

# GRACE Satellitenbetrieb Dez. 2013 & 2014

Schlussbericht  
Zeitraum 01.12.2013 bis 31.12.2014



Projektleitung

Prof. Dr. Frank Flechtner  
Helmholtz-Zentrum Potsdam  
Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ)  
Department 1 „Geodäsie und Fernerkundung“  
Sektion 1.2  
Münchner Str. 20, 82234 Weßling  
Tel.: (08153) 28-1297  
Fax: (08153) 28-1735  
Email: flechtne@gfz-potsdam.de

(Leerseite)

## **Inhaltsverzeichnis**

1. Allgemeiner Bericht .....	3
1.1 Aufgabenstellung .....	3
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	4
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
1.4 Wissenschaftlicher, technischer Stand bei Projektbeginn .....	5
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen .....	5
2. Ergebnisse des Projektes .....	6

# 1. Allgemeiner Bericht

## 1.1 Aufgabenstellung

Eine Grundvoraussetzung zur Erlangung hochwertiger Satellitenmessdaten ist ein reibungsloser und zuverlässiger Satellitenbetrieb, der auch bei Problemfällen schnell und sachgerecht reagieren kann. Das umfangreiche Arbeitspaket für den Satelliten, seine Systeme und die Sensoren wird in komplexe Kommandosequenzen umgesetzt. Diese werden während der ca. 7 Minuten dauernden Stationsüberflüge zum Satelliten übertragen, innerhalb derer auch die gespeicherten Daten über eine hochratige Datenübertragung verlustfrei zum Boden gebracht werden müssen. Aufgrund der durch die Satellitenbahn begrenzten Sichtbarkeiten über Stationen in mittleren Breiten bedarf der gesamte Prozess einer exakten Planung der Messungen an Bord sowie auch der Einsatzplanung der am Boden verfügbaren Ressourcen. Ein weiterer Bestandteil der Arbeiten ist die ständige Beobachtung des Satellitenzustandes sowie die Erarbeitung und Durchführung von Korrekturmaßnahmen.

Bei der GRACE-Mission liegt der Satellitenbetrieb überwiegend in Händen des Deutschen Raumfahrtkontrollzentrums (GSOC/DLR) in Oberpfaffenhofen unter Koordinierung des Jet Propulsion Laboratory (JPL/NASA) bzw. des Deutschen GeoForschungsZentrums (GFZ). Daneben liefern das GFZ, JPL sowie das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD/DLR) weitere wichtige Betriebsbeiträge. Im Einzelnen umfassen die Aufgaben:

- Betrieb der Sendeanlage in Weilheim für die Kommandierung sowie den Datenempfang (Echtzeit, Dump) (GSOC)
- Einsatz der Empfangsanlage in Neustrelitz (DFD), seit 2014 bei GRACE auch als Sendeanlage nutzbar
- Betrieb einer Satellitenempfangsstation in Ny Ålesund (Spitzbergen) für den schnellen Datenempfang (GFZ)
- Bereitstellung eines operationell arbeitenden Vorverarbeitungssystems zur Erzeugung und Speicherung von Level-0 Daten (DFD, GFZ)
- Betrieb eines Rohdatenarchivs RDC an der Empfangsstation in Neustrelitz (DFD)
- Bereitstellung des Mission Operation Systems MOS für die Kommandierung, Überwachung des Satellitenzustandes, Planung und Erstellung der Kommandos unter Nutzung des Mission Planning Systems MPS (GSOC)
- Überwachung des Instrumentenzustandes, Bereitstellung von Datenbrowsern zur schnellen Datenanalyse (JPL, GFZ)
- Planung und Durchführung besonderer Aktionen (regelmäßige Neustarts des Bordrechners, Laden verbesserter Software, Kalibrationskampagnen, Bahnmanöver,..) (JPL, GFZ, GSOC)
- Wöchentliche Telefonkonferenzen zur Diskussion des Satellitenzustandes sowie der Planung von Aktivitäten (JPL, GFZ, GSOC, UT/CSR, Astrium/EADS (seit 2014 Airbus DS))
- Regelmäßige Information über den Zustand der Satelliten (werktätlich), Präsentation des Projektstatus im Projekt (pro Quartal) sowie auf

internationalen Meetings (GRACE Science Team Meeting, AGU, EGU) (JPL, GFZ)

- Überwachung des Satellitenbetriebs sowie Genehmigung von Aktivitäten (GFZ, JPL)

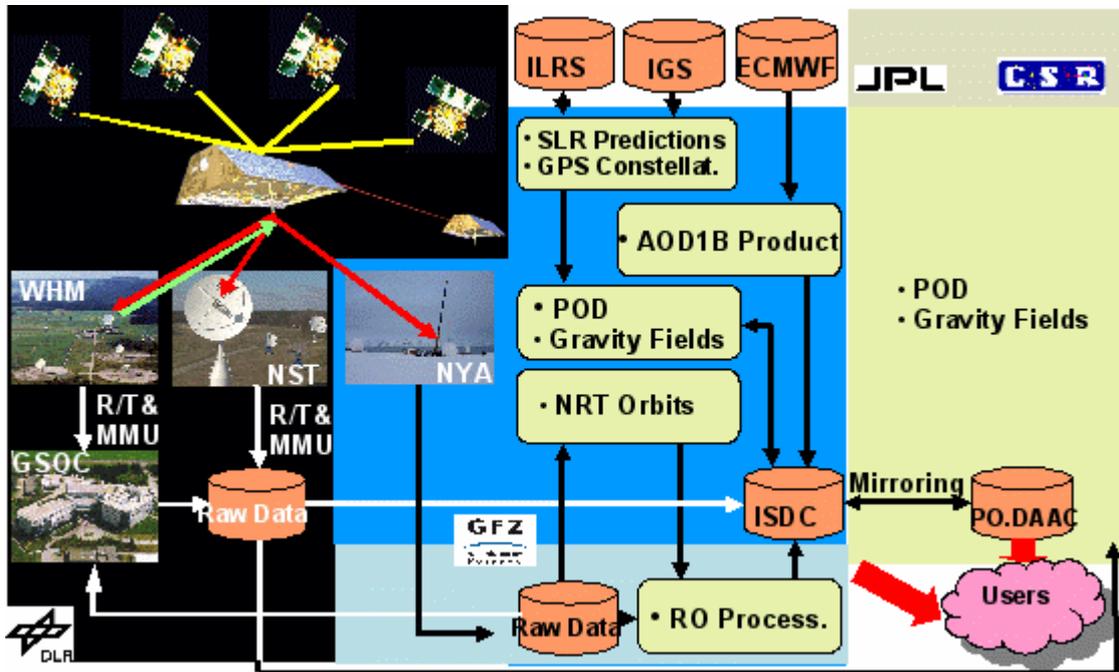


Abb.1: GRACE Bodensegment

Die obigen Komponenten des Missionsbetriebs werden seit dem Start der GRACE-Satelliten im März 2002 erfolgreich betrieben und gewährleisten die Verfügbarkeit aller Messdaten sowie einen sicheren Satellitenzustand. Aufgabe des Projektes war die Fortsetzung des DLR-seitigen Satellitenbetriebes über den Zeitraum 1. Dezember 2013 bis 31. Dezember 2014.

## 1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

GFZ und DLR haben im Rahmen des deutschen Beitrages zur GRACE-Mission in den ersten fünf Jahren (geplante Missionsdauer) die auf sie entfallenden Betriebskosten selbst getragen. Seit 4/2007 ist eine gemeinsame Finanzierung von DLR-GSOc und GFZ vereinbart, die bis 2010 durch eine Zuwendung des DLR-Raumfahrtmanagement gefördert wurde. Für die Zeit seit dem 1. Januar 2011 ist die Mission in das Third Party Mission Programm der ESA aufgenommen, aus dem in den Jahren 2011 und 2012 eine kostendeckende Förderung von 600.000 Euro erfolgte. Für die Jahre 2013 und 2014 konnte die durch die Kürzung der ESA-Fördersumme (auf 510.000 Euro) entstandene Finanzierungslücke durch die ergänzende Förderung durch das DLR-Raumfahrtmanagement geschlossen werden.

Die über die langjährige Missionsdauer eingesetzten validierten Hard- und Softwaretools bildeten die Grundvoraussetzungen des GRACE Satellitenbetriebes im Förderzeitraum. Ebenso konnte auf eingespielte Interfaces und Prozeduren zurückgegriffen werden.

### 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Auf Grund des operationellen Charakters der Arbeiten wurden im Vorhaben keine Meilensteine mit GSOC vereinbart. Zum einen galt es die täglich anfallenden Arbeiten (Bedienung der ca. 2-4 Stationskontakte pro Tag pro Satellit, Monitoren des Zustandes, Vorbereitung von Aktivitäten,..) wie auch das wöchentliche Planen der Kontaktzeiten und Datendumps zu organisieren und zu überwachen. Zum anderen mußte auf irregulär auftretende Anomalien reagiert werden.

Das Management dieser Aufgaben oblag Michael Steinhoff (GSOC), der sich zur Erledigung der Arbeiten Unterstützung von Kollegen sowie des Multi-Missions Operator-Teams holte und den Einsatz der Stationen Weilheim und Neustrelitz koordinierte. Für besondere Aktivitäten wurden gelegentlich auch die Stationen O'Higgins (Antarktis, DFD), Inuvik (Kanada, DLR/CSA/CCRS/SSC) sowie die Stationen des Near Earth Networks (NEN) der NASA in Wallops, Fairbanks, McMurdo und Spitzbergen benutzt.

### 1.4 Wissenschaftlicher, technischer Stand bei Projektbeginn

In Vorbereitung auf den Start der GRACE-Satelliten (2002) wurden Hunderte von Betriebsprozeduren, Kommandos und Monitoringseiten in Zusammenarbeit mit den Satelliten- und Instrumentenherstellern sowie den Wissenschaftlern definiert und realisiert, um einen optimalen und flexiblen Satellitenbetrieb zu ermöglichen. Über die bisherige Missionsdauer wurden diese Werkzeuge immer wieder angepasst und erweitert.

Satellitenseitig wurde seit dem Start sowohl der Onbord-Rechner wie auch die IPU (Instrument Processing Unit) mit neuer verbesserter Software zwecks Optimierung und Anpassung an aktuelle Situationen erfolgreich versehen. Diese Modifikationen dienten zum Teil auch zur Erleichterung des Satellitenbetriebes: so musste zu Beginn der Mission z.B. ein Neustart des K-Band Trackingsystems häufig vom Boden kommandiert werden, wogegen heute die verbesserte IPU-Software diese Arbeiten in mehr als 95% der Fälle autonom erledigt.

Bei Projektbeginn (Dez.2013) waren die GRACE-Satelliten schon fast 12 Jahre im Erdumlauf – 5 Jahre waren ursprünglich geplant! So ist es sehr erstaunlich, dass die Satelliten noch voll funktionstüchtig sind, trotzdem einige Hardwareausfälle bzw. Degradationen aufgetreten sind (siehe Tabelle).

Wegen der schwachen Batterien werden seit 2011 die ICUs zur Batterieentlastung bei langen Schattenphasen (niedriger Beta-Winkel) für einige Wochen abgeschaltet. Seit Mai 2012 betrifft dies auch die Mikrowelleneinheit MWA (K-Band).

Hardware	GRACE-1	GRACE-2	Status
Instrument Control Unit (ICU) des Akzelerometers	X		Primäre Einheit im Mai-2003 ausgefallen. Backup in Benutzung seitdem.
Instrument Processing Unit (IPU)		X	Ausfall der Backup-Einheit im Mai-2007. Seitdem Nutzung der primären IPU.
USO/MWA			Ausfall des USO-Main im März-2002

	X		und damit auch Ausfall des primären MWA (K-Band)
Sendereinheit (TX)		X	Im Nov-2011 musste auf den redundanten Sender umgeschaltet werden.
Batterien	X	X	Einerseits hat die Leistung der Batterien durch Alterung abgenommen. Andererseits sind auf GR-1 zwei (von 20) Zellen (Aug-2009, Apr-2011) und auf GR-2 eine (von 20) Zelle (Aug-2007) ausgefallen, wobei eine weitere stark schwächelt.

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wie schon in Abschnitt 1.1 bei der Auflistung der Arbeiten ausgeführt, sind folgende Einrichtungen mit Teilaufgaben des GRACE Satellitenbetriebes betraut

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
  1. Deutsches Raumfahrtkontrollzentrum (GSOC), Oberpfaffenhofen und Weilheim
  2. Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD), Aussenstelle Neustrelitz
- Jet Propulsion Laboratories (JPL), Pasadena/USA
- Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam und Oberpfaffenhofen
- Airbus Defense & Space GmbH, München und Friedrichshafen

Zur Erfüllung seiner Aufgaben bedient sich das GSOC teilweise externer Firmen, die qualifiziertes Personal für Teilaufgaben bereitstellen:

- LSE Space Engineering & Operations AG, Wessling
- CAM Systems GmbH, München
- Heavens Above, Wessling
- Insyen AG, Wessling

Daneben wurde eng mit den GRACE Wissenschaftsdatenzentren zusammengearbeitet, um eine optimale Datenausbeute zu erzielen:

- University of Texas, Center for Space Reseach (UTCSR), Austin/USA
- Jet Propulsion Laboratories (JPL), Pasadena/USA
- Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), Potsdam und Oberpfaffenhofen

## 2. Ergebnisse des Projektes

In Anbetracht des Alters der Satelliten verlief der GRACE-Satellitenbetrieb im Berichtszeitraum noch ruhig. Erhöhter Aufwand musste erwartungsgemäß beim Batteriebetrieb getrieben werden und auch die Sternkameraköpfe zeigten Degradationen, so dass ab Mitte 2014 die beiden Satelliten ihre Plätze tauschen und gedreht werden müssen, um weiterhin die guten Sternkameraköpfe nutzen zu können und damit Kaltgas zu sparen. Die beobachteten Anomalien wurden sowohl an Bord als auch am Boden schnell erkannt und im nominellen Betrieb sehr effektiv behoben.

In den 13 Monaten des Berichtszeitraums haben die GRACE-Satelliten die Erde 6132-mal umrundet, so dass am Jahresende 2014 auf nunmehr 71678 Erdumläufe zurückgeblickt werden konnte.

Für häufigere (jeden Umlauf) Datendumps wird vom GFZ eine Satellitenempfangsstation in Ny-Ålesund auf Spitzbergen mit zwei Empfangsantennen betrieben. Insbesondere für den GRACE-Satelliten mit aktivierten Radiookkultationsmessungen sind diese regelmässigen Datendumps erforderlich, um die Okkultationsdaten zeitnah auswerten und die Ergebnisse an die Wetterdienste weiterleiten zu können. Für den anderen GRACE-Satelliten liegt der Schwerpunkt des NYA-Stationseinsatzes auf dem Zustandsmonitoring, so dass es ausreicht etwa jeden zweiten möglichen Kontakt zu bedienen. Die Datendumps in Ny-Ålesund erhöhen die Datenredundanz im Bodensegment deutlich und tragen erheblich zur Erleichterung des Standardbetriebes durch GSOC bei. Dank des redundanten Datenempfanges (Neustrelitz, Weilheim und Ny-Ålesund) waren letztendlich keine Datenverluste zu verzeichnen. Die vom GFZ wöchentlich erzeugten zusätzlichen Dumpkommandos wurden an GSOC zur Kommandierung weitergeleitet.

Der Betrieb in Ny-Ålesund wird allein vom GFZ finanziert und war nicht Bestandteil der Zuwendung.

Die GSOC-Routinearbeiten umfassen das Beobachten des Satellitenzustandes in jedem WHM/NSG-Kontakt, die wöchentliche Planung der WHM/NSG-Kontakte (Zeiten, Dumpmengen,..), Steuerung der primären Sternkameraköpfe zur Vermeidung von Blendungen durch Sonne und Mond, Laden von aktuellen Bahninformationen für den Onboard-Orbit-Propagator. Aktualisierung der Informationen auf dem GRACE OpsWeb, Benachrichtigung bei Auffälligkeiten. Neben diesen laufenden Arbeiten fallen zusätzliche Aktivitäten an, wie Batterieladeregulierung, kommandierte Neustarts der IPU (Instrument Processing Unit), Korrektur von Bitfehlern im Sicherheitsspeicher, Neustart des Bordrechners. Für GRACE-1 und GRACE-2 waren dies im Berichtszeitraum 584 bzw. 609 weitere Aktivitäten.

Aufgetretene Anomalien werden in Anomalieberichten (ARI) festgehalten. Im o.a. Zeitraum sind 13 (GR1) bzw. 21 (GR2) ARIs zu verzeichnen.

Anomalien ID	Datum	Anomalie	GR1	GR2
ARI-1643	2013-12-24	Battery problem – weak Cell		X
ARI-1644	2013-12-25	Macro40 executed due to battery temperature raise		X
ARI-1645	2014-01-08	Mode drop to AHM due to IPU hang-up		X
ARI-1646	2014-01-10	Corrupted Dumps due to MMU-I/F anomalie	X	
ARI-1647	2014-01-18	Frequent MMU scrubbing process on inactive MMU A	X	

„GRACE-Betrieb Dez. 2013, 2014, FZ 50EE1354“

ARI-1648	2014-01-28	IPU S/W installation problem	X	
ARI-1649	2014-02-17	Three Mode Drops to CPM due to IPU anomalie		X
ARI-1650	2014-03-03	Stop of antenna movement during contact (WHM)		X
ARI-1651	2014-03-04	Bad TM reception (WHM)		X
ARI-1652	2014-01-16	Some missing IPU data packets		X
ARI-1653	2014-03-19	OpsWeb problems	X	X
ARI-1654	2014-03-26	GRACE OPS MMFS docs not reachable	X	X
ARI-1655	2014-04-08	Macro40 triggered due to battery temperature raise		X
ARI-1656	2014-04-08	Battery cell loss		X
ARI-1657	2014-05-09	Macro40 triggered due to battery temperature raise	X	
ARI-1658	2014-05-26	WHM station problem		X
ARI-1659	2014-06-11	GRACE system (main & red) at NSG crashed	X	X
ARI-1660	2014-07-13	No TM at AOS at NSG	X	
ARI-1661	2014-07-28	OCM thruster closed too early		X
ARI-1662	2014-08-16	MMU B reboot – data lost		X
ARI-1663	2014-08-15	Inconsistencies in timeline dump	X	X
ARI-1665	2014-08-23	Drop in number of occultation measurements		X
ARI-1666	2014-09-03	NSG dump lost	X	
ARI-1667	2014-09-11	NYA data transfer process at GSOC interrupted	X	X
ARI-1668	2014-09-19	Drop to CPM due to error in TLE upload	X	
ARI-1669	2014-10-01	MMU Switching due to data overflow		X
ARI-1671	2014-10-02	RDC data transfer interrupted	X	X
ARI-1672	2014-11-24	CCS examine function shows incorrect values		
ARI-1673	2014-12-04	No telemetry from WHM		X
ARI-1674	2014-12-15	Incomplete RI execution	X	
ARI-1675	2014-12-29	Commands loaded with wrong timestamp	X	

Eine Übersicht der Aktivitäten bzw. Anomalien kann der beigefügten Anlage entnommen werden.

Folgende Ereignisse und Aktivitäten sind besonders zu erwähnen:

- Im Dezember 2013 zeigte eine Batteriezelle deutliche Schwächen bei hoher Last. Eine Modifikation des Batterieladeschemas (leichte Überladung) konnte einen Ausfall verhindern.
- In 2014 wurde das (tägliche) Batterieladeschema dann weiter verbessert, so dass seitdem eine genauere Steuerung des Ladevorganges erfolgt.

- Nachdem sich beim Sternkamerakopf 2 auf GRACE-2 im ersten Halbjahr 2014 deutlich verschlechterte Messungen zeigten, die zu einem drastisch erhöhten Kaltgasverbrauch führten, wurde beschlossen bei jedem Wechsel der Sonne auf die andere Satellitenseite (alle 161 Tage) die Satelliten umzudrehen und die Reihenfolge zu tauschen. Dies erfolgte erstmals im Juli 2014 und dann wieder im Dezember 2014.
- Ein autonomer Neustart des benutzten On-Bord-Speichers im August führte zum Verlust von GRACE-2 Daten (45 Minuten) und konnte nur durch den Einsatz der NYA-Station so gering gehalten werden.
- Das zweite Halbjahr 2014 stand ganz im Zeichen von Verbesserungen des Lagekontrollsystems um Kaltgas zu sparen. Nach vielen Tests konnten ca. 1.5g/Tag erzielt werden (bei durchschnittlich 5g/Tag).
- Im November 2014 wurde die IPU-Software auf beiden Satelliten aktualisiert, um zu vermeiden, dass im Sommer 2015 die GPS-Woche nicht mehr erkannt wird.
- Es zeigte sich, dass das seit Anfang 2014 verwendete neue Batterieladeschema es erlaubt, auf regelmäßige Drehungen der Satelliten zur Forcierung einer Batterieentladung während eines Voll-Sonnenzyklus verzichtet werden kann.

Die über Weilheim/Neustrelitz (tlw. Ny Ålesund) heruntergeladenen Messdaten wurden über den Pickup-point beim RDC (Rohdatenzentrum, Neustrelitz) den Wissenschaftsdatenzentren (CSR, GFZ, JPL) kontinuierlich zur Verfügung gestellt.

Alle Betriebsarbeiten waren erforderlich, um die hohe Datenqualität und -quantität weiterhin zu gewährleisten sowie eine möglichst lange Missionsdauer zu erreichen.

Veröffentlichungen sind im Berichtszeitraum nicht angefallen, da die Mission schon seit 2002 läuft und sich keine veröffentlichungswerten gravierenden Änderungen im Betrieb ergeben haben.