

# **Zweijahresbericht**

**GeoForschungsZentrum Potsdam**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

**2004/2005**



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	III
<b>Einleitung</b>	V
<b>Aus der wissenschaftlichen Arbeit</b>	
GITEWS: das Tsunami-Frühwarnsystem für den Indischen Ozean	1
Das Bam-Erdbeben 2003: Präzise Herdparameterbestimmung mit Hilfe der differentiellen Radar-Interferometrie	11
D-INSAR-Forschung in China: Monitoring und Analyse von Absenkungen und Hangrutschungen	21
Prozesse, die die Anden formten – Zwölf Jahre SFB 267	29
„Inkaba ye Africa“: dem dynamischen System Erde auf der Spur	47
CHAMP und GRACE – erfolgreiche Schwerefeld- und Klimamissionen	53
A Comprehensive View of the Earth's Magnetic Field from Ground and Space Observations	63
CONTINENT – Der Baikalsee, ein aussergewöhnliches kontinentales Klimaarchiv	77
Seismische Vorauserkundung im Tunnelbau mit konvertierten Oberflächenwellen	97
Technologieentwicklung im In situ-Geothermielabor Groß Schönebeck	103
Hochdruck-Mineralphysik mit Synchrotron-Strahlung – ein Zugang zu den Bedingungen des tiefen Erdinneren	113
Neue experimentelle Entwicklungen an der GFZ-Ionensonde zur quantitativen Bestimmung volatiler Elemente	135
Risikokarten für Deutschland: erste Ergebnisse vom „Center for Disaster Management and Risk Reduction Technologies“ (CEDIM)	141
Das Industrie-Partnerschaftsprogramm (IPP): Internationale Kooperation zur Erforschung von Kohlenwasserstoffsystemen	153
<b>Die Departments</b>	
Dep. 1 Geodäsie und Fernerkundung	165
Dep. 2 Physik der Erde	215
Dep. 3 Geodynamik	271
Dep. 4 Chemie der Erde	299
Dep. 5 Geoengineering	373



<b>Gremien des GFZ Potsdam</b>	409
<b>Organisation, Verwaltung, Zentrale Dienste</b>	410
Personal- und Sozialwesen	
Haushalt und Finanzen	
Bibliothek des Wissenschaftsparks „Albert Einstein“	
Daten- und Rechenzentrum	
ICDP Operational Support Group	
Das „Einstein-Jahr“ 2005 in Potsdam	
<b>Auszeichnungen und Ehrungen</b>	432
<b>Habilitationen, Promotionen</b>	433
<b>Ausgewählte Publikationen</b>	435
<b>Patente 2004 – 2005</b>	448
<b>Glossar</b>	449

# Vorwort

Der vorliegende Zweijahresbericht über den Zeitraum 2004/05 wendet sich in erster Linie an die Mitglieder des Kuratoriums und des Wissenschaftlichen Beirats sowie an die Zuwendungsgeber und die zuständigen parlamentarischen Gremien. Darüber hinaus soll er aber auch die wissenschaftlich interessierte Öffentlichkeit über das GeoForschungs-Zentrum Potsdam (GFZ), seine Ziele und seine Forschungsaktivitäten informieren.

Mit dem Jahr 2004 wurde die Finanzierung der Helmholtz-Gemeinschaft in den Forschungsbereichen (FB) „Erde und Umwelt“ sowie „Energie“ auf die Programmorientierte Förderung umgestellt. Das GFZ Potsdam hat die Federführung im Programm 1 *Geosystem: Erde im Wandel* im FB „Erde und Umwelt“, ist am Programm 2 *Atmosphäre und Klima* mit seinen Arbeiten zur GPS-Atmosphärensondierung beteiligt und kooperiert mit dem AWI/GKSS im Programm 3 *Polare, Marine und Küstensysteme*. Am Programm „Erneuerbare Energien“ im FB „Energie“ beteiligt sich das GFZ mit dem Programmthema *Geothermische Technologien*.

Das zentrale Ereignis im Berichtszeitraum war die Tsunami-Katastrophe vom 26. Dezember 2004, bei der über eine Viertelmillion Menschen ihr Leben verloren haben. Unter Federführung des GFZ Potsdam hat das Helmholtz-Forschungsnetzwerk EOS (Integrated Earth Observing System) der vier Helmholtz-Zentren AWI, DLR, GFZ und GKSS zusammen mit dem Konsortium Deutsche Meeresforschung (KDM), der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) sowie weiteren Einrichtungen bereits Anfang Januar 2005 ein Konzept zum Aufbau eines Tsunami-Frühwarnsystems für den Indischen Ozean vorgelegt. Mit der Umsetzung dieser FuE-Initiative, die mit insgesamt ca. 45 Mio. € aus Mitteln der Bundesregierung für die Tsunami-Hilfe ausgestattet ist, wurde im April 2005 begonnen.

Im November 2005 wurde das vom GFZ Potsdam koordinierte und geleitete Internationale Kontinentale Bohrprogramm ICDP von einem internationalen Expertengremium evaluiert und insgesamt hervorragend bewertet. Größere Bohrprojekte im Berichtszeitraum mit einer starken GFZ-Beteiligung waren u. a. die Erbohrung der San Andreas-Störungszone bei Parkfield, ein Bohrprojekt im Lake Bosumtwi, einem Meteoriteneinschlagskrater in Ghana, sowie das Lake Qinghai Drilling Projekt in Tibet, China. Bereits Ende März 2005 konnten auf einer großen internationalen Konferenz unter dem Titel „Continental Scientific Drilling 2005 – A Decade of Progress and Opportunities“ ein Resümee der im Rahmen des ICDP durchgeführten Bohrungen gezogen und ein strategisches Konzept für zukünftige wissenschaftliche Bohrungen erarbeitet werden.

Im Pilotprojekt CO<sub>2</sub>SINK haben sich 2004 unter Federführung des GFZ Potsdam Partner aus acht europäischen Nationen zusammengefunden, um die Speicherung von Kohlendioxid im Untergrund umfassend zu erforschen. Dieses europaweit erste Projekt auf dem Festland wird von der EU über zunächst fünf Jahre gefördert. Seit April 2005 läuft ebenfalls unter Koordination des GFZ das BMBF Verbundprojekt COSMOS – CO<sub>2</sub>-Speicherung, Monitoring und Sicherheitstechnologien – mit Beteiligung der Universitäten Karlsruhe und Freiberg sowie der Industrie.

Das Geothermie-Projekt des GFZ in Groß Schönebeck (nordöstlich von Berlin) geht nach erfolgreicher Arbeit in eine neue Phase. Mit der Übergabe eines Förderungsbescheides im August 2005 wurden Mittel in Höhe von ca. 10 Mio. Euro durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bereitgestellt, so dass im Frühjahr 2006 die zweite Forschungsbohrung begonnen werden kann.

Die Satellitenmission CHAMP wurde ebenfalls erfolgreich weitergeführt. Mit nunmehr zweimaliger Bahnanhebung wurde die Lebensdauer des Satelliten erheblich verlängert, so dass derzeit von einer weiteren Funktionsfähigkeit bis 2008 ausgegangen werden kann. Auch die dritte Satellitenmission mit GFZ-Beteiligung, GRACE, ist weiterhin auf Erfolgskurs.

Wir möchten uns bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für das große Engagement und die hervorragende Arbeit in den vergangenen beiden Jahren bedanken. Ein besonderer Dank gilt den Zuwendungsgebern, Bund und Land, den Mitgliedern unserer Gremien sowie den verschiedenen Fördereinrichtungen, die unsere FuE-Aktivitäten nachhaltig unterstützt haben.

Prof. Dr. Dr. h. c. Rolf Emmermann

Dr. Bernhard Raiser



# Das System Erde – Forschungsgegenstand des GFZ Potsdam

Das anhaltende Wachstum der Weltbevölkerung, die dadurch bedingte immer intensivere Nutzung unseres Planeten und seiner Ressourcen sowie die zunehmende Anfälligkeit unserer Gesellschaft gegenüber Naturgefahren erfordern ein nachhaltiges und international abgestimmtes Handeln zum Erhalt des Lebensraums Erde, zur Sicherung unserer Lebensgrundlagen und zum Schutz unserer Umwelt. Zu diesen zentralen Aufgaben der gesellschaftlichen Daseinsvorsorge will das GFZ Potsdam mit seinen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (FuE) einen maßgeblichen Beitrag leisten.

Die Erde ist ein dynamischer Planet, der unter dem Einfluss endogener und exogener Kräfte und Prozesse einem ständigen Wandel unterliegt und durch rückgekoppelte und auf ganz unterschiedlichen räumlich-zeitlichen Skalen ablaufende Interaktionen und Austauschvorgänge von Materie und Energie zwischen Geosphäre, Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre gekennzeichnet ist. Um unseren Lebensraum – von der regionalen Umwelt bis hin zur Erde insgesamt – zu verstehen, ist es deshalb notwendig, die Erde als System zu betrachten und dessen Funktionsweise global wie regional im Detail zu analysieren. Dabei gilt es insbesondere zu bewerten, wie sich die Tätigkeit des Menschen und sein Eingriff in die natürlichen Gleichgewichte und Prozesse in diesem hochkomplexen, nicht-linearen System auswirken.

Die Entwicklung immer leistungsfähigerer Instrumente und höherauflösender Messtechniken sowie die inzwischen verfügbaren Computertechnologien ermöglichen es den Geowissenschaften heute, komplexe Strukturen und Geoprozesse in allen zeitlichen und räumlichen Skalenbereichen zu erfassen und numerisch zu modellieren. Das am GFZ Potsdam eingesetzte Spektrum an Methoden und Techniken reicht von Satelliten und flugzeuggestützten Messsystemen über hochauflösende Verfahren der geophysikalischen Tiefensondierung und wissenschaftlichen Bohrungen bis hin zu Laborexperimenten unter simulierten *In-Situ*-Bedingungen. Es wird ergänzt durch mathematische Ansätze zur Systemtheorie und die Modellierung von Geoprozessen.

Langfristiges Forschungsziel ist es, auf der Grundlage eines umfassenden Prozess- und Systemverständnisses Strategien zu entwickeln und Handlungsoptionen aufzuzeigen, z. B. für die Sicherung und umweltverträgliche Gewinnung natürlicher Ressourcen, die Vorsorge vor Naturkatastrophen und die Minderung der Risiken, die Bewertung der Klima- und Umweltentwicklung und des anthropogenen Einflusses hierauf sowie die Erkundung, Nutzung und den Schutz des unterirdischen Raums.

Die FuE-Arbeiten werden in einem fachübergreifenden Verbund von Naturwissenschaftlern und Ingenieuren und in enger Kooperation mit nationalen und internationalen Partnern realisiert. Im Mittelpunkt stehen dabei die Erforschung und Modellierung relevanter Geo-Prozesse, das Monitoring von Zustand und Entwicklungstrends im System Erde, die Definition physikalisch-chemischer Toleranzgrenzen kritischer Zustände sowie die Langzeiterfassung globaler wie regionaler Veränderungen.

Hierzu wird eine modulare Erdbeobachtungsinfrastruktur, bestehend aus Geo-Satelliten, Flugzeugplattformen mit speziellen Sensoren, globalen Bodennetzwerken von Permanentstationen und mobilen Messnetzen, in nationaler und internationaler Kooperation betrieben. Ein wesentliches Element dieser wissenschaftlichen Infrastruktur ist die Vorhaltung von Gerätepools, geowissenschaftlichen Observatorien sowie analytischen Spezialgeräten. Sie stehen für eine gemeinsame Nutzung in Gemeinschaftsprojekten mit externen Partnern zur Verfügung und sind der Beitrag des GFZ Potsdam zur Wissenschafts-Infrastruktur der Helmholtz-Gemeinschaft.

## Forschungsschwerpunkte des GFZ Potsdam

Das FuE-Programm des GFZ orientiert sich an langfristig angelegten Forschungsthemen, die von globaler Bedeutung sind und international eine zentrale Rolle spielen.

### *Globale Prozesse und Geomonitoring*

Globale Prozesse können den Lebensraum des Menschen auch innerhalb kurzer Zeiträume verändern. Erdbeben, Vulkanismus, die gegenwärtige starke Abnahme des Magnetfeldes und Änderungen im Massenhaushalt polarer Eisflächen sind unmittelbare Zeugen dieser Dynamik. Ihre Wirkung wird in der Variabilität des Gravitationsfeldes und des Magnetfeldes der Erde, der Veränderlichkeit der Erdrotation und in großräumigen Deformationen des Erdkörpers sichtbar. Zugrundeliegende Prozesse finden ihren Ausdruck in der seismologischen Struktur des Erdinnern und in seiner stofflichen Zusammensetzung. Wesentliche Voraussetzung zum Verständnis des Systems Erde und seiner Dynamik ist die Kenntnis dieser Prozesse und Strukturen.

Global gewonnene, lange Zeiträume überdeckende Datenreihen von diesen Phänomenen sind für eine gesicherte Prozessmodellierung von ausschlaggebender Bedeutung. Zielvorgabe für diese Aufgabe ist es, eine die Kontinente, Ozeane und großen Eisflächen überdeckende integrierte Geomonitoring-Infrastruktur zu schaffen, diese im Verbund mit Teilstrukturen von internationalen Partnern und



**Abb. 1:** Übergabe der ersten Boje des Tsunami-Frühwarnsystems für den Indischen Ozean an Indonesien, Juli 2005 in Hamburg (Fotos: A. Rudloff, GFZ)

*Handing over the first buoy of the tsunami early warning system for the Indian Ocean to Indonesia, Hamburg, July 2005.*

Diensten operationell zu betreiben und die damit erfassten Datenreihen in räumlich-zeitlich hochauflösende Modelle umzusetzen. Nur auf dieser Basis lassen sich Bezugssysteme und Modellgrößen mit größtmöglicher Genauigkeit und zeitlicher Frequenz bestimmen und überwachen.

Die Vision eines „integrierten Geomonitoring“ zur Erfassung globaler Prozesse beinhaltet deshalb die Entwicklung und den Betrieb von Satelliten- und Flugzeugplattformen mit angepassten Sensoren und die systematische Weiterentwicklung von Verfahren zur Nutzung von GNSS (GPS/GALILEO)-Signalen in der Geo- und Atmosphärenforschung. Sie umfasst auch die Entwicklung und den Betrieb eines national und international vernetzten Kompetenzzentrums für die Erfassung, Archivierung und Verteilung globaler Langzeitdatensätze. Insbesondere muss auch die Weiterentwicklung und der effektive Betrieb von Prozessoren für die Modellierung von Schwerefeldern, Magnetfeldern, Deformationsfeldern und deren zeitliche Veränderungen sowie für die Abbildung von Prozessen im Erdinnern sichergestellt werden.

Mit dieser national und international vernetzten Infrastruktur, dem Navigations-Satellitensystem GPS, den Geoforschungssatelliten CHAMP, GRACE, GOCE und den Ozean- und Eisüberwachungssatelliten TOPEX, ERS, JASON und ENVISAT werden neben der mehr grundlagenorientierten Modellbildung zu Prozessen im Erdkern, Erdmantel und der Kruste eine Vielzahl praktischer Anwendungen möglich. Hierzu gehören die laufende Bereitstellung eines für die Präzisionsvermessung, terrestrische Navigation und interplanetare Navigation fundamentalen geozentrischen globalen Bezugssystems mit Millimetergenauigkeit, die Bereitstellung einer Höhenbezugsfläche (Geoid) mit Millimetergenauigkeit für die hochgenaue interkontinentale Höhenübertragung, die Überwachung des Meeresspiegelanstiegs und die Nutzung von GPS (zukünftig GALILEO) für das Nivellement mit Satelliten

und die Präzisionszeitübertragung. Daneben werden die Zirkulation der Ozeane, Tiefenwasserströmungen, Wärmeaustausch an der Ozeanoberfläche, Veränderungen im Massenhaushalt der großen Eisflächen, Veränderungen im globalen Grundwasserhaushalt und die Änderung des mittleren Meeresspiegels mit hoher Genauigkeit beobachtbar und überwachbar. Die kontinuierliche Auswertung von Messungen zum Schwerefeld, Magnetfeld und der Atmosphäre mit Satelliten liefert wichtige Elemente zur Überwachung und Kurzfristvorhersage des irdischen Wetters und des Weltraumwetters und damit wertvolle Beiträge zum Schutz der Bevölkerung und technischer Systeme.

#### *Geodynamik, Stoffkreisläufe und Ressourcen*

Tektonische Prozesse und Massenverlagerungen aller Art in der Erdkruste und dem oberen Erdmantel sind unmittelbarer Ausdruck der Dynamik unseres Planeten und bestimmend für den menschlichen Lebensraum. Ziel ist ihre Analyse mittels eines breiten Methodenspektrums. Der Schwerpunkt der Forschung liegt auf dem Studium der Entwicklung von Deformation, Massen- und Stofftransport in und auf der kontinentalen Lithosphäre.

Seit den 60er-Jahren vollzieht sich in den Geowissenschaften ein Umbruch von konventionellen, eher beschreibenden Ansätzen, zu einer quantifizierenden Wissenschaft. Die wichtigsten Impulse entstammen dabei dem Konzept der Plattentektonik als vereinheitlichende geowissenschaftliche Theorie. Begleitet wurde dieser Umbruch durch die Entwicklung moderner Methoden der hochauflösenden Analytik auf der atomaren Ebene, Beobachtungen im Feldmaßstab und mathematischer Modelle zur Abbildung und Simulation der relevanten Prozesse. Die damit quantitativ stofflich und physikalisch untersuchten Phänomene reichen von der Lithosphären deformation über die Entwicklung sedimentärer Beckenstrukturen und Klimaforschung bis hin zu Fragen der Naturgefahren und Katastrophenvorsorge.

Geodynamische Prozesse sind als räumlich begrenzte Abläufe Antrieb für Deformationsvorgänge, Erdbeben und für alle geogenen Stoffkreisläufe, die den Lebensraum Erde aufrechterhalten. Stoffkreisläufe sind der Motor für die Entstehung von Ressourcen, wie mineralische Lagerstätten, Kohlenwasserstoffvorkommen und Grundwasser.

Die Herausforderung besteht darin, Antrieb und Steuerungsmechanismen von geodynamischen Prozessen und Stoffkreisläufen einerseits zu identifizieren sowie andererseits ihre Risiko- und Ressourcenpotentiale besser abzuschätzen. Hierzu werden integrierte, hochauflösende geophysikalisch-geodätisch-geologische Messkampagnen in geodynamischen Schlüsselregionen der Erde – insbesondere an aktiven und passiven Kontinenträndern – durchgeführt, die sich auf besonders relevante, sogenannte ‚Natürliche Laboratorien‘ fokussieren. Diese sind vor allem Südafrika (Projekt Inkaba ye Africa) als Beispiel eines passiven Kontinentrands, Südamerika mit dem prominentesten konvergenten Kontinentrand, Israel und die Türkei für große aktive intrakontinentale Störungszonen und die Pamir-Tianshan-Region in Zentralasien für intrakontinentale Deformation.

Parallel dazu werden Laborexperimente durchgeführt („Erde im Labor“). Die Experimente simulieren Prozesse unter Normalbedingungen bis zu extrem hohen Drücken und Temperaturen und entschlüsseln Materialeigenschaften, Reaktionen zwischen Mineralen, Schmelzen und Fluiden sowie die damit verbundenen Transportprozesse in allen Skalenbereichen bis hinunter in den atomaren Maßstab. Der Einsatz mikro- und isotopenanalytischer Methoden erlaubt dabei die Quantifizierung von Stoffumsätzen und die Bestimmung der Chronologie geodynamischer Prozesse. Numerische Modellierungen verknüpfen diese Daten ganz unterschiedlicher Art und Dimension über verschiedene Skalenlängen. In diesem Kontext ist auch die Neu- und Weiterentwicklung innovativer Mess- und Auswertetechnologien von essentieller Bedeutung.

Ein Schlüssel zum Verständnis des Systems Erde ist die Kenntnis der physikalischen Eigenschaften von Geomaterialien bei extrem hohen Drücken und Temperaturen. Am GFZ Potsdam werden deshalb Materialeigenschaften von Gesteinen und Mineralen bei simulierten Bedingungen des Erdinneren untersucht. Dabei stehen die für das Prozessverständnis wichtigen Größen, wie die Wärmetransporteigenschaften, und die für die Interpretation der indirekten geophysikalischen Tiefensonierungen benötigten Größen, wie elastische Eigenschaften, Dichte und elektrischer Widerstand, im Mittelpunkt. Die am GFZ Potsdam verfügbaren und zum Teil selbst entwickelten Apparaturen und experimentellen Einrichtungen stehen auch exter-

nen Arbeitsgruppen für materialwissenschaftliche Fragestellungen in Physik, Chemie und bei der Entwicklung von neuen Materialien zur Verfügung.

Die in den letzten Jahren intensiv untersuchten Aspekte und Phänomene des Kohlenstoffkreislaufs in der festen Erde sind u. a. die Umwandlungsraten fossilen Pflanzmaterials in Sedimentbecken in gasförmige und flüssige Kohlenwasserstoffe über geologische Zeiträume, die Entwicklung von Störungen und porösen Gesteinen, durch die Erdöl und Erdgas aus großer Tiefe in flachere geologische Strukturen migrieren oder Mikroorganismen, die von der Permafrostzone bis in große Tiefen unter extremen Lebensbedingungen existieren und z. B. Erdölreserven abbauen oder Methan produzieren.

Die Menge an Kohlenstoff in diesem Kreislauf ist zehntausendmal größer als die aller lebender Biomasse und Ressourcen an fossilen Brennstoffen (Kohle, Erdöl, Erdgas, Gashydrate) zusammen. Obwohl äußerst dynamisch, laufen die Prozesse mit unvorstellbar geringen Geschwindigkeiten ab, wenn man die menschliche Zeitskala als Vergleich heranzieht. Der globale Kohlenstoffkreislauf umfasst den Kreislauf des Lebens in Vergangenheit und Gegenwart. Er ist im Wesentlichen für die Entstehung fossiler Brennstoffe verantwortlich, die den industriellen Energiebedarf abdecken. Eine Komponente dieses hochaktuellen Themas sind Gashydrate, die mehr als die Hälfte der Kohlenwasserstoffreserven der Erde ausmachen und damit zukünftig eine zunehmende wirtschaftliche Bedeutung erlangen könnten. Gleichzeitig stellen sie aber auch einen erheblichen Einflussfaktor für Klimaänderungen dar.

Die Hälfte der globalen Biomasse lebt unterhalb der Erdoberfläche und beeinflusst dort maßgeblich den Kohlenstoffhaushalt. Diese bislang kaum bekannte „Tiefe Biosphäre“ ist zudem ein einmaliges natürliches Labor, das die Baupläne für heute noch völlig unbekannte Bakterien und Enzyme für die Biotechnologie liefern wird.



**Abb. 2:** In der Hochdruckhalle des GeoForschungsZentrums wurde 2005 eine neuartige rotierende Vielstempelpresse installiert. (Foto: Reiner Schulz, GFZ)

*A new Rocking Multi-Anvil Press has been installed in the high-pressure hall of the GFZ Potsdam in 2005.*

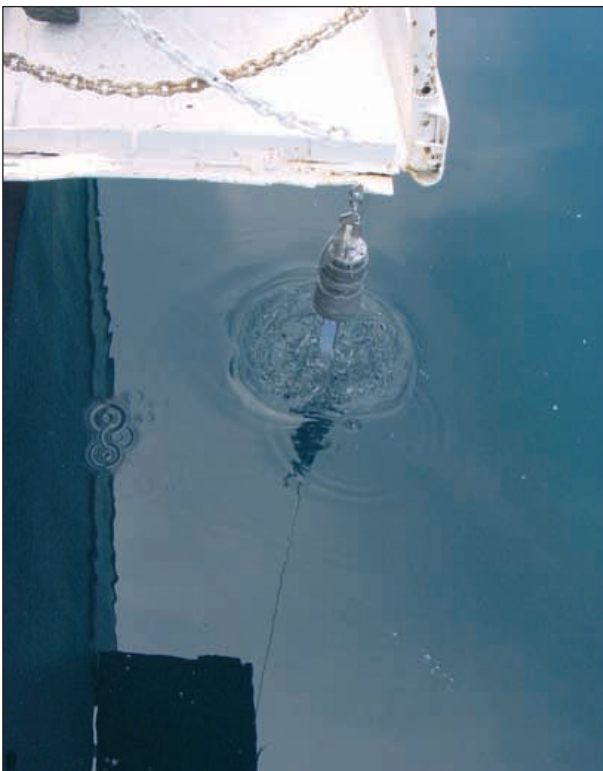
Die Untersuchung biogeochemisch gesteuerter Stoffkreisläufe ist daher von grundlegender Bedeutung für unsere Zivilisation und bildet ein wichtiges zukünftiges Forschungsthema.

#### *Klimavariabilität und Lebensraum des Menschen*

Der steigende Meeresspiegel und rapide Klimazonenverschiebungen in ariden bis semiariden Räumen werden im Wesentlichen durch Klimaveränderungen ausgelöst. Dieser natürliche globale Wandel wird zunehmend durch Aktivitäten der stark gewachsenen Erdbevölkerung überlagert. Massive anthropogene Eingriffe auf den Kontinenten haben bereits zu Veränderungen der Biosphäre und des menschlichen Lebensraums geführt. Zukünftige Szenarien sind beispielsweise die zunehmende Versteppung in Afrika und Eurasien (Veränderungen von Wasserbilanz und Vegetation) oder verstärkte Meeresvorstöße in Siedlungsräume.

Die an der Erdoberfläche ablaufenden Prozesse sind Ausdruck einer Koevolution von Biosphäre, Atmosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre und Lithosphäre. Die Untersuchung der natürlichen Prozesse liefert Basisdaten über die Klimavariabilität und nachfolgend Handlungswissen für eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen Land und Wasser. Dabei geht es insbesondere darum, Abläufe wie Bodenerosion, Desertifikation, Wasserverknappung, Umweltverschmutzung oder Faunen- und Florensterben frühzeitig zu erkennen und einzudämmen.

Mit Hilfe satellitengeodätischer Verfahren sollen die globalen Prozesse erfasst und die Vielzahl der Parameter, wie



**Abb. 3:** Klima-Bohrkampagne CONTINENT des GFZ Potsdam im Baikalsee (Foto: Birgit Heim)  
*CONTINENT drilling for climate archives in the Baikal-Lake*

z. B. Abschmelzen der polaren Eiskappen, die Erwärmung der Ozeane, Veränderungen des kontinentalen Wasserhaushalts sowie rezente Vertikalbewegungen bestimmt werden. In einem integrativen Ansatz von Beobachtungsdaten und Prozessmodellen aus Ozeanographie, Glaziologie, Hydrologie und Geodynamik werden Perspektiven entwickelt, um Prognosen für zukünftige Szenarien zu erstellen, die Schlussfolgerungen erlauben z. B. für Meeresspiegeländerungen, den Salzwasseranstieg in Süßwasseraquiferen, die Eutrophierung und Erwärmung von Seen oder Landverluste.

Es ist das Ziel, die räumliche und zeitliche Abfolge der Klimazustände der letzten Warm-/Kaltzyklen (bis ca. 150.000 Jahre vor heute) mit einer zeitlichen Auflösung von wenigen Jahren bis Jahrhunderten und einer räumlichen Auflösung von wenigen 100 Kilometern durch die systematische Verbindung von paläoklimatischer/paläomagnetischer Analytik und realitätsnaher Modellierung zu rekonstruieren. Dieser Datensatz bildet die Basis für die detaillierte Prüfung von Hypothesen der Klimadynamik, die Ableitung von erdgeschichtlichen Entwicklungen sowie für Aussagen über die Vorhersagbarkeit des Klimasystems auf verschiedenen Skalen. Damit wird die natürliche Klimavariabilität allgemein, aber auch die Klimavariabilität synchron auf den Kontinenten und in den Ozeanen quantifiziert. Ein zentraler Aspekt ist dabei die Auswirkung von Klimaänderungen auf die regionale Umwelt.

#### *Naturkatastrophen und Vorsorgestrategien*

Ereignisse wie die Tsunami-Katastrophe vom 26. Dezember 2004 im Indischen Ozean, der Hurrikan Katrina und das Erdbeben in Pakistan/Indien 2005 haben erneut vor Augen geführt, dass die Begrenzung der Risiken von Naturgefahren zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit gehören. Im Fall der Tsunami-Katastrophe hat unter Federführung des GFZ das Helmholtz-Forschungsnetzwerk EOS (Integriertes Earth Observing System), bestehend aus den Helmholtz-Zentren AWI, DLR, GFZ und GKSS, sehr schnell reagiert und bereits Anfang Januar 2005 der Bundesregierung ein Konzept zum Aufbau eines Frühwarnsystems vorgelegt. Ziel ist die Implementierung eines wirksamen Tsunami-Frühwarnsystems für den Indischen Ozean, das später auf den Mittelmeerraum und den Atlantik ausgedehnt werden soll. Das Tsunami-Frühwarnsystem ist Teil eines Early-Warning-Systems, das auch andere Naturkatastrophen wie z. B. Erdbeben und Vulkanausbrüche erfassen soll. Das System integriert terrestrische Beobachtungsnetze der Seismologie und Geodäsie mit marinen Messverfahren und Satellitenbeobachtungen. Die dazu erforderlichen FuE-Arbeiten sollen im Rahmen eines Plans realisiert werden, der einerseits schnell, d. h. innerhalb von 1 bis 3 Jahren, wirksamen Schutz garantiert und andererseits zulässt, auch spätere technologische Entwicklungen, für die jetzt noch Forschungsbedarf besteht, problemlos einzubinden.

Extreme Naturereignisse bedrohen den Menschen und seinen Lebensraum und führen in Verbindung mit der wachsenden Verletzbarkeit der Gesellschaft zu immer zerstörerischen Katastrophen. Beispiele hierfür sind Erdbeben,



**Abb. 4:** *Geophysikalisches Observatorium Gunungsitoli (Nias, Indonesien), Standort der ersten seismischen Station im Rahmen von GITEWS (Foto: W. Hanka, GFZ)*  
*Geophysical observatory Gunungsitoli (Nias, Indonesia), location of the first seismic station in the GITEWS framework*

Vulkanausbrüche, Hochwasser, Massenbewegungen oder Tsunamis. In zunehmendem Maße gewinnen in unserer hochtechnisierten Welt auch Gefahren aus dem Weltraum an Bedeutung, die von Wechselwirkungen einer sich verändernden Magnetosphäre mit dem Sonnenwind ausgehen („Weltraumwetter“).

Eine zentrale Aufgabe geowissenschaftlicher Forschung wird künftig darin bestehen, Naturgefahren nach dem aktuellen Stand der Forschung zu analysieren. Dazu sind im Verbund mit Ingenieuren, Ökonomen und Soziologen mögliche Katastrophenszenarien realitätsnah zu simulieren, Vulnerabilitäts- und Gefährdungsabschätzungen sowie Risikobewertungen vorzunehmen, Frühwarnkapazität zu schaffen und praxisnahe Schutzkonzepte zu entwickeln. Es sind integrierte Konzepte zu erarbeiten, die geowissenschaftliche Informationen mit denen technischer, ökonomischer und sozialwissenschaftlicher Disziplinen zusammenführen und in eine nachhaltige Vorsorge einbinden. Dabei sind die verschiedenen Phasen des Katastrophenmanagements, d. h. Risikoanalyse, Katastrophenvorbeugung und Katastrophenebewältigung sowie die Nachsorge zu berücksichtigen.

Langfristig ist es das Ziel, geowissenschaftliches Know-how im Management von Naturkatastrophen zu verankern. Die Vernetzung mit nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Katastrophenmanagement soll eine Kultur der Katastrophenvorsorge fördern, die wissenschaftlich begründet, technologisch abgesichert und an der Praxis orientiert ist sowie von der Gesellschaft akzeptiert wird. Ein Meilenstein ist die Gründung des Centre for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM), das 2003 vom GFZ Potsdam und der Technischen Universität Karlsruhe gemeinsam ins Leben gerufen wurde. Das CEDIM wird zusätzlich als Virtuelles Institut aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft finanziert.

### Geoengineering

Global beobachtet man beunruhigende Trends, die für die Gesellschaft gewaltige Herausforderungen mit sich bringen. Hierzu gehören Urbanisierung, Verkehrskollaps, Verknappung der Energie-, Wasser- und Rohstoffressourcen sowie Luft- und Umweltverschmutzung. Stadtplanung und Verwaltung können mit dem schnellen und unkontrollierten Wachstum von Megacities in den meisten Fällen nicht Schritt halten. Daraus resultieren Aufgaben, die in ihrer Komplexität und ihrem Ausmaß neuartig sind, wie z. B. die Sicherung der Energie- und Wasserversorgung, die Nutzung des unterirdischen Raums für die Verkehrsinfrastruktur sowie der Schutz vor Naturkatastrophen und technologischen Desastern.

Die immer knapper werdenden fossilen Energierohstoffe und die zunehmenden Emissionen von klimaschädlichen Treibhausgasen verlangen nach einem effektiven, ökonomisch und ökologisch verantwortungsvollen Handeln. In Kombination mit erneuerbaren Energien bleibt Kohle auch langfristig der wichtigste Baustein im künftigen Energiemix der Stromerzeugung. Nachteilig für Klima und Umwelt sind jedoch die hohen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Kohleverstromung. Zu ihrer Vermeidung muss man die Wirkungsgrade der Energiewandlung steigern und verstärkt erneuerbare Energien einsetzen. Man kann aber auch neue Wege gehen: Die Abtrennung von CO<sub>2</sub> an den Kraftwerken und Rückführung in den geologischen Untergrund kann für den Klimaschutz global zu einer Schlüsseltechnologie werden.

Weltweit befindet sich die Nutzung des unterirdischen Raums im Aufwind. In stark bevölkerten Gebieten bleibt als letzter verfügbarer Raum für Infrastrukturen vielfach nur noch der Untergrund. In den Städten erzwingen restriktive Randbedingungen infolge Flächenknappheit, immer stärkeren Lärm- und Umweltschutzaufgaben sowie mangelnder Akzeptanzbereitschaft der Bevölkerung gegenüber Baubelästigungen, das Ausweichen in die Tiefe durch den Bau von U-Bahnen, Straßentunneln, Rohrleitungen, Parkkavernen und sogar ganzen Bahnhöfen.

Auch die Basistunnel der neuen transeuropäischen Eisenbahnhochgeschwindigkeitsstrecken durch die Alpen sind technische Herausforderungen ersten Ranges mit ihren außergewöhnlichen Längen, hohen Gebirgsüberlagerungen, hohen mechanischen Spannungen und besonders



**Abb. 5:** *Bild des geplanten Neubaus A19 auf dem GFZ-Campus (Foto: Architektenbüro Becker, Potsdam)*  
*Sketch of the planned new building A19 on the GFZ campus*



**Abb. 6:** Einige Teilnehmer der Konferenz „Continental Scientific Drilling 2005 – A Decade of Progress and Opportunities for the Future“, Potsdam, 29. 3. bis 1. 4. 2005 (Foto: B. Stöcker, GFZ)

*Several participants of the conference „Continental Scientific Drilling 2005 – A Decade of Progress and Opportunities for the Future“, Potsdam, 29. 3. to 1. 4. 2005*

komplexen geotechnischen Bauvorgängen. Anforderungen dieses Umfangs wurden bisher noch nirgendwo auf der Erde bewältigt und lösen richtungsweisende Impulse in der Grundlagen- und angewandten Forschung aus wie z. B. die hochauflösende seismische Vorauserkundung online während eines Tunnelvortriebs.

Die Geothermie steht als erneuerbare Energie jederzeit zur Verfügung und ist eine ökologisch beispielhafte Alternative zu Kernkraft und fossilen Energieträgern. Aus Erdwärme kann man Energie in Form von technisch nutzbarer Wärme oder elektrischem Strom bedarfsgerecht herstellen. Erdwärme ist überall vorhanden, auch in Mitteleuropa. Jedoch muss man hier bis in Tiefen von 4 bis 5 Kilometern bohren, um ein genügend hohes Temperaturniveau zu erschließen, um elektrische Generatoren über Dampfturbinen effizient antreiben zu können. Dieses Potenzial kann aber erst dann genutzt werden, wenn die Kosten und Risiken der Erschließung nachhaltig gesenkt werden.

Mittelfristig wird dem Energieträger Biomasse das größte Potential unter den regenerativen Energiequellen zugeschrieben. Voraussetzung für eine energetische Nutzung von Biomasse sind die Entwicklung und Erschließung neuer Technologien zur Erhöhung des Wirkungsgrades der Energiewandlung sowie deren Implementierung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Umweltschutz, Nachhaltigkeit und Versorgungssicherheit – besonders im ländlichen Raum.

Das GFZ Potsdam hat gemeinsam mit einem Industriepartner die Konzeption einer auf geowissenschaftliche und geotechnische Fragestellungen und Projekte optimierten Forschungsbohranlage erarbeitet. Dabei sind besonders zu nennen die operationelle und wissenschaftliche Durchführung des Internationalen Kontinentalen Bohrprogramms ICDP, die Entwicklung und Anwendung neuer Bohrtechnologien für wissenschaftliche For-

schungsbohrungen, die Entwicklung neuer Technologien zur Erstellung von Bohrungen für die CO<sub>2</sub>-Speicherung im Untergrund und die Nutzung geothermischer Energie. Die Anlage soll kostengünstige Forschungsbohrungen bis zu einer Tiefe von etwa 5.000 Metern ermöglichen.

### **Nationale und Internationale Wissenschaftsinfrastruktur**

Zur Erfassung von Schlüsselprozessen im System Erde ist eine Infrastruktur notwendig, die die gesamten behandelten räumlichen und zeitlichen Skalen abdeckt: von der Ebene physikalischer und chemischer Untersuchungen im Labor über Prozesse auf der regionalen Skala in „natürlichen Laboren“ bis hin zu globalen Beobachtungsverfahren. Das GFZ Potsdam betreibt dafür eine international einmalige Wissenschaftsinfrastruktur für

die unterschiedlichsten Aufgaben, die insbesondere auch Wissenschaftlern von Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen zur Verfügung steht. Neben eigenen Satelliten und den entsprechenden Datenportalen gehören hierzu ein Geophysikalischer Gerätepool und ein Pool von GPS-Stationen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf dem Betrieb von globalen Messnetzen wie dem globalen Erdbebenmonitoring System GEOFON, GPS-Permanentstationen im Internationalen GNSS Service (IGS) und von geophysikalischen Observatorien (Magnetische Observatorien in Niemegk und Wingst, Geodynamisches Observatorium in Sutherland, RSA) die in internationale Messnetze eingebunden sind und deren Daten der internationalen Community zur Verfügung gestellt werden. Im Bereich der Geomaterialforschung betreibt das GFZ eine in Europa einzigartige Anlage zur Untersuchung von Materialeigenschaften und Prozessparametern unter hohen Drücken und Temperaturen mit Synchrotronstrahlung am HASYLAB des DESY sowie weitere analytische Spezialgeräte wie ein hochauflösendes Transmissions-Elektronenmikroskop oder eine Ionenprobe.

### **Nationale Kooperationen**

Das GeoForschungsZentrum Potsdam ist als nationales Forschungszentrum für Geowissenschaften Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren. Die Zentren erhalten seit 2003 ihre Grundfinanzierung im Rahmen der *Programmorientierten Förderung*. Dies bedeutet, dass die Forschungsaktivitäten für einen Zeitraum von 5 Jahren in sogenannten Programmen formuliert werden. Diese werden einer strategischen Begutachtung durch ein international zusammengesetztes Expertengremium unterworfen. Zur klaren strategischen Ausrichtung hat die Helmholtz-Gemeinschaft ihre gesamten Forschungsaktivitäten in sechs Forschungsbereiche eingeteilt: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Verkehr und Weltraum, Struktur der Materie sowie Schlüsseltechnologien. Das

GFZ beteiligt sich maßgeblich im Forschungsbereich „Erde und Umwelt“ und mit seinen Geothermie-Aktivitäten im Forschungsbereich „Energie“.

Im Forschungsbereich „Erde und Umwelt“ wurden sechs Programme etabliert, von denen das GFZ Potsdam das Programm 1 „Geosystem: Erde im Wandel“ koordiniert und sich beim Programm 2 „Atmosphäre und Klima“ mit seinen Arbeiten zur GPS-Meteorologie beteiligt. Die Programme in den Forschungsbereichen „Erde und Umwelt“ sowie „Energie“ starteten zum 1. 1. 2004.

Neben den programmatischen Aktivitäten haben die Helmholtz-Zentren Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), GKSS-Forschungszentrum Geesthacht, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und GFZ Potsdam gegenwärtig gemeinsam das Forschungsnetzwerk EOS „Integriertes Erdbeobachtungssystem“ installiert, in dem die wissenschaftlichen Infrastrukturen zusammengefasst sind. In dem Forschungsnetzwerk EOS werden drei Themen gemeinsam bearbeitet: „Eis und Ozean“, „Katastrophenmanagement“ und „Prozesse der Landoberfläche“. Über den Impuls- und Vernetzungsfond des Helmholtz-Präsidenten konnte ein Doktorandenprogramm mit insgesamt 18 Stellen initiiert werden.

Das GFZ Potsdam beteiligt sich im Rahmen seiner Zielsetzungen an einer Reihe von nationalen Programmen und größeren Forschungsprojekten. Hier sind insbesondere die Projektförderung des BMBF, des BMWi, des BMU und Programme der Deutschen Forschungsgemeinschaft zu nennen.

Das GeoForschungsZentrum hat sich gemeinsam mit der FU Berlin, der TU Berlin und der Universität Potsdam maßgeblich am Sonderforschungsbereich 267 „Deformationsprozesse in den Anden“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft beteiligt und auch den Sprecher gestellt. Der SFB hat 2005 nach insgesamt 12 Jahren seine Maximallaufzeit erreicht und wurde zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht. Das GFZ Potsdam ist darüber hinaus an drei Schwerpunktprogrammen der DFG wesentlich beteiligt: „ICDP“, „Erdmagnetische Variationen: Perioden und Prozesse“ sowie „Sedimentbecken“. Weiterhin beteiligt sich das GFZ an dem gemeinsam von BMBF und DFG finanzierten Programm „Geotechnologien“. An den Ausschreibungsrunden zu den Themen „Kontinentränder“ und „Informationstechnologie im Erdmanagement“ hat sich das GFZ Potsdam erfolgreich beteiligt. Der Themenkomplex „Beobachtung des Systems Erde aus dem Weltraum“ wurde bereits zur erstmaligen Verlängerung ausgeschrieben. Schwerpunkt der erfolgreichen GFZ-Anträge liegt auf der Auswertung und wissenschaftlichen Bearbeitung von Daten aus dem CHAMP- und GRACE-Projekt. Im Rahmen des Marktanreizprogramms des Bundesministeriums für Umwelt und Reaktorsicherheit (BMU) konnten erfolgreich umfangreiche Mittel zur Fortführung des Geothermieprojekts in Groß Schönebeck eingeworben werden, womit die Finanzierung der zweiten Bohrung gesichert wurde.



**Abb. 7:** Verleihung des Brandenburgischen Verdienstordens an Prof. Emmermann, Juni 2005, Foto: Staatskanzlei des Landes Brandenburg

*Award of the Order of Merit of the State of Brandenburg to Prof. Emmermann, June 2005*

Gemeinsam mit dem Zentrum für Internationale Entwicklungs- und Umweltforschung (ZEU) der Justus-Liebig-Universität Gießen und der kirgisischen Republik wurde 2003 ein „Zentralasiatisches Institut für Angewandte Geowissenschaften“ in Bishkek gegründet. In den letzten beiden Jahren wurde ein Gebäude in Bishkek baulich hergerichtet und mit moderner Infrastruktur ausgestattet, so dass das Institut nunmehr seinen wissenschaftlichen Betrieb aufnehmen kann.

Die Zusammenarbeit mit Universitäten wird durch gemeinsame Berufungen von leitenden Wissenschaftlern des GFZ Potsdam verstärkt, die damit neben ihren Forschungsarbeiten am GFZ eine Lehr- und Ausbildungstätigkeit an den Universitäten ausüben. Das GeoForschungsZentrum hat derzeit 18 gemeinsame Berufungen realisiert: sieben mit der Universität Potsdam, fünf mit der FU Berlin, drei mit der TU Berlin und je eine mit der Humboldt-Universität Berlin, der Universität Stuttgart und der Technischen Universität Braunschweig.

### Internationale Kooperationen

Aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft konnten 2005 Mittel für die Einrichtung eines Virtuellen Instituts „Center for System Analysis of Geoprocesses“ (CSAG) gemeinsam mit der Universität Potsdam und der Freien Universität Amsterdam eingeworben werden.

Das GFZ Potsdam ist an einer Reihe von Projekten der Europäischen Union beteiligt, teilweise in koordinierender Funktion. Besonders zu nennen sind die Projekte CO<sub>2</sub>SINK, einem EU Demonstrationsprojekt zur CO<sub>2</sub>-Sequestrierung in einen ehemaligen Erdgasspeicher bei Ketzin, westlich von Berlin, das europäische Netzwerk ENGINE zur wirtschaftlichen Entwicklung der Geothermienutzung, ein Projekt zur Entwicklung von Erdbeben-Frühwarn-Technologie, zugeschnitten auf große Städte in Europa (SAFER) und das Projekt TRANSFORM zur Erforschung von Grundlagen für die Tsunami-Frühwarnung.



**Abb. 8:** Diskussion zum Wissenschaftsland Brandenburg am Tag der Deutschen Einheit 2006 in Potsdam (Foto: F. Ossing, GFZ)  
*Discussing science in the state of Brandenburg at the Day of German Unity 2006 in Potsdam.*

Ende Februar 1996 startete das Internationale Kontinentale Bohrprogramm ICDP (International Continental Scientific Drilling Program), dem gegenwärtig neben Deutschland die USA, China, Japan, Kanada, Norwegen, die UNESCO, Mexiko, Österreich, Island, die Tschechische Republik, Polen, Finnland und die Republik Südafrika als Mitglieder angehören und zu dem weitere Nationen in Kürze hinzustoßen wollen. Das GeoForschungs-Zentrum ist die internationale Trägereinrichtung dieses Großprojekts und hat aufgrund der umfangreichen Erfahrung aus dem KTB die Aufgabe übernommen, das ICDP organisatorisch und operativ von Potsdam aus durch eine Operational Support Group (OSG) zu betreuen. Im ICDP werden bedeutende geowissenschaftliche Themen von

internationalen Wissenschaftlerteams an besonders ausgewählten, geologisch weltweit einmaligen Lokationen (World Geological Sites) bearbeitet. In den vergangenen Jahren wurden neben kleineren Aktivitäten mehrere große Vorhaben wie eine Bohrung in die San Andreas Erdbebenzone südlich von San Francisco begonnen, ein Bohrprojekt in die Flanke des Unzen Vulkans im Süden Japans abgeschlossen, eine Bohrung in den Bosumtwi-Impaktkrater in Ghana abgeteufelt sowie eine Bohrung mit starker Industriebeteiligung auf Island zur Erschließung über 400 °C heißen Wassers für geothermische Zwecke begonnen.

Das GeoForschungsZentrum liefert wichtige Beiträge zu wissenschaftlichen Diensten der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) und der Internationalen Union für Astronomie. Es sind dies der Internationale Erdrotationsdienst

(IERS), der Internationale GNSS-Dienst (IGS) und der Internationale Laserdienst (ILS). Die Beiträge umfassen die Bereitstellung von Beobachtungsstationen in von den Diensten koordinierten Messnetzen (Laser-, GPS-, GLO-NASS-Stationen), den Betrieb eines GNSS-Analysezenters und die Bereitstellung von geodätischen, geodynamischen und atmosphärischen Produkten zur Weiteraufbereitung bzw. Verteilung durch die Dienste an die internationalen Nutzer. Das GFZ Potsdam ist über sein Erdbebenmonitoringsystem GEOFON im Federal Digital Seismological Network (FDSN) und in der europäischen Initiative ORPHEUS sowie mit den beiden magnetischen Observatorien Niemegek und Wingst in der IASPEI federführend beteiligt.