



## GOCE-Schwerfeldmodellierung an der TU Graz

*Roland Pail, Hans Sünkel, Graz*

### Kurzfassung

GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) ist eine Satellitenmission des erdwissenschaftlichen "Living Planet"-Programms der europäischen Weltraumagentur ESA. Ziel dieser Mission ist die Bestimmung eines hochauflösenden Modells des Schwerfeldes der Erde mit bisher unerreichter Genauigkeit. Der Satellit wurde am 17. März 2009 erfolgreich in seine Umlaufbahn gebracht. Informationen über das Erdschwerfeld bilden die Basis für Anwendungen in den Bereichen Geophysik, Ozeanografie, Geodäsie, Eismassen- und Klimaforschung, uvm. Die wissenschaftliche Datenauswertung und Schwerfeldmodellierung wird im Auftrag der ESA von einem Konsortium aus 10 europäischen Universitäten und Forschungseinrichtungen im Rahmen des Projektes „GOCE High-Level Processing Facility (HPF)“ durchgeführt. Die TU Graz ist im Rahmen dieses Projekts für die Berechnung von globalen Schwerfeldmodellen aus GOCE-Orbit- und Gradiometriedaten hauptverantwortlich. In dieser Arbeit wird das an der TU Graz installierte Software-System vorgestellt und dessen Aufgaben anhand einer numerischen Fallstudie demonstriert. Weiters wird über den aktuellen Status der GOCE-Mission berichtet.

**Schlüsselwörter:** Erdschwerfeld, GOCE-Satellit, Gravitations-Gradiometrie, Schwerfeldmodellierung

### Abstract

The dedicated satellite gravity mission GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) is the first Earth Explorer Core Mission in the context of ESA's Living Planet programme. It strives for a high-resolution global model of the Earth's static gravity field with unprecedented accuracy. The satellite was successfully launched on March 17, 2009. Gravity field information is applied in many geoscientific disciplines, such as geophysics, oceanography, geodesy, cryospheric and climate research, etc. The scientific data processing and gravity field modelling is performed by a consortium of 10 European universities and research institutes in the frame of the ESA project "GOCE High-Level Processing Facility (HPF)". In this context, Graz University of Technology is responsible for the computation of global gravity field models from GOCE orbit and gradiometry data. In this paper the software system, which has been installed at TU Graz during the development phase of HPF, is presented, and its main tasks are demonstrated on the basis of a numerical case study. Additionally, a brief report on the current status of the GOCE mission is given.

**Keywords:** Earth's gravity field, GOCE satellite, gravity gradiometry, gravity field modelling

### 1. ESA-Mission GOCE

GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer; Abb. 1) ist eine Satellitenmission des erdwissenschaftlichen "Living Planet"-Programms der europäischen Weltraumagentur ESA ([3]). Ziel dieser Mission ist die Bestimmung eines hochauflösenden Modells des Schwerfeldes der Erde mit bisher unerreichter Genauigkeit. Der Satellit wurde am 17. März 2009 um 15:21 MEZ vom Weltraumbahnhof Pleseck (Russland) erfolgreich in seine Umlaufbahn gebracht. (Abb. 1)

GOCE basiert auf einem Sensorfusionskonzept. Das Hauptinstrument des GOCE-Satelliten ist ein Gravitations-Gradiometer (Abb. 2, links), das weltweit erstmals eingesetzt wird. Dieses bildet gemeinsam mit einer kontinuierlichen, zentimetergenauen GPS-Ortung (Abb. 2, rechts) mit einer 3D-Positionengenauigkeit von 3 cm, sowie einer aktiven Lagekontrolle des Satelliten ein in-

tegriertes System höchster Sensitivität. Während aus den Daten der GPS-Bahnbestimmung (satellite-to-satellite tracking in high-low mode; hl-SST) die langwelligen Anteile des Schwerfeldes bestimmt werden können, werden mittels des Verfahrens der Satelliten-Gradiometrie (SGG) die mittel- bis hochfrequenten Anteile des Erdschwerfeldes gemessen. Die aktive Kompensation des auf den Satelliten wirkenden Luftwiderstands mittels Ionenstrahltriebwerken ermöglicht eine extrem niedrige Flughöhe von nur ca. 260 km und damit eine Messung möglichst nahe am Untersuchungsobjekt Erde, was die hohe räumliche Auflösung der Detailstrukturen des Erdschwerfeldes ermöglicht. (Abb. 2)

Informationen über das Erdschwerfeld bilden die Basis für Anwendungen in den Bereichen Geophysik, Ozeanografie, Geodäsie, Eismassen- und Klimaforschung, etc. Die GOCE-Daten liefern einen detaillierten Blick ins Erdinnere und tragen so

zum besseren Verständnis von geodynamischen Prozessen, die u. a. für Erdbeben und Vulkanismus verantwortlich sind, bei. Weiters ermöglichen sie die Erfassung von globalen Ozeanzirkulationssystemen, die neben der Atmosphäre einen großen Teil des Wärme- und Energieaustauschs auf unserer Erde bewerkstelligen, und von Meeresspiegeländerungen als Resultat z. B. von Abschmelzvorgängen großer Eismassen. Damit liefert GOCE wichtige Beiträge zur Erdsystem- und Klimaforschung. Daneben tragen GOCE-Schwerefeldmodelle zur weltweiten Vereinheitlichung von globalen Höhensystemen bei.

## 2. GOCE HPF

Die wissenschaftliche Datenauswertung und Schwerfeldmodellierung wird im Auftrag der ESA von einem Konsortium aus 10 europäischen Universitäten und Forschungseinrichtungen im Rahmen des Projektes „GOCE High-Level Processing Facility (HPF)“ durchgeführt ([14]). Pro-

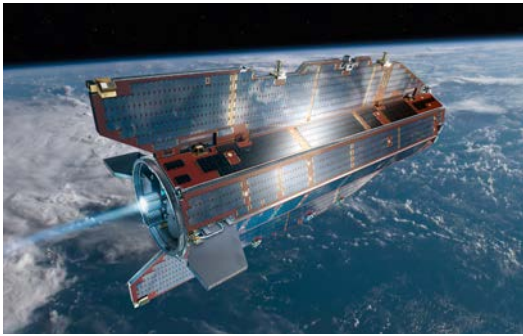


Abb. 1: GOCE-Satellit in seiner Umlaufbahn um die Erde (Quelle: AOES Medialab).

jektpartner der TU Graz in diesem „European GOCE Gravity Consortium“ (EGG-C) sind: TU München, SRON National Institute of Space Research, GFZ Potsdam, CNES, TU Delft, Politecnico di Milano, Universität Bern, Universität Bonn, Universität Kopenhagen. Im Rahmen von GOCE HPF ist die sogenannte „Sub-Processing Facility (SPF) 6000“, eine Kooperation von TU Graz (Leitung) und der Partnerinstitutionen Österreichische Akademie der Wissenschaften, Universität Bonn und TU München für die Berechnung eines hoch genauen, hoch auflösenden Schwerfeldmodells aus GOCE Orbit- und Gradiometriedaten verantwortlich.

In der ersten Projektphase wurde das Software-System entwickelt, integriert und umfangreichen Tests im Rahmen von jährlichen ESA „Acceptance Reviews“ unterzogen. Diese Arbeiten wurden im April 2004 begonnen und im Jahr 2008 erfolgreich abgeschlossen. Die operationelle Auswertung der GOCE-Daten beginnt Anfang September 2009 und wird bis mindestens 2011 andauern.

## 3. GOCE-Schwerefeldprozessierung

Während der mindestens zwei GOCE-Messphasen wird eine große Datenmenge von mehreren hundert Millionen Orbit- und Gradiometriedaten erfasst werden. Das mathematische Modell für die Parametrisierung des globalen Erdschwerefeldes basiert auf einer Reihenentwicklung in sphärische harmonische Funktionen. Das Gravitationspotential  $V$  kann in einem sphärischen Koordinatensystem  $(r, \vartheta, \lambda)$  dargestellt werden als ([4]):

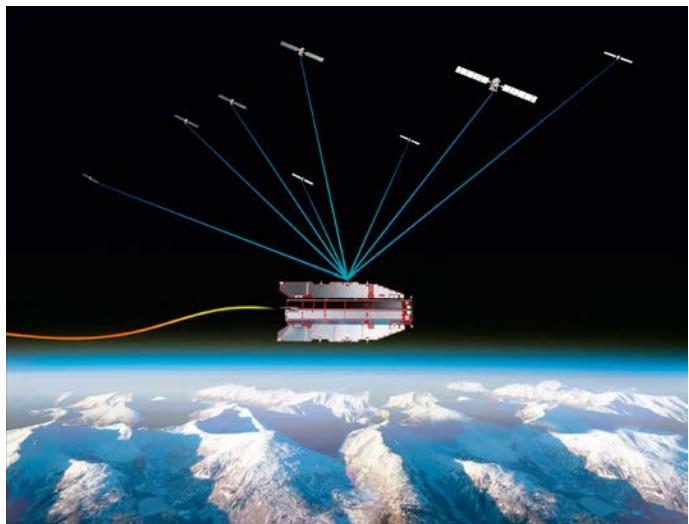
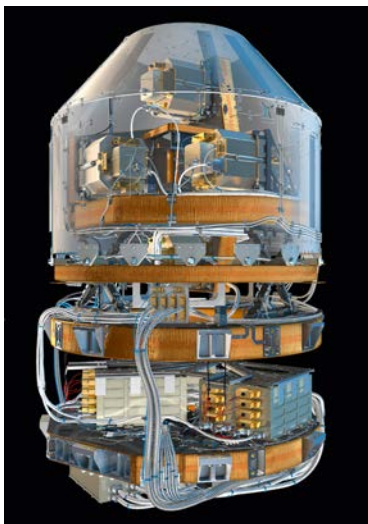


Abb. 2: links: Gravitations-Gradiometer; rechts: Positionsbestimmung mittels GPS (Quelle: AOES Medialab).

$$V(r, \vartheta, \lambda) = \frac{GM}{R} \sum_{l=0}^{l_{\max}} \left(\frac{R}{r}\right)^{l+1} \sum_{m=0}^l \bar{P}_{lm}(\cos \vartheta) \cdot [\bar{C}_{lm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{lm} \sin(m\lambda)] \quad (1)$$

G ist die Gravitationskonstante, M und R sind Masse und Referenzradius der Erde,  $\bar{P}_{lm}$  sind die vollständig normierten Legendre-Polynome von Grad  $l$  und Ordnung  $m$ , und  $\{\bar{C}_{lm}, \bar{S}_{lm}\}$  die zugehörigen harmonischen Koeffizienten der Reihenentwicklung. Das GOCE-Gradiometer misst 2. Ableitungen des Gravitationspotentials  $V_{ij} = \frac{\partial^2 V}{\partial x_i \partial x_j}$  nach beliebigen Raumrichtungen  $x_i, x_j$ , wobei das Koordinatensystem sich nach dem lokalen System des Gradiometers orientiert.

Im Falle einer maximalen Auflösung dieser Reihenentwicklung von Grad/Ordnung  $l_{\max} = 250$  ergeben sich ca. 63000 zu bestimmende Parameter  $\{\bar{C}_{lm}, \bar{S}_{lm}\}$ . Die Berechnung dieser Koeffizienten aus der oben erwähnten riesigen

Datenmenge ist ein sowohl numerisch als auch rechentechnisch höchst anspruchsvolles Problem. Es erfordert den Einsatz effizienter Prozessierungsstrategien, um die dabei auftretenden sehr großen Gleichungssysteme zu lösen. Während der letzten Jahre wurden unterschiedliche Lösungsansätze entwickelt, z. B. [5], [9], [11], [12], [13], [15]. Ausgewählte Lösungsansätze sind in der SPF6000 integriert.

Abbildung 3 zeigt die modulare Architektur, die Hauptkomponenten, den Produktfluss durch das SPF6000-System, sowie die wichtigsten Produkte. Der Datentransfer zwischen SPF6000 und dem zentralen HPF-Datenserver CPF wurde mittels automatisierter Schnittstellen realisiert. Für den Datenfluss innerhalb des SPF6000 dient ein lokaler Datenserver mit zentraler Zugriffsmöglichkeit aller beteiligten Workstations.

Das Softwaresystem besteht aus zwei Hauptkomponenten:

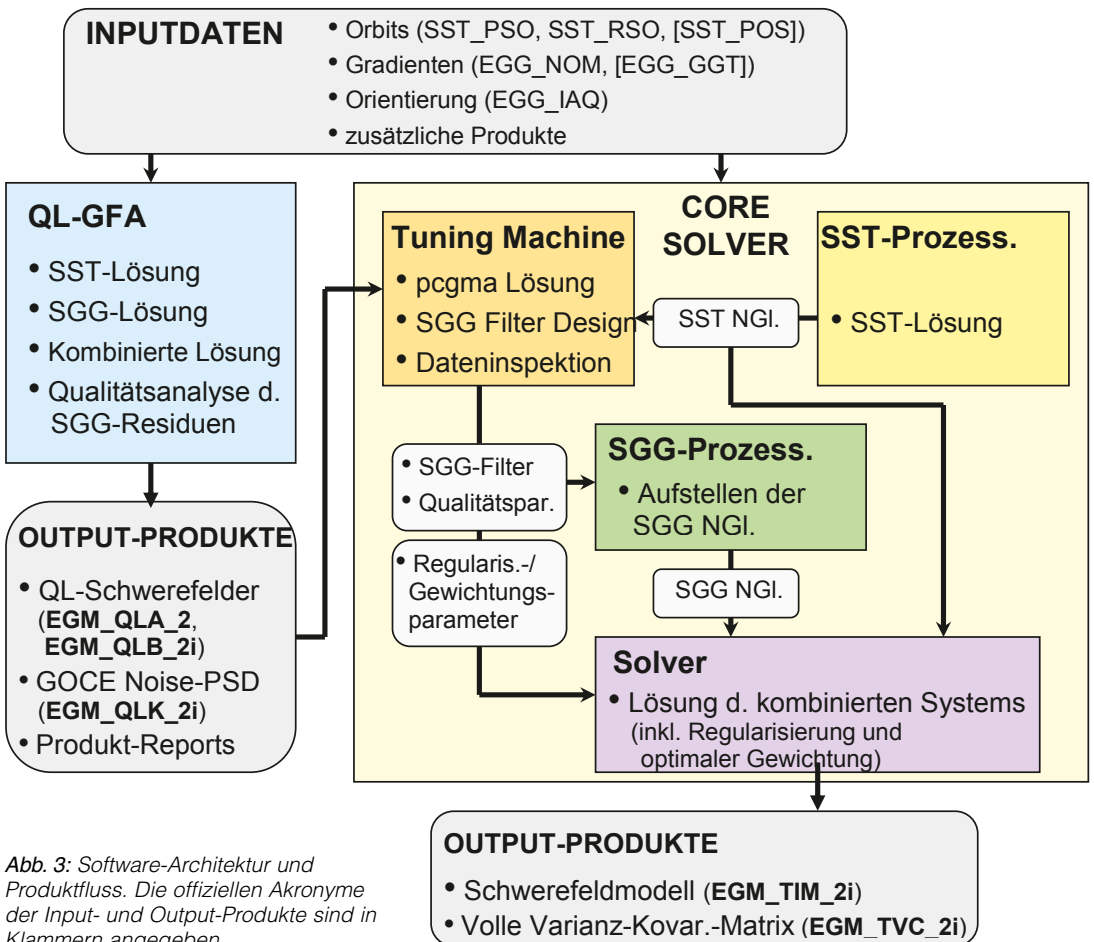


Abb. 3: Software-Architektur und Produktfluss. Die offiziellen Akronyme der Input- und Output-Produkte sind in Klammern angegeben.

- Core Solver: strenge Lösung der großen Normalgleichungssysteme unter Anwendung von parallelen Prozessierungsstrategien auf PC-Clusternsystemen;
- Quick-Look Gravity Field Analysis: schnelle Näherungslösungen, die schon parallel zur Mission berechnet werden und zur GOCE-Systemdiagnose und Qualitätskontrolle der GOCE-Beobachtungen dienen.

### 3.1 Core Solver

Das Hauptziel des Core Solvers ist die Berechnung eines hochauflösenden sphärischen harmonischen Erdschwerefeldmodells aus GOCE SST- und SGG-Beobachtungen. Die Parametrisierung soll zumindest bis Grad/Ordnung 200 (ca. 40000 Parameter) erfolgen, je nach Güte vor allem der SGG-Beobachtungen wird jedoch eine maximale Auflösung von zumindest Grad/Ordnung 250 (ca. 63000 Parameter) angestrebt.

Die Schwerefeldberechnung aus der GPS-Orbitinformation (SST-Prozessor) basiert auf dem Prinzip der Energieerhaltung in einem abgeschlossenen System ([1]). Der SGG-Prozessor stellt die vollen Normalgleichungssysteme basierend auf den Gradiometer-Beobachtungen auf und nutzt dabei die Rechen- und Speicherkapazitäten eines Linux-PC-Clusters (z.B. [12]). Die für eine hochgenaue Schwerefeldlösung essentielle Problematik der Behandlung des farbigen Rauschens des Gradiometers wird mittels rekursiver Filterprozesse im Zeitbereich gelöst ([15]). Letztlich werden die SST- und SGG-Normalgleichungen durch Addition kombiniert, wobei Gewichtungstrategien basierend auf der Varianzkomponentenschätzung ([6]) zur Berechnung der optimalen Gewichte der einzelnen Komponenten eingesetzt werden.

Die eigentliche Lösung des kombinierten Normalgleichungssystems erfolgt durch eine parallelisierte Cholesky-Reduktion. Die Instabilität der Normalgleichungen aufgrund der speziellen GOCE-Konfiguration eines sonnensynchronen Orbits (und damit nicht mit Messungen überdeckter Polkappen) können mittels maßgeschneiderter Regularisierungsmethoden ([8]) reduziert werden. Zusätzlich zur Lösung der Schwerefeld-Koeffizienten wird durch strenge Inversion des Gesamtsystems die volle Varianz-Kovarianz-Matrix als statistische Information der Ungenauigkeiten der geschätzten Koeffizienten berechnet. Die Bereitstellung dieser Kovarianzinformation, die für viele Schwerefeld-Anwendungen von essenzieller Bedeutung ist, war bei derzeit verfügbaren Schwerefeldmodellen bis-

lang unüblich, wird im Falle von GOCE jedoch realisiert.

### 3.2 Quick-Look Gravity Field Analysis

Hauptaufgaben der Quick-Look Gravity Field Analysis (QL-GFA) sind:

- Überprüfung der SGG- und SST-Daten während der Mission.
- Berechnung von schnellen Schwerefeldlösungen (Einzellösungen aus SGG bzw. SST, sowie kombinierte Lösung), mit dem Ziel, die Inputdaten auf der Basis einer daraus abgeleiteten Schwerefeldlösung zu validieren. Zusätzlich werden die resultierenden Schwerefeldlösungen statistisch gegen externe Referenzmodelle getestet.
- Analyse der Fehlercharakteristik des Gradiometers: Aus den Residuen der Schwerefeldlösung kann das Leistungsdichtespektrum des Gradiometer-Rauschens abgeschätzt werden (siehe auch: Abb. 4).
- Generierung von Testprotokollen, die wichtige Ergebnisse aus den oben genannten Tests zusammenfassen.

QL-GFA-Schwerefeldmodelle, aufgelöst z. B. bis Grad/Ordnung 250 (ca. 63000 Parameter), können innerhalb von 1 bis 2 Stunden auf einem handelsüblichen PC berechnet werden. Die Effizienz und hohe Geschwindigkeit von QL-GFA basiert hauptsächlich auf der Anwendung von FFT-Techniken (semi-analytischer Ansatz), der Annahme von blockdiagonalen Normalgleichungen und vereinfachten Filterstrategien, die im Frequenzbereich durchgeführt werden, um dem farbigen Rauschverhalten des Gradiometers Rechnung zu tragen. Fehlereinflüsse aufgrund von Abweichungen von diesen vereinfachenden Annahmen werden mit Hilfe einer iterativen Lösungsstrategie reduziert ([11]).

Details zu den einzelnen Berechnungsschritten und den dafür entwickelten Algorithmen sowie Referenzen zu weiterführender Literatur finden sich z.B. in [10].

### 4. Simulationsergebnisse

Wie in Abschnitt 2 beschrieben, wurden zur Validierung des operationellen HPF-Software-Systems in regelmäßigen Abständen offizielle Tests mit unabhängigen Testdaten durchgeführt. Die im Folgenden beschriebene numerische Studie basiert auf jenen Daten einer GOCE-Simulation der ESA ([2]), die ebenfalls für den offiziellen Abschlusstest der operationellen HPF-Software am Ende der HPF-Software-Entwicklungsphase

verwendet wurden. Der Testdatensatz umfasst Orbits, Gradienten, Lageinformation des Satelliten und weitere Hilfsprodukte für einen Zeitraum von 60 Tagen mit einer Abtastrate von 1 s. Die simulierten Orbits und Gradienten basieren auf dem Referenz-Schwerefeldmodell EGM96 ([7]). Alle Produkte enthalten realistisches Rauschen gemäß den jeweiligen Genauigkeits-Spezifikationen.

Die schwarze Kurve in Abb. 4 zeigt exemplarisch das frequenzabhängige Rauschverhalten des Gradiometers für die Komponente  $V_{xx}$  (zweifache Ableitung des Potentials  $V$  in Flugrichtung). Die rote Linie zeigt das in der Berechnung verwendete Filter zur Beschreibung der stochastischen Eigenschaften dieser Beobachtungen.

Nach Abarbeitung der gesamten Prozessierungskette (Abb. 3) resultiert ein globales

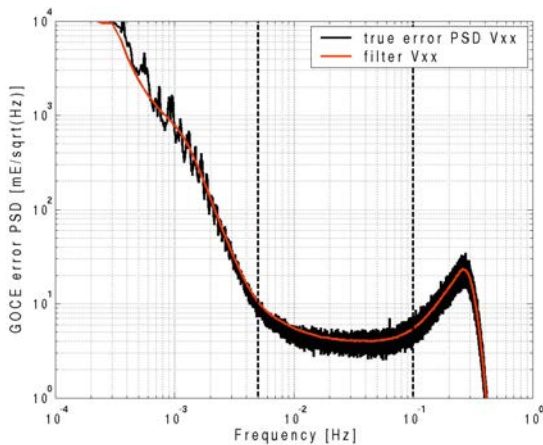


Abb. 4: Leistungsdichtespektrum des Gradiometerauschens der Komponente  $V_{xx}$ .

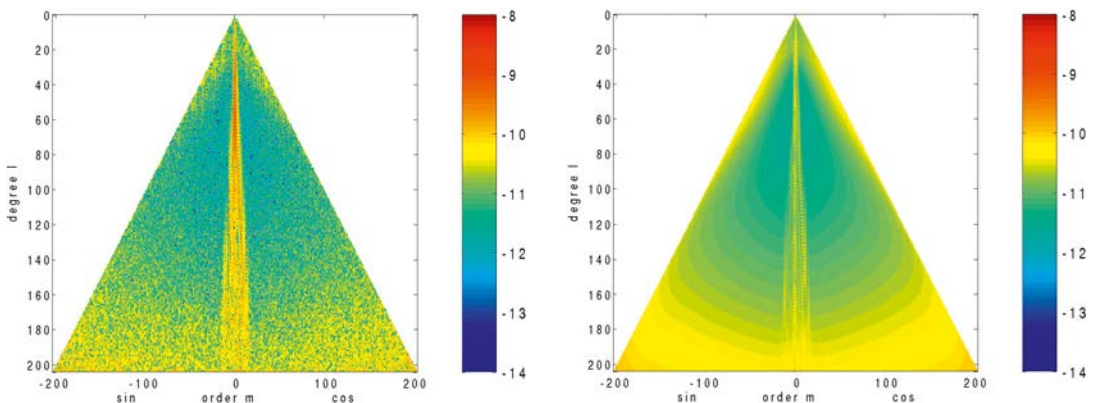


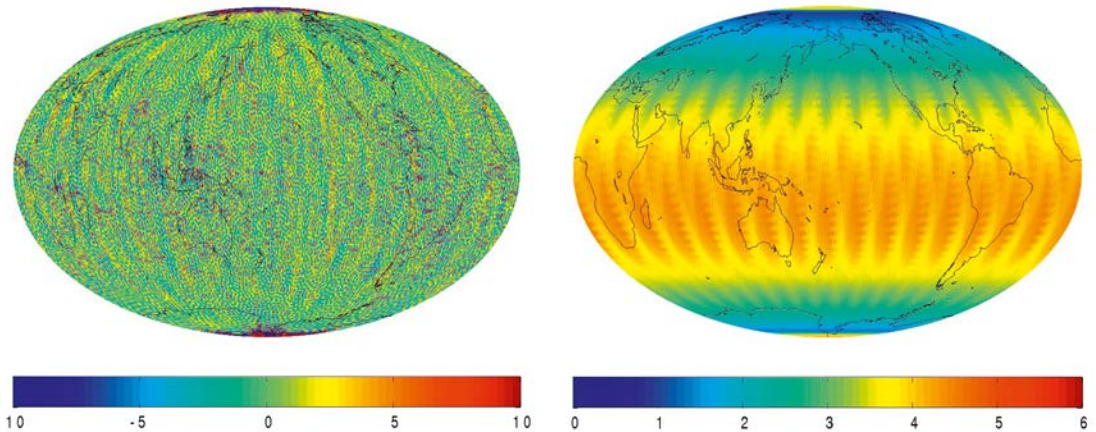
Abb. 5: Kombinierte Schwerefeldlösung: Koeffizienten-Differenzen zum Referenzmodell EGM96 (links) und Standardabweichungen (rechts). Skaliert in  $\log_{10}(\dots)$ .

Schwerefeldmodell als kombinierte, strenge Lösung, im gegebenen Fall parametrisiert durch harmonische Koeffizienten bis Grad/Ordnung 200. Die Berechnungszeit (Aufstellen und Lösen der Normalgleichungen) auf dem PC-Cluster betrug ca. 4 Tage. Abbildung 5 (links) zeigt die Abweichungen der geschätzten Koeffizienten vom Referenzmodell EGM96, sowie die zugehörigen geschätzten Standardabweichungen (rechts). Offensichtlich sind die absoluten Abweichungen und die zugehörigen Fehlerschätzungen konsistent, was auf eine sehr gute Modellierung der Stochastik der verwendeten Beobachtungen schließen lässt.

Basierend auf der Koeffizientenschätzung der kombinierten strengen Lösung bis Grad/Ordnung 200 wurde ein globales Feld von Geoidhöhen berechnet und mit dem „wahren Feld“ basierend auf dem Referenzmodell EGM96 verglichen. Abbildung 6 (links) zeigt dieses Differenzfeld.

Die Standardabweichung des Differenzfeldes im geographischen Bereich  $|\varphi| < 83,5^\circ$  beträgt für die Geoidhöhen  $\sigma_N = 3,5$  cm, und für die Schwereanomalien (keine Abb.)  $\sigma_{\Delta g} = 0,96$  mGal. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass diese Studie auf einem auf 2 Monate beschränkten Datenvolumen basiert, kann die für GOCE spezifizierte Genauigkeitsanforderung von 1-2 cm für die Geoidhöhe und 1 mGal für Schwereanomalien bei einer Auflösung von Grad/Ordnung 200 erreicht werden.

Neben der Koeffizientenschätzung ist auch die zugehörige volle Varianz-Kovarianzmatrix bis Grad/Ordnung 200 (ca. 20 GBytes in ASCII-Formatierung) Teil der Lösung. Um die Plausibilität dieses umfangreichen Produktes zu überprüfen,



**Abb. 6:** Kombinierte Schwerfeldlösung: Geoidhöhen-Differenzen [cm] zu EGM96 (links) und zugehörige Standardabweichungen [cm] (rechts), Grad/Ordnung 200.

wurde eine strenge Kovarianzfortpflanzung gerechnet, um als Ergebnis Varianzen bzw. Standardabweichungen von Geoidhöhen auf einem globalen Raster zu erhalten. Abbildung 6 (rechts) zeigt die Struktur dieses Feldes. Verglichen mit den absoluten Abweichungen in Abb. 6 (links) stimmt die statistische Fehlerschätzung sehr gut überein und demonstriert neuerlich die Konsistenz der Ergebnisse dieser numerischen Studie.

## 5. GOCE-Status und Ausblick

Am 17. März 2009 um 15:21 MEZ wurde der GOCE-Satellit vom Weltraumbahnhof Plesetsk (Russland) mit dem Trägersystem EUROCKOT erfolgreich in die Umlaufbahn gebracht (Abb. 7).

Etwa 90 Minuten nach dem Start erfolgte die erste Signalakquisition. Die Sensoren wurden schrittweise aktiviert: GPS-Empfänger und Sternensensor (zur Messung der Orientierung im



**Abb. 7:** Start der EUROCKOT mit GOCE an Board (Quelle: ESA).

Raum) am 19. März, das Ionenstrahltriebwerk am 6. April, sowie das Gradiometer-Instrument am 8. April. Am 12. Mai wurde erstmals der „drag-free mode“, also die perfekte Kompensation der von außen angreifenden nicht-konservativen Kräfte, erreicht.

Die Kommissionierungsphase der Mission wurde bereits erfolgreich abgeschlossen. Derzeit (Status: 31. Juli) befindet sich der Satellit noch in der Kalibrierungsphase. Erste Analysen des Orbits, der Beschleunigungs- und Gradiometrie-Zeitreihen lassen auf ein nominelles Verhalten der Messinstrumente schließen.

Abbildung 8 zeigt das Missionsszenario sowie die für die Schwerfeldmodellierung an der TU Graz relevanten Meilensteine.

Die erste operationelle Messphase (Measurement Operation Phase; MOP) beginnt Anfang September 2009 und wird bis Mitte April 2010 andauern. Während dieser Periode werden fortlaufend Quicklook-Schwerefeldlösungen gerechnet und zur GOCE-Systemvalidierung verwendet werden. Dasselbe gilt für die MOP2. Die Core-Solver-Prozessierung läuft natürlich auch schon während der MOP 1 an. Kombinierte GOCE-Schwerefeldmodelle (Gravity Models; GM) sind jeweils ca. 6 Monate nach Beendigung der jeweiligen MOP zu liefern.

## 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

In dieser Arbeit wird das an der TU Graz installierte Hardware- und Software-System zur operationellen Prozessierung von hochauflösenden Schwerfeldmodellen aus GOCE-Orbit- und Gradiometriedaten und dessen Integration in die europäische High-Level Processing Facility als Teil des GOCE Ground Segments vorgestellt.

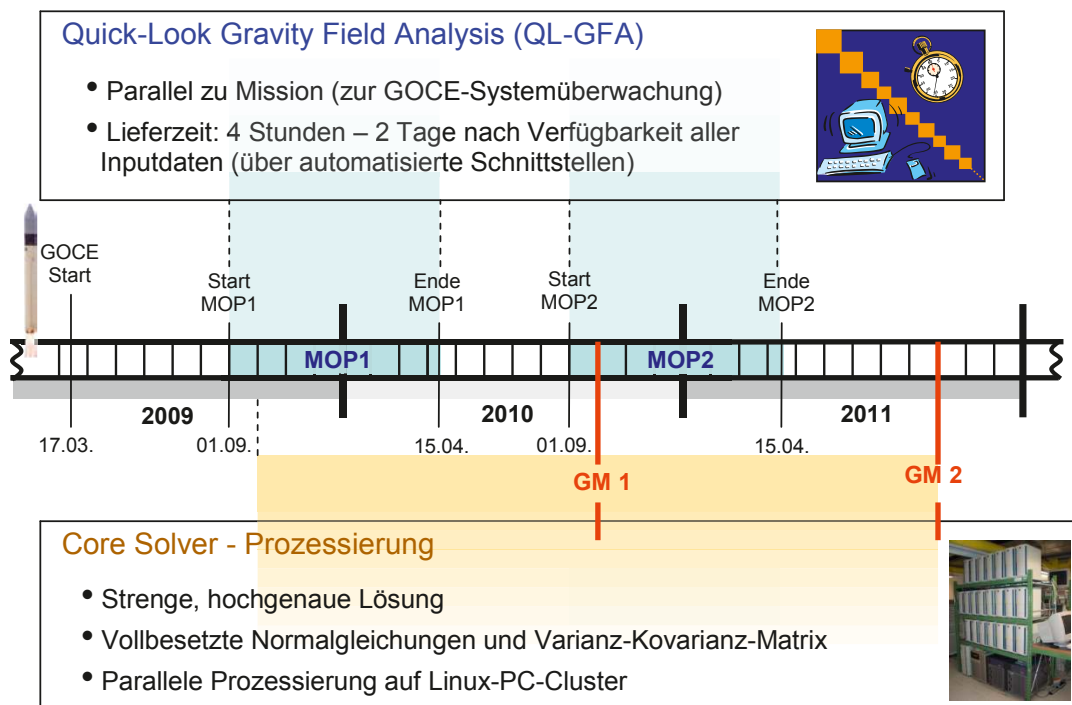


Abb. 8: Zeitlinie der GOCE-Prozessierung an der TU Graz und wichtige Meilensteine.

Dessen Funktionalität wird anhand einer numerischen Studie, basierend auf realistisch simulierten GOCE-Daten der ESA, demonstriert und diskutiert. Unter der Annahme eines nominellen Arbeitens der Messinstrumente können die für GOCE-Schwerfeldlösungen spezifizierten Genauigkeitsanforderungen von 1–2 cm für die Geoidhöhe und 1 mGal für die Schwerfeldanomalien bei einer räumlichen Auflösung von 100 km (Grad/Ordnung 200) erzielt werden.

Mittlerweile ist die Analyse der realen GOCE-Daten angelaufen, und erste Detailergebnisse sind sehr zufriedenstellend. Mit der Verfügbarkeit eines ersten GOCE-Schwerfeldmodells ist Mitte 2010 zu rechnen.

#### Danksagung

Wesentliche Teile dieser Studie wurden im Rahmen des ESA-Projektes „GOCE High-level Processing Facility“ (Kontrakt No. 18308/04/NL/MM) durchgeführt.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Badura, T., Sakulin, C., Gruber, C., Klostius, R.: Derivation of the CHAMP-only global gravity field model TUG-CHAMP04 applying the energy integral approach. *Stud. geophys. geod.*, 50, 59 – 74, 2006.
- [2] Catastini, G., Cesare, S., De Sanctis, S., Dumontel, M., Parisch, M., Sechi G.: Predictions of the GOCE in-flight performances with the end-to-end system simulator. In: 3<sup>rd</sup> GOCE User Workshop, 6-8 November 2006, Frascati, Italy, pp. 9-16, ESA SP-627.
- [3] European Space Agency: Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Mission. Reports for mission selection, The four candidate Earth explorer core missions. SP-1233(1), European Space Agency, Noordwijk, 1999.
- [4] Heiskanen, W. A., Moritz, H.: *Physical Geodesy*. Freeman, San Francisco, London, 1967.
- [5] Klees, R., Koop, R., Visser, P.N.A.M., van den Ijssel, J.: Efficient gravity field recovery from GOCE gravity gradient observations. *J. Geod.*, 74, 561-571, 2000.
- [6] Koch, K.-R., Kusche, J.: Regularization of geopotential determination from satellite data by variance components. *J. Geod.*, 76, 259-268, 2002.
- [7] Lemoine, F.G., Kenyon, S.C., Factor, J.K., Trimmer, R.G., Pavlis, N.K., Chinn, D.S., Cox, C.M., Klosko, S.M., Luthcke, S.B., Torrence, M.H., Wang, Y.M., Williamson, R.G., Pavlis, E.C., Rapp, R.H., Olson, T.R.: The Development of the Joint NASA GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96. National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 1998.
- [8] Metzler, B., Pail, R.: GOCE data processing: the Spherical Cap Regularization Approach. *Stud. Geophys. Geod.*, 49, 441-462, 2005.
- [9] Migliaccio, R., Reguzzoni, M., Sansó, F.: Spacewise approach to satellite gravity field determinations in the presence of coloured noise. *J. Geod.*, 78, 304 - 313, 2003.
- [10] Pail, R., Metzler, B., Lackner, B., Preimesberger, T., Höck, E., Schuh, W.-D., Alkathib, H., Boxhammer, Ch., Siemes, Ch., Wermuth, M.: GOCE gravity field analy-

sis in the framework of HPF: operational software system and simulation results. Proceedings 3<sup>rd</sup> GOCE User Workshop, Frascati, ESRIN, November 2006, SP-627, 249-256, European Space Agency, 2006.

[11] Pail, R., Metzler, B., Preimesberger, T., Lackner, B., Wermuth, M.: GOCE Quick-Look Gravity Field Analysis in the Framework of HPF. In: Proceedings 3<sup>rd</sup> GOCE User Workshop, ESRIN, Frascati, November 2006, SP-627, 325-332 European Space Agency, Noordwijk, 2007.

[12] Pail, R., Plank, G.: Assessment of three numerical solution strategies for gravity field recovery from GOCE satellite gravity gradiometry implemented on a parallel platform. *J. Geod.*, 76, 462 – 474, 2002.

[13] Rummel, R., van Gelderen, M., Koop, R., Schrama, E., Sansó, F., Brovelli, M., Migliaccio, F., Sacerdote, F.: Spherical harmonic analysis of satellite gradiometry. *Neth. Geod. Comm., Publications on Geodesy*, 39, Delft, The Netherlands, 1993.

[14] Rummel, R., Gruber, T., Koop, R.: High Level Processing Facility for GOCE: Products and Processing Strategy. In: Proceedings 2<sup>nd</sup> International GOCE User Workshop, Frascati, 2004.

[15] Schuh, W.-D.: Tailored Numerical Solution Strategies for the Global Determination of the Earth's Gravity Field. *Mitteilungen geod. Inst. TU Graz*, 81, Graz University of Technology, Graz, 1996.

**Anschrift der Autoren**

Ao.Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.techn. Roland Pail, Institut für Navigation und Satellitengeodäsie, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30/III, A-8010 Graz. E-mail: Roland.Pail@TUGraz.at

O.Univ.-Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn.HansSünkel, Rektor der Technischen Universität Graz, Rechbauerstraße 12/I, A-8010Graz. E-mail: Hans.Suenkel@TUGraz.at

**Vortragende**

**Rektor Univ.-Prof. Dr. Hans Sünkel**

- 1948 Rottenmann
- 1973 Graduierung zum Dipl.-Ing. (mit Auszeichnung)
- 1976 Promotion zum Dr.techn., TU Graz (mit Auszeichnung)
- 1981 Habilitation auf dem Gebiet der Numerischen Geodäsie, TU Graz
- 1983 O.Univ.-Prof. für Mathematische und Numerische Geodäsie und Leiter der Abteilung für Mathematische Geodäsie und Geoinformatik, TU Graz

seit 1990 Leiter der Abteilung für Satellitengeodäsie des Instituts für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW)

- 2000-2003 Vizerektor (Forschung) und stv. Rektor der Technischen Universität Graz
- 2001-2004 Direktor des Instituts für Weltraumforschung der ÖAW
- seit 2003 Rektor der TU Graz
- 2005-2010 Wiss. Direktor am Institut für Weltraumforschung der ÖAW

**Forschungsschwerpunkte:**

Mathematische und numerische Geodäsie, Statistische Verfahren in der Geodäsie, Dynamische Satellitengeodäsie, Satellitengestützte Erdschwerefeldbestimmung, Satellitengestützte Geodynamik

Mehr als 150 Publikationen und 250 wissenschaftliche Vorträge.

**Auszeichnungen:**

W.A. Heiskanen - Award, USA (1985), Fellow der Internationalen Assoziation für Geodäsie (1991), Großes Ehrenzeichen für Verdienste um die Republik Österreich (1992), Distinguished International Research Fellow Award, Kanada (1998), Ehrenbürger der Stadt Rottenmann (2001), Ehrenmitglied des Rotary-Club Liezen-Rottenmann (2002), Wilhelm-Exner-Medaille, Österreich (2003), Namensnennung des Kleinplaneten 1992 RY durch die Internationale Astronomische Union auf "Sünkel" (2006), Preis des Universitätsprofessorenverbandes für Universitätsorganisation (2006)

**Ao.Univ.-Prof. Dr. Roland Pail**

- 1972 Mariazell
- 1995 Magister der Naturwissenschaften (Geophysik), Universität Wien
- 1999 Doktorat an der TU Graz, Promotion sub auspiciis praesidentis
- 2002 Habilitation: Lehrbefugnis in Theoretischer Geodäsie, TU Graz

**Forschungsschwerpunkte:**

Satellitengeodäsie, Satellitengradiometrie, globale und regionale Erdschwerefeldbestimmung

Mehr als 65 Publikationen.

**Auszeichnungen:**

Josef-Krainer-Förderungspreis 2000, Allmer-Löschner-Preis der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK), Young Authors Award 2005 der International Association of Geodesy (IAG)