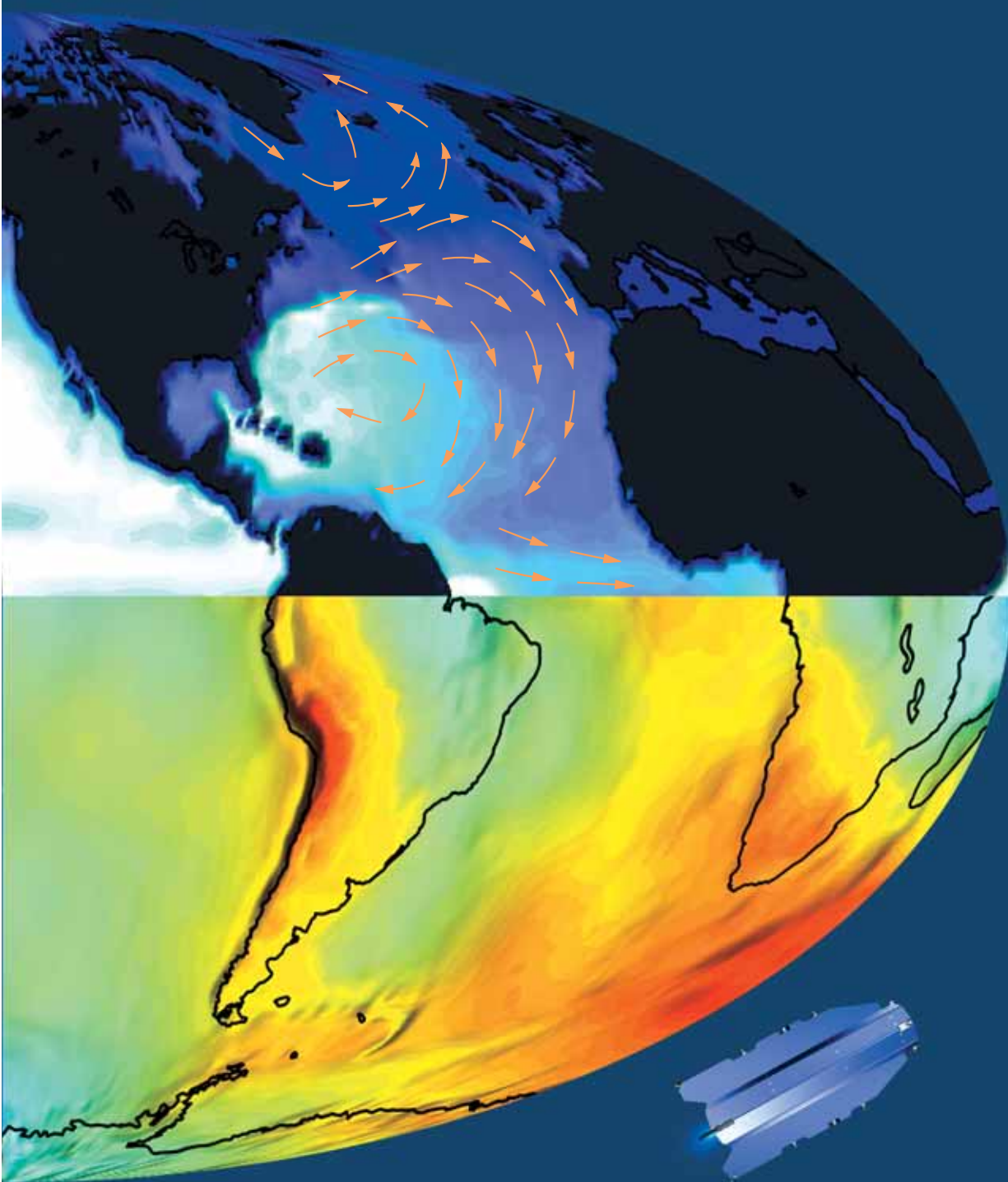


## ESA'S SCHWERKRAFT MISSION

**GOCE**

## ESA's ERDBEOBACHTUNGSSATELLITEN

**METEOSAT** - Der erste von sieben meteorologischen Meteosat Satelliten wurde 1977 gestartet um das Wetter über Europa und Afrika zu beobachten. Bis zum heutigen Tag werden Daten von diesen Satelliten ausgewertet.

**ERS-1 and 2** - Der erste Fernerkundungssatellit der ESA in einer polaren Umlaufbahn, ERS-1, wurde 1991 gestartet. Er ist mit Instrumenten die die Temperatur der Oberfläche der Ozeane, Wellen sowie Luftströmungen messen ausgestattet. ERS-2 wurde im Jahr 1995 gestartet – wodurch eine Überlappung der Missionsdauer mit ERS-1 möglich wurde – und erweiterte das Beobachtungssystem durch das „Global Ozone Monitoring Experiment“ (GOME) für die Beobachtung des Ozongehalts der Atmosphäre.

**ENVISAT** - Envisat ist der größte jemals von der ESA gebaute Erdbeobachtungssatellit und wurde 2002 gestartet. Mit insgesamt 10 optischen Instrumenten sowie Radar ausgestattet dient er zur kontinuierlichen Beobachtung von Ozeanen, Kontinenten, Eismassen und der Atmosphäre, und bietet damit die Möglichkeit sowohl die natürliche als auch die vom Menschen verursachte Veränderung des Klimas einerseits als auch natürliche Ressourcen andererseits zu beobachten.

**MSG (Meteosat Second Generation)** - Nach dem Erfolg von Meteosat wurden vier verbesserte geostationäre MSG Satelliten entwickelt, die operationellen Datenfluss bis 2018 garantieren. Der erste MSG wurde 2002, der zweite 2005 gestartet. MSG ist eine Kooperation zwischen ESA und EUMETSAT.

**METOP (Meteorological Operational)** - MetOp besteht aus einer Serie von drei polaren Satelliten und wird meteorologische Daten zumindest bis ins Jahr 2020 liefern. MetOp ist das Raumsegment von „EUMETSAT's Polar System“ (EPS). MetOp-A, der erste Satellit der Serie, wurde 2006 gestartet.

**GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer)** - Mit dem geplanten Start im Jahr 2007 wird GOCE Daten für die genaue Bestimmung von globalen und regionalen Modellen des Gravitationsfeldes der Erde und des Geoids liefern. Dadurch wird eine weitere Erforschung der Zirkulation der Ozeane, der Physik des Erdinneren, der Geodäsie und der Änderung des Meeresspiegels gewährleistet.

**SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity)** - Mit dem geplanten Start im Jahr 2008 wird SMOS globale Karten des Wassergehalts des Bodens und des Salzgehalts der Ozeane liefern, und damit für ein besseres Verständnis des Wasserkreislaufs der Erde sorgen, sowie der Vorhersage des Klimas, des Wetters und von Naturkatastrophen dienen.

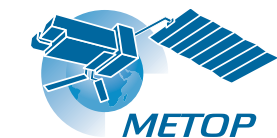
**ADM-AEOLUS (Atmospheric Dynamics Mission)** - Mit dem geplanten Start im Jahr 2009 wird ADM-AEOLUS weitere Fortschritte in der Beobachtung globaler Windprofile und benötigte Informationen für eine Verbesserung von Wettervorhersagen liefern.

**CRYOSAT-2** - Mit einem geplanten Start im Jahr 2009 wird CryoSat-2 Veränderungen in der Stärke von kontinentalen Eismassen und in der Bedeckung der Ozeane mit Eis messen, und damit das Verständnis des Zusammenhangs zwischen Eis und globaler Erwärmung verbessern. CryoSat-2 ist der Ersatz für CryoSat, der beim Start 2005 verloren ging.

**SWARM** - Mit dem geplanten Start zu Beginn 2010 wird Swarm, eine Konstellation von drei Satelliten, die Veränderungen des Magnetfeldes der Erde beobachten und damit neue Erkenntnisse über das Innere der Erde und des Klimas liefern.

**EARTH CARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer)** - Mit dem geplanten Start im Jahr 2012 wird Earth CARE, eine Kooperation zwischen Europa und Japan, für ein besseres Verständnis des Zusammenhangs von Wolken, Aerosolen und Strahlungsprozessen sorgen, welche eine Rolle im Klimahaushalt spielen.

**SENTINELS** - Im Rahmen des „Global Monitoring for Environment and Security“ (GMES) Programmes entwickelt die ESA derzeit fünf neue Satellitenfamilien genannt Sentinels.



BR-209/D April 2007

Erstellt von:  
Roger Haagsmans, Rune  
Floborghagen, Bernd Pieper  
& Mark Drinkwater

Herausgegeben von:  
ESA Publications  
ESTEC, PO Box 299  
2200 AG Noordwijk  
The Netherlands

Editors:  
Honora Rider, Michael Rast  
& Bruce Battrock

Übersetzung: Nicola Rohner

Design & Layout: ADES  
Medialab & Eva Ekstrand  
Grafiken: ADES Medialab

Copyright: © 2007 ESA  
ISSN: 0250-1589  
ISBN: 92-9092-313-X  
Preis: 10 Euros

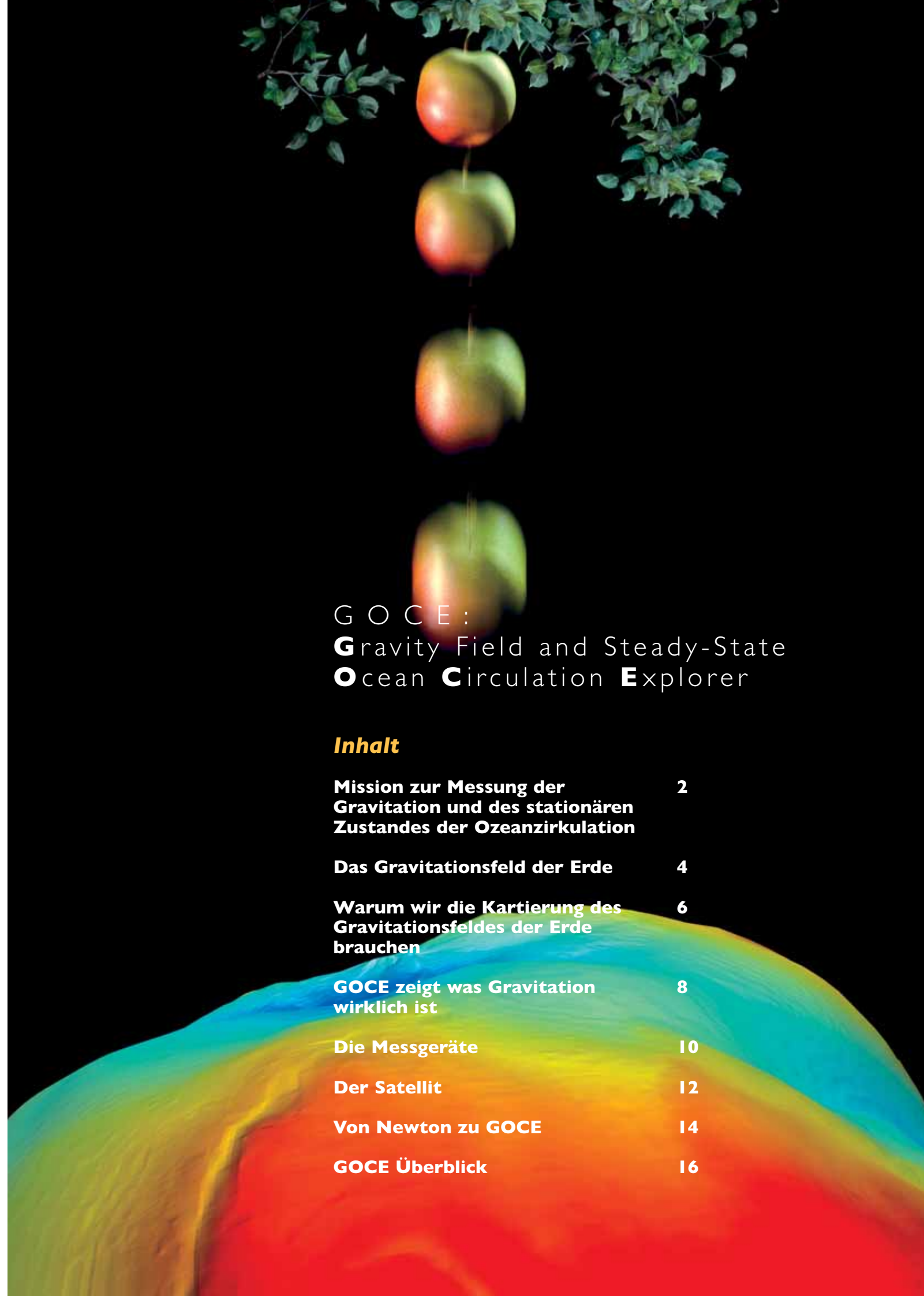
Weitere Auskunft über ESA's  
Erdbeobachtungs und  
„Living Planet“ Programm  
erhalten Sie unter:  
[www.esa.int/earthobservation](http://www.esa.int/earthobservation)  
[www.esa.int/livingplanet](http://www.esa.int/livingplanet)



## GOCE: Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer

### Inhalt

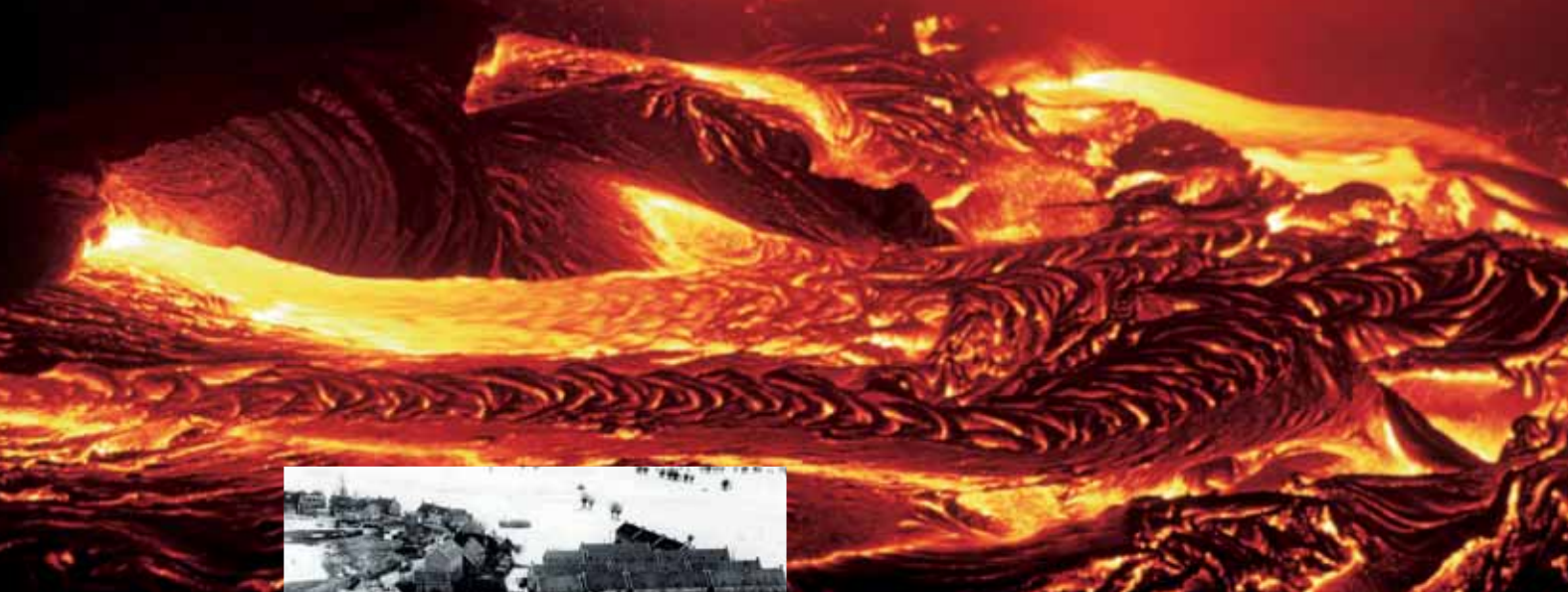
<b>Mission zur Messung der Gravitation und des stationären Zustandes der Ozeanzirkulation</b>	<b>2</b>
<b>Das Gravitationsfeld der Erde</b>	<b>4</b>
<b>Warum wir die Kartierung des Gravitationsfeldes der Erde brauchen</b>	<b>6</b>
<b>GOCE zeigt was Gravitation wirklich ist</b>	<b>8</b>
<b>Die Messgeräte</b>	<b>10</b>
<b>Der Satellit</b>	<b>12</b>
<b>Von Newton zu GOCE</b>	<b>14</b>
<b>GOCE Überblick</b>	<b>16</b>





# GOCE:

## Mission zur Messung der Gravitation und des stationären Zustandes der Ozeanzirkulation



Papendrecht, Flutkatastrophe in den Niederlanden 1953

Gravitation ist eine der Grundkräfte der Natur, die viele dynamische Prozesse sowohl im Erdinneren, als auch an und über der Erdoberfläche beeinflusst. Häufig wird angenommen, dass die Gravitationskraft überall an der Erdoberfläche gleich groß ist. Dies ist jedoch nicht der Fall. Nur eine perfekt geformte Kugel mit symmetrisch aufgebauten homogenen Schichten übt an ihrer Oberfläche eine konstante Gravitationskraft auf andere Massen aus. In der Realität ist die Erde an den Polen durch die Rotation unseres Planeten und die dadurch entstehende Zentrifugalkraft leicht abgeflacht. Diese bewirkt, dass Masse dort am stärksten radial nach außen bewegt wird, wo die Rotationsgeschwindigkeit am größten ist: am Äquator. Durch diese Rotation ist der Erdradius am Äquator 21 km größer als an den Polen, wodurch am Äquator eine schwächere Schwerkraft (Gravitation und Zentrifugalkraft) herrscht. Weiterhin ist die Erdoberfläche mit ihren

topographischen Eigenschaften wie zum Beispiel Gebirgen und Ozeangraben sehr uneben. Tatsächlich besteht eine Höhendifferenz von etwa 20 km zwischen dem höchsten Berg und der tiefsten Stelle des Ozeans. Ebenso sind die unterschiedlichen Materialien aus denen die Erdkruste und der Erdmantel bestehen nicht homogen verteilt. Selbst in tief liegende Schichten variieren die Materialien von Ort zu Ort. Beispielsweise ist die Erdkruste unter den Ozeanen weitaus dünner und dichter als die Kontinentalkruste. Dies alles sind Faktoren, die die Gravitationskraft an der Erdoberfläche beeinflussen und signifikante Unterschiede bewirken.

Obwohl in den letzten Jahren zahlreiche Schweremessungen auf der Erde durchgeführt wurden, bietet der Zugang zum Weltraum die einzigartige Möglichkeit, innerhalb einer kurzen Zeit detaillierte Messdaten des gesamten globalen Gravitationsfeldes zu erfassen. GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) ist eine ESA-Mission zur Messung des Gravitationsfeldes der Erde und zur Modellierung des Geoids mit extrem hoher Genauigkeit und Auflösung. Eine genauere Kenntnis des Gravitationsfeldes der Erde trägt entscheidend dazu bei, die Prozesse im Erdinneren und somit die Physik und die Dynamik von Erdbeben und Vulkanismus besser zu verstehen.

Das Geoid ist eine Bezugsfläche im Schwerfeld der Erde zur Beschreibung der Erdfigur. Jeder Punkt der Geoidfläche besitzt das gleiche Schwerepotenzial und damit die gleiche Schwerebeschleunigung. Diesem Modell liegt ein hypothetischer Ruhezustand



des Ozeans mit einem mittleren Meeresspiegel, ohne Gezeiten und Strömungen, zugrunde. Die detaillierte Beschreibung des Geoids ist eine entscheidende Grundlage für präzise Messungen der Ozeanzirkulation, von Änderungen des Meeresspiegels und der Dynamik von Landeismassen. Alle diese Größen verändern sich stetig durch den Klimawandel. Weiterhin wird das Geoid als Referenzoberfläche für die topographische Beschreibung unseres Planeten bezüglich Landoberflächen, Eisschichten oder Ozeanen genutzt. Diese Referenz kann zum Beispiel auch eingesetzt werden, um Höhenmessungen auf unterschiedlichen Kontinenten exakt zu vergleichen.

GOCE ist der zweite Satellit in der Serie der „Earth Explorer“, der als Teil des „Living Planet Programme“ der ESA entwickelt wird. Der Start von Russland aus ist für Ende 2007 vorgesehen. Da die Gravitation mit steigendem Abstand von der Erdoberfläche abnimmt, ist GOCE für eine sehr niedrige Umlaufbahn ausgelegt. Die in dieser Höhe bereits deutlich spürbaren Reibungskräfte sowie die große Geschwindigkeit des Satelliten stellen jedoch eine besondere Herausforderung an den Satelliten bezüglich seiner Steuerung und Energieversorgung dar. Aus diesem Grund ist die Missionsdauer auf 20 Monate beschränkt, was aber ausreichend ist, um alle wesentlichen Messdaten über Erdgravitation und das Geoid zu erfassen. Diese werden Grundlage für die nächste Generation geophysikalischer Forschung sein und wesentlich zu unserem Verständnis des Erdklimas beitragen.

GOCE wird einen wesentlichen Beitrag zu einem besseren Verständnis der Zirkulation der Ozeane leisten.





# Das Gravitationsfeld der Erde



Das Geoid (berechnet aus EGM96):  
Das Geoid repräsentiert Abweichungen vom Erdellipsoid. Obwohl es „Höhen“ und „Tiefen“ aufweist, ist es eine Oberfläche, die an jeder Stelle das gleiche Potenzial besitzt. Ein auf eine solche Oberfläche gesetztes Objekt würde sich nicht bewegen. Die Oberfläche des Geoids definiert das, was wir als 'horizontal' bezeichnen.

Mit Gravitation assoziieren die meisten von uns die 300 Jahre alte Beobachtung Sir Isaac Newtons eines von einem Baum herunter fallenden Apfels. Die Masse der Erde ist größer als die des Apfels; deshalb fällt der Apfel zum Boden und nicht umgekehrt. Newton etablierte diese grundlegenden Prinzipien und das Konzept der Gravitation, im Allgemeinen bekannt als Erdbeschleunigung („g“). Dieser Effekt resultiert aus der gegenseitigen Anziehungskraft zweier getrennter Objekte aufgrund ihrer Masse.

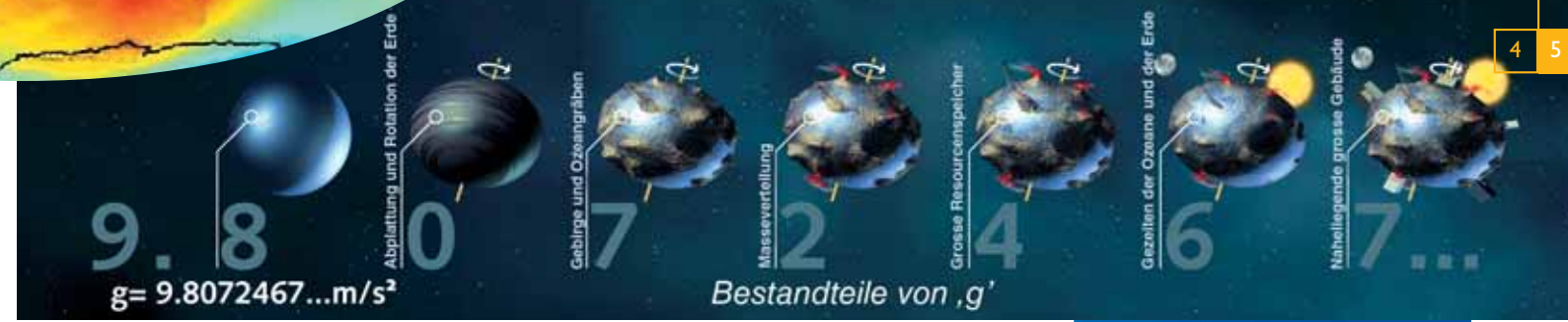
*„Die Änderung der Bewegung einer Masse ist der Einwirkung der bewegendenden Kraft proportional und geschieht in der Richtung derjenigen geraden Linie, in welcher jene Kraft wirkt.“*

Sir Isaac Newton (1642-1727).

In der Schule lernen wir im Allgemeinen, dass  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  ist. Tatsächlich wurde lange Zeit angenommen, dass dieser Wert für den gesamten Planeten konstant sei. Durch Entwicklung hochsensibler Messtechniken zeigte sich, dass die Gravitationskraft in Wirklichkeit variabel ist und sich von Ort zu Ort ändert. Der Standardwert von  $9,8 \text{ m/s}^2$  bezieht sich auf die Annahme, die Erde sei eine homogene Kugel. In der Realität jedoch variiert der Wert aufgrund unterschiedlicher Ursachen zwischen einem Minimum von  $9,78 \text{ m/s}^2$  am Äquator und einem Maximum von  $9,83 \text{ m/s}^2$  an den Polen.

Heute können wir die Abweichungen des Wertes  $g$  auf 8 Dezimalstellen genau messen. Doch was verursacht diese kleinen aber signifikanten Änderungen?

Die Hauptursache für diese Abweichung ist die Erdrotation. Sie bewirkt, dass die Erde leicht abgeflacht und wie ein Ellipsoid geformt ist, so dass der Abstand der Erdoberfläche vom Erdmittelpunkt am Äquator größer ist als an den Polen. Der größere Erdradius am Äquator resultiert in einer dort vorherrschenden schwächeren Schwerkraft. Ein zweiter Grund für Abweichungen ist die sehr unebene Erdoberfläche mit seinen hohen Gebirgszügen und tiefen Ozeangraben. Drittens ist das Material im Erdinneren nicht homogen verteilt. Nicht nur die einzelnen Schichten unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung, sondern auch die Massenverteilung innerhalb einer solchen Schicht ist inhomogen. Erdöl- und Mineralvorkommen sowie Grundwasserspeicher können ebenfalls geringfügig das Schwerfeld beeinflussen. Auch ein Anstieg des Meeresspiegels oder Veränderungen in der Topographie, wie das Abschmelzen von Eismassen und vulkanische Eruptionen haben kleine Effekte. Selbst größere Gebäude können, wenn auch nur geringfügig, Einfluss nehmen. Selbstverständlich können sich diese Effekte überlagern und sich mit der Zeit verändern.



Dieses ungleichmäßige Schwerfeld formt eine virtuelle Oberfläche auf mittlerer Höhe des Meeresspiegels, das so genannte „Geoid“. Es repräsentiert das konstante Schwerepotential einer hypothetischen, ruhenden Ozeanoberfläche und wird häufig als Höhenreferenz für Ingenieurbauprojekte und zum Nivellieren genutzt. Das Geoid kann bis zu 100 m von dem elliptischen Modell der Erde abweichen.

Dort, wo sich Eis befindet, ist der Wasserspiegel im Ruhezustand und kann somit genutzt werden, um Höhenvergleiche über große Distanzen durchzuführen.

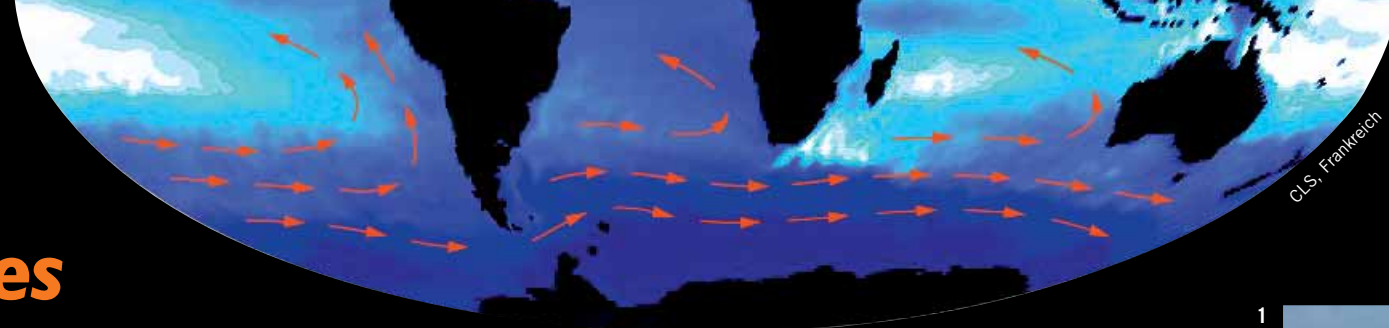
**Wußten Sie schon:**

- Das Wort „Gravitation“ hat seinen Ursprung in dem lateinischen Wort 'gravitas', welches „Gewicht“ bedeutet.
- „Masse“ gibt Auskunft darüber, aus wieviel Materie ein Objekt besteht, und „Gewicht“, wie stark Gravitation darauf wirkt.
- Sie wiegen am Äquator weniger als am Nordpol.
- Der Niederländer Christiaan Huygens erfand 1656 die Pendeluhr. Sie war das erste Hilfsmittel, ein Maß für den „Fall eines schweren Körpers“ oder der Gravitation anzugeben. Französische Astronomen beobachteten später, dass die Pendeluhr am Äquator langsamer geht als beispielsweise in Paris, was besagt, dass die Schwere in Gebieten geringerer Breitengrade kleiner ist – diese Beobachtung verursachte lange Diskussionen über die Form der Erde.
- Im Vakuum erfahren alle Objekte die gleiche Gravitationsbeschleunigung aufgrund des fehlenden Luftwiderstands. Wenn also im Vakuum ein Stein und eine Feder vom Dach eines Hauses hinunter fielen, würden sie exakt zur gleichen Zeit auf dem Boden auftreffen.
- Was mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen ist: Auch die Meeresoberfläche weist aufgrund der Topographie des Meeresbodens Höhenunterschiede auf. Ein 2 km hoher unterseeischer Berg zieht beispielsweise Wasser über ihm an und bewirkt eine Wölbung der Meeresoberfläche von 2 m Höhe über eine Breite von etwa 40 km. Gleichermaßen bewirkt die geringere Gravitationskraft über einem tiefen Graben im Meeresboden eine reduzierte Anziehung von Wassermassen, so dass die Wasseroberfläche hier entsprechend niedriger ist.
- Der Begriff Gezeiten wird im Allgemeinen benutzt, um den durch die Gravitation des Mondes und der Sonne verursachten Zyklus von Ebbe und Flut auf den großen Gewässern der Erde zu beschreiben. In geringem Ausmaß existieren diese Gezeiten auch in großen Seen, der Atmosphäre und innerhalb der Erdkruste. An manchen Stellen kann die Erdkruste täglich bis zu 30 cm (zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert) schwanken.
- Vögel würden ohne Gravitation sterben, weil sie diese benötigen, um ihre Nahrung hinunterzuschlucken.





# Warum wir die Kartierung des Gravitationsfeldes der Erde brauchen



Modell für die mittlere dynamische Ozean-Topographie

Die meisten von uns nehmen die kontinuierliche Anziehungskraft der Erde als gegeben hin. Obwohl unsichtbar, sorgt sie für die Wahrnehmung von „horizontal“ und „vertikal“. Schaut man sich Gravitation jedoch im Detail an, wird deutlich, wie komplex diese Kraft tatsächlich ist. Das Ziel ist es unser Verständnis über das Gravitationsfeld der Erde und des Geoids, und somit des Gesamtsystems Erde signifikant zu verbessern. Dies hat auch eine Reihe praktischer Anwendungen zur Folge. Da zum Beispiel Gravitation in direktem Zusammenhang mit der Massenverteilung im Erdinneren steht, kann eine detailliertere Kartierung der Gravitation beitragen, die Physik und die Dynamik des Erdinneren besser zu verstehen. Ein hochgenaues globales Geoid wird zusätzlich zu einem besseren Verständnis der Ozeanzirkulation führen, welche eine wichtige Rolle im Energiehaushalt der Erde spielt und entscheidend zu einer realitätsnahen Simulation der Klimaentwicklung beitragen. Weiterhin wird es Aufschluss über die Veränderung des Meeresspiegels geben. Auch eine einheitliche Höhenbestimmung auf unterschiedlichen Kontinenten wird mit einem genaueren Geoid-Modell möglich. Beispielsweise können gemessene Höhen in Amerika mit denen in Europa oder Afrika verglichen werden.

## Ozeanzirkulation

Ozeanzirkulation spielt eine wichtige Rolle in der Klimaregulierung durch den Transport von Wärme von niedrigen zu höheren Breitengraden durch warme Meeresströmungen an der Wasseroberfläche. Von dort fließen wiederum kalte Wassermassen in großen Meerestiefen zurück in Richtung Äquator. Der Golfstrom, der warmes Oberflächenwasser aus dem Golf von Mexiko Richtung Norden transportiert, ist ein gutes Beispiel dafür, welche wichtige Rolle Meeresströmungen in der Klimaregulierung spielen. Dank des Golfstromes ist das Küstenwasser Europas etwa 4 °C wärmer als das Wasser in Gebieten gleichen Breitengrades im Nordpazifik. Heutzutage ist jedoch das Wissen über die Rolle der Meeresströmungen noch nicht ausreichend für eine genaue Vorhersage von Klimaveränderungen. Um die Ozeanzirkulation detailliert untersuchen zu können ist jedoch eine exakte Kenntnis des Geoids notwendig. Das aus GOCE resultierende Modell des Geoids wird als Referenz dienen, um Zirkulationen sowohl in kleinen als auch großen Meerestiefen untersuchen zu können. Radaraltimetrie liefert uns das aktuelle Profil der Ozeanoberfläche und durch Differenzbildung mit dem Geoid erhält man die Ozeantopographie. Die Oberflächenzirkulation des Ozeans kann direkt aus diesen Höhenunterschieden, etwa 1 bis 2 Meter, abgeleitet werden.

## Feste Erde

Wie sind so genannte „Bergwurzeln“, also tief in die Erde reichendes Berggestein, geformt? Wo befinden sich Ölvorkommen und Erze? Warum bewegen sich Kontinentalplatten und verursachen Erdbeben? Wo bahnt sich Lava einen Weg durch die Erdkruste an die Oberfläche? Die genaue Dichte der Lithosphäre und des oberen Erdmantels bis zu einer Tiefe von 200 km lässt sich aus Daten des Gravitationsfeldes und seismischen Daten berechnen und hilft,

solche Prozesse besser zu verstehen. GOCE wird ebenfalls unser Wissen über die Veränderung von Gesteinsformationen aufgrund der nach-eiszeitlichen Landhebung erweitern. Dieser Prozess beschreibt die Aufwärtsbewegung der Erdkruste nach Abschmelzen der schweren Eismassen seit der letzten Eiszeit, die die Erdkruste nach unten gedrückt hatten. Diese so genannte postglaziale Landhebung beträgt in Skandinavien etwa 1 cm pro Jahr und in Kanada bis zu 2 cm pro Jahr.

## Geodäsie

Geodäsie beschäftigt sich mit der Bestimmung der Figur der Erde und umfasst sowohl die Erfassung der Geometrie als auch des Schwerfeldes der Erde und der Erdrotation. Sie ist die Grundlage für alle Disziplinen der Geowissenschaften und weist zudem eine Reihe von weiteren Anwendungsbereichen auf. Ein verbessertes Modell des Geoids kann z.B. im Vermessungswesen und im Baugewerbe genutzt werden. Es ersetzt teure und zeitaufwändige Prozeduren, die zurzeit dafür notwendig sind. Weiterhin wird es als hochgenaues Referenzmodell für Höhenmessungen und Untersuchungen der Topographie der Erde eingesetzt. Zusätzlich wird ein globales, geeichtes System für Meereshöhen geliefert, so dass beispielsweise der Meeresspiegel der Nordsee mit dem des Golfs von Mexiko verglichen werden kann.

## Änderung des Meeresspiegels

Daten aus der GOCE Mission werden einen wesentlichen Beitrag für die Beobachtung der Veränderung des Meeresspiegels leisten. Ursache für diese Änderung ist das Abschmelzen kontinentaler Eismassen, was wiederum Klimaveränderungen zur Folge hat.



Rijkswaterstaat, NL



Rijkswaterstaat, NL



- 1 - Der Betrieb von Dämmen zum Schutz vor Meeresfluten hängt vom jeweils vorherrschenden Wasserpegel ab
- 2 - Teure und zeitaufwändige Vermessungen können durch GOCE-Messungen in Kombination mit GPS und dem weiterentwickelten Geoid-Modell ersetzt werden
- 3 - Die ursprüngliche Nutzung von Aquädukten für die Leitung von Wasser beruht auf der Schwerkraft



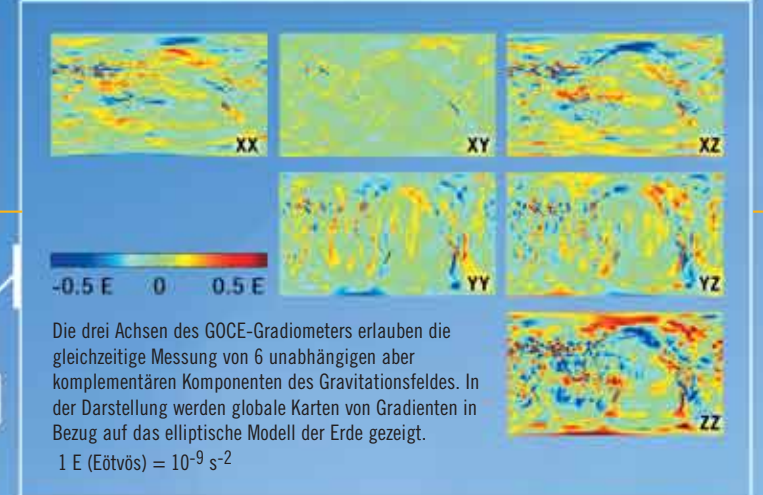
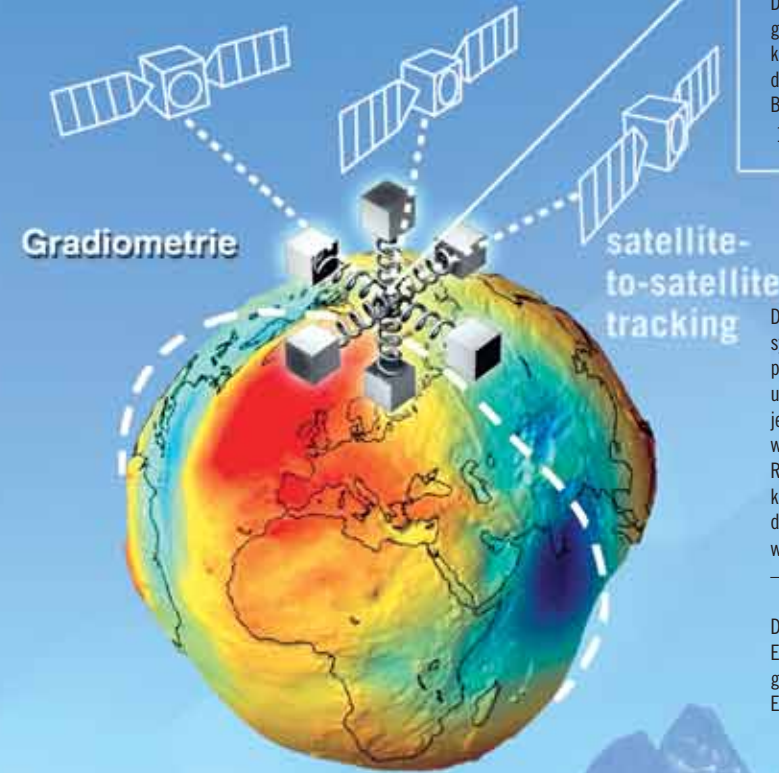


# GOCE zeigt was Gravitation wirklich ist

Die herkömmliche Methode Gravitation zu messen basiert auf dem Vergleich von Pendelbewegungen einer Prüfmasse an unterschiedlichen Stellen der Erdoberfläche. Obwohl bereits in den verschiedensten Gebieten der Welt Schweremessungen durchgeführt wurden, gibt es doch beträchtliche Unterschiede in deren Qualität und zusätzlich sind diese auch nicht vollständig. Der Prozess der Datenerfassung an Land und auf See ist teuer und zeitaufwändig. Umfassende globale und qualitativ hochwertige Messungen würden mehrere Jahrzehnte erfordern. Aus der Erfahrung heraus, eine globale Landkarte des Gravitationsfeldes zu erstellen, verbunden mit der Tatsache, dass in jüngster Zeit große Fortschritte in der Genauigkeit der benötigten Messapparatur gemacht wurden, ist eine umfassende Messung der Gravitation aus dem Weltall die sinnvollste Lösung. Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Messung der Gravitationskraft der Erde aus dem Weltraum ist die Tatsache, dass diese Kraft mit zunehmender Höhe abnimmt. Die Umlaufbahn des Satelliten muss daher möglichst niedrig sein, um ein möglichst grosses Signal messen zu können. Je niedriger der Satellit fliegt, desto mehr Luftwiderstand wirkt auf ihn. Dies verursacht wiederum Störungen in seiner Bewegung, die nicht auf die Gravitation zurückzuführen sind. Diese Bremsseffekte werden durch die Restatmosphäre hervorgerufen und müssen so klein wie möglich gehalten werden, um das best mögliche Modell für das Gravitationsfeld zu erhalten. Als Kompromiss zwischen der Abnahme der Gravitation mit zunehmender Höhe und dem Einfluss der Atmosphäre in niedrigen Höhen, wird GOCE auf einer Umlaufbahn in etwa 250 km Höhe fliegen, was beträchtlich niedriger ist als die Umlaufbahn anderer Fernerkundungssatelliten. Trotzdem ist es in dieser Höhe aufgrund der reduzierten Signalstärke

äußerst schwierig Details in den Gravitationsschwankungen zu erfassen, wie sie z.B. über dem Indonesischen Archipel zu erwarten sind. Um diesem Dämpfungseffekt entgegenzuwirken und das Gravitationsignal hochgenau zu messen, ist GOCE mit einem extrem empfindlichen Gradiometer ausgestattet. Es enthält sechs Prüfmassen, die lokale Änderungen in der Gravitationsbeschleunigung in drei Raumachsen mit extrem hoher Genauigkeit messen können. Durch die Erfassung von lokalen Schwankungen in der Änderung des Gravitationsfeldes auf Höhe des Satelliten, kann die Reduzierung des Signals weitgehend kompensiert werden. Auf diese Weise kann das Gradiometer selbst vom Satelliten aus Details im Gravitationsfeld erfassen. Obwohl das Gradiometer sehr genau mißt, ist es nicht möglich, das gesamte Gravitationsfeld in jeder räumlichen Auflösung in der gleichen Qualität zu bestimmen. Um diese Einschränkung zu umgehen, wird die Position von GOCE mit Hilfe von GPS Satelliten, die in einer Höhe von 20.000 km die Erde umkreisen, bestimmt. Dieses Verfahren wird als "satellite-to-satellite-tracking" bezeichnet. Die Aufgabe des Gradiometers ist es, kleine Strukturen im Gravitationsfeld mit hoher Genauigkeit aufzulösen, während die GPS-Daten für die Bestimmung langwelliger Strukturen des Erdgravitationsfeldes verwendet werden.

Die Kombination dieser zwei Prinzipien ermöglicht die Erstellung eines globalen Geoid-Modells mit einer räumlichen Auflösung von 100 km bei einer Genauigkeit von 1-2 cm. Die Gravitation kann mit Hilfe von GOCE mit einer Präzision von 0,000001 g (Standardwert von  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ) bei einer räumlichen Auflösung von 100 km oder besser erstellt werden.



Das Gradiometer besteht aus drei Prüfmassenpaaren, die am Ende von drei symmetrischen, zueinander senkrecht stehenden ungefähr 50 cm langen Achsen positioniert sind. Auf jede Prüfmasse wirkt das Gravitationsfeld der Erde aufgrund ihrer unterschiedlichen Position im Schwerfeld etwas anders. Die mittleren Beschleunigungen jedes Beschleunigungsmesserpaars sind proportional zu den auf den Satelliten wirkenden nicht-gravitativen Kräften, wie zum Beispiel des Luftwiderstandes der Restatmosphäre. Diese werden durch ein kontinuierlich arbeitendes Ionentriebwerk kompensiert. Aus den Differenzen der Beschleunigungsmessungen kann ein sehr detailliertes Abbild der räumlichen Variationen der Schwerkraft auf der Erde berechnet werden. Die Sensoren erfassen kleinste Variationen in der Beschleunigung von  $10^{-12} \text{ m/s}^2$  – eine im Vergleich zur Erdbeschleunigung von  $9,8 \text{ m/s}^2$  fast unvorstellbare Genauigkeit.

Der Einfluss der Gravitation auf das Messinstrument beruht auf unterschiedlichen Effekten, die zu  $g$  beitragen. Das Himalajagebirge beispielsweise trägt nur zu einem geringen Anteil zu  $g$  in Europa bei. Es erfordert Kunstgriffe der Mathematik, die einzelnen Effekte zu identifizieren und deren Beiträge voneinander zu trennen.

ERDELLIPSOID

GEOID



# Die Messgeräte

Eine hoch entwickelte Gravitationsmission wie GOCE erfordert, dass der Satellit, die Sensoren und die Kontrolleinheiten ein Gesamtsystem 'Gravitationsmessgerät' bilden. Auch der Satellit selbst stellt einen Sensor dar. Mit anderen Worten, anders als bei anderen Fernerkundungsmissionen kann bei GOCE nicht zwischen Satellit und Messinstrument unterschieden werden.

Das GOCE Konzept ist einmalig in der Zusammenführung von vier fundamentalen Kriterien für eine Mission zur Vermessung des Gravitationsfeldes mit höchster Auflösung und Genauigkeit. Diese sind:

- Kontinuierliche Erfassung in drei Raumrichtungen
- Kontinuierliche Kompensation von nicht-gravitativen Störbeschleunigungen wie zum Beispiel Luftwiderstand und Strahlungsdruck der Sonne
- Wahl einer niedrigen Umlaufbahn, um ein starkes Gravitationssignal zu erhalten
- Einsatz einer speziellen Messtechnik, der Gradiometrie, um selbst in großen Höhen ein ausreichendes Signal zu erhalten

Vom wissenschaftlichen Gesichtspunkt aus sind dies die Hauptbausteine der GOCE-Mission. Im Allgemeinen gilt, je niedriger die Umlaufbahn desto größer ist das Gravitationssignal und desto anspruchsvoller sind die Anforderungen an die Teilsysteme sowie an die Struktur des Satellitenkörpers und an die Auswahl der Materialien des Satelliten. Die Wahl der technischen Lösungen für die Instrumente, Sensoren und Aktuatoren ist somit sehr eingeschränkt. Folgende Instrumente werden benötigt:

- Eine bordeigener GPS- Empfänger, das so genannte ‚Satellite-to-Satellite Tracking Instrument‘ (SSTI)
- Ein Kompensationssystem für die wesentlichen Störbeschleunigungen, die auf das Fluggerät wirken, inklusive eines hochentwickelten Antriebssystems und
- Ein Elektrostatisches Gravitations-Gradiometer (EGG) als Hauptinstrument.

## Positionsbestimmung mit dem Satellite-to-Satellite Tracking Instrument (SSTI)

Das ‚Satellite-to-Satellite Tracking Instrument‘ (SSTI) besteht aus einem 12-Kanal GPS-Empfänger und einer L-Band-Antenne. Der Empfänger kann simultan Signalübertragungen von bis zu 12 Satelliten der GPS-Konstellation empfangen. Das SSTI Instrument liefert, bei 1Hz, die so genannten Entfernung- und Phasenmessungen auf beiden GPS-Frequenzen, sowie Lösungen für die Umlaufbahn in Echtzeit.

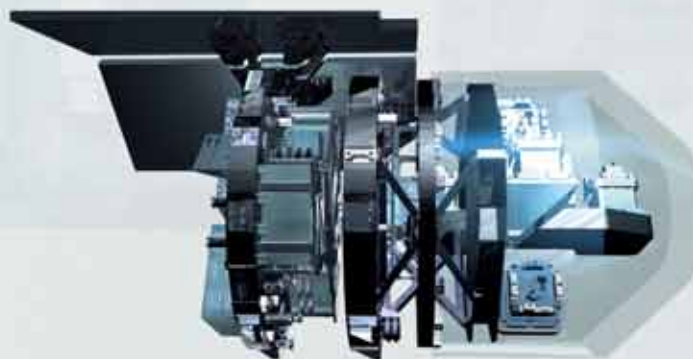
## Kompensations- und Lage-Kontrollsystem

Das fortgeschrittene Kompensationssystem für Störbeschleunigungen und das System für die Lagebestimmung und -kontrolle des Satelliten garantiert, dass die Sensoren in nahezu freiem Fall und die mittlere Umlaufbahn auf circa 250 km Höhe gehalten werden können. Dies wird mit Ionentriebwerken erreicht. Eine Besonderheit des GOCE Satelliten ist, dass sowohl das Kompensationssystem als auch die Positionskontrolle die wissenschaftliche Nutzlast selbst als Sensor benutzen. Zusätzlich zur gleichzeitigen Nutzung des Satelliten und der Messsysteme als wissenschaftliche Datenquelle werden beide Systeme auch zum Betrieb des GOCE Satelliten verwendet. Somit existiert eine weitere Doppelfunktion des Satelliten im Zusammenhang mit der Positionierung und Justierung seiner Umlaufbahn.

## Das Elektrostatische Gravitations-Gradiometer (EGG)

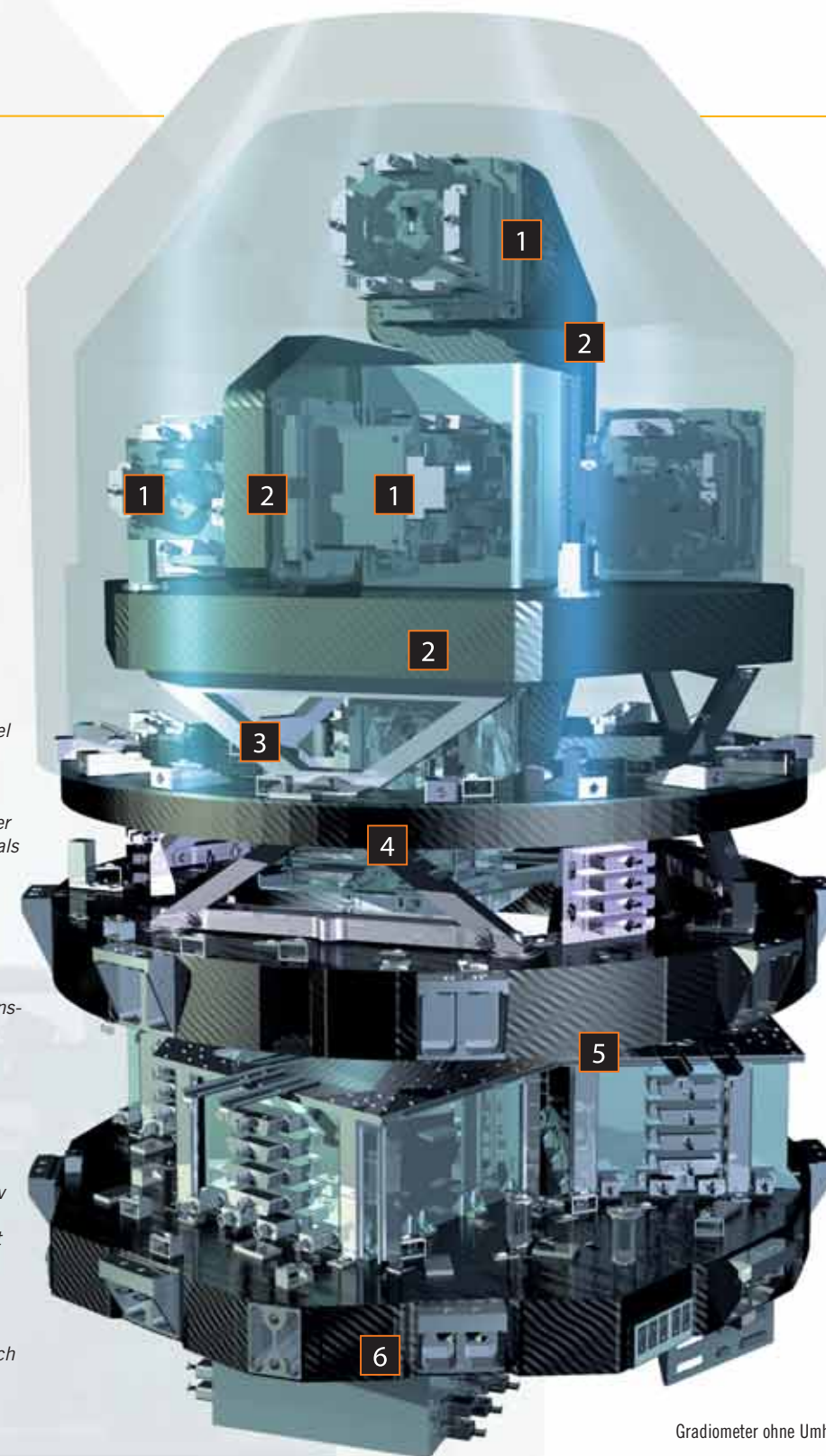
Das Messprinzip eines Akzelerometers beruht auf der Messung der Kräfte, die notwendig sind eine Probemasse im Zentrum eines speziell angefertigten Käfigs zu halten. Die servogesteuerte Aufhängung der Prüfmassa erfasst deren lineare und Rotationsbewegung. Die zwei auf einem Gravimeterarm im festen Abstand gehaltenen Probmassen spüren aufgrund ihrer unterschiedlichen Lage im Erdschwerefeld eine leicht unterschiedliche Kraft. Aus der Differenz dieser Messungen kann auf den Gradienten der Erdbeschleunigung geschlossen werden, während die Summe ein Maß für die Störbeschleunigung in Richtung der Gradiometerachse ist. Kombiniert man die drei Beschleunigungsunterschiede, ist es möglich sowohl alle Komponenten des Gravitationsgradiententensors zu bestimmen als auch die störenden Winkelbeschleunigungen zu erfassen.

Gradiometer mit Heizsystem für die Temperaturregelung



## GOCE Fakten

- Die einzelnen Akzelerometer messen Beschleunigungen, die einem 10.000.000.000.000-stel der Gravitation entsprechen, die wir auf der Erde spüren.
- Der GOCE Beschleunigungsmesser ist etwa 100-mal empfindlicher als bisher eingesetzte Geräte.
- Der Satellit soll auf seiner Erdumlaufbahn möglichst unbeeinflusst von allen Effekten außer der Gravitation sein. Dazu muss er mit einem Kompensations- und Lage-Kontrollsystem ausgerüstet sein. Alle Kräfte, die keine Gravitationskräfte sind, müssen um ein 100.000-faches unterdrückt werden. Die Winkelkontrolle des Satelliten erfordert die Kenntnis der Orientierung des Satelliten relativ zu den Sternen (Sternsensoren). Die Positionsbestimmung erfolgt durch SSTI/GPS.
- Der Satellit ist in Richtung des Geschwindigkeitsvektors ausgerichtet, der in Echtzeit durch SSTI (Satellite-to-Satellite-Tracking-Instrument) bestimmt wird.
- Der Satellit ist sehr starr, er darf keine beweglichen Teile besitzen, die mikroskopische Störungen verursachen. Diese könnten falsche Anzeigen der hochsensiblen Beschleunigungsmesser erzeugen.

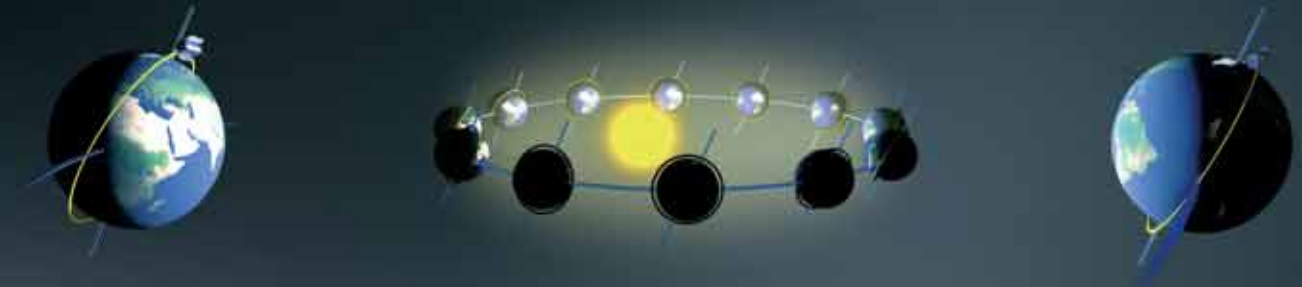


Gradiometer ohne Umhüllung

- |                                  |                           |                         |
|----------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1 Beschleunigungsmesspaar        | 3 Isostatischer X-Rahmen  | 5 Zwischenplatte        |
| 2 Hochstabile Kohlefaserstruktur | 4 Thermoregulierte Platte | 6 Elektronische Einheit |



# Der Satellit



## Konfiguration

Im Unterschied zu anderen Missionen, bei denen eine Reihe von Instrumenten auf der Satellitenplattform installiert ist, ist bei GOCE der Satellit ein Bestandteil der Messapparatur. Auf dem Satelliten befinden sich (außer den Prüfmassen) keine beweglichen Teile. Er ist vollständig starr um sicherzustellen, dass die erfassten Messdaten korrekt sind. Um ein möglichst starkes Signal zu erhalten, ist GOCE dafür ausgelegt, die Erde auf einer für einen Satelliten sehr niedrigen Umlaufbahn zu umrunden – in einer Höhe von nur 250 km. Der Satellit wurde so konzipiert, dass er einen möglichst geringen Luftwiderstand und ein minimales Drehmoment erfährt, und einen Start zu jeder Jahreszeit ermöglicht ist. Masse und Volumen des Satelliten sind durch die Kapazität der Trägerrakete limitiert. Das Ergebnis ist ein schmaler, oktogonaler Satellit, 1100 kg, schwer 5 m lang und mit einem Querschnitt von etwa 1 m<sup>2</sup>. Er ist symmetrisch um die Achse seiner Flugrichtung aufgebaut. Zwei Heckflügel sorgen für zusätzliche aerodynamische Stabilität. An vier Aussenflächen auf der Sonnenseite des Satelliten sind Solarzellen angebracht. Weitere Solarzellen sind auf den Flügeln womit die maximal mögliche Fläche für Stromerzeugung genutzt wird. Das Gradiometer befindet sich in der Nähe des Schwerpunkts des Satelliten.

## Aufbau

Der Satellit besteht aus einem zylindrischen Tubus mit sieben zur Längsrichtung senkrechten Ebenen, auf denen die Messgeräte und die elektronischen Baugruppen installiert sind. Zwei davon werden für das Gradiometer benötigt. Um zu gewährleisten, dass der Satellit leicht und gleichzeitig mechanisch und thermisch stabil ist, besteht er im Wesentlichen aus Schichten kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffes (CFK).

## Thermische Kontrolle

Die thermische Belastung des Materials ist aufgrund des periodischen Durchlaufens von Sonneneinstrahlung und Schatten enorm. Die Sonnenphase kann innerhalb von wenigen Minuten in eine Schattenphase übergehen. Die thermische Kontrolle wird sowohl passiv durch Beschichtungen und Auskleidungen erreicht sowie aktiv mit Heizsystemen. Die Messausrüstung ist gegen die Wärme der Solarkollektoren mit mehreren Isolationsschichten geschützt. Diese befinden sich zwischen den Solarzellen und dem Rumpf. Die kalte, sonnenabgewandte Seite des Satelliten wird genutzt, um Wärme in den Weltraum abzustrahlen. Alle Außenschichten, insbesondere diejenigen die frontseitig in Flugrichtung zeigen, sind mit speziellen Schutzschichten versehen, die die Erosion aufgrund des aggressiven atomaren Sauerstoffs in dieser niedrigen Umlaufbahn vermeiden. Das Gradiometer selbst ist aufgrund seiner hohen Anforderung an eine

stabile Temperatur (in der Größenordnung von Milli-Kelvin) thermisch vollständig vom Satelliten entkoppelt und besitzt eine eigene thermische Kontrolleinheit. Der äußere Teil des Gehäuses wird aktiv mit einer Heizung auf einer stabilen Temperatur gehalten und ist durch eine Abdeckung vom inneren, passiven Bereich getrennt. Auf diese Weise stellt sich innen ein Temperaturgleichgewicht und somit eine extrem homogene Umgebung für die Beschleunigungsmesser ein.

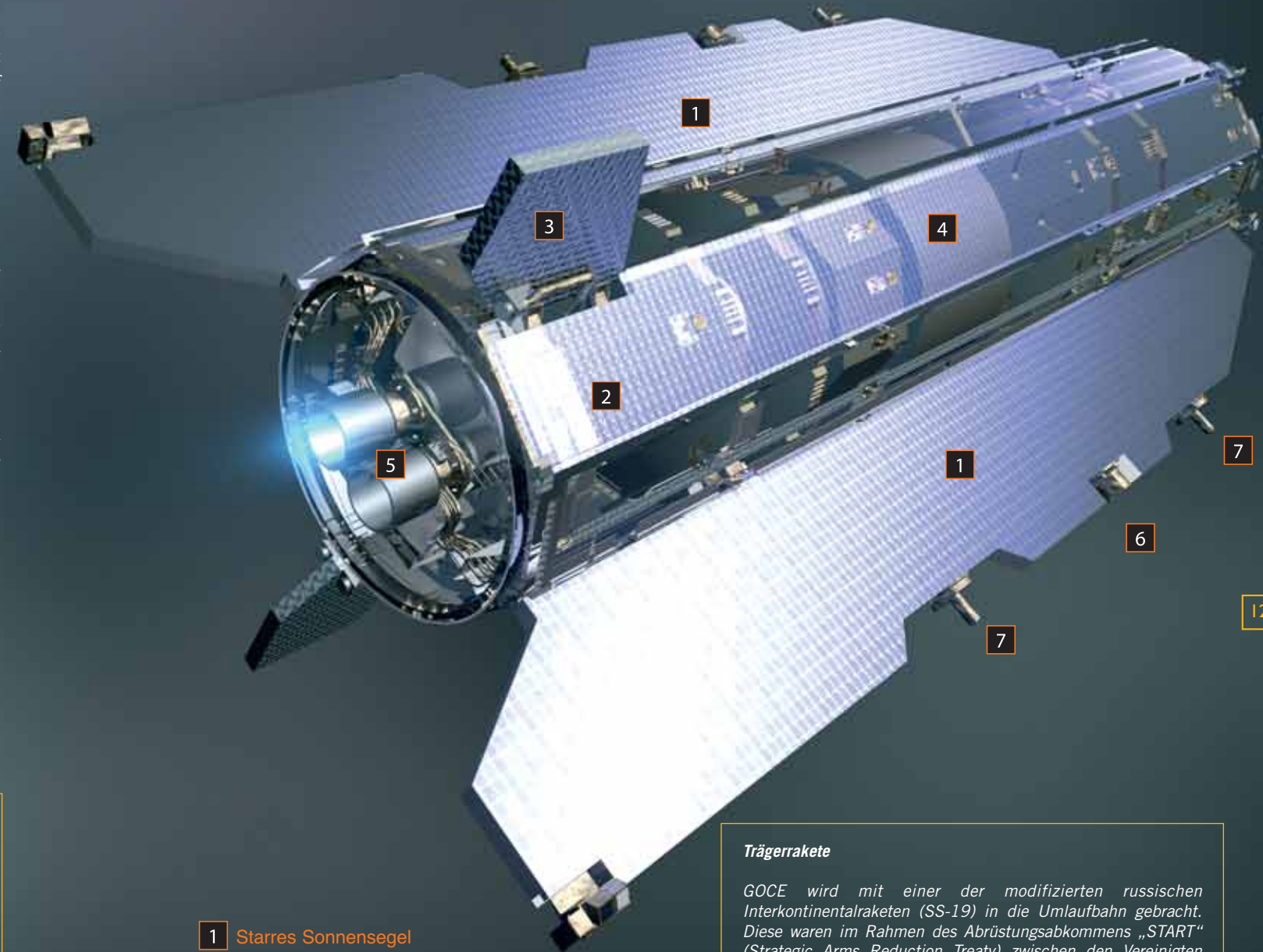
## Stromversorgung

Für die Stromversorgung des Satelliten werden hocheffiziente Gallium Arsenid Solarzellen eingesetzt. In der Zeit, wo sich die Photozellen nicht in der Sonne befinden, wie zum Beispiel in der Startphase oder beim Durchlaufen der Schattenseite der Erde, liefert eine Lithium-Ionen-Batterie die nötige Energie. Eine Steuereinheit maximiert die Versorgung durch Solarzellen und regelt die Auf- und Entladung der Batterie.

Die Solarzellen erfahren extreme Temperaturschwankungen aufgrund der Umlaufbahn des Satelliten. Aus diesem Grund werden hier Materialien eingesetzt, die Temperaturen von -170°C bis 160°C ausgesetzt werden können.

### ESA's hochsensible Mission

Wesentlich für den Erfolg der GOCE-Mission ist, dass die Messung der Gravitation unbeeinflusst von relativen Bewegungen des Satelliten bleibt. Folglich sind die Anforderungen an die Formstabilität der Struktur sehr hoch. Darüberhinaus müssen selbst kleinste Störungen durch bewegliche Teile, plötzliche Entspannung von Bauteilen aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnung, induktiver elektromagnetischer Kräfte sowie Gas- und Flüssigkeitsströmungen vollständig beseitigt oder minimal gehalten werden. Weiterhin wird eine umfassende Testserie an den elektronischen Bauteilen und den Isolationsschichten durchgeführt, um potenzielle Störquellen aufzudecken, die ebenfalls einen Effekt auf die Gravitationsmessung haben könnten.



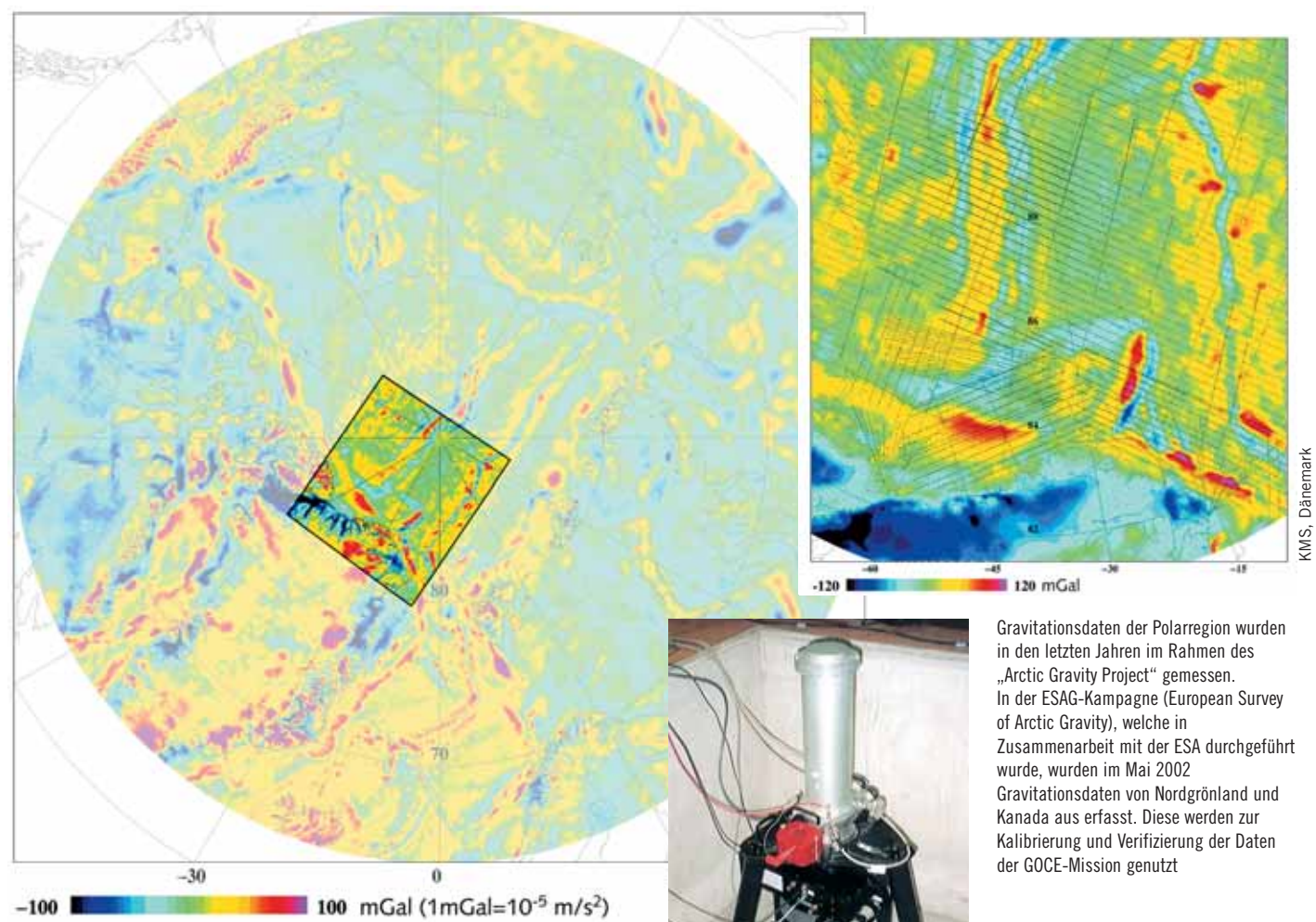
- 1 Starres Sonnensegel
- 2 Solarzellen am Satelliten
- 3 Stabilisierender Heckflügel
- 4 Gradiometer
- 5 Ionenantrieb
- 6 S-Band Antenne
- 7 GPS Antenne

### Trägerrakete

GOCE wird mit einer der modifizierten russischen Interkontinentalraketen (SS-19) in die Umlaufbahn gebracht. Diese waren im Rahmen des Abrüstungsabkommens „START“ (Strategic Arms Reduction Treaty) zwischen den Vereinigten Staaten und der Sowjetunion außer Betrieb genommen worden. Die umgebaute SS-19 Rakete, genannt „Rockot“, benutzt für die beiden unteren Raketentufen die originalen SS-19 Flüssigkeitsantriebe, die eine Vielzahl von erfolgreichen Flügen aufweisen können, in Kombination mit einer dritten neuen Stufe, die für kommerzielle Nutzlasten eingesetzt wird. Rockot wird durch EUROCKOT betrieben, ein gemeinsames Unternehmen von Deutschland und Russland. Gestartet wird vom Weltraumbahnhof Plesetsk in Nordrussland.



# Von Newton zu GOCE



Unser heutiges Wissen über Gravitation basiert auf Isaac Newton's *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* von 1687. In den letzten 300 Jahren wurden viele Instrumente entwickelt und Experimente zur Beobachtung lokaler, regionaler und globaler Charakteristika der Gravitation durchgeführt. Bis vor ein paar Jahrzehnten wurden Veränderungen in der Gravitation überwiegend anhand von Relativmessungen erfasst. Erst in jüngerer Zeit wurden hochpräzise „Absolut-Gravimeter“ entwickelt. Diese basieren auf dem Prinzip der genauen Messung der Zeitdauer, die ein Objekt für den freien Fall durch ein Rohr benötigt. Heute ist eine Messgenauigkeit von 0,000000005 g ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ) möglich. Die Kombination beider Methoden, Relativmessung und Absolutmessung, erlaubt eine hochgenaue Beobachtung der Gravitation in unterschiedlichen Regionen. Die Gebiete, die besonders im Fokus der Messungen standen, dienen auch der Validierung der Messdaten aus der GOCE-Mission. Newton's Theorie besagt unter anderem, dass sich jeder Satellit in der Erdumlaufbahn im freien Fall befindet. Die

Gravitationsdaten der Polarregion wurden in den letzten Jahren im Rahmen des „Arctic Gravity Project“ gemessen. In der ESAG-Kampagne (European Survey of Arctic Gravity), welche in Zusammenarbeit mit der ESA durchgeführt wurde, wurden im Mai 2002 Gravitationsdaten von Nordgrönland und Kanada aus erfasst. Diese werden zur Kalibrierung und Verifizierung der Daten der GOCE-Mission genutzt

Gravimeter für Absolutwertmessungen im freien Fall über etwa 1,5 m (FG5)

herkömmliche Technik, die Gravitation aus der Bahn von Satelliten zu berechnen, führte zunächst auf die Entwicklung eines langwelligen Modells des Gravitationsfeldes. In den frühen 1960er Jahren wurde dann das Konzept des so genannten „satellite-to-satellite tracking“ entwickelt. Es basiert auf der permanenten Messung der gegenseitigen Distanz zweier Satelliten, die sich durch verschiedene Bereiche des Gravitationsfeldes bewegen. Durch die unterschiedlich große Beschleunigung, die die Satelliten im Gravitationsfeld erfahren, variiert dieser Abstand, woraus sich die Gravitation ableiten lässt. Das Konzept der Gradiometrie folgte bald: Es beinhaltet die Analyse der Beschleunigungsdifferenzen von Prüfmassen, die sich alle auf dem gleichen Satelliten befinden. Das Prinzip des GOCE-Gradiometers

geht auf Loránd Eötvös (1848-1918) zurück. Er entwickelte die Torsionswaage, mit der die Beobachtung des lokalen horizontalen Gravitationsgradienten möglich ist. CHAMP, ein deutscher Satellit, der im Jahr 2000 gestartet wurde, nutzt das Konzept des „satellite-to-satellite tracking“ zwischen einem Satelliten in einer niedrigen (ca. 400 km) und einem GPS-Satelliten in einer hohen (ca. 20.000 km) Umlaufbahn. Dies hat zu einer bemerkenswerten Verbesserung des globalen Gravitationsmodells mit einer räumlichen Auflösung von einigen tausend km geführt. Insbesondere wurden die Modelle über den Polarregionen signifikant verbessert, eine Region die im Allgemeinen schwer zugänglich ist.

GRACE, eine amerikanisch-deutsche Satellitenmission, gestartet 2002, nutzt das „satellite-to-satellite tracking“ zwischen zwei niedrig fliegenden Satelliten mit einem gegenseitigen Abstand von etwa

200 km in einer Höhe von circa 400 km. Zusätzlich empfangen beide Satelliten GPS-Signale. Wie auch bei CHAMP werden Kräfte, die nicht auf die Erdgravitation zurückzuführen sind, mit Mikro-Beschleunigungsmessern erfasst. In der GRACE-Mission werden monatliche Änderungen des Gravitationsfeldes mit einer sehr hohen Genauigkeit und einer räumlichen Auflösung von 600-1000 km gemessen.

GOCE nutzt eine Kombination aus den Prinzipien der Gradiometrie und des „satellite-to-satellite tracking“ relativ zu GPS-Satelliten. Die mit GOCE erfassten Daten werden ein in seiner Genauigkeit bisher noch nicht da gewesenes Modell des Gravitationsfeldes der Erde liefern. Der GOCE-Satellit ist eine ideale Ergänzung zu den oben erwähnten Missionen, da mit ihm die räumliche Auflösung bis zu 100 km abermals deutlich verbessert werden kann.





# GOCE Überblick

## GOCE Mission

Die „Gravity field and Steady-State Ocean Circulation Explorer“ (GOCE) Mission wird hochgenaue Daten über das Gravitationsfeld der Erde liefern und die Erstellung von sehr genauen Modellen des Geoids der Erde ermöglichen. Das Geoid (eine Fläche gleichen Schwerepotenzials entlang eines hypothetischen ruhenden Ozeans) dient als klassische Referenz für die Beschreibung aller topographischen Eigenschaften der Erdoberfläche. Seine genaue Bestimmung ist besonders für Vermessungswesen, Geodäsie, Erforschung der Prozesse im Erdinneren, sowie Ozeanzirkulation, Eismassenvariationen und Meeresspiegeländerungen wichtig.

GOCE wurde 1999 als eine der Kern-Missionen der „Earth Explorer“ im „Living Planet Programme“ der ESA ausgewählt.

## Missionsziele

- Bestimmung von Anomalien im Gravitationsfeld mit einer Genauigkeit von 1 mGal ( $1\text{mGal} = 10^{-5} \text{ms}^{-2}$ )
- Bestimmung des Geoids mit einer Genauigkeit von 1-2 cm
- Erreichung einer räumlichen Auflösung von weniger als 100 km

## Missionsdetails

Start: 2007

Missionsdauer: Geplant für 20 Monate, inklusive einer 3-monatigen Phase zur Inbetriebnahme und Kalibrierung sowie zwei Messphasen mit einer jeweiligen Dauer von 6 Monaten, unterbrochen durch eine sogenannte "Schlafphase", in der der Satellit eine Ruhepause hat, weil er sich im Erdschatten befindet.

## Umlaufbahn

Sonnensynchron (immer die gleiche Seite der Sonne zugewandt), fast kreisförmig

Inklination  $96,5^\circ$

Orbithöhe circa 250 km

Höhe während der Schlafphase 270 km

## Konfiguration

Stabile Struktur mit fest installierten Sonnensegeln, keine beweglichen Teile.

Oktogonaler Rumpf mit einem Durchmesser von ca. 1 m und einer Länge von 5 m. Der Querschnitt in Flugrichtung ist minimiert, um den Luftwiderstand gering zu halten. Flügel am Rumpfende dienen der zusätzlichen Stabilisierung.

## Nutzlast

- Gradiometer; 3 Paare (auf drei Achsen) von servo-gesteuerten, kapazitiven Beschleunigungsmessern im Abstand von je circa 0,5 m
- 12-Kanal geodätischer GPS-Empfänger
- Laser-Retroreflektor zur Entfernungsmessung über Bodenstationen mittels Laser

## Satellit Lagekontrolle

- 3-achsig stabilisiert
- Kompensationssystem für nicht-gravitative Störkräfte und Lage-Kontrollsystem mit:
  - Aktuatoren – einem Ionen-Antriebs-System (Xenon-Treibstoff) und Magnetfeldresonanzspulen
  - Sensoren – Sternsensoren, 3-Achsen-Magnetometer, digitaler Sonnensensor und grober Sonnen-/Erdsensor
- Kaltgasdüsen für Kalibration

## Wichtigste Kenngrößen

Masse: <1100 kg (inklusive 40 kg Xenon Brennstoff)

Elektrische Leistung: 1300 W (Ausgangsleistung der Solarzellen), inklusive einer 78 AH Li-Ionen-Batterie zur Stromspeicherung

Telemetrie und Fernsteuerung: S-Band (4kbit/s für Steuerbefehle; 850 kbit/s für Datenkommunikation)

## Trägerrakete

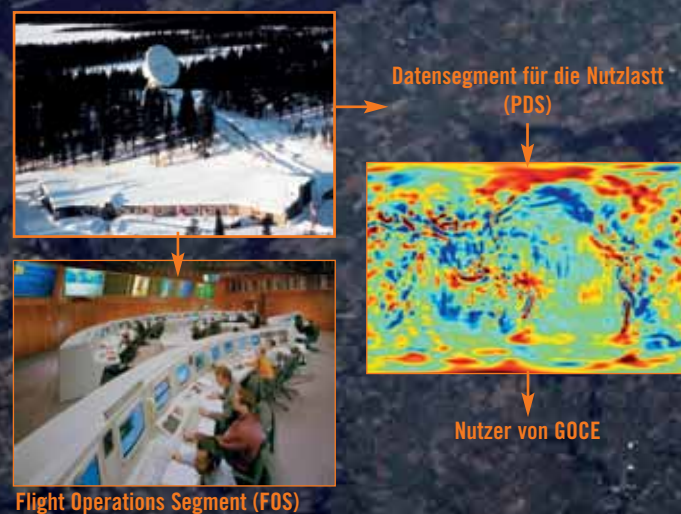
Rockot (umgebaute SS-19), Start in Plesetsk, Russland

## Flugbetrieb

Missionskontrolle vom European Space Operations Centre (ESOC, Darmstadt) aus über die Bodenstation in Kiruna, Nordschweden.

## Vertragspartner

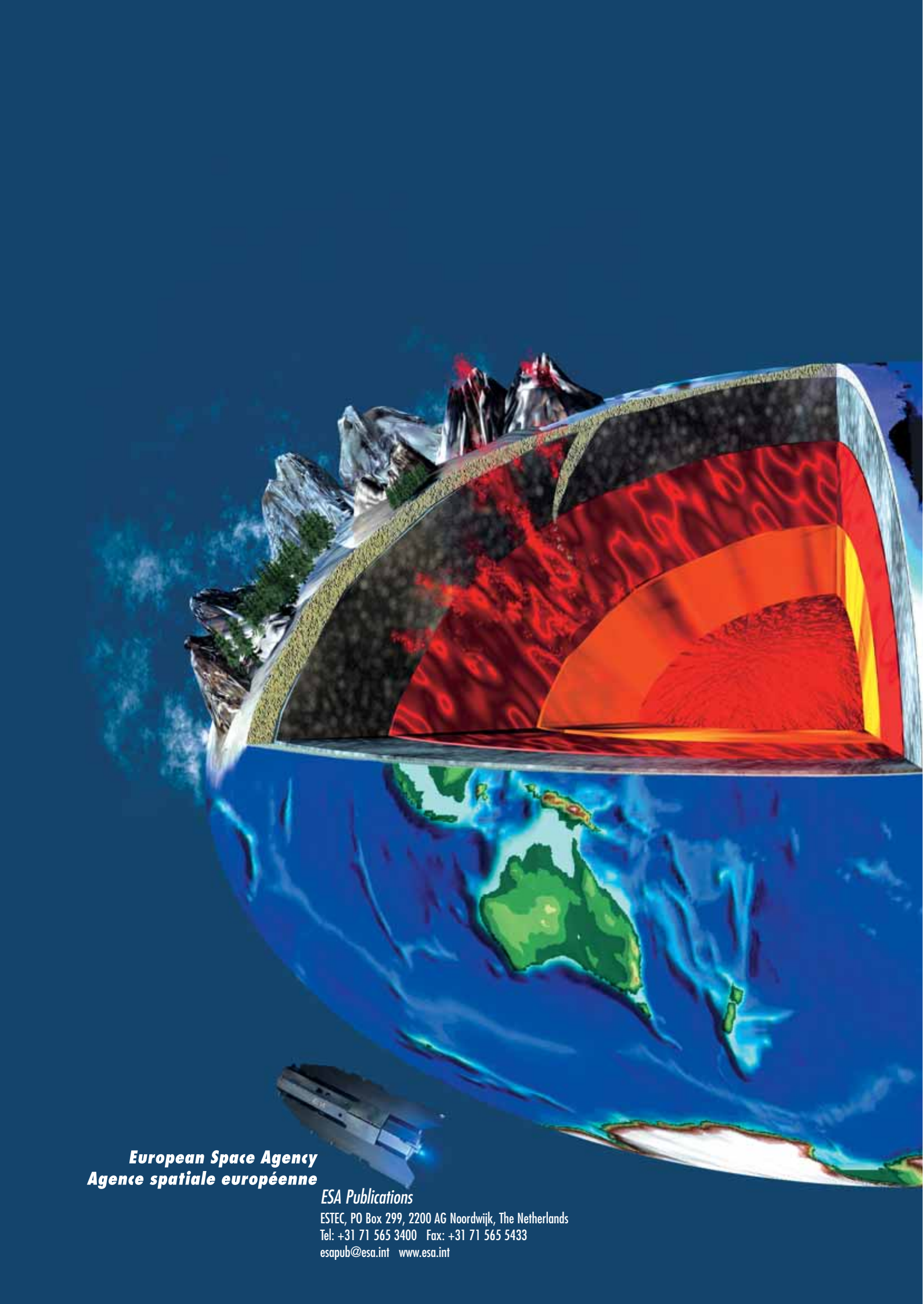
- Alcatel Alenia Space, Turin (Satellit)
- EADS Astrium GmbH (Plattform)
- Alcatel Alenia Space, Cannes (Gradiometer)
- ONERA (Beschleunigungsmesser & Systemunterstützung)



Die GOCE-Mission benötigt nur eine einzige Bodenstation in Kiruna (Schweden) für den Austausch von Steuerbefehlen und Daten. Der Satellit wird durch das Flugbetriebssegment FOS (Flight Operations Segment) beobachtet und kontrolliert. Das FOS erzeugt und sendet Befehle zur Steuerung des Satelliten über die Bodenstation Kiruna. Weiterhin verarbeitet es die gewonnenen Zusatzdaten, die Auskunft über den Zustand der Plattform und der Instrumente geben. Die Erzeugung der wissenschaftlichen Level 1b Produkte der GOCE-Mission übernimmt das so genannte „Payload Data Segment“ PDS, welches auch wissenschaftliche Daten über Kiruna empfängt. Die Level 2 Produkte, d.h. Gravitationsfeld-Modelle und die genaue Umlaufbahn von GOCE, werden durch ein Europäisches Konsortium von zehn wissenschaftlichen Instituten, der so genannten „High-Level Processing Facility“, HPF, übernommen. HPF ist spezialisiert auf die komplexe Prozessierung der GOCE Level 1b Daten. Die Endprodukte werden an die GOCE Nutzergemeinschaft weitergegeben, um diese für ihre jeweiligen Anwendungen weiter zu nutzen.







**European Space Agency**  
**Agence spatiale européenne**

*ESA Publications*

ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands  
Tel: +31 71 565 3400 Fax: +31 71 565 5433  
esapub@esa.int www.esa.int