über den Kohlefeuern zu bestimmen. Diese Arbeit wurde mit bodengeophysikalischen Messungen zur detaillierten Bestimmung der Brandorte ergänzt.





„Die Hölle" Geländeaufnahme aus dem Minengebiet von Wuda, Nord-China.

In einer weiteren dreijährigen Phase ist geplant, von der Erkundung der Feuer überzugehen zur Löschbegleitung und zu neuartigen Löschansätzen. Als weiterer neuer Schwerpunkt ist vorgesehen, den Ausstoß der Brandgase für einzelne Feuer zu quantifizieren und die Löschung von Feuern zu verifizieren. Diese Arbeiten sind notwendig, um Bedingungen für Lösch- und Emissionsreduktions-Zertifikate zu erarbeiten. Ein Wirtschaftsbegleitkreis soll über die Arbeiten des neuen Verbundes informiert werden und Anregungen geben. Die Zielstellung ist die Beteiligung der deutschen Industrie an Löscharbeiten und gegebenenfalls der Einstieg in den Emissionshandel mit Kohlefeuer-CO_2-Zertifikaten.



Im Gebiet von Wuda, Nord-China.

Kohlefeuer in Wuda, Nord-China.



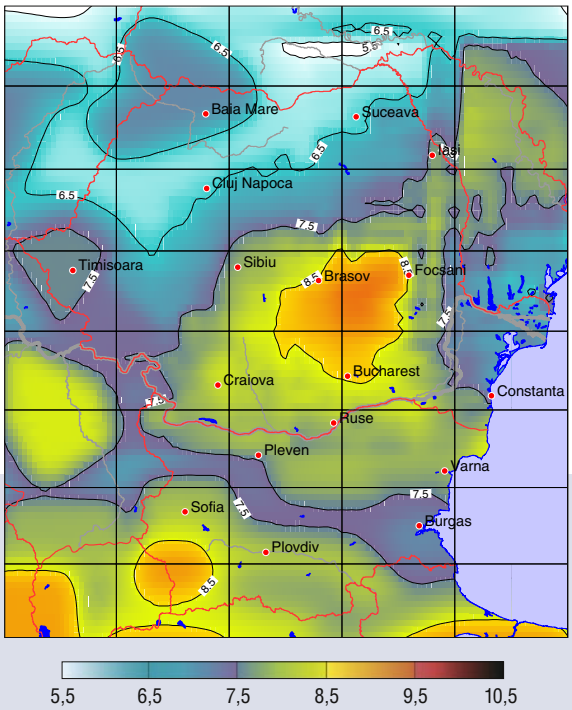
Erdbeben-Gefährdungskarten

für Bulgarien und Rumänien

In den kommenden Jahren wird eine neue Erdbebenbaunorm – der so genannte EUROCODE 8 – verpflichtend für alle Mitgliedsstaaten der EU eingeführt. Zur Anwendung dieser Norm für die neuen Mitgliedsstaaten Bulgarien und Rumänien sind neue seismische Gefährdungskarten zur Ermittlung der seismischen Lasten für Bauwerke zu erstellen. Der EUROCODE 8 verlangt die Angabe eines einheitlichen Gefährdungsparameters, wie z. B. die hier verwendete makroseismische Intensität. Zwei verschiedene Auslegungsfälle sind vorgesehen, für die jeweils eine Erdbebengefährdungskarte benötigt wird. Beim Nachweis der Tragfähigkeit ist sicherzustellen, dass das Gebäude einem Erdbeben mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 475 Jahren ohne Totalversagen widersteht. Oberstes Ziel ist dabei der Schutz von Menschenleben. Beim zweiten Auslegungsfall (Nachweis der Gebrauchstauglichkeit) gegen kleinere Erdbeben, die im Mittel alle 95 Jahre eintreten, soll sichergestellt werden, dass Gebäude keine größeren Schäden davontragen und damit der finanzielle Verlust begrenzt bleibt.

Große Erdbeben sind seltener als kleine. Je länger deshalb ein Zeitraum gewählt wird, über den eine Aussage getroffen werden soll, umso stärker kann ein mögliches Erdbeben sein, das irgendwann in diesem Zeitraum auftritt. Man spricht dabei von der mittleren Wiederkehrperiode für ein Beben bestimmter Stärke.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat die Arbeiten zur Berechnung der seismischen Gefährdungskarten gemeinsam mit bulgarischen und rumänischen Wissenschaftlern durchgeführt. Als Datengrundlage dienten die zum Teil bis in die Antike zurückreichenden Erdbebenkataloge für Zentral- und Südosteuropa sowie für Bulgarien und Griechenland. Die zeitlich aufwendigste Arbeit war das Zusammenstellen eines einheitlichen Erdbebenkatalogs.



Wahrscheinlichkeitskarte der Erdbebengefährdung von Bulgarien und Rumänien. Farblich dargestellt als Gefährdungsparameter sind die mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 475 Jahren zu erwartenden Erschütterungsstärken, die makroseismischen Intensitäten, entsprechend der zwölfteiligen Intensitätsskala MSK. Gebäudeschäden treten ab Intensität 6,5 auf.

Zur Berechnung der Erdbebengefährdung sind so genannte seismische Quellregionen zu definieren, basierend auf Seismizität, Neotektonik und geologischer Entwicklung. Innerhalb jeder dieser Quellregionen wird eine homogene Seismizität angenommen. Vor- und Nachbeben wurden aus dem Katalog entfernt, um statistisch unabhängige Erdbebenereignisse zu erhalten. Für jede seismische Quellregion wurde eine Intensitäts-Häufigkeitsverteilung der Erdbeben berechnet. Die Berechnung der Schütterwirkung an einem Standort erfolgt mit einer Intensitäts-Abnahmefunktion. Mit den statistischen Parametern der jeweiligen Regionen und dieser Intensitäts-Abnahmefunktion wurde schließlich für ein dichtes Raster die Erdbebengefährdung für jeden Kartenpunkt berechnet.

In Rumänien geht der überwiegende Anteil der Erdbebengefährdung von der Region Vrancea nördlich von Bukarest aus. In dieser Region gibt es neben Krustenbeben, die bis zu 60 km Tiefe auftreten, insbesondere starke, mitteltiefe Erdbeben in Tiefen von 60 bis 180 km. So verursachte das Erdbeben von 1977 (Magnitude 7,4, Herdtiefe 95 km), von dem Bukarest schwer getroffen wurde, 1 560 Tote und über 11 000 Verletzte; 32 Hochhäuser, 32 000 Wohnhäuser und 763 Industriegebäude wurden schwer beschädigt oder zerstört.

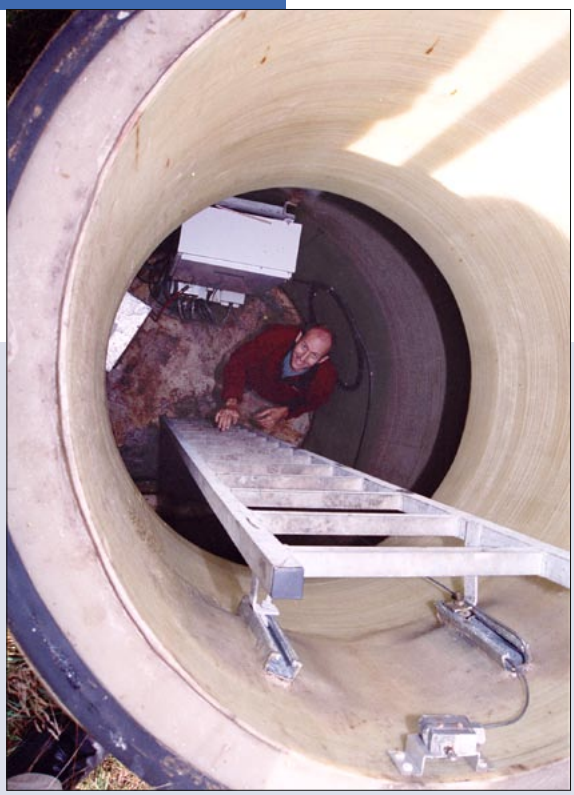
Im Gegensatz zu den mitteltiefen Erdbeben in der Region Vrancea, die an der Erdoberfläche sehr ungleichförmig verteilte Erschütterungen hervorrufen, zeigen die Krustenbeben einigermaßen kreisförmige Bereiche gleicher Erschütterungsstärken (Isoseisten). Um die ungewöhnliche Erschütterungsausbreitung der Vrancea-Beben realistisch zu erfassen, wurde ein neuer Ansatz entwickelt. Detaillierte makroseismische Karten von drei starken mitteltiefen Beben wurden verwendet, um die Intensitäts-Abnahmefunktion so zu modifizieren, dass die Erschütterungsabnahme für jeden betrachteten Rasterpunkt im Mittel den Beobachtungen entsprach. Für die mitteltiefen Beben der Region Vrancea und für die Krustenbeben aller Regionen zusammen wurden separate Gefährdungskarten berechnet, die anschließend zu einer Karte zusammengefügt wurden.

Diese kombinierte Erdbebengefährdungskarte gilt für die mittlere Wiederkehrperiode von 475 Jahren. Am stärksten gefährdet in Rumänien ist der Bereich um die Region Vrancea (Intensität 9). Auch für Bukarest ist die Erdbebengefährdung hoch, und wegen teilweise ungünstiger Untergrundbedingungen und schlechter Bausubstanz besteht dort ein großes Erdbebenrisiko.

Die Region mit den stärksten Erdbeben und auch mit der höchsten seismischen Gefährdung in Bulgarien ist die Region Kresna südlich der Hauptstadt Sofia.

Die Karten der seismischen Gefährdung bilden die Grundlage für die Ermittlung der Erdbebenbelastung, gegen die die Bauwerke auszulegen sind, um die Schadenswirkung künftiger Beben möglichst gering zu halten.





Seismologisches Zentralobservatorium und CTBT-Verifikation

Seismologisches Zentralobservatorium und CTBT-Verifikation



Zehn Jahre CTBT

Am 24. September 2006 jährte sich zum zehnten Mal der Tag der Unterzeichnung des Kernwaffenteststoppvertrags (CTBT – Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty). Deutschland gehörte zu den Erstunterzeichnern dieses Abkommens, dem bisher 179 Staaten beigetreten sind. Zwar ist der Vertrag aus verschiedenen politischen Gründen noch nicht in Kraft getreten, dennoch haben bisher alle Signatarstaaten dieses Abkommen eingehalten, was als Erfolg gewertet wird.

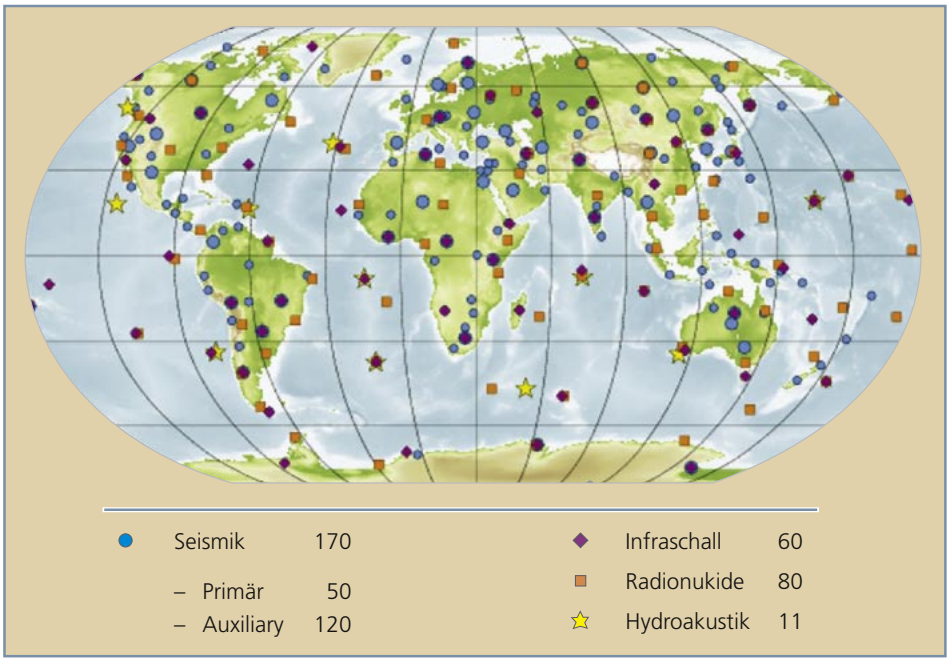
Für die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe entstanden aus der Unterzeichnung des CTBT neue gesetzliche Aufgaben. Die Übertragung der Funktionen eines deutschen Nationalen Datenzentrums (NDC) hat dabei für die BGR entscheidende Bedeutung. Letztlich sind die NDCs der Signatarstaaten für die Kontrolle zur Einhaltung des Teststoppvertrags verantwortlich. Als weitere Kernaufgaben aus dem Vertrag kommen Aufbau und Betrieb der an dem internationalen Überwachungssystem IMS (International Monitoring System) beteiligten deutschen Stationen für die Verifikationstechnologien Seismologie und Infraschall hinzu. Die besondere Herausforderung des Stationsbetriebs besteht darin, eine Datenverfügbarkeit von 98 % zu gewährleisten.



Diesen Vorgaben entsprechend war die vergangene Dekade eine Phase des Aufbaus. So wurde im Jahr 2001 im Bayerischen Wald mit I26DE die erste Infraschallstation des internationalen Überwachungssystems in Betrieb genommen. Es folgten ein Jahr später die seismische Messanlage GERES im Bayerischen Wald und schließlich in 2004 in der Antarktis das Infraschall-Messsystem I27DE und die Seismometerstation SANAE. Damit waren alle in Verantwortung des deutschen NDCs an der BGR befindlichen Stationen fertig gestellt. Als Letzte wurde die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betreute Radionuklidstation RN33 auf dem Schauinsland bei Freiburg im Dezember 2004 zertifiziert. Seitdem erfüllt Deutschland seine Verpflichtungen an dem internationalen Überwachungssystem. Gegenwärtig besteht das IMS-Netz mit den daran beteiligten deutschen Stationen aus insgesamt 321 Stationen.

Mit dem Aufbau der neuen Infraschallstationen im Bayerischen Wald und in der Antarktis eröffnete sich für die BGR technisches und wissenschaftliches Neuland. Als erster Schritt musste dabei eine geeignete Infrastruktur zur Bearbeitung, Analyse und Interpretation der von den Stationen erfassten Messdaten entwickelt und aufgebaut werden. Erst nachfolgend verlagerten sich die Schwerpunkte zunehmend auf die für die Verifikation relevanten wissenschaftlichen Untersuchungen. Ein prominentes Beispiel hierzu ist die Untersuchung des durch Windkraftanlagen erzeugten Lärms im tieffrequenten Bereich, eine für die Standortauswahl von Infraschallmessanlagen entscheidende Frage.

Ein weiteres neues Kapitel für die Verifikation des Teststoppabkommens eröffnete sich dem deutschen NDC durch die Beteiligung an dem europäischen Forschungsprojekt GMOSS (Global Monitoring for Security and Stability) innerhalb des 6. Rahmenprogramms der EU. Die Teilnehmer in diesem „Network of Excellence“ erkunden an Fallbeispielen die verschiedenen Möglichkeiten der Nutzung von Satellitenaufnahmen im sichtbaren Bereich sowie mit Radarinterferometrie in Kombination mit seismologischen Detektions- und Lokalisierungsverfahren zur Verifikation unterirdischer Explosionen.



Überblick über den gegenwärtigen Entwicklungsstand des aus insgesamt 321 Stationen bestehenden IMS-Netzes.

Weniger spektakulär, aber deshalb nicht weniger wichtig sind seismologische Untersuchungen, die auf die Verbesserung der Lokalisierung seismischer Ereignisse in Deutschland durch Bestimmung eines gültigen 3D-Geschwindigkeitsmodells abzielen. Zur Bestimmung dienen Erdbebenbeobachtungen des BGR-Datenkataloges der letzten 20 Jahre. Mit diesen Daten und der Anwendung tomographischer Verfahren wurde ein dreidimensionales Modell der Geschwindigkeitsstruktur und der Anisotropie der Kruste-Erdmantel-Übergangszone unter Deutschland erstellt. Dieses Modell bildet die Grundlage, um zukünftig die Quellen seismischer Ereignisse genauer lokalisieren zu können.

Die CTBT-relevante Komponente dieser Arbeiten resultiert aus der den nationalen Datenzentren zugeordneten Aufgabe, innerhalb ihres eigenen Staatsgebiets im Verdachtsfall jederzeit Ort und Natur seismischer Signalquellen bestimmen und offen legen zu können, um Forderungen von Drittstaaten nach Durchführung von Vor-Ort-Inspektionen zu begegnen.

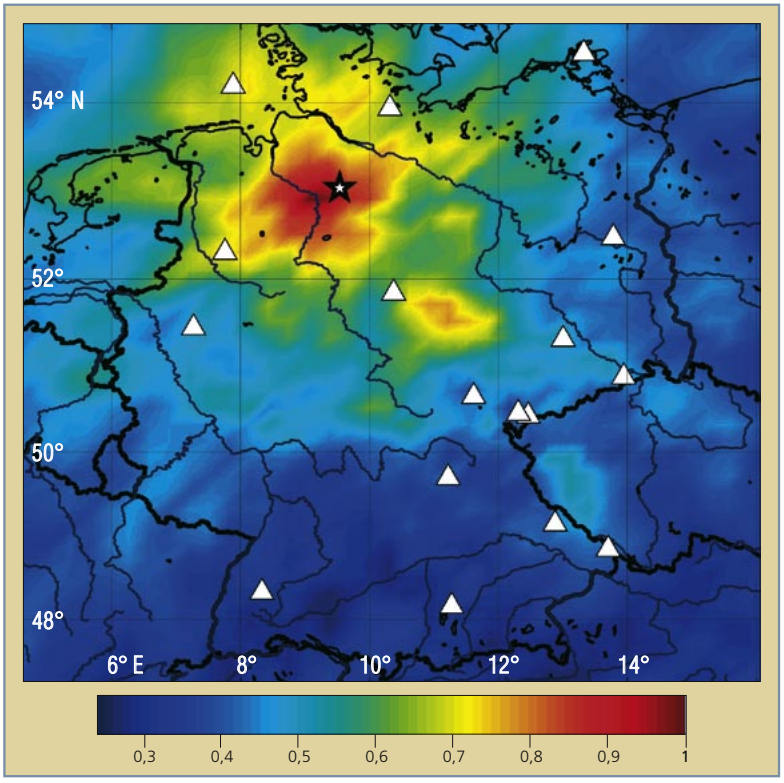
Um diese Aufgabe mit möglichst geringem Aufwand erfüllen zu können, lag die Entwicklung eines zuverlässigen automatischen seismischen Ortungs- und Identifikationssystems nahe. Von diesem Punkt der Entwicklung ausgehend war es nur ein kleiner Schritt zu ALISE, einem neuen Alarm- und Informationssystem für Erdbeben in Deutschland, das speziell auf Beben mit Magnituden größer ML = 3.0 abzielt, die eine kleine Untermenge der in Deutschland beobachteten Seismizität darstellen.

ALISE, das Alarm- und Informationssystem für **Erdbeben in Deutschland**

Seit dem verheerenden Sumatra-Erdbeben vom 26. Dezember 2004 gibt es ein gesteigertes öffentliches Interesse an der Errichtung von Erdbeben-Alarm- und Informationssystemen. Obwohl Deutschland nicht zu den seismischen Risikoregionen zählt, sind auch hier in der Vergangenheit schon ernstzunehmende Schadenbeben aufgetreten. Nicht nur für diese Schadenbeben sondern auch für kleinere Erdbeben besteht in Deutschland ein Bedarf an schnellen, zuverlässigen und umfassenden Informationen. Diese helfen Einrichtungen wie Polizei, Feuerwehr oder Lagezentren der Innenministerien, eine objektive Einschätzung der Situation nach einem Erdbeben vorzunehmen und die notwendigen Maßnahmen zu veranlassen. Hierzu gehört auch die Weitergabe von Informationen an besorgte Mitbürger, was zu einer Beruhigung der Situation beiträgt, wenn bei einem Ereignis mit keinen Schäden zu rechnen ist.

Um diese Informationen liefern zu können, wurde ALISE entwickelt, ein Alarm- und Informationssystem für Erdbeben in Deutschland. Direkt nach einem Erdbeben in Deutschland und Umgebung können mit diesem System die zuständigen Einrichtungen schnell und umfassend über dieses Ereignis informiert werden.

ALISE besteht aus den drei Komponenten Seismometernetz, Auswertesoftware und einer Benutzerschnittstelle zur Visualisierung der Ergebnisse. Für das Seismometernetz werden die digitalen seismischen Breitbandstationen des Deutschen Regionalnetzes (GRSN), eigene Stationen, wie z. B. das GERES Array im Bayerischen Wald, sowie einige Stationen in benachbarten Ländern genutzt. Sie liefern kontinuierliche Wellenformdaten, die praktisch in Echtzeit zur BGR übermittelt werden und eine schnelle Lokalisierung gewährleisten.



Ergebnis des an der BGR entwickelten „Multiphase Gridsearch Lokalisierungsverfahren" für das Rotenburg-Beben vom 20.10.2004. Die Güte der Lösung ist farbcodiert für jeden Punkt auf der Karte dargestellt. Das berechnete Epizentrum (bester Wert) ist mit einem Stern markiert.

Die Auswertesoftware verarbeitet die kontinuierlich eintreffenden Messdaten und sucht in den Daten nach Signalen von Erdbeben. Sind verschiedene Kriterien, die ein Beben charakterisieren, erfüllt, so werden die Herdparameter sowie die möglicherweise damit verbundenen Auswirkungen automatisch abgeschätzt. Hierzu zählen Größen wie die so genannte „Vulnerabilität" und die mögliche Schadensverteilung. Die hohe Verlässlichkeit der Lokalisierung wird unter anderem durch ein an der BGR neu entwickeltes Verfahren erreicht, das sich nicht nur auf die automatisch bestimmten Ersteinsätze beschränkt sondern auch spätere Einsätze berücksichtigt. Die dadurch berechneten Lösungen für die Epizentrumskoordinaten haben sich als zuverlässig und robust herausgestellt. Zusätzliche Konsistenzprüfungen ermitteln die Qualität der automatisch berechneten Ergebnisse und ermöglichen eine weitere Verbesserung. Innerhalb von fünf bis zehn Minuten nach einem Ereignis sind Herdparameter und die zu erwartenden Auswirkungen vollständig bestimmt.

Die Ergebnisse der Datenanalyse werden über eine webbasierte Benutzerschnittstelle bereitgestellt, die für den Nutzer nur einen Internetanschluss und einen Browser voraussetzt. So können beispielsweise die möglichen Auswirkungen eines Erdbebens wie Vulnerabilität und die zu erwartende Schadenswirkung im Kontext mit topographischen und geologischen Karten und Satellitenbildern dargestellt werden. Zusätzliche Daten wie historische Erdbeben, Bergbauaktivität, Steinbrüche, Kernkraftwerke, Gas- und Ölfelder sowie Störungszonen können vom Benutzer eingeblendet werden. Die dafür benötigten Daten werden von einem Map-Server in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe aufbereitet, der auf eine umfangreiche Datenbank zugreift. Die Wahl eines normalen Webbrowsers als Benutzerschnittstelle sowie die intuitive Art der Informationsaufbereitung erlaubt es auch Nicht-Seismologen, die Ergebnisse zu interpretieren und zu verwerten.

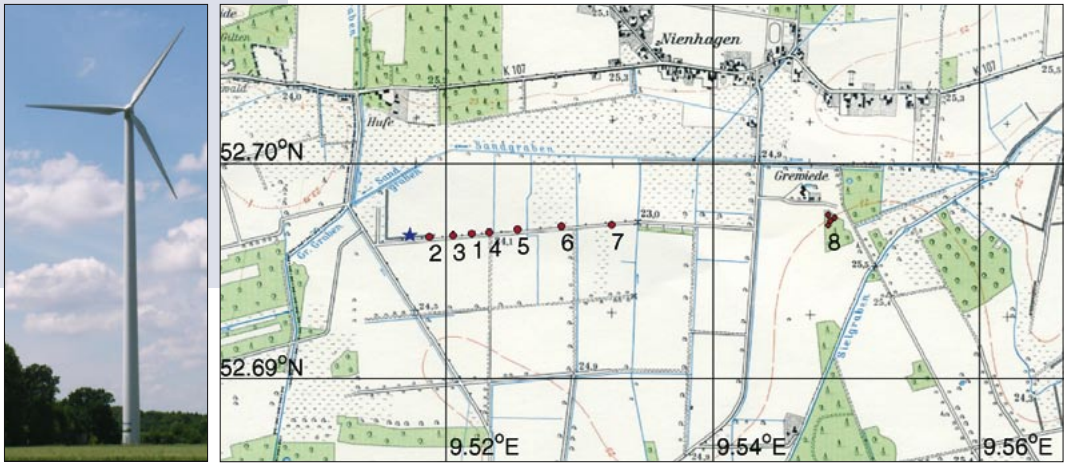


Die Lage des von ALISE berechneten Epizentrums eines Erdbebens (Stern) wird zusammen mit der Fehlerellipse (rot) auf verschiedenen Karten dargestellt. Von links nach rechts: Topographische Karte 1 : 25000 (verkleinert), Satellitenbild (25 m Auflösung), Geologische Karte 1 : 200000 (verkleinert) und kann mit zusätzlichen Informationen, wie z. B. dem Bereich potenzieller Schäden (ganz rechts), überlagert werden.

Der **unhörbare Lärm** von **Windkraftanlagen**

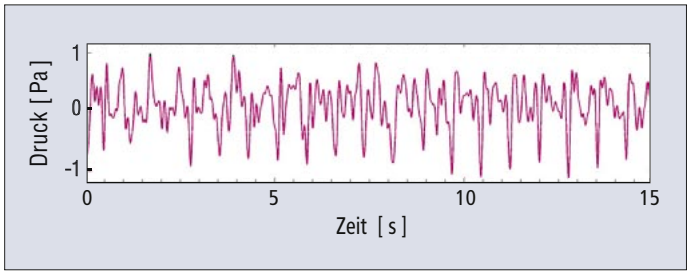
In der Bevölkerung gibt es Bedenken, dass große Windräder zur Erzeugung elektrischen Stroms einen negativen Einfluss auf die Umwelt haben könnten. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund eines verstärkten Baus derartiger Anlagen und ihrer räumlichen Zusammenlegung zu Windparks, die teilweise in direkter Nachbarschaft bewohnter Gebiete errichtet werden. Der Betrieb dieser Anlagen führt vereinzelt zu erhöhten Lärmbelastungen. Der durch die Flügelbewegung hervorgerufene Lärm beschränkt sich dabei nicht nur auf den hörbaren Bereich, denn auf Grund ihrer Größe und geringen Rotationsgeschwindigkeit wird auch ein erheblicher Infraschallanteil unterhalb von 20 Hz erzeugt. Da der Betrieb von Windrädern von den Windverhältnissen bestimmt wird, besteht eine starke Abhängigkeit zwischen Wind und Lärm. Im Fall kontinuierlicher Winde bedeutet dies eine permanente Lärmemission über Tage und Wochen, was insbesondere in direkter Nachbarschaft belastend sein kann. In größeren Entfernungen gehen die Schallemissionen jedoch normalerweise im Hintergrundrauschen unter, das im Wesentlichen von Verkehr und Industrie sowie dem lokalen Wind geprägt wird.

Diese Beobachtungen gelten für alle Windkraftanlagen mit Leistungen größer als ca. 100 kW unabhängig von ihren baulichen Parametern. Die BGR betreibt hochempfindliche Infraschallmessanlagen und ist daran interessiert, eine Abschätzung der Stärke der tieffrequenten Schallemission von Windrädern vornehmen zu können. Zu diesem Zweck wurde eine mobile Infraschall-Messkampagne an einem einzelnen frei stehendem 200 kW Windrad nördlich von Hannover durchgeführt. An acht Standorten entlang eines etwa 2 km langen West–Ost-Profils wurden die akustischen Signale des Windrades mit Mikrobarometern gemessen. Der Schall entsteht beim Passieren der einzelnen Propellerflügel am Turm durch ein Zusammendrücken der Luft und setzt sich aus einzelnen Tönen zusammen, die ein Vielfaches der so genannten Flügelharmonischen sind, dem Produkt aus Umdrehungsgeschwindigkeit und Anzahl der Flügel.

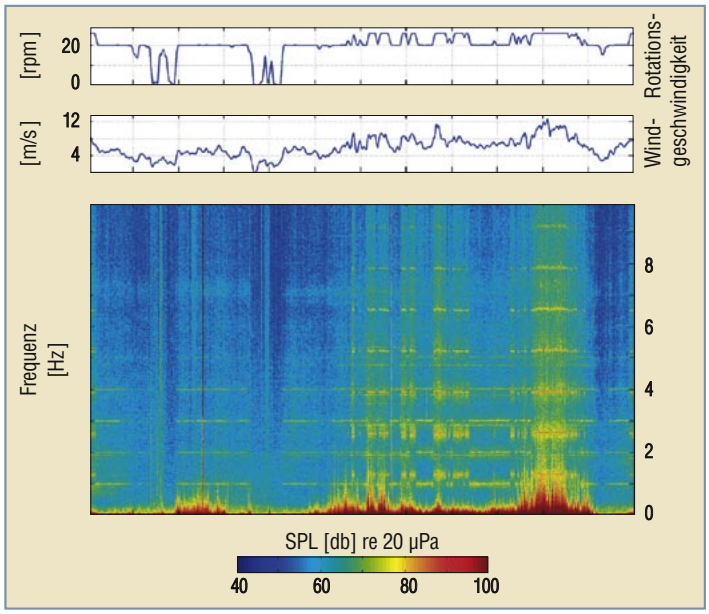


Infraschallmessung an der 200 kW Windkraftanlage vom Typ Vestas V47 nördlich von Hannover (blauer Stern). Die Registrierung mit MB2000 Mikrobarometern erfolgte entlang eines etwa 2 km langen Profils (rote Punkte).

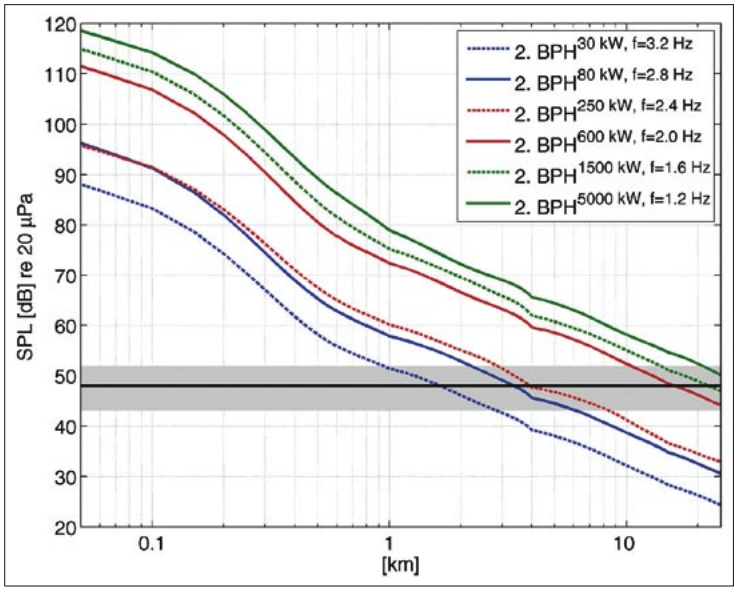
Insgesamt kann ein klarer Zusammenhang zwischen gemessenem Infraschalldruckpegel und der Windgeschwindigkeit hergestellt werden, wobei sowohl bei Windstille als auch bei mittleren und höheren Windgeschwindigkeiten registriert wurde. Da der von einem Windrad erzeugte Schalldruck mit der Umdrehungszahl sehr stark ansteigt, werden die meisten Windräder mit einem variablen Anstellwinkel der Flügel und bei nur zwei verschiedenen Umdrehungszahlen betrieben. Im untersuchten Fall sind das 20 Umdrehungen pro Minute für schwachen und mittleren bzw. 26 Umdrehungen für starken Wind, entsprechend einem Unterschied im Schalldruckpegel um den Faktor drei bei den Flügelharmonischen.



Der in etwa 200 m Entfernung zum Windrad registrierte Schalldruck zeigt deutliche impulsive Signale, die beim Passieren der einzelnen Flügel am Turm erzeugt werden.



Diese Zeit-Frequenz-Analyse über einen Zeitraum von 72 Stunden zeigt deutlich den Zusammenhang zwischen Wind- und Rotationsgeschwindigkeit zu den Vielfachen der Flügelharmonischen des Windrades, mit den Grundfrequenzen von 1,0 bzw. 1,3 Hz. Bei tiefen Frequenzen unterhalb von 1 Hz ist der Anstieg des Hintergrundrauschens bei stärkerem Wind an Hand der tief roten Einfärbung zu erkennen und umgekehrt das Absinken bei Windstille.



Ausgehend von der analytischen Formulierung zur Abschätzung des emittierten Schalldruckpegels unterschiedlicher Windräder zur Stromerzeugung zwischen 30 und 5000 kW kann unter Berücksichtigung des mittleren Rauschniveaus an der Station I26DE im Bayerischen Wald bei 1 bis 3 Hz (grauer Balken) ein Mindestabstand der Windräder zur Station angegeben werden.

Abhängig von den baulichen Eigenschaften und der generierten Leistung ist es möglich, den abgestrahlten Lärm als Funktion der Entfernung zum Windrad zu berechnen. Die theoretischen Werte konnten Dank der Messung für den Infraschallbereich überprüft werden, was wiederum erlaubt, einen Mindestabstand von einem Windrad oder einer Windfarm zu einer Infraschallmessanlage anzugeben. Dies ist für die BGR als Betreiber der Infraschallstation I26DE im Bayerischen Wald, die Teil des internationalen Überwachungssystems zur Einhaltung des Kernwaffenteststoppabkommens (CTBT) ist, von großer Bedeutung, um eine ungestörte Registrierung zu gewährleisten. An Hand der theoretischen Abschätzung zeigt sich, dass die Schallemission moderner und großer Windkraftanlagen mit Leistungen von mehr als 600 kW bei etwa 1 Hz Reichweiten von über 10 km hat. Diese Entfernung steigt im Falle von Windparks auf ein Vielfaches. Unabhängig von diesen großen erforderlichen Abständen von Mikrobarometern zu Windrädern wird hingegen die menschliche Wahrnehmungsgrenze für Infraschall bereits nach etwa 300 bis 500 m unterschritten.

Atomteststopp-Kontrolle
mit satellitengestützten und seismischen Daten

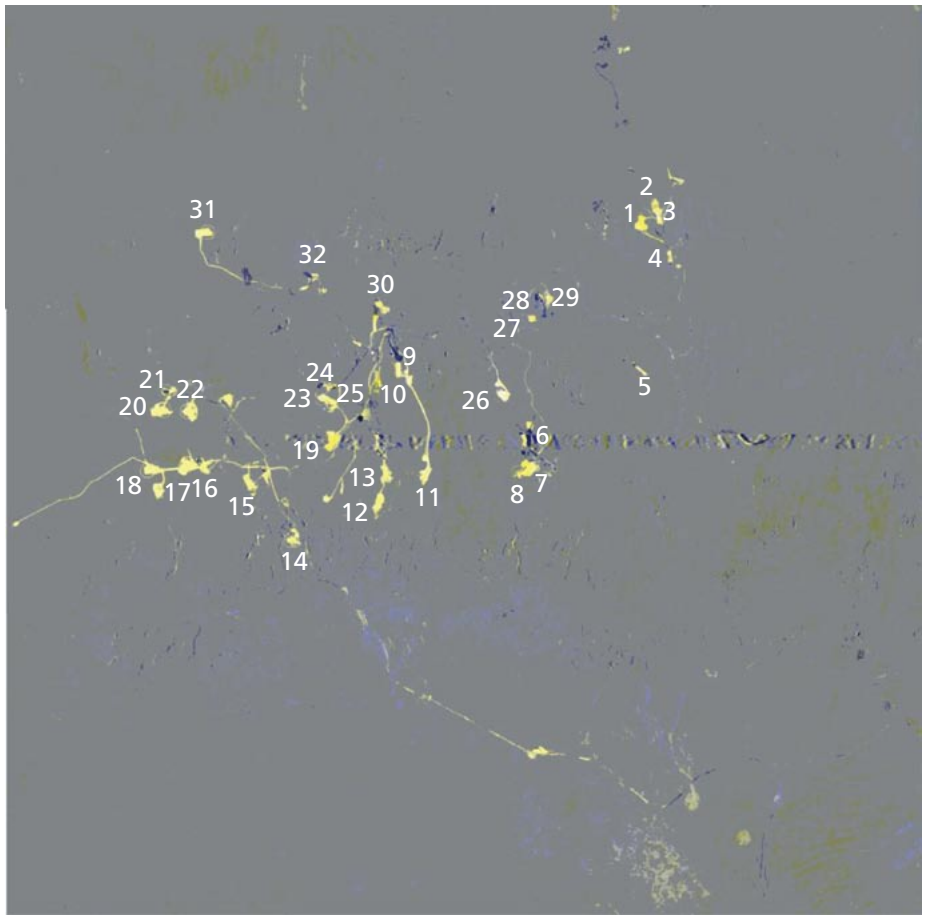
BGR-Aktivitäten im Exzellenznetz GMOSS der EU

Die Kontrolle der Einhaltung des Vertrages über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (CTBT – Comprehenisve Nuclear Test-Ban Treaty) mittels genauer Lokalisierungen unterirdischer Kernexplosionen ist eine der wichtigsten Aufgaben der angewandten Seismologie. Zur Ergänzung der seismischen Verfahren werden von dem Nationalen Datenzentrum der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe bei Forschungsarbeiten zur Identifikation und räumlichen Bestimmung fraglicher seismischer Ereignisse Methoden der Satellitenbildauswertung eingesetzt. Seit März 2004 sind diese Arbeiten in das von der Europäischen Kommission (European Commission) initiierte Exzellenznetz (Network of Excellence, NoE) GMOSS integriert (siehe http://www.bgr.bund.de, → Seismologie/ Kernwaffenteststopp, → Projekte). Das Kürzel GMOSS steht für „Global Monitoring for Security and Stability" und ist in der Aeronautics and Space Priority des 6. Forschungsrahmenprogramms der EU verankert.

Bisher wurden hauptsächlich multispektrale Daten unterirdischer Kernwaffentests in Indien und auf dem Testgelände der USA in Nevada mit Hilfe eines statistischen „Änderungsdetektionsverfahrens" untersucht. Bei dem Verfahren werden rechnerisch die Änderungen in zwei zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommenen Satellitenbildern festgestellt. Um das Verfahren zu testen, wurde es auf ältere Satellitenbilder von der „Nevada Test Site" (NTS) angewendet. Die berechneten Änderungsdetektionen der historischen unterirdischen Kernexplosionen wurden mit seismischen Daten (Zeitpunk, Ort, Stärke) und damit verbundenen phänomenologischen Daten der Explosionen (u. a. Kraterdurchmesser) verglichen. Die Bilder des Landsat-Satelliten aus den 1980er Jahren haben nur eine Auflösung von 30 m. Damit war die Entdeckung von Änderungssignalen im Zusammenhang mit der Bildung von Einsturzkratern für Versuche auf dem „Pahute Mesa"-Testgebiet der NTS bis auf eine Ausnahme für alle untersuchten Tests möglich. Dem gegenüber sind die mit Vorbereitungen am Explosionsort („ground zero") verbundenen Änderungssignale leicht erkennbar und in sehr guter Übereinstimmung mit den seismischen Referenzdaten.

Die Entdeckung verdächtiger Vorbereitungsaktivitäten kann somit Hinweise auf mögliche zukünftige Tests liefern und in Verbindung mit einem seismischen Signal, das bei der Explosion erzeugt und aufgezeichnet wird, zu deren Identifikation und verbesserten Lokalisierung beitragen. Dieses Ergebnis unterstreicht den Wert der kombinierten Auswertung satellitengestützter und seismischer Daten für gezielte Vor-Ort-Inspektionen und weitergehende Untersuchungen im Testgebiet. Möglichst genaue Informationen über den möglichen Ort einer durchgeführten Nuklearexplosion sind die wesentliche Voraussetzung für eine effektive Vor-Ort-Inspektion durch die internationale CTBT-Überwachungsbehörde in Wien.

Änderungsdetektionen (helle und dunkle sowie gefärbte Pixel) für das „Pahute Mesa"-Testgebiet für zwei Landsat-Satellitenbilder vom 6. Mai 1984 und dem 26. Mai 1991. Alle zweiunddreißig nach der Aufnahme des ersten Bildes durchgeführten unterirdischen Atomtests (die Decknamen der Tests sind angegeben) sind erkennbar mit Änderungssignalen verbunden, die von Vorbereitungsaktivitäten an der Oberfläche herrühren.



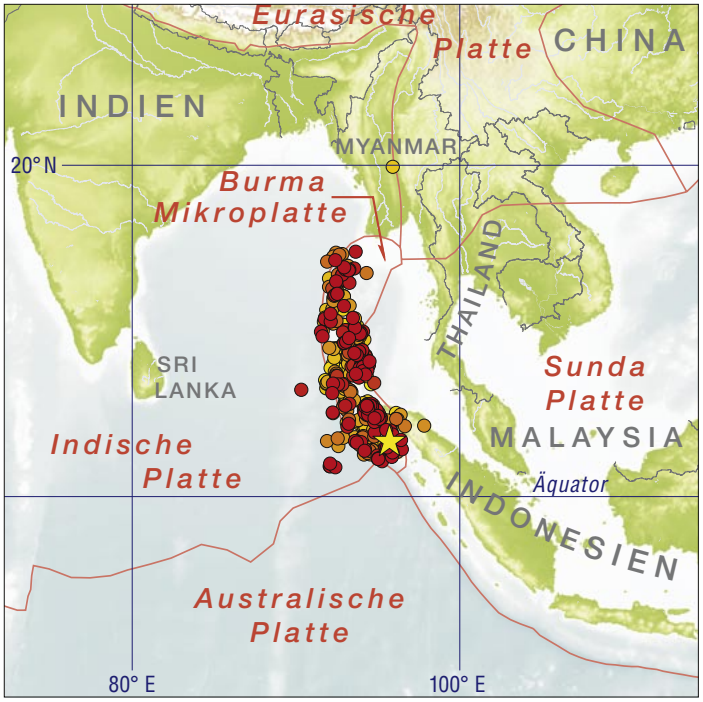
1	Bexar	11	Bamwell	21	Egmont
2	Labquark	12	Hoya	22	Hornitos
3	Kearsarge	13	Hardin	23	Cornstock
4	Tiena	14	Belmont	24	Jefferson
5	Towanda	15	Goldstone	25	Bullion
6	Galveston	16	Salut	26	Alamo
7	Houston	17	Tenabo	27	Junction
8	Lockney	18	Delamar	28	Cybar
9	Kappeli	19	Montello	29	Amarillo
10	Bodie	20	Darwin	30	Contact
				31	Kernville
				32	Serena





Tsunami-Hilfe

Tsunami Hilfe



Die tektonische Karte zeigt neben den Plattengrenzen in rot (Quelle: COFFIN et al. 1998 und USGS), die stärksten Nachbeben (deutlich mehr als 100) mit einer Magnitude größer 5.0 als Kreise sowie das Epizentrum des Hauptbebens als Stern. Die Farbe von gelb nach rot entspricht der fortlaufenden Zeit vom 26. 12. 2004 bis zum 04. 01. 2005.

Das **Sumatra-Beben**
vom 26. Dezember 2004

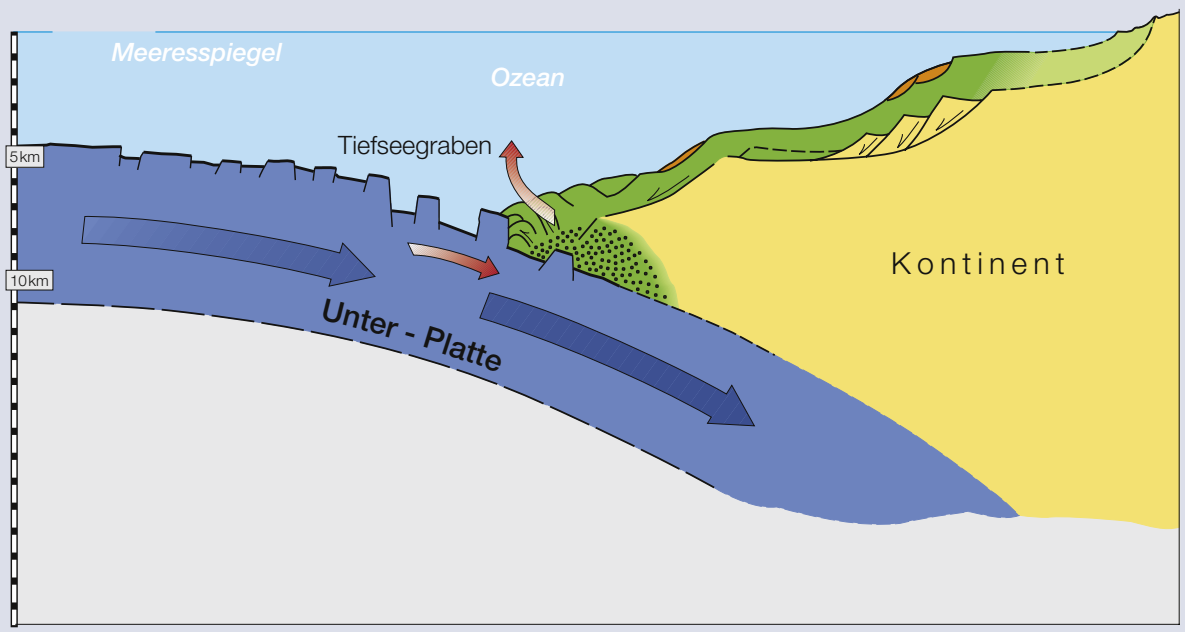
Das Sumatra-Erdbeben vom 26. Dezember 2004 war mit einer Magnitude von 9,3 nach dem Chile-Beben (1960) und dem Alaska-Beben (1964) das drittstärkste Erdbeben, das innerhalb der letzten 100 Jahre auf der Erde stattfand. Die durch das Beben erzeugte Flutwelle überschwemmte die Küstenregionen Indonesiens, Indiens, Thailands und Sri Lankas. Das Erdbeben und der Tsunami forderten mehr als 230 000 Tote und Sachschäden in Milliardenhöhe. Dem Ereignis wurde in der Öffentlichkeit sehr große Beachtung zuteil, nicht zuletzt auch dadurch, dass eine große Zahl europäischer Touristen in Thailand ums Leben kam oder verletzt wurde.

Unter Geowissenschaftlern ist der Sunda-Bogen, zu dem Sumatra und Java zählen, schon sehr lange für sein besonders hohes Georisiko bekannt. Neben den zahlreichen Vulkanen in Indonesien tragen Erdbeben, die entlang der Sunda-Bogen-Subduktionszone stattfinden, zum Risiko bei. Schon im 19. Jahrhundert ereigneten sich vor Sumatra zwei sehr starke Seebeben mit nachfolgenden Tsunamis (1833 und 1861), die zu erheblichen Überschwemmungen führten.

Das verheerende Beben vom 26. Dezember 2004 ereignete sich vor der Nordwestküste Sumatras in dem Bereich, in dem die Indo-Australische Platte mit einer Subduktionsrate von etwa 7 cm/Jahr in NNE-Richtung unter die Eurasische Platte abtaucht. Das Erdbeben wurde von den von der BGR betriebenen seismischen Messnetzen (Gräfenberg-Array GRF und Deutsches Regionalnetz GRSN) präzise aufgezeichnet und am Seismologischen Zentralobservatorium (SZGRF) in Erlangen ausgewertet. Nach der Lokalisierung am SZGRF fand das Hauptbeben um 00:58:48 UT statt, der Bruchbeginn lag bei einer geographischen Breite von 2,76° N und einer Länge von 96,92° E.

Im Rahmen der täglichen Routineauswertung der seismologischen Daten des Deutschen Regionalnetzes und des Gräfenberg-Arrays am Seismologischen Zentralobservatorium in Erlangen konnten nicht nur das Hauptbeben registriert und ausgewertet werden, sondern innerhalb des auf das Hauptbeben folgenden Jahres auch knapp 1 000 Nachbeben. Der Magnitudenbereich der erfassten Nachbeben erstreckt sich von 4,2 bis 7,1. Die geographische Verteilung der Nachbeben zeichnet zum einen die aktivierte Plattengrenze zwischen der Indo-Australischen und der Eurasischen Kontinentalplatte nach. Zum anderen beinhaltet sie auch den mehr als 1 000 km langen in Süd–Nord-Richtung verlaufenden Bruch des Hauptbebens. Aus den Daten des Regionalnetzes und des Gräfenberg-Arrays konnten in einer im renommierten Fachjournal Nature publizierten Arbeit detaillierte Aussagen über den Bruchverlauf des Hauptbebens abgeleitet werden.

Die von der BGR betriebenen seismischen Messnetze sowie das in Erlangen unterhaltene nationale seismologische Datenzentrum bilden die Grundlage für eine international anerkannte seismische Forschung, die nicht nur im Falle von Megabeben, wie dem Sumatra-Beben, zum Einsatz kommt. Auch bei lokalen oder regionalen Beben in Deutschland bzw. in Europa werden die Daten sowie das vorhandene Grundlagenwissen für eine fundierte Beurteilung von Erdbeben und für die geowissenschaftliche Forschung benötigt.



Schematische Darstellung einer Subduktionszone, bei der die schwere ozeanische Platte unter der kontinentalen abtaucht. Beide Platten verhaken sich an ihrer Grenzfläche, was zu einem Spannungsaufbau führt, der wiederum ruckartig durch ein Beben entlastet wird. Die roten Pfeile skizzieren die Bewegung der Platten, bei der die kontinentale nach oben geschnappt ist und somit die darüber liegende Wassersäule angehoben wurde, die wiederum den verheerenden Tsunami ausgelöst hat.

HELicopter **Project ACEH**
HELP ACEH

Durch das Erdbeben und den Tsunami vom 26. Dezember 2004 wurden rund 80 % der privaten Häuser, der Infrastruktur und der öffentlichen Einrichtungen in den Küstenregionen der Provinz Aceh zerstört. Die Tsunami-Wellen haben an den Küsten großflächig Überschwemmungen mit Salzwasser verursacht und dadurch auch tausende von flachen Trinkwasserbrunnen unbrauchbar gemacht. Die tieferen Grundwasserleiter in den Küstenebenen sind zwar häufig durch oberflächennahe Tonschichten gegen das Eindringen von Salzwasser der Tsunami-Wellen geschützt, doch gibt es auch Salzwasserintrusion in diese Aquifere. Vielerorts wurden oberflächennahe Notbrunnen gebohrt, die häufig nur kleine Mengen süßen Grundwassers fördern.

Das indonesisch-deutsche Projekt HELP ACEH der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) unterstützte die indonesischen Partner DGGMR (Directorate General for Geology and Mineral Resources, inzwischen umbenannt in Geological Agency), BRR (Executive Agency for the Rehabilitation and Reconstruction in Aceh and Nias) und BAPPENAS (National Development Planning Agency) beim nachhaltigen Wiederaufbau der öffentlichen und privaten sowie der kommunalen Wasserversorgung, indem geophysikalische, geologische, hydrogeologische und topographische Daten als Basisdaten für weitere Planungen bereitgestellt werden. Das Projekt wurde aus Haushaltsmitteln der BGR, vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) sowie von der indonesischen Regierung finanziert.



Kurz vor dem Start.

Zur aerogeophysikalischen Erkundung der aktuellen Grundwassersituation schickte die BGR ihr Hubschraubermesssystem in die Provinz Aceh im Norden Sumatras. Die Hubschrauberbefliegung fand von August bis Oktober 2005 in den Messgebieten Banda Aceh und Calang-Meulaboh statt. Erfahrene Hydrogeologen der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und meist junge Hydrogeologen und Geophysiker des Projektpartners DGGMR begleiteten die BGR-Hubschraubergruppe. Ihre Aufgabe war es, bei der Interpretation der hubschrauberelektromagnetischen (HEM) Daten mitzuwirken und eine hydrogeologische Übersichtserkundung in den Messgebieten durchzuführen. Im Anschluss an das HELP-ACEH-Projekt wurden eine weitere Befliegung sowie bodengeophysikalische Messungen im Gebiet um den Ort Sigli an der Nordküste Sumatras durchgeführt (finanziert durch CCFI – Coca Cola Foundation Indonesia).

Das Hubschraubermesssystem der BGR umfasst die Methoden Elektromagnetik, Magnetik und Radiometrie. Mit HEM-Daten zu fünf Messfrequenzen wird die Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit bis in maximal 150 m Tiefe bestimmt. Die Eindringtiefen der EM-Felder sind nicht nur abhängig von der Messfrequenz, sondern auch von der elektrischen Leitfähigkeit im Erduntergrund. Hohe Leitfähigkeiten und hohe Messfrequenzen bewirken ein geringeres Eindringen als hohe spezifische Widerstände und niedrige Frequenzen. Da die elektrische Leitfähigkeit sowohl von der Gesteinsmatrix als auch von der Porenflüssigkeit abhängt, können tonhaltige Sedimente von sandigen wie auch Salz- von Süßwasser unterschieden werden.

Aus den HEM-Daten erstellte die BGR dringend benötigte Übersichtskarten und Vertikalschnitte, die den vor Ort im Wiederaufbau tätigen Organisationen Informationen zu oberflächennahen Salzwasserkontaminationen, Salzwasserintrusionen, Süßwasservorkommen, Grundwasserstauern und -leitern liefern. Die Salzwasserkontaminationen und -intrusionen erstrecken sich teilweise mehrere Kilometer weit in das Landesinnere. Dennoch konnten küstennahe Süßwasservorkommen ausgewiesen werden, die für die Instandsetzung alter sowie das Abteufen neuer Brunnen geeignet erscheinen.



Über den Dächern von Aceh.

Unterstützung beim **Wiederaufbau** der Provinz Banda Aceh in Indonesien – das **Projekt ManGeoNAD**

Die Provinz Aceh im Norden Sumatras wurde durch das Erdbeben vom 26. Dezember 2004 und durch die unmittelbar darauf folgenden Tsunami-Wellen massiv getroffen. Von den insgesamt etwa 170 000 Opfern sind allein in der Provinzhauptstadt Banda Aceh mehr als 60 000 Tote zu beklagen. Damit wurde jeder vierte Einwohner der Stadt ein Opfer der Naturgewalten.

Die Lebensgrundlagen für ein geordnetes Gemeinwesen wurden in den küstennahen Regionen der Provinz Aceh weitgehend zerstört: Es fehlte, und fehlt großenteils noch immer, neben Wohnhäusern, Krankenhäusern und Schulen auch an Brunnen und Versorgungsleitungen für Trinkwasser, an Baurohstoffen und Kommunikationseinrichtungen.

In Folge der Katastrophe setzte eine einzigartige nationale und internationale Hilfskampagne ein, um den Wiederaufbau der zerstörten Gebiete zu unterstützen. Die deutsche Entwicklungshilfe in Indonesien konzentriert sich dabei auf Gebiete im nördlichen und nordöstlichen Teil der Provinz Aceh.

Nach den akuten Hilfsmaßnahmen und Aufräumarbeiten der ersten Monate nach der Katastrophe stellte sich die Herausforderung eines nachhaltigen Wiederaufbaus in der Provinz Aceh. Dieser muss sich an den naturräumlichen Gegebenheiten und den jeweiligen Expositionen für Georisiken orientieren, um so die Bevölkerung besser und dauerhafter vor Naturgefahren schützen zu können. Zur Unterstützung der lokalen Behörden bei dieser Aufgabe wurde die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) im August 2005 mit der Durchführung des Projektes der Technischen Zusammenarbeit „Management von Georisiken, Provinz Nanggroe Aceh Darussalam", kurz ManGeoNAD, beauftragt.

Gemeinsam mit den indonesischen Partnern, dem Geologischen Dienst Indonesiens und der Behörde für Bergbau, Energie und Geologie der Provinz Aceh (kurz



Banda Aceh: durch Erdbeben am 26. 12. 2004 zerstörtes Behördengebäude (August 2005).



Banda Aceh: durch Erdbeben am 26. 12. 2004 zerstörtes Hotelgebäude (August 2005).

Distamben), werden durch einen interdisziplinären Ansatz das Georisiko-Potential und die Gefährdung für Mensch und Infrastruktur ausgewählter Regionen bewertet. Geologische Basisdaten für einen naturkatastrophensicheren Wiederaufbau werden erhoben und den Institutionen für Raum- und Entwicklungsplanung zugeführt sowie deren Umsetzung begleitet. Konzepte zum Georisiko-Management, wie sie im Rahmen des BGR-Projekts der Technischen Zusammenarbeit „Verminderung von Georisiken" erarbeitet werden, kommen hier zur Anwendung.

Die Aufgaben in dem Projekt lassen sich unter fünf Schlagworten zusammenfassen:

Baugrundstabilität

Die Nordspitze Sumatras ist auf Grund ihrer plattentektonischen Position und ihres geologischen Aufbaus extrem erdbebengefährdet. Art und Grad der Schäden an Häusern und Infrastruktur zeigen, dass ein nachhaltiger Wiederaufbau nur unter Berücksichtigung der Bodenqualität und Baugrundstabilität erfolgen darf. Zu diesem Zweck untersuchen indonesische und deutsche Ingenieurgeologen mittels Flachbohrungen und Rammsondierungen den Baugrund. Mit Hilfe einer geophysikalischen Spezialapparatur, entwickelt vom GGA-Institut in Hannover, werden zusätzlich künstlich erzeugte Erdbebenwellen dazu benutzt, den flachen Untergrund zu „durchleuchten". Zusammengeführt in einem „Information System Engineering Geology" erlauben die so erhobenen Daten eine flächenhafte Charakterisierung der Baugrundstabilität, mit Aussagen zu Setzung, Tragfähigkeit und dem Potenzial zur Bodenverflüssigung (Liquefaction, siehe Kasten) im Falle eines starken Erdbebens.

Liquefaction – Bodenverflüssigung

Bodenverflüssigung (engl. Liquefaction), ist ein Phänomen, welches durch die Erschütterung sandiger, wassergesättigter Böden z. B. in Folge eines Erdbebens auftreten kann. Die Sandkörner einer Bodenschicht bilden normalerweise durch gegenseitigen Kontakt ein stabiles Gerüst. In den Zwischenräumen befindet sich Porenwasser niedrigen Drucks. Durch ein Erdbeben kann es zu einem Anstieg des Wasserdrucks kommen, der die Kontaktkräfte der Sandkörner reduziert, so dass diese aneinander vorbei gleiten können. Es entsteht ein Sand-Wasser-Brei geringer Festigkeit (Verflüssigung), der die Last von Bauwerken nicht mehr tragen kann. Gebäude versinken förmlich in den Untergrund.



BGR-/Counterpart-Geologen während der ingenieurgeologischen Feldkampagne im Dezember 2005 (v. l. n. r.: Dr. Andreas Günther, Dr. Dirk Kuhn, Pak Joni, Dr. Dirk Balzer).

Dies sind wichtige Informationen für indonesische Bauingenieure, um durch Anpassung von Architektur und Fundamenten möglichst erdbebensicher zu bauen. So wurde zum Beispiel auf Basis solcher Untersuchungen eine Standortentscheidung zum Wiederaufbau eines Berufsbildungszentrums, finanziert durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), revidiert.

Grundwasser

Eine der vordringlichsten Maßnahmen ist die Erschließung von hygienisch einwandfreien Trinkwasserressourcen. Oberflächennahes Grundwasser, welches aus flach gegrabenen Schachtbrunnen gewonnen wurde, bildete die traditionelle Trinkwasserversorgung in den Küstenregionen der Provinz Aceh. Durch den Tsunami wurde diese Ressource mit einem Schlag weitflächig versalzen und zahlreiche Brunnen wurden mit Schlamm, Geröll und Unrat verschüttet und zerstört. Hydrogeologen versuchen daher, sauberes Wasser aus tiefer gelegenen Schichten zu erschließen bzw. weiter landeinwärts gelegene Süßwasservorkommen zu erkunden und nutzbar zu machen. So wurden z. B. für UNICEF auf Grundlage hubschraubergestützter elektromagnetischer Untersuchungen zur Kartierung der „versalzenen Grundwässer" und der Feldarbeiten der Hydrogeologen des Projektes entlang der Westküste rund 40 Ansatzpunkte für neue Bohrbrunnen identifiziert.

Durch das Projekt wird zudem die Trinkwasserqualität vieler Bohrbrunnen und einiger Quellen geprüft. Die Deutsche Welthungerhilfe ließ die Güte von etwa 300 Wasserproben aus gereinigten Schachtbrunnen längs der Ostküste im Labor der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe untersuchen. Alle erhobenen hydrogeologischen Daten und Informationen zu

Brunnenbohrungen werden durch eine Datenbank beim Distamben erfasst und hier den lokalen Behörden und NGOs zur Verfügung gestellt. Die neue Datenbank stellt nach dem Verlust und der Vernichtung nahezu aller Datenarchive in Aceh durch den Tsunami eine wichtige Basis für die zukünftige Entwicklung der gesamten Region dar. Die enorme Bedeutung dieser hydrogeologischen Informationen zeigt sich in der hohen Nachfrage durch UNESCO, UNICEF, DRK, GTZ, Deutsche Welthungerhilfe, USAID, Swiss Caritas etc.

Baurohstoffe

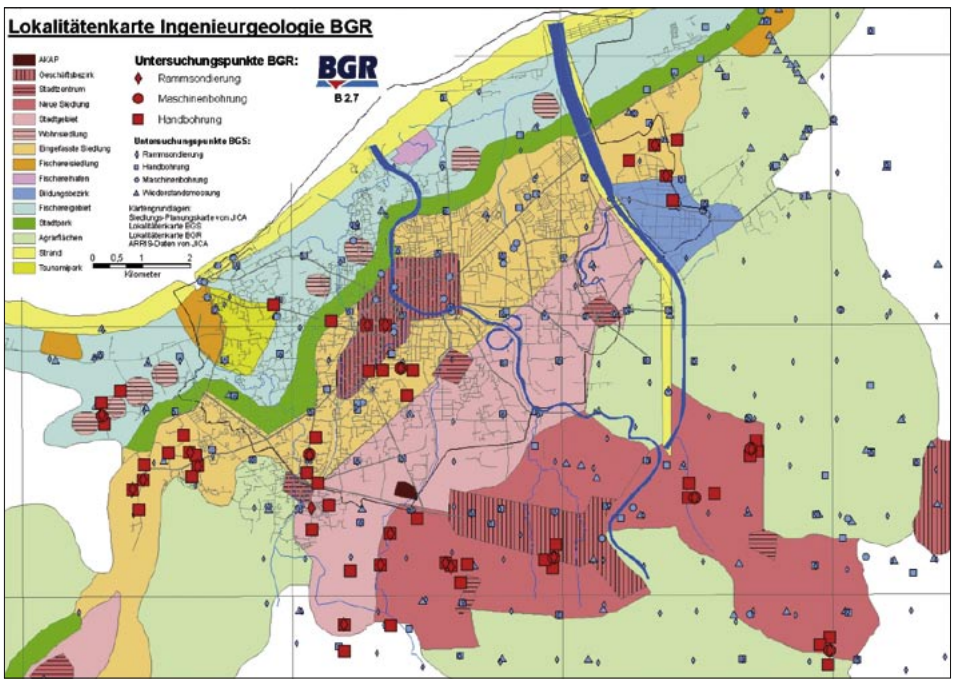
Für den Wiederaufbau einer solch großen zerstörten Region bedarf es erheblicher Mengen an Baumaterialien. Bausand und Ziegelsteine verknappen sich spürbar und die Preise steigen dementsprechend. Das Projekt unterstützt bei der Bewertung der Versorgungslage mit Baurohstoffen und der Ausweisung neuer Lagerstätten für Kiese und Sande. Dies gewinnt auch dadurch an Bedeutung, dass die Behörden dem durch die steigenden Marktpreise lukrativen „wilden Abbau" von Baurohstoffen entgegen wirken müssen.

Georisiken-Management

Sämtliche erhobenen Daten werden in einem zentralen Geo-Informations-System (GIS) bei der Behörde für Bergbau, Energie und Geologie der Provinz Aceh (Distamben) verwaltet. So wird die durch den Tsunami stark geschwächte Behörde wieder in die Lage versetzt, ihre Beratungsaufgaben im Bereich Georisiken gegenüber den Planungsbehörden wahrzunehmen. Durch Hilfestellung im Erwerb und Einsatz moderner Technik sowie durch das On-the-Job-Training der Mitarbeiter durch die Fachkräfte der BGR wird der Partner institutionell gestärkt. Er kann so als zentrale Anlaufstelle am „Runden Tisch" die Ausarbeitung eines lokalen Regelwerks für den präventiven Naturkatastrophenschutz vorantreiben.

Bewusstseinsbildung

Eine der wichtigsten vorbeugenden Maßnahmen, um Verluste und Schäden im Falle von Naturkatastrophen gering zu halten, ist die Bewusstseinsbildung der betroffenen Bevölkerung für Georisiken und die Aufklärung darüber, wie sie sich im Katastrophenfall zu verhalten hat. Dabei geht es nicht nur um die Folgen von Erdbeben und Tsunamis, sondern auch um die Gefahren, die von Hangrutschungen, Überflutungen oder Landabsenkungen sowie Vulkanausbrüchen ausgehen. Zu diesem Zweck beteiligt sich das Projekt ManGeoNAD an offenen Workshops, die, von der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) organisiert, dem Wiederaufbau von Siedlungen vorangehen und in denen die lokale Exposition für Georisiken diskutiert und Maßnahmen zu deren Minderungen besprochen und beschlossen werden.



Die Aktivitäten der BGR-Fachleute zu den geologischen Themen Baugrund, Grundwasser und Baurohstoffe sind in der stark verkleinerten Lokalitätenkarte Banda Aceh zusammengefasst. Diese Planungskarte stellt ein unverzichtbares Werkzeug für die zukünftige Stadtentwicklung dar.

SeaCause

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat zur Erforschung des schweren Erdbebens vor Sumatra mit einer Stärke von 9,3 am 26. Dezember 2004 und des dadurch ausgelösten Tsunamis mehrere wissenschaftliche Expeditionen mit dem Forschungsschiff SONNE durchgeführt. Diese Arbeiten liefern einen wesentlichen Beitrag zur Installation eines Tsunami-Frühwarnsystems, wie es zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Indonesien vereinbart wurde. Neben der Kartierung der Oberfläche des Meeresbodens (Bathymetrie), die für die Installation der Bojen des Frühwarnsystems unerlässlich ist, wurden auch die Ursachen des Starkbebens und des Tsunamis erforscht. Diese Ergebnisse fließen in verbesserte Modelle für die Erdbebenentstehung und Tsunamiausbreitung in der Region ein, wodurch möglichst kürzere Frühwarnzeiten für die Küstenbevölkerung erlangt werden sollen.



Auf dem Achterdeck mit den Meßgeräten.

Auf dem Meeresboden gibt es Höhenunterschiede von mehreren tausend Metern. Diese Erhebungen unter der Wasseroberfläche können eine Begrenzung für die Ausbreitung der Tsunamiwellen darstellen. Die BGR ist federführend bei der Erstellung einer umfassenden Karte des Meeresbodens in diesem Gebiet, wobei auch Daten anderer internationaler Messfahrten einfließen. Die Kooperation mit europäischen und internationalen Partnern liefert hierfür einen wichtigen Beitrag.



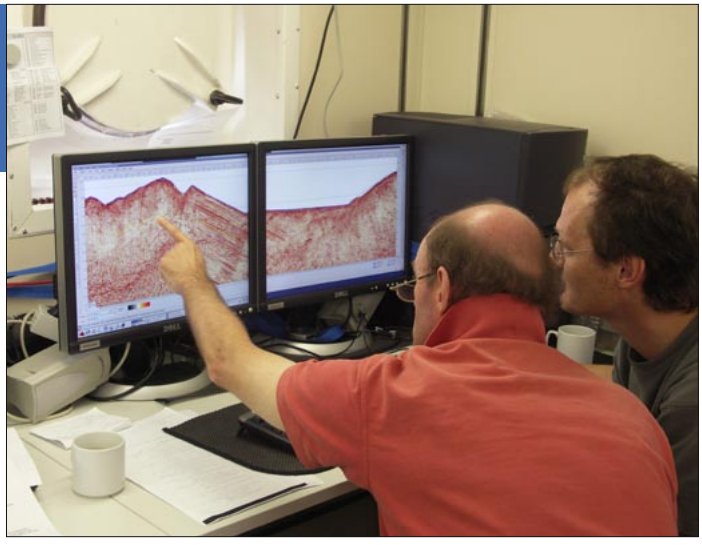
Abends am Kai: das Forschungsschiff SONNE.



Interpretation durch die Fachkollegen unmittelbar nach einer Messung.



Diskussion der Messergebnisse an Bord.



Im Rechnerraum mit dem Profil des Meeresbodens.

Bei dem verheerenden Tsunami-Beben vom Dezember 2004 breitete sich die Erdbebenbruchfläche über eine Gesamtlänge von 1300 km aus. Ihr Anfang lag unmittelbar vor der Küste Nord-Sumatras (Aceh Provinz) in einer Tiefe von etwa 30 – 40 km und erstreckte sich nach Nordwesten bzw. Norden in indische Gewässer entlang der Nicobaren und Andaman-Inseln. Drei Monate nach dem Beben vom Dezember 2004 ereignete sich ein weiteres Starkbeben am 28. März 2005 mit einer Stärke von 8,7 etwa 200 km südöstlich des ersten Bebens. Die Bruchfläche dieses Bebens war lediglich 400 km lang und als Folge trat nur ein kleiner und regional begrenzter Tsunami auf. Die Stärke eines Erdbebens hängt von der Länge der Bruchfläche ab und ist mitentscheidend für das damit verbundene Gefährdungspotenzial.

Vor Sumatra wird die Ausbreitung und Fortpflanzung der Erdbebenbruchflächen entlang der abtauchenden ozeanischen Indo-Australischen Platte an relativ scharfen Segmentgrenzen abrupt unterbrochen. Die Lage und Orientierung der Segmentgrenze des Bebens vom Dezember 2004 und vom März 2005 lassen sich an Hand der Nachbebenaktivität erfassen. Um den Aufbau und die Ursache für das Auftreten dieser Segmentgrenze zu verstehen, wurde der Untergrund des Meeresbodens bis in Tiefen von ca. 15 km untersucht. Bei der reflexionsseismischen Untersuchungsmethode werden Schallwellen ausgesendet, die durch den Meeresboden in tiefer liegende Gesteinsschichten dringen, von dort reflektiert und an der Wasseroberfläche registriert werden. Die Auswertung dieser Daten durch Wissenschaftler der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe mit Hilfe modernster rechnergestützter Auswertesysteme hat ergeben, dass die Grenze der Bruchflächen zwischen den beiden Beben von einer bisher unbekannten Bruchzone in der unter Sumatra abtauchenden ozeanischen Indo-Australischen Platte gebildet wird.



FS SONNE mit einer Boje im Schlepp.



Ausbringen der Luftpulser.

Die Kartierung des Meeresbodens zeigt weiterhin, dass die abtauchende ozeanische Platte zahlreiche weitere Bruchzonen aufweist, die ebenfalls bereits teilweise unter Sumatra abgetaucht sind. Diese könnten auf ähnliche Weise die Ausbreitung der Erdbebenbrüche begrenzen. Diese Erkenntnisse müssen nun in neuen Modellen für die Gefährdungsabschätzung berücksichtigt werden. Der Untergrund des untermeerischen Kontinentrandes von Sumatra ist sehr kompliziert aufgebaut.

Unsere Untersuchungen decken mehrere mögliche Ursachen für die Entstehung eines Tsunamis auf. Große Rutschmassen, die sich während eines Starkbebens in Bewegung setzen könnten, kommen in Betracht, ebenso wie Störungszonen am Kontinentalhang, die aus großen Tiefen bis nahe unter den Meeresboden reichen oder ihn gar durchbrechen.

Durch die Forschung mit modernen geophysikalischen Instrumenten und die wissenschaftliche Auswertung konnten neue grundlegende geologische Kenntnisse gewonnen werden und dadurch ein konkreter Beitrag zur Gefahrenabschätzung von Erdbebenzonen geleistet werden.

Der „Luft-Schuss" zur Erzeugung der Schallwellen.







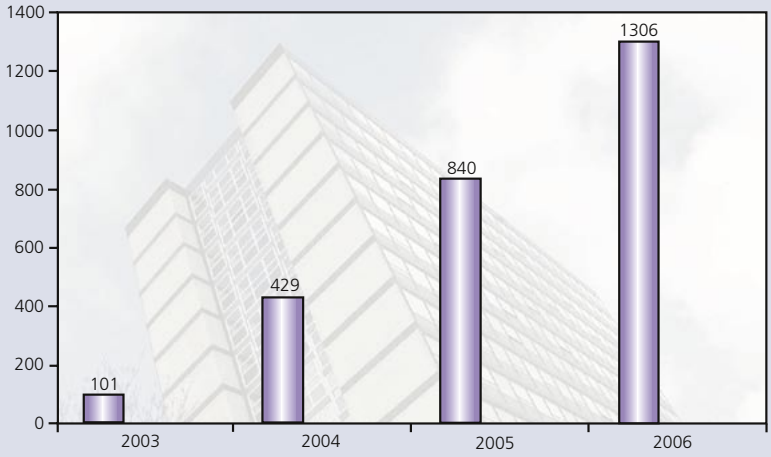




SONDERTHEMEN

nderthe
Sonderth

Anzahl der Nennungen der BGR in den Medien 2003 bis 2006



Die Pressearbeit der BGR

„Auf der Jagd nach den Trüffeln der Tiefsee“

So nannte das Hamburger Abendblatt am 31. Juli 2006 die Aktivitäten der BGR zur Manganknollen-Exploration im Pazifik. So könnte man auch die tägliche Arbeit der Pressesprecherin beschreiben – nämlich die Wissens-Schätze der BGR aus der Tiefe zu heben und einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Ob „Trüffel der Tiefsee“ oder „tolle Knolle“ (Hörzu), wissenschaftlich ist diese Ausdrucksweise sicherlich nicht. Aber sie weckt Interesse beim Zeitungsleser für ein Thema, das sich sonst vielleicht nicht so leicht erschließt.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat sich in den vergangenen zwei Jahren intensiv um eine breitgefächerte Präsenz in den Medien bemüht. Spätestens seit dem Tsunami vom 26. Dezember 2004 ist sie für eine stetig wachsende Anzahl von Journalisten als zuverlässiger Informationspartner für geowissenschaftliche Recherchen aller Art anerkannt und präsent. Das spiegeln auch die Veröffentlichungen wider: die Medienpräsenz der BGR hat sich seit 2003 mehr als verzwölffacht.

Das Medienecho folgt dabei einer spannenden, nicht immer vorhersagbaren Dynamik. Manchmal richten äußere Ereignisse wie Naturkatastrophen oder Energiekrisen die Aufmerksamkeit der Presse auf ein bestimmtes Thema, manchmal sind es aber auch von der BGR selbst eingebrachte Mitteilungen – wie das Beispiel der Manganknollen-Exploration zeigt. Manche Kuriosität oder Polemik ist auch dabei. So wurde im Juli 2005 ausführlich über die „Wasserjäger in Namibia“ berichtet – während in Wirklichkeit der BGR-eigene Hubschrauber über Banda Aceh in Indonesien unterwegs war, um das vom Tsunami versalzene Grundwasser zu untersuchen.

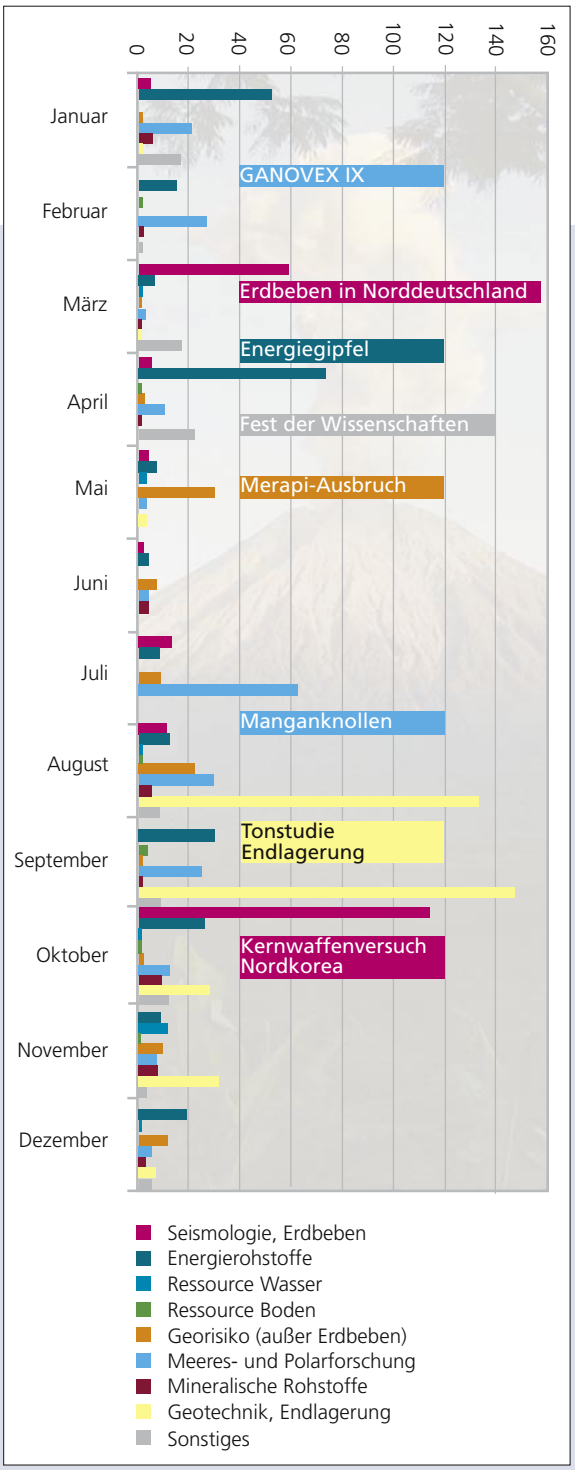
Im August 2006 wurde die BGR-Studie zur Verteilung von Tonsteinformationen, die zur Endlagerung radioaktiver Abfälle zumindest aus geologischer Sicht in Frage kommen, ausführlich in den Medien diskutiert. Der Zeitpunkt war eher zufällig.

Die Studie war schon seit Monaten veröffentlicht, bevor ein Journalist das Thema aufgriff und eine Diskussion auslöste, die bis in die höchste politische Ebene hineinreichte. Kurz darauf hielt der nordkoreanische Atomwaffentest die Öffentlichkeit in Atem. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe hat Regierung und Öffentlichkeit ausführlich über Lokation, Ausmaß und Charakter der Explosion informiert.

Konstant hoch war und ist das Interesse der Öffentlichkeit an der Verfügbarkeit von Rohstoffen. Neben den Energierohstoffen rücken inzwischen auch die mineralischen Rohstoffe mehr und mehr in den Fokus der Aufmerksamkeit – wie die „Trüffel der Tiefsee" beweisen. Weiterhin wurden diverse Erdbebenereignisse – sowohl in Deutschland als auch weltweit – lebhaft und zum Teil kontrovers diskutiert.

Fast schon zum Klassiker unter den BGR-Themen ist die Polar- und Meeresforschung geworden. Die Antarktis-Expedition „GANOVEX IX" konnte der Fernsehzuschauer dank eines mitgereisten Filmteams und moderner Satellitenverbindung wöchentlich aktuell bei „Hallo Niedersachsen" (NDR – Norddeutscher Rundfunk) verfolgen – ein absolutes Novum in der Berichterstattung aus diesem abgelegenen und eisigen Kontinent. Das während der Expedition gewonnene Filmmaterial steht der BGR zur uneingeschränkten Nutzung zur Verfügung und kann von Fernsehanstalten für wissenschaftliche Beiträge genutzt werden, weil es von sendefähiger Qualität ist.

Das hier nur mit wenigen Strichen skizzierte Medienecho lässt erahnen, welche Bedeutung die Arbeiten der BGR für die Gesellschaft haben. Vieles spielt sich nach wie vor weitgehend im Verborgenen ab, ohne dass die Medien Notiz davon nehmen. Auf dem Grund der BGR liegen noch viele kostbare „Trüffel" verborgen.



Medienecho 2006, nach Themen aufgeschlüsselt.



SONDERTHEMA

Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern

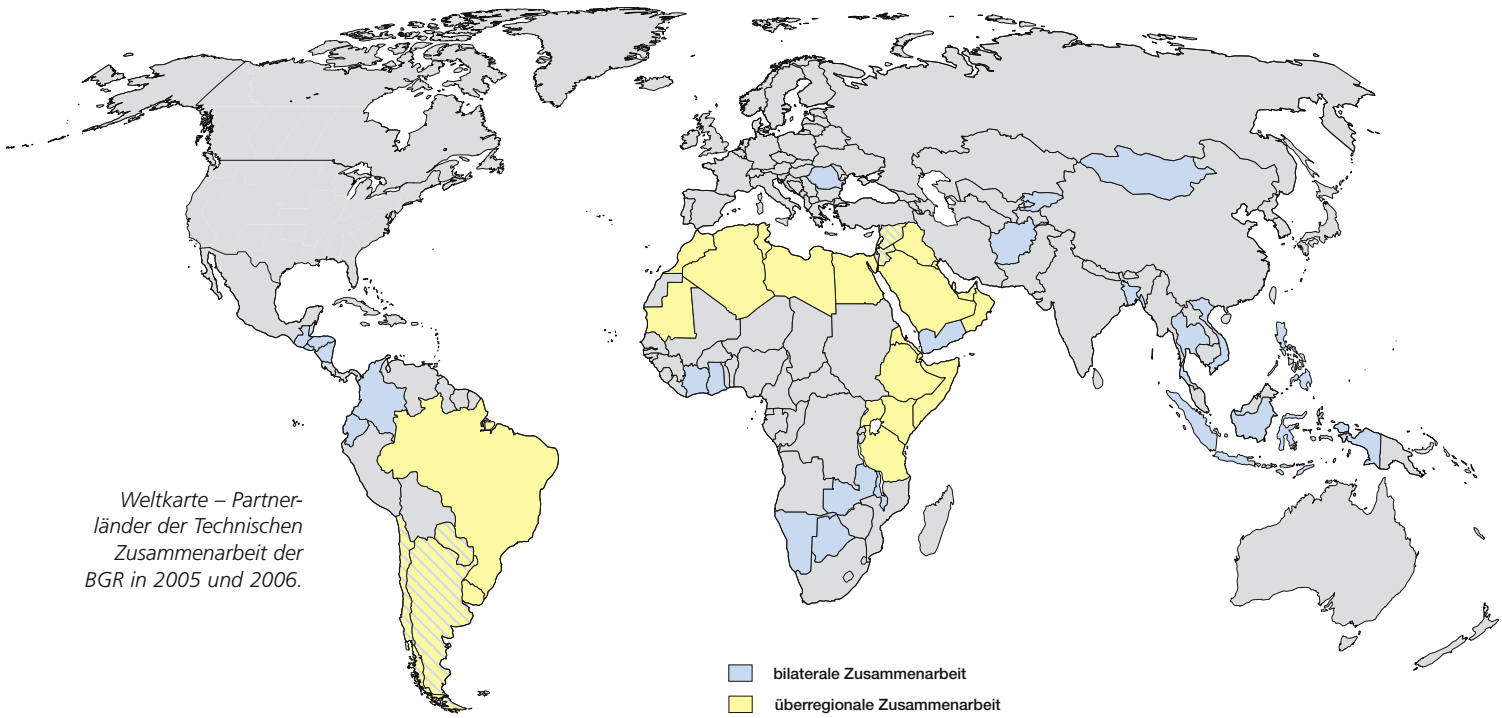
Die deutsche Entwicklungspolitik hat das Ziel, die Lebensbedingungen der Menschen, insbesondere der armen Bevölkerungsschichten in den Partnerländern, zu verbessern. Vier Leitmotive prägen die Arbeit in den verschiedenen Feldern und Schwerpunkten deutscher Entwicklungspolitik:

- Armut bekämpfen,
- Frieden sichern und Demokratie verwirklichen,
- Globalisierung gerecht gestalten,
- Umwelt schützen.

Durch Technische Zusammenarbeit (TZ) unterstützt die Bundesregierung Entwicklungsprozesse in den Partnerländern, um die Menschen und Organisationen dort in die Lage zu versetzen, ihre Lebensbedingungen aus eigener Kraft zu verbessern.

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

Die BGR unterstützt im Rahmen der TZ die Partnerländer dabei, geeignete Rahmenbedingungen für die Entwicklung ihres Landes zu schaffen. Dies beinhaltet insbesondere Aufbau und Förderung der jeweils zuständigen Institutionen und Verbesserung ihrer Fähigkeit zur fachlich kompetenten Steuerung. Hierzu werden in der Regel Expertenentsendungen genutzt, zunehmend werden auch nationale Experten eingesetzt oder ein „Süd-Süd-Austausch" angeregt. Regionale Kooperationen können als Plattform für den Interessenausgleich bzw. gemeinsame Problemlösung dienen. Insbesondere für den Bereich der Rohstoffwirtschaft findet auch



Weltkarte – Partnerländer der Technischen Zusammenarbeit der BGR in 2005 und 2006.

eine Zusammenarbeit mit der Privatwirtschaft statt. Hier soll vor allem der Aufbau der lokalen Wirtschaft unterstützt werden.

Die Mitarbeiter der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe verfügen als die geowissenschaftlichen Experten der Bundesregierung über Fachwissen und langjährige Erfahrung in nahezu sämtlichen Bereichen der angewandten Geologie bis hin zu Bergbauaspekten. Unterstützt werden in den Partnerländern vor allem öffentliche Stellen, wie z. B. Geologische Dienste, Wasserministerien, Bergbaubehörden und andere staatliche Einrichtungen.

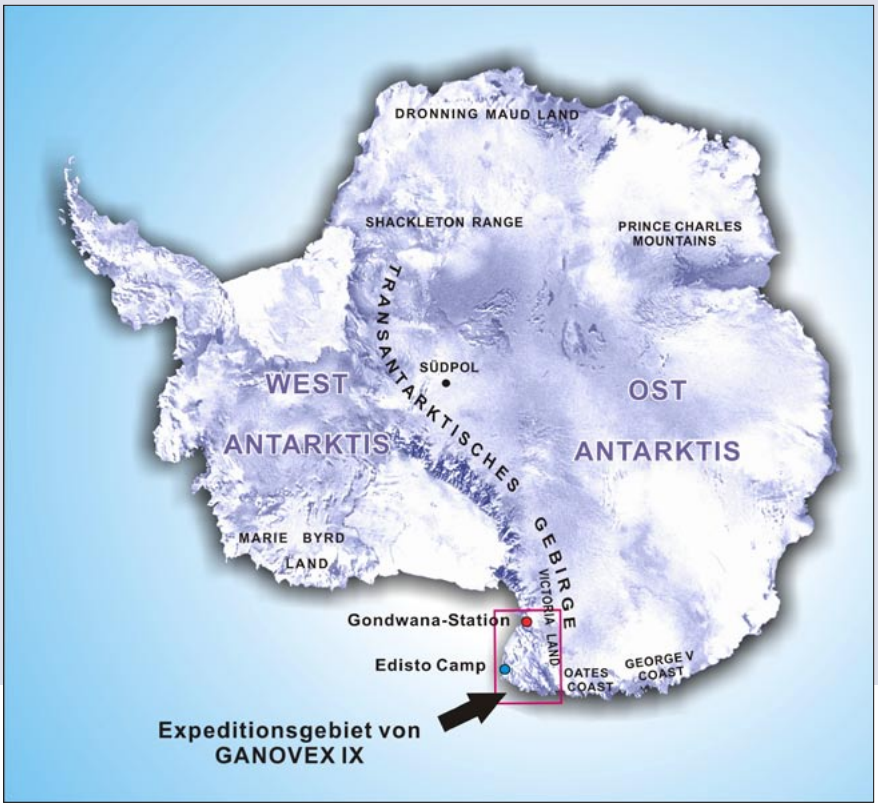
Schwerpunkte der Arbeiten liegen in den Bereichen

- nachhaltiges Management von Grundwasser und Boden,
- Bewertung und nachhaltige Nutzung von Mineralischen und Energierohstoffen, Nutzung geothermischer Energie,
- Bergbauberatung (Bergaufsicht) und Bergbau-Umweltschutz,
- Umwelt- und Ressourcenschutz, Geologische Grundlagen der Raum- und Regionalplanung (z. B. für die Standortsuche von Deponien),
- Georisiken im Rahmen des Katastrophen-Managements.

So fördert die BGR in den Entwicklungs- und Schwellenländern die Verbesserung der Lebensbedingungen, die wirtschaftliche und institutionelle Leistungsfähigkeit, den Schutz und die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.

In den Jahren 2005 und 2006 führte die BGR mehr als 30 TZ-Projekte durch, an denen über 20 Partnerländer beteiligt waren. Folgende Beiträge aus TZ-Vorhaben finden sich in diesem Tätigkeitsbericht

- Mit Hubschrauber und Geländewagen – Grundwassererkundung im Nordosten Namibias
- Beratung von Bergbaubehörden in Vietnam und in der Mongolei
- Unterstützung beim Wiederaufbau der Stadt Banda Aceh in Indonesien – Das Projekt ManGeoNAD
- Verminderung von Georisiken in Indonesien
- Grundwassermonitoring in Kirgisistan



Lage des Arbeitsgebietes von GANOVEX IX.

GANOVEX IX

Expedition ins ewige Eis der Antarktis

Seit 1979 untersuchen Geowissenschaftlerinnen und Geowissenschaftler der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit deutschen Universitäten und Forschungseinrichtungen sowie ausländischen Institutionen im Rahmen des Programms GANOVEX (German Antarctic North Victoria Land Expedition) Aufbau und Entwicklung des Nord-Viktoria-Landes und des Ross-Meer-Sektors der Westantarktis. Gemeinsames Ziel dieser Aktivitäten ist die Untersuchung der Kontinente und der Kontinentränder, um Aufschlüsse über die Frühgeschichte der Erde zu erhalten, insbesondere über die Bildung der Superkontinente Gondwana und dessen Vorläufer Rodinia, aber auch über deren Zerfall und die Herausbildung des heutigen antarktischen Kontinents mit seinen Schelfgebieten. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe trägt wesentlich zu den angestrebten wissenschaftlichen Hauptzielen der deutschen Antarktisforschung bei.

Die Forschungsaktivitäten der BGR in den Polarregionen sind in zum Teil langfristige internationale Kooperationsverträge und Abkommen eingebunden.

Gemeinsam mit dem Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) hält die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe den Konsultativstatus Deutschlands innerhalb des Antarktisvertrages und ist damit verpflichtet, regelmäßige Forschungsexpeditionen in die Antarktis durchzuführen. Es existiert hier eine Aufgabenteilung zwischen dem AWI und der BGR, bei der der BGR insbesondere die terrestrische geowissenschaftliche Komponente der Antarktisforschung zufällt. Durch Nutzung der BGR-Logistik konnten zudem zahlreiche geowissenschaftliche Programme von universitären Gruppen, die über das Schwerpunktprogramm „Antarktisforschung" der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert wurden, überhaupt erst realisiert werden.

Im Laufe seiner Entwicklung war Antarktika nicht immer ein eigenständiger Kontinent, sondern Teil größerer Landmassen. So bildete es das Kernstück des Gondwana-Kontinents, der vor etwa 500 Millionen Jahren durch die Kollision mehrerer Kontinentalschollen entstand und sämtliche heutigen Südkontinente in sich vereinte. Gondwana existierte bis vor etwa 180 Millionen Jahren, als es – angezeigt durch gewaltige Basalteruptionen – wieder aufzubrechen begann. Nacheinander lösten sich Afrika, Indien, Australien und Südamerika von Antarktika ab, was letztendlich zu der heute isolierten Position des Kontinentes am Südpol und der Einstellung der gegenwärtigen globalen ozeanischen Strömungssysteme und klimatischen Bedingungen führte.







In der Frühzeit des Kontinentes Gondwana, also vor etwa 500 Millionen Jahren, bestand im Nord-Viktoria-Land ein den heutigen Anden gleichendes Hochgebirge. Dieses Gebirge entstand wie die rezenten Anden dadurch, dass die schwerere pazifische Platte unter die leichtere Kontinentalplatte Gondwanas geschoben wurde. Dieses frühe, 500 Millionen Jahre alte Hochgebirge, das in der Fachsprache als Ross-Orogen bezeichnet wird, war in der Folgezeit intensiver Erosion ausgesetzt und wurde innerhalb geologisch relativ kurzer Zeit wieder vollständig eingeebnet. Das Erscheinungsbild Gondwanas war daraufhin über beinahe 300 Millionen Jahre durch ausgedehnte, flache und von weit verzweigten Flusssystemen durchzogene Becken gekennzeichnet. In diesen Becken haben sich immer wieder auch kleinere und größere Seen gebildet. Die zugehörigen Ablagerungen werden in Nord-Viktoria-Land als Beacon-Supergruppe bezeichnet. Sie findet ihr Ende im Auftreten mächtiger Flutbasalte des Ferrar-Vulkanismus, die um etwa 180 Millionen Jahren vor heute das beginnende Aufbrechen Gondwanas anzeigen.

Nach insgesamt acht GANOVEX-Unternehmen und weiteren Expeditionen in die Shackleton Range, das zentrale Dronning-Maud-Land, die südlichen Prince Charles Mountains und das zentrale Transantarktische Gebirge wurden im Südsommer 2005/06 im Rahmen von GANOVEX IX geologische und geophysikalische Untersuchungen zur Krustenstruktur und tektonischen Entwicklung des Nord-Viktoria-Landes, des Ross-Meeres und der Pennell-Küste durchgeführt. Der wissenschaftliche Schwerpunkt der Expedition lag in der Rekonstruktion des beginnenden Zerfalls Gondwanas, der Öffnung der Meeresverbindung zwischen Australien und der Antarktis und der damit einhergehenden Isolierung des heutigen Kontinentes Antarktika.

Dieses Ziel erforderte die enge Kooperation und Koordination verschiedener wissenschaftlicher Programme, die von Wissenschaftlern der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, der Universitäten Bremen, Jena und Münster und der TU Bergakademie Freiberg entworfen und durchgeführt wurden. Die beteiligten Wissenschaftler deckten ein breites Spek-



Fossilsuche in Sandsteinen des Transantarktischen Gebirges.

trum verschiedener Disziplinen ab, das von der Geophysik, Strukturgeologie, Geo- und Thermochronologie, Geochemie, Sedimentologie, Stratigraphie bis hin zur Paläontologie und Palynologie reichte. GANOVEX IX war in Fernsehen, Hörfunk, Printmedien und im Internet aufgrund der Begleitung der Expedition durch ein Medienteam und einer Vielzahl unterschiedlichster Berichterstattungen über die gesamte Expeditionsdauer und darüber hinaus präsent. Dadurch bot sich die einmalige Gelegenheit, die Aktivitäten und das erworbene Wissen aus der Polarforschung in die breite Öffentlichkeit und in Schulen und Universitäten zu tragen.

Um die Vorgänge während der kretazischen und känozoischen Umstrukturierung des Nord-Viktoria-Landes und der Bildung des Westantarktischen Grabensystems, die letztendlich zur heutigen australisch-antarktisch-neuseeländischen Plattenkonfiguration geführt haben, verstehen zu können, ist eine eng vernetzte Anwendung der verschiedensten geowissenschaftlichen Methoden unabdingbar. Insbesondere die Geophysik und die Strukturgeologie spielen hier eine wichtige Rolle. Die Strukturgeologie ist ein wichtiges Werkzeug, um Unterschiede oder Ähnlichkeiten der geologischen Entwicklung auf den heute weit auseinander liegenden Kontinentalfragmenten zu belegen.

Während die Strukturgeologie allerdings auf Gesteine angewiesen ist, die an der Oberfläche zu Tage treten, liefert die Geophysik (und hier die bei GANOVEX IX angewendete Aeromagnetik per Flugzeug) wichtige Informationen über die Krustenstruktur unter dem Eis oder im Meeresbereich. Mit Hilfe geo- und thermochronologischer Methoden lassen sich darüber hinaus die von der Strukturgeologie ermittelten Entwicklungsschritte absoluten Zeiten zuordnen.

Camp am Cape Hallett.





Hubschrauber auf dem Myosotis-Nunatak.

Zelte am Rande der Gondwana-Station.



Während GANOVEX IX wurde mit Helikopterunterstützung eine etwa 200 km lange Aufschlusskette und in einem dreiwöchigen Außencamp am Mt. Carson ein etwa 25 km^2 großes Gebiet mit Beacon-Sedimentgesteinen und Ferrar-Vulkaniten vulkanologisch, sedimentologisch und paläontologisch bearbeitet. Eine große Anzahl an Profilen konnte im Zenti- bis Dezimeter-Bereich sehr detailliert aufgenommen werden, darunter auch mehrere Profile von früheren Seen. Unter anderem gelang der erste Nachweis von mit Bruchstücken von Ergussgesteinen durchsetzten Sandsteinen an der Basis chaotischer Trümmergesteine, die vor Beginn der eigentlichen Ferrar-Lavaergüsse durch explosionsartige Ausbrüche gebildet wurden.

Zwischengelagerte Stillwasserhorizonte lieferten eine reiche Fauna und Flora, aus der sich das Alter dieser Abfolge ableiten lassen wird. Die gewonnenen Ergebnisse werden mit Sicherheit grundlegende Änderungen der geltenden Stratigraphie bewirken und ein völlig neues Bild der geologischen Entwicklung am Ende der Trias und im frühen Jura liefern.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass Nord-Viktoria-Land und Südaustralien nach den oberflächennahen, voluminösen Eruptionen der Ferrar-Vulkanite, also mindestens seit dem späten Jura und dann die gesamte Kreide hindurch, eine ähnliche geologische Entwicklung durchgemacht haben. In der Kreide kam es zur verstärkten Absenkung und der Herausbildung eines relativ weiten, ausgedehnten Beckens, in dem mehrere Kilometer mächtige kreidezeitliche Sedimente abgelagert wurden. Von diesen Sedimenten, die in Südaustralien Mächtigkeiten von bis zu 10 km erreichen, ist heute in Nord-Viktoria-Land an Land nichts mehr vorhanden. Sie wurden in den heute zu Tage tretenden Hochzonen während des Känozoikums (vermutlich ab ca. 50 – 55 Millionen Jahren vor heute) vollständig abgetragen und in die Riftbecken – das sind durch parallele Störungen begrenzte tektonische Senken – des Ross-Meeres geschüttet. Die kretazischen Becken bildeten sich in einem Störungsmosaik aus Abschiebungen und NW–SE-orientierten Linksseitenverschiebungen und leiteten schließlich ab der späten Kreide und im frühesten Känozoikum zur Herausbildung des antarktischen Passiven Kontinentrandes und der Loslösung Tasmaniens und Südaustraliens von Nord-Viktoria-Land in einem generell links-lateralen tektonischen Regime über.

Die frühen, kretazischen Störungsmuster spiegeln sich heute in den ozeanischen Rücken- und den annähernd senkrecht zu den Rücken verlaufenden so genannten Transformsystemen zwischen Australien und der Antarktis wider.

Erst mit der endgültigen Trennung der beiden Kontinente und der Isolierung Antarktikas stellte sich im Känozoikum ab etwa 50 – 55 Millionen Jahren infolge der nun eigenständigen Entwicklung und dem Einbruch des Westantarktischen Grabenbruchs im Ross-Meer ein neues, von großräumiger Extension und überwiegend rechtslateralen Störungsbewegungen dominiertes tektonisches Regime in Nord-Viktoria-Land ein, welches bis heute aktiv ist und die Zersplitterung des Gondwana-Fragmentes Antarktika weiter voran treibt. Mit diesen Arbeiten in der Antarktis leistet die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe einen bedeutenden Beitrag zur Klärung der Rolle der Polarregionen bei globalen Veränderungen des Systems Erde von der Vergangenheit bis in die Zukunft und deren Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Menschen.

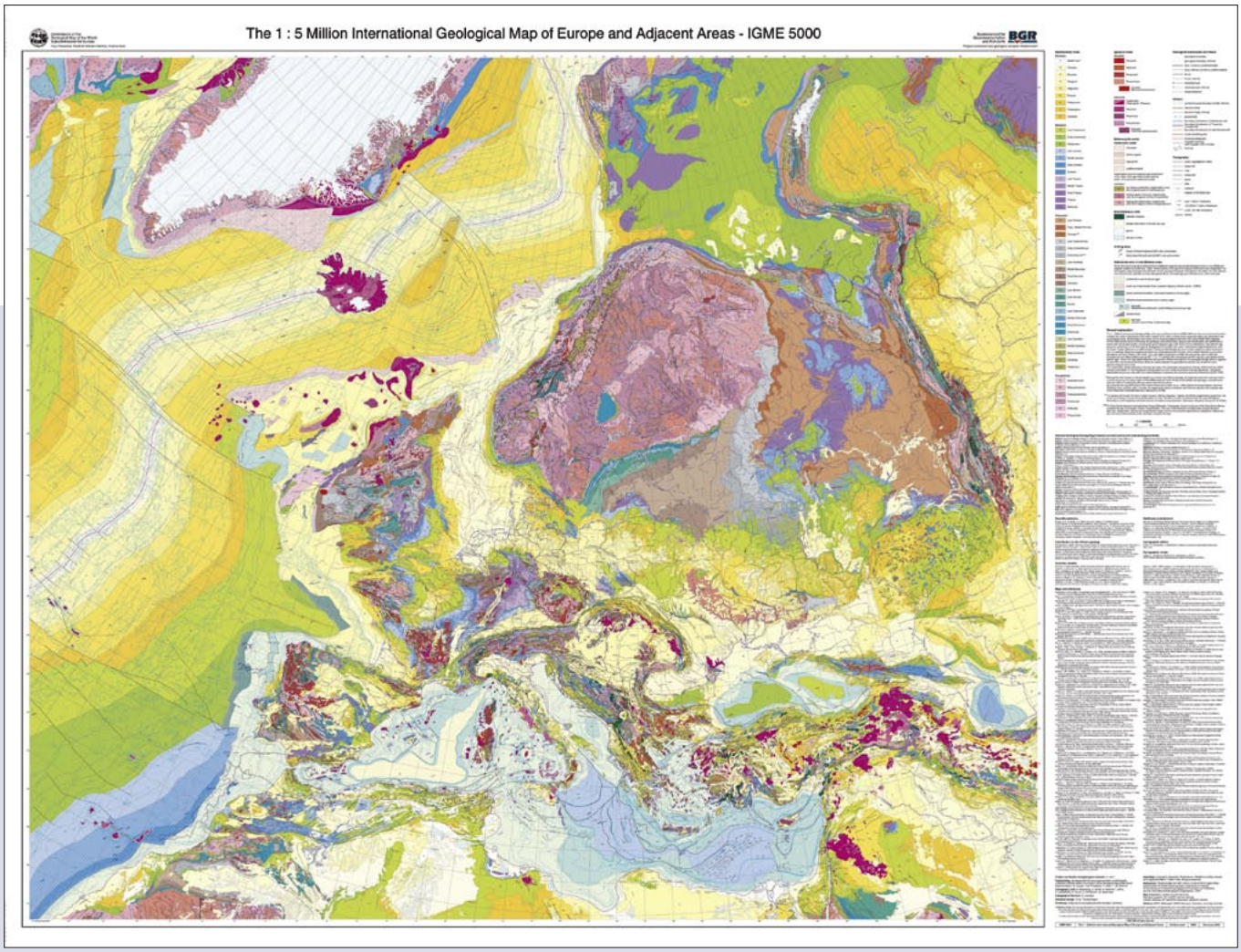
Geologie ohne politische Grenzen

Die neue Internationale Geologische Karte von Europa und den angrenzenden Gebieten im Maßstab 1 : 5 000 000 (IGME 5000)

Die neue Internationale Geologische Karte von Europa und den angrenzenden Gebieten im Maßstab 1 : 5 000 000 (IGME 5000) ist im November 2005 im Auflagedruck gedruckt worden und im Frühjahr 2006 erschienen. Die Karte ist ein Produkt des IGME 5000-GIS-Projekts der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (unter der Schirmherrschaft der Commission of the Geological Map of the World – CGMW) und hatte zum Ziel

- die Geologie Europas (Prä-Quartär) als Geo-Informationssystem aufzubauen,
- den Druck einer wissenschaftlich und kartographisch qualitativ hochwertigen Karte zu ermöglichen und schließlich
- die Daten über eine „web mapping application" verfügbar zu machen.

In diesem GIS-Kartenprojekt waren aktiv 48 geologische Dienste (nicht nur) in Europa involviert und es wurde von einem Netzwerk akademischer Berater an europäischen und nordamerikanischen Universitäten und Forschungsinstituten unterstützt. Da ein internationales Projekt diesen Ausmaßes entscheidend von der Qualität der Beiträge der beteiligten Länder bzw. geologischen Dienste abhängt, sind detaillierte Vorgaben hinsichtlich der nötigen Prozeduren und Arbeitsschritte notwendig. Abfolge und Inhalte bis hin zu Eingabemasken wurden entwickelt, um die benötigten räumlichen und thematischen Informationen der teilnehmenden Organisationen zu sammeln und in das Projekt zu integrieren. Gleichzeitig musste der geowissenschaftliche Input durch die Entwicklung projekteigener Standards gesteuert und auf das Wesentliche beschränkt werden, z. B. durch die Definition der zu



Die neue Internationale Geologische Karte von Europa und den angrenzenden Gebieten im Maßstab 1 : 5 000 000 (hier stark verkleinert) besteht aus einem Kartenblatt mit den Gesamtmaßen von ca. 130 x 170 cm. Es wird den Interessenten mit ausführlicher Legende und Erklärungen zweigeteilt gerollt oder auf DIN A4 gefalzt angeboten.

nutzenden Begriffe, – das „term dictionary". Dies geschah in Zusammenarbeit mit und unter Zustimmung von den beteiligten Fachleuten. Nicht zuletzt sollte das System der vorgegebenen Prozeduren stabil und nutzerfreundlich sein, um so die Akquisition der europaweit (und darüber hinaus) verteilten Basisdaten zu vereinfachen. Eigene Recherche- und Forschungsarbeiten wurden parallel dazu betrieben, um – gerade in den offshore-Gebieten – wissenschaftlich bestätigte und belegbare Daten und Informationen zu erhalten und auch die akquirierten Daten auf Plausibilität und Aktualität zu überprüfen.

Im Bereich Geoinformatik wurden ein Datenmodell und eine hierarchisch aufgebaute Datenstruktur entwickelt, die die Realität der Geologie Europas auf ein computererfassbares realisierbares Konzept übertragen können.

Eine besondere Herausforderung war es, die Geologie Europas nicht nur onshore sondern auch offshore in GIS und Karte zu integrieren, denn die Daten zur offshore-Geologie stammen meist aus geophysikalischen Untersuchungen (Seismik, Magnetik, Gravimetrie) und/oder von ODP- und DSDP-Bohrungen. Die Transformation und Interpretation zur geologischen Beschreibung der Gesteine zumindest nach Alter und Lithologie stellten erhebliche Ansprüche sowohl an traditionelle Kartenarbeit als auch an moderne GIS-Entwicklung.

Das Ergebnis dieses Vorgehens, nach zwölf Jahren Forschungs- und Kompilationsarbeit, ist ein GeoInformationssystem der Geologie eines gesamtes Kontinents, das Daten zu Lithologie, Alter (geochronologisch) und Regionalnamen, Metamorphose und tektonischen und genetischen Elementen enthält.

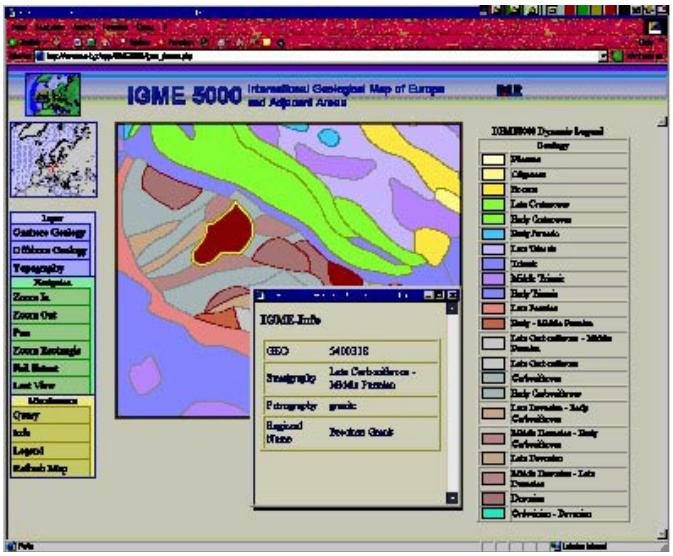
Um die Vielfalt der insgesamt ca. 2 300 verschiedenen Beschreibungen der geologischen Einheiten in Karte und GIS (verteilt auf immerhin 32 591 Flächen) für die Öffentlichkeit nutzbar zu machen, ist eine „web-mapping-application" auf Grundlage des UMN MapServer im letzen Stadium der Entwicklung. Hier liegen die Fachdaten in einer SQL-Server-Datenbank harmonisiert für das gesamte Europa vor; die Daten zur räumlichen Lage werden im ArcGIS Shape-Format vorgehalten.

Das IGME 5000 GIS und die Web-Applikation erlauben heute vielfältige länderübergreifende Abfragen für das gesamte Europa oder aber die Beantwortung spezifischer Fragen. So kann z. B. ganz speziell der Harzer Brockengranit selektiert werden; über die „Info"-Funktion können die speziellen Eigenschaften dieser Fläche angezeigt werden.

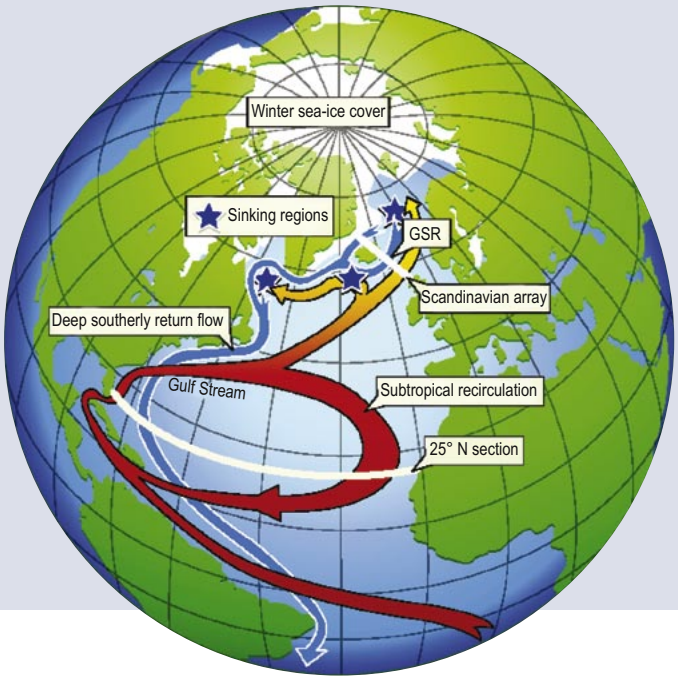
In diesem Falle die Suchkriterien: geochronologisch aus dem Spät-Karbon bis Mittel-Perm stammend sowie lithologisch der Granitgruppe zugehörig. Ebenso ist es möglich, sich durch die „Query"-Funktion die gesamten varistischen Granitgesteine oder aber alle Ophiolithkomplexe Europas in einer Bildschirmkarte anzeigen zu lassen.

Eine Beta-Version dieser Anwendung kann seit Mitte Juni 2006 auf folgender URL genutzt werden:

http://www.bgr.bund.de/karten/Igme5000/igme5000.htm



IGME 5000 web mapping application: Demonstration der „Info"-Funktion am Harzer Brockengranit.



Nordatlantische Zirkulation: Der Golfstrom (rot) transportiert Wärme nordwärts, wobei ein Teil des warmen Oberflächenwassers in den Subtropen rezirkuliert. Das Wasser, das den Nordatlantik erreicht (gelb), gibt kontinuierlich Wärme an die Atmosphäre ab und wird so zu einer kühlen, salzreichen und damit dichten Wassermasse, die vor allem an den mit blauen Sternen gekennzeichneten Regionen in Tiefen zwischen 1 km und 6 km absinkt und dort nach Süden zurückfließt (blau).

(Abbildung nach QUADFASEL 2005)

SONDERTHEMA

Atlantische Klimaschaukel:

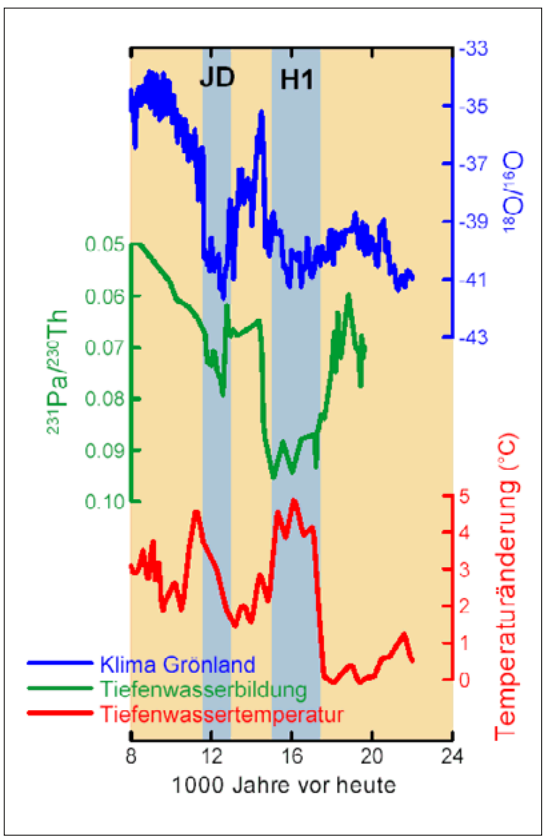
Erwärmungen des tropischen Atlantiks als Indikator nordatlantischer Klimaeinbrüche

Gegenwärtig wird viel darüber spekuliert, ob der wärmespendende Golfstrom infolge des Klimawandels erlahmen könnte und ob in Europa trotz Treibhauseffekt regionale Abkühlungen drohen. Die Frage nach dem zukünftigen Klima lässt sich nur aus dem Verständnis des Klimas der Vergangenheit heraus beantworten. Der Ozean spielt beim Wandel des Klimas eine entscheidende Rolle. Er transportiert Wärme aus den Tropen in die gemäßigten und polaren Breiten. Kurzfristige Änderungen der ozeanischen Strömungen (im Zeitraum von Jahrzehnten), wie sie möglicherweise durch die globale Erwärmung der Ozeane und der Atmosphäre ausgelöst werden, sind deshalb auch für Mittel- und Nordeuropa von großer Bedeutung. Zum besseren Verständnis dieser Prozesse untersucht die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe klimarelevante Veränderungen der Ozeane und deren Ursachen in der jüngeren geologischen Geschichte.

Die Rekonstruktion der Temperaturen des Oberflächenwassers des Atlantiks und seines Tiefenwassers zeigt, dass das Geschehen im Golfstromsystem in der Vergangenheit von einem Wechselspiel zwischen nördlichem und tropischem Atlantik geprägt war. Demnach kam es im tropischen Atlantik während der Schlussphase der letzten Eiszeit immer dann zu einer Art Wärmestau, wenn der Golfstrom ins Stocken geriet und die Temperaturen im nordatlantischen Raum innerhalb weniger Jahre drastisch abnahmen. Am Ende der letzten Eiszeit, einer Phase, in der die Temperaturen langsam, aber nachhaltig kletterten, kam es in der Nordatlantik-Region immer wieder zu heftigen Kälteeinbrüchen. Ein solcher Klimakollaps ereignete sich vor rund 16 000 Jahren. Doch während in unseren Breiten für Jahrhunderte sibirische Kälte herrschte, stiegen die Oberflächentemperaturen im tropischen Atlantik um 1,5 Grad und in mittleren Tiefen sogar um bis zu

fünf Grad an. Ähnliches geschah vor 12 000 Jahren in der so genannten Jüngeren Dryas, jener Epoche unmittelbar vor Beginn unserer heutigen Warmzeit. Zwischen diesen beiden Kälteperioden gab es im Bereich des Nordatlantiks eine wärmere Phase. Hier funktionierte die Klimaschaukel mit umgekehrten Vorzeichen: Messungen zeigen, dass sich das tropische Meerwasser in dieser Phase um bis zu zwei Grad Celsius abkühlte.

Diese Erkenntnisse stammen aus der Untersuchung von Sedimentkernen, die südöstlich der Karibikinsel Grenada in 1 300 Metern Wassertiefe und vor der Küste von Angola aus 430 Metern Tiefe gewonnen wurde. In den Ablagerungen vom Meeresboden des tropischen Atlantiks ist die Klimageschichte seit der letzten Eiszeit gespeichert. Die Temperaturentwicklung der Meeresoberfläche wurde mit Hilfe so genannter Alkenone nachgezeichnet. Alkenone sind langkettige, ungesättigte Kohlenwasserstoffmoleküle, aus deren jeweiligen Anteilen sich die Klimainformation, hier die Meerwassertemperatur, ableiten lässt. Die Temperaturänderungen des tieferen Wassers wurden aus den Überresten benthischer Foraminiferen (Kalkgehäuse mikroskopisch kleiner Einzeller, die am Meeresboden leben) rekonstruiert.



Die Ursache der Klimaschaukel ist in der Dynamik des Golfstroms zu suchen. Heute sinken im Nordatlantik salzhaltige und daher schwere Wassermassen in tiefe Ozeanstockwerke und fließen nach Süden ab. Im Gegenzug strömt an der Ozeanoberfläche warmes Golfstromwasser – Garant des milden Klimas hier bei uns – gen Norden. Während der Eiszeit arbeitete das Pumpsystem auf niedrigerem Niveau. Als in deren Schlussphase mehrfach riesige Gletschermassen vom nordamerikanischen Inlandeis abbrachen und große Schmelzwassermengen über den St. Lorenz-Strom in den Nordatlantik gelangten, verringerte sich der Salzgehalt an der Meeresoberfläche. Das jetzt leichtere Wasser konnte nicht mehr in die Tiefe absinken und Platz für warmes Golfstromwasser machen, das vermutlich weiter südlich mit langsamerer Geschwindigkeit floss. Die Folge: erneute Abkühlung im Norden, Erwärmung in tropischen Regionen des Atlantiks.

Simulationen mit einem Klimamodell zeigen, dass dieses charakteristische Muster der Temperaturänderungen im Atlantischen Ozean typisch ist für abrupte Änderungen der ozeanischen Zirkulation im Atlantik, sowohl während einer Eiszeit als auch während einer Warmzeit wie derjenigen, in der wir zurzeit leben. Deshalb könnten kontinuierliche Messungen der Temperatur von tieferen Schichten des tropischen Atlantiks dazu dienen, zukünftige Änderungen der atlantischen Zirkulation frühzeitig zu erkennen.

Zurzeit messen wir gemeinsam mit Kollegen der Universität Bremen die Magnesium/Kalzium-Verhältnisse benthischer Foraminiferen in solchen Phasen verringerter ozeanischer Zirkulation. Dies ist eine relativ neue Methode zur Rekonstruktion früherer Wassertemperaturen, die wir einsetzen, um die Stärke der Temperaturänderungen zu Zeiten abrupter Zirkulationsänderungen während der Schlussphase der letzten Eiszeit genauer erfassen zu können.

Änderungen der Wassertemperatur vor Grenada in 1300 Metern Wassertiefe (rot) am Ende der letzten Eiszeit im Vergleich zum Klima in Grönland (blau) und der Rate der Tiefenwasserbildung im Nordatlantik (grün). Während der kurzfristigen Klimaeinbrüche im sogenannten Heinrich-Ereignis (H1) und in der Jüngeren Dryas (JD), die mit kalten Temperaturen in Grönland einhergingen, nahm die Bildung von Tiefenwasser drastisch ab und der tiefere tropische Atlantik erwärmte sich um bis zu 5 °C.

Zahlen und Fakten

Budget (Ist-Ausgaben)

2005 60,2 Mio. Euro Haushaltsmittel,
davon 11,8 Mio. Euro aus Drittmitteln.

2006 59,9 Mio. Euro
mit 12,2 Mio. Euro aus Drittmitteln.

MitarbeiterInnenanzahl

2005 752, davon 305 WissenschaftlerInnen.
Neueinstellungen:
24 Mitarbeiterinnen und 38 Mitarbeiter,
4 weibliche und 6 männliche Auszubildende.

2006 739, davon 300 WissenschaftlerInnen.
Neueinstellungen:
22 Mitarbeiterinnen und 25 Mitarbeiter,
7 weibliche und 4 männliche Auszubildende.

Auszubildende

2005 34 Auszubildende,
17 weiblich und 17 männlich.

2006 33 Auszubildende,
20 weiblich und 13 männlich.

Ausbildungszweige:

- *Chemielaborant/in,*
- *Elektroniker/in,*
- *Fachangestellte/r für Bürokommunikation,*
- *KFZ-Mechatroniker,*
- *Feinmechaniker/in und*
- *Kartograph/in.*
- *Fachangestellte/r für Medien- und Informationsdienste*
- *Fachinformatiker/in*

Die Homepage der BGR

2005 12 533 158 Dateizugriffe, davon
3 331 166 Zugriffe auf Text-Dateien
(Page-Impressions),
durchschnittlich 9 127 pro Tag.
Besucher: 451 732,
durchschnittlich pro Tag: 1 238.

2006 18 170 991 Dateizugriffe, davon
5 955 841 Zugriffe auf Text-Dateien
(Page-Impressions),
durchschnittlich 16 317 pro Tag.
Besucher: 357 040,
durchschnittlich pro Tag: 978.

Die Fachbibliothek

Mit mehr als 360 000 Büchern und Zeitschriften
sowie 100 000 Kartenblättern eine der größten
geowissenschaftlichen Spezialbibliotheken der Welt.
3 500 Neuzugänge pro Jahr;
mehr als 1 000 Tauschpartner weltweit.

Die Sammlungen Hannover und Berlin

Eine der größten geowissenschaftlichen Sammlungen
Deutschlands;
50 000 wissenschaftliche Originale;
ca. 4 Millionen Belegstücke
(Fossilien, Gesteine, Mineralien);
65 km Bohrkerne.

Geosport

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

- *Badminton,*
- *Fußball,*
- *Haltungsschulung,*
- *Lauftraining,*
- *Schwimmen,*
- *Segeln,*
- *Tischtennis,*
- *Volleyball,*
- *Walking,*
- *Yoga,*
- *Fitness-Arena (Fitness-Studio)*

Impressum

© Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2007)

Redaktionskomitee

Dr. Udo Barckhausen (B3.15), Jens Boehme (B1.18), Dr. Olaf Düwel (B4.25), Dr. Jochen Erbacher (B3.23), Dr. Gudrun Franken (B1.11), Petra Gerber (BZ.3), Dr. Ingo Heyde (B3.15), Dr. Rainer Hoffmann (B4.25), Dr. Arne Hoffmann-Rothe (B1.14), Dr. Angelika Köthe (B3.25), Dietmar Krug (B4.25), Bettina Landsmann (B2.3), Dr. Franz May (B1.21), Brigitte Messner (BZ.8), Dr. Thomas Pletsch (B4.23), Dr. Simone Röhling (B1.22), Dr. Frauke Schäfer (BZ.8), Dr. Thomas Schubert (BZ.8), Dr. J. R. Weber (B2.3), Dr. Hildegard Wilken (B1.11), Dr. Thomas Wippermann (B4.1), Markus Zaepke (B1.16)

Redaktion

Dr. Thomas Schubert,
Brigitte Messner, Sylvia Sörgel, Hans-Joachim Sturm und Reinhard Dörge

Bildnachweis

Die verwendeten Fotos stammen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Geozentrums Hannover.

Druck und Herstellung

Bonifatius GmbH
Druck · Buch · Verlag
Karl-Schurz-Str. 26
33100 Paderborn

www.bgr.bund.de



	Pressesprecherin	Präsident		GIW-Geschäftsstelle
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 Internationalen 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 Grundwasserbeschaffenheit, Grundwasserschutz		2.7 Georisiken, Fachinformtionssysteme
	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 Hydrogeochemie

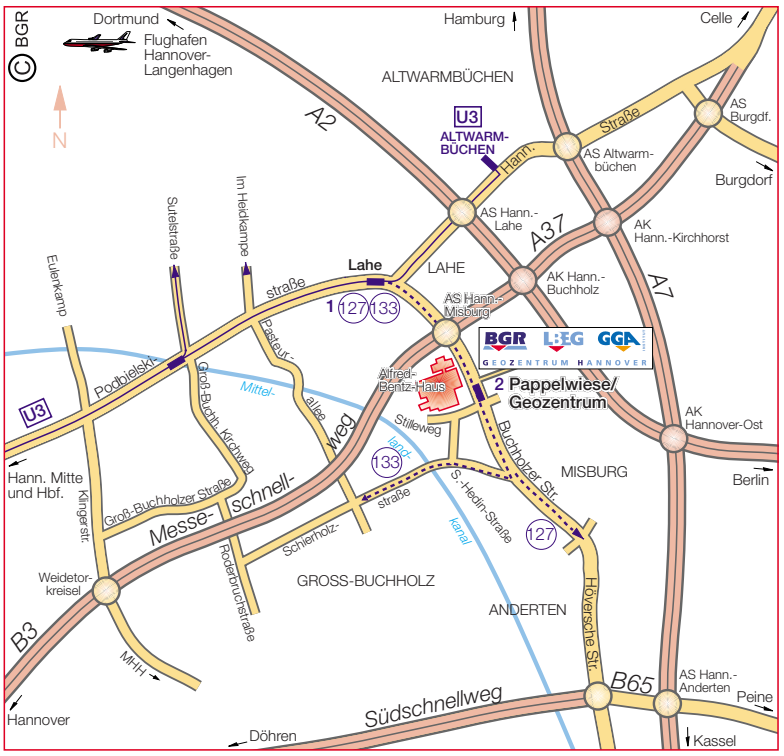
Fachgruppe 4.2

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



Stadtbahnlinie / Tram line U3

Buslinie / Bus line 127 133

1 Stadtbahn- und Bushaltestelle / Tram and bus stop Lahe

2 Bushaltestelle / Bus stop Pappelwiese/Geozentrum

Ab Hauptbahnhof Stadtbahnlinie **U3**
Richtung **Altwarmbüchen**
bis Lahe, Buslinie 127
oder 133 bis Haltestelle
Pappelwiese/Geozentrum

From main railway station, take tram no. **U3**
direction **Altwarmbüchen**
to Lahe, and then bus 127 or 133,
bus stop
Pappelwiese/Geozentrum



BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover

Kontakt

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

Telefon (0511) 643 – 2249
Telefax (0511) 643 – 3685
E-Mail info@bgr.de
Internet http://www.bgr.bund.de

Kontakt

Kontakt