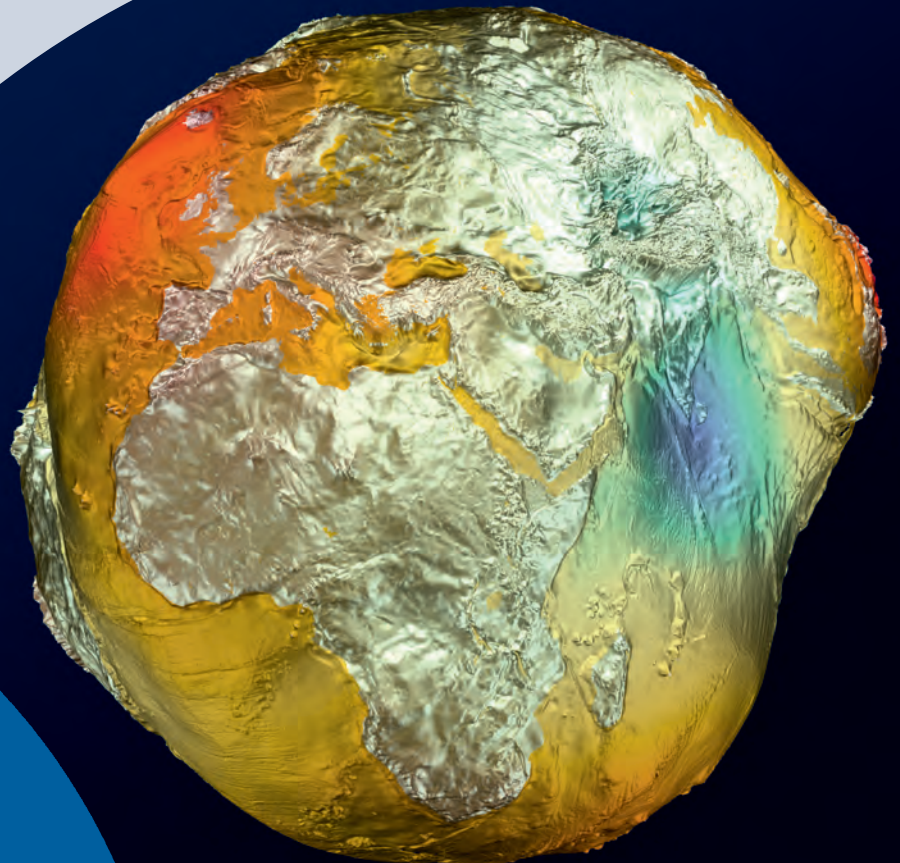


Die Erde als Kartoffel

Das Potsdamer Geoid

Aus dem Weltraum gesehen wirkt unsere Erde auf den ersten Blick wie eine Kugel. Aus geodätischen Messungen, die auch schon vor dem Satellitenzeitalter durchgeführt wurden, weiß man aber, daß die Erde abgeplattet ist. Diese Abplattung ergibt sich durch die Rotation der Erde, die sich dabei wie ein zähflüssiger Körper verhält. Die Resultate sind eine Verkürzung des Erdradius um 21 km an den Polen und ein „Äquatorwulst“, die mit menschlichem Auge aus dem Weltraum allerdings kaum sichtbar sind. Damit hat die Erde in erster Näherung die Figur eines Rotationsellipsoids.

Aber auch die Abplattung der Erde ist nicht perfekt. Es gibt weitere Abweichungen, da die Verteilung der Erdmassen – und damit das gestaltprägende Schwerfeld – räumlich ungleichförmig sind. Die Darstellung der schwerkraft-bedingten Abweichungen der Erdgestalt gegenüber der regelmäßigen Ellipsoidoberfläche ist als „Potsdamer Kartoffel“ bekannt geworden. Grundlage dieser Abbildung ist ein am Geoforschungszentrum Potsdam berechnetes Modell

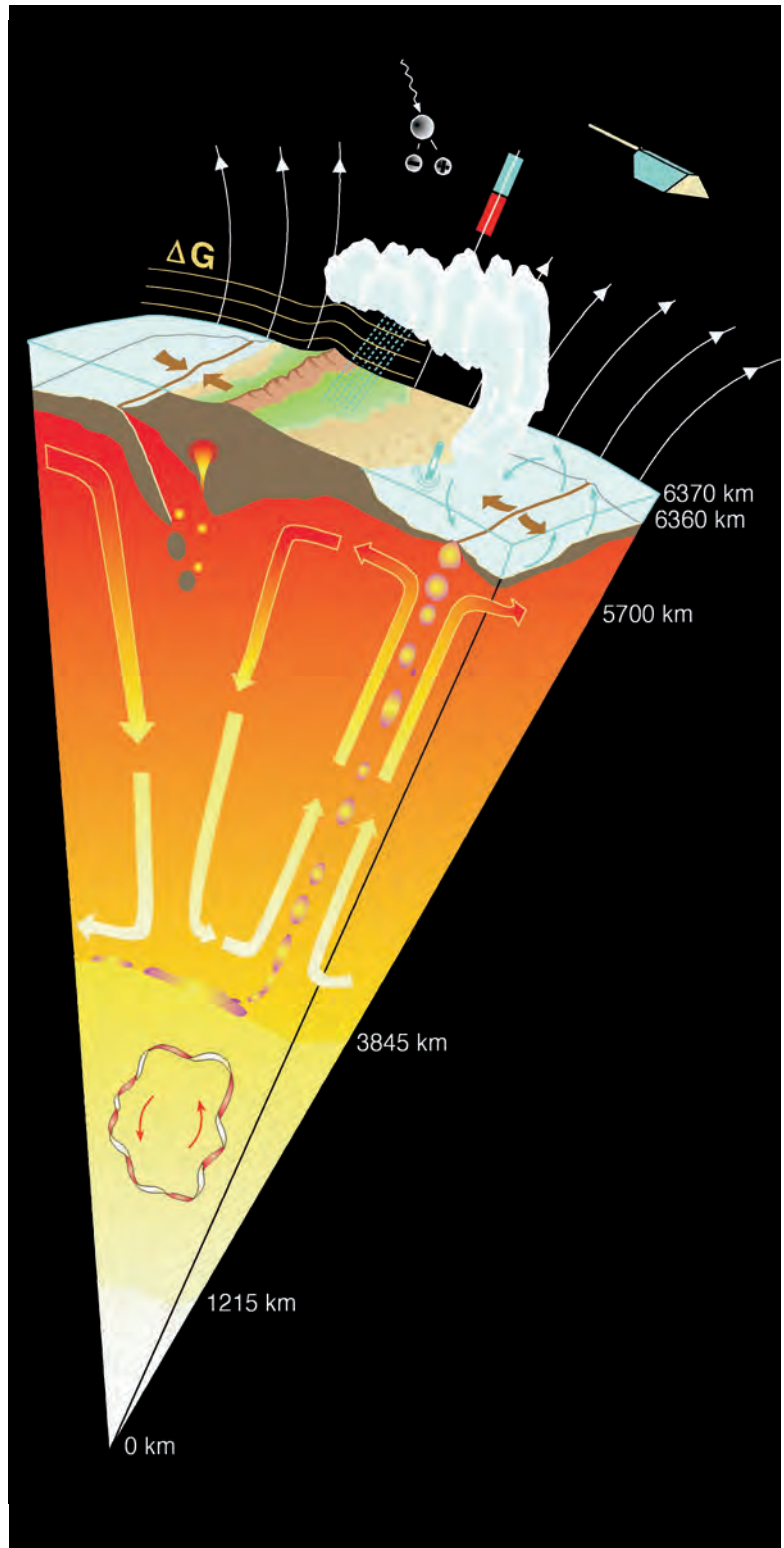


der Schwere. Wissenschaftlich wird die dargestellte Fläche als „Geoid“ bezeichnet. Dabei sind die Abweichungen von maximal ± 100 m gegenüber dem Rotationsellipsoid stark überhöht dargestellt, um gegenüber dem mittleren Erdradius von 6371 km sichtbar zu werden. Gedanklich ergäbe sich das Geoid als Gleichgewichtsfigur der Erde, wenn ihre Oberfläche vollständig mit in Ruhe befindlichem Wasser bedeckt wäre, d.h. Wasser, das allein der Fliehkraft durch die Erdrotation und der Schwerkraft ausgesetzt ist und auf das keine Gezeiten, Meeresströmungen und Winde einwirken. Das Geoid bildet damit als Gleichgewichtsfigur die physikalisch begründete Referenzfläche für alle topographischen Höhen („Normal Null“).

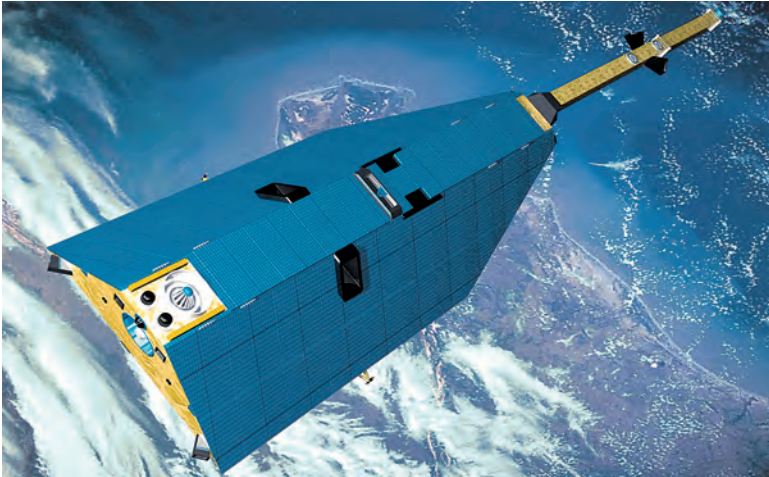
Die Beulen und Dellen, die dem Geoid das kartoffelartige Aussehen verleihen, werden durch Anomalien der Schwere hervorgerufen, die ihrerseits durch Dichtevariationen im Aufbau des Erdkörpers entstehen. Solche Variationen ergeben sich einmal durch konvektive Prozesse im Erdinnern, die über geologische Zeiträume zu temperatur- und materialbedingten Dichtevariationen und damit letztlich zu den Unregelmäßigkeiten im Schwerfeld führen. Im Bereich der Erdkruste sorgt die ungleichmäßige Verteilung der topographischen Massen auf den Kontinenten und dem Meeresboden für weitere Variationen des Schwerfeldes, die sich in der Gestalt des Geoids einprägen. Schließlich bewirken anhaltende geophysikalisch und klimatisch bedingte Prozesse jahreszeitliche und langfristige Änderungen der Schwerkraft aufgrund von Massenverlagerungen in der Atmosphäre (Luft), Hydrosphäre (Wasser) und Kryosphäre (Eis).

Satelliten als Schwerefeldsensoren

Die Bahn eines Satelliten, der die Erde umkreist, erfährt unter dem Einfluss der unregelmäßigen Struktur des Erdschwerefeldes Störungen, die gemessen und für die Berechnung eines globalen Erdschwerefeldmodells verwendet werden können. Mit diesem Prinzip wurde das Schwerefeld bereits seit Beginn



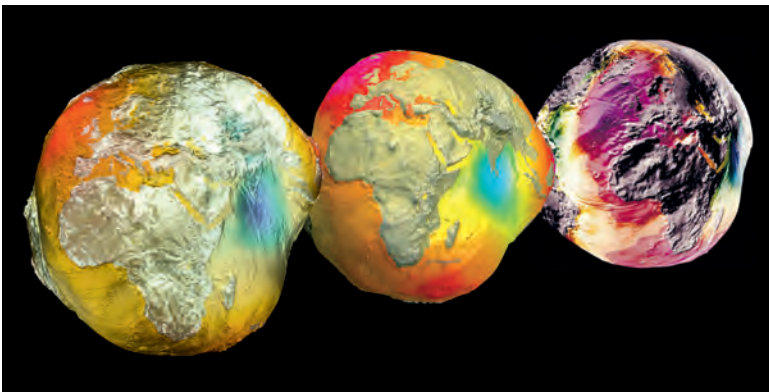
In den Variationen der Schwere an der Erdoberfläche zeigen sich die unregelmäßigen Massen- und Dichteverteilungen im Erdinnern und an der Erdoberfläche



Der Geoforschungssatellit CHAMP war Ausgangspunkt für eine Generation von Satelliten und -messverfahren (CHALLENGING Mini-Satellite Payload for Geosciences and Application, Abb.: Astrium)



Das Satellitenpaar GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment, Abb.: Astrium)



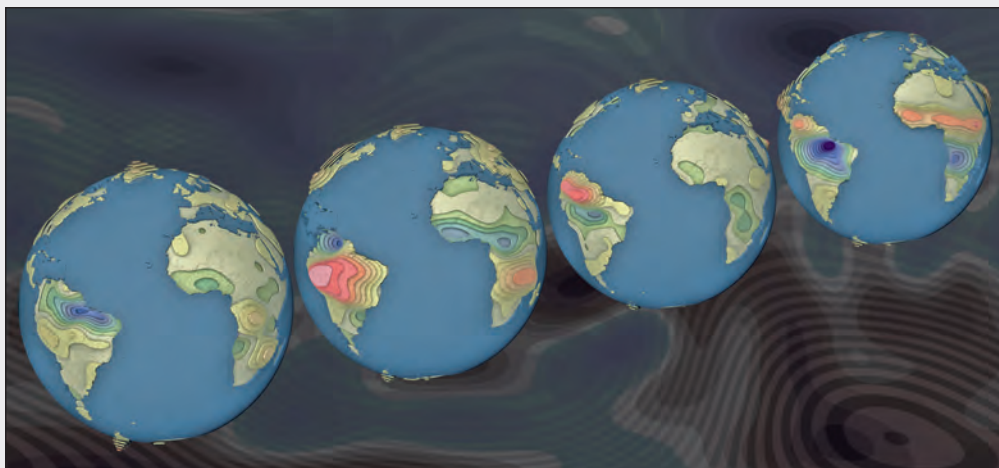
Gesteigerte räumliche Auflösung der am GFZ in den letzten Jahren berechneten Geoidmodelle: 1995 (rechts), 2005 (Mitte) und 2011 (links)

der Satellitenära kontinuierlich kartiert und durch die Auswertung von immer mehr und genaueren Messungen in den letzten Jahrzehnten fortlaufend verbessert. Zunächst blieb die Vermessung des Schwerefeldes mit Hilfe künstlicher Erdsatelliten auf die Auflösung sehr großer Strukturen mit einigen tausend Kilometern Ausdehnung beschränkt. Erst mit Hilfe einer Reihe spezieller Schwerefeld-Satelliten konnten in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte in der räumlichen Auflösung und der Genauigkeit des Schwerefeldmodells erzielt werden. Diese Satellitenmissionen waren bzw. sind die unter Federführung oder unter maßgeblicher Beteiligung des GFZ konzipierten und realisierten GFZ-1 (1995 - 1999), CHAMP (2000 – 2010), und GRACE (seit 2002). Hinzu kam 2009 die europäische Schwerefeldmission GOCE, an deren Datenauswertung das GFZ mitwirkt.

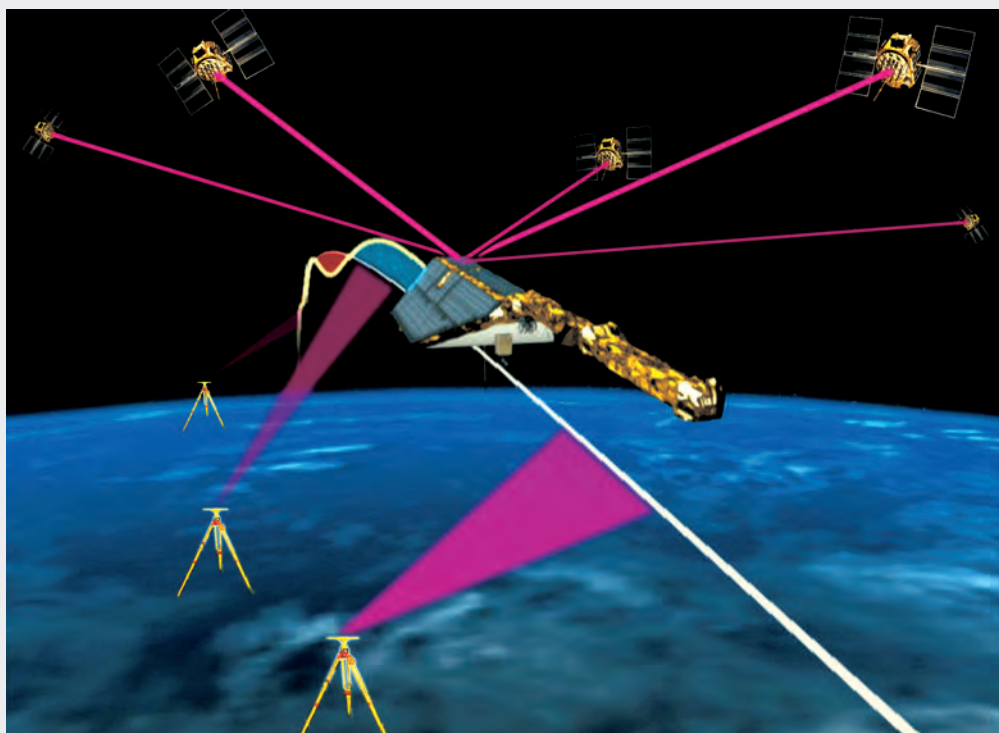
Heute erreicht man mit Hilfe der amerikanisch-deutschen Mission GRACE in Kombination mit den Daten der europäischen Mission GOCE eine räumliche Auflösung von Strukturen des Schwerefeldes mit ca. 80 Kilometern Ausdehnung (Stand Mai 2011). Zudem erlaubt insbesondere die GRACE-Mission erstmals die Erfassung zeitlicher (monatlicher) Variationen des Schwerefeldes mit einer räumlichen Auflösung von einigen hundert Kilometern.

Anwendung der Schwerefeldmodelle in Wissenschaft und Praxis

Die Bedeutung genauer globaler Modelle des Erdschwerefeldes liegt darin, dass damit eine genaue, globale, physikalische Bezugsfläche für alle topographischen Höhen bereitgestellt wird, eben das Geoid. Gerade heute, mit der Möglichkeit der geometrischen Höhenübertragung zwischen beliebig weit voneinander entfernten Punkten auf der Erde mit Hilfe von Satellitennavigationssystemen wie dem amerikanischen Global Positioning System (GPS) oder dem zukünftigen europäischen Galileo-System, ist die Verfügbarkeit eines genauen Geoids als gemeinsame Bezugsfläche für Aufgaben der



Jahreszeitliche Variation der kontinentalen Wasserspeicherung als veränderliches Signal des Erdschwerefeldes abgeleitet aus GRACE-Daten (im Januar, April, Juli und Oktober 2008, v. l. n. r.)



Bahnstörungen erdnahe Satelliten am Beispiel von CHAMP

Landesvermessung, aber auch der Navigation von Wasser-, Land-, Luft- und Raumfahrzeugen von zentraler Bedeutung.

Bei geowissenschaftlichen Anwendungen betrachtet man die beobachteten Variationen des Geoids bzw. der Schwere als indirekte Messungen der Verteilung von Masse und Dichte. Zusammen mit Datensätzen anderer satelliten- und bodengestützter Meßsysteme geben diese dann Einblick in Aufbau und Beschaffenheit des Erdkörpers, aber auch in geophysi-

kalisch und klimatisch bedingte Prozesse im Bereich der Erdoberfläche, die andauernd Massenverschiebungen bewirken. Beispiele solcher Vorgänge sind die großräumigen Meereszirkulationssysteme oder Meeresspiegeländerungen aufgrund der Massenumlagerungen zwischen polarem Eis, Meerwasser und kontinentalem Wasser sowie die noch anhaltende Landhebung nach dem Abschmelzen der Eismassen der letzten Eiszeit.