

Blick durch die „Gravitationsbrille“

Aufbereitete Daten des Schwerfeld-Messsatelliten „Goce“ lassen Strukturen tief unter der Erdoberfläche sichtbar werden

Wie verändert sich das Eis der Polkappen? Welche geologischen Eigenschaften hat die Erdkruste? Das sind Beispielfragen der Geophysiker über die Prozesse, die den Bau unserer Erde prägen. Geodäten der TU München haben die Messdaten des Esa-Satelliten „Goce“ so aufbereitet, dass sie quasi als Gravitationsbrille einen Blick tief unter die Oberfläche unserer Heimatwelt erlauben.

VON BERNHARD MACKOWIAK

München. Angenommen, wir könnten von Natur aus unsere Umwelt nicht nur im sichtbaren Licht wahrnehmen, sondern auch Gravitationsfelder zehntausendfach überhöht erkennen oder ein findiger Optiker hätte eine Spezialbrille entwickelt – welches Bild würde die Erde aus dem All dann bieten? Es wäre ein verblüffendes, ja fremdartiges: Unsere Erde erschiene nicht rund, sondern verbeult wie eine Kartoffel. Unser Heimatplanet ist keine Kugel von einheitlicher Masse, sondern seine Massen sind in den Ozeanen, Kontinenten und tief im Innern ungleich verteilt. Das bleibt nicht ohne Folgen für die Gravitationskraft, die alles auf diesem Planeten im Wortsinn „bodenständig“ sein lässt. Das Phänomen der unterschiedlichen Massenkonzentration lässt die Schwere daher von Ort zu Ort verschieden sein.

Im Alltagsleben sind diese Schwereschwankungen nicht zu bemerken, und für das menschliche Auge unsichtbar. Dafür bedarf es schon des besonderen Überblicks aus dem All mit Hilfe speziell ausgerüsteter Satelliten, wie des 2009 von der Esa gestarteten „Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer“, kurz: „Goce“.

Vier Jahre umrundete der fünf Meter lange und 1,1 Tonnen schwere künstliche Mond unseren blauen Planeten in gut 250 Kilometer Höhe, um das irdische Schwerfeld noch genauer zu vermessen, als es die 2002 gestartete Nasa-DLR-Dop-

pelsatelliten-Mission „Grace“ (Gravity Recovery And Climate Experiment) vermag.

Wichtigstes Ziel der „Grace“-Mission ist, die zeitlichen Veränderungen des Schwerfeldes zu messen; „Goce“ dagegen lieferte bis zu seinem Verglühen im November 2013 eine deutlich höhere räumliche Auflösung des statischen Schwerfeldes. „Goces“ Kerninstrument war ein sogenanntes Schweregradiometer. Es bestand aus sechs extrem feinen Beschleunigungsmessern, die paarweise in drei senkrecht zueinander liegenden Ebenen angeordnet waren. Der Abstand der beiden Sensoren eines Paares betrug jeweils 0,5 Meter. „Die Sensoren messen die Beschleunigung aufgrund der Gravitation mit einer Genauigkeit von 10⁻¹²“, beschreibt Johannes Bouman das Verfahren.

„Das bedeutet, dass man die Schwerebeschleunigung bis zu einer Genauigkeit von 12 Nachkommastellen auflösen kann. Allerdings kann man nicht die Schwerebeschleunigung in absolutem Sinn messen (das wäre die Zahl 9,81... m/s² die man in der Schule lernt), sondern den sehr kleinen Unterschied der Schwerebeschleunigung zwischen den beiden Sensoren eines Paares, also über 0,5 Meter Distanz. Diese Abweichung wird dadurch verursacht, dass sich beide Sensoren des Paares unterschiedlich weit (nämlich 0,5 Meter) von der Erde entfernt befinden.“

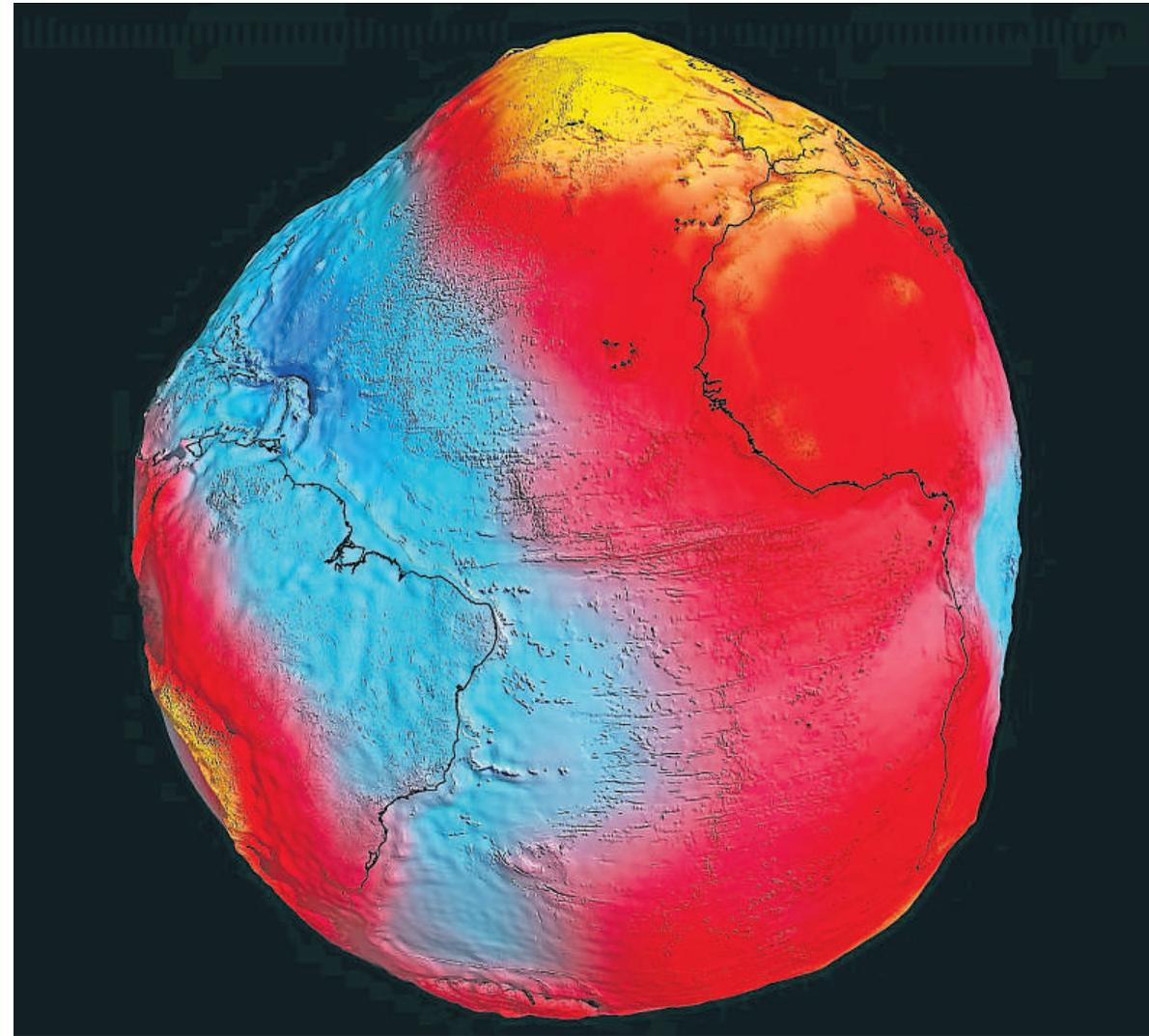
Diese hochgenauen Messungen schlugen sich in mehreren hundert Millionen Datensätzen nieder, die der Satellit während seiner Mission zur Bodenstation gefunkt hat. „Dank dieser Daten ist es gelungen, das Gravitationsfeld der Erde nicht nur mit bisher unerreichter Genauigkeit zu kartieren, sondern wir können die Messwerte nutzen, um – quasi durch die Gravitationsbrille – tief unter die Oberfläche unseres Planeten zu sehen“, erklärt Johannes Bouman vom **Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut der TU München** und Leiter der Projektgruppe „Goce+GeoExplore“.

Welcher An- oder besser Einblick der Erde sich auf diese Weise bietet, zeigt beispielsweise eine Karte des Nord-Ost-Atlantik, wo ein roter breiter Streifen die erhöhte Gravitation symbolisiert. Hervorgerufen wird sie durch den Aufstieg von dichtem und schwerem Material aus dem Erdmantel entlang des Mittelozeanischen Rückens zwischen Grönland und Skandinavien. Auf diese Weise bildet sich neuer Meeresboden. „Wir haben deshalb uns auf diese Region konzentriert, obwohl die ‚Goce‘-Karten die gesamte Erde zeigen, weil es für dieses Gebiet viele unabhängige Daten gibt, wie zum Beispiel seismische Daten“, begründet der Wissenschaftler. „Durch den Vergleich verschiedener Datensätze waren wir in der Lage, die Komplementarität der Datensätze zu bestimmen.“

Erdplatten im Fokus

So konnten mit den Schwerfeldmessungen wichtige Ergänzungen zum plattentektonischen Modell geliefert werden, indem Rückschlüsse auf die Dichte und Mächtigkeit der unterschiedlichen Platten gezogen wurden. „Was man mit ‚Goce‘ jedoch nicht erkennen kann, ist die Plattenbewegung“, schränkt Institutsdirektor Professor Florian Seitz ein. „Dafür benötigt man andere Informationen wie zum Beispiel GPS-Beobachtungen.“

Allerdings gab es einige Hürden zu überwinden: Die „Goce“-Daten galten als schwer interpretierbar, denn die Höhe und Orientierung des Satelliten während seines Orbits schwankten. Zwar konnte seine augenblickliche Position mit Hilfe des GPS-Navigationssatellitensystems ständig bestimmt werden; aber – so Bouman – „bei der Auswertung der Daten musste man jede Messung mit den gespeicherten Koordinaten korrelieren. Die Messwerte wurden nicht mit der tatsächlichen Flugbahn des Satelliten korreliert, sondern auf zwei Referenz-Ellipsoide umgerechnet.“ Diese Ellipsoide, welche die Erde in 225 und 255 Kilometern Höhe umspan-



Nicht rund, sondern verbeult wie eine Kartoffel sieht die Erde aus, wenn aus Gravitationsicht die Höhe übertrieben dargestellt wird. Die Esa-Sonde Goce (unten) hat solche Bilder direkt aus dem All geliefert. Fotos: ESA

nen, haben eine konstante Höhe, und auch ihre geografische Orientierung ist festgelegt. Jedes Ellipsoid besteht aus 1,6 Millionen Gitterpunkten, die sich kombinieren lassen. „Auf diese Weise kann man, wie beim stereoskopischen Sehen mit zwei Augen, die dritte Dimension sichtbar machen. In Kombination mit einem geophysikalischen Modell erlauben diese Informationen einen Blick ins Erdinnere bis in 200 Kilometer Tiefe und darüber hinaus“, sagt Bouman.

Er nennt einige Forschungsziele in den Geowissenschaften, für die

die Gradientengitter als Grundlage dienen können, beispielsweise um die Struktur und Veränderung von Eisschichten noch genauer zu untersuchen, ebenso die Topografie der Landflächen. „Der Blick durch diese ‚Brille‘ wird zu einem neuen Verständnis der Struktur der Erdkruste und der Lithosphäre führen sowie zu einem besseren Verständnis geodynamischer Prozesse wie der Mantelkonvektion. Was bis jetzt lokal und regional geschah, wird sich dann im globalen Rahmen abspielen und auf diese Weise den Beobachtungshorizont erweitern.“

