

WP160: Reprozessierung der CHAMP und GRACE Beobachtungen zur Berechnung von verbesserten statischen und zeitabhängigen Gravitationsfeldmodellen mit regionalen Verfeinerungen (GREST-CHAMP/GRACE)

*Projekt im Sonderprogramm Geotechnologien:
Thema: „Erfassung des Systems Erde aus dem Weltraum“*

Schlussbericht
Zeitraum 01.05.2009 bis 31.12.2011

Förderkennzeichen: 03G0728B

**Verbundprojekt GREST-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011
Schlussbericht 31.12.2011
Bericht WP160**

Projektleiter:	Dr. Frank Flechtner	(GFZ)
Projektverantwortlicher WP160:	Prof. Dr. Jürgen Kusche	(IGG)

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeiner Bericht	4
1.1 Aufgabenstellung	4
1.2 Voraussetzungen	4
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.4 Wissenschaftlicher, technischer Stand bei Projektbeginn	8
2. Erzielte Ergebnisse für WP160: Reprocessing of CHAMP and GRACE Observations for the Determination of Improved Static and Temporal Gravity Field Models with Regional Refinements (GREST- CHAMP/GRACE)	10
2.1 <i>WP161: Vorbereitung des Programmsystems GROOPS für die Reprozessierung der GRACE-Schwerfeldmodelle</i>	10
2.1.1 <i>Aktualisierung der Dealising-Produkte</i>	10
2.1.2 <i>Verbesserung der regionalen Parametrisierungsmodule</i>	11
2.1.3 <i>Verbesserung die Modellierung zeitlicher Veränderungen des Schwerfeldes</i> 11	11
2.2 <i>WP162: Implementierung einer neuen Technik für die präzise Bahnbestimmung</i>	12
2.2.1 <i>Implementierung der Eingabe und Ausgabe Schnittstellen</i>	12
2.2.2 <i>Implementierung Code und Trägerphasen GPS Prozessierungsmodule</i>	12
2.2.3 <i>Implementierung der Bahnbestimmungssoftware in GROOPS</i>	12
2.2.4 <i>Test und Validierung der Bahnbestimmung</i>	13
2.3 <i>WP163: Berechnung der Schwerfeldmodelle</i>	14
2.3.1 <i>Präzise statische GRACE Schwerfeldmodelle für die gesamte Missionsdauer</i> 14	14
2.3.2 <i>Zeitreihen von langwelligen Schwerfeldmodellen</i>	15
2.3.3 <i>Regionale Verfeinerungen</i>	17
2.3.4 <i>Erneute Reproessierung</i>	18
3. Gesamtüberblick aller Veröffentlichungen zu WP160	19

1. Allgemeiner Bericht

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Arbeitspакtes war die Reprozessierung der CHAMP- und GRACE-Daten auf der Grundlage verbesserter Dealiasing-Produkte und Hintergrundmodelle und verbesserter Auswerteprozesse. Die Reprozessierung erforderte neben der Aktualisierung der Hintergrundmodelle auch eine teilweise Neuimplementierung der Prozessierungsmodule und eine methodische Verbesserung bestehender Module. Diese Verbesserungen für die bereits eingesetzten Module des Analysesystem GROOPS sind

- Aktualisierung der Dealiasing-Produkte,
- Verbesserung der Module zur regionalen Verfeinerung,
- Verbesserung der ortslokalisierenden Basisfunktionen,
- Verbesserung der Modellierung zeitvariabler Schwerefeldanteile.

Ein anderes wichtiges Projektziel war mit der präzisen Bahnbestimmung niedrig fliegender Satelliten verbunden. Eine neue Bahnbestimmungsmethode wurde am IGG entwickelt und an Simulationsdaten und teilweise an Echtdateen getestet (Shabanloui 2008). Die in diesem Zusammenhang entwickelte Software sollte in das System GROOPS integriert werden. Die wesentlichen Forschungsarbeiten hierzu können folgendermaßen charakterisiert werden:

- Anpassung der Eingabe-Ausgabe-Schnittstellen,
- Anpassung der Module zur Prozessierung der GNSS Code- und Trägerphasen,
- Implementierung der Software-Module zur Bahnbestimmung in GROOPS,
- Test und Validierung der Bahnbestimmungen.

1.2 Voraussetzungen

Zur erfolgreichen Bearbeitung der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Aufgabenstellung trugen am Institut für Geodäsie und Geoinformatoin (IGG) der Universität Bonn geleisteten Vorarbeiten erheblich bei. In der Arbeitsgruppe für Astronomisch-physikalische und mathematische Geodäsie wird seit ca. 10 Jahren das Gravity Recovery Object-Oriented Programming System (GROOPS) für die maßgeschneiderte Prozessierung der in-situ Beobachtungstypen der neuen Generation von Schwerefeldsatellitenmissionen wie CHAMP, GRACE und GOCE entwickelt. Das Programmsystem ist modular aufgebaut. Dadurch ist die Kombination verschiedener Beobachtungstypen (präzise Satellitenbahnen, Satellite-to-Satellite Tracking, Gradiometrie, Altimetrie, Flugzeuggravimetrie und terrestrische Datensätze) möglich, wobei unterschiedliche Arten der Schwerefelddarstellung (globale Modellierung durch Kugelfunktionen und regionale Parametrisierung durch ortslokalisierende Basisfunktionen) auf sehr flexible Art und Weise gewählt werden können. Außerdem ermöglicht GROOPS die integrierte Berechnung von statischen und zeitlich variablen Schwerefeldmodellen. Die meisten Komponenten von GROOPS befanden sich zu Projektbeginn bereits in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium und kamen bereits bei der Echtdateenauswertung von CHAMP und GRACE zum Einsatz. Für die Auswertung der GRACE-Daten wurde ein auf der Auswertung kurzer Bahnbögen beruhender Ansatz entwickelt (Mayer-Gürr 2006)

**Verbundprojekt GREST-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)**

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011

Schlussbericht 31.12.2011

Bericht WP160

und erfolgreich in der Prozessierung der GRACE Level-1B-Daten eingesetzt (Mayer-Gürr et al. 2010a). Das Schwerefeldmodell ITG-GRACE03S wurde als reine Satellitenlösung für das neue international akzeptierte Standard-Schwerefeldmodell EGM2008 (Pavlis et al. 2008) ausgewählt. Parallel zu diesen Entwicklungen der globalen Modellierung mittels Kugelfunktionen wurde in den letzten Jahren am IGG auch eine weitere, regionale Strategie verfolgt. Die verfeinerte Schwerefeldstruktur in Regionen mit rauem Schwerefeldsignal wird durch eine angepasste Modellierung mit ortslokalisierenden radialen Basisfunktionen abgeleitet (Eicker 2008). Die Form der Basisfunktionen wird dabei aus der Kovarianzfunktion des Signal abgeleitet, wodurch erreicht wird, dass die Basisfunktionen die stochastischen Eigenschaften des Schwerefeldes widerspiegeln. Vor Projektbeginn wurde das regionale Verfahren vor allem für die Verfeinerung statischer Schwerefeldmodelle angewendet.

Die neuen Satellitenschwefeldmissionen mit ihren speziellen Beobachtungstypen z.B. high-low Satellite to Satellite (hl-SST) sowie die dichte Überdeckung der Satellitenbahnen mit GNSS-Beobachtungen spielen wichtige Rolle in der Schwerefeldbestimmung. Präzise bestimmte Bahnen sind dabei eine wichtige Voraussetzung für die Schwerefeldbestimmung. Eine neue Bahnbestimmungsmethode wurde am IGG-APMG von GNSS Beobachtungen entwickelt (Shabanloui 2008). Die CHAMP und GRACE Bahnen sind mit dieser Software gerechnet.

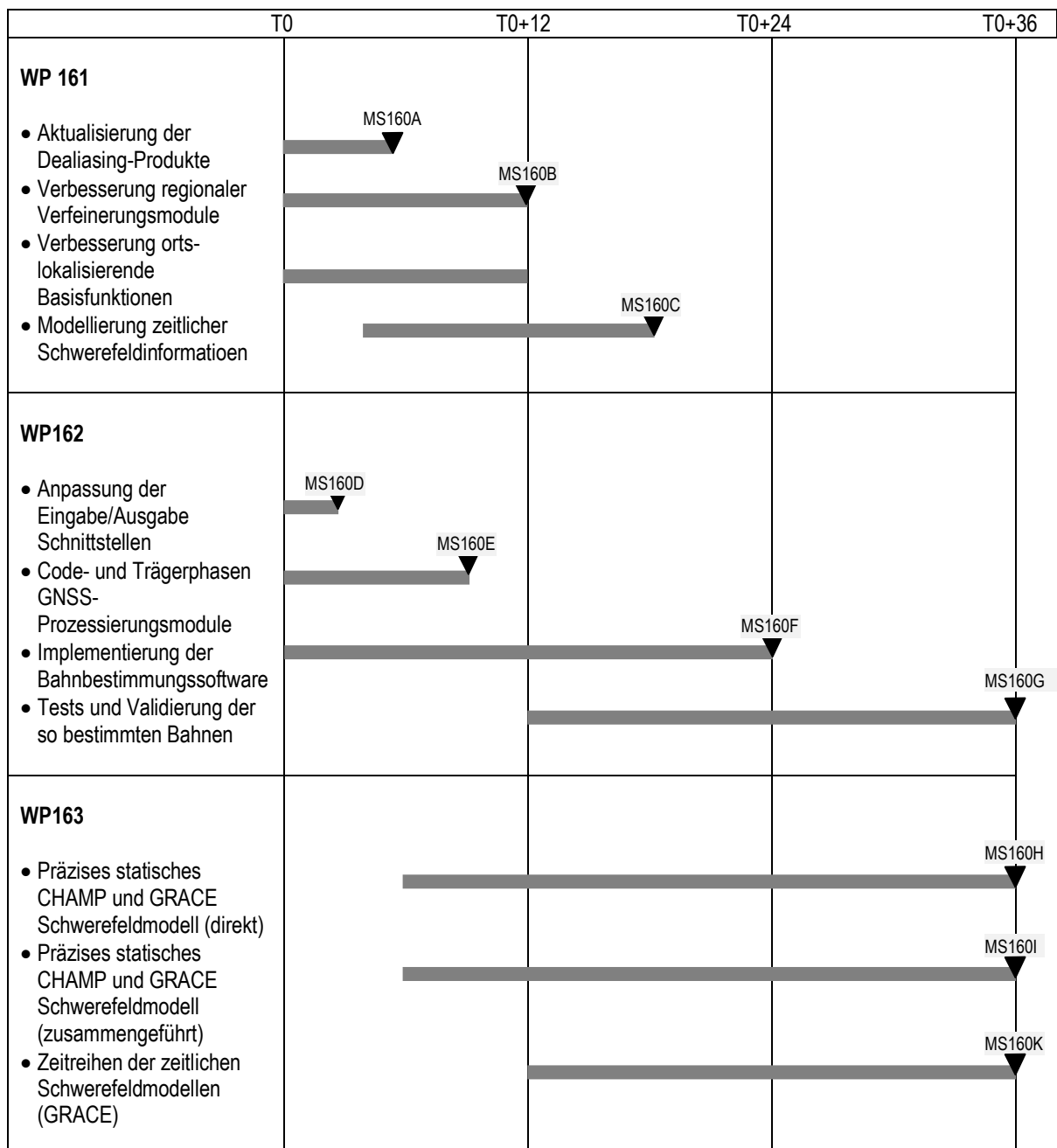
**Verbundprojekt GREST-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)**
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011
Schlussbericht 31.12.2011
Bericht WP160

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Gliederung der Arbeitspakete und Meilensteine

Tabelle 1-1 zeigt die Arbeitspakete sowie die Meilensteine des Projektes, wie sie im Leit Antrag formuliert wurden. In Abschnitt 2 des Berichtes wird detailliert auf die einzelnen Arbeitspakete sowie die Erfüllung der Meilensteine eingegangen.

Tabelle 1-1: Arbeitspakete und Meilensteine



**Verbundprojekt GREST-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)
Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011
Schlussbericht 31.12.2011
Bericht WP160**

Personal

Aus den Projektmitteln wurden folgende Mitarbeiter eingestellt:

Tabelle 1-2: Mitarbeiter

Institut	Arbeits- paket	Mitarbeiter	Zeitraum
IGG	160	Dr. Akbar Shabanloui (50%)	1.05.2009 – 31.12.2011

Reisen

In den Überarbeitungen zum Leitantrag waren für das Gesamtprojekt alle Inlands- und Auslandsreisen geplant. In den folgenden Tabellen werden die tatsächlich durchgeführten Reisen, die mit Projektmitteln finanziert wurden zusammengestellt.

Tabelle 1-3: Durchgeführte In- Auslandsreisen GREST-GRACE Projekttreffen

Datum	Ort	Zweck	Teilnehmer
04.10.2010	Karlsruhe	Auslagen Statusseminar Weltraum III, Bonn	Akbar Shabanloui
11.-24.12.2010	San Francisco	Reisekosten Sitzungsleitung AGU Fall Meeting San Francisco u. Kooperation Tongji-Universität Shanghai (11.-24.12.10)	Jürgen Kusche
11.-12.11.2010	Potsdam	Teilnehmergebühr GRACE Science Team Meeting, Potsdam (11./12.11.10)	Jürgen Kusche
28-06-2011	Melbourne	Teilnehmergebühr IUGG-Meeting, Melbourne 2011	Akbar Shabanloui
12.-16-09-2011	Mayschoß	Reisekosten und Teilnehmergebühr Sommerschule Mayschoß (12.-16.9.11)	Akbar Shabanloui

1.4 Wissenschaftlicher, technischer Stand bei Projektbeginn

Statische und zeitabhängige globale Schwerefeldbestimmung

Zu Projektbeginn (Mai 2009) gab es bereits eine Vielzahl globaler GRACE Gravitationsfeldmodelle, sowohl ausschließlich aus Satellitendaten abgeleitete als auch mit anderen Daten kombinierte Modelle. Einen Überblick gibt das Centre of Global Earth Models (ICGEM, <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>). Beispiele aktueller statischer Lösungen waren das EIGEN-5S (satellite-only) und EIGEN-5C (Kombination mit terrestrischen Daten) des GFZ Potsdam und des GRGS Toulouse (Foerste et al., 2008) und die Modelle GGM03S (satellite-only) und GGM03C (Kombinationsmodell) berechnet durch das CSR der Universität Texas (Tapley et al., 2007). Das Gravitationspotential in diesen Modellen ist durch Kugelfunktionen dargestellt. Die Koeffizienten dieser Basisfunktionen mit globalem Träger werden mit dem klassischen Auswertansatz der gravimetrischen Satellitengeodäsie bestimmt, der sogenannten differentiellen Bahnverbesserungsmethode. Alternative Ansätze wurden beispielsweise präsentiert durch die Universität Bern, welche ihr Schwerefeldmodell AIUB-GRACE02Sp (Jaeggi et al., 2009) nach dem Himmelsmechanik-Ansatz berechnete und durch das IGG Bonn, dessen Modell ITG-Grace03s (Mayer-Gürr et al., 2010) auf der Bewegungsgleichung beruht, formuliert als Randwertaufgabe in Form einer Fredholmschen Integralgleichung. Als räumlich höchstauflösendes Modell war das EGM08 (Pavlis et al., 2008) veröffentlicht worden. Es besteht aus einer Kugelfunktionsentwicklung bis zum Grad und Ordnung 2160 und enthält neben Information aus GRACE auch Altimeter-Daten, Airborne- und terrestrische Gravimeterdaten, sowie Informationen aus hochauflösenden digitalen topographisch-isostatischen Modellen.

Aktuelle Lösungen zeitvariabler Schwerefelder waren als Produkte der offiziellen Analysezentren die GFZ-RL04-Zeitreihe (Flechtner et al. 2010), welche aus monatlichen und wöchentlichen Lösungen besteht, die monatliche CSR-RL04-Zeitreihe (Bettadpur 2007) und die Monatslösungen JPL RL04 (Watkins & Dah Ning, 2007). Beispiele weiterer zu Projektbeginn verfügbarer GRACE-Zeitreihen sind die DMT-1 Monatsserie der TU Delft (Klees et al., 2008), 10-tägige Lösungen berechnet durch CNES/GRGS (Biancale et al. 2006) und die ITG-Grace03 Zeitreihe (Mayer-Gürr et al., 2010), welche durch quadratische Splines in der Zeit parametrisiert wurde.

Regionale Schwerefeldmodelle

Die oben genannten Schwerefeldmodelle sind alle global bestimmt und durch Kugelfunktionen repräsentiert, es gab allerdings auch Ansätze alternativer Schwerefelddarstellungen auf Basis von ortlokalisierenden Basisfunktionen. Die Möglichkeit, globale Modelle durch regionale Verfeinerungen zu verbessern, wurde vorgestellt von Eicker (2008), unter der Nutzung sphärischer Splinefunktionen, deren Basisfunktionen das Frequenzspektrum des zu erwartenden Gravitationsfeldsignals widerspiegeln. Wittwer (2009) nutzte radiale Basisfunktionen mit optimierter Bandbreite und datenadaptierter Punktverteilung für die Bestimmung statischer und zeitvariabler Gravitationsfeldmodelle. Han et al. (2009) bestimmten mit Hilfe regionaler Slepian-Funktionen die postseismischen Massenveränderungen des Sumatra-Andaman-Erdbebens,

da diese regionale Parametrisierung als besonders geeignet angesehen wurde, die regionalen Auswirkungen großer Erdbeben zu modellieren. Ein Ansatz basierend auf Massenkonzentrationen (Mascons), welcher die Einführung räumlicher und zeitlicher Randbedingungen erlaubt, wurde von Luthcke et al. (2006) und Luthcke et al. (2008) verwendet um regionale Zeitreihen von Massenvariationen zu bestimmen.

LEO Bahnbestimmung

In den letzten 15 Jahren, das globale Navigations-Satellitensystem GNSS ist zu einem wichtigen Instrument um die Bahnen der niedrig fliegenden Satelliten genau zu bestimmen. Aufgrund viele Verbesserungen in der GNSS Satelliten und Empfängertechnologie sowie Modellierung der GNSS Beobachtungen liegt die Qualität der Geometrische Bahnen für CHAMP und GRACE meist in Bereich einiger Zentimeter (Shabanloui 2008, Jäggi et al. 2009). Die Genauigkeit der geometrischen Bahnen hängen stark von der geometrische Konfiguration der GNSS und die niedrig fliegende Satelliten, die Genauigkeit der Beobachtungen und die Modellierung der Beobachtungen ab. Der neu am IGG-APMG entwickelte Ansatz für die Bestimmung von Satellitenbahnen, basiert auf dicht und homogen verteilten Beobachtungen. Diese Beobachtungen bestehen aus Code- und Trägerphasenmessungen zwischen einem Low Earth Orbiter (LEO) und den Satelliten eines globalen Navigations-Satellitensystems, wie zum Beispiel GPS. Die Bahnbestimmung ist auf kurze Bahnbögen beschränkt, welche in GROOPS verwendet werden, um globale Schwerefeldmodelle mit regionalem Fokus abzuleiten. Dieser Ansatz wird für die Bestimmung der CHAMP und GRACE A und B Bahnen verwendet.

2. Erzielte Ergebnisse für WP160: Reprocessing of CHAMP and GRACE Observations for the Determination of Improved Static and Temporal Gravity Field Models with Regional Refinements (GREST-CHAMP/GRACE)

Allgemeine Anmerkung: Die Reprozessierung der CHAMP-Daten hatte verglichen mit GRACE eine niedrigere Priorität und wurde aufgrund der verkürzten Laufzeit des Projektes nicht durchgeführt.

2.1 WP161: Vorbereitung des Programmsystems GROOPS für die Reprozessierung der GRACE-Schwerefeldmodelle

Das Ziel dieses Arbeitspaketes war es, die an der Universität Bonn für die Schwerefeldprozessierung entwickelte Software GROOPS an Anforderungen einer Reprozessierung der GRACE-Schwerefeldzeitreihe anzupassen. Dazu mussten aktualisierte De-Aliasing-Modelle implementiert werden und verbesserte Korrekturverfahren für die Beschleunigungsmesser und das K-Band-Messsystem (siehe auch Abschnitt 2.1.2) entwickelt werden. Eine wichtige Aufgabe innerhalb dieses Arbeitspaketes war außerdem die Verbesserung der raum-zeitlichen Schwerefelddarstellungen. Insbesondere die zeitliche Auflösung der Schwerefeldmodelle konnte durch Entwicklung eines Kalman-Filter-Ansatzes zur Bestimmung täglicher GRACE-Lösungen stark verbessert werden. Die regionale Darstellung mit Hilfe ortslokalisierender Basisfunktionen wurde an die Anforderungen der Darstellung zeitlicher Schwerefeldvariationen (monatlich bis täglich) angepasst.

2.1.1 Aktualisierung der Dealising-Produkte

Das GROOPS-Paket wurde für die Nutzung neuer De-Aliasing Produkte (z.B. EOT08a) aktualisiert. Die Schätzung kurzzeitiger Massenvariationen in Form von täglichen Lösungen direkt aus den GRACE-Daten (siehe Abschnitt 2.1.3) und deren Einführung als zusätzliches De-Aliasing-Produkt hat zu einer weiteren starken Verbesserung des De-Aliasing-Verfahrens geführt. Eine erhebliche Genauigkeitssteigerung in der Bestimmung monatlicher Schwerefeldlösungen war die Folge (siehe Abbildung 1 und Ergebnisse von WP163).

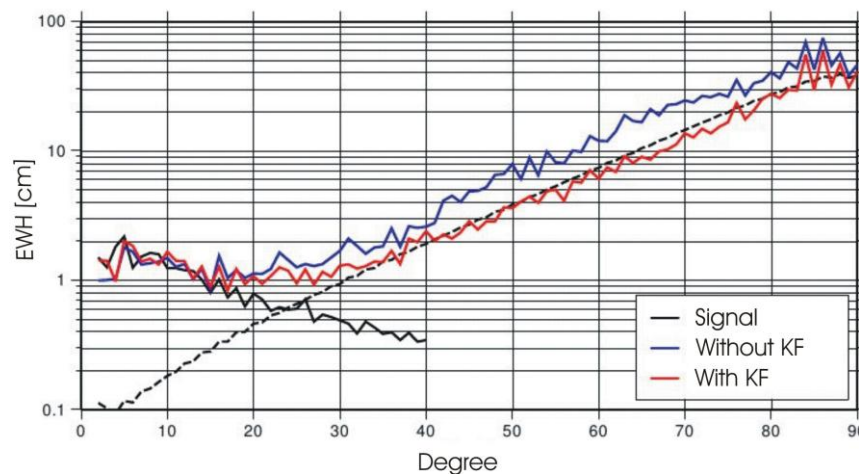


Abb. 1: Gradvarianzen der Differenzen zwischen einer monatlichen Lösung (April 2008) und dem statischen Schwerefeldmodell. Mit (rot) und ohne (blau) Einführung der täglichen Lösungen als zusätzliches De-Aliasing Modell

Meilenstein 160A: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

2.1.2 Verbesserung der regionalen Parametrisierungsmodule

Die ortslokalisierenden, radialen Basisfunktionen wurden bezüglich ihrer Form und Anordnung an die Anforderungen der Parameterisierung zeitlicher Schwerefeldvariationen angepasst. Die am IGG in Bonn verwendeten Basisfunktionen leiten sich aus den Signalcharakteristiken (Gradvarianzen) des zu erwartenden Gravitationsfeldes ab (siehe Eicker 2008). Um zeitliche Variationen beschreiben zu können, wurden die entsprechenden Gradvarianzen aus geophysikalischen Modellen (z.B. für Hydrologie, Ozean und Atmosphäre) abgeleitet. Entsprechend der angestrebten räumlichen Auflösung der zeitvariablen Schwerefeldmodelle wurden gleichmäßige Punktanordnungen auf der Kugel definiert, welche als Knotenpunkte für die radialen Basisfunktionen verwendet wurden.

Das Kalman-Filter-Verfahren (siehe 2.1.3) wurde ebenfalls für die Anwendung in der regionalen Schwerefeldbestimmung mit ortslokalisierenden Basisfunktionen adaptiert.

Meilenstein 160B: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

2.1.3 Verbesserung die Modellierung zeitlicher Veränderungen des Schwerefeldes

Erstmalig wurde für die Prozessierung der GRACE-Daten ein Kalman-Filter-Ansatz implementiert und mit dessen Hilfe tägliche GRACE-Lösungen berechnet, siehe Kurtenbach et. al (2009), Kurtenbach (2011) und Kurtenbach et. al (2012). Eine derartige Erhöhung der zeitlichen Auflösung ohne Verlust der räumlichen Auflösung erfordert die Nutzung zusätzlicher Informationen. Dies wurde in dem gewählten Ansatz durch Einführung räumlicher und zeitlicher Korrelationen des zu erwartenden Schwerefeldsignals realisiert, welche aus vorhandenen geophysikalischen Modellen extrahiert wurden. Die Zusammenführung der GRACE-Beobachtungen und der

Korrelationsstruktur erfolgte dann im Rahmen eines Kalman-Filter- und Kalman-Smoother-Verfahrens.

Meilenstein 160C: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

2.2 WP162: Implementierung einer neuen Technik für die präzise Bahnbestimmung

Ziel des Arbeitspaketes war die Anpassung der neuesten Ansätze für eine präzise geometrische Bahnbestimmung an die Verarbeitung der Echtzeitprozessierung für die Bahnbestimmung von CHAMP und GRACE. Der neu am IGG-APMG entwickelte Ansatz für die Bestimmung von Satellitenbahnen basiert auf dichten und homogen verteilten Beobachtungen. Diese Beobachtungen bestehen aus Code Pseudo-Ranges und präzisen Trägerphasenmessungen zwischen einem LEO und den GPS-Satelliten. Die Bahnbestimmung ist auf kurze Bahnbögen beschränkt. Der neue Ansatz wurde für die Bestimmung von Satellitenbahnen aus Code- und Trägerphasenmessung zwischen GRACE- und GPS-Satelliten entwickelt und erfolgreich getestet.

2.2.1 Implementierung der Eingabe und Ausgabe Schnittstellen

Die passenden Schnittstellen zur Eingabe und Ausgaben für das Programmsystem GROOPS wurden implementiert.

Meilenstein 160D: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

2.2.2 Implementierung Code und Trägerphasen GPS Prozessierungsmodule

Es wurden genaue IGS-Bahnen sowie die Uhr- und Antennen Eigenschaften (ANTEX Dateien) in GROOPS integriert. Inzwischen wurden auch die GPS-Phase Wind-up und Mehrdeutigkeitslösung der Phasen-Beobachtungen für die GRACE-Satelliten in GROOPS implementiert und getestet. Außerdem wurde die Phasenzentrumsvariation (PCV) des GPS-Empfängers für die beiden GRACE-Satelliten durch empirische Methoden modelliert. Es wurden alle Effekte, die für die LEO Bahnbestimmung aus hoch-niedrig SST Beobachtungen von Bedeutung sind, in GROOPS integriert. Bei Berücksichtigung aller Korrekturen können die LEO Bahnen genauer bestimmt werden. Diese Korrekturen liefern Verbesserungen der GRACE Bahnen und somit für die Schwerfeldbestimmung.

Meilenstein 160E: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

2.2.3 Implementierung der Bahnbestimmungssoftware in GROOPS

Die Arbeiten zur Bestimmung der LEO Bahnen sind abgeschlossen und mit Hilfe von high-low-SST GPS-Messdaten der Missionen CHAMP und GRACE A und B umfassend getestet. Es wurden geometrische und sogenannte kinematische Bahnen des

niedrigfliegenden Satelliten erzeugt. Grundlage sind Pseudobeobachtungen- und Phasenmessung des GPS-Empfängers auf CHAMP und GRACE. Die Prozessierung erfolgte auf der Basis der GROOPS-Auswerte-Software.

Meilenstein 160F: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

2.2.4 Test und Validierung der Bahnbestimmung

Es wurden GRACE-Bahnen für mehrere Jahre von 2002-2009 berechnet. Die Qualität der geometrischen und kinematischen Bahnen ist vergleichbar mit denen aus anderen Methoden (z.B. reduziert-dynamische und dynamische). Jedoch sind diese Bahnen völlig unabhängig von dynamischen Informationen und stellen somit die beste Ausgangsbasis für die sogenannte In-Situ Methoden zur Schwerefeldbestimmung dar.

Abb. 22 zeigt die Unterschiede zwischen den gerechneten geometrischen GRACE Bahnen und K-Band Messungen.

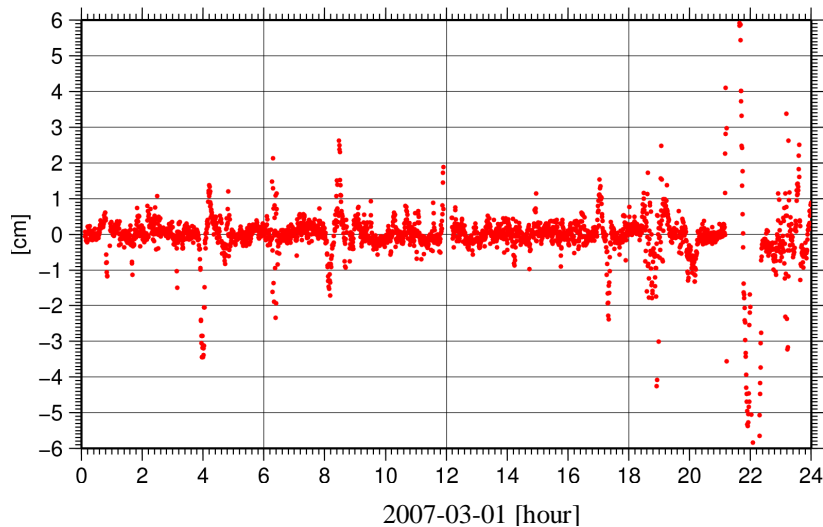


Abb. 2: Vergleich zwischen gerechnet GRACE Bahnen und K-Band Messungen

Meilenstein 160G: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

2.3 WP163: Berechnung der Schwerefeldmodelle

Ziel des Arbeitspaketes war es mit Hilfe der Analysesoftware das GROOPS verschiedene Schwerefeldmodelle zu produzieren. Dazu wurden die GRACE-Daten re-prozessiert und das international anerkannte Gravitationsfeldmodell ITG-Grace2010 berechnet (Mayer-Gürr et al. 2010b), welches aus einem statischen Anteil (ITG-Grace2010s) und monatlichen sowie täglichen Lösungen besteht. Darüber hinaus wurden regionale Verfeinerungen mit verbesserter räumlicher Auflösung bestimmt. Neben einem verbesserten De-Aliasing-Verfahren (WP161) wurde das Prozessierungsverfahren auch an anderen Stellen erweitert. Da das am IGG Bonn entwickelte Verfahren auf der Analyse kurzer Bahnbögen beruht, war es möglich als stochastisches Modell der stark korrelierten Beobachtungen (K-Band-Messungen und GPS-Positionen) eine volle empirische Kovarianzmatrix pro Bahnbogen zu schätzen und in die Analyse einzuführen. Da das K-Band Messinstrument nicht im Massenzentrum des Satelliten angeordnet ist und sich die relative Ausrichtung der beiden Satelliten während des Fluges verändert, muss eine zeitabhängige Korrektur der Abstandsmessung angebracht werden. Diese Korrektur wird zwar mit den Beobachtungen mitgeliefert, ihre Genauigkeit ist jedoch nicht ausreichend (Horwath 2010). Daher wurde in einem neu entwickelten Verfahren die Korrektur zusammen mit den Schwerefeldparametern geschätzt.

2.3.1 Präzise statische GRACE Schwerefeldmodelle für die gesamte Missionsdauer

Das statische Gravitationsfeldmodell ITG-Grace2010s wurde aus GRACE-Daten des Zeitraumes August 2002 bis August 2009 bis zu einem maximalen Kugelfunktionsgrad von $n=180$ bestimmt. Abb. 3 zeigt einen Vergleich des ITG-Grace2010s Modells und des statischen GRACE-Modells des GFZ Potsdam (EIGEN5s) mit einer der ersten GOCE-only-Lösungen der ESA. Es wird deutlich, dass ab einem Kugelfunktionsgrad von ca. $n=100$ die Differenzen zwischen ITG-Grace2010s und GOCE (rot) wesentlich kleiner sind als die Differenzen zwischen EIGEN5s und GOCE (grün). Da die Genauigkeit der GOCE-Lösung in diesem hochfrequenten Bereich als überlegen angenommen werden kann, zeigt dies die Qualität des am IGG Bonn berechneten statischen Modells.

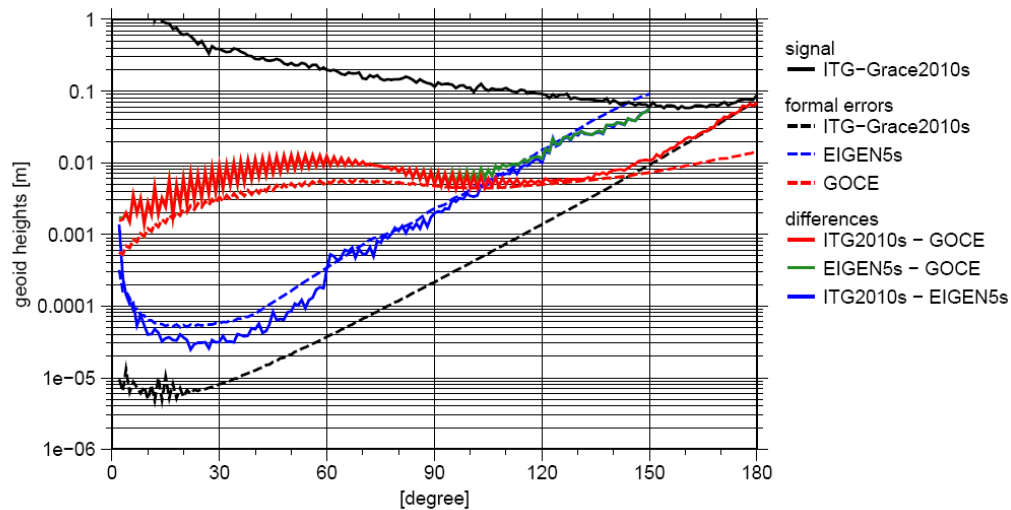


Abb. 3: Vergleich der statischen GRACE-Modelle ITG-Grace2010s und EIGEN5s und Differenzen zwischen beiden GRACE-Modellen und einer der ersten GOCE-Lösungen der ESA (Pail et al.(2010)) in Form von Gradvarianzen. Formale Fehler sind gestrichelt dargestellt.

2.3.2 Zeitreihen von langwelligen Schwerefeldmodellen

Als Teil des Gravitationsfeldmodelles ITG-Grace2010 wurden Zeitreihen globaler monatlicher und täglicher Schwerefelder prozessiert.

2.3.2.1 Tägliche Schwerefeldlösungen

Wie in Abschnitt 2.1.3 beschrieben ist es mit Hilfe eines Kalman-Filter-Ansatzes erstmalig gelungen, tägliche Schwerefeldmodelle aus GRACE-Daten zu berechnen. Dass diese Lösungen signifikantes zeitlich hochfrequentes Signal enthalten, konnte durch Validierung gegen unabhängige Datensätze nachgewiesen werden. In Kurtenbach (2011) wurden umfassende Vergleiche der täglichen GRACE-Modelle mit GPS-Stationsbewegungen und Ozeanbodendrucksensoren durchgeführt. Diese Vergleiche belegen, dass insbesondere in höheren geographischen Breiten mit guter GRACE-Datenüberdeckung die täglichen Lösungen eine signifikante Verbesserung der Kenntnis hochfrequenter Massenvariationen im Vergleich zu vorhandenen geophysikalischen Modellen darstellen. Beispielhaft zeigt Abb. 4 den Vergleich der täglichen Lösungen (rot) mit durch Auflasteffekte hervorgerufenen vertikalen Bewegungen einer GPS-Permanentstation. Es wird deutlich, dass die GRACE-Lösungen wesentlich besser zu den unabhängig bestimmten Massenvariationen passen als die aus geophysikalischen Modellen bestimmten Variationen. Neben der internen Qualitätssicherung am IGG Bonn, wurde die Qualität der täglichen Massenvariationen aus GRACE auch durch externe Tests bestätigt, beispielsweise verglichen Bonin and Chambers (2011) die täglichen ITG-Grace Lösungen mit Altimetriebeobachtungen.

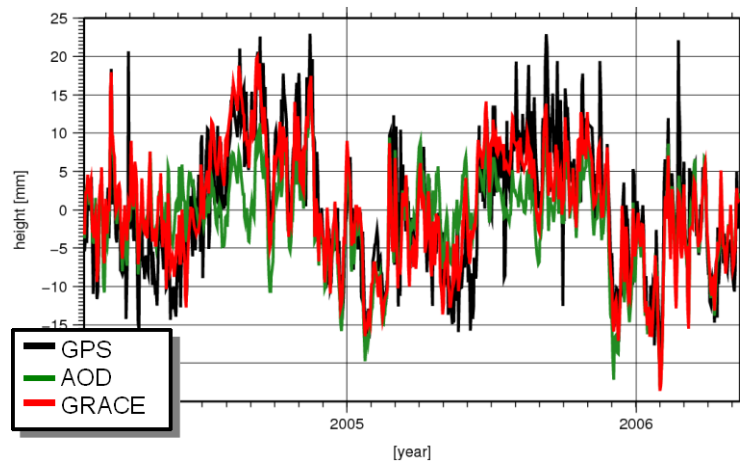


Abb.4: Vertikale Bewegungen der GPS-Station ARTI (Sibirien) verglichen mit GRACE (rot) und Modellen (grün)

2.3.2.2 Monatliche Schwerefeldlösungen

Für jeden Monat des Zeitraumes August 2002 bis August 2009 wurde eine Schwerefeldlösung bis Kugelfunktionsgrad $n=120$ berechnet. Dazu wurden neben den üblichen Hintergrundmodellen zur verbesserten Berücksichtigung der zeitlich hochfrequenten Massenverlagerungen auch die täglichen Lösungen als zusätzliches De-Aliasing-Produkt reduziert (siehe auch WP161, Abb. 1). Zusammen mit den anderen in Abschnitt 2.3 beschriebenen Verbesserungen des Auswerteverfahrens führte dies zu einer erheblichen Genauigkeitssteigerung gegenüber vorherigen GRACE-Monatslösungen (Mayer-Gürr et al. 2010, Vortrag EGU Wien). Abb. 5 zeigt die Massenverteilung einer beliebigen Monatslösung (April 2008) im Vergleich zu der entsprechenden Monatslösung der GFZ-RL04-Zeitreihe bei Glättung mit unterschiedlichen Gauß'schen Filterradien. Während bei starker Glättung (500 km Filter) kaum Unterschiede zu erkennen sind, wird deutlich, dass mit abnehmendem Filterradius die ITG-Grace2010-Lösung signifikant kleinere Fehlerstreifen zeigt.

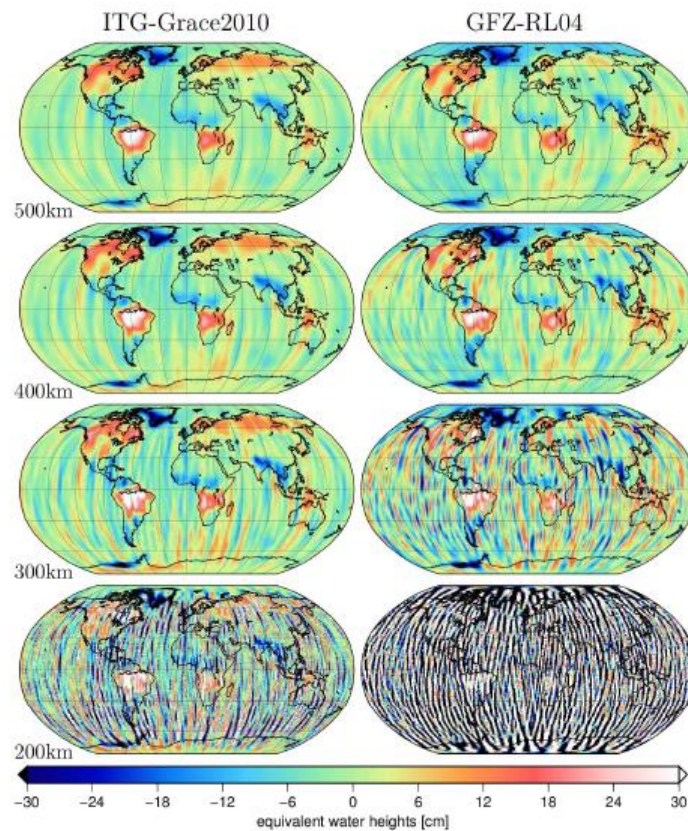


Abb. 5: Monatliche Massenvariationen (April 2008) aus ITG-Grace (links) und aus der GFZ-RL04-Zeitreihe (rechts) für unterschiedliche Gauß'sche Filterradien

2.3.3 Regionale Verfeinerungen

Neben der Berechnung globaler Kugelfunktionsmodelle wurde am IGG Bonn in den letzten Jahren auch ein Verfahren der regionalen Schwerefeldmodellierung mit radialen Basisfunktionen entwickelt. Dieses wurde im aktuellen Projekt für die Bestimmung regionaler Zeitvariationen erweitert (siehe WP 161) und kann inzwischen sowohl für die Berechnung zeitlich hochfrequenter (täglicher) Massenbilanzen als auch für regionale Monatslösungen und Trends verwendet werden. Es wurden Untersuchungen zu hydrologischen Variationen in Sibirien (Eicker et al. 2010, Vortrag Geodätische Woche) und Afrika und zu Eismassenverlusten in Grönland durchgeführt (Eicker et al. 2012, Vortrag EGU Wien). Abb. 6 zeigt den aus globalen ITG-Grace2010-Monatslösungen berechneten Trend im Vergleich zu den regional berechneten Massenvariationen. Dabei wird die verbesserte räumliche Auflösung der regionalen Lösung deutlich, welche die Identifikation einzelner Gletschergebiete (z.B. Jakobshavn Isbræ an der Westküste) erlaubt. Die gesteigerte Auflösung ist auf das regional verbesserte Analyseverfahren zurückzuführen, welches die Glättung (Regionalisierung) optimal an den gegebenen Signalinhalt des regionalen Gebietes (z.B. hohe GRACE-Datendichte und starkes Trendsinal in Grönland) anpasst.

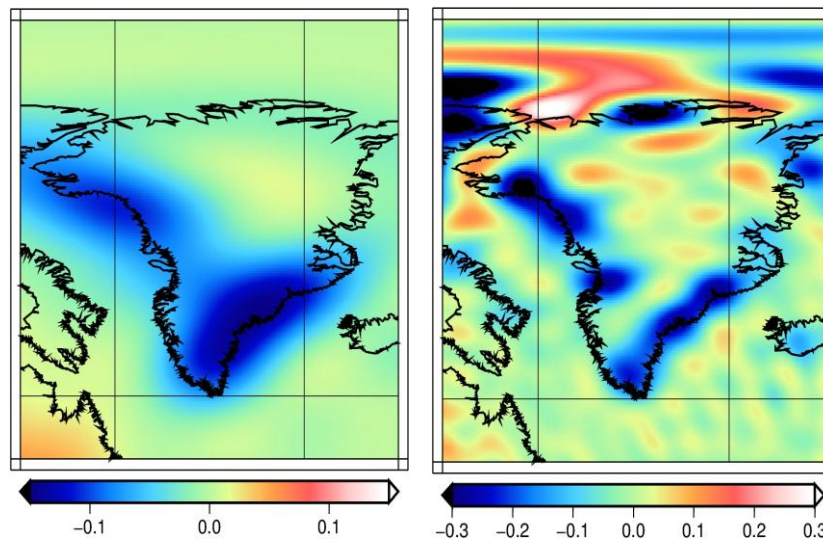


Abb. 6: Trend der Massenvariationen in Grönland, ausgedrückt in äquivalenten Wasserhöhen [m/Jahr]. Links: Trend aus den globalen ITG-Grace2010-Monatslösungen. Rechts: regionaler Trend, berechnet mit radialen Basisfunktionen.

2.3.4 Erneute Reprozessierung

Eine erneute Reprozessierung der gesamten Zeitreihe (2002 – 2011) mit Verwendung der reprozessierten Level-1B-Daten (L1B-RL02) und unter Berücksichtigung der aktuellsten Hintergrundmodelle (Dealiasing-Produkt AOD1B-RL02) wird momentan durchgeführt. Aufgrund von Verzögerungen in der Level 1B –Datenprozessierung wird die komplette regionale Verfeinerung der globalen Modelle außerhalb des Projektes nachgeholt und wird in ca. 4 Monaten abgeschlossen sein. Die berechneten Modelle werden daraufhin auf der Webseite des IGG zur Verfügung gestellt.

Meilenstein 160H: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

Meilenstein 160I: siehe 2.3.4.

Meilenstein 160K: Der Meilenstein wurde planmäßig erreicht.

3. Gesamtüberblick aller Veröffentlichungen zu WP160

Literatur

Eicker, A., Mayer-Gürr, T., Ilk, K.-H., Kurtenbach, E., Flechtner, F., Gruber, T., Güntner, A., Manda, M., Rothacher, M., Schöne, T., Wickert, J. (ed.): Regionally refined gravity field models from in-situ satellite data, System Earth via Geodetic-Geophysical Space Techniques, Springer, 2010.

Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T., and Eicker, A.: Deriving Daily Snapshots of the Earth's Gravity Field from GRACE L1B Data Using Kalman Filtering, Geophysical Research Letters, September 11, 2009 (Vol. 36, L17102, doi:10.1029/2009GL039564).

Kurtenbach, E., Eicker, A., Mayer-Gürr, T., Holschneider, M., Hayn, M., Fuhrmann, M. and Kusche, J.: Improved daily GRACE gravity field solutions using a Kalman smoother, Journal of Geodynamics, 2012 (doi: 10.1016/j.jog.2012.02.006).

Mayer-Gürr, T., Eicker, A., Kurtenbach, E. and Ilk (2010a) in K.-H. Flechtner, F., Gruber, T., Güntner, A., Manda, M., Rothacher, M., Schöne, T. and Wickert, J. (ed.): ITG-GRACE: Global Static and Temporal Gravity Field Models from GRACE Data, System Earth via Geodetic-Geophysical Space Techniques, Springer, 2010.

Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E., Eicker, A. (2010b): ITG-Grace2010 gravity field model, www.igg.uni-bonn.de/apmg/indx.php?id=itg-grace2010.

Rietbroek, R., Brunnabend, S.-E., Kusche, J., and Schröter, J.: Resolving sea level contributions by identifying fingerprints in time-variable gravity and altimetry, Journal of Geodynamics, 2011, In press.

Rietbroek, R., Fritsche, M., Brunnabend, S.-E., Daras, I., Kusche, J., Schröter, J., Flechtner, F. and Dietrich, R.: Global surface mass from a new combination of GRACE, modelled OBP and reprocessed GPS data, Journal of Geodynamics, In press, 2011, ISSN 0264-3707, DOI:10.1016/j.

Bachelorarbeiten

Börgens, E.: Methods for separating the effect of ongoing glacial-isostatic adjustment in geodetic observations, and the analysis of their performance for the Greenland ice sheet, B.Sc., Universität Bonn, 2011.

Groß, B.: Untersuchung zur Gravimeterfeldbestimmung aus zukünftigen Satelliten-Formationsflügen, B.Sc., Universität Bonn, 2010.

Groß, D.: Bestimmung von langfristigen Massenvariationen aus GRACE Zeitreihen zur Analyse von Grundwasserentnahmen, B.Sc., Universität Bonn, 2010.

Jens Bowien, Ch.: Entwicklung eines Werkzeugs zur visuellen Beurteilung neuer Satellitenmissionen, B.Sc., Universität Bonn, 2009.

**Verbundprojekt GREST-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)**

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011

Schlussbericht 31.12.2011

Bericht WP160

Knoblauch, S.: Fehlerbetrachtungen zu künftigen Satelliten-Schwerefeldmissionen, B.Sc., Universität Bonn, 2011.

Rose, Ch. J.: Vergleichende Untersuchung numerischer Techniken zur Integration von Satellitenbahnen, B.Sc., Universität Bonn, 2010.

Schmitz, S.: Ableitung von Deformationen der Erdoberfläche aus GRACE Gravitationsfeldlösungen und der Vergleich mit GPS Stationsbewegungen, B.Sc., Universität Bonn, 2010.

Springer, A.: Analysis of the EOF/PCA method to quantify spatio-temporal variations of sea level in the region of the Mediterranean Sea, B.Sc., Universität Bonn, 2010.

Masterarbeiten

Bowien, Ch.: Untersuchungen zum Schwerfeld in NRW, M.Sc., Universität Bonn, 2011.

Engels, O.: Berechnung zeitvariabler gravitativer Effekte von atmosphärischen Massenverteilungen, M.Sc., Universität Bonn, 2011.

Jensen, L.: Schätzung der Eismassenbilanz von Grönland mit Hilfe von GRACE und komplementären Daten, M.Sc., Universität Bonn, 2010.

Doktorarbeiten

Kurtenbach, E.: Entwicklung eines Kalman-Filters zur Bestimmung kurzzeitiger Variationen des Erdschwerefeldes aus Daten der Satellitenmission GRACE, Ph.D. Dissertation, Universität Bonn, 2011.

Vorträge

Eicker, A.: Gravity field refinement by radial basis functions from satellite data. EGU, Wien, 02/2009.

Eicker, A., Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T.: How can hydrological models be used to improve GRACE gravity field solutions?, EGU, Wien, 04/2009.

Eicker, A., Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E.: Accurate GRACE solutions tailored to hydrological requirements. IAG General Assembly, Buenos Aires, 31.08.2009.

Eicker, A., Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E.: How can GRACE contribute to our understanding of the Earth system? Journées Luxembourgeoises de Géodynamique, 09.11.2009.

Eicker, A., Kurtenbach, E. and Mayer-Gürr, T.: Tägliche GRACE-Lösungen für regionale hydrologische Anwendungen, Geodätische Woche, Köln, 2010/10.

**Verbundprojekt GREY-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)**

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011

Schlussbericht 31.12.2011

Bericht WP160

Eicker, A., Kusche, J., Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E. and Einarsson, I.: Recent developments in global and regional gravity field determination and geophysical applications, EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2010/05.

Eicker, A., Kurtenbach, E. and Mayer-Gürr, T.: Daily and monthly GRACE gravity fields: A Kalman filter combination of space observations and geophysical information, GRACE: Science outcomes and future prospects, Canberra, Australia, 2010/05.

Eicker, A., Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T., Kusche, J., Döll, P., Hoffmann-Dobrev, H., Adam, L., Holschneider, M., Fuhrmann, M.: Mutual benefits of GRACE gravity field analysis and global hydrological modeling, EGU General Assembly 2011, Vienna, 2011/04.

Eicker, A.: The GRACE mission: From satellite observations to mass transport processes, Current Research Seminar, Universität Wien, 2011/11.

Eicker, A., Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T., Shabanloui, A., Kusche, J.: GRACE gravity field reprocessing at IGG Bonn. BMBF Geotechnologien Abschlussseminar: Erfassung des Systems Erde aus dem Weltraum III, Potsdam, 2012/05.

Eicker, Annette, Enrico Kurtenbach, Torsten Mayer-Guerr, Akbar Shabanloui and Juergen Kusche. GRACE gravity field reprocessing at IGG Bonn. BMBF Geotechnologien Abschlussseminar: Erfassung des Systems Erde aus dem Weltraum III, Potsdam, Germany, 05-2012.

Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T., Eicker, A.: Tägliche Schwerefeldlösungen aus GRACE L1B Daten, Geodätische Woche 2009, Karlsruhe.

Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T. and Eicker, A.: Wie gut lassen sich aus GRACE-Beobachtungen echte tägliche Schwerefeldlösungen bestimmen? Geodätische Woche Köln, 2010/10.

Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T. and Eicker, A.: The ITG-Grace2010 Kalman filter approach - Can GRACE really observe daily gravity field variations? GRACE Science Team Meeting, Potsdam, 2010/11.

Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T., Eicker, A.: The ITG-Grace Kalman Filter Approach - Some Insights, EGU General Assembly 2011, Vienna, 2011/04.

Kusche, J., Global deformation of the Earth, time-variable gravity field, and the determination of surface mass transports, invited, AWI Climate Seminar, Bremerhaven, 13.3.2009.

Kusche J.: Gravity field, mass budget and sea level change of the Mediterranean from space, 5th TOPOEUROPE Workshop, Heidelberg, 17.10.2009.

Kusche, J.: Schwerefeld und Meeresspiegel - Ergebnisse der GRACE-Mission, Seminar Klimawissenschaften, AWI Bremerhaven, 2011/02.

Kusche, J. et al.: Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) - Current Status and recent Results, Pressekonferenz, EGU 2011, Vienna, 2011/04.

Kusche J.: Von der Satellitengeodäsie zur Erdsystemforschung - Massentransporte und Massenverteilungen im System Erde, Geodätisches Kolloquium, Universität Bonn, 2011/05.

**Verbundprojekt GREY-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)**

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011

Schlussbericht 31.12.2011

Bericht WP160

Kusche, J. et al.: Ableitung eines regionalen, zeitlich hochauflösenden Schwerefeld- und Loadingmodells für das Geodätische Observatorium Wettzell, DFG-Rundgespräch, Höllenstein, 2011/09.

Kusche J. et al.: Gravity field reprocessing at IGG, Geotechnologien-Statusseminar, Universität Stuttgart, 2011/10.

Kusche J.: Analysis tools for GRACE time-variable harmonic coefficients, Tutorial session, IGCP565 workshop on integration of geodetic observations and products into models of the hydrological cycle, University of the Witwatersrand, Johannesburg, 2011/11.

Mayer-Gürr, T., Die Satellitenmission GRACE: Die hochgenaue Bestimmung des zeitvariablen Schwerefeldes der Erde. AWI Kolloquium, Bremerhaven, 02/2009.

Mayer-Gürr, T.: Die Satellitenmission GRACE: Hochgenaue Gravitationsfeld-bestimmung der Erde. DPG Frühjahrstagung, München, 03/2009.

Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E., Different representations of the time variable gravity field to reduce the aliasing problem in GRACE data analysis. EGU, Wien, 04/2009.

Mayer-Gürr, T., Die GRACE Mission und das dynamische System Erde: Was kann man aus der Analyse von Signalen und Residuen lernen? AIUB Kolloquium, Bern, 06/2009.

Mayer-Gürr, T. und Kurtenbach, E., Different representations of the time variable gravity field to reduce the aliasing problem in GRACE data analysis. Hotine-Marussi Symposium, Rome, 6.7.2009.

Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E., Eicker, A. ITG-Grace04: the new GRACE gravity field release currently being computed in Bonn. Grace Science Team Meeting, Austin 11/2009.

Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E. and Eicker, A.: ITG-Grace2010: the new GRACE gravity field release computed in Bonn, EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2010/05.

Mayer-Gürr, T. et al.: Long Time Series of Consistently Reprocessed High-Accuracy CHAMP and GRACE Products, Geotechnologien Statusseminar, Bonn, 2010/10.

Mayer-Gürr, T.: Kinematische Bahnbestimmung für die GRACE Gravitationsfeldbestimmung - Zero-Differenzen und ganzzahlige Mehrdeutigkeiten, Geodätische Woche Köln, 2010/10.

Rietbroek, R., Kusche, J., On the problem of combining time-variable global band-limited potential field data with time series of point-wise, broad-band, data. Oral presentation, Hotine-Marussi Symposium, Rome, 6.7.2009.

Rietbroek, R., Kusche, J., The role of GRACE in multi-sensor joint inversions. Hotine-Marussi Symposium, Rome, 6.7.2009.

Rietbroek, R., Kusche, J., Dahle, Ch., Flechtner, F., brunnabend, S.-E., Schröter, J., Retrieval of weekly surface mass loads from a joint inversion of GRACE data, GPS derived crustal deformations and modeled ocean bottom pressure data. ICCT workshop on deformation and gravity, 2009.

**Verbundprojekt GREY-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)**

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011

Schlussbericht 31.12.2011

Bericht WP160

Rietbroek, R., Kusche, J., Dahle, C. Flechtner, F., Schröter, J., Oceanic mass variations from combining GPS network displacements, GRACE and modeled ocean bottom pressure. EGU, oral session OS15/G20, Vienna, 2009.

Rietbroek, R.: The use of GRACE gravimetry and altimetry to separate sea level contributions. Oral presentation in the Minisymposium "Geomathematics" 2011, annual meeting of the German Mathematical Union, Cologne, 2011.

Shabanloui, A., a new approach for pure kinematical and reduced kinematical determination of LEO orbit based on GNSS observations, IAG General Assembly 2009, Buenos Aires.

Shabanloui, A., From pure kinematical to reduces kinematical LEO orbit determinations, Geodätische Woche, Karlsruhe 09/2009.

Shabanloui, A.: Geometrical and Kinematical Precise Orbit Determination of GOCE, Geodätische Woche, Köln, 2010/10.

Shabanloui, A., Ilk, K.H.: From pure kinematical to reduced kinematical LEO orbit determination, IAG Scientific Assembly 2009, Buenos Aires, Argentina, 2009/08.

Shabanloui, A., Kusche, J.: Estimation of phase center variation and its effect on precise orbit determination; IUGG General Assembly, Melbourne, 2011/07.

Shabanloui, A., Kusche, J.: Projekt Status GREY-CHAMP/GRACE; GREY-CHAMP/GRACE Projekttreffen, Stuttgart, 2011/10.

Poster

Eicker, A., Kurtenbach, E., Döll, P., Hoffmann-Dobrev, H., Kusche, J.: Using GRACE data to improve global hydrological modelling, AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, 2011/12.

Eicker, A., Kurtenbach, E.: Entwicklung eines Konzepts zur Assimilation von GRACE Daten in ein globales hydrologisches Modell, Geodätische Woche 2011, Nürnberg, 2011/10.

Eicker, A., Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T., Shabanloui, A., Kusche, J.: Reprocessing of CHAMP and GRACE observations for the determination of improved static and temporal gravity field models with regional refinements (GREY-CHAMP/GRACE), BMBF Geotechnologien Abschlussseminar: Erfassung des Systems Erde aus dem Weltraum III, Potsdam, 2012/05.

Jensen, L., Eicker, A., Kusche, J.: Greenland ice mass balance estimation from GRACE data: a reexamination, EGU General Assembly 2011, Vienna, 2011/04.

Jensen, L., Eicker, A., Kusche, J.: Greenland ice mass balance estimation from GRACE data: a reexamination, AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, 2011/12.

Kurtenbach, E., Mayer-Gürr, T. and Eicker, A.: Using Kalman smoother to derive daily gravity field solutions from GRACE L1B data, EGU General Assembly, Vienna, Austria, 2010/05.

**Verbundprojekt GREST-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)**

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011

Schlussbericht 31.12.2011

Bericht WP160

Rietbroek, R., Fritsche, M., Gebler, M., Brunnabend, S.-E., Daras, I., Kusche, J., Schröter, J., Flechtner, F., Dietrich, R.: Improved surface loading from GRACE, GPS and OBP combination; EGU 2011, session G5.3, Vienna, 2011/04.

Rietbroek, R., Brunnabend, S.-E., Kusche, J. and Schröter, J.: What can GRACE gravimetry and altimetry tell us about sea level contributors? EGU 2011, poster session CL2.5/OS1.5, Vienna, 2011/04.

Rietbroek, R., Brunnabend, S.-E., Schröter, J., and Kusche, J.: Separation of sea level contributors by a joint inversion of GRACE gravimetry and Jason-1 altimetry. poster in the session "Sea Level Variability and Change", C38, World Climate Research Programme (WCRP) Denver, 2011/10.

Shabanloui, A., Ilk, K.H.: Pure Geometrical precise orbit determination of a LEO satellite based on carrier phase observations, IAG Scientific Assembly 2009, Buenos Aires, Argentinien, 2009/09.

Shabanloui, A., Kurtenbach, E., Eicker, A., Kusche, J.: Reprocessing of CHAMP and GRACE observations for the determination of improved static and temporal gravity field models with regional refinements (GREST-CHAMP/GRACE); BMBF Geotechnologien Statusseminar, Stuttgart, 2011/10.

4. Zusätzliche Literatur zum Abschlussbericht

Bettadpur, S., (2007). CSR Level-2 Processing Standards Document for Level-2 Product Release 04 , Univ. Texas, Austin.

Biancale R., Lemoine, J.-M., Balmino, G., Loyer, S., Bruinsma, S., Perosanz, F., Marty J.-C., Gégout, P., (2006). 3 years of geoid variations from GRACE and LAGEOS data at 10-day intervals from July 2002 to March 2005. CNES/GRGS product, data available on CD-ROM.

Bonin, J. A. and Chambers, D. P., 2011. Evaluation of high-frequency oceanographic signal in GRACE data: Implications for de-aliasing. *Geophysical Research Letters*, 38:L17608, doi:10.1029/2011GL048881

Eicker, A., 2008. Gravity Field Refinement by Radial Basis Functions from In-situ Satellite Data. Ph.D. thesis. University of Bonn.

Eicker, A., Springer, A., Jensen, L., Kusche, J.: Regional ice mass balance for Greenland from GRACE and ICESat modelled by radial basis functions, Presentation at EGU General Assembly 2012, Vienna, 2012/04

Flechtner F., Dahle, Ch., Neumayer, K.H., König, R., and Förste, Ch. (2010), The release 04 CHAMP and GRACE EIGEN gravity field models, In: Flechtner F., M. Manda, 229 T. Gruber, M. Rothacher, J. Wickert, A. Günther (Eds), *System Earth via Geodetic-Geophysical Space Techniques*, Springer, Berlin.

Förste, C.; Flechtner, F.; Schmidt, R.; Stubenvoll, R.; Rothacher, M.; Kusche, J.; Neumayer, K.-H.; Biancale, R.; Lemoine, J.-M.; Barthelmes, F.; Bruinsma, J.; König, R.; Meyer, U. (2008), EIGEN-GL05C - A new global combined high-resolution GRACE-based gravity field model of the

**Verbundprojekt GREST-CHAMP/GRACE
(Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN)**

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2009 – 31.12.2011

Schlussbericht 31.12.2011

Bericht WP160

GFZ-GRGS cooperation, General Assembly European Geosciences, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, Abstract No. EGU2008-A-06944, 2008

Horwath, M., Lemoine, J.-M., Biancale, R., and Bourgoigne, S. (2010), Improved GRACE science results after adjustment of geometric biases in the Level-1B K-band ranging data, *Journal of Geodesy*, Springer, 85, 23-38, doi: 10.1007/s00190-010-0414-2.

Jäggi, A., G. Beutler, L. Prange, U. Meyer, L. Mervart, R. Dach, R. Rummel, T. Gruber (2009) Gravity Field Determination at AIUB: Current Activities, Presentation at EGU General Assembly 2009, Vienna, 2009/04

Klees, R., Revtova, E. A., Gunter, B. C., Ditmar, P., Oudman, E., Winsemius, H. C., and Savenije, H. H. G. (2008). The design of an optimal filter for monthly GRACE gravity models. *Geophysical Journal International*, 175:417–432.

Luthcke, S. B., H. J. Zwally, W. Abdalati, D. D. Rowlands, R. D. Ray, R. S. Nerem, F. G. Lemoine, J. J. McCarthy, and D. S. Chinn (2006), Recent Greenland ice mass loss by drainage system from satellite gravity observations, *Science*, 314(1286), 1286–1289, doi:10.1126/science.1130776

Luthcke, S.B., A.A. Arendt, D.D. Rowlands, J.J. McCarthy and C.F. Larsen (2008), Recent glacier mass changes in the Gulf of Alaska region from GRACE mascon solutions, *Journal of Glaciology*, Vol. 54, No. 188.

Mayer-Gürr, T. (2006), Gravitationsfeldbestimmung aus der Analyse kurzer Bahnbögen am Beispiel der Satellitenmissionen CHAMP und GRACE. Dissertation at the University of Bonn. URL: <http://hss.ulb.uni-bonn.de:90/2006/0904/0904.htm>.

Pail, R., Goiginger, H., Schuh, W.-D., Höck, E., Brockmann, J.M., Fecher, T., Gruber, Th., Mayer-Gürr, T., Kusche, J., Jäggi, A., and Rieser, D. (2010b). First combined satellite gravity field model GOCO01S derived from GOCE and GRACE. *Geophys. Res. Lett.*, doi:10.1029/2010GL044906.

Pavlis, N.K., S.A. Holmes, S.C. Kenyon, and J.K. Factor (2008) An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008, presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008

Shabanloui, A. (2008) A New Approach for a Kinematic-Dynamic Determination of Low Satellite Orbits Based on GNSS Observations, Ph.D. thesis. University of Bonn.

Tapley, B., J. Ries, S. Bettadpur, D. Chambers, M. Cheng, F. Condi, S. Poole (2007), The GGM03 Mean Earth Gravity Model from GRACE, *Eos Trans. AGU*, 88(52), Fall Meet. Suppl., Abstract G42A-03, 2007.

Watkins, M. & Dah Ning, Y., 2007. JPL Level-2 Processing Standards Document for Level-2 Product Release 04 , Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.

Wittwer, T. (2009). Regional gravity field modelling with radial basis functions. PhD Thesis, TU Delft.