GFZ

Helmholtz-Zentrum
POTSDAM

HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM
DEUTSCHES
GEOFORSCHUNGSZENTRUM

Geoforschungs-Satellit CHAMP

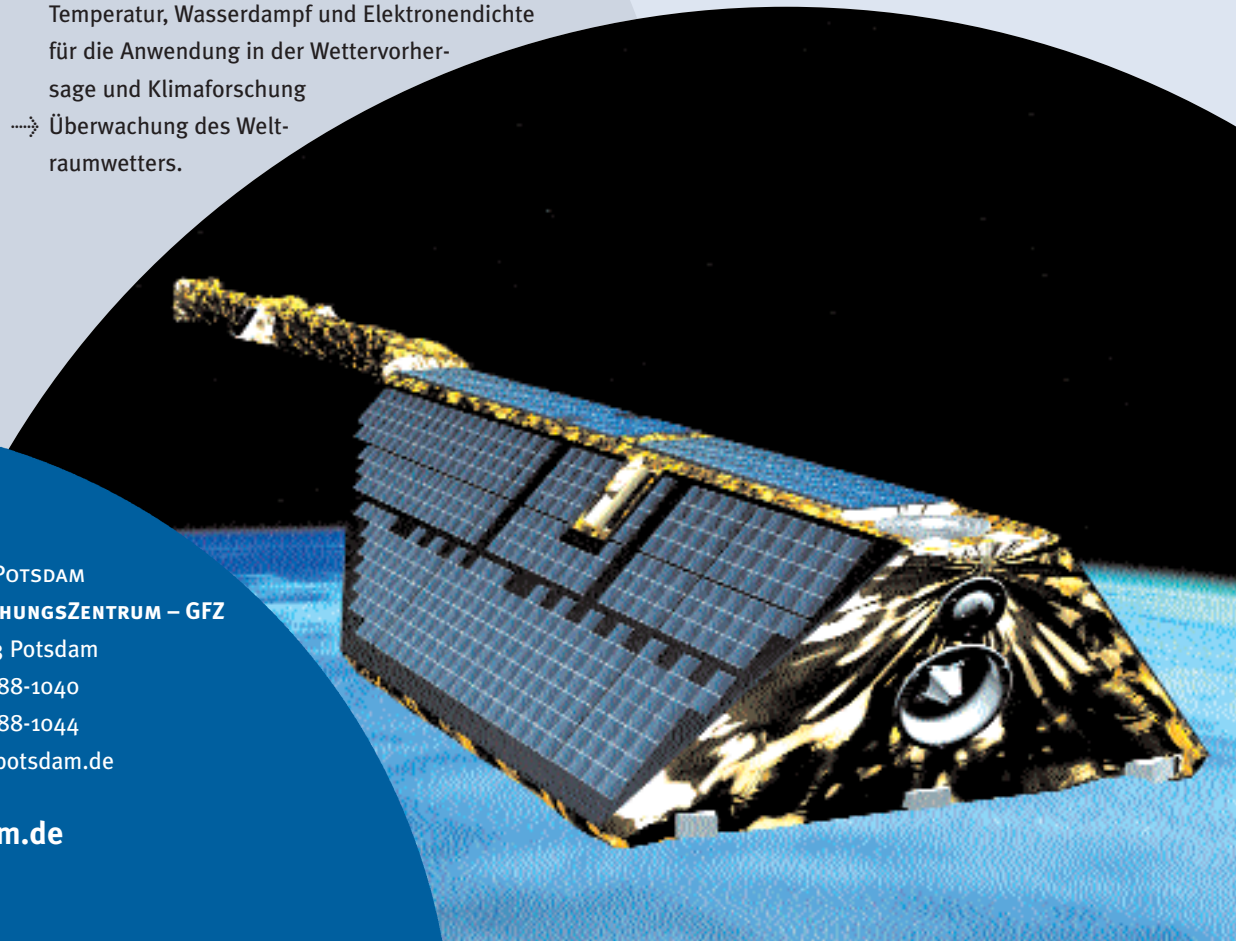
Der Satellit CHAMP (CHAllenging Mini-Satellite Payload for Geosciences and Application) hat die Aufgabe, das Erdschwerefeld und das Erdmagnetfeld zu vermessen sowie die Atmosphäre und Ionosphäre zu sondieren. Die CHAMP-Mission ist durch eine enge Verknüpfung von wissenschaftlichen und anwendungsbezogenen Messungen charakterisiert.

CHAMP liefert wesentliche Beiträge zur:

- Ermittlung globaler Referenzmodelle für Schwere- und Magnetfeld
- Modellierung des Aufbaus des Erdinnern
- Bestimmung global verteilter Vertikalprofile von Temperatur, Wasserdampf und Elektronendichte für die Anwendung in der Wettervorhersage und Klimaforschung
- Überwachung des Weltraumwetters.

CHAMP wiegt 522 kg, hat eine Gesamtlänge von 8,40 m und startete mit einer Anfangshöhe von 454 km. Im Laufe seiner etwa 8-jährigen Lebensdauer wird er auf etwa 300 km absinken. Seine polnahe Flugbahn hat eine Neigung von 87 Grad. Der Bau des Satelliten erfolgte im Rahmen eines Leitprojektes des BMBF für die Neuen Bundesländer mit dem Ziel, das im Osten Deutschlands existierende Raumfahrt-Know-How zu fördern.

Das Projekt wird unter der Gesamtverantwortung des GFZ durchgeführt. Der Satellitenbetrieb liegt beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR. Der Bau des Satelliten erfolgte durch ein Indus-



(Abb.: Astrium)

HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM
DEUTSCHES GEOFORSCHUNGSZENTRUM – GFZ
Telegrafenberg · 14473 Potsdam
Telefon: +49 (0)331 288-1040
Fax: +49 (0)331 288-1044
e-mail: presse@gfz-potsdam.de

www.gfz-potsdam.de

triekonsortium unter Leitung der Firma Jena-Optronik (ASTRIUM).
Der Start des Satelliten erfolgte am 15. Juli 2000 in Plesjetsk, Russland. CHAMP hat bereits Folgemissionen in Europa und den USA initiiert: Beispiele sind die im Jahr 2002 erfolgreich gestartete GRACE-Tandemsatellitenmission und die geplante SWARM-Satellitenkonstellation.

Das Magnetfeld der Erde

Die Erde ist von einem Magnetfeld umgeben, das im Wesentlichen im flüssigen Erdkern erzeugt wird. Seine Form ähnelt der eines Stabmagneten, der entlang der Erdachse ausgerichtet ist (Abb. 1).
In der Realität gibt es aber deutliche Abweichungen von diesem vereinfachten Bild. Diese werden mit CHAMP präzise vermessen.
Das Erdmagnetfeld bietet einen effektiven Schutz gegen gefährliche kosmische Strahlung. Besonders erwähnenswert ist das Gebiet niedriger Feldstärke im Bereich des Südatlantiks. Hier ist der magnetische Schutz gegen einfallende energetische Teilchen besonders schwach (Abb. 2).

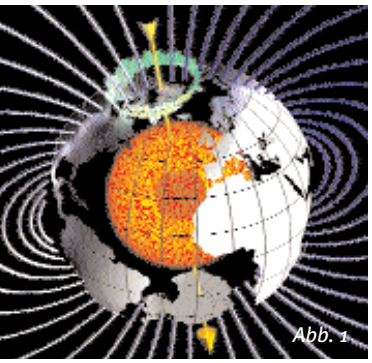


Abb. 1

Die Satellitenbeobachtungen erlauben zudem eine präzise Überwachung der zeitlichen Änderung des Magnetfeldes, das derzeit stark abnimmt. Aus den Magnetfeldschwankungen ist es möglich, Rückschlüsse auf Störungsverhältnisse im flüssigen Kern zu ziehen. Damit gewährt das Magnetfeld einen einzigartigen Einblick ins Erdinnere.

Die Bedeutung der Magnetfeldmessungen

Ein wichtiges Ergebnis der Magnetfeldmessungen mit CHAMP ist ein mathematisches Magnetfeldmodell, das es erlaubt, die Feldverteilung, Kompass-Missweisung und Stärke des Magnetfeldes für jeden Ort und jede Höhe zu berechnen.

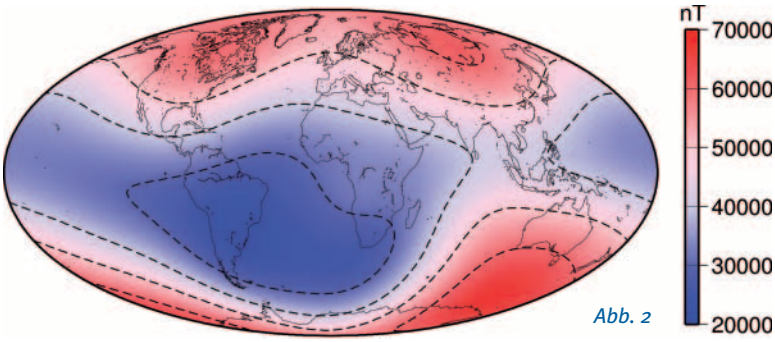


Abb. 2

Der CHAMP-Satellit mit seiner relativ geringen Flughöhe (≈ 400 km) eignet sich ausgezeichnet, die magnetischen Eigenschaften der Erdkruste und Sedimente weltweit zu kartieren.
Die CHAMP-Daten erlauben das Erstellen magnetischer Karten mit bisher unerreichter Genauigkeit, die Hinweise zum geologischen Aufbau der oberen Schichten geben. Sie können auch helfen, Erzlagerstätten zu orten.
Erst kürzlich konnte gezeigt werden, dass CHAMP die schwachen, von Ozeanströmungen erzeugten magnetischen Signale beobachten kann. Abb. 3 zeigt die globale Signatur der Meeresgezeiten. Diese Methode der Beobachtung von Ozeanströmungen kann als eine wichtige Ergänzung zu den herkömmlichen Kartografierungstechniken dieses wichtigen Parameters angesehen werden.

Atmosphärensondierung

CHAMP nutzt die Signale der U.S.-amerikanischen GPS-Satelliten (Global Positioning System) zur Temperatur- und Wasserdampfmessung an täglich über 200 global verteilten Orten von der Erdoberfläche bis in 40 km Höhe. Die Signale werden dabei immer

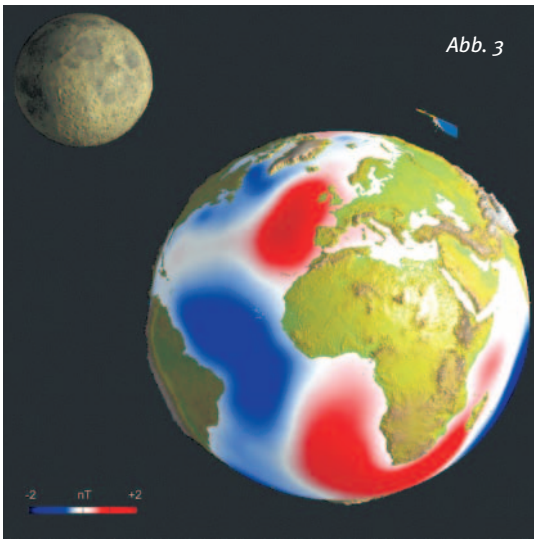


Abb. 3

Abb. 4

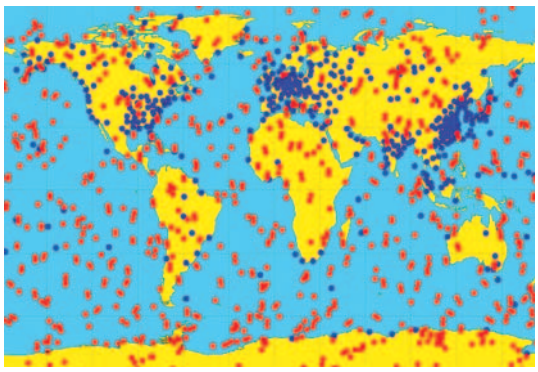


Abb. 5

dann aufgezeichnet, wenn die GPS-Satelliten aus dem Blickwinkel von CHAMP am Erdhorizont verschwinden (GPS-Radiookkultation, Abb. 4). Beim Durchlaufen der Atmosphärenschichten werden die Wege der GPS-Signale abhängig von Temperatur und Wasserdampfgehalt gekrümmt. Aus der präzisen Messung einer Serie von Brechungswinkeln während der GPS-Radiookkultation können mit mathematischen Verfahren die Atmosphäreneigenschaften mit hoher Genauigkeit berechnet werden.

Die CHAMP-Messungen (Abb. 5, rote Punkte, 4 Tage) schließen Lücken im globalen meteorologischen Beobachtungsnetz für Wettervorhersage und Klimaforschung, besonders über unzugänglichen Regionen der Erde, wie z.B. über den Ozeanen oder Polargebieten. Im Vergleich dazu ist die Stationsverteilung für den Start von Wetterballonen sehr ungleichmäßig (Abb. 5, blaue Punkte).

Die GPS-Radiookkultationstechnik ermöglicht im Gegensatz zu anderen Satellitenmethoden insbesondere die Erfassung von Klimatrends, die durch langfristige Veränderungen von Temperatur und Wasserdampf in verschiedenen Atmosphärenschichten über verschiedenen Regionen der Erde charakterisiert werden. Die Daten von CHAMP sind dabei der Beginn eines Datensatzes, der von einer Reihe anderer, 2006 gestarteten, Satelliten fortgesetzt wird (U.S.-taiwanesische Mehrsatellitenmission COSMIC, europäischer MetOp-Satellit). Beispiele für klimarelevante Messungen von CHAMP sind globale Verteilungen des Wasserdampfes (Abb. 6, spezifische Feuchte, Monatsmittel August 2006) als wichtigstem Treibhausgas und der Tropopausenhöhe (Abb. 7, Mittelwert 2001-2006). Die Tropopause kennzeichnet die Obergrenze der erdnächsten Atmosphärenschicht, der Troposphäre, in der sich alle Wetterereignisse abspielen. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass eine klimatische Erwärmung der Troposphäre zu einer größeren Tropopausenhöhe führt. Vieles deutet zurzeit darauf hin, dass Veränderungen in der Tropopausenregion ein klareres Klimasignal enthalten als Messungen an der Erdoberfläche. CHAMP und die Folgesatelliten werden mit der GPS-Methode diese Veränderungen sichtbar machen. Die CHAMP-Daten werden weiterhin kontinuierlich genutzt, um globale Wettervorhersagen zu verbessern. Wichtig dafür ist eine schnelle Datenverfügbarkeit. Diese wird durch die Nutzung einer polaren Empfangsstation auf Spitzbergen sichergestellt. CHAMP überfliegt die Station bei jedem Erdumlauf (ca. alle 90 Minuten) einmal und überträgt dabei die GPS-Daten.

Abb. 6

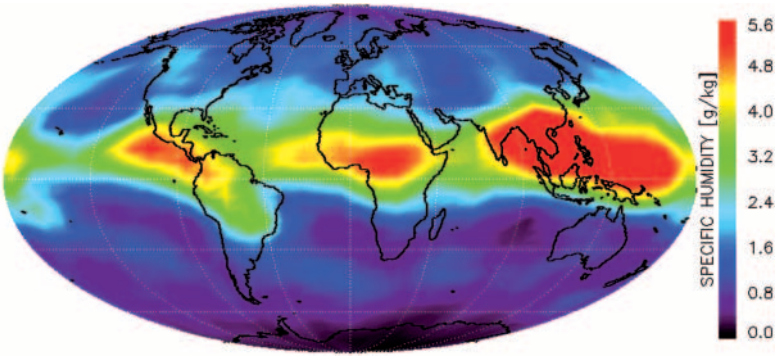
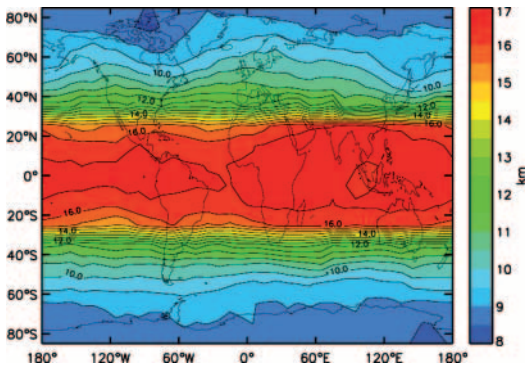


Abb. 7



Das Schwerefeld der Erde

Die Erde ist nicht gleichmäßig aufgebaut. Konvektive Prozesse, die im Erdinneren (Abb. 8) über geologische Zeiträume hinweg ablaufen, führen innerhalb der Erdschichten zu temperatur- und materialbedingten Dichtevariationen. Diese bilden sich als Unregelmäßigkeiten im Schwerefeld der Erde ab. Das wird in Abb. 10 anhand einer überhöhten Darstellung des sogenannten Geoids gezeigt, der Äquipotentialfläche des Erdschwerefelds, die über den Ozeanen mit der Meeresoberfläche nach Abzug von Gezeiten und Meeresströmungen zusammenfällt und auf den Kontinenten die Referenzfläche für die Topographie darstellt („Normal Null“).
Auf der Suche nach einem genaueren Modell vom Erdaufbau und der globalen Wirkungsweise der Mantelkonvektion als Motor der Plattentektonik ist mit CHAMP ein neuer Maßstab bei der Vermessung des Schwerefelds unseres Planeten gesetzt worden.

Prinzip der Schwerefeldmessung mit Satelliten

Die Bahn eines die Erde nahe umkreisenden Satelliten erfährt unter dem Einfluss der unregelmäßigen Struktur des Erdschwerefelds Störungen, die gemessen und für die Berechnung eines globalen Erdschwerefeldmodells analysiert werden. Bei CHAMP wird die Bahn mittels kontinuierlicher Abstandsmessungen zwischen den hoch fliegenden Satelliten des

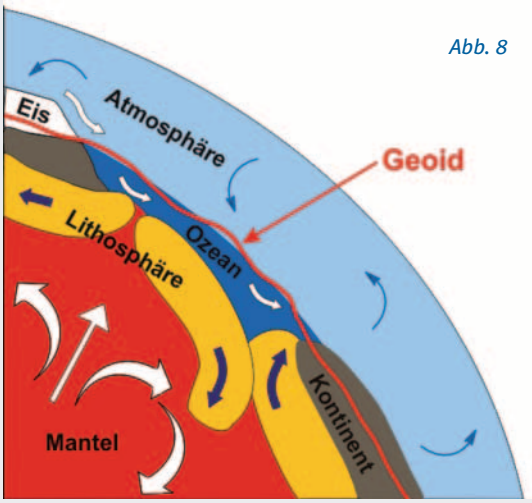


Abb. 8

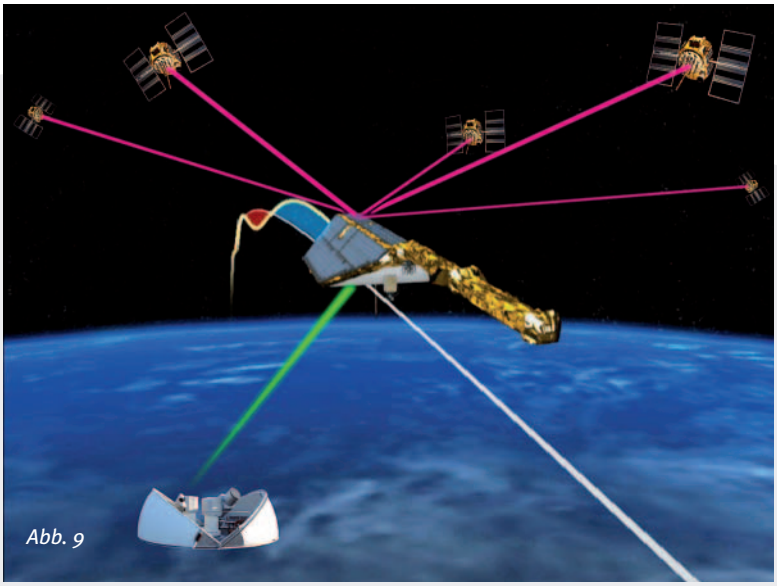


Abb. 9

amerikanischen Navigationssystems GPS und dem Empfänger an Bord von CHAMP sowie bodengestützter Laserentfernungsmessungen mit Zentimetergenauigkeit bestimmt (Abb. 9).

Wissenschafts- und Anwendungsbezug der Erdschwerefeldmodellierung

Die Vermessung der Feinstruktur des Erdschwerefelds eröffnet so einen Blick in das Erdinnere und erlaubt Rückschlüsse auf die Dichtevariationen und die konvektiven Prozesse im Erdinnern (Abb. 8) Die damit verbundenne Festlegung des sogenannten Geoids gestattet in Verbindung mit der Satellitenaltimetrie, d.h der geometrischen Vermessung der Meeresoberfläche aus dem Weltraum, die Ableitung der ozeanischen Strömungssysteme.
Mit CHAMP-Daten wurden zum ersten Mal großräumige jahreszeitliche und langfristige Variationen der Schwerkraft auf Grund von Massenumverteilungen in der Atmosphäre, Hydrosphäre und im Erdkörper bestimmt,
Die im Verlauf der CHAMP-Mission gesammelten Erfahrungen kommen gegenwärtig der GRACE-Satellitenmission zugute, die die Bestimmung des Erdschwerefeldes mit noch höherer Genauigkeit als CHAMP ermöglicht.

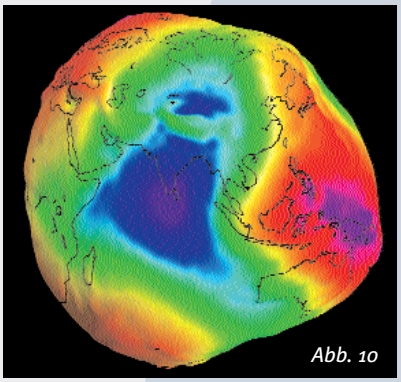


Abb. 10

HELMHOLTZ
GEMEINSCHAFT