

## „Schwerkraft ist Klima“ – Zehn Jahre Klimaforschungssatelliten GRACE

Wieviel Eis verliert Grönland wirklich? – Bewegung im Erdmantel? – Genug Wasser für alle?

Der Gletscherschwund auf Grönland konnte jetzt erstmals mit hoher Genauigkeit aus dem All gemessen werden. Pünktlich zum zehnten Geburtstag der Zwillingssatelliten GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) ergibt sich ein scharfes Bild, das auch die räumliche Verteilung der Gletscherschmelze präzisiert. Bis zu 240 Gigatonnen Massenverlust musste der grönländische Eisschild zwischen 2002 und 2011 verkraften. Das entspricht einem Meeresspiegelanstieg von etwa 0,7 mm pro Jahr. Möglich wurden diese Aussagen durch die hochgenauen Messungen der GRACE-Mission, deren Datensatz ein bisher unerreicht genaues Bild der Erdanziehungskraft ergeben. Zugrunde liegt das Newtonsche Gesetz, nach dem die Anziehungskraft eines Körpers direkt von seiner Masse abhängt. „Ändert sich die Eismasse Grönlands, so ändert sich dort auch die Anziehungskraft“, erläutert Dr. Frank Flechtner vom Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ. „Die GRACE-Schwerefeldmessungen geben uns daher Auskunft über Massenänderungen, auch die klimabedingten“.

Aber nicht nur das. Die ungleichmäßige Massenverteilung auf und in unserem Planeten führt dazu, dass aufgrund der dadurch entstehenden Variabilität der Erdanziehung die Erde eine unregelmäßige Form hat, die von der Kugelgestalt deutlich abweicht. Als „Potsdamer Schwerekartoffel“ hat das so genannte Geoid globale Bekanntheit erreicht. Aber auch diese Kartoffelform unterliegt zeitlichen Wandlungen. Während der letzten Eiszeit lag ein kilometerdicker Eispanser über Nordamerika und Skandinavien. Seit dem Wegschmelzen dieser Eismassen hebt sich hier die von der Eislast befreite Erdkruste bis heute in die Höhe, was dazu führt, dass im Erdinnern, im Mantel, Masse nachfließt. Mit GRACE lässt sich diese glazial-isostatische Anpassung erstmals als Änderung der Geoidhöhe global präzise erfassen: Eiszeiten wirken lange nach, bis heute, besonders deutlich unter Nordamerika und Skandinavien.

### Geburtstag im All

Am 17. März 2012 sind die beiden GRACE-Zwillingssatelliten genau 10 Jahre im Orbit. „Tom und Jerry“ haben die Wissenschaftler sie getauft, weil sie auf exakt der gleichen Bahn hintereinander her um die Erde jagen. Seit ihrem Start vom russischen Weltraumbahnhof in Plesetsk haben die beiden Satelliten die Erde mehr als 55000 mal auf einer polnahen Bahn in etwa 450 bis 500 km Höhe und einem Abstand von etwa 220 km umrundet und dabei kontinuierlich Messdaten gesammelt.

GRACE ist ein gemeinsames Projekt der US-Raumfahrtbehörde NASA und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Die Mission wurde 1996 vom Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ, von der Universität von Texas in Austin, Zentrum für Weltraumforschung (UTCSR) und dem Jet Propulsion Laboratory in Pasadena geplant und 1997 als zweite Mission im NASA- Programm Earth System Science Pathfinder (ESSP) ausgewählt. Die wissenschaftliche Auswertung der Daten erfolgt gemeinsam durch GFZ, UTCSR und JPL. Principal Investigator der Mission ist Prof. Byron Tapley (UTCSR), Co-Principal Investigator ist Dr. Frank Flechtner (GFZ).

Besonders bemerkenswert: mit GRACE beauftragte die NASA erstmals ein nicht-amerikanisches Unternehmen zum Bau von Satelliten. Astrium in Friedrichshafen, die auch den Gründervater-Satelliten CHAMP des GFZ gebaut hatten, produzierte das Satellitenduo GRACE für die NASA.

Um Haaresbreite: Schwerefeldmessung mit Satelliten Das primäre wissenschaftliche Ziel der GRACE-Satellitenmission ist, das Schwerefeld der Erde und seine zeitlichen Veränderungen im globalen Maßstab mit nie da gewesener Genauigkeit zu vermessen. Wäre die Erde eine homogen aufgebaute Kugel, würden die beiden Satelliten auf exakten Ellipsenbahnen um die Erde kreisen. Doch die ungleiche Massenverteilung verursacht Bahnstörungen. „Deren Analyseermöglicht umgekehrt, die unregelmäßige Struktur des Erdschwerefeldes abzuleiten“, erklärt Dr. Frank Flechtner. „Dazu müssen die Satellitenbahnen allerdings hochpräzise vermessen werden. Jeder der beiden GRACE-Satelliten ist daher mit einem GPS-Empfänger zur Positionsbestimmung, einem Beschleunigungsmesser zur Korrektur von Störkräften durch die Restatmosphäre und die Sonneneinstrahlung sowie zwei Sternsensoren zur Bestimmung der Satellitenlage

im Raum ausgerüstet.“ Herzstück ist jedoch das von NASA/JPL entwickelte ultrapräzise Abstandsmesssystem, welches es erlaubt, den gegenseitigen Abstand der beiden Satelliten kontinuierlich mit einer Präzision von einer Zehntel-Haarebreite zu vermessen.

Aus dem variierenden Abstand der beiden Satelliten leiten Wissenschaftler des GFZ das Schwerefeld der Erde ab. Etwa alle 30 Tage hat das Satellitenpaar dabei genug Daten für eine vollständige globale Karte gesammelt. Diese monatliche Vermessung der Erdanziehung ist mindestens 100-mal genauer als jedes andere Vorgängermodell und damit für die Forschung am GFZ und für die internationale Nutzergemeinschaft Gold wert.

„Viele Prozesse im Klimageschehen unseres Planeten sind nämlich von großräumigen Wassermassenumverteilungen begleitet, die im Schwerefeld sichtbar werden“ ergänzt Flechtner. Damit konnten, wie der Name der Mission bereits andeutet, aus den monatlichen Schwerefeldmodellen in den letzten

10 Jahren erstmals homogen und global zahlreiche klimarelevante Prozesse beobachtet und analysiert werden. Zu nennen sind dabei insbesondere

- Die Bilanzierung des kontinentalen Wassergehalts, der letztlich eine Summe aus Niederschlag, Verdunstung, Abfluss und Speicherung ist. GRACE beobachtet dabei die jahreszeitabhängigen Veränderungen in den großen Flussbecken, aber auch die gewaltige Grundwasserentnahme in Nordindien und Kalifornien zur künstlichen Bewässerung.
- Die Quantifizierung der Ab- oder Zunahme der Eis- und Schneemassen in den Polar- oder großen Gletschergebieten. GFZ-Forscher konnten dabei einen engen Zusammenhang zwischen dem Klimaphänomen ENSO/La Nina, dem Niederschlagsmuster in der West-Antarktis und dem Eismassenschwund dort nachweisen.
- Die Beobachtung von Oberflächen- und Tiefenströmungen, die - in Kombination mit der aus der Satellitenaltimetrie abgeleiteten Meeresoberflächentopographie - ein wesentlich besseres Verständnis der globalen Ozeanzirkulation und damit des Wärmetransports vom Äquator hin zu den Polen brachte.
- Die erstmalige Möglichkeit der Trennung von Massen- (Eisschmelze) oder Temperatur- (Erderwärmung) induzierten Meeresspiegeländerungen.
- Die Veränderungen in der festen Erde nach großen Erdbeben wie Sumatra-Andaman (2004), Chile (2010) oder Fukushima (2011).

Neue Kartoffeln und verbesserte Wettervorhersage Auch die seit 1995 entstandene „Potsdamer Schwerekartoffel“ wurde mit GRACE entscheidend genauer. Das ist keine Spielerei, sondern wird benötigt, um beispielsweise die Bahnen von geodätischen Satelliten zu verbessern und daraus präzise globale Referenzsysteme abzuleiten – eine unabdingbare Voraussetzung für die Kombination und Auswertung verschiedener globaler Sensorsysteme wie dem Global Positioning System (GPS), Satellite Laser Ranging (SLR), der Satellitenaltimetrie oder lokaler Pegelmessungen z.B. für die Beobachtung des Meeresspiegelanstiegs.

Ein weiteres wissenschaftliches Ziel der GRACE-Mission ist, täglich etwa 150 global verteilte vertikale Temperatur- und Wasserdampfprofile aus GPS- Daten abzuleiten. Diese Daten werden vom GFZ mit einer eigenen Empfangsstation in Ny Ålesund (Spitzbergen) empfangen und innerhalb von maximal 2 Stunden den weltweiten Wetterzentren zur Verbesserung globaler Vorhersagen bereitgestellt. Zusätzlich werden diese Daten für Untersuchungen zu klimabedingten Veränderungen der Erdatmosphäre genutzt.

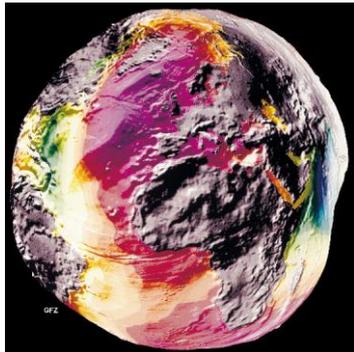
Ein wissenschaftliches Geburtstagsgeschenk GRACE war von Beginn an als internationales Programm geplant. „Zum 10.

Geburtstag haben sich die Forscher des GFZ ein besonderes Geschenk für die weltweit mehr als 3000 Nutzer ausgedacht“, freut sich Professor Reinhard Hüttl, der Vorstandsvorsitzende des GFZ. „Die gesamte Mission wurde nochmals mit verbesserten Korrekturmodellen, Instrumentendaten und Prozessierungsmethoden durchgerechnet. „Erste Analysen zeigen, dass die Genauigkeit der Schwerefeldmodelle nochmals um den Faktor 2 verbessert werden konnte. Diese neuen Modelle werden über das Information System and Data Center (ISDC) des GFZ an die globalen Nutzer am 17. März freigegeben.

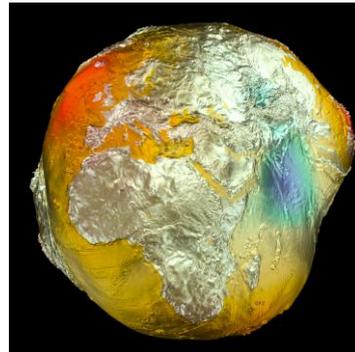
GRACE arbeitet wie seine Vorgängermission CHAMP (Challenging Mini- Satellite Payload) am 17. März bereits doppelt so lang wie ursprünglich geplant. Ein Ende der Mission ist trotzdem absehbar. Daher hat das GFZ gemeinsam mit den US-Kollegen bereits eine Nachfolgemission auf den Weg gebracht. Professor Hüttl ist zuversichtlich: „Wir hoffen, dass Weihnachten 2016 zwei GRACE-FO (Follow-on) Satelliten um die Erde kreisen, denn nur lange Zeitreihen können zuverlässige Aussagen über globale Trends im Klimageschehen liefern.“

### Evolution der Potsdamer Schwerekartoffel

Das unregelmäßige Schwerefeld der Erde in stark überhöhter Darstellung, bekannt geworden unter dem Namen "Potsdamer Schwerekartoffel".



Geoid 1995



Geoid 2011

*Links:* Eingesetzt wurden 37 seit 1960 gestartete Satelliten (u.a. ERS-1 und LAGEOS) mit Satelliten-Laser-Ranging (SLR) und anderen älteren Messverfahren, zusätzlich Oberflächendaten (Fluggravimetrie und Satelliten-Altimetrie)

*Rechts:* Datenbasis: Satelliten LAGEOS, GRACE und GOCE und Oberflächendaten (Fluggravimetrie und Satelliten-Altimetrie)

Die verbesserte Auflösung beruht zum einen auf

- verbesserten bzw. neuartige Satelliten-Messmethoden SLR (LAGEOS,ERS), GPS (CHAMP) , K-Band-Ranging (GRACE) , Satelliten-Gradiometrie (GOCE)
- Genauigkeitssteigerungen bei der Messung von Oberflächendaten (Fluggravimetrie und Satelliten-Altimetrie)
- zum anderen auf den langjährigen Datenreihen

Abbildungen finden sich in druckfähiger Auflösung unter:

- [http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Public+Relations/M40-Bildarchiv/Bildergalerie\\_Satelliten/04+Bildergalerie+GRACE](http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Public+Relations/M40-Bildarchiv/Bildergalerie_Satelliten/04+Bildergalerie+GRACE)  
- Eismassenänderung, Schwerefeld
- [http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Public+Relations/M40-Bildarchiv/Bildergalerie\\_Kartoffel](http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Public+Relations/M40-Bildarchiv/Bildergalerie_Kartoffel)  
- die Evolution der Potsdamer Schwerekartoffel

Quelle: <http://idw-online.de/de/news467971>