

# Geodätische Woche 2012

## Wissenschaftliches Programm

*Kurzfassungen der Vortags- und Posterpräsentationen*

Version vom 21. September 2012

Institut für Erdmessung

Leibniz Universität Hannover

---

2012

# Geodätische Woche 2012

## Hannover

Institut für Erdmessung (IfE)  
Leibniz Universität Hannover

**Book of Abstracts**

Version vom 21. September 2012

Hannover, 2012

Session

# Theoretische Geodäsie

# Extracting main modulated oscillations from geodetic time series contaminated with colored noise by Monte-Carlo singular spectrum analysis

Qiang Chen, Nico Sneeuw

Institute of Geodesy, University of Stuttgart  
(Stuttgart, Deutschland)

## Abstract

Singular spectrum analysis has been demonstrated to be an efficient tool for exploring modulated oscillations in climatic science. The application of this technique in analyzing geodetic time series has shown great potential. However, in geodesy, SSA is usually applied without significance testing. It is known that if colored noise is present in a short noisy series, artificial oscillations can be generated in the low frequency band of the eigen-spectrum due to orthogonality of the basis function. In climatic science, Monte-Carlo SSA (MCSSA) has been widely used for distinguishing and detecting irregular modulated oscillations in the presence of red noise. In this work, we extend the MCSSA technique to the geodetic field to test against colored noise, such as power law noise in GPS time series. MCSSA will be applied to synthetic data and real data of geodetic time series to investigate the possibilities of separating modulated oscillations from colored noise.

## **Analysing the performance of linear low-pass spectral filters on the sphere**

**Nico Sneeuw, Balaji Devaraju**  
**Geodätisches Institut, Universität Stuttgart**  
**(Stuttgart, Deutschland)**

### **Abstract**

An attempt is made in this contribution to design a set of measures for analysing the performance of low-pass spectral filter kernels on the sphere. These measures are predominantly based on the energy functional of the filter and the filtered field. A variety of filters used in the GRACE community are subject to this analysis, wherein the purpose of the analysis is to study the mechanism of the filtering process as well as identify the most efficient filter for reducing high frequency noise. The performance analysis shows that an inter-comparison between filters is fairly straightforward for homogeneous isotropic filters, but nearly impossible for any other filter type due to anisotropy and/or inhomogeneity of the filter kernels. Nevertheless, the measures allow for a detailed dissection and diagnosis of the individual anisotropic filters.

# Adaptive robuste Ausgleichung nach Parametern in linearen Regressionsmodellen mit autoregressiven Beobachtungsfehlern

Boris Kargoll, Ina Krasbutter, Wolf-Dieter Schuh  
Institut für Geodäsie und Geoinformation, Universität Bonn  
(Bonn, Deutschland)

## Abstract

In diesem Vortrag besprechen wir die adaptive robuste Ausgleichung eines linearen Regressionsmodells mit korrelierten Beobachtungsfehlern, die durch einen kovarianz-stationären autoregressiven Prozess modelliert werden. Das Konzept der Adaptivität bezieht sich hierbei auf die Idee, dass der Freiheitsgrad einer den Fehlern zugrunde gelegten Student t-Verteilung zusammen mit den Parametern des Regressionsmodells und des Fehlerprozesses aus den gegebenen Beobachtungen geschätzt wird. Die Annahme einer t-Verteilung erlaubt die Modellierung von Ausreißern, deren Häufigkeit und Größe stochastisch über den Freiheitsgrad modelliert bzw. abgeschätzt wird. Das Beobachtungsmodell, welches auch Datenlücken enthalten darf, könnte sich somit besonders zur Beschreibung von Messprozessen in der Satellitengeodäsie als nützlich erweisen. Neben der mathematischen Lösung dieses Ausgleichsproblems demonstrieren wir auch dessen praktische Umsetzung anhand eines iterativ gewichteten Kleinste-Quadrate-Algorithmus für das Beispiel einer Fourierreihe.

## Singuläre Ausgleichungsaufgaben mit Ungleichungsrestriktionen

Lutz Roesse-Koerner, Wolf-Dieter Schuh  
Theoretische Geodäsie, IGG, Universität Bonn  
(Bonn, Deutschland)

### Abstract

Bei vielen Ausgleichungsaufgaben (z.B. bei dem Second Order Design geodätischer Netze mit mehr möglichen Beobachtungen als Vorgaben in der Kriteriumsmatrix) ist es notwendig, eine konvexe Zielfunktion unter Einhaltung linearer Gleichungs- und Ungleichungsrestriktion zu minimieren, obwohl das System einen Rangdefekt aufweist. Standardverfahren zur Minimierung unter Ungleichungsnebenbedingungen - wie beispielsweise das Active-Set-Verfahren oder der Lemke-Algorithmus zur Lösung linearer Komplementaritätsprobleme - können mit rangefekten Systemen nicht ohne weiteres umgehen bzw. liefern als Ergebnis nur eine Partikulärlösung. In diesem Beitrag soll daher der Fragestellung eines geeigneten Umgangs mit der aus der Problemstellung resultierenden Lösungsmanigfaltigkeit nachgegangen und dargestellt werden, wie Ungleichungsrestriktionen das Problem beeinflussen. Hierzu werden verschiedene Unterfälle untersucht, die durch die Einführung von Ungleichungen entstehen können. Zudem wird nach einer Möglichkeit gesucht, die Lösungsmanigfaltigkeit adäquat darstellen zu können.

## Numerische Untersuchungen zur Genauigkeit der Tesseroidformeln für die Massenmodellierung im Nahbereich

Melanie Müßle, Kurt Seitz, Thomas Grombein, Bernhard Heck  
Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
(Karlsruhe, Deutschland)

### Abstract

Für viele Techniken im Rahmen der Schwerefeldbestimmung ist es notwendig, Massenreduktionen an gemessenen Funktionalen des Gravitationspotentials anzubringen. Zur Diskretisierung der Massen werden idealerweise Tesseroiden verwendet, da sie die sphärische Form der Erde berücksichtigen und hinsichtlich der Rechenzeit sehr effizient sind. Die Volumenintegrale zur Berechnung des Potentials eines Tesseroids sowie seiner ersten und zweiten Ableitungen sind aufgrund von elliptischen Integralen nicht geschlossen lösbar. Zur Auswertung werden daher Näherungsverfahren verwendet, wie z.B. eine Taylorreihenentwicklung, die Punktmassenapproximation oder die numerische Integration mithilfe der Gauß-Legendre-Kubatur. Im unmittelbaren Nahbereich eines Tesseroids können numerische Probleme bei der Auswertung der Tesseroidformeln auftreten. In diesem Beitrag werden numerische Untersuchungen sowie Ergebnisse der zu erwartenden Genauigkeit der Approximation für einen nahe gelegenen Berechnungspunkt vorgestellt. Bei der Herleitung der bisherigen Tesseroidformeln erfolgt die Reihenentwicklung in allen drei Parameterrichtungen. In diesem Beitrag wird eine weitere Variante zur Auswertung der Volumenintegrale für das Tesseroid vorgestellt. Die Integration über den geozentrischen Abstand  $r'$  ist analytisch möglich und liefert als Ergebnis ein zweidimensionales Integral über die Variablen  $\phi'$  und  $\lambda'$ . Wegen den hier ebenfalls auftretenden elliptischen Integralen ist wiederum nur eine Näherungslösung für das Flächenintegral möglich. Numerische Untersuchungen zeigen, dass die Formeln für das Flächenintegral im Nahbereich je nach Lage des Berechnungspunktes eine größere Stabilität aufweisen als die Formeln für das Volumenintegral. Neben den formelmäßigen Ableitungen dieser Variante für das Potential eines Tesseroids sowie seiner ersten und zweiten Ableitungen wird in diesem Beitrag ein Vergleich der verschiedenen Verfahren präsentiert. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der erreichbaren Genauigkeit im Nahbereich der Tesseroiden.

Session

# Erdrotation und Geodynamik I

## Modellierung von Erdrotationsschwankungen mittels atmosphärischer Drehmomente

Michael Schindelegger, Johannes Böhm, Harald Schuh  
Technische Universität Wien  
(Wien, Österreich)

### Abstract

Atmosphärisch angeregte Schwankungen der Polbewegung und Tageslänge werden üblicherweise mit Hilfe sogenannter Drehimpulsfunktionen abgeschätzt, welche die durch Massenverlagerungen und Winde hervorgerufenen Drehimpulsvariationen quantifizieren. Alternativ zur Modellierung von Erdrotationsvariationen über den atmosphärischen Drehimpuls können auch direkt jene Drehmomente angesetzt werden, die an der Grenzfläche Atmosphäre zur festen Erde bzw. zum Ozean wirken. Diese Studie dient dazu, die grundlegenden Formalismen eines solchen 'Drehmomentansatzes' vorzustellen und die Vor- bzw. Nachteile gegenüber der Drehimpulsmethode aufzuzeigen. Zur Veranschaulichung des Ansatzes stehen zwei voneinander unabhängige Drehmomentzeitserien mit dreistündlicher Auflösung zur Verfügung, welche jeweils aus Vorhersagedaten des ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) bzw. aus NASA-Reanalyse-Daten innerhalb von MERRA (Modern Era-Retrospective Analysis for Research and Applications) berechnet wurden. Die Übereinstimmung der einzelnen Drehmomentkomponenten aus den beiden Zeitserien lässt sich im Zuge einer Kohärenzanalyse auf unterschiedlichen Zeitskalen beurteilen. Besonderes Augenmerk gilt hierbei den hochfrequenten, täglichen Effekten und der Gleichwertigkeit der Drehimpuls- und Drehmomentmethode am Beispiel der verwendeten Atmosphärenmodelle (ECMWF und MERRA). Die grundsätzliche Äquivalenz beider Ansätze ist analytisch in der Gleichung des Drehimpulsbudgets verankert und wird hier anhand der genannten meteorologischen Daten numerisch verifiziert. Die Studie zeigt, dass für Frequenzbänder mit geschlossenem Drehimpulsbudget die geodätisch beobachteten Erdrotationsschwankungen erfolgreich mit Hilfe atmosphärischer Drehmomente modelliert werden können.

## Excitation of Earth rotation by strong Earthquakes

Tobias Nilsson, Johannes Böhm, Harald Schuh  
Institut für Geodäsie und Geophysik, TU Wien  
(Wien, Österreich)

### Abstract

Earthquakes cause sudden but permanent displacements of masses inside the Earth. These displacements change the inertia tensor of the Earth, and thus the rotation of the Earth in terms of polar motion and length of day will be affected. In this work we investigate the excitations of Earth rotation caused by the two largest Earthquakes that occurred recently, in Chile February, 2010, and in Japan March, 2011. A model is applied for calculating the displacements due to the Earthquakes, which in turn is used for predicting the changes in the Earth rotation parameters. We find that both of these Earthquakes changed the figure axis to move a few milliarcesconds and the length of day by less than one microsecond of time. This is just below the current measurement accuracies of these parameters. Furthermore, we calculate the accumulated effect on Earth rotation of all Earthquakes of the last decade.

# Eine numerische Theorie für Präzession und Nutation der Erde

E. Gerlach, S. Klioner, M. Soffel  
Lohrmann Observatorium  
(Dresden, Deutschland)

## Abstract

Mit Hilfe einer Theorie für Präzession und Nutation lässt sich die Rotationsbewegung der Erde im Raum, genauer die Bewegung des Himmelspols im GCRS (Geocentric Celestial Reference System), beschreiben. Die Genauigkeit, mit welcher die Erdorientierung gegenwärtig gemessen werden kann, ist dabei um ein Vielfaches höher als die der im Moment benutzten, größtenteils analytischen Theorien. Daher entwickelte unsere Gruppe eine komplett numerische Theorie für Präzession und Nutation der Erde. Formuliert ist sie mittels gewöhnlicher Differentialgleichungen für die Eulerwinkel, welche die Orientierung der Erde, bzw. ihrer einzelnen Schichten, im GCRS beschreiben. Die Theorie ist vollständig konsistent mit der post-Newtonischen Näherung der Allgemeinen Relativitätstheorie und das im Moment weltweit beste Modell für Präzession und Nutation für eine starre Erde. In den letzten beiden Jahren wurde unsere Theorie hin zu einem realistischeren Erdmodell erweitert. Es beinhaltet nun 3 verschiedene Schichten (Mantel, flüssiger äußerer und fester innerer Kern) sowie alle wichtigen Kopplungskräfte zwischen diesen. Des Weiteren wurden auch alle wichtigen Effekte der Nicht-Starrheit, wie elastische Deformierbarkeit, relative Drehmomente aufgrund von Atmosphäre und Ozean etc. hinzugefügt. In diesem Vortrag beschreiben wir die Details unseres Modells und vergleichen die Ergebnisse mit dem IAU 2000A Präzessions-/Nutationsmodell.

## **Geodetic Monitoring of the Earth's Crust Movements. Status, possibilities, Prospects.**

**Haries Yambaev**

**Moscow university of a geodesy and cartography (MIIGAiK)  
(Moscow, RUS)**

**Abstract**

-

## Revising Antarctic glacial-isostatic adjustment estimates based upon GPS and GRACE observations

I. Sasgen, H. Konrad, V. Klemann, E. Ivins, Z. Martinec  
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
(Potsdam, Deutschland)

### Abstract

Antarctic ice-mass balance estimates from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite gravimetry observations are highly uncertain due to the poorly known mass movement in the Earth's interior caused by the glacial-isostatic adjustment (GIA). Newly available GPS observations collected within the POLENET project ([www.polenet.org](http://www.polenet.org)) represent a valuable constraint on GIA predictions of surface deformation and gravity-field change in Antarctica. Here, we revise predictions of GIA for Antarctica based upon GPS, GRACE and a combination of both geodetic observations. For this we subject a viscoelastic Earth model, accounting for the rheological differences between East and West Antarctica, to the glacial histories ICE-5G (Peltier, 2004), IJ05 (Ivins & James, 2005) and HUY (Huybrechts, 2002), and predict the associated Antarctic GIA signal. In a next step, the glacial histories are subdivided with regard to the major GIA uplift centers, as well as available GPS sites. Then, by a stochastic approach, the glacial histories, as well as the viscosity of the Earth's mantle are modified to satisfy the observational constraints from GRACE/GPS. The revised GIA estimate and its uncertainty are evaluated for their influence on Antarctic ice-mass balance estimates from GRACE.

## Simulations of the tides of ancient oceans and the evolution of the Earth-Moon-system

P. Nerge, T. Ludwig, M. Thomas, J. Jungclaus,  
J. Sündermann, P. Brosche

Department of Informatics, Universität Hamburg  
(Hamburg, Deutschland)

### Abstract

During the last decades Earth system research concerning rotation, figure and gravity field focused on the short scales of decades right up to hours. However, there are still considerable deficits in the understanding of Earth's history on the geological time scale. The limited availability of geological proxy data has so far prevented a detailed quantification of the transfer of angular momentum in the Earth-Sun-Moon-system mainly due ocean tides far back in the Earth's history. The new project 'Simulations of the tides of ancient oceans and the evolution of the Earth-Moon-system (GeOGEM)' funded by the German Research Foundation will strive to reduce these deficits. We will simulate the spatial and temporal characteristics of the ocean tides for the present time as well as for a time slice of the Neoproterozoic Era. The numerical results will be validated against recent geological data on the ocean tides, Earth's rotational parameters and orbital elements of the Moon provided by the research of Williams (2000) on the sediment layers of South Australia. Recent paleogeographical maps with detailed information that reached back to the Neoproterozoic have been made available by Li et al. (2008). Subsequently, the evolution of the ocean tides under the influence of the continental drift from present time until the Neoproterozoic will be simulated. A focus will be on the transfer of angular momentum between the Earth and Moon in order to physically explain the dynamical evolution of the Earth-Moon system and, therewith, the increase of day length of about 2 hours as well as the decrease of month length of about 1 day. First preliminary simulations results by the Max-Planck-Institute-Ocean circulation model (MPI-OM) forced by the complete lunisolar tidal potential will be presented. Li, Z.X., Bogdanova, S.V., Collins, A.S., Davidson, A., De Waele, B., Ernst, R.E., Fitzsimons, I.C.W., Fuck, R.A., Gladkochub, D.P., Jacobs, J., Karlstrom, K.E., Lu, S., Natapov, L.M., Pease, V., Pisarevsky, S.A., Thrane, K. and Vernikovsky, V., 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. *Precambrian Res.*, 160, 179-210. Williams, G.E., 2000. Geological constraints on the precambrian history of earth's rotation and the moon's orbit. *Rev. Geophys.*, 38, 37-59.

Session

# Angewandte Geodäsie und GNSS I

## Mapping on Demand - Ortsbestimmung leichter Drohnen

Christian Eling, Lasse Klingbeil, Heiner Kuhlmann  
Institut für Geodäsie und Geoinformation, Universität Bonn  
(Bonn, Deutschland)

### Abstract

Mapping on Demand ist ein von der DFG gefördertes Forschungsvorhaben, bei dem die Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur schnellen dreidimensionalen Identifikation und Erfassung von unzugänglichen Objekten angestrebt wird. Als Sensorplattform dient dabei ein Multikopter mit acht Rotoren. Wesentlicher Bestandteil bei der Umsetzung der angestrebten Ziele ist die hochgenaue Positions- und Orientierungsbestimmung der Sensorplattform in Echtzeit. Als Sensoren stehen dazu GPS, Inertialsensoren und Kameras zur Verfügung. In diesem Vortrag werden Konzepte sowie erste Ergebnisse der Positions- und Orientierungsbestimmung des Multikopters vorgestellt. Der wesentliche Fokus liegt dabei auf der GPS-Auswertung. Die Schwierigkeit bei dieser GPS-Auswertung besteht darin, die Mehrdeutigkeiten möglichst innerhalb einer einzelnen Epoche zu lösen, denn vor allem bei kinematischen Anwendungen kommt es regelmäßig zu Signalunterbrechungen, welche jeweils eine Reinitialisierung der Mehrdeutigkeiten erfordern.

## Theoretische Modelle und numerische Verfahren des APPS-Moduls (Automatic Postprocessing Software) im polnischen System der Referenzstationen (ASG-EUPOS)

Roman Kadaj  
Rzeszow Univerity of Technology (PL)  
(Rzeszow, Polen)

### Abstract

Das ASG-EUPOS(PL) System von GNSS - Referenzstationen hat zwei programmierbare Module der präzisen Positionierung. Neben dem NAVGEO/RTK (Real Time Kinematic) Modul, das System gibt die Möglichkeit, automatisch durch eine Internet-Service (POZGEO mit APPS Modul), aufgrund der von einzelnen Empfänger erhaltenen Phase-Beobachtungen, statische Position im beliebigen geodätischen Koordinaten - System (auch im Normalhöhenystem), auf dem Zentral-Server zu berechnen. Im Rahmen des Vortrags wird das spezielle Verfahren dieser Aufgabe vorgestellt werden. Die Rover-Position wird aufgrund der Phase-Beobachtungen (in der Regel mit der ionosphäre-freien (ionofree) L3 Signalkombination) von 4-6 näheren Stationen ausgleichend. Die Optimierung betrifft zunächst die realwertige (float)- Type Lösung. Das funktionale Modell und die angewandte robuste Zielfunktion wird in der nichtlinearen Form definiert und in dieser Gestalt numerisch verwendet. Darin werden die unbekannt Ambiguitäten, mit Hilfe von Schreiber - Regel eliminiert und das korrelierte System zu kanonischer Form gebracht. Die Genauigkeit der float Type Lösung, bei der typischen für APPS-Modul Anforderungen, ist nach vielen numerischen Testen mit der fixed - Type Lösung vergleichbar. Diese erlaubt den Untersuchungsraum von fixierten Ambiguitäten wesentlich zu beschränken. Für die Bestimmung der normalen Höhen wird das numerische Quasigeoidmodell benutzt. Das neue Quasigeoidmodell (unter den Namen Geoidpol-2008A) wurde aufgrund des globalen EGM2008-Geopotentialmodells bearbeitet und mit Hilfe von GNSS - und Nivellementsdaten (ASG-EUPOS Stationen und EUVN - Höhennetz mit der neuen Ausgleichung auf die Epoche 2011.0 des ETRF'2000 Bezugssystems) kalibriert. Die Kalibrierung (Anpassung) auf die empirische Höhenanomalien erfolgte mit der durchschnittlichen absoluten Abweichung etwa 1-2 cm. Die Etappen dieser Operation und die wesentlichen Ergebnisse werden auch während des Vortrags präsentiert werden.

## Zur Bestimmung von Code-Phasen Variationen (GDV) bei GPS Antennen

Tobias Kersten, Steffen Schön  
Institut für Erdmessung, Universität Hannover  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

Obwohl die Code-Messung aufgrund des höheren Rauschniveaus und der geringeren Auflösung in der klassischen Geodäsie eine untergeordnete Rolle einnimmt, wird sie in anderen Bereichen wie der präzisen Zeit- und Frequenzübertragung, aber auch in der GNSS basierten Navigation äußerst intensiv angewendet und analysiert. Code-Phasen Variationen [group delay variations] (GDV) sind azimut- und elevationsabhängige Strecken-korrekturen der Code-Messung und abhängig vom individuellen Antennendesign sowie der verwendeten Frequenz. Die GDV gehören im erheblichen Maße zu den Fehlereinflüssen, die beispielsweise bei GNSS basierten Landeanflügen diskutiert werden [1], da die Verwendung der Phasenmessung bei sicherheitskritischen Anwendungen durch Spezifikationen ausgeschlossen ist. In diesem Beitrag stellen wir das am IfE entwickelte Konzept zur absoluten GDV Kalibrierung vor. Dieses Konzept basiert auf einer Erweiterung des klassischen Hannoverschen Verfahrens zur absoluten Antennenkalibrierung. Es konnten bereits erfolgreich GDV für verschiedene Frequenzen und Antennendesigns bestimmt werden. Für eine Ublox Antennen konnten Variationen von bis zu 1.7m auf dem C/A Code nachgewiesen werden. Eine anschließende Evaluation auf einer kurzen Basislinie im Common Clock Mode zeigt, daß diese systematischen Variationen erfolgreich korrigiert werden konnten. Weitaus geringere Variationen im Bereich von 0.3-0.5m auf dem P1(Y) Code sind hingegen für geodätische Choke Ring Antennen detektierbar. In einem kurzen Überblick werden die Analysen im Rahmen der präzisen Zeit und Frequenzübertragung vorgestellt. Es konnte gezeigt werden, daß die GDV ein Offset in die code-basierte Zeitübertragung einführen, die Frequenzstabilität hingegen davon nicht beeinflusst ist, [2]. Im weiteren Fokus des GDV Konzeptes werden die GDV anhand einer typischen Aero Antenne untersucht und diskutiert. Zentrale Rolle nimmt dabei auch eine Analyse der Sensitivität der verwendeten Codebeobachtungen hinsichtlich äußerer Einflussfaktoren und die Trennbarkeit bzw. Schätzbarkeit der unbekannt Parameter im Zuge des vorgestellten GDV-Konzeptes ein.

[1] Graas F.v., Bartone C., Arthur T.: GPS Antenna Phase Center and Group Delay Corrections, In: Proceedings of the ION National Technical Meeting (NTM) 2004, 26-28 January 2004, San Diego, CA, pp399-408.

[2] Kersten T., Schön S., Weinbach U.: On the Impact of Group Delay Variations on GNSS Time and Frequency Transfer, In: Proceedings of the 26th European Frequency and Time Forum (EFTF), Gothenburg, Sweden, April 24-26 2012 , 8p

# Auswertebedingte scheinbare Koordinatenänderungen in GPS-Netzen unter besonderer Berücksichtigung von Antennenwechselln

Thomas Krawinkel, Nico Lindenthal, Steffen Schön  
Institut für Erdmessung, Hannover  
(Hannover, Deutschland)

## Abstract

Stationsabhängige Fehlereinflüsse, wie Mehrwegeausbreitung und das Antennennahfeld, sind genauigkeitslimitierende Faktoren bei der GNSS-Auswertung. Veränderungen dieser Einflüsse, z.B. durch einen Antennenwechsel, führen zu scheinbaren Koordinatenänderungen. Dieser Effekt ist ebenfalls bei Verwendung unterschiedlicher Beobachtungstypen in der Auswertung zu beobachten. Ziel der Masterarbeit ist es, den Einfluss unterschiedlicher Antennentypen und verschiedener Auswertestrategien auf die Koordinatenlösungen zu analysieren. Des Weiteren sind Lösungsansätze für die Handhabung dieser Problematik bei der Auswertung kleinräumiger GPS-Netze zu entwickeln. Zu diesem Zweck wurden bereits im Jahr 2011 Beobachtungsdaten einer Vielzahl von Antennen-Empfänger-Kombinationen auf identischen Pfeilern des Messdachs des Geodätischen Instituts Hannover aufgezeichnet. Dieser Datensatz wurde im Rahmen der Masterarbeit erweitert und für die sehr kurze Basislinie von ca. 20 m mit der Bernese GPS Software 5.0 ausgewertet. Im Vordergrund stehen hierbei die originären Beobachtungstypen L1 und L2, sowie die ionosphärenfreie Linearkombination (L3) jeweils ohne und mit Schätzung einer Troposphärenkorrektur. Weiterhin werden exemplarische Detailuntersuchungen zum Einfluss der Troposphäre und des Antennennahfelds auf die Positionsbestimmung durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigen zum einen sehr gute Wiederholgenauigkeiten innerhalb einer Messkonfiguration. Zum anderen treten Diskrepanzen zwischen den Koordinatenlösungen verschiedener Antennentypen von wenigen Millimetern (L1, L2) bis hin zu mehr als einem Zentimeter (L3+T) auf. Werden zusätzlich Troposphärenkorrekturen  $dT$  geschätzt, so entstehen scheinbare Höhenvariationen  $dH$ , die die bestimmten Korrekturen entsprechend der bekannten Faustformel  $dT=3dH$  ausgleichen.

## On the relative amplitude of multipath - a simulation analysis

Marios Smyrnaios, Marcos Liso, Steffen Schön, Thomas Kürner  
Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

Multipath propagation is the consequence of the interaction of satellite signal components with objects located in the vicinity of the receiving antenna. Due to this interaction multiple GNSS signal replicas arrive at the antenna, together with the line-of-site (LOS) signal. Different delays of these multipath components result in different phases for the different components which eventually lead to constructive or destructive interference during tracking of the signal by the receiver. How strong this interference will be or how much the correlation output will be deformed, depends on the relative amplitude of the reflected and/or diffracted components with respect to the direct one. Although the importance of the amplitude of the multipath components and its impact on the resulting error is obvious, theoretical treatment of the electromagnetic properties of this propagation phenomenon is not often presented in GNSS multipath literature. The reflection and/or diffraction process and the wave-antenna interaction are affecting the amplitude of the received by the antenna signal components. In this presentation our theoretical analysis on the different impacts of the wave-antenna interaction for the direct and the multipath components will be presented together with simulation results of a novel ray-tracing approach. The analysis will include also the impact of the reflection/diffraction process since the deformation of the reflected/diffracted signals is a function of the reflection/diffraction coefficients, which in terms are a function of the signal frequency, transmitting antenna - reflector - receiving antenna geometry and the material properties of the reflector (and/or diffracting edge). Drawbacks of this analysis will be also critically presented. The overall goal of the presentation is a detailed characterization of the relative amplitude of the multipath components validated by simulation results which will include all factors of this process.

## Qualitätsuntersuchungen in GNSS-Referenzstationsnetzen

Nico Lindenthal, Steffen Schön  
Institut für Erdmessung  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

Die Ableitung von Korrekturdaten für die präzise GNSS-Positionierung erfolgt klassisch aus einem Netz von Referenzstationen. Für die Beschreibung dieser Korrekturen existieren mehrere Verfahren, welche aber in der Regel auf den Parametern des Zustandsvektors basieren. Dieser enthält je nach verwendeter Modellierung Schätzwerte für die bei GNSS Messungen zu berücksichtigenden Fehlereinflüsse, wie z. B. atmosphärische Korrekturparameter. Die Ableitung geeigneter Qualitätsindikatoren speziell für die Parameter des Zustandsvektors ist von großer Bedeutung, um Aussagen über kritische Zustände im Referenzstationsnetz treffen zu können. Dazu wird die gängige Modellierung verschiedener ausgewählter GNSS-Komponenten nachvollzogen und speziell im Hinblick auf nicht aufgedeckte Fehler und typische Fehlerszenarien (Stationsbewegungen, Stationsausfall, etc.) untersucht. Die Modellierungen erfolgen hier in eigenen Kalman-Filter Ansätzen, mit denen ebenso Fragestellungen zur Schätzbarkeit und Trennbarkeit zwischen einzelnen Parametern diskutiert werden sollen. Darüber hinaus ist die Detektion und Identifikation grober Fehler eine wichtige qualitätssichernde Maßnahme. Die besondere Herausforderung besteht hierbei dies auch in Echtzeit zu gewährleisten und eine geeignete Behandlung der Ausreißer vorzunehmen. Inwiefern sich unentdeckte grobe Fehler in Referenzstationsdaten auf die Zielparameter (Nutzerposition) auswirken ist ein weiterer wichtiger Aspekt. Zu diesen Fragestellungen werden aktuelle Ansätze und Untersuchungen vorgestellt und diskutiert mit dem Ziel Qualitätsindikatoren abzuleiten und kritische Szenarien während des Vernetzungsprozesses identifizieren und präzisieren zu können um Aussagen zur Zuverlässigkeit der Korrekturparameter treffen zu können.

Session

Erdrotation und Geodynamik II /  
Schwerefeld und Geoid I

**Validierung von Erdorientierungsparametern,  
geophysikalischen Anregungsfunktionen und  
Schwerefeldkoeffizienten zweiten Grades -  
Ergebnisse aus Projekt 9 der DFG-Forschungsgruppe  
'Erdrotation und globale geodynamischer Prozesse'**

**Heiker Andrea, Schmidt Michael**

**Geodätisches Institut  
(Hannover, Deutschland)**

**Abstract**

P9 beschäftigt sich mit der kombinierten Analyse und Validierung von Erdrotationsbeobachtungen und Modellen. Die Erdorientierungsparameter, die geophysikalischen Anregungsfunktionen und die Schwerefeldkoeffizienten zweiten Grades sind über den Trägheitstensor miteinander verknüpft. Diese Verbindung erlaubt eine unabhängige Validierung der Daten. Zu diesem Zweck wurde ein Ausgleichsalgorithmus entwickelt, der auch eine Varianz- und Kovarianzkomponentenschätzung umfasst. Aus dem Algorithmus resultieren Residuen, die die Inkonsistenzen der Zeitreihen enthalten. Eine umfassende Analyse der Residuen erlaubt die Aussage über systematische Effekte. Wir präsentieren Ergebnisse, die aus einer kombinierten Ausgleichung der IERS EOP 08 C04 Zeitreihe, zwei verschiedenen ozeanischen/atmosphärischen Anregungsfunktionen sowie sechs verschiedenen Schwerefeldlösungen resultieren. Diese Ergebnisse werden einer umfassenden Sensitivitätsanalyse unterzogen, die wichtige Hinweise für die Interpretierbarkeit der Daten liefert.

## Analysis of newly-released GOCE EGG\_NOM\_1B data

Hu Wu, Phillip Brieden, Jürgen Müller  
Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

The GOCE EGG\_NOM\_1B (gravity gradients) data has been analyzed in the time domain, spectral domain and spatial domain, respectively. In the time domain analysis, a time series of daily gradient mean values show both linear trends and some episodic changes. In the spectral domain, the power spectral densities (PSD) of gravity gradients show that the signal is dominated by the differential accelerations (gravitational part) at higher frequencies (from 0.005 to 0.5 Hz), whereas at lower frequencies the angular rates (centrifugal part) show a significant impact. Furthermore, some filtering strategies are tested to extract signals in specific frequency ranges. Based on these filtered signals, the spatial distribution of the difference between real and simulated gradients helps to identify regions without sufficient terrestrial observations in the non-GOCE models, such as northeast of China. The newly released EGG\_NOM\_1B data (processor version 5.06) adopts a different re-preprocessing strategy. It is again analyzed in the time and frequency domain. We present the differences between the old and new data version, so that the potential benefit caused by the changes in processing will become obvious.

## **Beurteilung der verbesserten Qualität der reprozessierten GOCE-Gravitationsgradienten mit Hilfe der Kreuzungspunktanalyse**

**Phillip Brieden, Jürgen Müller  
Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover  
(Hannover, Deutschland)**

### **Abstract**

GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer), ESA's sehr erfolgreiche Schwerefeld-Satellitenmission umrundet seit nunmehr 3 Jahren die Erde. Alle Systeme funktionieren einwandfrei und so konnte eine Verlängerung der Missionsdauer hinsichtlich des Missionsbetriebs bis mindestens Ende 2012 gesichert werden. Diese Verlängerung bringt mindestens eine Verdopplung der netto Messdauer mit sich und führt dazu, dass weitere Daten über das Erdschwerefeld gesammelt werden können. Aber es wird nicht nur an der Verlängerung des Missionsbetriebs gearbeitet, es werden auch neue Prozessierungsstrategien entwickelt. Untersuchungen konnten belegen, dass sich die schon jetzt hohe Qualität der GOCE-Produkte durch eine teilweise grundlegend veränderte Prozessierung weiter verbessern lässt: So tragen beispielsweise die Interpolation von Kalibrationsfaktoren zwischen den 'Shaking-Sequenzen' sowie die gleichzeitige Verwendung der Daten aller Sternkameras zu einer starken Verbesserung der GOCE-Daten bei. Alle Veränderungen in der Datenverarbeitung wurden in der offiziellen Prozessorversion 5.06 umgesetzt. Seit April 2012 stehen die ersten Monate reprozessierter EGG\_NOM\_1b Datensätze zur Verfügung. In der Präsentation wird die Datenqualität der 'neuen' EGG\_NOM\_1b Datensätze anhand der Kreuzungspunktanalyse (cross-over analysis) beleuchtet. Die grundlegende Idee, auf zwei unterschiedlichen Satellitenbahnen über demselben Punkt auf der Erdoberfläche gleiche differentielle Gravitationsbeschleunigungen zu messen, hat sich in der Vergangenheit als sehr geeignetes Tool zur Validierung von GOCE-Gradienten erwiesen. Basierend auf Ergebnissen der Kreuzungspunktanalyse werden die L1b-Daten früherer Prozessorversionen mit denen der aktuellen Prozessorversion 5.06 verglichen. Die Ergebnisse zeigen, in welchen Bereichen die Reprozessierung zu einer deutlichen Verbesserung der Datenqualität geführt hat.

## Estimation of quality of models of a gravitational field of the Earth

A.A.Mayorov, S.N.Jashkin, I.I.Lonsky, E.A.Lidovskaja  
Moscow university of a geodesy and cartography (MIIGAiK)  
(Moscow, RUS)

### Abstract

Studying of a gravitational field of the Earth is the major task of development of a fundamental and applied geodetic science. The analytical description of the Earth with the help of various models of a gravitational field of the Earth probably only in the certain approximation also has no exact decision. Modern models of a gravitational field of the Earth (EGM - 360, EGM - 2008 and others) contain huge files of numerical values of factors of harmonics (for example, EGM - 360 contains about 14 million numerical data, and EGM - 2008 on two order it is more). Digital models of a gravitational field of the Earth, incorporated in the automated systems of various geoinformation systems are used. In this connection exists and research of informative databases of gravitational model of the Earth demands the further perfection. There are some criteria for an estimation of quality, gravitational models: criterion of reliability and criterion of continuity. Last criterion should meet the following requirements: consistency, a registration opportunity, predictability, clearness and verifyability. The urgency of the given researches does not cause doubts. The present work also is devoted to these questions.

## Estimating the time evolution of the Geoid: An application of the adjoint method in global mantle circulation models

André Horbach, Hans-Peter Bunge

Ludwig-Maximilians-Universität München, Department für Geo- und Umweltwissenschaften  
(München, Deutschland)

### Abstract

Forward simulations of mantle circulation processes in the Earth's interior suffer from the problem of an unknown initial condition, that is the temperature distribution of the past is not known a-priori. With the help of the adjoint method (Bunge (2003), Horbach et al. (2012, *subm.*)), we are able to determine an optimal initial condition iteratively, given a temperature model of the present time. Here we use an s-wave tomography (Grand (1997)) as the estimator for present-day Earth structure, allowing us to constrain a time series of mantle flow consistent with the present-day estimator for the past 40 Myrs.

Temperature fluctuations initiate density anomalies, which in turn influence the Earth's external gravitational field, what allows us to compare our geodynamic models to geodetic measurements. We find a very high correlation of our model Geoid for the present time to current satellite derived Geoid solutions. Furthermore, our models of paleo circulation allow us to determine time-series of the Geoid for the past 40 Ma and as a special case also to estimate an annual trend of the Geoid caused by deep Earth processes.

## Die Entwicklung von Quantengravimetern für den geodätischen Einsatz

Manuel Schilling, Ludger Timmen  
Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

Die Entwicklung von Quantensensoren zur Bestimmung von Rotationen und Beschleunigungen in der Physik gewinnt zunehmend an Bedeutung in der Geodäsie. Diese Sensoren nutzen die Welleneigenschaften von Materie in Atominterferometern. Die Interferometrie von Materiewellen wird durch die Manipulation der inneren Zustände von Atomen ermöglicht. In der Regel werden Laser eingesetzt, die bei der Interaktion mit einem Atom dieses auf ein anderes Energieniveau heben bzw. senken. Dieses Prinzip kann z.B. in Absolutgravimetern eingesetzt werden. Bisher sind diese Atominterferometer in erster Linie Laborgeräte, die aufgrund ihrer Größe und Komplexität nicht für den Feldeinsatz verwendet werden können. Die zunehmende Miniaturisierung von Komponenten ermöglicht die Entwicklung transportabler Geräte. Innerhalb der letzten fünf Jahre sind mehrere Gravimeter auf der Grundlage der Atominterferometrie so weit in der Entwicklung vorangeschritten, dass Messungen außerhalb von Laboren möglich sind und praktisch, z.B. im Rahmen internationaler Vergleichsmessungen, durchgeführt werden. Zukünftig wird so ein Einsatz analog zu den etablierten Absolut- und Relativgravimetern möglich. Dieser Vortrag gibt einen Überblick über die Entwicklung und Theorie der Atominterferometrie. Am Beispiel aktueller Entwicklungen wird der mögliche Einsatz in der Gravimetrie dargestellt.

Session

# Angewandte Geodäsie und GNSS II

## Wie genau können Koordinaten mit GPS bestimmt werden?

Mitja Bartsch  
Deutsches Geoforschungszentrum  
(Potsdam, Deutschland)

### Abstract

Es werden Koordinaten mit den zwei Auswerteprogrammen EPOS (Earth satellite Positioning and Orbit determination System) des Deutschen Geoforschungszentrums und Bernese GPS Software vom Center of Orbit Determination in Europe berechnet. Die Auswertung erfolgt, soweit möglich, unter Berücksichtigung der aktuellen Standards. Es wird die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Koordinaten bei verschiedenen Beobachtungslängen und unter Verwendung verschiedener Parametrisierungen untersucht. Ziel ist es, Koordinaten mit Millimetergenauigkeit im ITRF zu erhalten. Die Ergebnisse der beiden Softwarepakete werden verglichen und beurteilt.

# GLONASS-Signalverzögerungen und PPP-Mehrdeutigkeitslösung

Nico Reußner, Lambert Wanninger

TU Dresden

(Dresden, Deutschland)

## Abstract

Die beiden voll einsatzfähigen GNSS GPS und GLONASS verwenden unterschiedliche Methoden, um die individuellen Satellitensignale zu identifizieren. Einerseits senden GPS-Satelliten ihre Signale auf den gleichen Frequenzen, aber mit verschiedenen PRN-Codes aus (Code Division Multiple Access, CDMA). Andererseits übertragen GLONASS-Satelliten ihre Signale mit einheitlichen PRN-Codes, in den beiden Frequenzbändern L1 und L2 aber auf leicht voneinander abweichenden Frequenzen (Frequency Division Multiple Access, FDMA). Der von GLONASS verfolgte Ansatz führt zu frequenzabhängigen instrumentellen Verzögerungen (Inter-Frequency Bias, IFB) der Codebeobachtungen im Empfänger, welche die Positionslösung mit Codebeobachtungen negativ beeinträchtigen. Selbiges gilt für die Techniken zur Festsetzung der Mehrdeutigkeiten, die auf Codebeobachtungen aufbauen. Nichtsdestotrotz sind die Beobachtungen der Trägerphase ebenfalls von frequenzabhängigen instrumentellen Verzögerungen betroffen, jedoch ist die Modellierung und die Korrektur des IFB der Trägerphase wesentlich einfacher als die Modellierung und die Korrektur des IFB des Codes oder eines gemischten IFB. Die Mehrdeutigkeitslösung bei Precise Point Positioning (PPP) basiert auf einem 2-stufigen Algorithmus zur Fixierung der Mehrdeutigkeiten. Normalerweise wird im ersten Schritt die Melbourne-Wübbena-Linearkombination zur Lösung der Widelane-Mehrdeutigkeiten genutzt. Diese Linearkombination ist eine Kombination aus Trägerphasen- und Codebeobachtungen und hat den Vorteil, dass mit ihr eine Vielzahl von Fehlereinflüssen praktisch eliminiert wird (Troposphäre, Ionosphäre, Bahn- und Uhrfehler). Als Folge der Kombination von Trägerphasen- und Codebeobachtungen vermischen sich die Verzögerungen der Trägerphase und des Codes. Im Fall von GLONASS hat dies zur Folge, dass die frequenzabhängigen Verzögerungen eine erfolgreiche Mehrdeutigkeitslösung verhindern, da diese oftmals empfängerabhängig sind und sogar abhängig vom Empfangskanal sein können. Als Alternative zur Fixierung der Widelane-Mehrdeutigkeiten kann eine Mehrdeutigkeitslösung auf Basis der originären Widelane-Linearkombination genutzt werden. Codebeobachtungen spielen hierbei in erster Linie keine Rolle, sodass frequenzabhängige Codeverzögerungen die Mehrdeutigkeitslösung nicht beeinflussen. Jedoch verbleiben viele andere Fehler in den Daten, von denen die ionosphärische Laufzeitverzögerung den größten Anteil hat. Nicht zu vergessen ist natürlich der Einfluss des IFB. Beide Methoden zur Lösung der Widelane-Mehrdeutigkeiten sind in unserer PPP-Auswertesoftware implementiert, sodass wir beide Varianten einander gegenüberstellen können. Wir präsentieren unsere letzten Ergebnisse zur GLONASS-PPP-Mehrdeutigkeitslösung und vergleichen beide Methoden miteinander.

## Multifrequency Algorithms for PPP: MAP3

B. Moreno Monge, G. Rodriguez Caderot, M.C. de Lacy  
GFZ German Research Centre for Geosciences  
(Muenchen, Deutschland)

### Abstract

Nowadays the main global satellite systems are GPS and GLONASS, however, in a near future more satellite systems will join the current GNSS scenario, such as the european project Galileo and the chinese COMPASS. In parallel, GPS and GLONASS are undergoing a modernization process. These systems have been designed to be compatible and interoperable, thus favouring their combined use, they will broadcast improved signals and, for the first time, three different frequencies will be transmitted simultaneously. All this will lead to a multi-system, multifrequency scenario which will hugely push the boundaries of the positioning techniques. Since the current positioning softwares can only deal with GPS and GLONASS observations in one or two frequencies, it is needed to develop new algorithms adapted to the features of the future systems and capable of exploiting the multiple advantages of the future scenario. We have developed new algorithms able to combine multi-system and multifrequency observations and provide accurate estimations of the receiver position. These algorithms have been applied to the static Precise Point Positioning (PPP) and named MAP3. The MAP3 algorithms have been contrasted with other PPP programs and, with GPS dual frequency observations and IGS precise products, MAP3 provides the most accurate position estimations in short observation periods. Some results have also been obtained with GIOVE observations and satellite products from the Galileo Processing Center (GPC).

## GPS Seismologie am Beispiel des Mw 5.1 Lorca Erdbebens

Leonor Mendoza, Alexander Kehm, Axel Koppert, Matthias Becker, Jorge Gárate, José  
Martín Dávila

PSG - TU Darmstadt  
(Darmstadt, Deutschland)

### Abstract

Am 11. Mai 2011, 16:47 UTC, wurde die Stadt Lorca (Region Murcia, Spanien) von einem Erdbeben der Stärke  $M_w = 5,1$  erschüttert. Für den Zeitraum des Erdbebens liegen 1-Hz-Beobachtungen des GPS-Permanentstationsnetzes Meristemum vor. Diese wurden genutzt, um verschiedene Auswertestrategien im Hinblick auf ihre Leistungsfähigkeit bei der Nutzung innerhalb der Erdbebenfrühwarnung zu vergleichen. Die aufgrund der geringen Stärke des Erdbebens zu erwartenden Amplituden der seismischen Wellen liegen nur im Zentimeterbereich. Dies macht eine Filterung der Positionszeitreihen nötig, um die vom Erdbeben hervorgerufenen Stationsbewegungen von anderen Effekten trennen zu können. Es erfolgte eine kinematische Basislinienauswertung mit der Bernese GPS Software sowie eine kinematische Precise-Point-Positioning-Auswertung mit der freien Software RT-KLIB. Durch eine Filterung der Koordinatenzeitreihen (siderische und regionale Filterung) konnte das Rauschen der Zeitreihen deutlich verringert werden. Es zeigt sich, dass siderisch und regional gefilterte PPP-Lösungen das Genauigkeitsniveau einer Basislinienauswertung mit siderischer Filterung erreichen können. In den erhaltenen Positionszeitreihen der zum Epizentrum nächstgelegenen Station sind deutliche kurz-periodische Stationsbewegungen mit Amplituden von bis zu zwei Zentimetern enthalten. Diese können nach der Filterung klar als vom Erdbeben ausgelöste seismische Wellen identifiziert werden. Die Prozessierung wurde jeweils so ausgelegt, dass sie in vergleichbarer Qualität auch in Echtzeit erfolgen könnte, was eine Voraussetzung für die Nutzung von GPS innerhalb eines Erdbebenfrühwarnsystems darstellt.

## Modellierung der Krustenbewegungen des Van-Erdbebens vom 23.10.2011

Yüksel Altiner, Wolfgang Söhne, Caner Güney, James Perlt  
Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am Main  
(Frankfurt, Deutschland)

### Abstract

Das Van-Erdbeben fand am 23.10.2011 (DoY 296) um 10:41 (GMT) statt und erreichte die Magnitude  $M 7,2$ . Das Epizentrum des Van-Erdbebens liegt am Ost-Anatolischen-Plateau, etwa 20 km nördlich vom Zentrum der Stadt Van, westlich vom Ercek See und in der Nähe des Dorfes Kasimoglu. Die Tektonik in dieser Region ist im Allgemeinen durch die Konvergenz der Arabischen Platte mit der Eurasischen Platte entlang der Bitlis-Suture-Zone (in der Ost-Türkei) und entlang der Zagros-Falten dominiert. Nach der Modell NUVEL1-A bewegt sich die Arabische Platte in dem Breitengrad des Erdbebengebietes in Richtung Nord mit einer Geschwindigkeit von ca. 2,5 cm/Jahr auf die Eurasische Platte zu. Mit Hilfe der einstündigen GPS-Sekundendaten (High-Rate) von 10:00:00 bis 11:00:00 der GNSS-Stationen des CORS-TR-Netzes wurden die koseismischen Bewegungen von 11 Stationen während des Erdbebens durch die Methode 'Präzise Einzelpunkt Bestimmung' (Precise Point Positioning) berechnet. Mit Hilfe der Zeitreihen der Koordinaten von 14 Stationen, die aus den Tageslösungen der 30-Sekunden-GPS-Daten berechnet wurden, Krustenbewegungen vor und nach dem Beben zur Überprüfung einer möglichen Vorhersage ermittelt. Durch Anwendung der analytischen Flächendeformationstheorie an die Punktbewegungen wurden interne und externe geometrische Flächenänderungen für einen Zeitraum vom 21.10.2011 (DoY: 294) bis 03.11.2011 (DoY: 307) illustriert. Schlussfolgerungen nach den ermittelten geodätischen Resultaten: Die Erde bebte ca. 65 Sekunden (mainshock). Wenn man nördlich vom Van See eine gerade Linie mit einer Länge von 100 km von Ost nach West zeichnet: Die Fläche nördlich von dieser Linie dehnt sich mit einem Betrag vom 0,2 - 1 ppm in Richtung Nordwest-Südost (extention). Die Fläche südlich von dieser Linie wird dagegen staucht mit 0,5 - 1,5 ppm in Richtung Nord-Süd (shortening). Die Flächenstauchung in Richtung Nord-Süd, stimmt mit den Resultaten der Herdflächenlösungen des USGS (U. S. Geological Survey) überein, die mit Hilfe von seismischen Daten bestimmt worden sind. Das Hauptbeben und die Nachbeben, die vom 21.10.2011 bis 03.11.2011 stattgefunden haben, veranlassten im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes eine Senkung von 2 bis 10 mm geneigt in Nordwest und Südwest nach den berechneten Hauptkrümmungsrichtungen. Die östlichen und nordöstlichen Teile des Untersuchungsgebietes zeigten eine Hebung von 0,5 bis 5 mm.

## Validierung von Simulationen zur Mittelfristigen Klimavorhersage mit Hilfe von GPS-Radiookkultationen

S. Stege, T. Schmidt, H. Doblsw, J. Wickert, K. Matthes  
GFZ Potsdam  
(Potsdam, Deutschland)

### Abstract

Die zuverlässige Prädiktion von Klimaveränderungen auf Zeitskalen von einigen Jahren ist von großer Bedeutung für zahlreiche gesellschaftliche und wirtschaftliche Fragen. Im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsprojekts Mittelfristige Klimaprognose (MiKlip) soll daher in den kommenden Jahren ein Modell zur Klimavorhersage für genau diesen Zeithorizont entwickelt werden. Grundlegend für die Vorhersagbarkeit sind gute Kenntnisse über langfristige Prozesse im Klimasystem, wie beispielsweise Temperaturänderungen im Bereich der oberen Troposphäre und unteren Stratosphäre (UTLS-Region). Diese können unter anderem mithilfe von Radio-Okkultationsdaten von niedrigfliegenden Satelliten (GPS-RO) mit hoher vertikaler Auflösung (100 m) beobachtet werden. Aus den seit 2001 verfügbaren GPS-RO-Beobachtungen wurden am GFZ Potsdam monatlich aufgelöste zonal gemittelte Klimatologien der Refraktivität und der Trockentemperatur zwischen 5 und 40 km Höhe berechnet. Vergleiche mit ECMWF Reanalyse-Daten belegen die hohe Genauigkeit dieses neuartigen Beobachtungsverfahrens. Trendanalysen zeigen unter anderem eine Temperaturzunahme in der oberen Troposphäre und die gleichzeitige Temperaturabnahme in der unteren Stratosphäre von bis zu mehreren Grad Celsius innerhalb einer Dekade. Die ersten Daten des Miklip-Modells liegen in Form von historischen Simulationen sowie von verschiedenen die letzte Dekade überdeckenden Hindcast-Ensembles vor. In diesem Beitrag werden sie genutzt, um die Reproduktion der mit Hilfe von GPS-RO identifizierten Variationen in der UTLS-Region zu untersuchen. Erste Analysen zeigen eine gute Wiedergabe der vertikalen Temperaturverteilungen im monatlichen zonalen Mittel für alle Breitengrade sowie der jährlichen Variabilitäten auf tropopausennahen Druckleveln. Auch die Trends der Temperaturen im zonalen Monatsmittel auf der dekadischen Zeitskala werden vom Miklip-Modell der ersten Entwicklungsstufe gut reproduziert.

Session

# Angewandte Geodäsie und GNSS III

## Vergleich von Sea Surface Heights aus Satelliten-Altimetrie und schiffsbasierten GNSS-Messungen

Ole Roggenbuck, Jörg Reinking  
Jade Hochschule Oldenburg  
(Oldenburg, Deutschland)

### Abstract

Die Meereshöhe (Sea Surface Height) und ihre Veränderung ist ein wesentlicher Parameter für die Analyse des Weltklimas. Aktuell wird diese auf dem offenen Ozean nahezu ausschließlich aus Fernerkundungsmethoden wie Satelliten-Altimetrie oder GNSS-Reflectometrie abgeleitet. Zur Kontrolle und Sicherung der Vertrauenswürdigkeit der Daten aber auch als zusätzliche Datenquelle wären in-situ-Messungen der Sea Surface Height wünschenswert. Eine Möglichkeit die Sea Surface Height aus in-situ Messungen auf den offenen Ozeanen zu bestimmen, besteht in der Verwendung von Seeschiffen als mobile Messplattformen. Die Höhen von GNSS-Antennen können dabei mittels des inzwischen gut etablierten Verfahrens GNSS Precise Point Positioning im Bereich von wenigen cm bestimmt werden. Um aus diesen Höhen Meereshöhen ableiten zu können, müssen einige systematische hydrostatische und hydrodynamische Effekte berücksichtigt werden. Eine erste Testmessung im Rahmen des Forschungsprojektes Schiffsdynamik der Jade Hochschule Oldenburg auf dem Atlantik hat bereits gute Resultate gezeigt. Eine weitere Messung wurde nun bei einer vollständigen Pazifiküberfahrt eines Containerschiffes durchgeführt. Im Rahmen dieses Beitrages sollen die Resultate dieser Messfahrt dargestellt und mit Ergebnissen aus der Satelliten-Altimetrie verglichen werden. Dabei sollen besonders die notwendigen Prozessierungsschritte und Korrekturen zur Ableitung der Sea Surface Height beschrieben und die Quantität der Ergebnisse dargestellt werden.

## Optimierung der Konfiguration eines Höhennetzes zur Detektion flächenhafter Setzungen

Christoph Holst, Christian Eling, Heiner Kuhlmann  
Institut für Geodäsie und Geoinformation, Universität Bonn  
(Bonn, Deutschland)

### Abstract

Zur Detektion von Setzungen innerhalb eines räumlich begrenzten Gebietes sind Nivellementmessungen gut geeignet. Durch Differenzbildung der nivellierten Höhen zu verschiedenen Zeitpunkten lässt sich die Höhenänderung ableiten. Aus diesen Höhenänderungen können flächenhafte Deformationen geschätzt werden, indem eine geeignete Parametrisierung, z. B. ein Flächenpolynom, gewählt wird. Grundlage dafür ist, dass die Konfiguration des Höhennetzes eine Analyse dieser Art zulässt. Sowohl die Anzahl als auch die räumliche Verteilung der Höhenbolzen muss dementsprechend geeignet sein, um eine zuverlässige Schätzung zu garantieren. Aufgabe dieser Studie ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das die nötige Anzahl und die optimale räumliche Verteilung der Messpunkte, basierend auf einem gegebenen Höhennetz, objektiviert und in Verbindung zur Komplexität der Deformationen setzt. Dies gleicht der Optimierung einer bestehenden Netzkonfiguration, was als Netzdesign 3. Ordnung verstanden wird.

## Risk assessment for slope monitoring

Yin Zhang, Ingo Neumann  
Geodätisches Institut Hannover  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

One main goal of geodetic deformation monitoring and analysis is minimizing the risk of unexpected collapses of artificial objects and geologic hazards. Behind these activities, it is the need of the society in minimizing the negative environmental impacts. An optimal configuration for measurement setups and all other decisions shall therefore review and rate the risks of an individual monitoring project. Nowadays, the methodology in Applied Geodesy and mathematically founded decisions are usually based on probabilities and significance levels but not on the risk (consequences or costs) itself. In the classical case, hypothesis testing in linear models is applied. The two possible results of the test are the acceptance or the rejection of the predefined hypotheses, which are typically called null and alternative hypothesis, respectively. A typical example is to detect significant movements of slopes. The choice of the null or alternative hypothesis is based on probabilities only, which have more or less no reference to practical applications. E.g., when the same probabilities under acceptance or rejection region appear, wrong decisions can be made and each decision may lead to dramatically different consequences. In this study, a new concept which is based on the utility theory is introduced to the current methodology. It allows the consideration of consequences or costs for geodetic decision making in order to meet the real requirements. In this case, possible decisions are evaluated with cost functions for type I and II errors. Finally, the decision leading to the minimum costs or consequences is chosen as the most beneficial one. This procedure allows also identifying the most beneficial additional measurements to reduce the risk of an individual monitoring process. In the last part, the theoretical concept is applied to an example in slope monitoring.

## Möglichkeiten der Kompensierung von Antastabweichungen bei der geometrischen Modellierung

Christoph Naab

Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
(Karlsruhe, Deutschland)

### Abstract

Für Aufgaben in der Qualitätssicherung, dem Reverse Engineering, bei Deformationmessungen, oder in ähnlichen Zweigen, werden Objekte zunehmend flächig erfasst. Im Bereich der industriellen Messtechnik kommen hierzu häufig hochpräzise, taktile Messsysteme zum Einsatz. So wird bei der Verwendung von Lasertrackern u.a. auf CCRs (Corner Cube Reflectors) bzw. SMRs (Spherically Mounted Retroreflectors) gemessen, die zur Erfassung der Objektgeometrie über die Oberfläche geführt werden. Bei diesen kugelförmigen Reflektoren wird dabei stets der Kugelmittelpunkt beobachtet, sodass eine Fläche erfasst wird, die parallel zur tatsächlichen Oberfläche liegt. Aber auch bei Koordinatenmessmaschinen oder Messarmen werden Oberflächen oft mittels berührendem Verfahren registriert, wobei hier Tastspitzen zur Datenerfassung dienen und in Interaktion mit dem zumessenden Objekt stehen. Dabei sind die Spitzen ebenfalls kugelförmig ausgeprägt, sodass auch bei diesen Systemen Parallellflächen erfasst werden. Bei der Modellierung der Objektgeometrie muss diesem Kugeloffset Rechnung getragen werden, was bei einer Einzelpunktmessung nur bedingt möglich ist und bei einem Punktverband eine Schwierigkeit darstellt. Zur Kompensierung der beschriebenen Antastabweichung existieren mehrere Varianten dem Problem entgegenzuwirken. Eine einfache Möglichkeit wäre es, die Kompensationsrichtung über die Normalen von Regelgeometrien zu bestimmen, oder diese aus einem bestehenden CAD-Modell abzuleiten. Oftmals liegen jedoch keine Vorinformationen vor und vermehrt handelt es sich um Freiformgeometrien, sodass mit Hilfe von Freiformkurven, oder Freiformflächen und geeigneter Parameterwahl, die Richtungen für die Korrektur der Antastabweichung approximiert werden müssen.

## Zusammenhang zwischen empfangener Signalstärke und Distanzabweichungen des terrestrischen Laserscanners IMAGER 5006i

Mirian Zamecnikova, Andreas Wieser, Helmut Woschitz, Camillo Ressler  
TU Wien - Institut für Geodäsie und Geophysik  
(Wien, Österreich)

### Abstract

Die hohe Messpräzision terrestrischer Laserscanner (TLS) erlaubt es, Oberflächen und Oberflächendeformationen mit Genauigkeiten im Millimeter- oder Submillimeterbereich zu erfassen. Die zugrundeliegende reflektorlose Distanzmessung wird jedoch von vielen Faktoren beeinflusst, die systematischen Abweichungen verursachen können. Um die tatsächlich erreichbaren Genauigkeiten präzisieren und das Genauigkeitspotential der Scanner voll auszuschöpfen zu können, müssen diese Einflüsse verstanden und modelliert werden. Im Beitrag präsentieren wir die Untersuchung der Distanzabweichungen eines TLS Imager 5006i im Nahbereich bis ca. 25 m. Ziel der Untersuchung war es, festzustellen, ob systematische Abweichungen auftreten, die mit Hilfe der gemessenen Distanzen und Signalstärken korrigiert oder reduziert werden können. Im Messlabor der TU Graz wurden dafür im Profilmessmodus Messungen zu unterschiedlichen diffus reflektierenden Zieltafeln (Spectralon-Targets) mit definierter Reflektivität durchgeführt. Die Zieltafeln wurden zwischen den Messungen mit Hilfe eines Horizontalkomparators kontrolliert verschoben. Die Abweichungen der TLS-Messungen von den interferometrischen Referenzmessungen wurden dann gemeinsam mit den empfangenen Signalstärken analysiert. Wir haben dabei systematische Distanzabweichungen festgestellt, die bei gleicher Zieltafel eine Spannweite von maximal 1,7 mm aufwiesen und damit innerhalb des spezifizierten Linearitätsfehlers von  $\pm 1$  mm liegen. Allerdings zeigte sich auch eine Abhängigkeit von der Zieltafel(reflektivität). Diese Variabilität betrug bis zu 4,5 mm und überschreitet den Linearitätsfehler des Scanners. Aufgrund von Experimenten mit Karton-Targets ähnlicher Reflektivität gehen wir davon aus, dass es sich um Eindringeffekte an den Spectralon-Targets handelt. Im Vortrag werden die Untersuchungen und die praxisrelevanten Schlussfolgerungen daraus vorgestellt.

## Modellierung der Kovarianzmatrix von RIM-Beobachtungen zur Deformationsanalyse von Bauwerken

Stefan Lederbauer, Andreas Wieser  
TU Wien - Institut für Geodäsie und Geophysik  
(Wien, Österreich)

### Abstract

Distanzkameras ermöglichen eine Abbildung der Umgebung durch das simultane Aufzeichnen von Grauwert- bzw. Tiefeninformationen mit einer zeitlichen Auflösung von mehreren Hertz. Derzeit verfügbare Distanzkameras weisen Sensoren mit ungefähr  $200 \times 200$  Bildpunkten auf, die Distanzmessgenauigkeit für jeden der betreffenden Einzelpunkte liegt im Bereich von einigen Millimetern bis Zentimetern. Trotzdem können Distanzkameras unter gewissen Voraussetzungen durch zeitliche und räumliche Filterung für das Monitoring von Bauwerken eingesetzt werden. Für die Schätzung der Genauigkeit bzw. Zuverlässigkeit der die Deformation beschreibenden Parameter ist die Kenntnis der vollständigen Kovarianzmatrix der Beobachtungen notwendig. Ein einfaches, brauchbares Varianzmodell kann direkt aus dem Messverfahren abgeleitet werden. Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass je nach Aufnahmesituation räumliche Korrelationen in einer Größenordnung von 5-20 Prozent vorhanden sind, die ebenfalls modelliert werden müssen.

Session

# Geodätische Bezugssysteme

## **Aktuelle Forschung zu großräumigen Referenzsystemen in Deutschland**

**Axel Nothnagel**

**Institut für Geodäsie und Geoinformation, Universität Bonn  
(Bonn, Deutschland)**

### **Abstract**

Im Oktober 2011 hat die DFG einen Antrag zur Einrichtung einer Forschergruppe mit dem Titel Space-Time Reference Systems for Monitoring Global Change and for Precise Navigation in Space genehmigt. In dieser Forschergruppe werden sich sechs Unterprojekte mit aktuellen Fragestellungen im Zusammenhang mit großräumigen Referenzsystemen beschäftigen. Ziel der Forschung ist es, die Grundlagen für eine konsistente Beschreibung und Realisierung verschiedener Referenzsysteme vom himmelsgebundenen Quasi-Inertialsystem bis hin zum terrestrischen Referenzsystem zu legen.

## **Simultane Realisierung des terrestrischen Referenzsystems (ITRS) und zälestischen Referenzsystems (ICRS)**

**M. Seitz, P. Steigenberger, T. Artz, M. Bloßfeld, R. Heinkelmann, H. Müller, M. Gerstl  
DGFI  
(München, Deutschland)**

### **Abstract**

Die Realisierung des Internationalen Terrestrischen Referenzsystems (ITRS) und des Internationalen Zälestischen Referenzsystems (ICRS) erfolgt bislang getrennt und durch verschiedene Institutionen. Die Folge ist, dass die beiden Realisierungen, der Internationale Terrestrische Referenzrahmen (ITRF) und der Internationale Zälestische Referenzrahmen (ICRF), sowie die in beiden Fällen mit ausgeglichenen Erdorientierungsparameter (EOP) nicht vollständig konsistent sind. Konsistenz dieser Produkte kann durch die simultane Berechnung beider Referenzrahmen und der EOP in einer Ausgleichung erreicht werden. Die Präsentation stellt eine solche Berechnung vor, diskutiert deren Vorteile und zeigt die Auswirkung auf die geschätzten Parameter, insbesondere auf den CRF.

## **Lunar Laser Ranging - Beiträge zu Erdrotation, Referenzsystemen und Grundlagen der Physik**

**Liliane Biskupek, Franz Hofmann, Enrico Mai, Jürgen Müller  
Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover  
(Hannover, Deutschland)**

### **Abstract**

Entfernungsmessungen zu Reflektoren auf der Mondoberfläche werden seit 1969 durchgeführt. Die Ergebnisse der Auswertung dieser längsten Datenreihe der geodätischen Raumverfahren leisten in verschiedenen Bereichen der Geodäsie und Physik einen Beitrag zum Verständnis des Systems Erde-Mond. Zum Beispiel können Erdorientierungsparameter und Koeffizienten für die Nutationsreihe bestimmt werden. Die Stationskoordinaten und -geschwindigkeiten fließen in die Berechnung des ITRF ein. Mit Hilfe des Erde-Mond-Systems ist des weiteren eine dynamische Realisierung des raumfesten Referenzsystems möglich. Im Bereich der Physik kann das Erde-Mond-System als Testlabor zur Überprüfung der Einsteinschen Relativitätstheorie genutzt werden. In diesem Beitrag werden Ergebnisse aus den verschiedenen Bereichen vorgestellt und diskutiert.

## Unterschiedliche Realisierungen des ITRS und ihre Auswirkungen auf die Polkoordinaten

Mathis Bloßfeld, Detlef Angermann, Manuela Seitz  
DGFI  
(München, Deutschland)

### Abstract

In aktuellen Realisierungen des Internationalen Terrestrischen Referenzsystems (ITRS) wird die zeitliche Änderung von Stationskoordinaten mittels linearer Geschwindigkeiten beschrieben. Konventionelle Modelle werden benutzt, um die nicht-linearen Anteile der Stationsbewegung zu reduzieren (z.B. Erdgezeiten, ozeanische Auflasteffekte, etc.). Zahlreiche Veröffentlichungen haben gezeigt, dass aufgrund von Ungenauigkeiten in den Reduktionsmodellen oder bisher nicht-modellierten Effekten (u.a. atmosphärische Auflasteffekte) die Abweichung von der reduzierten Stationsposition im Vergleich zum linearen Modell mehrere Zentimeter betragen kann. Da in den neueren ITRS Realisierungen die Erdorientierungsparameter (EOP) konsistent mit den Stationskoordinaten mitbestimmt werden, nehmen die täglich aufgelösten EOP einen Teil der residualen nicht-linearen Stationsbewegung auf und werden verfälscht. Eine andere Möglichkeit, die Änderung von Stationskoordinaten zu parametrisieren ist die zeitlich hoch aufgelöste Schätzung der Stationskoordinaten. Basierend auf homogenen Eingangsdaten werden Stationskoordinaten und EOP aus einer Kombination der Raumverfahren GPS, SLR und VLBI bestimmt. Die unterschiedlichen Parametrisierungen der Stationspositionen werden miteinander verglichen und ihr Effekt auf die mitbestimmten EOP untersucht. In dieser Präsentation werden aktuelle Ergebnisse der Arbeiten vorgestellt.

Session  
Postersession

## Geodetic Measurements and Regional Ocean Modelling to Investigate Agulhas Current Dynamics

Julian Kuhlmann, Henryk Dobslaw, Maik Thomas, Inga Bergmann  
GFZ Potsdam  
(Potsdam, Deutschland)

### Abstract

We configure a setup of the Regional Ocean Modelling System (ROMS) to simulate ocean dynamics around South Africa with the goal of interpreting time-variable gravity observations obtained from both from the satellite mission GRACE as well as a super-conducting gravimeter installed at the Sutherland geodynamics observatory. The study region (5°S-57.5°S, 15°W-55°E) contains parts of the South Atlantic, South Indian, and Southern Ocean. The model therefore captures the interaction between the Agulhas Current and the Antarctic Circumpolar Current (ACC), which is crucial since the ACC path is an area of large variations in ocean bottom pressure, one source of gravity anomalies. The horizontal resolution of 0.25°x0.25° at 32 vertical sigma levels resolves mesoscale eddies formed in the Mozambique Channel and in the Agulhas Retroflexion realistically. The model is driven with atmospheric forcing from ERA-Interim reanalysis data and boundary conditions from the global Ocean Model for Circulation and Tides (OMCT). The geodetic measurements in focus are GRACE satellite measurements of mass anomalies, in-situ data from bottom pressure sensors in the ACC path, and lastly the spatial integral of regional mass variations measured as the in-situ gravitational signal at the superconducting gravimeter in Sutherland, South Africa. To show the capabilities of our model, we first compare the output in terms of sea-surface heights and sea-surface temperature to corresponding satellite measurements. We then investigate how simulated ocean bottom pressure fields on monthly down to daily time scales correspond to GRACE and in-situ measurements. Furthermore, we explore how different parameterizations within the ocean model influence the agreement of simulated and measured ocean bottom pressure in order to identify and correctly describe the processes that are responsible for sub-monthly ocean bottom pressure variations.

## **Twangs, Vibrationen und Co - komplexe Signalanteile im niedrigen Erdorbit**

**Jakob Flury, J. Matschke, P. Goyal**  
**Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover**  
**(Hannover, Deutschland)**

### **Abstract**

GRACE Beschleunigungsmessungen enthalten komplexe Signalanteile und Störungen, die mit der Umgebung im niedrigen Orbit und innerhalb der Satellitenplattform verknüpft sind. Auch Messungen von CHAMP und GOCE enthalten manche verwandte Effekte. Das umfangreiche Datenmaterial aus vielen Jahren im Orbit erlaubt die schrittweise Entschlüsselung solcher Effekte. Ziel ist es, die Physik von Einflüssen und Störungen und die Messbedingungen an Bord von Plattformen im niedrigen Orbit besser zu verstehen. Wir geben ein Update zu aktuellen Arbeiten in der Datenanalyse.

## **Gekurvte Landeanflüge mit GNSS - Untersuchungen zur Navigationsleistung**

**Franziska Kube, Steffen Schön**  
**Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover**  
**(Hannover, Deutschland)**

### **Abstract**

Der Luftverkehr der Zukunft benötigt wissenschaftlich fundierte Innovationen, um Umweltverträglichkeit, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit zu gewährleisten. Neue, zukünftige Verkehrsmittel müssen mit den Bedürfnissen der Menschen in den Metropolen in Einklang gebracht werden. Dies kann durch kleine, stadtnah gelegenen City Airports ermöglicht werden. Gleichzeitig wird angestrebt die Belastungen der Bürger durch Lärm und Abgase drastisch zu vermindern. Daher müssen Technologien und Verfahren entwickelt werden, die mit Hilfe von Satellitennavigation im Nahbereich von Flughäfen leise und treibstoffarme An- und Abflugverfahren erlauben. Unter anderem sind GNSS-gestützte automatisierte gekurvte Anflüge geplant. Eine wesentliche Herausforderung stellen dabei Signalunterbrechungen bei Querneigung des Flugzeugs dar, die bei existierenden GNSS-gestützten Landesystemen zu einer Verminderung der für präzise Landeanflüge erforderlichen Navigationsleistung führen. Um dieses Problem zu vermeiden und die Anforderungen an Genauigkeit, Kontinuität, Integrität und Verfügbarkeit zu verbessern, wurde im Rahmen des Forschungsverbundes 'Bürger-nahes Flugzeug' das Konzept des 'Virtuellen Empfängers' entwickelt. Die Idee besteht darin, Beobachtungen von wenigen, optimal am Flugzeug verteilten GNSS-Antennen zu einer gemeinsamen Flugzeugposition zu kombinieren. Optimal bedeutet hier, dass die Antennen so geneigt sind, dass der gemeinsame Sichtbarkeitsbereich aller Antennen vergrößert ist. Damit kann gewährleistet werden, dass jedes Satellitensignal trotz Querneigung des Flugzeugs an mindestens einer Antenne empfangen werden kann und somit eine kontinuierliche Positionierung möglich ist. Im Rahmen dieses Beitrags werden Resultate eines Flugversuchs vorgestellt, die einen Vergleich zwischen einer herkömmlichen Einzelantennen-Lösung und der kombinierten Lösung mit dem Virtuellen Empfänger ermöglichen. Insbesondere wird auf das Qualitätsparameter für die Navigation eingegangen und der Zusammenhang zu den aus der Geodäsie bekannten Begriffen, wie z.B. der Zuverlässigkeit erläutert.

## Einbeziehung von Schwereinformation in Tunnelnetze

Viktoria Schädler, Katharina Solchenberger

TU München

(München, Deutschland)

### Abstract

Bei der geodätischen Realisierung von Tunnelnetzen ist eine hohe Genauigkeit von großer Bedeutung. Im Rahmen einer fachübergreifenden Masterarbeit der Ingenieurgeodäsie und der Physikalischen Geodäsie der TU München wird anhand eines Demonstrationsprojektes (Umfahrungstunnel 'Schmittentunnel') untersucht, inwieweit sich durch zusätzliche Schwereinformationen die Genauigkeit einer Netzausgleichung und damit der Durchschlagsfehler in der Tunnelvermessung verbessern lässt. Als Grundlage dient ein bereits bestehendes Messnetz, aus terrestrischen und GPS-Daten, des Umfahrungstunnels der Gemeinde Zell am See im Salzburger Land. Für die zusätzlichen Schwerefeldinformationen werden aus Beobachtungen der astronomischen Koordinaten mittels Astrolab an den Tunnelportalen Lotabweichungen berechnet. Weiter stehen Gravimetriebeobachtungen sowie ein regionales Geoidmodell zur Verfügung. Diese fließen neben den bestehenden Daten in eine Ausgleichung des Tunnelnetzes mit ein. Daneben wurde ein Präzisionsnivellement durch den Tunnel mit begleitender Relativgravimetrie durchgeführt. Ein Vergleich mit den bestehenden Ergebnissen zeigt, welchen Beitrag zur Genauigkeitssteigerung einer ingenieurgeodätischen Ausgleichung die Einbeziehung von Schwerefeldinformationen leisten kann.

## **Bestimmung der Auslenkung einer Druckmembran mittels Lichtaufspaltung am optischen Gitter**

**Thomas Gebhardt  
Bauhaus-Universität Weimar  
(Weimar, Deutschland)**

### **Abstract**

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde die Integration der optischen Messtechnik als Messwertaufnehmer in einem hydrostatischen Druckmesssystem geprüft. Das Ziel bestand in der Entwicklung eines störunanfälligen Sensors mit dem Druck- bzw. Höhenänderungen in blitz- und explosionsgefährdeten Gebieten, unter extremen Umweltbedingungen, wie etwa starken elektromagnetischen Feldern, oder in radioaktiven Bereichen zuverlässig ermittelt werden können. Im Mittelpunkt der Projektarbeiten stand die Bestimmung der Membranauslenkung einer Druckmembran in einem hydrostatischen Druckmesssystem mit Hilfe der Lichtaufspaltung am optischen Gitter. Dabei gelang die Realisierung der im Projektantrag angegebenen Genauigkeit für die Bestimmung von Höhenänderungen von max. 1 cm in einem Arbeitsbereich des Messsystems von 1,15 m. Das Poster soll neben der Beschreibung des optischen Messprinzips einen Überblick über die durchgeführten Versuche zur Ermittlung des zum relativen hydrostatischen Wasserdruck korrespondierenden Verformungsverhaltens geben. Ausgehend von den geschilderten Erkenntnissen bzw. Ergebnissen wurde ein Labormuster entwickelt, mit dem im optischen Labor der Materialforschungs- und Prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar (MFPA) Kalibrierungen durchgeführt wurden, deren Ergebnisse abschließend aufgezeigt werden.

## Vergleich von geschätzten und gerechneten Genauigkeiten verschiedener INS Systeme

Bernhardt Schäfer, Alvand Miraliakbari, Michael Hahn  
Institut für Navigation, Universität Stuttgart  
(Stuttgart, Deutschland)

### Abstract

Für die Datenerfassung mit mobilen Kamera- oder Lasersystemen wird eine Georeferenzierung und Orientierungsbestimmung benötigt. Bedingt durch Fortschritte in der MEMS Technologie werden hierfür immer häufiger Integrierte Navigation System (INS) basierend auf kostengünstigen MEMS Inertialsensoren und GPS Empfänger eingesetzt. Verschiedene MEMS-basierte INS werden vorgestellt, wie zum Beispiel ein kostengünstiges Gerät der Firma Xsens und ein mittelpreisiges Gerät von OXTS. Dabei wird besonders auf deren Eigenschaften eingegangen, welche die Genauigkeit der zu erzielenden Positionen und Orientierung beeinflussen. Außerdem werden Möglichkeiten aufgezeigt, die Ergebnisse durch Post-Processing im Nachhinein zu verbessern. Als Referenzsystem dient das hochgenaue INS LV420 von Applanix. Für die Genauigkeitsuntersuchung in einem Fahrzeug wird ein wiederholbarer Experimentaufbau geschaffen, indem die Hebelarme zu der gemeinsamen GPS-Antenne bekannt sind. In der Untersuchung werden die Systeme in normalen Straßenverkehrsbedingungen getestet. Dabei werden verschiedene Bereiche untersucht, wie komplette Abschirmung der GPS Signale im Tunnel, stark abgeschattete Bereiche im Stadtgebiet, Überlandfahrten mit teilweiser Abschattung durch Bäume bis zu komplett abschattungsfreien Bereichen. Der Fokus der Untersuchung liegt dabei auf den geschätzten Positions- und Orientierungsgenauigkeiten und auf den gerechneten Positionsgenauigkeiten, die durch die Gegenüberstellung mit dem hochgenauen Referenzsystem entstehen. Außerdem werden die Echtzeitergebnisse mit den verschiedenen Post-Processing Ergebnissen gegenübergestellt und diskutiert.

## Accurate tropospheric range corrections from regional GNSS networks

Gregor Möller, Robert Weber, Johannes Böhm  
Technische Universität Wien  
(Wien, Österreich)

### Abstract

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) carrier-phase range measurements constitute an utmost accurate observation type in case the ambiguity parameter can be fixed to a correct integer number. In differencing mode over short or medium baselines this problem can be solved usually with of a few seconds of observation. In zero-difference mode (PPP) the ambiguity resolution is dependent on the parallel determination of a number of calibration parameters and the introduction of high accurate orbit and clock information. It still takes approximately 15min to obtain a reliable integer ambiguity resolution. Usually ionosphere-free (L3) observations are used and tropospheric delays are estimated along with the receiver clock error and the receiver position. Both, the differential as well as the zero-difference ambiguity solution would speed up if precise tropospheric models calculating the signal delay along the ray path at sub-cm level would become available. For high precision analysis a mapping function (VMF1) was developed by (Böhm et al.) which is based on data from numerical weather models (NWM). Its coefficients, the wet and dry components of the signal delay as well as hydrostatic and wet zenith delays on global grids and for selected sited are freely available and updated every six hours. Studies have shown that this approach allows determining the total tropospheric zenith delays with an accuracy of approximately one centimetre. To obtain the highest accuracy, the signal delay in the neutral atmosphere should be derived from models based directly on GNSS observations instead from NWM. In this presentation we would like to show a method to derive 3D humidity models as well as hydrostatic background models from regional GNSS reference networks which can be used to calculate accurate (differential) range corrections for faster ambiguity resolution.

## Standardisierte Methoden zur wirtschaftlichen Evaluierung von kinematischen GNSS-RTK-Szenarien

Kim Gouber, Peter Fairhurst, Andreas Knöpfler, Michael Illner, Michael Mayer  
Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
(Karlsruhe, Deutschland)

### Abstract

Real-Time-Kinematic (RTK) GNSS-Messungen sind Hauptanwendungen geodätischer, satellitengestützter Positionierung. Heutzutage sind Netzwerk-RTK-Ansätze (z. B. VRS) aus der geodätischen Praxis nicht mehr wegzudenken. Die Qualität einer Netzwerk-RTK-Lösung wird außer durch Hard- und Software des Rovers stark durch das gewählte Netzwerkprodukt (z. B. VRS), die Konfiguration der Netzwerkinfrastruktur (Vernetzungssoftware, Netzgeometrie, Abstand zwischen Referenzstationen etc.) und insbesondere die Umgebungsbedingungen (Abschattungen, Mehrwegeeffekte) beeinflusst. Die wiederholte Messung auf bekannten Festpunkten wird heutzutage oft für Vergleichstests unterschiedlicher RTK-Szenarien herangezogen. Allerdings ist ein solcher Test sehr zeit- und personalaufwändig, bietet jedoch ein fundiertes Ergebnis. Im Rahmen einer in Kooperation zwischen der Leica Geosystems AG und dem Geodätischen Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) durchgeführten Diplomarbeit wurde angestrebt, eine standardisierte Methodik zur Evaluierung von GNSS-RTK-Ausrüstungen (Benchmarking) für kinematische Anwendungen zu entwickeln. Hierzu wurde in der Nähe von Heerbrugg (Schweiz) ein sogenannter Drive-around-Test untersucht. Dabei galt es zudem, ein bestehendes Testgebiet im St. Galler Rheintal bezüglich Konfiguration und Auswertalgorithmik zu optimieren. Unter Verwendung von unterschiedlichen Vernetzungssoftwarepaketen (z. B. Leica Spider, Geo++ GNSmart, Trimble VRS now) und unterschiedlichen Netzwerkrealisierungen (z. B. dense, sparse) wurde die entwickelte standardisierte Methode verifiziert, um eine Antwort auf die Frage Welcher der eingesetzten Empfänger erzeugt im untersuchten RTK-Szenario die zuverlässigsten Ergebnisse? zu finden. Hierzu wurden aktuelle Empfänger der führenden Herstellerfirmen (Leica, Trimble, Topcon) verglichen. Herstellerspezifische Einstellungen, welche die RTK-Performance beeinflussen (z. B. xRTK, Coop-Tracking, Ambiguity-Level) und folglich eine Variationsbandbreite bezüglich der Vergleichbarkeit von Messergebnissen ableitbar machen, wurden in der Diplomarbeit ebenfalls berücksichtigt. Die zur Ergebnisanalyse verwendete Algorithmik (z. B. Bestimmung der Soll-Höhen, Detektion von Fehlinitialisierungen) wird im Rahmen der Präsentation im Detail diskutiert werden, da ein maßgeblicher Analyseparameter in der Fähigkeit Ambiguities korrekt zu lösen besteht. Ebenso werden die analysierten Versuchsszenarien und bekannten Unterschiede in der GNSS-Datenverarbeitung dokumentiert.

## Untersuchungen zu lokalen Vertikalbewegungen im Erdölfeld Landau unter Verwendung geodätischer Daten der Landesvermessung

Maryse Wampach, Thomas Fuhrmann, Malte Westerhaus, Bernhard Heck  
Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
(Karlsruhe, Deutschland)

### Abstract

Am Lehrstuhl für Physikalische und Satellitengeodäsie des GIK wird derzeit die Geodynamik des Oberrheingrabens unter Verwendung geodätischer Sensoren (GNSS, Nivellement, InSAR) untersucht. Zur Analyse von Vertikalbewegungen im Oberrheingraben werden die Daten von wiederholt gemessenen Nivellements der Landesvermessung ausgewertet. Neben geodynamisch bedingten Hebungen und Senkungen gibt es verschiedene andere Ursachen für vertikale Bewegungen der Erdoberfläche. In der Umgebung von Landau (Rheinland-Pfalz) wurden in einer ersten Auswertung der Nivellementsdaten große Senkungen ( $> 3$  mm/a) detektiert, die sich durch den Abbau von Erdöl erklären lassen. Seit 1955 wurden dort insgesamt 190 Bohrungen abgeteuft, von denen 135 auf Erdöl stießen. Derzeit fördern noch 70 Pumpen Erdöl aus einer durchschnittlichen Tiefe von 1200 m. Durch die Entnahme von Wasser und Erdöl entstehen Senkungen an der Erdoberfläche, die sich mit geodätischen Messungen nachweisen lassen. Von der Landesvermessung Rheinland-Pfalz wurden seit 1955 insgesamt acht Nivellements entlang der Linie Kandel & Neustadt durchgeführt, die das Erdölgebiet bei Landau durchqueren. Zur zeitlichen Analyse der Senkungen wurden zunächst die Höhen der Nivellementspunkte in den 8 Messeperioden berechnet, wobei die Höhe eines Nivellementspunktes in Kandel festgehalten wurde. Aus der Differenz der berechneten Höhen können Höhenänderungen zwischen den Messeperioden und schließlich vertikale Bewegungen abgeleitet werden. Durch die große Anzahl an Wiederholungsmessungen ist es möglich die Vertikalbewegungen an der Erdoberfläche auch über die Zeit nachzuverfolgen. Die größten Senkungen (bis zu 10 mm/a) treten dabei zwischen 1970 und 1990 auf. In den letzten Messeperioden (von 1994 & 2009) sind auch Hebungen im Gebiet des Erdölfeldes sichtbar, die sich z.B. durch das Rückverpressen von Wasser erklären lassen. Neben den Nivellementsdaten wurden auch Koordinatenzeitreihen der SAPOS-Station Landau untersucht, deren kontinuierlich aufgezeichnete GPS-Daten seit 2004 verfügbar sind und am GIK ausgewertet werden. Die Höhenkomponente aus GPS zeigt dabei einen ähnlichen Senkungsbetrag (ca. 1 & 2 mm/a) wie die umliegenden Nivellementspunkte in den letzten beiden Messeperioden (2003 und 2009). Ein Vergleich der aus geodätischen Daten gewonnenen Vertikalbewegungen mit zusätzlichen geowissenschaftlichen Informationen (räumliche Lage der Erdölpumpen, jährliche Fördermengen) zeigt, wie sich das Bewegungsverhalten des Erdölfeldes Landau über die Zeit nachverfolgen und erklären lässt. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse liefern Rückschlüsse für den räumlichen und zeitlichen Verlauf von Bodenbewegungen infolge anthropogener Eingriffe in das Erdreich.

## Quality management of short-time static GNSS network RTK using RTKMon

Blandine Thomas, Helmut Grau, Martin Freitag,  
Andreas Knöpfler, Michael Mayer

Geodätisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
(Karlsruhe, Deutschland)

### Abstract

Within GNSS positioning, several methods (e.g., differential vs. PPP) and techniques (real-time vs. post-processing, static vs. kinematic, base/rover vs. network) are well-known to fulfil the users' demands. Within the last decade, various networks (e.g., SAPOS) and services (e.g., VRS) have been successfully established. The presentation will focus on network RTK related to SAPOS VRS based on repeated short-time static GNSS observations (sample size: 700-1000). Within the case study, RTKMon developed at SAPOS/Bayerische Vermessungsverwaltung was used to support automated data registration. The experiments were carried out with respect to ambient conditions especially

## Test des Äquivalenzprinzips mit LLR

Franz Hofmann, Jürgen Müller, Liliane Biskupek, Enrico Mai  
Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

Mehr als 42 Jahre Lunar Laser Ranging stellen eine außergewöhnliche Grundlage für die Bestimmung verschiedenster Parameter im Erde-Mond-System, sowie für Tests im Bereich der Gravitationsphysik dar. In dieser Arbeit werden Ergebnisse für den Test des Äquivalenzprinzips mit den Testkörpern Erde und Mond im Gravitationsfeld der Sonne vorgestellt. Die Untersuchungen wurden anhand von drei verschiedenen Datensätzen mit den Beobachtungen von 1969 bis 2011, von 1986 bis 2011 und ausschließlich mit Beobachtungen des Apache Point Observatory durchgeführt. Es wurde keine signifikante Abweichung von den Vorhersagen der allgemeinen Relativitätstheorie innerhalb der erreichten Genauigkeit von  $3.6 \cdot 10^{-4}$  für den Nordtvedt-Parameter und  $1.6 \cdot 10^{-13}$  für das Massenverhältnis von träger und schwerer Masse zwischen Erde und Mond festgestellt.

## Untersuchung des Potentials von iGPS zur schnellen statischen und kinematischen 6 DOF Georeferenzierung mobiler Plattformen

Christian Wagner

Institut für Geodäsie, Universität der Bundeswehr München  
(Neubiberg, Deutschland)

### Abstract

Mit den steigenden Genauigkeiten bei der Datenerfassung von (optischen) Messsystemen bei kinematischen Multisensorsystemen steigen auch die Anforderungen an die 6 DOF (degree of freedom) Georeferenzierung. Des Weiteren sind die Kosten für die Sensorik der Georeferenzierung auf ein Minimum zu reduzieren. Ein System, das diese Anforderungen für den Bereich der Georeferenzierung erfüllen kann, ist das Indoor Global Positioning System (iGPS) der Firma Nikon Metrology. Dieses System verwendet mehrere Transmitter, um einen Empfänger im Raum zu detektieren und dessen Position zu bestimmen. Im Rahmen dieses Beitrages wird eine Idee vorgestellt, in der ein geänderter Messaufbau zur Optimierung des Messprozesses bei der 6 DOF Georeferenzierung von statischen und kinematischen Sensorplattformen verfolgt wird. Durch einen im Rahmen der Arbeit entwickelten Algorithmus werden die 6 DOF des Transmitters über die bekannten Koordinaten der Empfänger im Raum bestimmt. Die Leistungsfähigkeit der Georeferenzierung wird anhand umfangreicher Testreihen beurteilt. Dabei wurden die 6 DOF parallel mit Lasertracker und Neigungsmessern hochgenau bestimmt und mit den mittel iGPS ermittelten verglichen. Es stellte sich heraus, dass die Koordinatendifferenzen abhängig von der Entfernung des Transmitters zu den Empfängern sind. Im Bereich bis 50m können Genauigkeiten im mm und tlw. im sub-mm Bereich mit 40 Hz erzielt werden. Dies ist besonders interessant, da der Preis der Sensorik in der angewandten Messkonfiguration im Bereich eines elektronischen Präzisions-Tachymeters liegt.

## Fusion von kinematisch erfassten Scanner- und Kameradaten

Sebastian Johann

Institut für Geodäsie, Universität der Bundeswehr München  
(Neubiberg, Deutschland)

### Abstract

Fahrzeugbasierte kinematische Messsysteme beinhalten eine Vielzahl integrierender Sensoren, die in die Georeferenzierungs- und Datenerfassungskomponente unterschieden werden können. Zur Datenerfassungskomponente gehören Laserscanner und (digitale) Kameras. Die Laserscannermessungen werden zumeist anhand einer intensitätsbasierten grauwertcodierten Punktwolke dargestellt. Das erzielbare Ergebnis kann durch die Kombination mit Farbkameras deutlich verbessert werden. Die erreichbare Qualität der Daten ist hierbei zum einen von den jeweilig erfassten Ausgangsdaten und zum anderen von der Qualität der Datenfusion abhängig. Dieser Beitrag beschreibt die Integration zweier digitaler Hochleistungskameras in das Mobile Straßen-Erfassungs-System MOSES, wobei sowohl auf die Hard- als auch Softwareintegration eingegangen wird. Aufbauend auf den erfassten Datensätzen wird die Kalibrierung des bestehenden Systems untersucht und durch ein erweitertes Verfahren optimiert. Des Weiteren werden verschiedene Methoden zur Korrektur und Qualitätssteigerung der Bilddaten betrachtet, auf die einzelnen Kameratypen angewendet und untereinander verglichen. Die u.a. durch Weißabgleich und Vignettierung verbesserten Ausgangsdaten werden zur automatischen Kolorierung einer kinematisch erfassten Laserscannerpunktwolke verwendet. Durch die neu entwickelte Kolorierungsmethode erhält jeder Punkt des kinematisch erfassten Objektraumes einen bestimmten Farbwert zugeordnet. Die fotorealistische Darstellung steigert die Qualität der Punktwolke und verbessert deren Interpretation. Auf diese Weise können neue Aufgabenfelder beim Mobile Mapping erschlossen werden.

## **Automatische Zylindererkennung aus ungeordneten 3D-Punktwolken bei Projekten der digitalen Fabrik**

**Markus Münzer**

**Institut für Geodäsie, Universität der Bundeswehr München  
(Neubiberg, Deutschland)**

### **Abstract**

Die virtuelle dreidimensionale Modellierung von Produktionsanlagen ist im Bereich der digitalen Fabrik von zentraler Bedeutung. Die digitalen Modelle bilden den Ausgangspunkt für alle folgenden Planungsprozesse. Hierzu gehören u.a. die dreidimensionale Förderungsanlagenplanung, aber auch der virtuelle Produktionsbetrieb und die Kollisionsprüfung. Um eine möglichst gute Planungsgrundlage zu erhalten, ist die hochgenaue Bestandsaufnahme eine Grundvoraussetzung. Mit Hilfe von modernen terrestrischen Laserscannern lässt sich die Aufnahme der bestehenden Objekte gut bewältigen. In Aufnahmen bei Projekten der digitalen Fabrik findet man oft Objekte wie Leitungs- und Rohrsysteme vor, die durch Flächen 2. Ordnung wie Zylinder modelliert werden können. Die Erkennung und Modellierung solcher Objekte erfolgt zumeist noch semi-automatisch, obwohl ein erheblicher zeitlicher Gewinn bei der vollständig automatischen Modellierung erreicht werden kann. Im Rahmen dieses Beitrages wurde ein modifizierter Algorithmus nach der Grundidee von Chaperon und Goulette (2001)<sup>1</sup> in einem C#-Programm implementiert. Die Zylinderextraktion wird mit einem in mehreren Schritten aufgeteilter RANSAC-Algorithmus durchgeführt. Zur Vorbereitung werden mit einem RANSAC-Algorithmus Ebenen aus der Punktwolke extrahiert. Durch die Ebenextraktion kann die Größe der weiterzuverarbeitenden Punktwolke teilweise deutlich reduziert werden, sodass die Verarbeitungsgeschwindigkeit zunimmt. Im ersten Schritt der Zylinderextraktion wird im Gauß-Bild der Punktwolke eine Ebene gesucht. Im zweiten Schritt werden, mit den zur extrahierten Ebene korrespondierenden Punkten der Punktwolke, die Zylinderparameter geschätzt. Als Ergebnis erstellt das Programm für jeden Zylinder eine Textdatei mit den Parametern und eine Punktwolke mit den rekonstruierten Zylindern. Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit wird der Algorithmus auf verschiedene Datensätze angewandt und die Ergebnisse mit einer manuellen Zylinderselektion verglichen. Insgesamt konnten gute Ergebnisse erzielt werden, wobei derzeit die Nachbarschaftsanalyse das größte Optimierungspotential bietet, da sie den Großteil der Verarbeitungszeit benötigt.

## **Automatische Positionierung und Erkennung von komplexen 3D-Kranbauteilen mittels TLS**

**Mathias Pieske, Ingo Neumann**

**Institut für Geodäsie, Universität der Bundeswehr München  
(Neubiberg, Deutschland)**

### **Abstract**

Die automatische Positionierung und Objekterkennung von Bauteilen in der industriellen Messtechnik gewinnt immer mehr an Bedeutung. Aus der Tatsache heraus, dass in der Industrie das Ziel besteht, Fertigungsprozesse weiter zu optimieren und zu beschleunigen, resultiert die Notwendigkeit Messprozesse in der industriellen Messtechnik zu automatisieren. Die Motivation der Automatisierung liegt u.äa. in der Produktivitätssteigerung, der Qualitätssteigerung, der Humanisierung von Arbeiten, der Steigerung von Sicherheit sowie in der Einsparung von Personal und Kosten. Im Konkreteren wird im Rahmen dieses Beitrages eine Positionierung einer 3D-Punktwolke aus terrestrischem Laserscanning (TLS) gegen ein CAD mit Hilfe des Spatial Analyzer (SA) und entwickelten Algorithmen vorgestellt. Die Besonderheit liegt darin, dass die mittels TLS gewonnene 3D-Punktwolke eine schnelle und detaillierte Erfassung der Geometrie ermöglicht und somit gewinnbringend für die Positionierung eingesetzt werden kann. Anhand eines erarbeiteten Workflows wird der Prozess von der Datenaufnahme und Vorverarbeitung, der Grobausrichtung sowie über die Positionierung bis hin zur Ableitung von Genauigkeitsmaßen geschildert. Die wichtigsten Randbedingungen werden festgehalten und erläutert. Unter der Berücksichtigung dieser Randbedingungen und bei Einhaltung eines empfohlenen Ablaufes können sehr gute und effiziente Positionierungsergebnisse erzielt werden. Somit wird eine höhere Produktivität und Zuverlässigkeit sichergestellt. Darüber hinaus ist auch eine Teileerkennung bzw. -überprüfung anhand der Positionierung und eines Vergleiches gegen das CAD möglich.

Session

# Global Geodetic Observing System

## **GGOS-Büro für Standards und Konventionen**

**Detlef Angermann, Thomas Gruber, Johannes Bouman,  
Michael Gerstl, Robert Heinkelmann, Urs Hugentobler, Laura Sanchez, Peter Steigenberger  
Centrum für Geodätische Erdsystemforschung  
(München, Deutschland)**

### **Abstract**

Die Verwendung einheitlicher Standards und Konventionen bei der Prozessierung geodätischer Messdaten sowohl der geometrischen als auch der gravimetrischen Beobachtungsverfahren ist eine wesentliche Voraussetzung für die Generierung konsistenter GGOS-Produkte. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde das GGOS-Büro für Standards und Konventionen als GGOS-Komponente eingerichtet, welches gemeinsam von DGFI und IAPG betrieben wird. Eine wichtige Aufgabe dieses Büros besteht darin, eine Bestandsaufnahme des gegenwärtigen Standes bzgl. der bei den IAG-Diensten und den beteiligten Analysezentren verwendeten Standards und Konventionen vorzunehmen, vorhandene Defizite aufzuzeigen und zu beseitigen sowie einheitliche GGOS Standards und Konventionen zu empfehlen. Das Büro ist außerdem damit beauftragt, die Einhaltung der Standards und Konventionen zu beobachten, um die Konsistenz der geodätischen Produkte zu garantieren. In dieser Präsentation wird das GGOS-Büro für Standards und Konventionen vorgestellt. Es werden einige Beispiele aus den aktuellen Arbeiten gezeigt und der gegenwärtige Stand für ausgewählte GGOS-Produkte beleuchtet.

## **Detaillierte Modellierung der Meeresoberfläche im Bereich der Deutschen Bucht unter Nutzung von GNSS@tidegauge, Satellitenaltimetrie, hochgenauer Bathymetrie und hydrodynamischen Modellen**

**Robert Weiß, Matthias Becker, Astrid Sudau,  
Luciana Fenoglio-Mark  
Bundesanstalt für Gewässerkunde  
(Koblenz, Deutschland)**

### **Abstract**

In Kooperation mit der TU-Darmstadt analysiert die BfG seit mehreren Jahren langfristige Meeresspiegeländerungen im Bereich der Deutschen Bucht. Aufgrund der Vielzahl von Pegelstationen in diesem Gebiet wird die Meeresoberfläche und deren Variation an der Küstenlinie sehr gut erfasst. Für eine Erfassung der Vertikalbewegungen der Pegel hat die BfG 2008 damit begonnen, die wichtigsten Pegelstationen mit permanent arbeitenden geodätischen GNSS-Systemen auszustatten und deren Beobachtungen zu prozessieren. Darüber hinaus wird von Seiten des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrografie die Nordsee, insbesondere auch die Deutsche Bucht hydrodynamisch modelliert. Seit 2000 werden von Seiten der zuständigen Wasser- und Schifffahrtsverwaltung minütliche Wasserstandsbeobachtungen erfasst. Die Kombination hoch aufgelöster Wasserstandsbeobachtungen mit den prozessierten GNSS-Beobachtungen ermöglicht Vergleiche mit Beobachtungen der Satellitenaltimetrie auf absolutem Niveau. Im Hochseebereich ergeben sich Korrelationen von  $>0.95$  und Standardabweichungen der Differenzen von 6-7cm bei absoluten Differenzen von 6.2 - -0.4cm (abhängig von der Mission) sehr gute Übereinstimmungen. Aufgrund der Ozeangezeiten steigen die Differenzen mit zunehmendem Abstand zum Pegel sehr schnell an. Bei einer Betrachtung der Differenzen ist damit die Phasenlage der Tide von entscheidender Bedeutung. Innerhalb der Deutschen Bucht treten aufgrund von verschiedenen Einflüssen (Windstau, Resonanzen usw.) Abweichungen zwischen modellierten Ozeangezeiten und realen Pegelmessungen auf. Eine Korrektur der instantanen Altimeter- und Pegelbeobachtungen um ozeanografische Gezeitenmodelle haben daher schlechtere Korrelationen in unmittelbarer Nähe des Pegels zur Folge. Für den Bereich der Deutschen Bucht liegen neben Pegelbeobachtungen auch hochgenaue Bathymetriedaten relativ zu NHN vor. Unter Nutzung realer Wasserstände lassen sich Wassertiefen und deren Verteilung für bestimmte Gebiete bzw. für die Altimeterfootprints ableiten. Dies ermöglicht eine gezielte Auswertung der Rückkehrimpulse unter Berücksichtigung von Landflächen im Bereich des Footprints.

# **Universeller Algorithmus für die Verbesserung der Korrektur der feuchten troposphärischen Verzögerung in den Altimeterzeitreihen in der Nähe der Küste**

**Daniel Rieck, Roman Savcenko  
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut  
(München, Deutschland)**

## **Abstract**

Die feuchte troposphärische Korrektur bei Altimetersatelliten wird durch Messungen eines onboard Radiometers berechnet. Der Footprint des Radiometers ist jedoch größer als jener, der die Entfernung misst. Somit wird in der Nähe von Land, aufgrund unterschiedlicher Rückstreuungen von Land und Ozean, die troposphärische Korrektur verfälscht und damit auch die Entfernungsmessungen. Die gewonnenen Daten sind in der Nähe von Land alle unbrauchbar und müssen dringend verbessert werden. Shannon Brown hat mit seinem Algorithmus für die Satellitenmission Jason-2 die troposphärische Korrektur sehr gut verbessert, so dass nun Werte in der Nähe von Land verwendet werden können. Die mittels dieses Algorithmus berechnete Korrektur der feuchten troposphärischen Verzögerung ist zur Zeit nur für die Missionen Jason-1 und Jason-2 frei verfügbar. Deswegen ist es notwendig, einen Algorithmus zu entwickeln, der die feuchte troposphärische Korrektur des Radiometers in der Nähe von Land verbessert, sehr einfach und schnell arbeitet und auf jede Satellitenmission anwendbar ist. Durch eine Offsetbildung zwischen dem Radiometer und den Wetterdaten z.B. des ECWMF konnte eine Verminderung der Streuung in Küstenregion erreicht werden. Durch einen Interpolationsansatz bei Inseln, wurde die Genauigkeit weiter gesteigert. Der Algorithmus wurde dabei auf Basis der Satellitenmission Jason 2 entwickelt und validiert. Bei der Validierung wurden die Korrekturen von Shannon Brown als beste Lösung angesehen und die Unterschiede zu dieser Lösung untersucht. Die Standardabweichungen, Mittelwerte und RMS-Werte der Differenzen waren bei allen Zyklen von Jason 2 geringer, wie die statistischen Werte der Differenzen des Radiometers zu Brown. Damit wurde das Ziel, dass man die feuchte troposphärische Korrektur des Radiometers verbessert, erreicht. Die Verbesserungen der statistischen Werte bewegen sich über einen ganzen Zyklus im Millimeter-Bereich. Nachdem dieses Ziel erfüllt wurde, wendete man den selbstentwickelten 'Offset'-Algorithmus auf andere Satelliten Mission an. Aufgrund des Fehlens einer Referenzlösung, konnte bei anderen Missionen keine Validierung durchgeführt werden. Man kann aber davon ausgehen, dass bei anderen Missionen die feuchte troposphärische Korrektur auch verbessert wird, da diese bei Jason-2 eine signifikante Verbesserung aufweist. Damit wurde das Ziel einer Verbesserung der feuchten troposphärischen Korrektur, unter einfachen mathematischen Gesichtspunkten, erreicht. Zusätzlich ist der Algorithmus auf alle Satellitenmissionen anwendbar.

## Classifying Radar-Echos of Envisat Altimeter Data for an Optimized Retracking

Tobias Koch, Christian Schwatke  
DGFI  
(München, Deutschland)

### Abstract

Satellite altimetry originally designed for ocean application has been proven to be also a valuable technology for monitoring coastal zones and inland water. However, close to the shore or over inland water the altimeter waveforms do not have the typical ocean-like shape. The contamination of the radar signal by land areas leads to waveforms which are peaky and noisy and require dedicated retracking algorithms. Knowing the shape of the waveform allows to decide which is best suited retracker algorithm. In this presentation, we investigate an approach for classifying the waveforms in categories which can be subsequently used to assigned an optimal retracking algorithm. While ocean-like waveform are reliably retracked using the Beta-5 retracker, ranges over coastal zones and inland waters can be improved by first classifying the shape of the waveform and second applying one of the alternative retracking algorithms such as the Offset Center of Gravity Retracker (OCOG) or different Beta-parameter retrackers.

## **Intersection of SAR imagery with medium resolution DEM for the estimation of regional water storage changes due to heavy flood and drought events.**

**S. Spiridonova, K. Hedman, F. Seitz  
TUM  
(München, Deutschland)**

### **Abstract**

In this study, the possibility of combining a medium resolution Digital Elevation Model (DEM) with Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for estimating land water mass changes was investigated. The Amazon basin was chosen to be the test site. Due to extremely heavy rainfall, the basin was severely flooded in spring 2009, which was followed by a drought in autumn 2009. For quantification of the total water mass change between the two periods of extreme conditions, we use a DEM from the Shuttle Radar Topography Mission and two sets of ALOS PALSAR scenes covering the regions of Manacapuru and Obidos that were most heavily affected. The advantage of using PALSAR is that it operates in L-Band and has the possibility to penetrate through the vegetation which is essential in the Amazon basin with its dense vegetation. First, the surface water extent is estimated by extracting water masks from PALSAR image data. The largest connected component is selected in every scene as the primary water body. The water masks are then intersected with the SRTM DEM. More specifically, water heights along the boundary of the river body are extracted from the DEM and processed for error reduction. Then, pixel heights within the river contour are interpolated with a Delaunay triangulation. In this way, water heights above the reference ellipsoid are obtained. Multiplying the differences in heights between high and low water periods by the area of the DEM resolution cell and summing them up over the river area provides an estimate of the total volume change. Altimetry observations from ENVISAT and Jason-2 are integrated in the estimations in those cases where pure SAR solution poses difficulties.

Session

## Schwerefeld und Geoid II

## **Auswertung aufeinander folgender GRACE-Bahnbögen mittels Integralgleichungsansatz**

**Christoph Haberkorn, Johannes Bouman, Martin Fuchs,  
Michael Schmidt**

**Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut  
(München, Deutschland)**

### **Abstract**

Die Satellitenmission GRACE beobachtet seit 2002 das Erdschwerefeld mit einer räumlichen Auflösung von bis zu 150 km. Das Hauptziel der Mission ist die Bestimmung zeitlicher Variationen, um Massenbewegungen festzustellen. Bei GRACE kommt dabei zum ersten Mal ein Satellite-to-Satellite-Tracking in der niedrig-niedrig-Konfiguration zur Anwendung. Hierbei messen zwei baugleiche Satelliten kontinuierlich mit Mikrowellen des K-Bandes den Abstand zwischen einander (KBR = K-band ranging system). Weitere wichtige Beobachtungsgrößen sind GPS-Messungen, um die Position der Satelliten zu bestimmen, und Akzelerometerdaten um Störkräfte erfassen zu können, die nicht-gravitativen Ursprungs sind. Während die K-Band-Messungen eine Genauigkeit im Mikrometerbereich aufweisen, liegen die GPS-Beobachtungen nur im Zentimeter- bis Millimeterbereich. Für die Auswertung der Daten wurden verschiedene Ansätze entwickelt, die wichtigsten sind die Energiebilanzmethode, der Beschleunigungsansatz und der Integralgleichungsansatz (Integral Equation Approach, IEA). Als Beobachtung gehen bei den erstgenannten Ansätzen sowohl die hochgenauen KBR-Daten, als auch die im Vergleich dazu ungenaueren GPS-Messungen ein, womit das Genauigkeitspotential des KBR unmittelbar nicht voll ausgenutzt werden kann. Der Vorteil des Integralgleichungsansatzes besteht in der Verwendung von Entfernungsmessungen als alleinige Beobachtungsgröße. Die GPS-Daten werden nur zur Berechnung von Näherungswerten für das linearisierte Modell benötigt. Beim IEA ist es üblich, den Orbit der Satelliten in Bahnbögen kurzer Zeitdauer zu zerlegen, und Verbesserungen zu den Anfangs- und Endpositionen zu schätzen. In diesem Vortrag wird zum einen das mathematische Modell, welches dem IEA zugrunde liegt, vorgestellt. Zum anderen werden erste Ergebnisse gezeigt, die sich durch die Verknüpfung aufeinander folgender Bahnbögen ergeben, und mit Lösungen verglichen, die keine Verknüpfungen berücksichtigen.

## Global and regional gravity field modeling from GRACE data using spherical radial base functions

Majid Naeimi, Michael Schmidt, Jacob Flury  
Institut für Erdmessung  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

We consider and present the numerical implementation of global and regional gravity field modeling using spherical radial base functions. The input data are simulated GRACE SST (Satellite-to-Satellite Tracking) observations corrupted with realistic noise in terms of potential along the orbit. A global model is determined based on 10 days of GRACE SST data using scaling functions of level  $j=5$ , which corresponds to a spherical harmonic expansion up to degree 31. The regional part is modeled by scaling functions of level  $j=7$  with different kernels. In a regional case study we applied our approach to Scandinavia.

## On benefits of High Performance Simulator for GRACE like missions

Lubos Vaci  
ZARM, Universität Bremen  
(Bremen, Deutschland)

### Abstract

Recent data analysis of GRACE inter-satellite pointing (Bandikova et al. 2012) indicates, that effects related to the satellites' attitude determination and control are influenced by the satellite-sensor system. High performance satellite simulator (HPS) environment offers a possibility for further investigation of these effects in Matlab Simulink environment. Example (van Leeuwen) of application of similar tool on Hipparcos mission was proven to be a big success. Having GRACE follow on in mind, HPS could serve as ideal test bench for new algorithm validation and testing tool. This work primary focuses on demonstration of HPS capabilities on current GRACE mission and exploits its benefits for similar applications.

## Quantifizierung einzelner Beiträge zum Meeresspiegelanstieg durch Kombination von Schwerefeld- und Altimeterdaten

Laura Jensen, Roelof Rietbroek, Anno Löcher, Jürgen Kusche  
Institut für Geodäsie und Geoinformation  
(Bonn, Deutschland)

### Abstract

Wir stellen eine Methode zur Quantifizierung einzelner Beiträge zum Meeresspiegelanstieg mit Hilfe von Schwerefeld- und Altimeterdaten vor. Dabei beschränken wir uns nicht auf den Zeitraum der GRACE-Mission, sondern stellen Ansätze vor, um die Zeitreihen durch Verwendung alternativer Schwerefeld- und Altimeterdaten auf die Jahre vor 2002 und nach 2012 auszudehnen. Prozesse wie das Schmelzen von Eiskappen und Gletschern, Veränderungen im hydrologischen Kreislauf, glazial-isostatische Ausgleichsbewegungen und die thermische Ausdehnung des Ozeans tragen in unterschiedlichem Maße zum derzeit beobachteten globalen und regionalen Meeresspiegelanstieg bei. Zum Verständnis aktueller und künftiger Klimaveränderungen ist es wichtig, die einzelnen Beiträge zu quantifizieren. Dafür verwenden wir eine sog. Fingerprint-Methode, bei der wir zeitvariable Skalierungsfaktoren zu festen räumlichen Mustern (Fingerprints) des Meeresspiegels, wie sie von den einzelnen Prozessen erzeugt werden, bestimmen. Bisher verwenden wir GRACE- und Jason-1-Daten, um in einer gemeinsamen Inversion die Skalierungsfaktoren fuer ueber 100 Fingerabdrücke zu schätzen. Um interannuale Variationen und langfristige Trends einzelner Beiträge zuverlässig bestimmen zu können, ist es jedoch notwendig, die Zeitreihen über den Zeitraum der GRACE-Mission (2002 bis voraussichtlich max. 2015) hinaus zu verlängern. Daher untersuchen wir die Möglichkeit, die Fingerprint-Inversion auch mit geringer aufgelösten Schwerefeldern, wie sie z.B. ab 1976 aus SLR-Beobachtungen zum Satellit LAGEOS gewonnen werden, anzuwenden. Auch Daten früherer Altimetermissionen wie TOPEX/Poseidon werden genutzt. Um die voraussichtlich unvermeidbare Datenlücke zwischen GRACE und GRACE-FO zu ueberbrücken, untersuchen wir außerdem, welchen Beitrag aus der SWARM-Mission abgeleitete Schwerefelder in der Inversion leisten können.

## Beobachtung von windgetriebenen zeitlichen Veränderungen des Antarktischen Zirkumpolarstroms mittels GRACE

Inga Bergmann-Wolf, Henryk Dobslaw  
GeoForschungsZentrum Potsdam  
(Potsdam, Deutschland)

### Abstract

Eine der Hauptantriebskräfte des Antarktischen Zirkumpolarstroms (ACC) ist der vorherrschende Wind in den mittleren Breiten auf der südlichen Hemisphäre. Die dominante Mode der zeitlichen Variationen dieser Windfelder kann über die Southern Annular Mode (SAM), eine charakteristische Verteilung des oberflächennahen Luftdrucks in dieser Region, beschrieben werden. Langzeitige Änderungen der SAM sind aus atmosphärischen Reanalysen und Wetterstationsdaten gut dokumentiert und haben Auswirkungen auf den Transport des ACC durch die Drake-Straße. Mit Hilfe von den aus GRACE-Bodendruckbeobachtungen abgeleiteten Transportvariationen als auch Meeresspiegelvariationen von Pegelstationen entlang der antarktischen Küste bietet sich eine Möglichkeit die barotropen Variationen des ACC zu beobachten und diese in Relation zu den vorherrschenden Winden zu setzen. Verschieden räumlich- und zeitlich aufgelösten GRACE-Lösungen (GFZ RL04, CNES RL02, ITG-Grace2010) werden in drei unterschiedlichen zeitlichen Frequenzbändern analysiert (mit Signalperioden  $> 30$  Tage,  $10-30$  Tage und  $< 10$  Tage). Bis in den hochfrequenten Zeitbereich können signifikante Korrelationswerte zwischen SAM und GRACE-beobachteten Transportvariationen aufgezeigt werden, die den Zusammenhang zwischen Ozeanzirkulation und großräumig atmosphärischen Mustern auf der Südhalbkugel unterstreicht. Abschließend werden Kreuzkorrelationen zwischen Bodendruckänderungen und SAM berechnet um die Reaktionszeit des Strömungssystems auf Änderungen in den mittleren Winden zu diskutieren.

Session

# Schwerefeld und Geoid III

## **Assimilierung von GRACE-Daten in ein hydrologisches Modell mit Hilfe eines Ensemble Kalman Filter Ansatzes**

**Maïke Schumacher, Annette Eicker, Enrico Kurtenbach,  
Jürgen Kusche  
Universität Bonn  
(Bonn, Deutschland)**

### **Abstract**

Globale hydrologische Modelle liefern einen wichtigen Beitrag zum quantitativen Verständnis des globalen Wasserkreislaufes. Sie sind unerlässlich für ein nachhaltiges Management von Wasserressourcen. Hydrologische Modelle sind jedoch mit starken Unsicherheiten behaftet, welche vor allem auf in räumlicher und zeitlicher Auflösung nicht ausreichend flächendeckend gegebene Eingangsdaten, wie beispielsweise Niederschlagsinformationen, zurückzuführen sind. Die Satelliten-Schwerefeldmission GRACE bietet erstmalig die Möglichkeit, auf globaler Skala Wasserspeicheränderungen zu messen. Sie stellt somit ein unabhängiges Beobachtungsverfahren des globalen Wasserkreislaufes dar, welches genutzt werden kann, um hydrologische Modelle zu verbessern. Dies ist zum einen im Sinne einer Kalibrierung durch Anpassung von Modellparametern an die GRACE-Beobachtungen möglich, zum anderen können Schwerfeldlösungen auch direkt in das Modell assimiliert werden. Für beide Aufgabenstellungen bieten sich Ensemble-Methoden an. In diesem Beitrag soll ein Verfahren vorgestellt werden, das hydrologische Modell WGHM (WaterGAP Global Hydrology Model) mit Hilfe eines Ensemble Kalman Filter Ansatzes sowohl gegen GRACE Beobachtungen zu kalibrieren, als auch GRACE-Daten in das Modell zu assimilieren.

## How different satellite orbit configurations sample the gravity field?

Siavash Iran Pour, Tilo Reubelt, Nico Sneeuw  
GIS - Universität Stuttgart  
(Stuttgart, Deutschland)

### Abstract

In theory, one can think of every orbit configuration and formation flight with different number of satellites for future gravity satellite mission. However, the technical challenges and financial issues with their implementation limit the search space for finding the optimal missions. That includes the number of satellites in a mission, mission altitude, tracking technology, mission stability, etc. It is expected that the homogeneity level of ground-track pattern of a satellite mission has influence on quality of the recovery. Moreover, the sensitivity to short wavelength phenomena in gravity field is largely affected by mission height. Therefore, the effect of an orbit configuration, defined by number of revolutions in its repeat period and the altitude of the mission are of great interest for investigation. The influence of mission ground-track evolution pattern on the gravity recovery can be described by the sub-cycle concept. If the correlation between the gap evolution of satellite coverage (evolution of ground-track pattern), which is an indicator of homogeneity of the Earth coverage by the mission, and the gravity recoveries is meaningful, then one task would be to search for the orbit configurations by more homogeneous coverage of the Earth. That means for different configurations, at one point of time (in nodal days), the space domain is quite homogeneously sampled which is good enough for recovery of the gravity field. This time interval then shows the temporal resolution of the recovery, while the degree of homogeneity contributes to the achievable spatial resolution by the solution. This presentation tries to search for the satellite configurations and formation flights with the optimal gravity field recovery in time and space domains. We also investigate the Colombo-Nyquist sampling theorem in recovery of the gravity field.

## Global Gravity Field Determination from Future Satellite-Gravimetric Missions analysed by IGG and GFZ

Basem Elsaka, Jürgen Kusche, Jean-Claude, Frank Flechtner  
Universität Bonn  
(Bonn, Deutschland)

### Abstract

In this presentation, we show the gravity field analysis of six basic mission scenarios that have been investigated within the frame work of the German joint research project 'Concepts for future gravity field satellite missions', funded by the German Geotechnologies program 'Observation of the Earth system from space' of the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF). They include the GRACE-reference, GRACE Follow-on, Pendulum, Cartwheel, Helix and In-line Bender. Full-scale simulations have been implemented using the simulated measurements of these satellite configuration scenarios provided by GFZ (GeoForschungsZentrum, Potsdam). Our final closed-lope full-scale simulations performed using the IGG-GROOPS software agree with those implemented by the GFZ EPOS software system. The results are analysed in the 'medium-to-short' spectral domain of the gravity field, up to a spherical harmonic degree and order of  $n= 120$ . Aliasing effects caused by the atmosphere, ocean and hydrology as well as ocean tidal models have been considered within this study as time-variable gravity field. Keywords: Gravity Field analysis. Future Satellite Missions. Aliasing Effects.

## Overview of the GRACE follow-on laser ranging instrument

B. Sheard, C. Mahdrdt, D. Schütze, G. Stede, O. Gerberding,  
V. Müller, G. Heinzel, K. Danzmann  
Albert Einstein Institut Hannover  
(Hannover, Deutschland)

### Abstract

GRACE follow-on is a future satellite gravimetry mission to be launched in 2017. The design of the twin GRACE follow-on satellites will be strongly based on the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellites which use microwave ranging for measuring the changes in the separation of the two satellites as they orbit the Earth from which estimates of the spatial and temporal variations of the Earth's gravity field are made. GRACE follow-on will also include an additional laser ranging instrument to demonstrate laser interferometry measurement technology for use in future satellite gravimetry missions based on intersatellite laser ranging. The laser ranging instrument can in principle operate in parallel with the microwave ranging system. In addition to measuring the variations in separation between the two satellites with higher accuracy than the microwave ranging system the laser ranging instrument will also provide measurement of the pointing variations of each spacecraft with respect to the line-of-sight. An overview of the laser ranging instrument will be given.

## **Laborexperimente des Laserinterferometer für die Satelitenmission GRACE follow-on**

**Gunnar Stede, Daniel Schütze, Vitali Müller, Christoph Mahrtdt, Oliver Gerberding, Benjamin Sheard, Gerhard Heinzl, Karsten Danzmann**

**Albert Einstein Institut Hannover  
(Hannover, Deutschland)**

### **Abstract**

Die GRACE Satelliten bestimmen das Erdschwerefeld basierend auf einer kontinuierlichen Abstandsmessung durch ein Mikrowelleninterferometer. Für die Nachfolgemission (GRACE follow-on), entwickeln wir ein Laserinterferometer, welches zusätzlich zum Mikrowelleninterferometer auf den Satelliten installiert werden soll, um die Auflösung der Abstandsmessung um etwa eine Größenordnung zu erhöhen. In diesem Vortrag werden Laborexperimente präsentiert, welche wir Nutzen, um die Konzepte und Komponenten, die für ein solches Laserinterferometer von Bedeutung sind, zu testen.