

Schwerefeldanalyse aus kinematischen CHAMP-Orbits

Martin Wermuth, Drazen Svehla, Christian Gerlach, Lorant Földvary, Thomas Gruber

Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, Technische Universität München

Das Schwerefeldmodell TUM-2S wurde rein aus GPS-Beobachtungen und Beschleunigungsmessungen an Bord des CHAMP-Satelliten berechnet, ohne dass Vorinformationen in die Berechnung eingeflossen sind. Die Berechnung besteht aus 4 grundlegenden Schritten und einer anschließenden Evaluierung:

1. Präzise kinematische Bahnbestimmung (POD)
2. Ableitung von kinematischen Geschwindigkeiten
3. Modellierung des Störpotenzials mit dem Energieerhaltungsansatz
4. Kleinste-Quadrate Ausgleichung der sphärisch harmonischen Schwerefeldkoeffizienten
5. Evaluierung mit externen Daten

Dazu wurden 2 Jahre an CHAMP-Beobachtungen von Tag 70/2002 bis Tag 70/2004 mit einer Abtastrate von 30s verwendet.

1. Kinematische Bahnbestimmung: Der kinematische CHAMP-Orbit wurde über einen „zero-difference“ Ansatz berechnet. Kinematische Bahnen haben gegenüber reduziert-dynamischen Bahnen den Nachteil, dass sie keine Geschwindigkeiten liefern. Diese sind essentiell für den Energieerhaltungsansatz und müssen deshalb aus den kinematischen Bahnen durch numerische Differentiation abgeleitet werden. Frühere Studien haben gezeigt, dass Geschwindigkeiten aus reduziert-dynamischen Bahnen wesentlich glatter sind als die aus kinematischen Bahnen abgeleiteten Geschwindigkeiten. Jedoch sind sie so von dem a priori Schwerefeldmodell, das zur reduziert-dynamischen Bahnbestimmung verwendet wurde, beeinflusst, dass die Schwerefeldlösung eine hohe Korrelation mit dem a priori Modell aufweist. Deshalb ist die kinematische Bahnbestimmung für die unabhängige Schwerefeldbestimmung mit dem Energieerhaltungsansatz vorzuziehen.

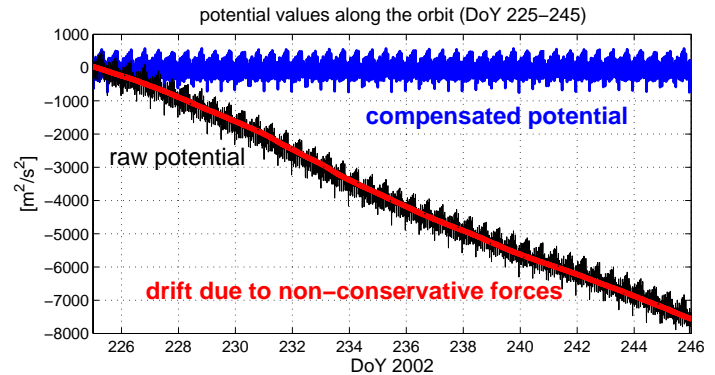
2. Kinematische Geschwindigkeitsableitung: Aus den kinematischen Bahnen wurden mit einer 7-Punkte Newton-Gregory Interpolation kinematische Geschwindigkeiten abgeleitet. Dies entspricht einem glättenden FIR-Filter 3. Ordnung:

$$\dot{\mathbf{x}}_i = \frac{1}{60} (-\mathbf{x}_{i-3} + 9\mathbf{x}_{i-2} - 45\mathbf{x}_{i-1} + 45\mathbf{x}_{i+1} - 9\mathbf{x}_{i+2} + \mathbf{x}_{i+3})$$

3. Schwerefeldmodellierung mit Energieerhaltungsansatz: Die Modellierung des Gravitationspotenzials entlang der Satellitenbahn basiert auf der Annahme des Energieerhaltungssatzes. Dieser besagt, dass in einem homogenen Potenzialfeld die Summe aus kinetischer und potenzieller Energie konstant ist. Für den CHAMP-Satelliten lässt sich die kinetische Energie einfach aus der Geschwindigkeit berechnen: $W_{kin} = \frac{1}{2} v^2$. Die potenzielle Energie setzt sich aus Normapotenzial und Störpotenzial zusammen. Da man am Störpotenzial T interessiert ist, muss das Normalpotenzial U von der kinetischen Energie abgezogen werden.

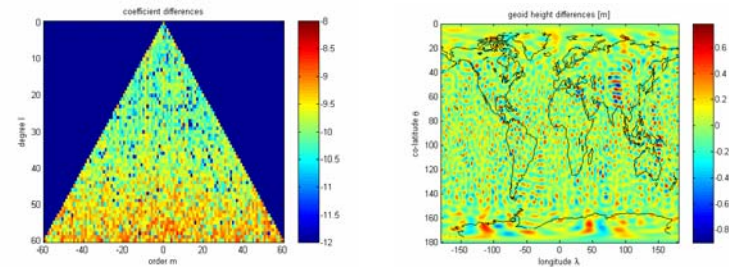
Die Bedingung des homogenen Potenzialfeldes ist jedoch beim CHAMP-Satelliten nicht erfüllt. Einerseits wirken Oberflächenkräfte wie Luftwiderstand oder Strahlungsdruck auf den Satelliten, andererseits bewegt er sich in einem sich mit der Zeit verändernden Potenzialfeld (z.B. durch Gezeiten). Die Beschleunigungen \mathbf{a}_p , die durch die Oberflächenkräfte verursacht werden, werden von dem Beschleunigungsmesser an Bord des Satelliten gemessen. Die Kräfte \mathbf{a}_t , die aus zeitlichen Veränderungen des Gravitationspotenzials resultieren, können aus Modellen berechnet werden. Aus beiden Beschleunigungen wird eine Korrektur für das Störpotenzial berechnet, indem man sie entlang der Satellitenbahn aufintegriert. Die unbekannte Konstante C kann zusammen mit langwelligen Störungen, die aus Fehlern des Beschleunigungsmessers stammen in einem Polynomapproximationsverfahren eliminiert werden.

$$T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{x}}^2 - U - \frac{1}{2} (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{x})^2 - \int_{\mathbf{x}} \mathbf{a}_f - \int_{\mathbf{x}} \mathbf{a}_t - C$$



Modellierung des Störpotenzials entlang der Bahn

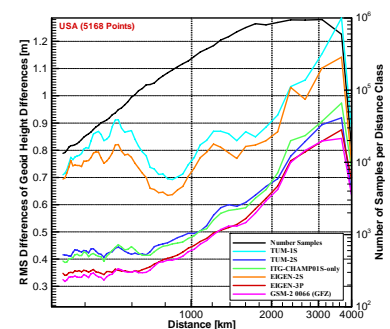
4. Kleinste-Quadrate Ausgleichung der Schwerefeldkoeffizienten: Die Zeitreihe der Störpotenzialwerte entlang der Satellitenbahn geht als Pseudobeobachtungen in die Ausgleichung ein. Die Standardabweichungen zeigen, dass die Koeffizienten nur bis ca. Grad 60 signifikant sind. Deshalb werden für die TUM-2S Lösung nur Koeffizienten bis Grad 60 verwendet. Die folgende Abbildung zeigt den Vergleich zum EIGEN-GRACE01S Modell des GFZ Potsdam in Koeffizientendifferenzen und auf Geoidhöhen umgerechnet. Dabei ergibt sich eine globale RMS Abweichung von ca. 16 cm.



Vergleich des TUM-2S Modells mit einer GRACE-Lösung

5. Externe Evaluierung: Um die Qualität der Lösung beurteilen zu können, wurde eine Validierung mit externen Daten durchgeführt. Dabei wurden Geoidhöhen aus GPS/Nivellement-Netzen mit Geoidhöhen aus verschiedenen Schwerefeldlösungen verglichen. Dazu wurde ein Datensatz aus den USA mit 5168 Punkten verwendet, welcher vorab mit Hilfe eines ultra-hochauflösenden Schwerefeldmodells (GPM98) tiefpass-gefiltert wurde. Die Tabelle zeigt die RMS-Werte der Differenzen der Geoidhöhen. In der Abbildung sind RMS-Werte der Geoidhöhendifferenzen zwischen jeweils zwei Punkten in Abhängigkeit ihrer Entfernung dargestellt.

| Modell | RMS [m] |
|-------------|---------|
| TUM-1S | 0.641 |
| TUM-2S | 0.455 |
| ITG-CHAMP | 0.460 |
| EIGEN-2S | 0.602 |
| EIGEN-3P | 0.421 |
| GSM-2 (GFZ) | 0.416 |



Externe Validierung mit GPS/Nivellement-Punkten