

**Maik Thomas und Robert Dill**

Im Berichtszeitraum setzte die Sektion 1.3 des Deutschen GeoForschungsZentrum GFZ, Helmholtz-Zentrum Potsdam die umfangreichen numerischen Simulationen von Massen-, Impuls- und Energietransportprozessen im Erdsystem mit den am DKRZ installierten Simulationsprogrammen OMCT, ROMS, COSMOS und LSDM fort. Dabei werden unter Verwendung freier und datengestützter modularer Modellansätze geodätisch-geophysikalische Größen, wie z.B. statische und zeitvariable Erdschwere- und Magnetfelder, Ozeanbodendruckvariationen, Meeresspiegeländerungen und Erdrotationsschwankungen berechnet und mit den beobachteten Variabilitätsmustern der zu Grunde liegenden physikalischen Prozesse einschließlich ihrer komplexen Wechselwirkungen verglichen, um schließlich eine breite Interpretation und Nutzbarmachung der beobachteten geodätisch-geophysikalischen Felder und Parameter zu erreichen. Des Weiteren wurden Programme zur Berechnung von globalen hochaufgelösten Oberflächendeformationen entwickelt und erfolgreich angewendet.

Folgende Simulationsprogramme sind hierfür am DKRZ installiert:

Das Ozeanmodell OMCT (Ocean Model for Circulation and Tides) erlaubt die globale Simulation von Ozeanströmungen und gezeiteninduzierten Massentransporten.

Es ist passiv gekoppelt mit dem hydrologischen Land Surface Discharge Modell (LSDM) für die Simulation der kontinentalen Wassermassen und des Frischwassereintrages in die Ozeane.

Beide Modelle, kombiniert mit den atmosphärischen Antriebsdaten des ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) repräsentieren einen konsistenten globalen Massenkreislauf der Hydrosphäre.

Das regionale, parallelisierte Ozeanmodell ROMS dient hochaufgelösten Regionalsimulationen.

Das gekoppelten Atmosphären-Ozean Modells COSMOS erlaubt klimatologische Langzeitsimulationen.

Im Rahmen des IERS APC (International Earth Rotation and Reference System Service, Associated Product Center) werden im operationellen Betrieb tagesaktuell geodätisch relevante Parameter der Hydrosphären-Modellkombination wie Erdrotationsschwankungen, Vorhersage der Erdrotationsanregung, Schwerefeldvariationen und durch Massenauflasten verursachte Erdoberflächendeformationen bestimmt und bereitgestellt.

Unter Verwendung der vom DKRZ zur Verfügung gestellten Rechenkapazitäten wurden im Einzelnen folgende Forschungsarbeiten durchgeführt:

## **(1) Ableitung von 3D-Krustendeformationen aufgrund von zeitlichen Variationen im Atmosphärendruck, im Ozeanbodendruck und im kontinental gespeicherten Wasser**

- **Wissenschaftlicher Service innerhalb des Internationalen Erdrotations- und Referenzsystems-Service (IERS) der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG)**

Seit 2013 werden durch die Sektion 1.3 3D-Krustendeformationen aufgrund von Massenumverteilungen in Atmosphäre und Hydrosphäre aus Simulationen von OMCT und LSDM unter ECMWF-basierten atmosphärischen Antrieben abgeleitet und der internationalen Wissenschaft im Rahmen des IERS zur Verfügung gestellt. Die hierbei erstmals explizit berücksichtigten Massenvariationen in den kontinentalen Oberflächengewässern erfordern neben der zeitlichen Auflösung von einem Tag auch eine sehr hohe räumliche Auflösung, um die vertikalen und horizontalen Deformationsprozesse in unmittelbarer Umgebung von Gerinnen realistisch wiedergeben zu können. Um den hohen Rechenaufwand in Grenzen zu halten, wurde ein zweistufiges Berechnungsverfahren entwickelt, das eine vereinfachte (grobe) globale Berechnung mit einer sehr hochaufgelösten Berechnung im Nahfeld der Massenauflasten verbindet. (Dill und Dobsław, 2013).

Um eine exaktere Abbildung der Gerinneauflasten zu erzielen, wurde eigens ein Remapping-Verfahren entwickelt, das die Ergebnisse der globalen kontinentalhydrologischen Simulationen mit LSDM auf ein deutlich feineres Gitter abbilden kann.

Die Verwendung lokaler Green'scher Funktionen hat gezeigt, dass bei sehr kleinskaligen Massenauflasten, wie sie in der kontinentalen Hydrologie auftreten, Variationen der lokalen Krustenstruktur zu Deformationsänderungen von 1-2mm führen, die mit einem Anteil von 25-50% am Gesamtsignal bei der Auswertung von Stationskoordinaten in der Geodäsie zu berücksichtigen sind (Dill et al., 2015).

## **(2) Weiterentwicklung der ozeanischen Komponente des GRACE De-Aliasing-Produktes**

- **Gefördert im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens "Realisierung der Deutschen Projektanteile der GRACE-FO Satellitenmission", Teilprojekt "AOD GRACE-FO"**

Die Satellitenmission GRACE wurde als Kooperation zwischen der U.S.-amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Jahr 2002 erfolgreich gestartet. Das Department 1 des GFZ Potsdam stellt für diese Mission den Co-PI und ist für wesentliche Elemente des Science Data

Systems verantwortlich. GRACE liefert nunmehr seit mehr als elf Jahren zuverlässig Daten über das zeitvariable Schwerefeld der Erde, welche erstmals detaillierte Einblicke in Massentransportprozesse unter und an der Erdoberfläche, wie beispielsweise saisonale Änderungen des terrestrisch gespeicherten Wassers oder Massenverluste der Hochgebirgsgletscher oder des Grönländischen Eisschildes.

Im Rahmen der Realisierung der für 2017 geplanten Nachfolgemission GRACE-FO arbeitete die Sektion 1.3 des GFZ an der Verbesserung der ozeanischen Komponente des sogenannten De-aliasing-Produktes. Zeitlich und räumlich hochauflösende Modelldaten der Atmosphäre (ECMWF-Analysen) und des Ozeans (aus OMCT Modellsimulationen) werden als zeitvariables Hintergrundmodell in die Standard-Schwerefeldprozessierung eingeführt, um ein zeitliches und räumliches Aliasing von submonatlich ablaufenden Prozessen in die mittleren monatlichen Schwerefelder zu verhindern und damit die gemessenen Schwerefeldsignale interpretierbar und interdisziplinär nutzbar zu machen.

Zur Vorbereitung der Nachfolgemission GRACE-FO wurden zahlreiche Sensitivitätsstudien mit einer neuen Konfiguration des Ozeanmodells OMCT mit höherer räumlicher Auflösung durchgeführt (Fagiolini et al., 2015, Dobslaw et al., 2015)

### **(3) Ozeanische Zirkulation in der Agulhas-Region mit ROMS**

- **Beitrag zu aktuellen Aktivitäten des GFZ Potsdam im BMBF-Förderschwerpunkt "SPACES-Programm - Science Partnerships for the Assessment of Complex Earth System Processes in Southern Africa"**

Die Region rund um das südliche Afrika mit dem Agulhas-Randstrom gehört zu den dynamisch komplexesten ozeanischen Stromsystemen der Erde. Die hohe Variabilität der ozeanischen Zirkulation auf unterschiedlichsten Raum- und Zeitskalen führt zu starken Massenvariationen und Meeresspiegeländerungen, die mit geodätischen Verfahren erfasst werden können. Insbesondere Massensignale aufgrund der windgetriebenen Dynamik sowie tiefreichender überwiegend barotroper Eddies in der Region südlich des Kaps führen zu ozeanisch induzierten Deformationen der Erdkruste, die geodätische Stationsbeobachtungen in Küstennähe beeinflussen können.

Unter Verwendung einer eddy-auflösenden Konfiguration des regionalen Modellierungssystems ROMS wurden in Sensitivitätsstudien die Einflüsse verschiedener Prozesse auf die geodätisch relevanten Größen Bodendruck und Meeresspiegel untersucht und deren Einfluss auf geodätische Stationsbeobachtungen in Küstennähe quantifiziert. Besonderes Augenmerk lag dabei auf den Registrierungen des vom GFZ Potsdam betriebenen Supraleitgravimeters in Sutherland nördlich von Kapstadt. Gleichzeitig wurden unter Erweiterung der von ROMS standardmäßig bereitgestellten 4D-VAR-Algorithmen erste Untersuchungen zur Assimilation von geodätischen Beobachtungen in ein regionales Ozeanzirkulationsmodell durchgeführt. (Kuhlmann et al., 2015; Saynisch et al., 2015)

#### **(4) Geophysikalische Anregungsfunktionen der Erdrotation**

- **Wissenschaftlicher Service im Rahmen des Internationalen Erdrotations- und Referenzsystems-Service (IERS) der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG)**

Die Sektion 1.3 des GFZ ist seit 2012 als offizielles assoziiertes Produktzentrum des IERS zuständig für die zeitnahe Bereitstellung von geophysikalischen Anregungsfunktionen der Erdrotation. Schwankungen des instantanen Rotationspols der Erde sowie ihrer Rotationsgeschwindigkeit werden in erster Linie durch Massenumverteilungen und Relativgeschwindigkeiten in den geophysikalischen Fluiden hervorgerufen. Zu ihrer numerischen Beschreibung sind globale Modelldaten der atmosphärischen Winde und der ozeanischen Strömungen nebst den zugehörigen Druckverteilungen, sowie Abschätzungen zu den terrestrisch gespeicherten Wassermassen erforderlich, die aus ECMWF Wetterdaten und entsprechenden Simulationen mit OMCT und LSDM gewonnen werden.

Für das Jahr 2014-2015 wurden operationellen Zeitreihen der geophysikalischen Anregungsfunktionen aus OMCT und LSDM unter ECMWF-basierten atmosphärischen Antrieben fortgesetzt (Dill et al., 2013; Dobslaw et al., 2010).

#### **(5) Validierung von mittelfristigen Klimaprognosen mit geodätischen Satellitendaten**

- **Gefördert im Rahmen des BMBF-Verbundvorhabens "Mittelfristige Klimaprognosen (MiKlip)", Teilprojekt "GeoClim"**

Daten der geodätischen Satellitenmission GRACE stehen seit 2002 mit monatlicher Auflösung zur Verfügung. Die durch die Mission detektierten saisonalen Schwerefeldänderungen können über den Kontinenten in erster Linie auf Variationen im kontinental gespeicherten Wasser zurückgeführt werden, während über den Ozeanen Informationen über Änderungen der windgetriebenen Dynamik abgeleitet werden können. Gleichzeitig liefert ein anderes geodätisches Verfahren durch die Beobachtung von Okkultationen der GPS-Satelliten von niedrigfliegenden Satelliten Informationen über die Temperaturverteilung in der Atmosphäre. Die Länge der mittlerweile verfügbaren Zeitreihen aus beiden Messverfahren ermöglicht erste Untersuchungen zur Nutzung dieser geodätisch bestimmten Parameter des Erdsystems für die Klimaforschung.

Innerhalb des in der Sektion bearbeiteten Teilprojekts GeoClim von MiKlip wurden realistischere Fehlerabschätzungen für die bei der Arbeit mit GRACE-Daten unvermeidlichen räumlichen Leakage-Effekte bestimmt (Zhang et al., 2015)

## Liste der Referenzen

Bergmann, I.; Doblsw, H. (2012): Short-term transport variability of the Antarctic circumpolar current from satellite gravity observations. *Journal of Geophysical Research*, 117, C05044.

Dill, R.; Doblsw, H. (2013): Numerical simulations of global-scale high-resolution hydrological crustal deformations. *Journal of Geophysical Research*, 118, 9, 5008-5017.

Dill, R.; Doblsw, H.; Thomas, M. (2013): Combination of modeled short-term angular momentum function forecasts from atmosphere, ocean, and hydrology with 90-day EOP predictions. *Journal of Geodesy*, 87, 6, 567-577.

Dill, R., Klemann, V., Martinec, Z., Tesauero, M. (2015): Applying local Green's functions to study the influence of the crustal structure on hydrological loading displacements. - *Journal of Geodynamics*.

Doblsw, H., Bergmann, I., Dill, R., Forootan, E., Klemann, V., Kusche, J., Sasgen, I. (2015): The updated ESA Earth System Model for future gravity mission simulation studies. - *Journal of Geodesy*, 89, 5, p. 505-513.

Doblsw, H.; Dill, R.; Grötzsch, A.; Brzezinski, A.; Thomas, M. (2010): Seasonal polar motion excitation from numerical models of atmosphere, ocean, and continental hydrosphere. *Journal of Geophysical Research*, 115, B10406.

Fagiolini, E., Flechtner, F., Horwath, M., Doblsw, H. (2015): Correction of inconsistencies in ECMWF's operational analysis data during de-aliasing of GRACE gravity models. - *Geophysical Journal International*, 202, 3, p. 2150-2158.

Kuhlmann, J., Rogozhina, I., Dill, R., Bergmann, I., Thomas, M. (2015): A method for reconstructing global ocean-induced surface displacements from land-based in-situ stations. - *Journal of Geodynamics*, 83, p. 18-27.

Saynisch, J., Bergmann, I., Thomas, M. (2015): Assimilation of GRACE-derived oceanic mass distributions with a global ocean circulation model. - *Journal of Geodesy*, 89, 2, p. 121-139.

Zhang, L., Doblsw, H., Dahle, C., Sasgen, I., Thomas, M. (2015): Validation of MPI-ESM Decadal Hindcast Experiments with Terrestrial Water Storage Variations as Observed by the GRACE Satellite Mission. - *Meteorologische Zeitschrift*.