

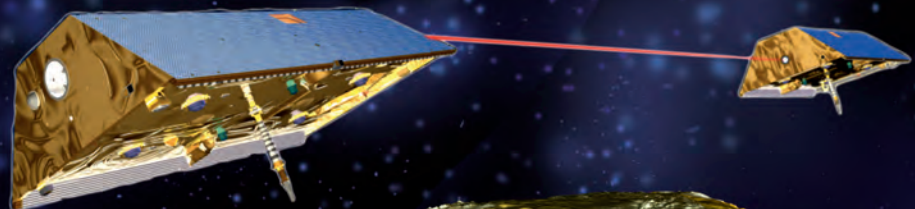
## Satelliten-Tandem GRACE

### Hochpräzise Vermessung der Erde zum besseren Verständnis von Klimaänderungen

*Das Satellitenpaar GRACE startete am 17.03.2002 vom russischen Kosmodrom Plesetsk zu seiner geowissenschaftlichen Raumfahrtmission. Ziel ist die Vermessung der Erdanziehungskraft und ihrer zeitlichen Veränderung mit bisher unerreichter Genauigkeit. Die GRACE-Mission liefert zudem wichtige Informationen über die vertikale Temperatur- und Wasserdampfverteilung der Erdatmosphäre. GRACE ist ein Gemeinschaftsprojekt der amerikanischen Weltraumbehörde NASA, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), dem Center for Space Research (CSR) und dem Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ.*

Das GRACE-Experiment besteht aus zwei baugleichen Satelliten, die in etwa 220 Kilometern Abstand in der gleichen Erdumlaufbahn hintereinander herfliegen. Deshalb taufen die beteiligten Ingenieure das Satellitentandem auch inoffiziell „Tom und Jerry“. GRACE ist die erste Mission im ESSP (Earth System Science Pathfinder)-Programm der NASA. Mit GRACE ging das Deutsche GeoForschungsZentrum GFZ in seine dritte Satellitenmission.

Die Satelliten wiegen je 485 kg, hatten eine Anfangshöhe von 500 km und umrunden die Erde in etwa 95 Minuten.



### Erdanziehung und Messung

Die Massenverteilung im Erdkörper und auf der Oberfläche unseres Planeten ist nicht überall gleich. Im Erdinneren bewegen sich glutflüssige Gesteinsmassen, Wassermassen fließen in den Ozeanen und auf den Kontinenten, und auch die Luftmassen sind in stetiger Bewegung. Da die Anziehungskraft eines Körpers von seiner Masse abhängt, bedingt die ungleiche Massenverteilung unseres Planeten ein ungleichförmiges Feld der Gravitation.

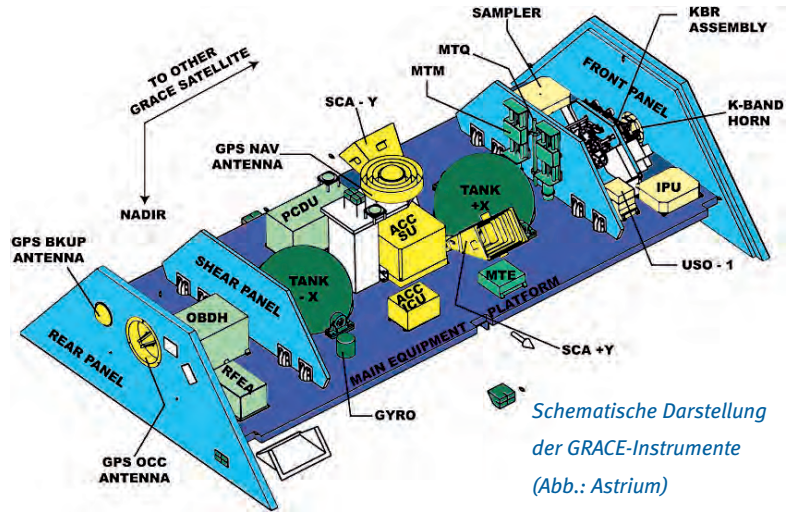
Die hintereinander fliegenden GRACE-Satelliten werden daher, zeitlich etwas versetzt, mal stärker und mal schwächer angezogen. Dies führt zu einer kleinen Änderung des Satellitenabstandes. GRACE beobachtet kontinuierlich diese Distanzen von etwa 220 km mit einem einzigartig präzisen Mikrowellenverfahren bis auf einige tausendstel Millimeter. Das entspricht etwa dem Zehntel des Durchmessers eines menschlichen Haares. Als Ergebnis können damit auch geringe Massenunterschiede im System Erde erfasst werden.

### GRACE-Instrumente

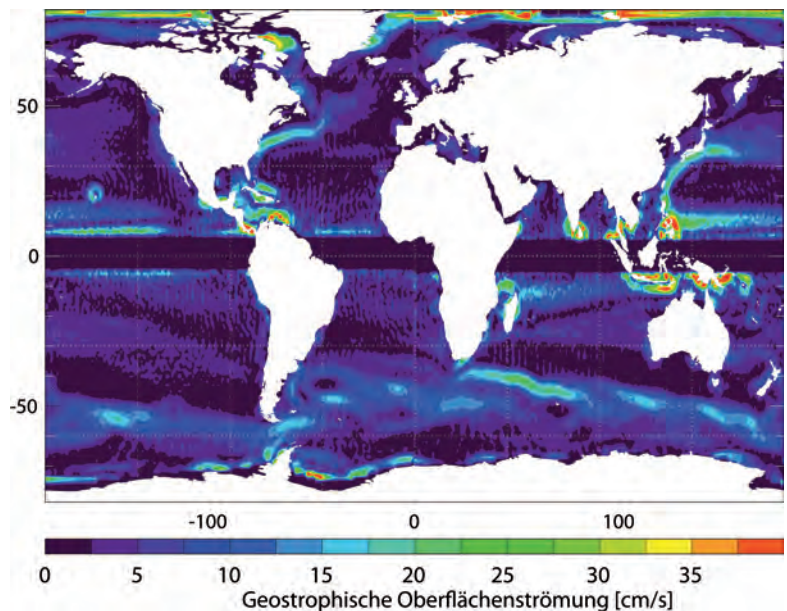
Wie bei der Vorgängermission CHAMP (Challenging Minisatellite Payload) ist jeder der beiden Satelliten mit einem GPS-Empfänger zur Positionsbestimmung ausgerüstet. Hinzu kommt ein – im Vergleich zu CHAMP zehnmal genauerer – Beschleunigungsmesser. Dieser wird zur Korrektur der Abbremsung durch die Restatmosphäre und der Sonneneinstrahlung genutzt. Mit zwei Sternsensoren kann die genaue Satellitenlage im Raum bestimmt werden.

Herzstück der Instrumentierung ist das vom Jet Propulsion Laboratory (JPL) der NASA speziell für GRACE entwickelte äußerst präzise Distanzmesssystem HAIRS (High Accuracy Inter-satellite Ranging System).

Zur Komplettierung der Instrumente hat das GFZ einen Laser-Retroreflektor für beide Satelliten gefertigt und beigestellt, der bereits erfolgreich auf CHAMP im Einsatz ist. Dabei können die Entfernung zu den beiden GRACE-Satelliten von der Erde auf wenige Millimeter bestimmt und die auf der Basis von GPS-Daten errechneten Satellitenbahnen unabhängig überprüft werden.



*Schematische Darstellung der GRACE-Instrumente (Abb.: Astrium)*

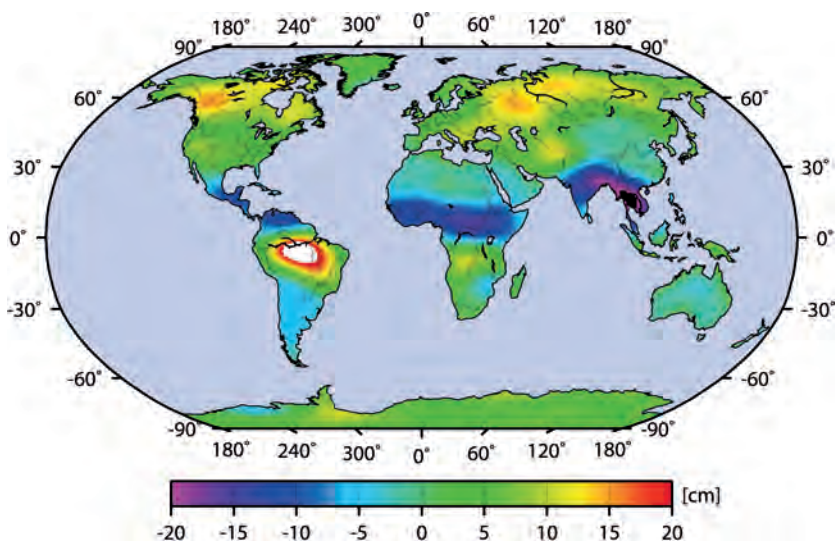
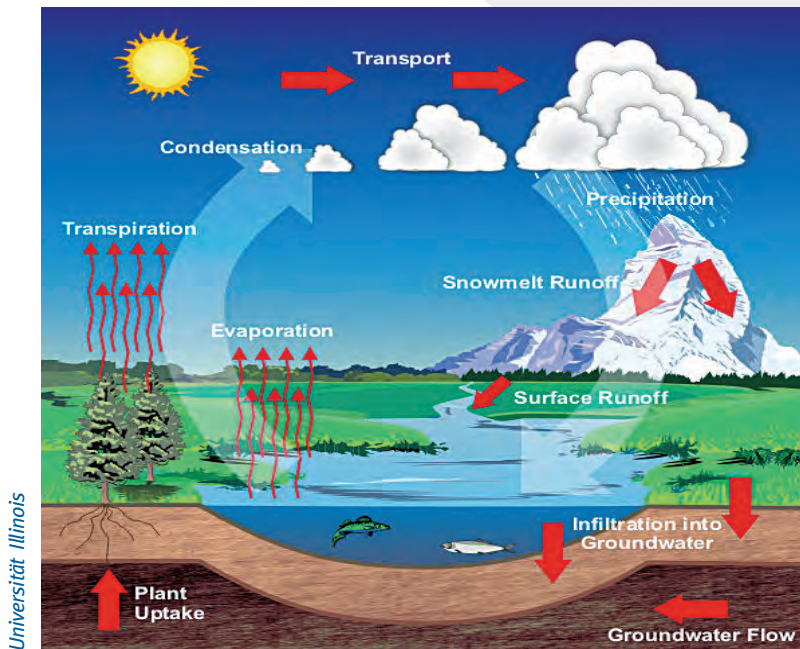


*Von GRACE-Schwerefeldmodellen abgeleitete Darstellung oberflächennaher Meeresströmungen. Alle wesentlichen Ozeanströmungen sind ersichtlich.*

### Wasser – der große Akteur im Klima

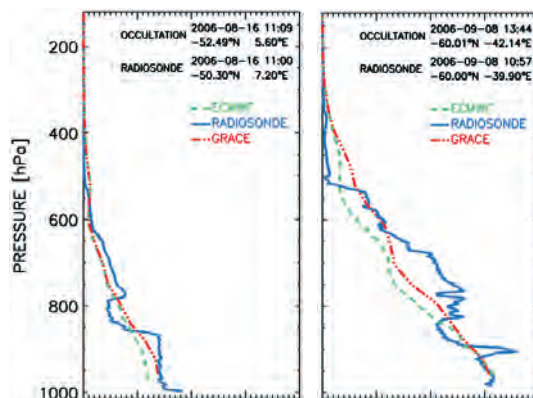
Durch die extreme Genauigkeit der Abstandsmessung ist es möglich, auch sehr kleine Änderungen des Erdschwerefeldes über einen Zeitraum von mehreren Jahren zu bestimmen (das „GR“ im Missionsnamen: Gravity Recovery). Aus diesen Informationen leiten Geowissenschaftler neue Erkenntnisse über Vorgänge im Erdinneren, über Ozeanströmungen und über die klimatisch bedingte Veränderung der Eisbedeckung an den Polen und auf Grönland ab. Mit der



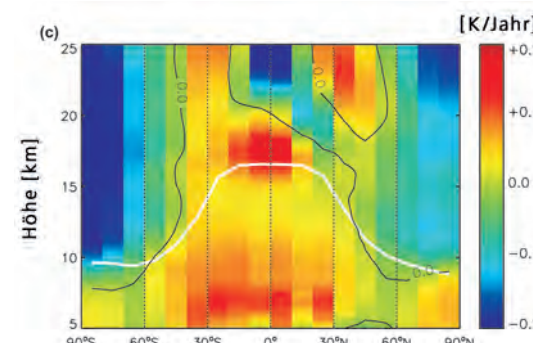


Oben: Von GRACE abgeleitete jährliche Massenänderungen (in cm Wassersäule), die durch Massenverlagerungen im globalen hydrologischen Zyklus (ganz oben) verursacht werden.

Rechts: Vertikale Wasserdampfprofile, abgeleitet von GRACE (rot), verglichen mit ECMWF-Modelldaten (grün) und Wetterballonmessungen (blau) des deutschen Forschungseisbrechers POLARSTERN (Druck als Höhenkoordinate).



Unten: Globale Temperaturveränderung (Kurzzeittrend) in verschiedenen Höhen in Kelvin/Jahr, abgeleitet aus CHAMP- und GRACE-Daten zwischen 2001 und 2010. Die rote Farbe weist auf Erwärmung, die blaue auf Abkühlung hin.



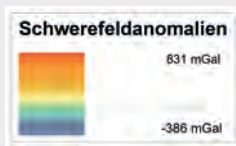
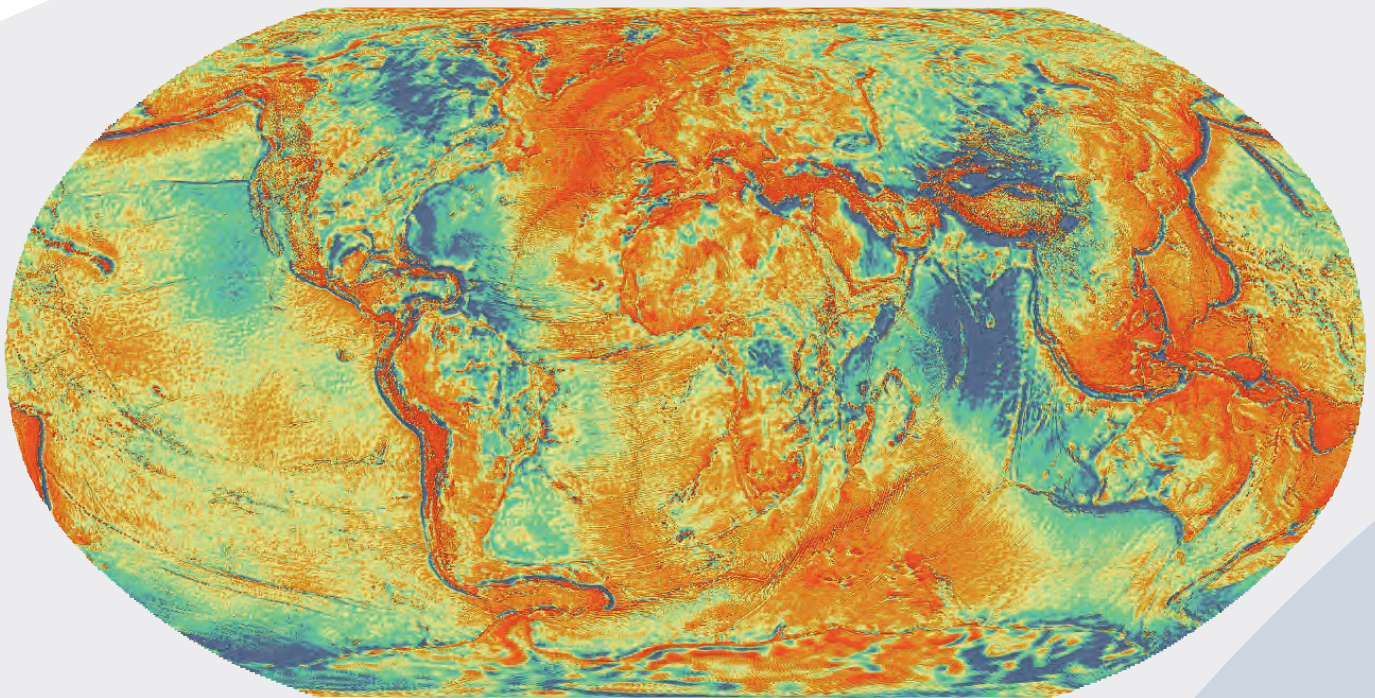
GRACE-Mission wird erstmals sehr genau beobachtet, welche Mengen an Wasser, Eis und anderer Materie in Bewegung sind. Damit kann man einerseits ein vollkommen neues Bild der dynamischen Vorgänge in und auf der Erde erhalten; zusätzlich dienen diese Größen ganz wesentlich zur Beschreibung und zum Verständnis der Wasser-Austauschprozesse zwischen Land, Ozean und Atmosphäre und sind damit wichtige Eingangsgrößen für die Klimamodellierung (das „ACE“ im Missionsnamen: And Climate Experiment). Hierzu tragen auch die zusätzlich gewonnenen vertikalen Temperatur- und Wasserdampfprofile durch eine neue Meßmethode (GPS-Radiokkultation) an etwa 200 global verteilten Messpunkten bei. Die Atmosphäresondierung wird durch die Auswertung der Veränderung der an Bord von GRACE aufgezeichneten GPS-Signale beim Durchgang durch die Luftschicht der Erde möglich. Die Funksignale der GPS-Satelliten werden dabei durch temperatur- und feuchtebedingte Dichteänderungen der Atmosphäre unterschiedlich stark gebrochen.

Die mittleren Abbildungen links zeigen zwei vertikale Wasserdampfprofile von GRACE. Die Daten sind mit meteorologischen Modelldaten des Europäischen Zentrums für Mittelfristwettervorhersage (ECMWF) und Radiosondenmessungen (Wetterballon) des deutschen Forschungseisbrechers POLARSTERN verglichen. Die Atmosphärenmessungen von GRACE werden auch mit einer Verzögerung von ca. zwei Stunden an verschiedene internationale Wetterzentren geliefert, um deren tägliche Vorhersagen zu verbessern. Die untere Abbildung zeigt mittlere globale, breitenabhängige Temperaturänderungen für verschiedene Höhen, abgeleitet aus den GPS-Messungen von CHAMP und GRACE zwischen 2001 und 2009. Die hohe Genauigkeit der GPS-Methode erlaubt dabei die Detektion auch sehr kleiner Temperaturänderungen von ca. 0,1 Kelvin/Jahr.

## GRACE: internationale Kooperation zur Klärung globaler Umweltfragen

GRACE ist der direkte Nachfolger des zweiten GFZ-Satelliten CHAMP, und stellt ein Paradebeispiel internationaler Kooperation in den Geowissenschaften dar. Das Satellitentandem GRACE ist ein Gemeinschafts-





*Schwerefeldanomalien abgeleitet aus dem Modell EIGEN-5C. Dieses wurde berechnet aus Daten der GRACE- und LAGEOS-Satellitenmissionen und zusätzlichen Schwerebeobachtungen auf der Erde. Wegen seiner hohen Qualität wurde das Modell für die Auswertung der JASON- und GOCE-Satellitenmissionen ausgewählt.*

projekt der amerikanischen Weltraumbehörde NASA und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR). Das DLR-Raumfahrt-Kontrollzentrum ist für den Satellitenbetrieb und den Datenempfang verantwortlich. Das Missionsmanagement liegt beim Center for Space Research der Universität in Austin, Texas (CSR) und NASA/JPL. Gebaut wurden die beiden Satelliten von der Firma Astrium GmbH in Friedrichshafen. Der Start der Satelliten wurde von dem deutsch-russischen Unternehmen Eurockot durchgeführt. Die wissenschaftliche Datenauswertung erfolgt durch das Deutsche GeoForschungsZentrum GFZ in Potsdam, JPL und CSR. Dr. Frank Flechtner (GFZ) ist der GRACE Co-PI und Leiter des deutschen GRACE-Auswertezentrums. GRACE Level-1-Instrumenten- und Level-2-Schwerefeld-Produkte können beim Informationssystem und Datenzentrum (ISDC) heruntergeladen werden:

<http://isdc.gfz-potsdam.de/grace>



*Die GRACE-Satelliten (Foto: Astrium) wurden von der Astrium GmbH in Friedrichshafen für NASA/JPL entwickelt und gebaut. Der Start (Foto: Eurockot) erfolgte am 17. März 2002 vom Kosmodrom Plesetsk in Nordrussland.*

