

ZWISCHENBERICHT

ASAP Ausschreibung	11		
FFG Projektnummer	847971	eCall Antragsnummer	5005899
Kurztitel	SPICE	FörderungsnehmerIn	Österreichische Akademie der Wissenschaften (Institut für Weltraumforschung)
Bericht Nr.	1	Berichtszeitraum	Von 1.1.2015 bis 31.12.2015
Berichtstitel	Zwischenbericht 1		
Bericht erstellt von	Oliver Baur, Stefan Reimond, Beate Klinger, Torsten Mayer-Gürr, Sandro Krauss		

Inhaltsverzeichnis

- 1) Zusammenfassung Deutsch/Englisch
- 2) Arbeitspakete und Meilensteine
- 3) Projektteam und Kooperation
- 4) Nur Endbericht: Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung
- 5) Erläuterung zu Kosten und Finanzierung
- 6) Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen
- 7) Meldungspflichtige Ereignisse

1. Zusammenfassung Deutsch/Englisch (je Max 3 Seiten)

Die globale Erwärmung steht heutzutage als eines der wichtigsten Themen im Zentrum von Wissenschaft, Politik und Gesellschaft. Die Abschmelzung der Gletscher und der Anstieg des Meeresspiegels sind unmittelbare Folgen der sich stetig erwärmenden Erdatmosphäre. Mit diesem Hintergrund zielt das Projekt SPICE auf die Lokalisierung und Quantifizierung von Eismassenvariationen der weltweiten Gletschersysteme ab.

Zur Lösung dieser herausfordernden Aufgabe werden Schwerfeldmessungen der Satellitenmissionen Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE) und Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE) analysiert. Die zeitliche Änderung des Schwerfeldes der Erde kann über folgende Beziehung mit den Massenänderungen auf der Erdoberfläche in Zusammenhang gebracht werden:

$$\delta g_i(r_i, \lambda_i, \varphi_i) = G \sum_{j=1}^p \frac{r_i - a \cos \psi_{i,j}}{(a^2 + r_i^2 - 2ar_i \cos \psi_{i,j})^{3/2}} \times \delta m_j, i = 1, \dots, q. \quad (1)$$

Die linke Seite in Gl. (1) beschreibt die Schwerstörungen wie sie von den Satelliten wahrgenommen werden. Diese Größe kann als Summe über die Massenänderungen δm_j , multipliziert mit einem Lokalisierungsfaktor, und der Gravitationskonstante G dargestellt werden. Die Satellitenpositionen $(r_i, \varphi_i, \lambda_i)$ und die Positionen der Punktmassen auf der Erde $(r_j, \varphi_j, \lambda_j)$ sind durch die sphärische Distanz ψ_{ij} getrennt. Die große Halbachse des Referenzellipsoids der Erde ist mit a bezeichnet.

Grundsätzlich können zwei Ansätze zur Lösung von Gl. (1) unterschieden werden: (i) die fixierte Punktmassenmodellierung und (ii) die freie Punktmassenmodellierung. Im Fall (i) sind die zu schätzenden Parameter die Punktmassenmagnituden δm_j und im Fall (ii) zusätzlich die entsprechenden Koordinaten $(r_j, \varphi_j, \lambda_j)$. Letztere Option stellt eine hoch nichtlineare Optimierungsaufgabe dar, welche im Rahmen des Projektes SPICE mittels genetischer Algorithmen (GA) in Kombination mit anschließender lokaler Optimierung (z.B. mit der Downhill-Simplex-Methode) gelöst wird. Das Flussdiagramm in Abb. 1 zeigt den Prozessablauf dieses sogenannten hybriden GA.

Mit diesem innovativen Analyseansatz betritt das Projekt SPICE wissenschaftliches Neuland – vor allem durch die Einführung der Schmelzgeometrie als zusätzliche unbekannt Parameter ist eine höher auflösende Lokalisierung der Gletscherdynamik zu erwarten.

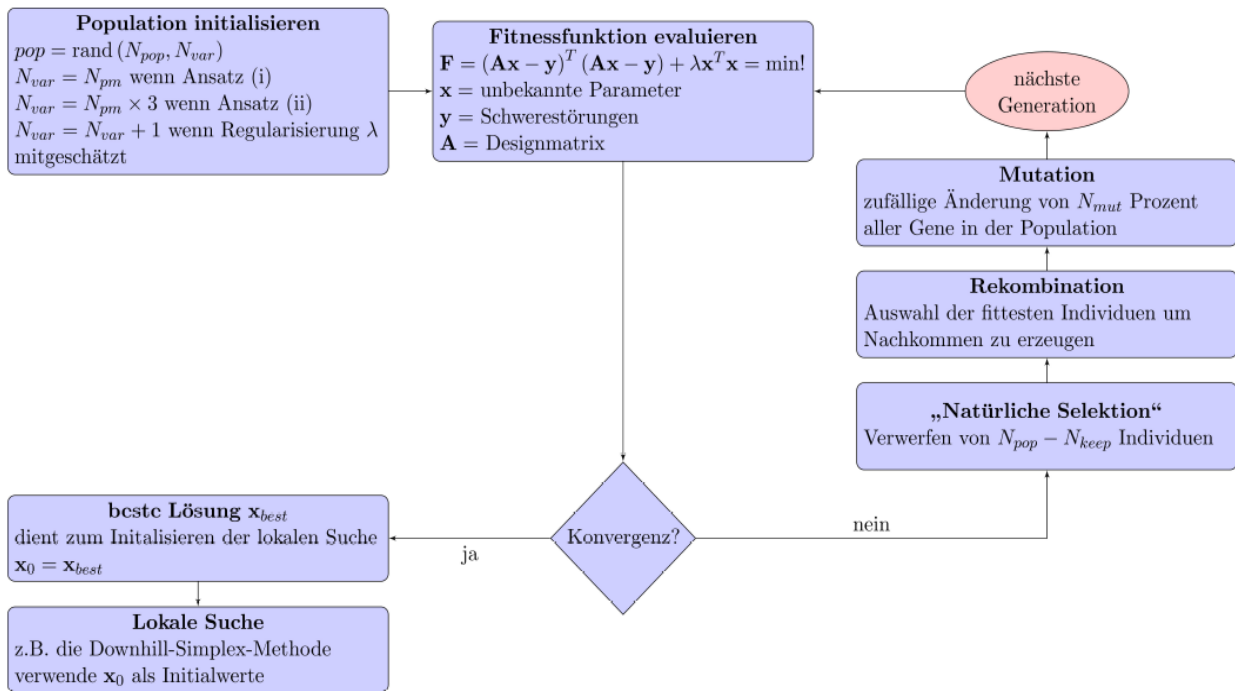


Abbildung 1: Konzept des innerhalb des Projektes SPICE angewandten Optimierungsansatzes.

Es ist von fundamentaler Bedeutung zu erwähnen, dass die verwendeten Beobachtungen nicht gemäß Gl. (1) vorab berechnete Schwerfeldstörungen darstellen. Vielmehr finden in den Optimierungsprozess „primäre Observable“ Eingang – dies sind inter-Satelliten K-Band Ranging (KBR) Messungen im Falle von GRACE und Gravitationsgradienten (GG) im Falle von GOCE. Dies bedeutet, dass die Beobachtungen in Gl. (1) in Form von Beobachtungsgleichungen vorliegen (welche die KBR/GG Messungen mit Funktionalen des Schwerfeldes in Verbindung setzen). Diese Tatsache bringt zwei Konsequenzen mit sich. Zum einen wirkt sich jeglicher Fortschritt in der GRACE/GOCE Daten-Prozessierung unmittelbar positiv auf die angewandten Algorithmen aus, zum anderen wird die Beziehung zwischen den Satellitenmessungen und den Punktmassen sehr komplex. Dieser Umstand bedingt eine geeignete und klar definierte Schnittstelle zwischen der Aufstellung der GRACE/GOCE Beobachtungsgleichungen und der Analyse dieser Gleichungen mittels des Punktmassenansatzes innerhalb einer GA-basierten Optimierungsprozedur.

Es gilt zu beachten, dass Gl. (1) ein schlecht-gestelltes Inversionsproblem darstellt und deshalb regularisiert werden muss. Für gewöhnlich wird der sogenannte Regularisierungsfaktor (dieser Parameter steuert die Stärke der Regularisierung) über heuristische Suchvorschriften wie z.B. das L-Kurven-Kriterium bestimmt. Unser Algorithmus-Design sieht indessen vor den Regularisierungsfaktor als zusätzliche unbekannte Größe in den globalen Optimierungsprozess mit aufzunehmen.

Erste Ergebnisse lassen erkennen, dass die freie Punktmassenmodellierung – wie erwartet – bessere Schätzungen für die Massenänderungs-Magnituden und, vor allem, Massenänderungs-Geometrien liefert. Im Folgenden werden die im Rahmen der Simulationsstudien gewonnenen Erfahrungen dazu verwendet die Analyse von GRACE/GOCE Realdaten aufzusetzen bzw. zu verfeinern.

Summary

One of the most serious topics not only the scientific community but also politicians and society have to deal with nowadays concerns the phenomenon of global warming. Deglaciation and sea level rise are immediate effects of the steady increase of the average temperature of the Earth's atmosphere. Against this background, the localization and the quantification of ice-mass variations of glacier systems is the primary objective of project SPICE.

The technique upon which this assessment is based involves data from the space-geodetic satellite missions Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE) and Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer (GOCE). The time-variability of the Earth's gravity field can be related to mass changes on the Earth's surface by

$$\delta g_i(r_i, \lambda_i, \varphi_i) = G \sum_{j=1}^p \frac{r_i - a \cos \psi_{i,j}}{(a^2 + r_i^2 - 2ar_i \cos \psi_{i,j})^{3/2}} \times \delta m_j, i = 1, \dots, q. \quad (1)$$

The left-hand side of Eq. (1) denotes the gravitational disturbance in space as detected by the satellites. This quantity can be expressed by the sum over the mass changes δm_j , multiplied by a localization factor, and the gravitational constant G . The space locations $(r_i, \varphi_i, \lambda_i)$ and the point mass locations on the Earth's surface $(r_j, \varphi_j, \lambda_j)$ are separated by the spherical distance ψ_{ij} . The semi-major axis of the Earth's reference ellipsoid is denoted as a .

Two approaches can be distinguished to solve Eq. (1): (i) fixed-positioned point-mass modeling and (ii) free-positioned point-mass modeling. The parameters to be estimated are the point-mass magnitudes δm_j in case (i), and in addition the respective coordinates $(r_j, \varphi_j, \lambda_j)$ for approach (ii). The latter constitutes a highly non-linear optimization problem which, within project SPICE, is solved by means of genetic algorithms (GA) in combination with a local optimizer (e.g., the downhill simplex method) for further refinement. The flowchart in Fig. 1 illustrates the procedure of this so-called hybrid GA.

With this innovative analysis strategy, project SPICE enters uncharted scientific territory. Especially by introducing the deglaciation geometry as additional unknown parameters, we expect a gain in the spatial localization of glacier dynamics over existing techniques.

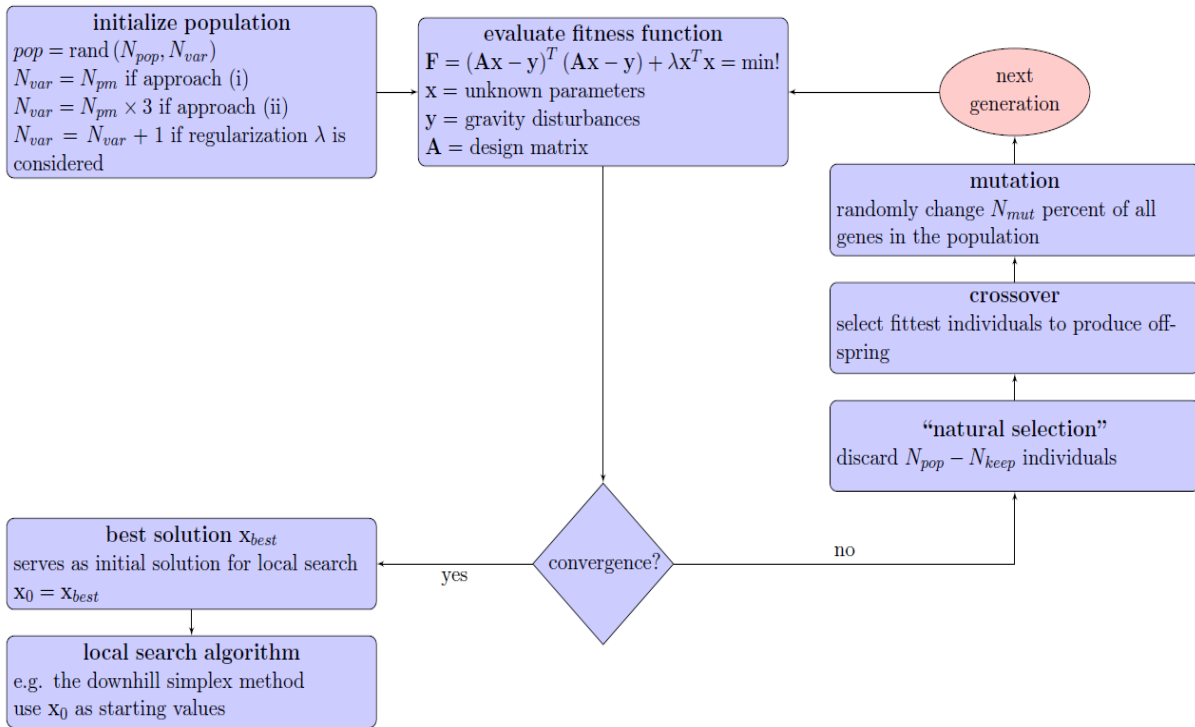


Figure 1: Concept of the optimization approach used within project SPICE.

Most importantly, the observations we exploit within project SPICE are not pre-calculated gravity disturbances as outlined in Eq. (1), but the optimization procedure enter the “primary observables”, namely inter-satellite K-Band Ranging (KBR) measurements in case of GRACE and Gravity Gradients (GG) in case of GOCE. Hence, the observations in Eq. (1) themselves constitute observation equations (relating the KBR/GG measurements to gravity field functionals). This fact involves two consequences. First, any advance in GRACE/GOCE data processing directly positively impacts the adopted algorithm. Secondly, the overall relation between the satellite measurements and the point masses becomes very complex, and hence requires a properly defined interface between the setup of the GRACE/GOCE observation equations and the exploitation of these equations by point-mass modeling within the GA-based global optimization procedure.

Note that Eq. (1) represents an ill-posed inverse problem and therefore requires regularization. Typically, the so-called regularization factor (this parameter regulates the regularization strength) is chosen by means of heuristic selection rules such as the L-curve criterion. In our algorithm design, however, we introduce the regularization factor as an additional unknown parameter to the overall optimization problem.

First results indicate that the free-positioned point-mass modeling approach yields – as initially expected – better approximations for both the deglaciation magnitudes and, much more important, the deglaciation geometries. In order to obtain reasonable results, however, it is of crucial importance to set appropriate bounds for the parameters to be estimated. This is particularly true for the regularization parameter. In the next step, the knowledge gained from the simulation studies will be used to setup/refine the analysis of real GRACE/GOCE data.

2. Arbeitspakete und Meilensteine

2.1 Übersichtstabellen

Wie aus den Tabellen ersichtlich, läuft das Projekt nach Plan; es gibt keine Abweichungen bezüglich Inhalt und Ergebnissen. Was die Meilensteine betrifft, so fällt durch Vorgabe der FFG #1 (dieses Dokument) zum 31.12.2015 an.

Tabelle 1: Arbeitspakete

AP Nr.	Arbeitspaket Bezeichnung	Fertigstellungsgrad	Basistermin		Aktuell		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
			Anf.	Ende	Anf.	Ende	
0	Scientific and administrative management	Entsprechend anfänglicher Planung	01/15	12/17	01/15	12/17	Nach Plan, keine Abweichungen
1	Algorithm design & Implementation plan	Entsprechend anfänglicher Planung	01/15	03/16	01/15	03/16	Nach Plan, keine Abweichungen
2	GRACE and GOCE data processing	Entsprechend anfänglicher Planung	04/15	03/17	04/15	03/17	Nach Plan, keine Abweichungen
3	Inference of mass variation from time-variable gravity	Entsprechend anfänglicher Planung	04/15	03/17	04/15	03/17	Nach Plan, keine Abweichungen
4	Separation of glaciological signal	Entsprechend anfänglicher Planung	07/16	06/17	07/16	06/17	Nach Plan, keine Abweichungen
5	Validation & Complementation of glacier change assessments	Entsprechend anfänglicher Planung	07/16	12/17	07/16	12/17	Nach Plan, keine Abweichungen

Tabelle 2: Meilensteine

Meilenstein Nr.	Meilenstein Bezeichnung	Basis-termin	Akt. Planung	Meilenstein erreicht am	Anmerkungen zu Abweichungen
1	Midterm report 1	12/15	12/15	12/15	Keine
2	Algorithm description document	03/16	03/16	-	Keine
3	Satellite data based on standard processing	03/16	03/16	-	Keine
4	Initial mass variation of glacier systems	06/16	06/16	-	Keine
5	Midterm Report 2	12/16	12/16	-	Keine
6	Satellite data based on improved processing	03/17	03/17	-	Keine
7	Final mass variation of glacier systems	03/17	03/17	-	Keine
8	Isolation of glaciological signal	06/17	06/17	-	Keine
9	Internal validation	06/17	06/17	-	Keine
10	External validation	08/17	08/17	-	Keine
11	Data complementation	12/17	12/17	-	Keine
12	Final report	12/17	12/17	-	Keine

Zeitplan (Soll/ Ist)

Jahr		2015												2016											
Monat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WP	WP Titel																								
0	Scientific and administrative management	Plan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Ist	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Algorithm design & implementation plan	Plan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Ist	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2	GRACE and GOCE data processing	Plan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Ist	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	Inference of mass variation	Plan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Ist	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	Seperaton of glaciological signal	Plan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Ist	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	Validation and complementation	Plan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Ist	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MS	Meilenstein Titel	Zeit																							
1	Midterm report 1	KO + 12M																							
2	Algorithm description document	KO + 15M																							
3	Satellite data based on standard processing	KO + 15M																							
4	Initial mass variation of glacier systems	KO + 18M																							
5	Midterm report 2	KO + 24M																							
6	Satellite data based on improved processing	KO + 27M																							
7	Final mass variation of glacier systems	KO + 27M																							
8	Isolation of glaciological signal	KO + 30M																							
9	Internal validation	KO + 30M																							
10	External validation	KO + 32M																							
11	Data complementation	KO + 36M																							
12	Final report	KO + 36M																							

Jahr		2017											
Monat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WP	WP Titel												
0	Scientific and administrative management	Plan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Ist	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1	Algorithm design & implementation plan	Plan											
		Ist											
2	GRACE and GOCE data processing	Plan	■	■	■								
		Ist	■	■	■								
3	Inference of mass variation	Plan	■	■	■								
		Ist	■	■	■								
4	Seperator of glaciological signal	Plan	■	■	■	■	■						
		Ist	■	■	■	■	■						
5	Validation and complementation	Plan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Ist	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MS	Meilenstein Titel	Zeit											
1	Midterm report 1	KO + 12M											
2	Algorithm description document	KO + 15M											
3	Satellite data based on standard processing	KO + 15M											
4	Initial mass variation of glacier systems	KO + 18M											
5	Midterm report 2	KO + 24M											
6	Satellite data based on improved processing	KO + 27M											
7	Final mass variation of glacier systems	KO + 27M											
8	Isolation of glaciological signal	KO + 30M											
9	Internal validation	KO + 30M											
10	External validation	KO + 32M											
11	Data complementation	KO + 36M											
12	Final report	KO + 36M											

2.2 Beschreibungen der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

AP Nr.	0	Titel des AP:	Scientific and administrative management
Start:	01/2015	Ende:	12/2017
Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten			
<p>Innerhalb des WP 0 wird das projektspezifische Management und die Koordination zwischen den Projektbeteiligten durchgeführt. Besonderes Augenmerk liegt auf der Qualitätskontrolle und der Überwachung des planmäßigen Fortschritts der Projektarbeiten. Neben inhaltlichen Aspekten betrifft dies auch die kontraktuellen/finanziellen Angelegenheiten, sowie die Sichtbarkeit der Projektarbeiten (bzw. der FFG) auf internationalen Tagungen.</p>			
Zieländerungen			
Keine			
Änderung des Inhalts der Arbeitspakets-Beschreibung:			
Keine			
Änderungen an der Methode:			
<p>Ergänzend zu den im Projektantrag genannten Methoden wurden regelmäßige Treffen (eines je nach Thematik mehr oder weniger großen Teils) der Projektbeteiligten angesetzt. Diese Treffen erwiesen sich als äußerst praktikables Instrument der Koordinaten (z.B. Schnittstellendefinition zwischen den Aufgaben/Beteiligten) sowie der Qualitäts- und Fortschrittskontrolle. Aufgrund der örtlichen Nähe (die beiden primär am Projekt beteiligten Institutionen sind in Graz angesiedelt) konnten diese Treffen spontan, häufig und kostenneutral angesetzt und durchgeführt werden.</p>			
Änderungen der Meilensteine, Ergebnisse und Deliverables:			
Keine			

AP Nr.	1	Titel des AP: Algorithm design & Implementation plan	
Start:	01/2015	Ende:	03/2016

Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

WP 1 ist sehr eng mit WP 2 und WP 3 verknüpft, da letztere den Input für die gemeinsam definierte Schnittstelle liefern. Abbildung 2 soll einen Eindruck von der Logik des Projektaufbaus vermitteln. Dank dieser Schnittstellendefinition können die Prozessierung der GRACE/GOCE Daten (WP 2) und die Umsetzung der Punktmassenmodellierung im Rahmen einer globalen Optimierungsaufgabe (WP 3) weitestgehend unabhängig erfolgen.

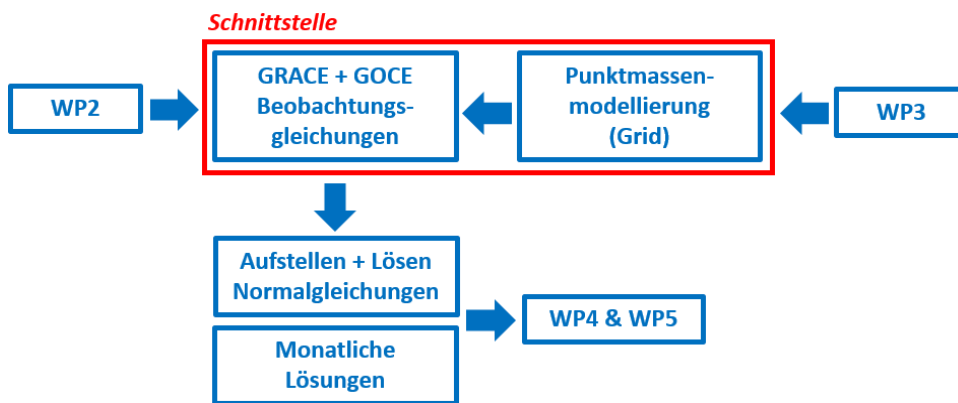


Abbildung 2: Projektlogik und Schnittstellendefinition.

Algorithmus-Design & Implementierungsplan für die Punktmassenmodellierung

Im Zuge von WP 1 wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt um mit der Materie der mathematischen Optimierung und insbesondere der Theorie der genetischen Algorithmen vertraut zu werden. Um den speziellen Anforderungen an das Projekt gerecht zu werden, wurde ein detaillierter Plan hinsichtlich des Algorithmen-Entwurfes sowie der Implementierung ausgearbeitet, der eine effiziente Übersetzung der mathematisch-physikalischen Problemstellungen in numerische Routinen ermöglicht. Darauf aufbauend konnte bereits erfolgreich eine GA-Software entwickelt werden, die durch ihr Python-basiertes, objektorientiertes Design eine einfache Handhabung der GA und der dazugehörigen Einstellungen wie Populationsgröße, Mutationsrate etc. gewährleistet. Die Software wurde anhand von Standardaufgaben aus dem Bereich der mathematischen Optimierung (z.B. der Rosenbrock-Funktion oder der Ackley-Funktion) ausführlich hinsichtlich ihrer Performance und Genauigkeit getestet.

Im Verlauf von WP 1 (und WP 3) wurde die Software kontinuierlich erweitert und insbesondere durch die Funktionalität der Punktmassenmodellierung ergänzt. Daraus entwickelte sich eine vielseitige Programmierungsumgebung zur Simulationsrechnung von Eismassenschätzungen in Gletschersystemen. Zur Abgrenzung der jeweiligen geographischen Interessengebiete (Regions Of Interest, ROI), wurde ein benutzerfreundliches Tool mit grafischer Oberfläche erstellt. Die Software basiert auf Daten des World Glacier Inventory (WGI), auf dessen Website unter anderem Koordinaten und Massenbilanzen für eine Vielzahl der weltweit existierenden Gletscher bereitgestellt wird.

Exemplarisch für die Himalaya-Region ist in Abb. 3 die Vorgehensweise skizziert.

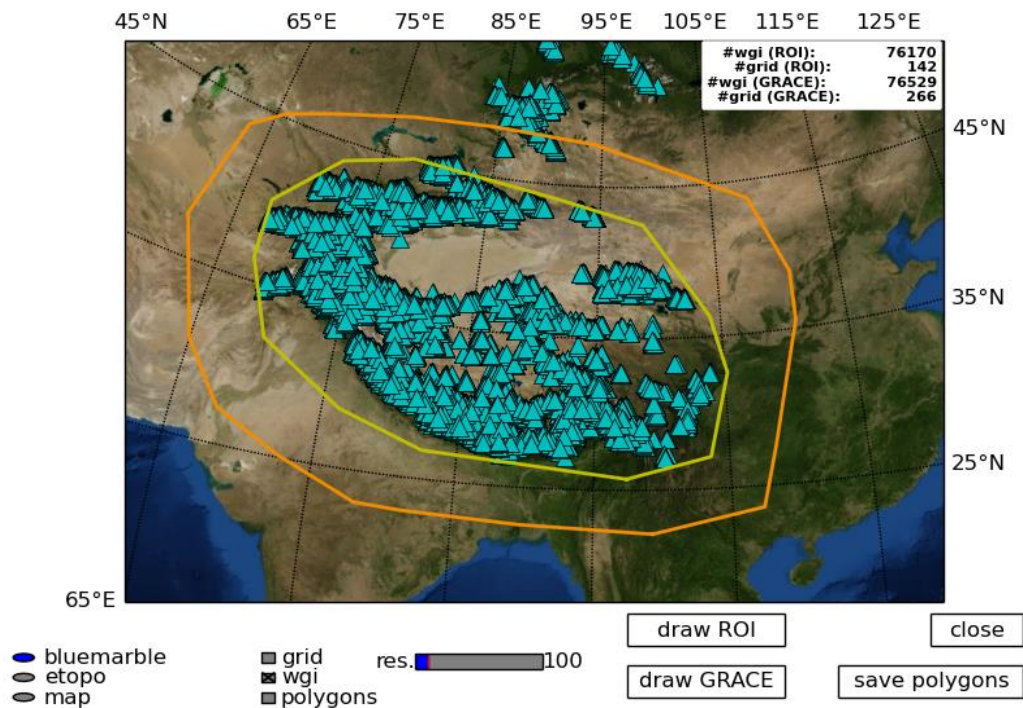


Abbildung 3: Fokussierung auf das Interessengebiet (Himalaya-Region) mitsamt Darstellung der in der WGI Datenbank enthaltenen Gletscher. Die Abgrenzung des Interessengebietes ist anhand von Polygonen dargestellt.

Algorithmus-Design & Implementierungsplan für die GRACE/GOCE Datenprozessierung

Die GRACE/GOCE Datenprozessierung erfolgt mit Hilfe des institutseigenen Softwarepakets GROOPS (Gravity Recovery Object Orientated Programming System), welches für unterschiedliche Arbeiten im Bereich der Schwerefeldprozessierung eingesetzt wird. Um die gemeinsam definierte Schnittstelle zu realisieren (Abb. 2), wird die Software an den entsprechenden Stellen erweitert.

Zunächst erfolgt die Vorprozessierung der GRACE und GOCE Beobachtungen. Danach können die entsprechenden Beobachtungsgleichungen aufgestellt werden. In weiterer Folge werden die einzelnen Gleichungssysteme miteinander kombiniert um die Normalgleichungen aufzustellen und zu lösen. Als Ergebnis des Kleinste-Quadrate-Ausgleichs erhält man monatliche Schwerefeldlösungen, welche in Form von Schwerefeldkoeffizienten gegeben sind. Dieser Ansatz entspricht einer globalen Repräsentation in Form von Kugelfunktionsreihen.

Die in Abb. 2 definierte Schnittstelle dient als Erweiterung der bisherigen Prozessierung und soll die regionale Parametrisierung erleichtern, wobei die Schnittstelle auf Ebene der Beobachtungsgleichungen erfolgt. Im Rahmen von SPICE wird die globale Repräsentation in Form von Kugelfunktionsreihen durch eine regionale Modellierung basierend auf Punktmassen ersetzt. Als Input (siehe WP 3) dient hierbei eine Punktmassenverteilung in Form eines Gitters bzw. einer Punktwolke (Punktmassenkoordinaten), mit deren Hilfe die Beobachtungsgleichungen entsprechend aufgestellt werden können.

Zieländerungen
Keine
Änderung des Inhalts der Arbeitspakets-Beschreibung:
Keine
Änderungen an der Methode:
Keine
Änderungen der Meilensteine, Ergebnisse und Deliverables:
Keine

AP Nr.	2	Titel des AP: GRACE and GOCE data processing	
Start:	04/2015	Ende:	03/2017

Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten

Innerhalb von WP 2 wird die GRACE und GOCE Datenprozessierung unabhängig von der späteren Anwendung verbessert. Die GRACE/GOCE Prozessierung beinhaltet die (i) Detektion und Elimination von Ausreißern, (ii) Dekorrelation der Beobachtungen, (iii) kinematische Bahnprozessierung aus GNSS-Beobachtungen, (iv) Bahnintegration, (v) Bestimmung von Störkräften basierend auf Hintergrundmodellen, und (vi) Parameterschätzung. Die bisher durchgeführten Verbesserungen in der Datenprozessierung werden im Folgenden näher beschrieben.

Sensor Fusion: Kombination von GRACE Sternekamera- und Akzelerometerdaten

GRACE liefert K-Band Ranging (KBR) Beobachtungen zwischen den beiden Satelliten GRACE-A und GRACE-B. Das KBR System misst die Distanz bzw. die Distanzänderung zwischen den beiden KBR-Antennenphasenzentren (APC). Um die Distanz zwischen den Massenzentren (CoM) der beiden Satelliten zu erhalten, muss die originale Distanzbeobachtung um eine geometrische Korrektur (AOC) erweitert werden. Diese geometrische Korrektur hängt von der Ausrichtung der beiden Satelliten zueinander ab (siehe Abb. 4).

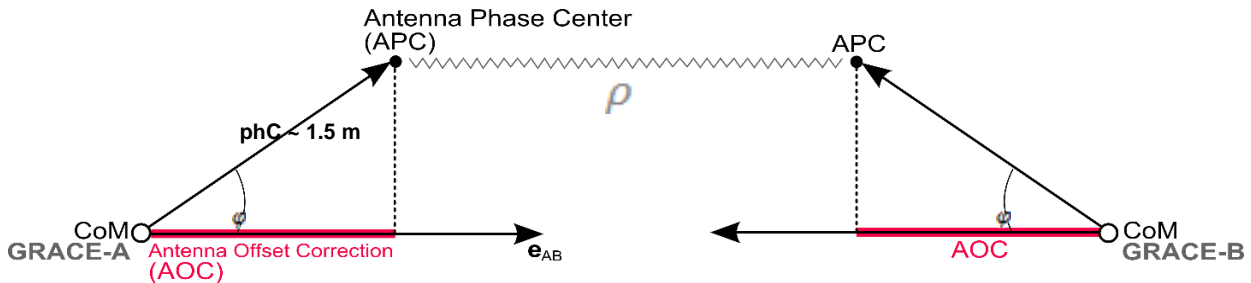


Abbildung 4: Die Referenzpunkte des GRACE KBR Messsystems sind die Antennenphasenzentren (APC). Antennen-Offset-Korrekturen (AOC) müssen berücksichtigt werden um die Messungen auf die Massenzentren der Satelliten zu referenzieren. Das von uns neu entwickelte Konzept der Sensor Fusion ist bisherigen Techniken überlegen.

Bisher wurde die Ausrichtung der beiden Satelliten nur mit Hilfe der GRACE Level-1B Sternekameradaten (SCA1B) bestimmt. Die Sternekameradaten beinhalten Quaternionen, welche die Rotation vom Satelliten Referenzsystem (SRF) ins Inertialsystem (IRF) darstellen. Allerdings liefern auch die Level-1B Akzelerometerdaten (ACC1B), welche neben den linearen Beschleunigungen auch Winkelbeschleunigungen beinhalten, Informationen über die Satellitenausrichtung. Daher beruht der Ansatz der Sensor Fusion auf der Kombination der beiden Datentypen (Quaternionen und Winkelbeschleunigungen).

Der funktionale Zusammenhang zwischen den Quaternionen \mathbf{q} und den Winkelbeschleunigungen $\dot{\boldsymbol{\omega}}$ kann mit Hilfe der Quaternion Rate Matrix \mathbf{W} hergestellt werden:

$$\dot{\boldsymbol{\omega}} = 2\mathbf{W}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} = 2 \begin{bmatrix} -q_1 & +q_0 & +q_3 & -q_2 \\ -q_2 & -q_3 & +q_0 & +q_1 \\ -q_3 & +q_2 & -q_1 & +q_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_0 \\ \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Mittels eines Ausgleichs nach kleinsten Quadraten können verbesserte Quaternion geschätzt und fusionierte Sternenkameradaten generiert werden. Die Gewichtung der beiden Beobachtungen erfolgt mittels Varianzkomponentenschätzung. In Abb. 5 ist der positive Effekt der Sensor Fusion deutlich erkennbar; die geometrische AOC Korrektur für die Distanzänderungen im Vergleich zu den originalen Level-1B Daten ist deutlich geglättet. Die Winkelbeschleunigungen tragen bei der Kombination im Wesentlichen zu den hohen Frequenzen bei und vermindern so das hochfrequente Rauschen.

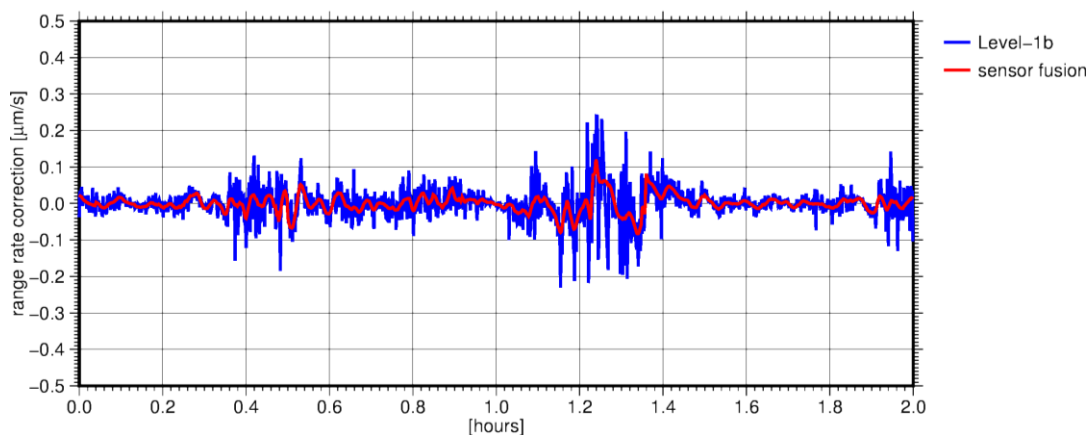


Abbildung 5: Geometrische Korrektur (für Distanzänderungen) für Januar 2007 über einen Zeitraum von 2 Stunden. Vergleich von Level-1B Daten (blau) und Ergebnissen der Sensor Fusion (rot).

Daten Screening

Das Daten Screening, welches Teil der Vorprozessierungskette der GRACE/GOCE Instrumentendaten ist, enthält folgende Schritte:

- Ausschluss von Zeiträumen, welche Manöver zur Kalibrierung des Massenzentrums (CoM) und/oder des KBR Systems beinhalten. Die Festlegung der Zeiträume erfolgt auf Basis des Sequence of Events (SoE) Files, welches alle satellitenspezifischen Manöver beinhaltet,
- Ausschluss der sogenannten „yaw-turns“, welche für das Batteriemangement notwendig sind, basierend auf den berechneten roll-, pitch- und yaw-Winkeln. Die roll-, pitch- und yaw-Winkel der Satelliten können mit Hilfe der Bahn- und Sternenkameradaten bestimmt werden,
- Kalibrierung der Akzelerometerdaten basierend auf der Simulation aller nicht-konservativen Kräfte (Atmosphärenreibung, Strahlungsdruck der Sonne, Erdalbedo),
- Schwellwertbasierte Detektion von groben Ausreißern innerhalb der ACC1B Daten durch den Vergleich mit den entsprechenden simulierten Akzelerometerdaten.

In Abb. 6 sind überblicksmäßig alle Zeiträume dargestellt, welche von der GRACE Prozessierung aufgrund von yaw-turns, CoM-Kalibrierungs-Manöver und/oder KBR-Kalibrierungs-Manöver ausgeschlossen wurden.

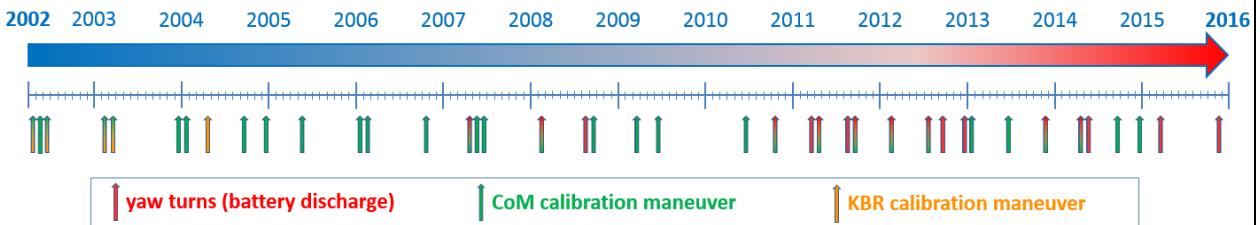


Abbildung 6: Zeiträume innerhalb der GRACE Zeitreihe, welche Kalibrierungs-Manöver und/oder yaw-turns beinhalten.

Ab dem Jahr 2011 nahm die Anzahl der yaw-turns, einer Drehung der Satelliten um die yaw-Achse, deutlich zu. Aufgrund von Batterie-Problemen sind diese zusätzlichen Maßnahmen für das Batterie-Management (Entladung der Batterien) notwendig um die Lebensdauer der Batterie-Zellen zu verlängern. Während dieser Zeiträume sind grundsätzlich keine KBR-Beobachtungen verfügbar, da die Verbindung zwischen den beiden GRACE Satelliten abreißt. Allerdings treten an den Rändern dieser Zeiträume Randeffekte auf (siehe Abb. 7), die sich negativ auf die inter-Satelliten Ausrichtung auswirken. Daher werden diese Zeiträume zusätzlich von der Prozessierung ausgeschlossen.

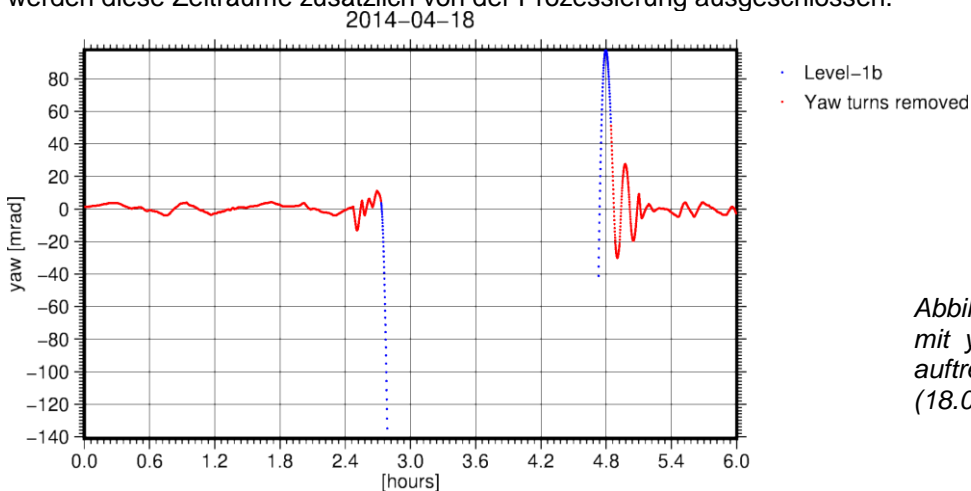


Abbildung 7: Yaw-Winkel mit yaw-turn und dadurch auftretenden Randeffekten (18.04.2014)

Kovarianz Funktion

Die Dekorrelation der KBR Distanzänderungs-Daten erfolgt mit Hilfe einer empirischen Kovarianz Funktion, wobei die Länge der Kovarianz Funktion von 1 auf 3 Stunden erhöht wurde. Des Weiteren wird ein robuster Kovarianz-Schätzer verwendet um sicherzustellen, dass die geschätzte Kovarianz Funktion unempfindlich gegenüber Ausreißern ist.

Vorläufige Reprozessierung

Es konnte gezeigt werden, dass sich die bisherigen Verbesserungen innerhalb der GRACE Prozessierung mit der Reduktion des Rauschlevels um circa 20% bemerkbar machen. Diese Reduktion bedeutet, dass die GRACE-typischen Nord-Süd Streifen deutlich reduziert werden können.

Zieländerungen
Keine
Änderung des Inhalts der Arbeitspakets-Beschreibung:
Keine
Änderungen an der Methode:
Keine
Änderungen der Meilensteine, Ergebnisse und Deliverables:
Keine

AP Nr.	3	Titel des AP:	Inference of mass variation from time-variable gravity	
Start:	04/2015	Ende:	03/2017	
Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten				
<p>Die in WP 3 verwendeten Algorithmen und die entsprechend umgesetzte Software wurden bereits bei der Beschreibung von WP 1 erläutert. Zur sauberen Implementierung der vorgeschlagenen Methoden wurde eine Serie von Simulationsstudien für mehrere Gletschersysteme durchgeführt (Alpen, Himalaya, Patagonien etc.).</p> <p>Der Simulationsablauf sieht dabei wie folgt aus:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Auswahl des Interessengebietes (die räumliche Information wurde aus der Datenbank des World Glacier Inventory – WGI – extrahiert) 2. Generierung eines Gitters von Beobachtungskordinaten $(r_i, \varphi_i, \lambda_i)$ und – im Falle der fixierten Punktmassenmodellierung – möglichen Punktmassenkordinaten $(r_j, \varphi_j, \lambda_j)$, 3. Simulation des Gravitationssignals in Satellitenhöhe, siehe Gleichung (1), basierend auf den Massenänderungen δm_{WGI} und den Koordinaten $(r_{WGI}, \varphi_{WGI}, \lambda_{WGI})$, 4. Schätzung der Magnituden δm_j und – im Falle der freien Punktmassenmodellierung – der Koordinaten $(r_j, \varphi_j, \lambda_j)$ über globale Optimierung (Abb. 1), 5. Vergleich von δm_j (Output) mit δm_{WGI} (Input). <p>Im Folgenden werden anhand eines Beispiels (Himalaya-Region) die Konfigurationsparameter des GA erklärt sowie die Ergebnisse einer repräsentativen Simulationsrechnung präsentiert. Die wichtigsten den gewählten GA Parameter sind in Tab. 1 zusammengefasst.</p>				

Tabelle 1: Gewählte GA Parameter.

Parameter des GA	
Populationsgröße	50
Binär?	NEIN
Limitierung der Parameter	JA
Limits für Magnituden	[-30, 0]
Limits für Koordinaten (Länge, Breite)	[70.6°, 101.9°], [27.6°, 43.9°]
Limits für Regularisierungsparameter	[10 ⁻¹⁰⁰ , 10 ⁻¹]
Natürliche Selektion: Methode	Thresholding (alle Individuen mit kleineren Kosten als der Mittelwert aller Kosten kommen weiter)
Auswahl der Elternteile: Methode	Tournament (3 zufällig gewählte Individuen kämpfen gegeneinander)
Rekombination: Methode	Blend (Gene werden vermischt und nicht unverändert weitergegeben)
Rekombination: Prozentsatz	75 % aller Gene (25 % werden unverändert weitergegeben)
Mutationsrate	10 %
Mutation: Elitismus	JA (bestes Individuum mutiert nicht)
Maximale Anzahl an Generationen	2000

Die Populationsgröße in Kombination mit der Anzahl der Generationen (sprich Iterationen) sind maßgebliche Treiber der Programmlaufzeit. Durch Einschränkung des Suchraums (obere und untere Limits für die zu bestimmenden Parameter) kann die Optimierung effizienter gestaltet werden. Das Herzstück des GA sind die Operationen Selektion, Rekombination und Mutation. Hierfür stehen viele Optionen zur Verfügung. Letztlich muss über das Prinzip „Versuch und Irrtum“ die für das zu behandelte Problem geeignete Konfiguration gefunden werden. Die so bestimmte Konfiguration ist ebenso Tab. 1 zu entnehmen.

Tabelle 2 gibt das Setup der Simulationsrechnung wieder. Eine Gesamtmasseänderung von -30 km³ wurde auf insgesamt 35 Punkte an der Erdoberfläche verteilt (Abb. 8). Das daraus resultierende Gravitationssignal in Satellitenhöhe ist in Abb. 9 dargestellt.

Tabelle 2: Simulation – Input.

Input	
Angenommene Massenänderung	-30 km ³ (Quelle siehe Zemp_Slides_SPICE_massbudgets.pdf)
Anzahl der simulierten Punktmassen	35
Magnitude individueller Gletscher	Flächenbasiert (Aufteilung der -30 km ³ je nach Größe)
Quelle (Koordinaten und Flächen)	WGI (World Glacier Inventory) Datenbank



Abbildung 8: Simulierte Massenänderung in 35 Punkten an der Erdoberfläche.

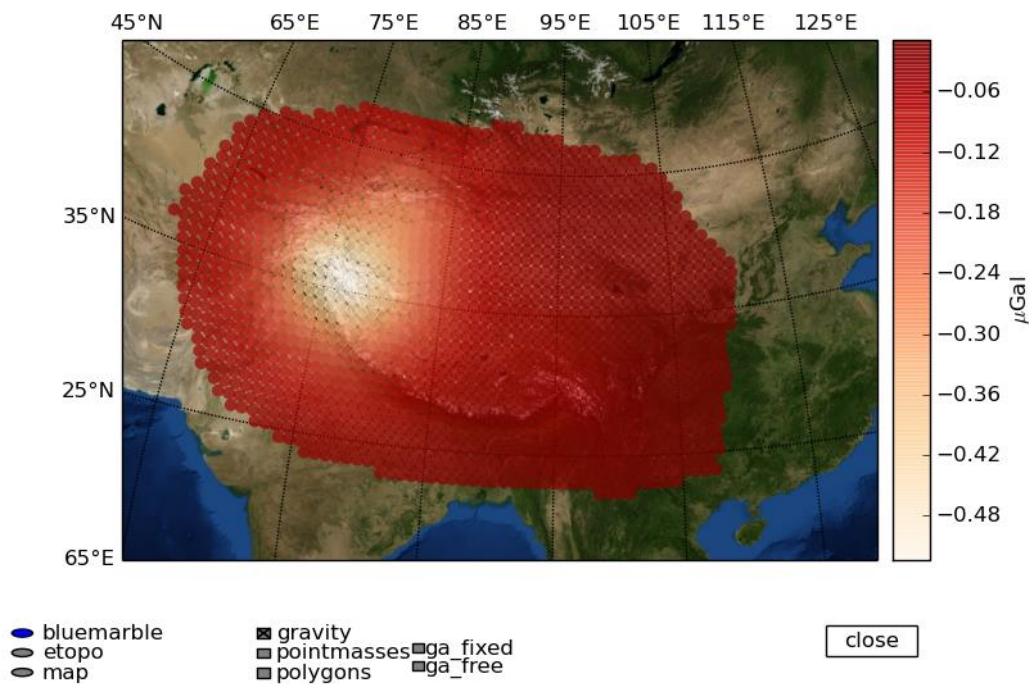


Abbildung 9: Gravitationssignal in Satellitenhöhe hervorgerufen durch die in Abb. 8 dargestellten Massenänderungen (berechnet in 1641 Punkten eines Reuter-Gitters).

Tabelle 3 und Abb. 10 zeigen die Ergebnisse der Simulationsrechnung im Falle der fixierten Punktmassenmodellierung (nur die Massenpunkts-Magnituden werden über GA bestimmt; die Massenpunkt-Koordinaten werden festgehalten).

Tabelle 3: Ergebnis der fixierten Punktmassenmodellierung.

Ergebnisse: fixed-positioned PM	
Gesamte Massenänderung	-30.410 km ³
Differenz zu wahren Wert (Gesamtänderung)	-0.4100 (1.367 %)
Größter Massenänderung	-8.4264 km ³
Größter Massenänderung: Wahrer Wert	-3.2844 km ³
Größter Massenänderung: Differenz	-5.1420 km ³ (156.5598 %)
Größter Massenänderung: Koordinaten (wahr)	(76.9080°, 35.5580°)
Größter Massenänderung: Koordinaten	(74.2500°, 36.0000°)
Regularisierungsparameter	5.6e-67

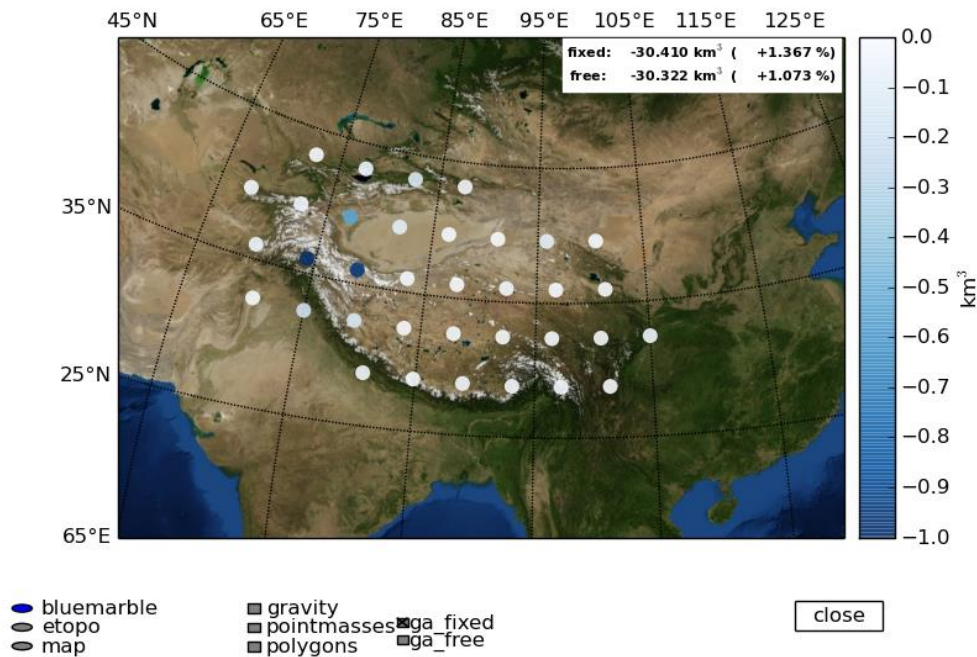


Abbildung 10: Ergebnis der fixierten Punktmassenmodellierung.

Im Gegensatz dazu zeigen Tab. 4 und Abb. 11 die Ergebnisse im Falle der freien Punktmassenmodellierung (sowohl die Massenpunkts-Magnituden als auch die Massenpunkts-Koordinaten werden über GA bestimmt). Der Vergleich von Abb. 10 mit Abb. 11 und Tab. 3 mit Tab. 4 zeigt klar, dass die freie Punktmassenmodellierung bessere Ergebnisse erzielt. Zwar unterscheiden sich geschätzten Gesamtmassenänderungen nur gering – jedoch passen die räumliche Verteilung und die individuellen Magnituden weit besser zum Simulationsinput (vgl. Tab. 2, Abb. 8).

Tabelle 4: Ergebnis der freien Punktmassenmodellierung.

Ergebnisse: free-positioned PM	
Gesamte Massenänderung	-30.322 km ³
Differenz zu wahren Wert (Gesamtänderung)	-0.3218 (1.073 %)
Größter Massenänderung	-3.3204 km ³
Größter Massenänderung: Wahrer Wert	-3.2844 km ³
Größter Massenänderung: Differenz	-0.0361 km ³ (1.0982 %)
Größter Massenänderung: Koordinaten (wahr)	(76.9080°, 35.5580°)
Größter Massenänderung: Koordinaten	(76.1135°, 35.6211°)
Regularisierungsparameter	2.8e-52

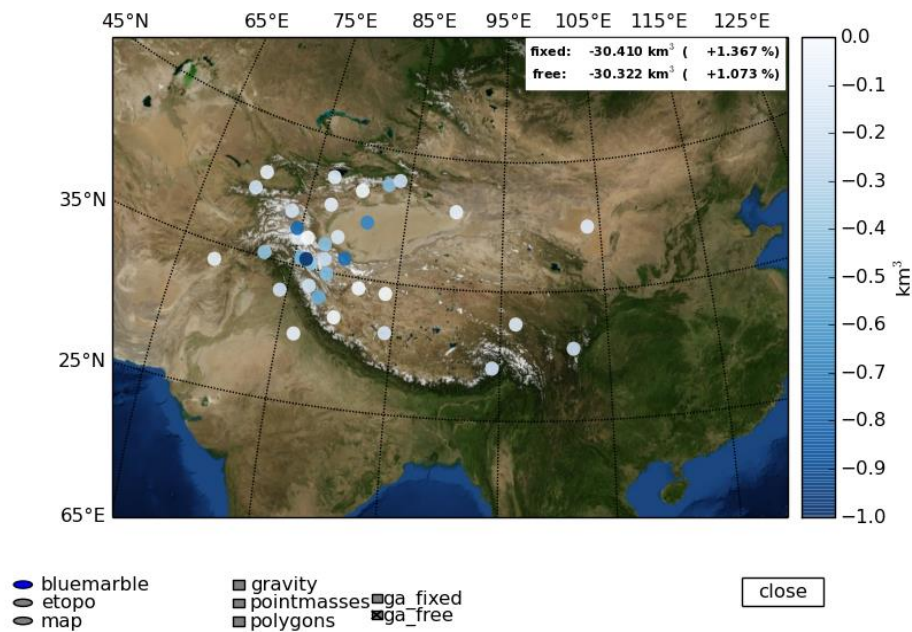


Abbildung 11: Ergebnis der freien Punktmassenmodellierung.

Zieländerungen

Keine

Änderung des Inhalts der Arbeitspakets-Beschreibung:

Keine

Änderungen an der Methode:

Keine

Änderungen der Meilensteine, Ergebnisse und Deliverables:

Keine

AP Nr.	4	Titel des AP:	Separation of glaciological signal	
Start:	07/2016	Ende:	06/2017	
Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten				
Entsprechend der anfänglichen und nach wie vor gültigen Zeitplanung wurde WP 4 noch nicht begonnen.				
Zieländerungen				
Keine				
Änderung des Inhalts der Arbeitspakets-Beschreibung:				
Keine				
Änderungen an der Methode:				
Keine				
Änderungen der Meilensteine, Ergebnisse und Deliverables:				
Keine				

AP Nr.	5	Titel des AP:	Validation & Complementation of glacier change assessments	
Start:	07/2016	Ende:	12/2017	
Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten				
Entsprechend der anfänglichen und nach wie vor gültigen Zeitplanung wurde WP 5 noch nicht begonnen.				
Zieländerungen				
Keine				
Änderung des Inhalts der Arbeitspakets-Beschreibung:				
Keine				
Änderungen an der Methode:				
Keine				
Änderungen der Meilensteine, Ergebnisse und Deliverables:				
Keine				

2.3 Probleme im Projekt

Keine.

2.4 Liste der durchgeführten Meetings und Test- Kampagnen

- Kick-off Meeting: 20.03.2015 (ganztägig) am IWF
- Regelmäßige themen-spezifische Treffen (mit je nach Thematik mehr oder weniger Projektbeteiligten) am IWF oder der TU Graz
- Wiederholte gegenseitige Besuche zur Feinabstimmung und Klärung individueller Fragestellungen

2.5 Geplante Aktivitäten im nächsten Zeitraum (Liste, kurz)

- Regelmäßige themen-spezifische Treffen (mit je nach Thematik mehr oder weniger Projektbeteiligten) am IWF oder der TU Graz
- Wiederholte gegenseitige Besuche zur Feinabstimmung und Klärung individueller Fragestellungen
- Besuche bei den in Deutschland und der Schweiz ansässigen Projektpartnern

2.6 Kontrakt Angelegenheiten

Keine Änderungen.

3. Projektteam und Kooperation

Keine Änderungen hinsichtlich der Arbeitsaufteilung zwischen den Projektpartnern, der Finanzstruktur und der Zielsetzung des Projekts.

Projektteam-Änderungen IWF:

- Von Projektbeginn an nimmt Herr Stefan Reimond die Stellung von Frau Karin Wisiol im Projekt ein (Frau Wisiol hat sich im Zeitraum von Projektbeantragung bis Projektbewilligung fachlich umorientiert). Die Personaländerung wurde der FFG bekannt gegeben (eCall Nachricht vom 12.12.2014)

Projektteam-Änderungen TU Graz:

- keine

4. nur Endbericht: Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung

Trifft nicht zu.

5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung

Siehe Excel-Tabellen.

- Zur Stärkung der Kooperation mit den internationalen Projektpartnern wurden, wie im Projektantrag angegeben, die Kosten für die Anreise zum Kickoff Meeting im WP0 verrechnet.
- Auch wenn in WP0 (Management) keine Stunden beantragt sind, so soll dies nicht den Eindruck erwecken, dass kein Management betrieben wird – vielmehr werden diese Arbeiten in „Eigenleistung“ zu Lasten des institutseigenen Budgets erbracht.

6. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen

Keine.

7. Meldungspflichtige Ereignisse

TU Graz:

Im Jänner 2015 wurde bei den Geodätischen Instituten der TU Graz eine interne Strukturveränderung vorgenommen. Das Institut für Theoretische Geodäsie und Satellitengeodäsie wurde gemeinsam mit drei weiteren Instituten zum Institut für Geodäsie zusammengefasst. Das ehemalige Institut für Theoretische Geodäsie und Satellitengeodäsie wird nun als Arbeitsgruppe für Theoretische Geodäsie und Satellitengeodäsie des Instituts für Geodäsie weitergeführt. Im Zuge dieser Umstrukturierung wurden keine personellen Veränderungen vorgenommen. Arbeitsgruppenleiter ist weiterhin Prof. Torsten Mayer-Gürr.