

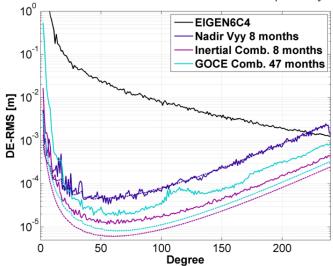
INSTITUT FÜR ERDMESSUNG LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER JAHRESBERICHT 2016



1. Institutsarbeiten, Forschungsprojekte

STUDY OF A CAI (COLD ATOM INTERFEROMETER) GRADIOMETER AND MISSION CONCEPTS (ESA, KARIM DOUCH, PROF. JÜRGEN MÜLLER, HU WU)

This collaborative project aims at studying the potential of cold atom interferometry for a space gravitational gradiometer mission. We have carried out various end-to-end simulations with different mission scenarios in order to evaluate and quantify what would be the benefit of such a



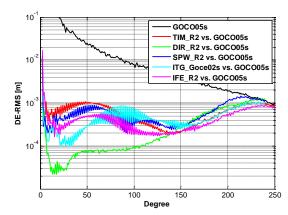
sensor, especially compared to the GOCE mission. We have concluded that, with the given constraints, only static gravity field can be recovered and only one of the two possible configurations, the so-called "inertial case", can outperform GOCE if we assume a mission lifetime 8 larger than months. The requirements on the satellite attitude control performances and the postprocessing of the CAI gradiometer measurements are investigated.

ERROR DEGREE-VARIANCE OF THE GEOID HEIGHT FOR THE INERTIAL AND NADIR MODE AND COMPARISON TO THE ERROR OF THE GOCE GRADIOMETER-ONLY SOLUTION.

SWARM DATA, INNOVATION AND SCIENCE CLUSTER: SUPPORT TO ACCELEROMETER DATA ANALYSIS AND PROCESSING (ESA PROJECT UNDER THE SUB-CONTRACT DTU SPACE, DENMARK - LUH: PROF. JAKOB FLURY, SERGIY SVITLOV, DANIEL ROTTER (FWJ), GUY APELBAUM, AKBAR SHABANLOUI)

Swarm is a three-satellites constellation mission with a primary objective to measure the Earth magnetic field and with a possibility to detect non-gravitational forces perturbing the satellite motion. Using the Swarm accelerometers, these forces can be measured and transformed to the thermospheric neutral densities. Unfortunately, the Swarm accelerometer signals suffer from the temperature influence and abrupt changes in bias and scale factor. One of the main tasks of this project is analysis of disturbances and correction of steps in accelerometer data. If E has developed and delivered to ESA a dedicated software tool ('SD Tool'), which allows automatic step detection and correction (figure below). This tool allows to considerably reduce efforts needed for manual preprocessing of the acceleration signal. It is planned to use this tool for producing few official Swarm products (disturbance files and corrected and calibrated acceleration data).

GRAVITY FIELD RECOVERY FROM GOCE OBSERVATIONS (IFE/ESA, Hu Wu)



COMPARISON OF OUR SOLUTION WITH GOCE OFFICIALLY RELEASED MODELS.

GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) was the first core mission of ESA's (European Space Agency) "Livina Planet Program". lt. was implemented to detect the Earth's gravity field with unprecedented accuracy and resolution. The GOCE satellite was successfully operated in orbit between 2009 and 2013.

delivered hundreds of missions of observations in the lifetime. In this project, we aim to recover the Earth's global gravity field model from the huge amount of observations. By using observations from different time spans, in the end, we derived four generations of gravity field models up to a spherical harmonic degree and order 250. These models are named as IfE_GOCE series (IfE_GOCE02s, ..., IfE_GOCE05s). The comparison shows that IfE_GOCE models achieve comparable performances with the GOCE officially released models.

RELATIVISTISCHE EFFEKTE IN SATELLITENKONSTELLATIONEN (DFG, GEO-Q, LILIANE BISKUPEK)

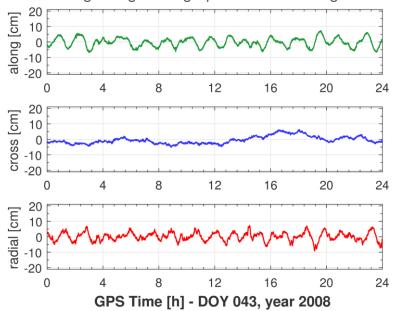
Für die klassische Berechnung von Satellitenbahnen werden numerische Ansätze genutzt. Die Lösungen sind jedoch vom jeweiligen Ausgangsproblem abhängig und somit nicht allgemeingültig. Für verschiedene Fragestellungen müssen jeweils neue numerische Simulationen von Satellitenbahnen durchgeführt werden, um Korrelationen innerhalb des Systems untersuchen zu können. Analytische Verfahren zur Orbitintegration ermöglichen einen direkten Einblick in die physikalischen Eigenschaften und Zusammenhänge des Systems, da sie im Spektralraum arbeiten. Die semi-analytische Integration basierend auf Lie-Reihen ermöglicht die Kombination der beiden Verfahren.

Ausgehend von der Schwarzschild-Lösung wurde eine Berechnungssoftware für die semi-analytische Bahnberechnung mittels Lie-Reihen entwickelt. Die damit berechneten Satellitenbahnen wurden mit den Ergebnissen eines numerischen Verfahrens verglichen, um die entwickelte Software zu beurteilen. Dabei wurde speziell die Genauigkeit der Orbits für verschiedene Entwicklungsgrade der Lie-Reihen und die Rechenzeit betrachtet. Bei einem ersten Vergleich circularer Orbits ergaben sich im Bezug auf die Genauigkeit keine Differenzen zwischen den Verfahren, wobei die numerische Berechnung allerdings schneller war. Als nächstes werden nun sowohl elliptische Orbits als auch andere Raumzeiten untersucht.

KINEMATISCHE POSITIONIERUNG VON LOW EARTH ORBITERN (DFG, GEO-Q, CHRISTOPH WALLAT)

Ein signifikanter Teil des SFB 1128 geo-Q befasst sich mit den Sensordaten aus Satellitenmissionen. Grundlegend für deren Weiterverarbeitung ist ein genaues und einheitliches Zeit- und Koordinatensystem, welches über GNSS-Beobachtungen realisiert werden kann. Die Positionierung von tieffliegenden Satelliten, sogenannten Low Earth Orbitern (LEO), stellt dabei eine hochdynamische und herausfordernde Umgebung dar. Die am LEO empfangenen GNSS-Signale erfordern eine Prozessierung, welche sich von jener für terrestrische Daten unterscheidet. Unser Forschungsansatz basiert auf einem kinematischen Precise Point Positioning (PPP) welches in einem batch Least-Squares Adjustment (LSA) gelöst wird. Mit diesem Ansatz lässt sich unsere erste Forschungsfrage beantworten, welchen Einfluss der Einsatz von hochgenauen Oszillatoren auf die Positionsgüte von LEO-Satelliten und auf die Bestimmung der Trägerphasenmehrdeutigkeiten hat.

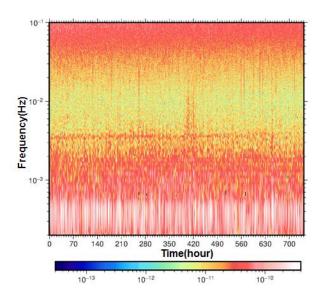
Für die zweite Forschungsfrage, welche Vorteile das Konzept des Virtuellen Empfängers für den Anwendungsfall der LEOs bringt, wurden erste Simulationen durchgeführt. Für einen GRACE-ähnlichen Orbit wurden die Satellitensichtbarkeiten aus der Verschneidung von Beobachtungen mehrerer GPS-Antennen an Bord des LEO-Satelliten analysiert. Haupterkenntnis ist, dass mit zwei Antennen orthogonal zur Flugrichtung die Sichtbarkeit zu den GPS-Satelliten im Mittel um 22 % und maximal sogar um bis zu 93 % gesteigert werden kann. Vorteil ist, je länger ein bestimmter GPS-Satellit beobachtet wird, desto besser ist die Bestimmung der zugehörigen Trägerphasenmehrdeutigkeit.



IFE KINEMATISCHER ORBIT FÜR GRACE B IM VERGLEICH ZUM REDUZIERT-DYNAMISCHEN ORBIT VOM JPL FÜR DEN 12.02.2008

DISENTANGLING GRAVITATIONAL SIGNALS AND ERRORS IN GLOBAL GRAVITY FIELD PARAMETER ESTIMATION FROM SATELLITE OBSERVATIONS (DFG, GEO-Q, SUJATA GOSWAMI, SANIYA BEHZADPOUR)

The accuracy global gravity field solutions, estimated from data sets of inter-satellite ranging measurements from GRACE, has increased considerably during the last decade. But there remains an offset in the order of one magnitude between the error level of current solutions and the GRACE baseline accuracy. For further improvement of gravity field results, efforts are ongoing to disentangle and identify the sources of errors. This applies to GRACE gravity field reprocessing, and will be even more applicable to extract improved results from the higher sensor precision of GRACE-FO. Several effects are known to contribute to the residuals: systematic sensor errors, geophysical ali-asing, and modeling errors. Residual analysis provides an insight to understand the individual contribution to the error budget. Starting with the systematic sensor errors in the first of the project, we focus on contribution of sensor errors due to mis-pointing and ranging performance in GRACE solutions. Strong signatures of mis-pointing errors can be seen in the range-rate residuals. Also, correlation between range frequency noise and range-rate residuals are seen. In the second part of the project, our focus is on an accurate model of the stochastic behavior of the range rate observations noise, that reflects the complex properties of error contributions. So far, noise stationarity was the main noise assumption in the temporal gravity field determination and a stationary covariance was used in whitening step before performing the LS adjustment. We have shown this assumption is violated as the noise has time-variable behavior and should be modeled in the framework of non-stationary stochastic processes. The modeling can be done in wavelet domain, as this transform reduce higher order dependencies for a large class of stochastic processes. Testing of modeling alternatives will lead to global time-variable and mean gravity field coefficients that will be provided to the other projects on gravity modeling.



SPECTROGRAM OF POST-FIT RANGE-RATE RESIDUALS OF THE MONTH DECEMBER 2008, IT SHOWS THE FREQUENCY CONTENT OF THE NOISE IS INHERENTLY TIME-VARYING

SYSTEM STUDY OF AN OPTICAL GRADIOMETRY MISSION (DFG, GEO-Q, KARIM DOUCH)

The far-reaching benefits of GRACE data for the study of the Earth system have shown how critical the mapping of the time-variable gravity field is. In this project we investigate the potential of space gradiometry for future gravity field missions, from the requirements on the different sensors to the estimation of the final precision and spatial resolution of the recovered gravity field models. The computation of a realistic time-variable field has shown that the gradiometer must reach a sensitivity better than 10-4 E/\sqrt{Hz} at frequencies between 0.5 and 7 mHz. We therefore want to see how this can be achieved, in particular by integrating laser interferometry metrology in the measurement chain of the electrostatic accelerometers, which are the core sensors of the gradiometer.

The general design and principle of such a "laser interferometry accelerometer" has been developed and implemented in Simulink. The various parameters of the model have then been tuned iteratively so as to meet the requirements in terms of the envisaged noise level. Moreover the noise budget has been completed with the estimation of the contribution of other electronical noise sources. A simulation of the full measurement process for realistic satellite conditions will soon be made.

TWANGS, SPIKES, AND OTHER DISTURBANCES OF SCIENCE SIGNALS RELATED TO THE SATELLITE PLATFORM AND ITS ENVIRONMENT (DFG, GEO-Q, GUY APELBAUM, PROF. JAKOB FLURY)

The quality of the accelerometer science signal is critical for GRACE gravity field determination and will increase in importance for satellite gravimetry systems beyond this mission. The focus of this project is to understand the physical source of accelerometer disturbances – Twangs and spikes.

A general GUI software was developed for the automatic detection and classification of Twangs in the GRACE accelerometer. A Master thesis was done about the relation between Twangs and temperature effects, resulting in a still unclear relation between them. Swarm satellite accelerometer data was investigated, and a dynamical model was developed for the effect of accelerometer temperature on its output acceleration signal.

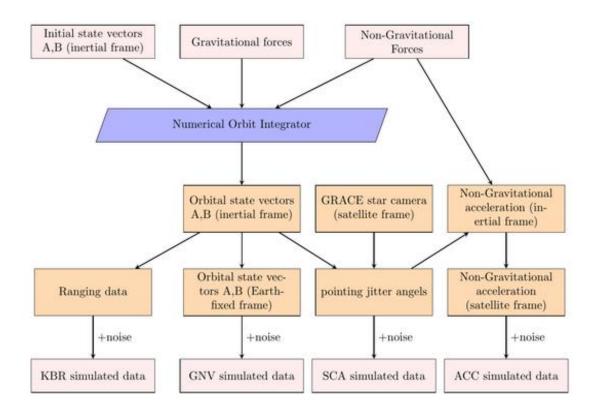
GLOBAL GRAVITY FIELD RECOVERY FROM SATELLITE DATA (DFG, GEO-Q, MAJID NAEIMI)

Since the beginning of the year 2015 and after approval of the SonderForschungsBereich (SFB 1128), a research group consisting of several PhD and post-doc researchers from IfE and AEI is established and led by Dr. Ing. Majid Naeimi. The main goal of the group is to prepare the necessary software packages for gravity field recovery from satellite data with focus on the upcoming GRACE Follow-On data.

The group, known as the GFR (Gravity Field Recovery) team, holds weekly meetings to report the latest progress and to discuss current problems and technical issues. All activities of the group are regularly archived in the wiki-page of the group.

In addition, Majid Naeimi has been working on the preparation of the orbit data for the sub-project 'Data analysis challenges for GRACE and GRACE FO' as a part of the SFB 1128 (geo-Q) project. The first data set are released in June 2016 followed by the second set of the data which was published in December 2016. The data can be found online at:

https://www.geog.uni-hannover.de/mock.html



SIMULATION STRATEGY FOR GRACE DATA CHALLENGES

REGIONAL GRAVITY FIELD MODELING & RELATIVISITIC GEODESY (DFG, GEO-Q, MIAO LIN, HEINER DENKER, LUDGER TIMMEN)

Subproject C04 focuses on providing gravity potential values with best possible accuracy for the evaluation of optical clock measurements. For this purpose, the geometric leveling and the GNSS/geoid approach were utilized and corresponding GNSS and leveling observations were performed at the existing and planned clock sites at Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig, Leibniz Universität Hannover (LUH), Hannover, and Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ), Garching. The height differences based on the geometric levelling and the GNSS/geoid approach agree to better than 1 cm between LUH and PTB, while the corresponding discrepancies between the stations in Northern Germany (PTB and LUH) on the one hand and MPQ near Munich on the other hand are about 4 cm, which is in agreement with the corresponding statistical uncertainties.

Furthermore, refined gravity field modeling techniques were investigated regarding the use of a global geopotential model as a reference field for linearizing the observation equations, and new software was developed for the computation of topographic and atmospheric effects. This software is based on tesseroids and can consider densities linearly varying with height; the computations are divided into an inner and outer zone, and the software was validated by synthetic and real test data sets for the topography and the atmosphere. For the synthetic data sets, the computation error was found to be less than 2×10^{-5} m²s⁻² for the gravitational potential and about 1×10^{-4} mGal for the gravitational attraction.



GNSS ANTENNA ON ROOFTOP OF MPQ BUILDING; GNSS OBSERVATIONS AND PROCESSING AT MPQ DONE BY DR. C. VÖLKSEN AND T. SPOHNHOLTZ FROM KOMMISSION FÜR ERDMESSUNG UND GLAZIOLOGIE, BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

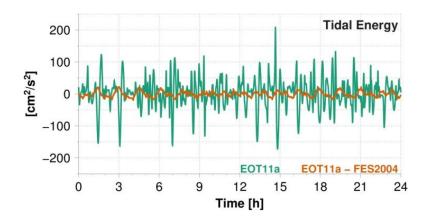
Modeling of mass variations down to small scales (DFG, Geo-Q, Balaji Devaraju, Lars Leßmann)

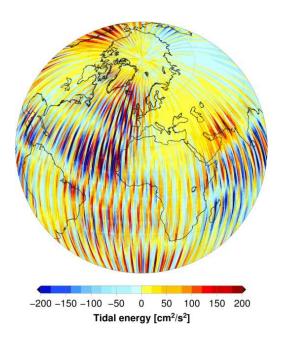
New sensor technology and system configurations will allow to observe small-scale mass variations in the Earth's system.

Spatial and temporal small-scale gravity changes caused by atmospheric, hydrologic and non-tidal ocean mass variations are computed on a regional scale for signal separation purposes using numerical models.

In Fennoscandia Seasonal and trend adjustment using locally weighted regression (STL) was used to separate the seasonal hydrological signal and the trend from post-glacial rebound.

In order to get a feeling of aliasing problems and de-aliasing strategies, we are studying ocean-tide aliasing. We use noise-free simulated data, where only the static gravity field and ocean-tide models are used. This is done to quantify the upper bound of the ocean-tide aliasing error.

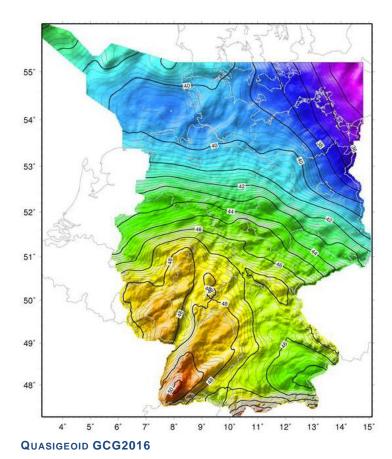




Time-series of the ocean-tide energy observed by the satellite in a day (top) and for a month (Bottom) are shown. The satellite is perturbed heavily by the ocean-tides in enclosed areas, for example, North Atlantic. The satellite feels the perturbations even after it is well past the ocean area, for example, Persia and Alaska

GCG2016 - Neues Quasigeoid der Bundesrepublik Deutschland (IFE, Heiner Denker)

Im Jahre 2016 wurde ein neues Quasigeoid (GCG2016 - German Combined (Quasi)Geoid 2016) für die Bundesrepublik Deutschland erstellt, das die offizielle Höhenbezugsfläche in Deutschland repräsentiert und damit das bisherige Modell GCG2011 ablöst. Die Bestimmung des GCG2016 ist eine Gemeinschaftsarbeit der Vermessungsverwaltungen der Länder, des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (BKG) und des Instituts für Erdmessung (IFE). Die Berechnungen erfolgten wiederum separat am BKG und IFE mit unterschiedlichen Berechnungsverfahren (s. a. Berichtshefte 2005 und 2011), woraus das Endergebnis durch Mittelung beider Einzellösungen abgeleitet wurde. Als Eingangsdaten dienten terrestrische Schwere- und Topographiedaten sowie ein globales Schwerefeldmodell in Kombination mit einem neuen Satz von GPS- und Nivellementspunkten. Die beiden Lösungen des BKG und des IfE stimmen im Mittel besser als 0,5 mm überein, die Standardabweichung der Differenzen beträgt 9.7 mm (Landgebiet 4,6 mm). Die Genauigkeit des GCG2016 wurde mit besser 1 cm (Alpen max. 2 cm, Meeresbereich 2 – 6 cm) abgeschätzt. Das GCG2016 beruht auf dem ETRS89 in der Realisierung 2016 des ETRS89/DREF91 und den nivellitischen Höhen im DHHN2016 (Normalhöhen, Höhenstatus 170).



ITOC - International Timescales With Optical Clocks (European Metrology Research Program EMRP, Heiner Denker, Sergiy Svitlov, Ludger Timmen)

Im Rahmen des EMRP-Projekts ITOC erhielt das IfE ein sogenanntes Researcher Excellence Grant (REG) mit dem Titel "Gravity Potential for Optical Clock





The EMRP is jointly funded by the EMRP participating countries within EURAMET and the European Union

Comparisons", das insgesamt von Juli 2013 bis März 2016 lief. Das Projekt wurde 2016 offiziell abgeschlossen, aber es laufen noch weitere Nacharbeiten einschließlich Veröffentlichungen. Die Hauptaufgabe des IfE bestand in der Bereitstellung von Schwerepotentialwerten für die beteiligten Nationalen Metrologie-Institute mit Uhrenstandorten in Braunschweig (PTB), London (NPL), Paris (OBSPARIS), Turin (INRIM) und Modane (LSM, Labor auf der französischen Seite des Fréjus-Tunnels zwischen Italien und Frankreich). Zur Bestimmung der Schwerepotentialwerte wurden jeweiligen Uhrenstandorten mindestens eine schweremessung und weitere Relativschweremessungen in der Umgebung durchgeführt, die zur Berechnung eines neuen Quasigeoidmodells wurden. Weiterhin wurden ieweils Nivellementsbeobachtungen genutzt, um die Potentialwerte einerseits mittels geometrischem Nivellement und andererseits aus GNSS- und (Quasi)Geoiddaten abzuleiten. In diesem Zusammenhang wurden auch die zeitlichen Variationen des Schwerepotentials untersucht, wobei insbesondere die Erd- und Ozeangezeiteneffekte eine Rolle spielen.

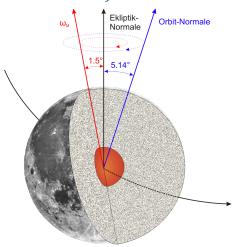
Im Berichtszeitraum 2016 wurde überwiegend der Zeittransfer mit einer transportablen Uhr mittels Simulationsrechnungen untersucht. Zur Berechnung der entsprechenden relativistischen Effekte müssen Position, Geschwindigkeit und das Schwerepotential entlang des Transportweges bekannt sein. Die Simulationen mit verschiedenen Transportgeschwindigkeiten zeigten, dass mit Hilfe von GNSS-Messungen auf dem Transportfahrzeug und vorhandenen Potentialinformationen ein Zeittransfer mir einer Genauigkeit von besser 0.1 Picosekunden möglich ist.

Zu den drei Schwerpunkten des Projekts (Schwerepotentialbestimmung, zeitliche Schwerepotentialänderungen, transportable Uhr) sind bereits Veröffentlichungen erfolgt bzw. noch in Vorbereitung. Die berechneten Schwerepotentialwerte gingen in den Vergleich von zwei optischen Strontium-Uhren an der PTB und dem OBSPARIS ein, der im Journal Nature Communications publiziert wurde (s. Veröffentlichungen, Lisdat et al. 2016). Über die Auswirkung von zeitlichen Schwerepotentialänderungen auf Uhrvergleiche und internationale Zeitskalen wurde in der Zeitschrift Metrologia berichtet (s. Veröffentlichungen, Voigt et al. 2016). Ferner wurde ein Review-Beitrag zur geodätischen Berechnung der relativistischen Rotverschiebungskorrekturen mit einigen praktischen Ergebnissen bei einer weiteren internationalen Zeitschrift eingereicht.

LUNAR LASER RANGING (LLR) (DFG FOR1503, FRANZ HOFMANN)

Im Rahmen der DFG-Forschergruppe Referenzsysteme (FOR1503) wurde das funktionale Modell der LLR-Auswertung erweitert. Das Ziel war die Verbesserung des Analyseprogramms, um die steigenden Messgenauigkeiten der beiden aktiven LLR-Stationen APOLLO und OCA im Modell bestmöglich abzubilden.

Der Schwerpunkt lag auf der verbesserten Modellierung der Gezeitenbeschleunigung und der Mondrotation. In Berechnung der Gezeitenbeschleunigung wird jetzt ein Modell mit fünf Zeitverzögerungen der Gezeiten der festen Erde vom Grad 2 verwendet. EKLIPTIK- UND ORBITNORMALE Die resultierende Gezeitenbe-

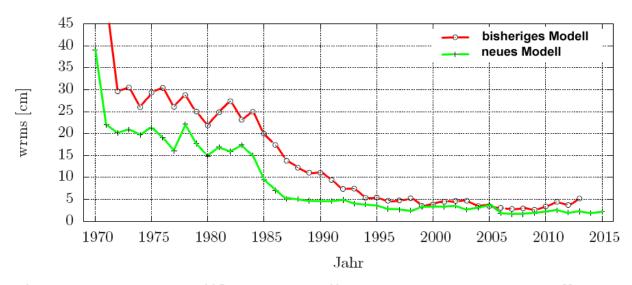


SCHEMATISCHER MONDAUFBAU IN MAN-TEL UND KERN MIT ROTATIONSVEKTOR,

schleunigung des Mondes kann entweder über die Variationen des Grad-2 Schwerefeldes der Erde oder direkt als zusätzliche Beschleunigung auf den Mond als Punktmasse berechnet werden.

Das 2-Schichten-Modell der Mondrotation mit festem Mantel und flüssigem Kern wurde erweitert und konsistent mit den Gezeitendeformationen des Mondes formuliert. Die gezeitenbedingten Änderungen des Mondschwerefeldes werden in der Berechnung der Mondtranslation und -rotation berücksichtigt.

Der resultierende gewichtete jährliche 1-Weg rms konnte mit den Modellerweiterungen über die gesamte Datenreihe im Mittel um 30 % reduziert werden. Ab 2006 wird ein rms von 2 cm oder besser erreicht.

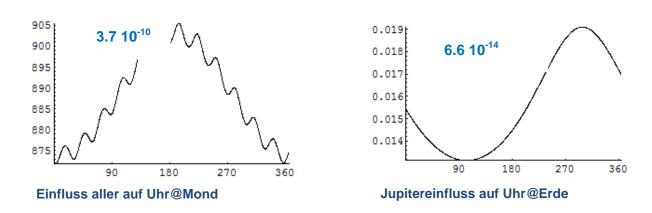


JÄHRLICHER GEWICHTETER RMS DER LLR POST-FIT RESIDUEN, VERGLEICH ZWISCHEN BISHERIGEM UND NEUEM MODELL

BARYZENTRISCHE EPHEMERIDEN (DFG FOR1503, ENRICO MAI)

Resultate baryzentrischer Ephemeriden, in Form von Positionsvektoren der Planeten, der Sonne und des Erdmondes, fließen in Anwendungen der relativistischen Geodäsie ein. Hochgenaue (optische) Atomuhren werden immer sensitiver gegenüber relativen Geschwindigkeits- und Potentialänderungen bezüglich ihres Ableseortes. Das orts- und zeitvariable Potential am Uhrenstandort wird dabei wesentlich durch den Bewegungs-zustand der Himmelskörper im Sonnensystem bestimmt. Im Falle erdge-bundener bzw. erdnaher Uhren spielen das Erdschwerefeld und geo-physikalische Massenverlagerungen eine dominierende Rolle.

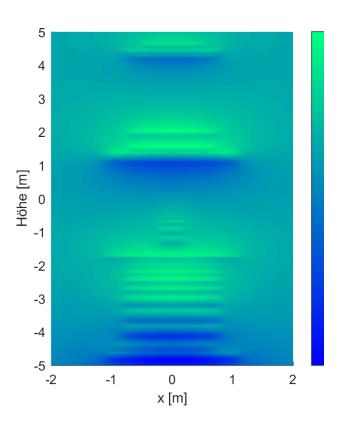
Die Genauigkeit heutiger Atomuhren im Bereich von 10⁻¹⁷ (das entspricht einer Höhenauflösung im cm-Bereich) wird zukünftig noch gesteigert werden. Relativistische Geodäsie und präzise Ephemeridenrechnung werden immer enger verknüpft.



Einfluss der hauptkörper des sonnensystems auf den potentialwert U [km²/s²] im laufe eines Jahres am hypothetischen ableseort einer atomuhr. Der zahlen-wert (in blau) gibt jeweils den betrag des relativistischen terms $|\Delta U_{\text{max}}/c^2|$ an

BEREITSTELLEN DER SCHWERE INNERHALB VON KRAFT- UND BESCHLEUNIGUNGSMESS-EINRICHTUNGEN (IFE, MANUEL SCHILLING)

Die Kenntnis des absoluten Schwerewertes q, dessen Variation sowie abgeleiteter Größen ist nicht nur in Geodäsie und Geophysik von Bedeutung. In der Metrologie wird in Kraft-Normalmesseinrichtungen (NME) die physikalische Größe "Kraft" durch direkte Massewirkung einer wechselnden Anzahl, teils tonnenschwerer Belastungskörper realisiert. Die Kraft ergibt sich aus der Summe, der an einer Messung beteiligten Massen. Hierbei ist g jeweils im Massenmittelpunkt eines Belastungskörpers notwendig. Experimente in der Physik, wie das geplante Very Long Base Line Atom Interferometer (VLBAI), müssen den vertikalen Schweregradienten über die Fallstrecke der Atome innerhalb des 10m messenden Aufbaus berücksichtigen. In diesen Anwendungen ist die Kenntnis von g im inneren des Experiments notwendig; der jeweilige Ort aber nicht mehr für Gravimeter zugänglich. Durch absolute und relative Schweremessungen vor dem Aufbau einer solchen Einrichtung wird ein Schwerenetz am Ort der Installation und in der Umgebung errichtet. Zusätzlich wird der Gradient in dem unbeeinflussten Schwerefeld gemessen. Auf Grundlage von 3D CAD Entwürfen wird eine Vorwärtsmodellierung durchgeführt, um den Einfluss des Instruments auf g und deren Ableitung zu berechnen. Die Abbildung zeigt beispielhaft das Schwerefeld einer NME an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig. Im Außenraum liegende Referenzpunkte dienen einerseits der Überprüfung des Modells nach der Installation und andererseits der Anpassung bei lokalen Änderungen des Schwerefeldes.



SCHWEREFELD EINER 200 KN KRAFT-NORMAL-MESS-EINRICHTUNG DER PTB

AUFBAU EINES STATE-OF-THE-ART SCHWEREGRUNDNETZES IN MEXIKO UND WIEDERHOLTE VERMESSUNG DES GEODYNAMIK-ÜBERWACHUNGSNETZES "JALISCO BLOCK" (UNAM, CENAM, PTB, LUDGER TIMMEN, MANUEL SCHILLING)

Die 2015 begonnene Zusammenarbeit mit dem CENAM (Centro Nacional de Metrología, Santiago de Querétaro) und dem Zentrum für Geowissenschaften der mexikanischen Universität UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México) wurde im März 2016 mit einer 3-wöchigen Messkampagne fortgesetzt. Zum einen dienen die eingerichteten Schwerestationen zur Realisierung eines modernen Schwerestandards für Metrologie, Wissenschaft und angewandte Geophysik (Explorationsindustrie). Zum anderen wurde ein 1996 angelegtes Geodynamiknetzwerk zur Überwachung des Jalisco Blocks (JB) nach 20 Jahren erstmalig wieder nachgemessen. Dieser vor 75 bis 100 Millionen Jahren in großer Tiefe entstandene Batholitgesteinsblock (Granit) muss eine signifikante Hebung erfahren haben, da das Gestein heute bei einer Geländehöhe von bis zu 2500 m offen liegt.

Im der Zeit vom 2. bis 15. März 2016 wurden vom IfE mit dem FG5X-220 in Querétaro 2 Absolutgravimetrie-Stationen (CENAM und UNAM), 5 Stationen auf dem JB, 1 Station in Aguascalientes (INEGI) und 1 Station in Mexiko Stadt (UNAM) eingemessen. 5 Stationen waren erstmalig 1996 mit dem FG5-111 von NOAA-NGS besetzt worden. Die ersten Ergebnisse zeigen zwar Änderungen von über 20 μ Gal in 20 Jahren, es ist aber keine Systematik zu erkennen, die für den ganzen Block als tektonisch bedingte Änderung angenommen werden kann.

Neben der Tektonik wird auch die Hydrologie Veränderungen verursachen, die z.B. mit Grundwasserstandänderungen und Oberflächendefomationen verbunden sind. Solche Variationen sind zwar bekannt, werden aber leider nicht geodätisch erfasst (z.B. mit GPS oder Nivellement). Lokale Absenkungen von über 3 cm durch Wasserentnahmen sind bekannt.

Von deutscher Seite wurde das Messprojekt durch die PTB Braunschweig finanziell unterstützt.



MESSSTATIONEN, IN DENEN 2016 MIT DEM FG5X-220 DES INSTITUTS FÜR ERDMESSUNG ABSOLUTE SCHWERE-BESTIMMUNGEN VORGENOMMEN WURDEN (AUSNAHME: CIMENTARIO BEREITS IN 2015). DIE MIT BLAUEN KREISEN GEKENNZEICHNETEN PUNKTE WURDEN ERSTMALIG MIT DEM FG5-111 (NOAA) IN 1996 BESETZT

VERMESSUNG DES 2004 ANGELEGTEN GRAVIMETRIENETZES AUF DER ZUGSPITZE MIT ABSOLUT- UND RELATIVGRAVIMETRIE (IFE, LUDGER TIMMEN)

In Kooperation mit dem Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie (IAPG) der TU München (TUM) wurde das gravimetrische Kontrollnetz auf der Zugspitze nach 12 Jahren erneut mit Absolut- und Relativgravimetrie vermessen (Messperiode 27.09. bis 03.10.2016). Das Netz dient als Langzeitreferenz zur Überwachung von Schwereänderungen aufgrund



EIN NEUER ZENTRALER ABSOLUTPUNKT WURDE IN DER UMWELTFORSCHUNGSSTATION SCHNEEFERNERHAUS EINGERICHTET, NACHDEM DER PUNKT VON 2004 NICHT MEHR ZUGÄNGLICH IST

der Rückbildung der Alpengletscher u. des Permafrosts und aufgrund geodynamischer Veränderungen (Alpenwachstum). Seitens des IfE wurden das FG5X-220 und das Scintrex CG3M-4492 eingesetzt. Christian Ackermann vom TUM hat mit einem neuen CG5 Scintrex Gravimeter teilgenommen. Die Münchner Gruppe nutzt die vom IfE angelegten FG5-Absolutpunkte u.a. auch zur Kalibrierung ihrer Scintrex Relativgravimeter zwischen Partenkirchen-Eibsee-Zugspitze.

Absolutgravimetrische Schweremessungen in deutschland und Mexiko (PTB/IFE, Ludger Timmen, Manuel Schilling)

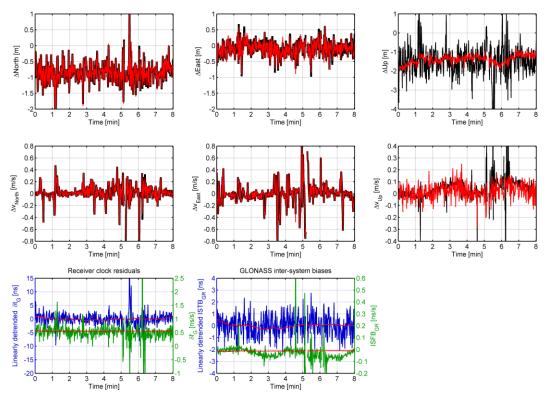
Mit dem FG5X-220 Absolutgravimeter wurden 2016 Schwermessungen in nationalen Referenzstationen Norddeutschlands und auf der Zugspitze statt. Im SIMULTAN-Projekt wurden die Absolutbestimmungen aus 2015 in Flottbeck und Bad Frankenhausen wiederholt. Die Referenzstation an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig bestätigt sich als eine gut gewählte Referenz zur tektonischen Kontrolle Norddeutschlands (bisher nur Clausthal/Harz). Eine vermutete langzeitliche Landsenkung kann gravimetrisch durch die beiden Zeitreihen (seit 1986 bzw. seit 2008) nicht nachgewiesen werden. Die Teststation im Gravimetrielabor des IfE mit dem Schweregrundnetzpunkt unterliegt gegenwärtig großen Schwereänderungen aufgrund der Baumaßnahmen zum HITec (Hannover Institut für Technologie)

Station	Datum	Bemerkung		
Hannover	20	DSGN94 4/4, Gravimeter Üerprüfungen		
(IfE Grav.labor)	22.04.16	Dogram 4/4, Gravimeter Derprurungen		
Clausthal, Institut für	09	Norddeutsche Referenzstation (seit 1986,		
Geophysik	12.05.16	Geodynamik)		
Ruthe (Punkt 201)	28.04.2016	Außenlabor des Ife, Gravimeter Überprüfungen		
PTB	05	Norddeutsche Referenzstation (seit 2008, Geo-		
"Alte Gleisewaage"	07.07.16	dynamik)		
Hamburg-Flottbeck	01	SIMULTAN: Erdfallgebiet, 1. Wiederholungs-		
(DESY)	04.08.16	messung		
Bad Frankenhausen	16	SIMULTAN: Erdfallgebiet, 1. Wiederholungs-		
(Rathaus)	18.08.16	messung		
Zugenitzo		neu eingerichteter Punkt, da alter Punkt von 2004		
Zugspitze, Schneefernerhaus		nicht mehr zugänglich (Geodynamik,		
Schilecterrettiaus		Eisschmelze)		

VERBESSERTE POSITIONIERUNG UND NAVIGATION DURCH UHRMODELLIERUNG (BMWI/DLR, THOMAS KRAWINKEL)

Gesamtziel dieses Forschungsprojekts ist die Entwicklung innovativer Konzepte zur empfängerseitigen Uhrmodellierung bei Nutzung hochstabiler Atomuhren, wobei der Hauptfokus auf sog. Chip Scale Atomic Clocks (CSACs) liegt.

Mit den in einem ersten Praxistest im Jahr 2014 gesammelten Erfahrungen wurde im Jahr 2015 ein zweiter Praxistest auf einem Feldweg in der Nähe von Hannover durchgeführt. Hierbei wurden abermals insgesamt vier verschiedene externe Uhren – in Verbindung mit vier typgleichen GNSS-Empfängern – eingesetzt. Die Auswertung der Daten wurde nun zum einen auf Multi-GNSS (GPS, GLONASS, Galileo) und zum anderen um die Geschwindigkeitsschätzung mithilfe von Dopplerbeobachtungen erweitert.



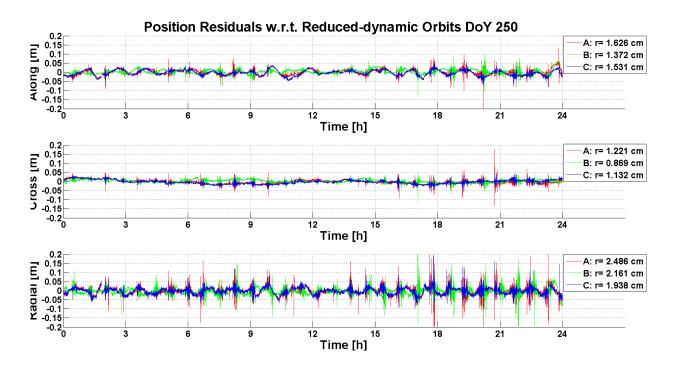
TOPOZENTRISCHE KOORDINATEN UND GESCHWINDIGKEITEN SOWIE UHRFEHLER UND INTER-SYSTEM BIASES (GPS+GLONASS) RELATIV ZUR REFERENZTRAJEKTORIE

Darüber hinaus wurde ein erstes Experiment zum Einsatz von CSACs in der Detektion von Spoofing-Attacken durchgeführt. Die theoretisch zu erwartenden Vorteile der Nutzung einer hochstabilen Uhr konnten hier praktisch untermauert werden.

CONSISTENT OCEAN MASS TIME SERIES FROM LEO POTENTIAL FIELD MISSIONS (CONTIM), WORK PACKAGE: IMPROVED GPS DATA ANALYSIS FOR THE SWARM CONSTELLATION (DFG, LE REN)

The Swarm mission consists of three identical satellites in near-polar orbits. Each satellite is equipped with a high precision 8-channels dual-frequency GPS receivers for precise orbit determination, which is essential in order to take full advantage of the data information provided by this constellation, e.g. for the recovery of gravity field from kinematic orbits or the characterization of the ionosphere.

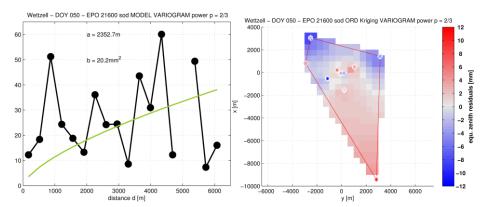
The current focus of the project is on analysing the performance of Swarm on-board receivers and determining kinematic orbits. Under ionospheric scintillations the phase observations are severely disturbed, which leads to large noise in the orbits. Also it makes the cycle slips difficult to repair. A new approach for cycles slip repair is proposed and tested. After analyzing and sophisticated preprocessing of the observations, kinematic orbits for Swarm satellites are generated with a MATLAB-based Precise Point Positioning software using least-squares adjustment. The generated kinematic orbits are compared with the reduced-dynamic orbits provided by ESA Swarm Level 2 Product. Over three months, the root mean square (rms) errors of the position residuals for Swarm satellites in along, cross and radial track are around 1.5, 1.5, and 2 cm, respectively. The orbits are further improved using relative positioning with double-differences.



Position residuals w.r.t. reduced-dynamic orbits on DoY 250, 2015

Untersuchungen der Turbulenz und verbesserte Modellierung der atmosphärischen Refraktion mit VLBI und GPS (DFG, Franziska Kube)

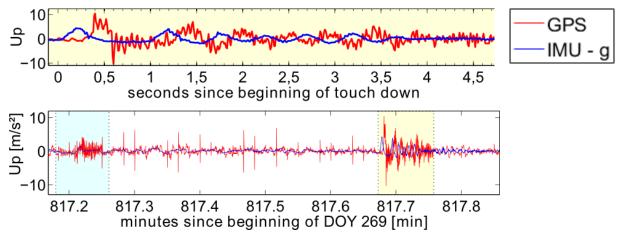
Zum besseren Verständnis des raumzeitlichen Verhaltens der Troposphäre wurden die am geodätischen Observatorium Wettzell aufgenommen Messdaten einer PPP Auswertung unterzogen. Die geschätzten troposphärischen Laufzeitverzögerungen und Residuen nach der Ausgleichung wurden mit geostatistischen Werkzeugen untersucht. Es wurden z.B. Variogramme der Residuen gebildet, welche die Grundlage für sog. Kriging-Methoden zur Prädiktion des räumlichen Verhaltes bilden.



EMPIRISCHES VARIOGRAMM UND ANGEPASSTES MODELLVARIOGRAM (LINKS) SOWIE PRÄDIZIERTE FLÄCHE (RECHTS) BERECHNET AUS DEN PPP RESIDUEN EINER EPOCHE

UBER DIE VERWENDUNG VON 100 HZ GPS PVAT IN FLUGANWENDUNGEN (LAND NIEDERSACHSEN, CHRISTIAN BISCHOF)

Anhand eines Flugexperiments wurde das volle Potential von 100 Hz GPS Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Bestimmung ausgelotet. Es konnte gezeigt werden, dass sogenannte zufällige Vibrationsmuster wie auch klare Beschleunigungssignaturen (z.B. Landung, siehe Abbildung) mit 100 Hz GPS PVAT detektiert und mit IMU Messungen verifiziert werden können. Eine Berücksichtigung der empfängerspezifischen Latenzzeiten (ca. 0.1-0.4 Sekunden) und Amplitudenüber-schätzung ist dabei zwingend notwendig.



BESCHLEUNIGUNG WÄHREND LANDEMANÖVER (GELB UNTERLEGTER BEREICH) UND LANDEKLAPPENBEWEGUNG (HELLBLAU UNTERLEGTER BEREICH)

INTEGRIERTES GEODÄTISCHES ÜBERWACHUNGSKONZEPT FÜR ERDFALL-INDUZIERTE OBERFLÄCHENDEFORMATION UND MASSENUMLAGERUNG) AP3, VERBUNDVORHABEN SIMULTAN (BMBF GEOTECHNOLOGIEN, LUDGER TIMMEN UND TOBIAS KERSTEN)

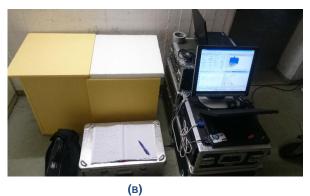
Das Verbundvorhaben SIMULTAN (Sinkhole Instability and multi scale monitoring and analysis) wurde weitergeführt und spezielle Aspekte der GNSS-Datenverarbeitung bezüglich dynamischer und adaptiver Elevationsmasken in einer Bachelorarbeit (L. Icking) intensiv studiert. In einer zweiten Bachelorarbeit (F. Ruwisch) wurden die Doppeldifferenzen für aktuelle und neue Signale eingehend hinsichtlich der zu erwartenden Qualität und des Rauschverhaltens analysiert.

Halbjährliche GNSS-Kampagnen an den Standorten Hamburg und Bad Frankenhausen (Thüringen) konnten planmäßig durchgeführt und dabei die Kooperationen zwischen der Landesvermessung Niedersachsen (LGLN), der Landesvermessung Thüringen (TLVerm) weiter ausgebaut werden. Aktuelle Ergebnisse sind auf dem Joint International Symposium on Deformation Modeling (JISDM 2016) präsentiert und sind in Kersten et al. (2016) zusammengefasst. Erste Epochenvergleiche bezüglich zur Nullepoche lassen bisher keine signifikanten Bewegungen in Hamburg erkennen. In Bad Frankenhausen hingegen sind einzelne Bewegungen zu identifizieren, aber diese sind noch mit den parallel erhobenen Daten der Kooperationspartner Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) zu verifizieren, um eine abschließende Aussage treffen zu können.

Die im Sommer alljährlich stattfindende Studentenübung "Landesvermessung und Schwerefeld" wurde als Zwischenkampagne im Juli 2016 durchgeführt und ist für die Kampagnenfortschreibung und zur Trennung saisonaler Effekte in den GNSS-Daten von besonderem Interesse. Ebenfalls können zu der Zwischenkampagne die Daten mit den Kooperationspartner LIAG verglichen und zusätzlich zur Verfügung gestellt werden.

Im Arbeitspaket 3.2 "Zeitliche Schwereänderungen" wurden die in 2015 eingerichteten Stationen erstmalig wiederholt absolutgravimetrisch vermessen, um langzeitliche Schwereänderungen in den Erdfallgebieten Hamburg-Flottbek (DESY) und Bad Frankenhausen (Rathaus) zu überprüfen. Damit die Überwachungsmessungen nach SIMULTAN langfristig fortgesetzt werden, wurde die Einbindung der Punkte in die nationalen Schwerenetze angestrebt. Mittlerweile haben sowohl die Landesvermessung Thüringens (Bad Frankenhausen) als auch das BKG (Flottbek) die Stationen aufgenommen.

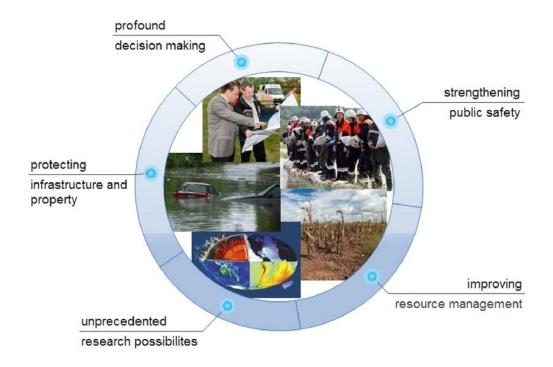




RELATIVGRAVIMETRISCHE DAUERREGISTRIERUNG MIT GPHONE (MICRO G LACOSTE) IN HAMBURG GROß FLOTTBEK AUF DEM GELÄNDE DES DEUTSCHEN ELEKTRONENSYNCHROTRONS (DESY); INSTRUMENTEN VON LIAG UND IFE

EUROPEAN **G**RAVITY **S**ERVICE FOR **I**MPROVED **E**MERGENCY **M**ANAGEMENT EGSIEM (EU, AKBAR SHABANLOUI)

Massenänderungen, abgeleitet aus der Mission GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment), liefern grundlegende Einblicke in den globalen Wasserkreislauf der Erde. Änderungen in der kontinentalen Wasserspeicherung steuern den regionalen Wasserhaushalt und können in Extremfällen zu Überschwemmungen und Dürren führen. Das Ziel von EGSIEM (European Gravity Service for Improved Emergency Management) ist, den Wasserkreislauf der Erde aus dem Weltall mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu beobachten und vorherzusagen. Dazu müssen alle monatlichen Schwerefeldlösungen aus verschieden Analysezentren in Form von Normalgleichungen (NEQ) kombiniert und als optimale Lösung dem Endnutzer breitgestellt werden. Ein weiteres Ziel des Proiektes ist es. tägliche Massenänderungen der Erde - so genannter "Near Real-Time (NRT) service" - als Standard-Produkt aus GRACE für Endnutzer breitzustellen. Mit Hilfe solcher Produkte können wir regionale (lokale) Überschwemmungen und Dürren aus dem Weltall mit täglichen Raten beobachten und GRACE als Frühwarndienst nutzen.



EGSIEM AUF EINEM BLICK

2. Promotionen

M.Sc. Hu Wu: Gravity field recovery from GOCE observations, 5.7.2016.

Referent: Prof. Dr.-Ing. Habil. Jürgen Müller, Korreferenten: Prof. Dr. techn. Wolf-Dieter Schuh (Universität Bonn); Prof. Dr.-Ing. Christian Heipke

GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) was the first core mission of ESA's (European Space Agency) "Living Planet Program". It applied SST-hl (high-low Satellite-to-Satellite Tracking) and SGG (Satellite Gravity gradiometry) to detect the Earth's gravity field. In this dissertation, we aim to recover the global gravity field that is accurate in the full wavelength spectrum down to 100 km spatial resolution from the GOCE observations.

The SST-hI and SGG observations are analyzed both separately and jointly. The SST-hI observations are processed with the acceleration approach which balances the satellite accelerations with the first-order derivatives of the gravitational potential, while the SGG observations are directly balanced with the second-order derivatives of the gravitational potential. The separate analysis of the two types of observations leads to two models that are accurate at complementary wavelengths, and the joint analysis gives the final model with high accuracy over the full spectrum up to a spherical harmonic degree 200.

With a self-developed software written in Fortran, the SST-hl and SGG observations are processed on the cluster system of Leibniz Universität Hannover. In addition to two separate models that are accurate in complementary wavelength parts, four generations of combined gravity field models are derived from observations in four time spans (November 2009 – June 2010, November 2009 – April 2011, November 2009 – June 2012, November 2009 – October 2013). The geoid height errors of the four combined models up to a spherical harmonic degree 200 are 3.62, 3.23, 2.98 and 2.75 cm, respectively.

Diese Dissertation ist erschienen in "Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Nr. 324" (identisch mit: Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C, Nr. 777, München, 2016).

M.Sc. Marios Smyrnaios Carrier-phase Multipath in Satellite-based Positioning, 4.2.2016

Referent: Prof. Dr.-Ing. Steffen Schön, Korreferenten: Prof. Dr.-Ing. Christian Heipke, Prof. Dr.-Ing. Lambert Wanninger (Dresden)

In the presence of multipath, replicas of the direct signal reach the receiving antenna through paths other than the line of sight path. This results in a compound signal tracking by the receiver and introduce biases in the measured, by the receiver, range and signal power observations. Due to the continuously changing satellite-receiver geometry, these biases are not constant in time. They exhibit a sinusoidal like behaviour in the observation level. This behaviour is directly visible in the C/N0 observations generated by the receiver. On the contrary, in the range observations such

effects are not directly visible. Differences should be formed or residuals should be analysed in order to isolate them. The resulting error magnitude, due to multipath propagation, depends on several factors. The most

crucial are the signal characteristics, the environment in which the antenna is placed, the geometrical characteristics of the path of the reflected signals, the antenna characteristics, and the receiver design. The major contribution of this thesis is the development of compact expressions for modelling the impact of multipath propagation on the GNSS observables. The equations for the computation of multipath effects in the phase and signal power GNSS observables are further developed by introducing compact expressions for the power computation of direct and indirect signal components. The findings are validated via two measurement campaigns. The experimental configuration as well as the environment in which the antennas are placed is chosen and controlled in order to isolate multipath effects on the carrier phase domain and compare them with simulations.

Additionally, the capabilities of positioning with pseudolites are explored. Results show that pseudolite positioning in localized environments is more accurate compare to GNSS positioning mainly due to the absence of ionospheric refraction. In the second study, the impact of different estimation algorithms utilized for the estimation of the C/N0 observations is characterized.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe "Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover" (ISSN 0174-1454) als Heft Nr. 322 erschienen.

MITBERICHTE

Dipl.-Ing. Jamila Beckheinrich, TU Berlin: GPS Reflectometry: Innovative Flood Monitoring at the Mekong Delta, Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Steffen Schön

3. Lehre

Lehrveranstaltungen Bachelor im WS 15/16 und SS 16

Lehrveranstaltung	Dozent / Assistent	Sem.	V	Ü
Grundlagen der Geodäsie	Prof. Müller / Schilling	2	2	1
Grundlagen GNSS/Satellitengeodäsie	Prof. Schön / Bischof	3	2	1
Bachelorseminar (Vorträge)	Prof. Flury/Dr. Shabanloui/Goswami/Apelbaum	4	-	1
Bachelorseminar (Projekt)	Krawinkel / Bischof / Kersten	4	-	4
Physikalische Geodäsie	Prof. Müller / Schilling/Dr. Timmen	5	2	1
Positionierung und Navigation I	Prof. Schön / Lindenthal	5	1	1
Mathematische Geodäsie	Dr. Denker / Schilling	5	1	1
Gravimetrie	Dr. Timmen	5	1	-
Geodätische Raumverfahren	Prof. Müller / Brieden	6	2	1
Landesvermessung	Dr. Jahn / Bischof / Krawinkel	6	2	1
Projektpraktikum Landesvermessung und Schwerefeld (2 Wochen im Juli) GPS- und Gravimetrie-Messungen im Gebiet der Salzstöcke Bokeloh und Benthe	Bischof / Krawinkel / Dr. Timmen	6	10 Ta	ge

LEHRVERANSTALTUNGEN MASTER IM WS 15/16 UND SS 16

Lehrveranstaltung	Dozent / Assistent	Sem.	٧	Ü
Positionierung und Navigation II	Prof. Schön	1 G	2	1
Methoden und Anwendungen der Physikalischen Geodäsie	Prof. Flury / Bandikova / Dr. Naeimi	1 G	2	1
Praxisprojekt I	Prof. Schön / Kersten u.a.	1 N	-	2
Praxisprojekt II und III	Bischof und Andere	2+3 N	-	4/4
Projektseminar: Orbit Modeling	Prof. Flury / Dr. Naeimi / Dr. Shabanloui/Schilling	2+3 G	-	4/4
Satellite Orbit Calculation (W)	Dr. Mai	2 G	1	1
Relativistische Modellierung in der Geodäsie (W)	Prof. Müller	2 G	1	-
Inertialnavigation (W)	Prof. Schön / Bischof	2 G/N	2	1
GNSS Receiver-Technologie (W)	Prof. Schön	2 G	2	1
Navigation – ausgewählte Kapitel (W)	Prof. Schön	2 G	2	-
Signalverarbeitung in der Erdmessung (W)	Dr. Denker / Schilling	2 G	2	1
Forschungsprojekt (W)	Prof. Flury	2 G	-	3
Gravimetrie II (W)	Dr. Timmen	2 G	1	1
Aktuelle Satellitenmissionen (W)	Prof. Müller / Schilling / Brieden	3 G	2	1
Geodätisches Hauptseminar / Kolloquium	Prof'n und Mitarbeiter	2 G	-	-
Schwerefeldmodellierung(W)	Dr. Denker, Dr. Voigt	3 G	2	1
Spacecraft Dynamics (W)	Dr. Mai	3 G	2	1
Rezente Geodynamik (W)	Dr. Shabanloui	3 G	1	1
Geodetic Astronomy (W)	Prof. Flury / Hofmann	3 G	1	1

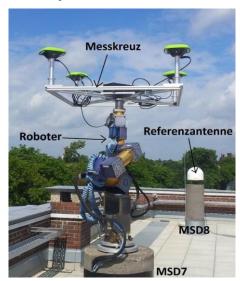
BACHELOR - UND MASTERARBEITEN

BACHELORARBEITEN

Analyse von Grace-Monatslösungen zur Bestimmung von Massenvariationen im Chinesischen Permafrost-Gebiet (Bearbeiterin: Anna Victoria Kröger, Betreuer: Akbar Shabanloui, Prof. Jürgen Müller)

Um die Massenvariationen in dem chinesischen Permafrost-Gebiet zu analysieren, werden GRACE-Monatslösungen des GeoForschungs-Zentrum (GFZ) von April 2002 bis Januar 2016, die Hydrologie mittels GLDAS Modellen und der Niederschlagsdaten des WZN verwendet. Besonders im Südwesten und im Nordosten wird der Untergrund von kontinuierlichem, diskontinuierlichem oder alpinen Permafrostboden bestimmt. Die Monatslösungen werden hinsichtlich der Rauschstrukturen, der Korrelationen der Kugelfunktionskoeffizienten und des C20 Koeffizienten für eine höhere Genauigkeit verbessert. Mittels dieser Methodik können Massenvariationen von -13.0 mm pro Jahr bis +10.5 mm pro Jahr im chinesischen Permafrost-Gebiet bestimmt werden. Die Massenzunahmen und abnahmen im Südwesten Chinas, wo der Boden hauptsächlich von kontinuierlichem und diskontinuierlichem Permafrost geprägt ist, gleichen sich aus, so dass eine Veränderung von -0.016 Gt pro Jahr detektiert worden ist. Die Massenzunahme im Permafrost geprägten Nordosten beziffert sich auf +0.339 Gt pro Jahr.

QUALITÄTSANALYSE KINEMATISCHER LAGEWINKEL EINES 4-ANTENNEN GNSS Empfängers (Sara Brakemeier, Betreuer: Christian Bischof, Prof. Steffen Schön)

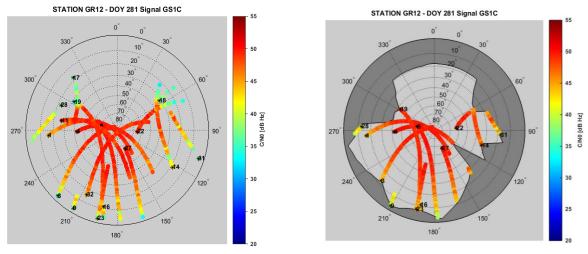


IFE-KALIBRIER-ROBOTER MIT DEM MONTIER-TEN MESSKREUZ UND DEN VIER GNSS-ANTENNEN

In einer vorangegangenen Master-arbeit wurden vordefinierte Trajektorien mit dem IfE-Kalibrierroboter abgefahren und Messungen aufgezeichnet. Die Qualitäts-analyse ergab, dass die angegebenen Genauigkeiten des Empfängers fast eingehalten werden: Azimut-Genauig-keiten von 0.5 Grad auf einer Basis-linienlänge von 0.7m. Insgesamt hat diese Arbeit gezeigt, dass der Javad SigmaQ für die geforderte Lagewinkelbestimmung bei kinema-tischen Szenarien gut geeignet ist.

DYNAMISCHE UND ADAPTIVE ELEVATIONSMASKEN ZUR OPTIMIERUNG DER KOORDINATENQUALITÄT IN GNSS-NETZEN (LUCY ICKING, BETREUER: TOBIAS KERSTEN)

Es wurde eine Methode entwickelt, um mithilfe von Signalstärkebeobachtungen Rückschlüsse auf Sichthindernisse an GNSS-Messpunkten zu tätigen. Entstehende Abschattungen sorgen für eine Verringerung der Koordinatenqualität am Messpunkt, sei es durch auftretende Mehrwegeeffekte oder durch Beugung des Signals. Auf Basis der automatischen Elimination kritischer Beobachtungen (z.B. mit Hilfe von bekannten Signalreferenzkurven oder einer angepassten Sigma-Regel) wird eine dynamische Abschattungs- bzw. Elevationsmaske erzeugt, die in der Lage ist, die Positionsgüte zu verbessern. Durch diese Klassifizierung werden nicht kategorisch alle Beobachtungen unterhalb einer festen Elevationsmaske gelöscht, sondern eine Zuordnung auf Basis verschiedener Qualitätsmerkmale unter Berücksichtigung von Azimut und Elevation durchgeführt. Gerade bei schlechten Sichtbedingungen ist dies ein entscheidender Vorteil, der in dieser Arbeit gezeigt werden konnte.

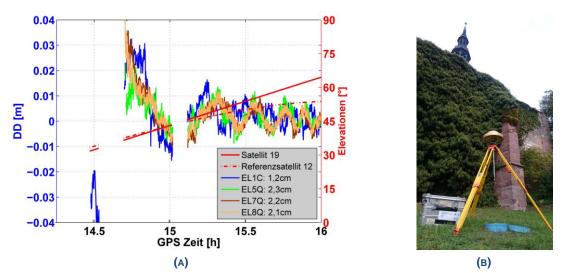


VERGLEICH DER SIGNALSTÄRKEN FÜR EINEN GNSS-STANDPUNKT; LINKS: ORIGINALE BEOBACHTUNGEN, RECHTS: ANWENDUNG DER DYNAMISCHEN ELEVATIONSMASKE UND LÖSCHEN MÖGLICHER FEHLERHAFTER BEOBACHTUNGEN

GNSS-Doppeldifferenzanalyse für urbane Monitoringansätze (Fabian Ruwisch, Betreuer: Tobias Kersten)

Im Fokus der Arbeit standen Studien zur Qualität der Zeitreihen von Galileo Doppeldifferenen (DD). Hierbei wurden ausgehend von einer Nullbasislinie (eine Antenne an verschiedene Empfänger angeschlossen) Qualitätsparameter abgeleitet. Diese wurden mit den Werten verglichen, die auf verschiedenen Basislinien unter herausfordernden Signalbedingungen (urbane Reflektoren, Abschattungen) erzielt wurden. Die DD für GPS, GLONASS und Galileo wurden mit statistischen Werkzeugen (kumulative Histogramme, Quantile-Quantile-Plot, Allan Standardabweichung, Powerspektrum, etc.) eingehend analysiert.

Die Mehrwegeresistenz und das zu erwartende Rauschniveau der neuen Signalstrukturen (GPS L5, Galileo E5a+b) sind dabei von besonderem Interesse. So konnte gezeigt werden, dass unter Laborbedingungen ca. 1mm Phasenrauschen der Signale zu erwarten ist. Im Feldeinsatz hingegen zeigen die neuen Signale zwar ein deutlich geringeres Rauschen als die bekannten L1 und L2 Trägerphasen. Aber auch Mehrwegeeffekte in Form von eindeutigen Sinusschwingungen (geringes Rauschen, signifikante Amplituden) sind identifizierbar und müssen entsprechend speziell berücksichtigt werden. Die Allan-Standardabweichung der Doppeldifferenzen bestätigt das geringere Rauschen der DD, zeigt aber auch, dass unter strengen Annahmen nicht von weißem Rauschen der DD ausgegangen werden kann.



Analysen der Galileo-Doppeldifferenzen, (a) die vier untersuchten Galileo-Signale für den Fall eines konkreten Reflektors, (b) unmittelbare Stationsumgebung, Bad Frankenhausen (Oberkirche), Thüringen

SCHWEREEFFEKTE AUS MODELLIERTEN MASSENVERTEILUNGEN IM VERGLEICH MIT SUPRALEITENDEN GRAVIMETERN (MAREIKE SCHÜLMANN, BETREUER: PROF. JÜRGEN MÜLLER, LARS LEßMANN)

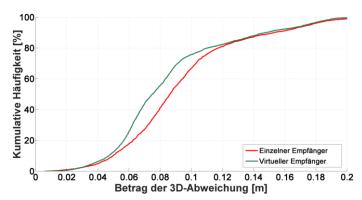
Das Erdschwerefeld unterliegt zeitlichen Variationen, wie zum Beispiel Gezeiten und Erdrotation. Veränderungen in der Massenverteilung der Erde wirken sich ebenfalls auf das Schwerefeld aus. Zeitlichen Variationen werden üblicherweise durch Modelle beschrieben und als Reduktion an Beobachtungen angebracht. In dieser Arbeit wurde der modellierte Schwereeinfluss von nicht-gezeitenbedingte Massenvariationen in Nordund Ostsee mit den Beobachtungen eines supraleitenden Gravimeters verglichen. Der Vergleich wurde für Messungen aus dem Jahr 2008 von dem Gravimeter in Metsähovi, Finnland durchgeführt. Dazu wurden zunächst die gängigen zeitlich variablen Signalanteile reduziert. Anschließend wurde die modellierte nicht-gezeitenbedingten Schwereänderung Der Vergleich hat aezeiat. dass sich angebracht. gezeitenbedingten Massenvariationen mit bis zu 30 nm/s² auf die Schwere auswirken. Allerdings ist auch nach dieser Reduktion noch ein deutliches zeitvariables Signal vorhanden. Grund dafür sind wahrscheinlich hydrologische Massenvariationen.

MASTERARBEITEN

Entwicklung eines Virtuellen Empfängers für GPS Code- und Phasenbeobachtungen (Peter Alpers, Betreuer: Christoph Wallat)

Das Konzept des "Virtuellen Empfängers" beschreibt eine am IfE entwickelte Methode zur Kombination von GPS-Beobachtungen, die mit mehreren GNSS-Antennen und -Empfängern arbeitet. Mit einem Virtuellen Empfänger kann eine kontinuierliche Positionierung aller Antennen gelingen, selbst wenn es an einzelnen Antennen zu starken Abschattungen kommt. Des Weiteren wird in vielen Fällen eine höhere Positionierungsgenauigkeit erreicht als mit einem einzelnen Empfänger.

Im Rahmen der Masterarbeit wurden Varianten des Virtuellen Empfängers



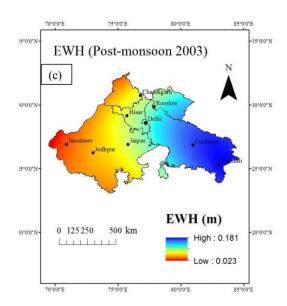
PPP-POSITIONIERUNGSGENAUIGKEIT MIT EINEM VIRTUELLEN EMPFÄNGER (GRÜN) IM VERGLEICH ZU EINEM EINZELNEN EMPFÄNGER (ROT)

entwickelt, die mit wenig apriori Informationen auskommen, wie z.B. Basislinienlänge oder relatives Verhalten der beteiligten Empfängeruhren. Zusätzlich wurde das Verfahren, das zuvor ausschließlich Code-Beobachtungen verwendete. erfolgreich auf Precise Point Positioning (PPP) übertragen. welches zusätzlich auf Trägerphasen-Beobachtungen beruht.

Analysis of Grace Satellite Gravity Data for North India with Emphasis on Hydrology (Vivek Agarwal, Betreuer: Prof. jakob Flury, Majid Naeimi)

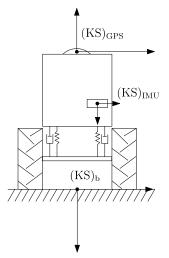
In this thesis, total water change for North India for last 13 years has been studied in terms of Equivalent Water Height (EWH). Different gravity functional maps are obtained and filtered. Temporal and frequency EWH graphs are studied for different North Indian cities. Monsoon seasonal maps been made and EWH values are compared with rainfall data. Total

water change in North India between 2003 and 2016 had been quantified.



SEASONAL EWH PLOT OF STUDY AREA FOR THE YEAR 2003

AUFBAU EINER HIL SIMULATIONSUMGEBUNG ZUM TEST UND ZUR VERIFIKATION VON GNSS LENKSYSTEMEN UND EMPFÄNGERN MIT INERTIALSENSORIK (JONAS HAHLBOHM, BETREUER: CHRISTIAN BISCHOF, PROF. STEFFEN SCHÖN)

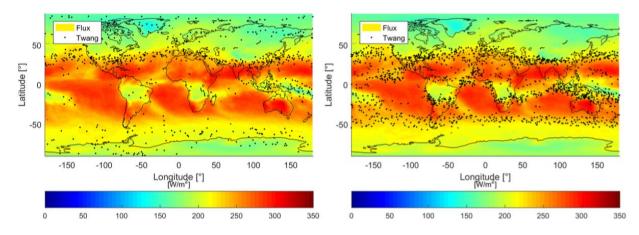


FAHRZEUG-MODELL DES TRAKTORS MIT DEN KOORDINA-TENSYSTEMEN

In Zusammenarbeit mit einem externen Unternehmen wurde eine Hardware-in-the-loop (HIL) Simulationsumgebung entwickelt. Die IMU-Beobachtungen wurden unter Berücksichtigung der Fahrzeug-Dynamik und -Kinematik für synthetisch erzeugte oder reale Trajektorien simuliert und mit den gemessenen Größen verglichen. Es konnte eine ausreichend gute Übereinstimmung des Modells mit der Realität festgestellt werden.

TWANGS IN DEN GRACE AKZELEROMETERDATEN - EIN TEMPERATUREFFEKT? (BEARBEITER: DAMIAN KRÖHNERT, BETREUER: JAKOB FLURY, GUY APELBAUM)

Die Arbeit versucht, den Zusammenhang zwischen der am Satelliten eintreffenden Infrarotstrahlung der Erde und dem räumlich-zeitlichen Auftreten der "Twangs" (Störungen in Form gedämpfter Schwingungen von einigen Sekunden Dauer) aufzuklären. Es wird eine große Anzahl von Twangs einer bestimmten Kategorie mit vorhandenen Programmen aus einigen Monaten von GRACE-Daten extrahiert und zum ersten Mal satellitengestützten CERES-Messdaten der Infrarotstrahlung gegenübergestellt. Die geographischen Muster weisen im Ganzen verblüffende Ähnlichkeiten auf (Abb.). Es gelang allerdings bisher nicht, die Abhängigkeit der Twang-Ereignisse von bestimmten Strahlungsintensitäten klar nachzuweisen.



(c) Twangs in einer absteigenden Bahn mit niedri- (d) Twangs in einer aufsteigenden Bahn mit niedger Amplitude riger Amplitude

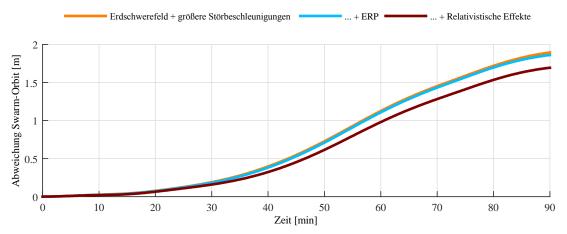
TWANG-EREIGNISSE (PUNKTE) AUS GRACE B FÜR JANUAR 2008 VOR DEM HINTERGRUND DES MONATSMITTELS DES CERES-INFRAROTSTRAHLUNGSFLUSSES FÜR 20 KM HÖHE

PROJEKTSEMINARE IM STUDIENGANG GEODÄSIE UND GEOINFORMATIK
PRÄZISE SATELLITENBAHNMODELLIERUNG AM BEISPIEL DER NEUEN SWARM-MISSION
(IFE)

BETREUER: PROF. JAKOB FLURY, AKBAR SHABANLOUI, MAJID NAEIMI, MANUEL SCHILLING

Aktuell werden Satelliten in vielen wissenschaftlichen Disziplinen verwendet. Besonders bei der Bestimmung des Erdschwerefeldes ist es wichtig, den Satellitenorbit präzise zu kennen. In diesem Projektseminar wurde eine Software zur Modellierung und numerischen Integration von LEO-Bahnen in MATLAB implementiert und anhand eines Beispielsorbits der ESA-Mission "Swarm" getestet.

Eine sehr genaue Modellierung der Satellitenbahn ist durch ein rein analytisches Verfahren nicht mehr möglich. Jedoch existieren numerische Verfahren, welche es erlauben, bei bekannter Position und Geschwindigkeit des Satelliten zu einem definierten Zeitpunkt, zukünftige Positionen und Geschwindigkeiten des Satelliten zu bestimmen. Diese Verfahren werden als numerische Integratoren bezeichnet und benötigen die Kenntnis aller auf den Satelliten wirkender gravitativer und nicht-gravitativer Störbeschleunigungen. Die größte auf den Satelliten wirkende gravitative Beschleunigung wird durch das Erdschwerefeld hervorgerufen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Erdschwerefeldmodelle GGM03S, GGM05S und GGM05G verwendet. Die vom Erdschwerefeld hervorgerufene Beschleunigung beträgt 99,99% der Gesamtbeschleunigung. Konkretisiert man diese Gesamtbeschleunigung weiter auf den homogenen Teil, kann man feststellen, dass 99% der Gesamtbeschleunigung durch diesen Anteil hervorgerufen werden. Ein weiterer Beschleunigungseffekt entsteht durch den Einfluss von Drittkörpern. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Auswirkung der Himmelskörper Sonne, Mond, Venus und Jupiter auf den Satelliten berechnet. Die dazu benötigten Positionen der Himmelskörper wurden mit Hilfe der Polynomkoeffizienten des Jet Propulsion Laboratory (JPL) der National Aeronautics and Space Administration (NASA) bestimmt. Indirekte gravitative Beschleunigungen entstehen durch die Gezeiten der festen Erde, welche aufgrund ihrer zu erwartenden Größe nur in den niedrigen Graden n=2 bis n=4 bestimmt werden müssen. Ein weiterer Schritt ist die Modellierung der Ozeangezeiten, welche sich aus der direkten und indirekten Gravitationsänderungen zusammensetzen. Hierfür wurde das Empirical Ocean Tide Model 11a (EOT11a) bis Grad und Ordnung 120 verwendet. Die Berechnung der Polgezeiten der festen Erde und der Ozeanpolgezeiten wurden nach den IERS Conventions umgesetzt. Weitere Betrachtung in dieser Arbeit fanden die relativistischen Effekte des Schwarzschild-Terms, der Lense-Thirring-Präzession und der Geodätischen Präzession. Diese Effekte berücksichtigen die Krümmung der Raumzeit durch das statische und rotierende Gravitationsfeld der Erde, sowie die Berücksichtigung der Präzession durch die statische Masse. Im Fokus der nicht-gravitativen Effekte stand die Modellierung der atmosphärischen Reibung, des direkten Strahlungsdrucks der Sonne durch den Impuls auf den Satelliten auftreffender Photonen, sowie der Einfluss von der Erde reflektierter kurzwelliger (Albedo) und emittierter langwelliger Strahlung (Infrarot). Die atmosphärische Reibung stellt den größten Anteil der nicht-gravitativen Beschleunigung eines LEO dar. Für die Bestimmung der atmosphärischen Zusammensetzung und somit der Dichte wurde das Modell NRLMSISE-00 verwendet. Der Einfluss der Sonnenaktivität auf die Dichte wurde durch die Verwendung solarer und geomagnetischer Indizes modelliert. Die Geschwindigkeit des Satelliten wurde relativ zu den Bewegungen der Atmosphäre bestimmt. Hierfür wurde das Windmodell HWM07 verwendet. Die für die atmosphärische Reibung effektive Fläche wurde mit Hilfe eines Makro-Modells bestimmt, wobei für die Bestimmung der Satelliten-Attitude Quaternionen verwendet wurden. Für die Berücksichtigung des direkten Strahlungsdrucks der Sonne sowie des Effektes der kurzwellangwelligen Strahlung der Erde standen tionskoeffizienten der einzelnen Panel des Makro-Modells zur Verfügung. Der Einfluss des direkten Strahlungsdrucks der Sonne wurde als Summe über alle beschienenen Satellitenflächen bestimmt. Für die Berücksichtigung der konkreten Lichtverhältnisse wurde ein konisches Schattenmodell mit drei Regionen (Licht, Halbschatten, Schatten) verwendet. Es wurden mehrere numerische Integratoren implementiert. Der Runge-Kutta-Integrator verwendet das Einzelschrittverfahren und wurde in der Ordnung 4 und 13 umgesetzt. Als Mehrschritt-Integrator wurde der Adams-Bashforth-Moulton-Integrator der Ordnung 4 implementiert. Das bereitge-Softwarepaket beinhaltet außerdem den Adams-Bashforth-Integrator. Aufbauend auf den hier vorgestellten Effekten wurde mit Hilfe der implementierten Software die Integration mit einer Schrittweite von einer Sekunde beispielsweise für einen 90-minütigen Swarm-Orbit, was ungefähr einem Umlauf eines LEO-Satelliten um die Erde entspricht, durchgeführt.



VERBESSERUNG DES INTEGRATIONSERGEBNISSES (ADAMS-BASHFORTH-MOULTON- INTEGRATOR MIT SCHRITTWEITE 1 SEKUNDE) DURCH ZUSÄTZLICHE MODELLIERUNG KLEINERER STÖRBESCHLEUNIGUNGEN (ABWEICHUNG DER BERECHNETEN POSITION GEGENÜBER EINEM SOLL-ORBIT (SWARM-A, 01.05.2014)

Insgesamt konnte nach einer 90-minütigen Integration eine Abweichung zum Sollorbit von unter 2 m erreicht werden. Nach 10 Minuten beträgt diese sogar 2 cm (siehe Abbildung).

Studierende: Peter Alpers, Mahsa Bashi, Igor Koch, Damian Kröhnert

PRAXISPROJEKT LANDESVERMESSUNG UND SCHWEREFELD (IFE), BAD FRANKENHAUSEN

BETREUER: THOMAS KRAWINKEL, LUDGER TIMMEN, TOBIAS KERSTEN

Das diesjährige Praxisprojekt fand in der Zeit vom 11. bis 15. Juli in Bad Frankenhausen, Thüringen im Rahmen des SIMULTAN-Projektes (Geomonitoring) statt. Hauptziel war es, für die GNSS-Kampagnen dieses Projektes eine Zwischenepoche für die Oberflächenüberwachung zu erheben. Hierzu sind die Koordinaten der Überwachungspunkte innerhalb und außerhalb potentieller Gefährdungsbereiche hochpräzise zu bestimmen. Die Studierenden haben sich dabei mit den Zusammenhängen zwischen Geometrie und Geophysik auseinandergesetzt. Im Rahmen des Projektes wurden GNSS- sowie Gravimetrie-Messungen durchgeführt. Insgesamt wurden zehn GNSS-Punkte in sechs Sessions mit einer Dauer von jeweils drei Stunden gemessen. Für das aus elf Punkten bestehende Gravimeterienetz wurde zur Driftkontrolle im dreifachen Stepverfahren gemessen und relative Schwereänderungen im Innendienst bestimmt. Die diesjährigen Messungen bilden die Nullepoche für Studienkampagnen. Aus den gewonnenen Daten werden im SIMULTAN-Projekt Modelle gestützt, die zur Früherkennung von Erdfällen hilfreich sein werden.

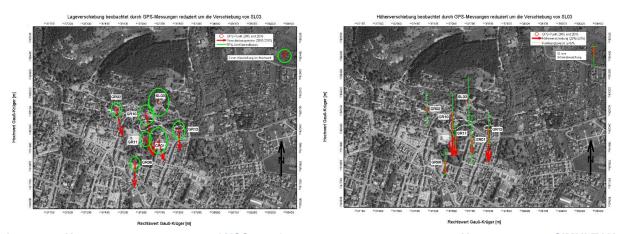
Die Auswertung der GNSS Messungen erfolgte in der darauffolgenden zweiten Projektwoche mit der Software Leica Geo Office (LGO) im Innendienst. Die Studierenden setzten sich dabei intensiv mit der GNSS-Datenvorverarbeitung, der Basislinienauswertung und anschließenden Netzausgleichung sowie mit deren Interpretation auseinander. Dabei konnten die notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten anhand praktischer Fragestellungen vertieft werden. Von großer Bedeutung sind in diesem Zusammenhang die Qualitätsbeurteilung und die Interpretation der Ergebnisse.

Detailuntersuchungen bezüglich unterschiedlicher Netzlagerungen, Auswerteansätze, wie z.B. Linearkombinationen der GNSS-Beobachtungen, verschiedene Datumsgebungen, unterschiedliche Troposphärenmodellierungen wurden entsprechend gefordert und analysiert. Das GNSS-Überwachungsnetz wurde in einem Punkt (SL03) fest gelagert und im Sinne einer sternförmigen Netzkonfiguration ausgewertet.





GRAVIMETRIEMESSUNGEN IN BAD FRANKENHAUSEN, LINKS: PUNKT GRAV10, RECHTS: RATHAUS (DIREKTER ANSCHLUSS AN ABSOLUTMESSUNGEN)



LAGE- UND HÖHENVERSCHIEBUNGEN DER GNSS UND GRAVIMETRIEPUNKTE ZWISCHEN DER NULLEPOCHE DER SIMULTAN KAMPAGNE 09/2015 UND DES PRAXISPROJEKTES 07/2016 MIT STADTGEBIET BAD FRANKENHAUSEN

Ein geodätischer Grundnetzpunkt der Landesvermessung Thüringen und drei weitere Trigonometrische Punkte wurden zur Sicherung hinzugezogen. Das lokale Netz wurde mittels der SAPOS-Station Buttstädt an das übergeordnete Netz angeschlossen, welche damit Ausgang für die später durchgeführten Epochenvergleiche sein wird.

Parallel hierzu wurden die mit zwei Relativgravimeter Scintrex (SC-04492, 9303210) erhobenen Messungen ausgewertet. Dabei wurden jeweils eine freie und datumsgebende Netzauswertung der Schwerewerte untersucht. Der Schwereunterschied im Messgebiet wurde zu 50 $\mu\text{m/s}^2$ bestimmt. Die durchschnittlichen Standardabweichungen bei der datumsgebenden Ausgleichung betragen 100 $\mu\text{m/s}^2$ und für die freie Netzausgleichung 22 $\mu\text{m/s}^2$.

Die Erkenntnisse und Ergebnisse sind von den Studierenden in einem internen Bericht zusammengefasst. Das Praxisprojekt wurde in Kooperation mit der Landesvermessung Niedersachsen (LGLN), der Landesvermessung Thüringen (TLVermGeo) und dem Leibniz Institut für Angewandte Geophysik (LIAG) durchgeführt.

Studierende: Bastian Altemeier, Sara Brakemeier, Mareike Dorozynski, Franziska Fasser, Dominik Grüning, Aiko Hattermann, Lucy Icking, André Jensen, Victoria Kröger, Fabian Ruwisch, Johanna Schewe, Mareike Schülmann, Sabrien Serhan, Nina Staack, Weronika Szczepaniec, Stefan Thoben, Miriana Voelsen

PRAXISPROJEKTE IM STUDIENGANG NAVIGATION UND UMWELTROBOTIK

PRAXISPROJEKT NUUR I: "NAVIGATION UND ORTUNG MIT MINDSTORMS ROBOTERN" BETREUER: STEFFEN BUSCH, MAX COENEN, TOBIAS KERSTEN, SÖREN VOGEL

Das Projektseminar NuUR I findet im ersten Mastersemester Navigation und Umweltrobotik statt und gliedert sich in zwei Kernbereiche. Im Rahmen von praktischen Übungen lernten die Studierenden verschiedene



Navigationssensoren anhand eines Lego Mindstorms Roboters kennen. Anschließend erarbeiteten die Studierenden im zweiten Teil des Seminars selbständig eine praktische Lösung für eine Hindernisfahrt des Roboters. Dazu erarbeiteten sie sich jeweils zu zweit die Funktionsweise der Sensoren und des Roboter Operating System (ROS). Die Fusion der Sensor-Teilmodule erfolgt unter Verwendung von ROS über einen PC. Die Studierenden nutzten ein Kameratracking zur Korrektur der Odometrie sowie einen Laserscanner und einen Ultraschallsensor zur Hinderniserkennung. Jede Gruppe implementierte individuelle Ausweichstrategien in C++, um komplizierte Hindernisse, wie zu niedrige Brücken oder Säulen, zu erkennen. Bei der Abschlusspräsentation konnten alle Gruppen erfolgreich von beliebigen Startpunkten zu beliebig vorgegebenen Zielen autonom, navigieren.

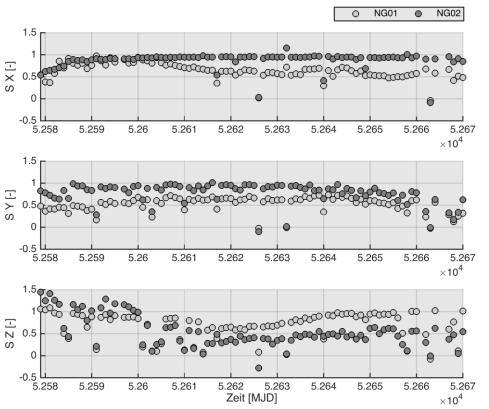
Studierende: Busse Janik, Flasbarth Tim, Gruening Dominic, Kroemer Patrick, Langer Amadeus Claudius Titus und Niehaus Stephan.

STUDENTISCHES FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSPROJEKT (IFE)

GNSS-BASIERTE KALIBRIERUNG DES GRACE-BESCHLEUNIGUNGSSENSORS IGOR KOCH. BETREUER: AKBAR SHABANLOUI

Die seit 2002 operierenden GRACE-Satelliten sind mit Beschleunigungsmessern ausgestattet, welche die auf die Satelliten wirkenden nichtgravitativen Beschleunigungen messen. Diese Messwerte sind allerdings keine absoluten Werte, sondern müssen vielmehr in ihrer Magnitude und Amplitude durch einen Kalibrierungsprozess korrigiert werden. Die Kalibrierung der erwähnten Messwerte setzt voraus, dass als Referenz Angaben zur nicht-gravitativen Beschleunigung bekannt sind. Ein möglicher Ansatz (NG01) ist die Modellierung der auf den Satelliten wirkenden Flächenbeschleunigungen, welche sich aus der atmosphärische Reibung, dem direkten Strahlungsdruck der Sonne und dem Strahlungsdruck der Erde zusammensetzen. Neben dem nun vorgestellten Ansatz, wurde in dieser Arbeit ein komplementärer Ansatz (NG02) untersucht. Aus den reduziert-dynamischen Angaben zur Position eines jeweiligen Satelliten wurde zuerst die Gesamtbeschleunigung, bestehend aus dem gravitativen und nicht-gravitativen Anteil, bestimmt. Hierfür wurden durch kurze Satellitenbahnabschnitte Polynomfunktionen gelegt. Die Approximation der diskreten Punkte durch eine Funktion erlaubt es durch eine zweifache Ableitung nach der Zeit die Gesamtbeschleunigung zu bekommen. Zieht man von dieser Gesamtbeschleunigung den gravitatven Anteil ab, welcher aus dem zeitvariablen Schwerefeldanteil, dem Einfluss von Drittkörpern, den Gezeiten der festen Erde, Ozeangezeiten, Polgezeiten der festen Erde, Ozeanpolgezeiten sowie den relativistischen Effekten, bestehend ist, bekommt man eine weitere nicht-gravitative Referenzbeschleunigung, die benutzt werden kann um die Messwerte eines Beschleunigungsmessers zu kalibrieren. Unter Verwendung dieser beiden Ansätze zur Modellierung der Referenzbeschleunigung, wurde der tägliche Bias und Skalierungsfaktor nach der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt. Die beiden Ansätze wurden an zwei unterschiedlichen Zeiträumen untersucht. Der erste Zeitraum, Nov. 2003 - Jan. 2004 weist eine starke solare Aktivität auf, welche sich vor allem über die atmosphärische Dichte auf die Beschleunigung durch atmosphärische Reibung auswirkt. Der zweite untersuchte Zeitraum, Jun. – Aug. 2008, weist eine sehr niedrige solare Aktivität auf. Die unterschiedliche solare Aktivität beeinflusst die Magnitude des nichtgravitativen Signals. So beträgt die euklidische Norm der nicht-gravitativen Beschleunigung für den ersten Zeitraum 10⁻⁷ m/s² und die des zweiten lediglich 10⁻⁸ m/s². Ein Zeitraum mit ungefähr 90 Tagen erlaubt eine genauere Untersuchung bezüglich des Einflusses der Bahnorientierung auf die Kalibrierung des Beschleunigungssensors. Betrachtet man die Korrelationskoeffizienten der jeweiligen nicht-gravitativen Referenzbeschleunigungen mit den damit kalibrierten Messwerten des Beschleunigungsmessers. so kann man einige Aspekte feststellen. Die Korrelation für den ersten Ansatz ist größtenteils unabhängig von der solaren Aktivität und somit von der Magnitude der nicht-gravitativen Beschleunigung. Hier liegt die Korrelation zwischen 0.80 und 0.93 (Median der täglichen Korrelationskoeffizienten). Der komplementäre Ansatz ist stark von der Magnitude der nichtgravitativen Beschleunigung abhängig. Lediglich für die Along-Track-Achse werden mit dem ersten Ansatz vergleichbare Korrelationen erreicht.

Für den zweiten untersuchten Zeitraum liefert der zweite Ansatz wegen der kleineren Magnitude der nicht-gravitativen Beschleunigung eine sehr kleine Korrelation.



SKALIERUNGSFAKTOREN FÜR DEN ZEITRAUM NOVEMBER 2002-JANUAR 2003. OBEN: ALONG-TRACK, MITTE: CROSS-TRACK, UNTEN: RADIAL

Die mit den zwei Ansätzen bestimmten Skalierungsfaktoren sind ebenfalls von der Magnitude der nicht-gravitativen Referenzbeschleunigung abhängig. Für die Along-Track-Achse des ersten Zeitraums liefert der zweite Ansatz stabilere Skalierungsfaktoren, als der erste Ansatz. Die Ergebnisse für den ersten Zeitraum sind beispielhaft in der Abbildung dargestellt. Ähnliches ist bei dem Bias zu sehen. Für den solar schwächeren Zeitraum liefert der erste Ansatz realistischere Kalibrierungsparameter. Allerdings sieht man bei dem ersten Ansatz eine starke Verschlechterung der Parameter, wenn die Bahnebene fast senkrecht zur Sichtlinie Erde-Sonne ist und die Satelliten sich somit fast sonnensynchron bewegen. Hier wird die maximal beschienene Satellitenoberfläche maximal und es sind größere Anforderungen für die Modellierung des direkten solaren Strahlungsdrucks nötig.

4. PERSONELLES

MITARBEITER

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Müller, Physikalische Geodäsie, Geschäftsführender Leiter

Prof. Dr.-Ing. Steffen Schön, Positionierung und Navigation, GNSS

Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Günter Seeber, Professor im Ruhestand

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Torge, Emeritusprofessor

Prof. Dr.-Ing. Jakob Flury, SFB Sprecher

M.Sc. Guy Apelbaum, SFB: Twangs und andere Umwelteinflüsse bei GRACE

Dr.-Ing. Tamara Bandikova, Gravity Recovery and Climate Experiment (bis 31.03.2016)

M.Sc. Saniya Behzadpour, SFB: Globale Schwerefeldbestimmung aus GRACE Daten, in Kooperation mit TU Graz

Dr.-Ing. Liliane Biskupek, SFB: Semi-Analytische Satellitenbahn-berechnung

M.Sc. Christian Bischof, GNSS-Highrate und Beschleunigungen, Bürgernahes Flugzeug

M.Sc. Mohamed Bochkati, Quanten- und Inertialnavigation (ab 01.12.2016)

Dr.-Ing. Johannes Bouman, geo-Q Geschäftsführer (01.02.-30.06.2016)

Dipl.-Ing. Phillip Brieden, GOCE und künftige Satellitenmissionen (bis 31.12.2016)

M.Sc. Santoshkumar Burla, SFB: Sensorfusion für GRACE Follow-On

Dr.-Ing. Heiner Denker, Schwerefeldmodellierung, SFB PI

Dr.-Ing. Balaji Devaraju, SFB: De-Aliasing von Satellitenbeobachtungen

Dr. Karim Douch, SFB: Optische Gradiometrie

M.Sc. Nicolas Garcia-Fernandez, Graduiertenkolleg i.c.sens (ab 01.12.2016)

M.Sc. Melanie Garmann, Integrität und Navigation (bis 29.02.2016)

M.Sc. Sujata Goswami, SFB: Untersuchung von GRACE Residuen

M.A. Petra Heldt-Bertrand, SFB Sekretariat

Dipl.-Soz.wiss. Ulrike Hepperle, Geschäftszimmer

Dipl.-Ing. Franz Hofmann, DFG-Projekt: Mondreferenzsysteme

Dr.-Ing. Tobias Kersten, BMBF-Projekt SIMULTAN

M.Sc. Thomas Krawinkel, GNSS und Uhren

Dipl.-Ing. Ortwin Krüger, Technik (bis 31.12.2016)

Dipl.-Ing. Franziska Kube, DFG-Projekt: Turbulenztheorie und GNSS

M.Sc. Lars Leßmann, SFB: Modellierung von Massenvariationen in Skandinavien

Dr.-Ing. Miao Lin, SFB: Regional Gravity Field Modeling & relativistic Geodesy

Dr.-Ing. habil. Enrico Mai, DFG-Projekt: Baryzentrische Ephemeriden, SFB PI

B. Eng. Thomas Maschke, Technik

Bärbel Miek, Geschäftszimmer

Dr.-Ing. Majid Naeimi, SFB: Global Gravity Field Modeling from satellite to satellite tracking data, GFR team

M.Sc. Le Ren, DFG Projekt zu SWARM: GPS Ionosphärenmodellierung/kinematische Orbits

M.Sc. Manuel Schilling, Gravimetrie und Physikalische Geodäsie

Dr.-Ing. Akbar Shabanloui, Permafrost/Satellitengravimetrie

Dr.-Ing. Sergei Svitlov, Gravimetrie, Satellitenmissionen

Dr.-Ing. Ludger Timmen, Gravimetrie und Physikalische Geodäsie

M.Sc. Christoph Wallat, SFB: Satellitenpositionierung und Uhrmodellierung

Dr.-Ing. Matthias Weigelt, geo-Q Geschäftsführer (seit 01.11..2016)

M.Sc. Hu Wu, ESA-Projekt: Satelliten-Gradiometrie

GÄSTE

Dr. Henryk Dobslaw, GFZ, Juni

Dr. Eelco Doornbos, TU Delft, April

Prof. Jim Faller, JILA, Juni

Prof. Christopher Jekeli, Ohio State University, Juni bis August

Prof. Sergei Kopeikin, University of Missouri, Juni

Prof. Torsten Mayer-Gürr, TU Graz, Juli

Dana Anderson, JILA, August

Jason Williams, JPL, August

FWJ-FREIWILLIGES WISSENSCHAFTLICHES JAHR

Daniel Rotter (bis 31.08.2016)

Jennifer Schulze (ab 01.09.2016)

EHRUNGEN

Der Young Author Award Geodäsie des DVW zur Nachwuchsförderung im Bereich Geodäsie wurde Herrn **Dipl.- Ing. Franz Hofmann** (Hannover) für seine Veröffent-lichung in der zfv 6/2015 mit dem Titel "Lunar Laser Ranging: Das Erde-Mond-System und Tests der Einstein'schen Gravitationstheorie" verliehen.

Prof. (em.) Dr.-Ing Wolfgang Torge, 50. Promotionsjubiläums mit Festvortrag durch Prof. J. Faller im Rahmen des Geodätischen Kolloquiums, siehe Seite 4.

MITGLIEDSCHAFTEN IN NATIONALEN UND INTERNATIONALEN FACHGREMIEN

Denker, H.: Associate Editor, Geodetic Theory & Applications, Marine Geodesy (seit 01.01.2008)

International Association of Geodesy (IAG) Fellow

Chair IAG Sub-Commission SC2.4a "Gravity and Geoid in Europe"

Member International Gravity Field Service (IGFS) Advisory Board

Advisor International Service for the Geoid (IGS)

Member IAG Joint Study Group JSG 0.15: Regional geoid/quasi-geoid modelling – Theoretical framework for the subcentimetre accuracy

Corresponding Member IAG Joint Working Group JWG 2.2.1: Integration and validation of local geoid estimates

Flury, J.: Mitglied im Board of Representatives des Swarm Data, Innovation and Science Cluster (DISC) der ESA

Chair der neuen IAG Joint Working Group JWG2.1 "Relativistic Geodesy: First steps towards a new geodetic technique"

Müller, J.: Sprecher der GGOS Standing Committee on Satellite Missions (seit 2015)

Mitglied im wissenschaftlichen Beirat des GFZ (2011 - 2016)

Mitglied des ESA Earth Science Advisory Committee (ESAC), 2009 - 2013

Ordentliches Mitglied in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, seit 1.1.2012 deren Vorsitzender

IAG-Vertreter im Nationalen Komitee für Geodäsie und Geophysik (NKGG), seit Dezember 2011 NKGG-Vorsitzender, und Vertreter Deutschlands in der IAG und in der IUGG

Federführender Schriftleiter, zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement

International Earth Rotation Service (IERS): ILRS-Vertreter im IERS Directing Board (2006 - 2016)

International Laser Ranging Service (ILRS): LLR-Vertreter im ILRS Governing Board (2006 - 2016), Lunar Analysis Center, Analysis Working Group

Mitglied der DGK (Ausschuss Geodäsie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften) sowie in der Abteilung "Erdmessung", seit 2015 deren Vorsitzender

Mitglied im DVW-Vorstand (seit 1.1.2011) sowie im DVW AK 7 "Experimentelle, Angewandte und Theoretische Geodäsie", Organisation der Geodätischen Woche

Mitglied im Europäischen GRACE Science Team und weiterer Verbundprojekte zur Untersuchung von Schwerefeldsatellitenmissionen.

Sprecher und Koordination der DFG-Forschungsgruppe "Erdrotation und globale dynamische Prozesse" (offizieller Abschluss 2015)

Mitglied im Vorstand der Leibniz Forschungsschule QUEST (Quantum Engineering and Space-Time Research) an der Leibniz Universität Hannover

Mitglied im Vorstand der Forschungsinitiative FI:GEO an der Leibniz Universität Hannover

Mitglied im Vorstand des SFB 1128 geo-Q (Relativistic geodesy and gravimetry with quantum sensors) an der Leibniz Universität Hannover

Schön, S.: Mitglied der IGS Antenna Working Group und der IGS Troposphere Working Group

Ordentliches Mitglied der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Leiter des DVW-AK7

Svitlov, S.: Mitglied, IAG Working Group JWG 2.1 "Techniques and Metrology in Absolute Gravimetry"

Timmen, L.: Geodätische Leitung des nationalen Arbeitskreises Geodäsie und Geophysik (AKGG)

Mitglied, IAG Working Group JWG 2.1.1 "Establishment of a global absolute gravity reference system"

Mitglied, IAG Working Group WG 2.1: Techniques and metrology in terrestrial (land, marine, airborne) gravimetry

AUSLANDSAUFENTHALTE

Dr. Sergiy Svitlov has visited Earthquake Research Institute (ERI), the University of Tokyo (Japan) from 06.10.2016 till 20.11.2016 under the ERI short-term visiting program, and contributed to the project "Development of a compact absolute gravimeter for advanced observations of volcanic activities" (project report is available at http://www.eri.utokyo.ac.jp/kokusai/english/vr/index.html)

5. Veröffentlichungen

BEGUTACHTETE PUBLIKATIONEN

- Bischof, C., Schön, S. (2016): Vibration detection with 100 Hz GPS PVAT during a dynamic flight, Advances in Space Research, Special Issue High-Rate GNSS, Elsevier Ltd., DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2016.08.008.
- Flury, J. (2016): Relativistic geodesy, 8th Symposium on Frequency Standards and Metrology 2015, Journal of Physics: Conference Series 723:012051, doi:10.1088/1742-6596/723/1/012051.
- Freier, C., Hauth, M., Schkolnik, V., Leykauf, B., Schilling, M., Wziontek, H., Scherneck, H., Müller, J., Peters, A. 2016): Mobile quantum gravity sensor with unprecedented stability, Journal of Physics Conference Series 723(1), arxiv.org/abs/1512.05660.
- Kauker S., Holst C., Schwieger V., Kuhlmann H., Schön S. (2016): Spatio-temporal Correlations of Terrestrial Laser Scanning / Raumzeitliche Korrelationen beim terrestrischen Laserscanning, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN) Jg. 123 (6) 2016, S. 170-182 ISBN: 0002-5968.
- Kermarrec G., Schön S. (2016): Taking correlations in GPS least squares adjustments into account with a diagonal covariance matrix, Journal of Geodesy DOI: 10.1007/s00190-016-0911-z.
- Kersten, T., Schön, S. (2016): Receiver Antenna Phase Center Models and Their Impact on Geodetic Parameters, In: Rizos, Ch. (Hrsg.): International Association of Geodesy Symposia, Springer Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/1345_2016_223.
- Kersten, T., Schön, S. (2016): GPS code phase variations (CPV) for GNSS receiver antennas and their effect on geodetic parameters and ambiguity resolution, Journal of Geodesy, Springer Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/s00190-016-0984-8.

- Krawinkel, T., Schön, S. (2015): Benefits of receiver clock modeling in code-based GNSS applications, GPS Solutions.
- Krawinkel, T., Schön, S. (2015): Benefits of Chip Scale Atomic Clocks in GNSS Applications, Proceedings of the 28th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2015).
- Kube, F., Schön, S. (2016): PPP Carrier Phase Residual Stacking for Turbulence Investigations, In: Rizos, Ch. (ed.): International Association of Geodesy Symposia, Springer Berlin Heidelberg, DOI 10.1007/1345_2016_239.
- Lin, M., Denker, H., Müller, J. (2016): Regional gravity field modeling by radially optimized point masses: case studies with synthetic data. In: Rizos, C., Willis, P. (eds.), IAG 150 Years, Proceedings of the 2013 IAG Scientific Assembly, Potsdam Germany, 1-6 Sept. 2013, International Association of Geodesy Symposia 143: 233-239, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/1345_2015_92.
- Lisdat, C., Grosche, G., Quintin, N., Shi, C., Raupach, S.M.F., Grebing, C., Nicolodi, D., Stefani, F., Al-Masoudi, A., Dörscher, S., Häfner, S., Robyr, J.-L., Chiodo, N., Bilicki, S., Bookjans, E., Koczwara, A., Koke, S., Kuhl, A., Wiotte, F., Meynadier, F., Camisard, E., Abgrall, M., Lours, M., Legero, T., Schnatz, H., Sterr, U., Denker, H., Chardonnet, C., Le Coq, Y., Santarelli, G., Amy-Klein, A., Le Targat, R., Lodewyck, J., Lopez, O., Pottie, P.-E. (2016): A clock network for geodesy and fundamental science. Nature Communications 7, Article number: 12443. doi:10.1038/ncomms12443.
- Löcher, A., Hofmann, F., Gläser, P., Haase, I., Müller, J., Kusche, J., Oberst, J. (2016): Towards Improved Lunar Reference Frames: LRO Orbit Determination. Proceedings of REFAG Meeting 2014, Springer IAG symposia series, No. 146, p. 1-6, doi: 10.1007/1345_2015_146.
- Nagornyi, V.D., Svitlov, S., Araya, A. (2016): Improving absolute gravity estimates by the L_p -norm approximation of the ballistic trajectory, Metrologia 53, 754-761.
- Schön, S., Pham, H.K., Kersten, T., Leute, J., Bauch, A. (2016): Potential of GPS Common Clock Single-differences for Deformation Monitoring, Journal of Applied Geodesy, 10(1), pp. 45-52, Walter de Gruyter, DOI: 10.1515/jag-2015-0029.
- Siemes, C., Encarnação, J., Doornbos, E., van den Ijssel, J., Kraus, J., Pereštý, R., Grunwaldt, L., Apelbaum, G., Flury, J., Holmdahl Olsen, P.E.: (2016) Swarm accelerometer data processing from raw accelerations to thermospheric neutral densities, Earth, Planets and Space 68:92, doi:10.1186/s40623-016-0474-5.
- Shabanloui, A., Müller, J. (2016): Mass variations in the Siberian permafrost region based on new GRACE results and auxiliary models. Proceedings of the IGFS Workshop in Shanghai 2014, Springer IAG symposia series, No. 144, p. 1-8, doi: 10.1007/1345 2015 186.
- Schilling, M., Timmen, L. (2016): Traceability of the Hannover FG5X-220 to the SI Units, International Association of Geodesy Symposia, DOI: 10.1007/1345 2016 226.
- Vishwakarma, B. D., Devaraju, B., Sneeuw, N. (2016). Minimizing the effects of filtering on catchment scale GRACE solutions. Water Resources Research, 52 (8): 5868-5890. DOI: 10.1002/2016WR018960.
- Voigt, C., Denker, H., Timmen, L. (2016): Time-variable gravity potential components for optical clock comparisons and the definition of international time scales. Metrologia 53: 1365-1383. doi: 10.1088/0026-1394/53/6/1365.

NICHT BEGUTACHTETE PUBLIKATIONEN

- Denker, H. (2016): SC 2.4a: Gravity and geoid in Europe. The Geodesist's Handbook 2016, Journal of Geodesy 90: 1016. doi: 10.1007/s00190-016-0948-z.
- Freier, C., Hauth, M., Schkolnik, V., Leykauf, B., Schilling, M., Wziontek, H., Scherneck, H-G., Müller, J., Peters, A. (2016): Mobile quantum gravity sensor with unprecedented stability, Journal of Physics: Conference Series, 8th Symposium on Frequency Standards and Metrology, 12.-16.10.2015, Potsdam.
- Kersten, T., Timmen, L., Schön, S., Kobe, M., Gabriel, G., Vogel, D. (2016): On Integrated Geodetic Monitoring for Sinkhole-Induced Surface Deformation and Mass Dislocation, In: Proceedings of the 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM 2016), 30. März bis 01. April, Wien, Österreich.
- Lisdat, C., Grosche, G., Quintin, N., Shi, C., Raupach, S.M.F., Grebing, C., Nicolodi, D., Stefani, F., Al-Masoudi, A., Dörscher, S., Häfner, S., Robyr, J.-L., Chiodo, N., Bilicki, S., Bookjans, E., Koczwara, A., Koke, S., Kuhl, A., Wiotte, F., Meynadier, F., Camisard, E., Abgrall, M., Lours, M., Legero, T., Schnatz, H., Sterr, U., Denker, H., Chardonnet, C., Le Coq, Y., Santarelli, G., Amy-Klein, A., Le

- Targat, R., Lodewyck, J., Lopez, O., Pottie, P.-E. (2016): A clock network for geodesy and fundamental science. arXiv:1511.07735.
- Müller, J. (2016): Erdmessung mit Quanten und Relativität. BWG Jahrbuch 2016; arXiv:1608.08407 [physics.geo-ph, gr-qc].
- Pavlis, E., Müller, J. (2016): International Laser Ranging Service (ILRS). IERS Annual Report 2015 ed. by W.Dick and D.Thaller, BKG, p. 41-52, online: www.iers.org/IERS/EN/Publications/AnnualReports/AnnualReport2015.
- Pearlman, M., Müller, J., et al. (2016): GGOS Bureau of Networks and Observations. In: The Geodesist's Handbook 2016 (ed. by Drewes, H., Kuglitsch, F., Adám, J. et al.), Journal of Geodesy, vol. 90, p.1084-1086, doi: 10.1007/s00190-016-0948-z.
- Ren L., Schön S. (2016): Swarm GPS Receiver Performance and Kinematic Orbit Determination under the Influence of Ionospheric Scintillation, Navitec 2016, Noordwijk, Netherlands, 14-16.12.2016.
- Schön, S. (2016): Interval-based reliability and integrity measures, Proc. ESA Navitec 2016.
- Vogt, S., Grotti, J., Koller, S., Häfner, S., Herbers, S., Al-Masoudi, A., Grosche, G., Denker, H., Sterr, U., Lisdat, C. (2016): Using a transportable optical clock for chronometric levelling. Geophysical Research Abstracts, Vol. 18: EGU2016-16061, EGU General Assembly 2016, Vienna, Austria, 17–22 April.
- Wallat, C., Schön, S. (2016): Phase only PPP and multi-antenna solutions for improved kinematic LEO orbits, Proceedings of the 8th esa navitec.
- Wu, H., Müller, J., Brieden, P. (2016): Benefit of GOCE gravity gradients at the lowered orbit on the global gravity field model. International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems 2016, Thessaloniki, Greece, 19.-23. September, (Vortrag).
- Wu, H., Müller, J., Brieden, P. (2016): The IfE global gravity field model from GOCE-only observations. International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems 2016, Thessaloniki, Greece, 19.-23 September.
- Wu, H., Müller, J., Brieden, P. (2016): The latest IfE global gravity field model from GOCE-only observations. ESA Living Planet Symposium 2016, Prague, the Czech Republic, 9.-13. May.

MONOGRAPHIEN

- Seitz, F., Müller, J. (2016): Erdrotation. Buchkapitel im "Handbuch der Geodäsie", Band "Erdmessung und Satellitengeodäsie" (Hrsg. R. Rummel), Springer, Berlin, S. 1-29, doi:10.1007/978-3-662-46900-2_12. Februar.
- Torge, W. (2016): Geschichte der Erdmessung, in: Freeden, W., Rummel, R. (Editor): Handbuch der Geodäsie, pp 1-71, Springer Berlin Heidelberg, 2016, DOI: 10.1007/978-3-662-46900-2 2-1.

Vorträge und Poster

- Apelbaum, G., Siemes, Chr., Grunwaldt, L., Peresty, R., Kraus, J., Doornbos, E., Encarnacao, J., van den IJssel, J., Flury, J., Olsen, P. E. H. (2016): Overview of Swarm Accelerometer Disturbances and Related Testing, Living Planet Symposium, Prague, Czech Republic, 9-13 May (Poster).
- Bischof, C., Schön, S (2016).: Verbesserung der Richtigkeit im Virtuellen Empfänger durch Geschwindigkeitsschätzung, Geodätische Woche 2016 in Hamburg, 11-13. Oktober.
- Biskupek L., Mai E. (2016): Numerical integration of the Schwarzschild problem using Lie series for the calculation of satellite orbits, Poster, 609. WE-Heraeus-Seminar on "Relativistic Geodesy: Foundations and Applications", Bad Honnef, 13.-19. März.
- Biskupek, L., Mai, E. (2016): Semi-analytische Satellitenbahnberechnung als mögliche Alternative zu klassischen Verfahren, Geodätische Woche 2016, Hamburg, 11.-13. Oktober.
- Biskupek, L., Mai, E. (2016): Semi-analytical satellite orbit calculation as possible alternative for numerical integration, Poster at AGU Fall Meeting 2016, San Francisco, 12.-16. Dezember.
- Damme, F., Hussmann, H., Wickhusen, K., Mai, E., Oberst, J. (2016): Stable Orbits in the Didymos Binary Asteroid System Useful Platforms for Exploration, EGU General Assembly 2016, Wien, 17.-22. April.
- Darbeheshti, N., Naeimi, M., Hewitson, M., Heinzel, G., Flury, J. (2016): A new approach to the regularization of regional gravity field in SRBF, European Geosciences Union, General Assembly 2016. Vienna, Austria, 17.-22. April.

- Denker, H. (2016): Geodetic results from the ITOC project. Geo-Q, Terrestrial Geodesy (TG) Working Group Meeting, Hannover, 13. April.
- Denker, H. (2016) A new European Gravimetric (Quasi)Geoid EGG2015. First Joint Comm. 2 and IGFS Meeting, Internat. Symp. on Gravity, Geoid and Height Systems 2016, GGHS2016, Thessaloniki, Greece, 19. 23. September (Poster).
- Denker, H., Lin, M. (2016): C04: Regional gravity field modeling for relativistic geodesy and vertical datum definition. Geo-Q, 2nd Scientific Advisory Board Meeting, Hannover, 4. October (Poster).
- Denker, H., Timmen, L., Svitlov, S. (2016): Gravity potential for optical clock comparisons, REG(LUH) 36-month status report. Project "International timescales with optical clocks (ITOC)", SIB55, European Metrology Research Programme (EMRP) of EURAMET, 36-month review meeting, University of York, United Kingdom, 4. April.
- Denker, H., Timmen, L., Voigt, C. (2016): Gravity potential for optical clock comparisons. Optical clocks: quantum engineering and international timekeeping, Workshop, Joint EMRP project consortia: ITOC & QESOCAS, University of York, United Kingdom, 08 April (Poster).
- Denker, H., Timmen, L., Voigt, C. (2016): Gravity field modelling with regard to optical clock comparisons. First Joint Comm. 2 and IGFS Meeting, Internat. Symp. on Gravity, Geoid and Height Systems 2016, GGHS2016, Thessaloniki, Greece, 19. 23. September (Poster).
- Denker, H., Timmen, L., Voigt, C. (2016): Geodetic contributions to the project "International Timescales with Optical Clocks (ITOC)". First Joint Comm. 2 and IGFS Meeting, Internat. Symp. on Gravity, Geoid and Height Systems 2016, GGHS2016, Thessaloniki, Greece, 19. 23. September.
- Devaraju, B., Müller, J. (2016): Quantifying tidal aliasing errors in the localised analysis of satellite tracking data, European Geosciences Union General Assembly 2016, Vienna, Austria, 17. 22. April.
- Devaraju, B., Müller, J. (2016): Ocean-tide alaising errors in the analysis of low-low satellite-to-satellite tracking data, GRACE Science Team Meeting, Potsdam, Germany, 05. 07. Oktober.
- Devaraju, B., Weigelt, M., Müller, J. (2016): Ocean-tide alaising errors in the analysis of low-low satellite-to-satellite tracking data, Geodätische Woche, Hamburg, Germany, 11. 13. Oktober.
- Douch, K., Müller, J., Heinzel, G., Brieden, P., Shabanloui, A. (2016): Performance assessment of an optical gradiometer for future gravitational missions, Poster, ESA Living Planet Symposium, Prague 09.-12. May.
- Douch, K., Wu, H., Müller, J., Shabanloui, A., Brieden, P., Heinzel, G (2016).: A first performance assessment of two new concepts of satellite gravitational gradiometers, Vortrag, Gravity, Geoid and Height Systems 2016, Thessaloniki, 19. September.
- Douch, K., Müller, J., Heinzel, G., Brieden, P., Shabanloui, A (2016).: B07: System studies for an optical gradiometer, Poster, GeoQ Science Advisory Board meeting, Hannover, 04. Oktober.
- Douch, K., Wu, H., Müller, J., Shabanloui, A. (2016): Performance study of a cold atom interferometry gradiometry satellite mission via end-to-end simulations, Vortrag, Geodätische Woche 2016, Hamburg, 13. Oktober.
- Douch, K., Müller, J., Heinzel, G., Brieden, P., Shabanloui, A (2016).: B07: System studies for an optical gradiometer, Vortrag, GeoQ Milestone meeting, Hannover, 18. Oktober.
- Hofmann, F. (2016): Status Report PN3(a) Lunar Laser Ranging, Statusseminar der DFG Forschergruppe FOR1503, Bonn, 13. Juni.
- Hofmann, F., Müller, J. (2016): Update of the IfE LLR analysis model and new fit of relativistic parameters, 20th International Workshop on Laser Ranging, Potsdam, 10.-14. Oktober.
- Hofmann, F., Biskupek, L., Müller, J. (2016): Lunar Laser Ranging as a geodetic experiment for reference frames and general relativity, Vortrag, Geodätische Woche 2016, Hamburg, 11.-13. Oktober.
- Icking L., Kersten T., Schön, S. (2016): Dynamische und adaptive Elevationsmasken zur Optimierung von GNSS-Netzen, Geodätische Woche 2016, 11.-13. Oktober, Hamburg.
- Flury, J. (2016): Geodetic Space Sensors, PTB, 20. Oktober.
- Flury, J. (2016): Re-assessment of GRACE sensor observation models and impact on gravity field parameter estimation, GGHS Thessaloniki, 19. September.
- Flury, J. (2016): Vorlesungen zu Gravimetrie und Schwerefeldbestimmung, FOMO Summer School Arcachon 3.-10. September.
- Flury, J. (2016): Relativistic Geodesy and Gravimetry with Quantum Sensors, University of Birmingham, 4. April.
- Flury, J. (2016): Relativistic Geodesy: Perspectives and Applications, WE Heraeus Seminar Relativistic Geodesy, 15. March.

- Kermarrec, G., Schön, S. (2016): On the use of fully populated matrices in least-squares adjustment, EGU Vienna 17.-22. April (Poster).
- Kersten, T. (2016): Satelliten zeigen uns nicht nur den Weg Einblicke in Geodäsie und Geoinformatik, Tag der Naturwissenschaften am Carl Bechstein Gymnasium, 19. Februar, Erkner.
- Kersten, T., Paffenholz, J.-A. (2016): Noise Analysis of High Sensitivity GNSS-Receivers for Direct Geo-Referencing of Multi-Sensor Systems, IAG Commission 4 Symposium, September 04.-07., Breslau, Polen, DOI: 10.13140/RG.2.2.13265.33120.
- Kersten, T., Schön, S. (2016): Bestimmung von auswaschungsinduzierten Oberflächendeformationen mit GNSS in Multi-Sensornetzen und innerstädtischen Bereichen, Geodätische Woche 2016, 11.-13. Oktober, Hamburg.
- Kersten T., Schön, S. (2016): On Integrated Geodetic Monitoring for Sinkhole-Induced Surface Deformation and Mass Dislocation, 30. März-01. April, Wien, Österreich.
- Krawczyk, C., Dahm, T., Gabriel, G., Polom, U., Becker, D., Schön, S., Timmen, L., Werban, U., Kaufmann, G., Börner, F., Al-Halbouni, D., Weise, A., Tschache, S., Zaksek, K., Kersten, T., Mai, F., Vienken, T., Tippelt, T., Romanov, D., Schuck, A., Grube, A., Katzschmann, L., Taugs, R., Kirsch, R. (2016): Sinkhole Instability: integrated Multi-scale Monitoring and analysis, BMBF-Statusseminar "Frühwarnsysteme" (Projektnummer 03G0843) innovative Sensor- und Informationstechnologien (Sonderprogramm GEOTECHNOLOGIEN), 19.-20. Oktober, Bonn.
- Krawinkel, T., Schön, S. (2015): Benefits of Receiver Clock Modeling in GNSS Navigation, Poster, 26th General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Prag, 22.6.-2.7.
- Krawinkel, T., Schön, S. (2015): On the Benefits of Atomic Clocks in Autonomous GNSS Navigation, Vortrag, 5th Galileo Science Colloquium, Braunschweig, 27.-29. Oktober.
- Kröger, V., Shabanloui, A., Müller, J (2016): Mass variations in the permafrost region of China determined from GRACE and complementary hydrological models. GSTM 2016, Potsdam, 5.-7. Oktober (Poster).
- Lin, M., Denker, H. (2016): Comparison of various methods for modeling gravitational effects of the topography. First Joint Comm. 2 and IGFS Meeting, Internat. Symp. on Gravity, Geoid and Height Systems 2016, GGHS2016, Thessaloniki, Greece, 19 23 September (Poster).
- Mai, E. (2016): The Time Aspect in Solar-System Ephemeris Construction, Poster at 609th WE-Heraeus-Seminar on Relativistic Geodesy: Foundations and Applications, Bad Honnef, 13.-19. März
- Mai, E (2016).: The Time Aspect in Solar-System Ephemeris Construction, Poster at DLR's Early Career Scientists Week, Wandlitz, 06.-08. April.
- Mai, E., Müller, J., Oberst, J. (2016): Status report PN1 Barycentric Ephemeris, Statusseminar der DFG-Forschergruppe FOR1503 "Referenzsysteme" Bonn, 13.-14. Juni.
- Mai, E., Müller, J. (2016): Stochastic Optimization in Planetary Ephemeris Modelling, Geodätische Woche 2016, Hamburg, 11.-13. Oktober.
- Mai, E., Biskupek, L (2016).: Status report C02 IfE-part: Semi-analytical orbit integration, Milestone Meeting, Sonderforschungsbereich SFB1128 Relativistic Geodesy and Gravimetry with Quantum Sensors (geo-Q), Hannover, 17.-18. Oktober.
- Mai, E. (2016): Application of an Evolution Strategy in Planetary Ephemeris Optimization, Poster at AGU Fall Meeting 2016, San Francisco, 12.-16. Dezember.
- Margolis, H. S., Benkler, E., Calonico, D., Denker, H., Delva, P., Godun, R. M., Lisdat, C., Abgrall, M., Achkar, J., Al-Masoudi, A., Barwood, G. P., Baynes, F. N., Baynham, C. F. A., Bilicki, S., Bize, S., Bookjans, E., Bowden, W., Cerretto, G., Chupin, B., Clivati, C., Donnellan, S., Dörscher, S., Fordell, T., Gerginov, V., Gersl, J., Gill, P., Grebing, C., Guéna, J., Häfner, S., Hill, I. R., Hobson, R., Huang, G., Huntemann, N., Jones, J. M., King, S. A., Klein, H. A., Lamb, A., Le Coq, Y., Le Targat, R., Leute, J., Lindvall, T., Lipphardt, B., Lodewyck, J., Menchetti, M., Merimaa, M., Mura, A., Nicolodi, D., Nisbet-Jones, P. B. R., Ozimek, F., Peik, E., Pizzocaro, M., Piester, D., Riedel, F., Robyr, J.-L., Rolland, A., Rosenbusch, P., Rovera, D., Rust, F., Sanner, C., Sesia, I., Shemar, S. L., Shi, C., Sterr, U., Szymaniec, K., Tamm, C., Timmen, L., Vogt, S., Voigt, C., Wallin, A. E., Weyers, S., Whibberley, P. B. (2016): Towards international timescales with optical clocks. First Joint Comm. 2 and IGFS Meeting, Internat. Symp. on Gravity, Geoid and Height Systems 2016, GGHS2016, Thessaloniki, Greece, 19 23 September (Poster).
- Müller, J. (2016): The benefit of clock measurements for gravity field applications. 609. WE-Heraeus-Seminar on "Relativistic Geodesy: Foundations and Applications", Bad Honnef, 18.03.
- Müller, J. (2016): Standing Committee on Satellite Missions status report. GGOS Meeting, Wien, 20.04.

- Müller, J., Hofmann, F. (2016): Lunar Laser Ranging simulations -. PLATO Meeting, Wien, 21.04.
- Müller, J. (2016): LLR status report 2016. ILRS/AWG Meeting, Wien, 22.04.
- Müller, J. (2016): Erdmessung mit Quanten und Relativität. BWG Gauß-Kolloquium, Braunschweig, 29.04.
- Müller, J. (2016): Earth observation using space geodetic techniques. Geo-Q Lecture Week, Mardorf, 20. Juni.
- Müller, J., Flury, J.(2016): New concepts for Earth observation based on quantum optics and relativity. GGHS Meeting, Thessaloniki, 20. September.
- Müller, J. (2016): Gravity Modeling. Meeting des geo-Q Scientific Advisory Boards, Hannover, 03.10.
- Müller, J. (2016): Height Systems and Clock Measurements. Geo-Q Meeting on Terrestrial Geodesy, Hannover, 01. November.
- Müller, J., Flury, J. (2016): Novel Earth observation based on quantum optics and relativity. AGU Fall Meeting, San Francisco, 16. Dezember.
- Naeimi, M., Flury, J. (2016): A new approach to the regularization of regional gravity field in SRBF, European Geosciences Union, General Assembly 2016. Vienna, Austria, 17-22 April.
- Naeimi, M., MDC Team (2016): Introducing data analysis challenges for GRACE and GRACE Followon, AGU Fall meeting, 12-16 December, San Francisco, USA.
- Ren L., Schön S. (2016): Swarm GPS Receiver Performance under the Influence of Ionospheric Scintillation, Poster, EGU General Assembly 2016, Vienna, Austria, 17-22. April (Poster).
- Ren L., Schön S. (2016): GPS-based Kinematic Orbit Determination of Swarm Satellites under the Influence of Ionospheric Scintillation, First SPP1788 Colloquium, Bonn, Germany, 27-29. Juni (Vortrag).
- Ren L., Schön S. (2016): Absolute and Relative Kinematic Orbit Determination for Swarm Satellites, Geodetic Week 2016, Hamburg, Germany, 11-13. Oktober (Poster).
- Ren L., Schön S. (2016): Swarm GPS Receiver Performance and Kinematic Orbit Determination under the Influence of Ionospheric Scintillation, Navitec, Noordwijk, Netherlands, 14-16. Dezember (Vortrag).
- Ren, L, Schön, S. (2016): Insights from absolute and relative kinematic orbit determination for Swarm satellites, ESA Swarm Meeting Edinburgh, 27. September.
- Ruwisch, F., Kersten, T., Schön, S. (2016): GNSS-Doppeldifferenzanalyse für urbane Monitoring-Ansätze, Geodätische Woche 2016, 11.-13. Oktober, Hamburg (Poster).
- Schilling, M., Timmen, L. (2016): Das Schwerefeld in Kraft- und Beschleunigungsmesseinrichtungen, Vortrag, Geodätische Woche, 11.-13. Oktober, Hamburg.
- Schilling, M., Schlippert, D., Schubert, C., Wodey, E., Meiners, C., Ertmer, W., Rasel, E.M., Müller, J. (2016): Estimating the gravity field impact on a 10 meter atom interferometer, Poster, AGU Fall-meeting, 12.-16. Dezember, San Francisco.
- Shabanloui, A., Müller, J. (2016): Constraining GRACE mass variations in the Siberian permafrost region based on combined Satellite Altimetry and Satellite Imagery data. ESA Living Planet, Prague, Czech Republic.
- Shabanloui, A. (2016): Geokineamtics and Geodynamics. SFB lecture week 2, Juni, Mardorf.
- Shabanloui, A. (2016): Siberian Permafrost Variations Monitoring with Geodetic Sensors. Presented at FI:GEO Meeting, Hannover.
- Shabanloui, A., Müller, J. (2016): A New Graphical User Interface (GUI)) Tool for Estimation and Visualisation of Mass Variations Based on GRACE L2 P Products. 1st Joint Commission 2 and IGFS Meeting, International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems, Thessaloniki, Greece.
- Shabanloui, A., Kröger, A.V., Müller, J. (2016): Mass Variations in the Permafrost region of China based on GRACE and Complementary Hydrological Results. 1st Joint Commission 2 and IGFS Meeting, International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems, Thessaloniki, Greece.
- Siemes, Chr., Grunwaldt, L., Peresty, R., Kraus, J., Doornbos, E., Encarnacao, J., van den IJssel, J., Flury, J., Apelbaum, G., Olsen, P. E. H. (2016): Improvements of the Swarm Accelerometer Data Processing, Living Planet Symposium, Prague, Czech Republic, 9-13 May (Poster).
- Svitlov, S. (2016): On vibration effect and compensation in the corner-cube and atom absolute gravimeters (talk on the IfE scientific seminar 28.04.).
- Svitlov, S., Apelbaum G., Douch K., Rotter D., Flury J., Siemes Ch. (2016): Swarm accelerometer characterization and signal processing, the First SPP-1788 *DynamicEarth* Colloquium, Bonn, 27.-29.06. (Poster).

- Svitlov, S., Araya, A., Tamura, Y., Tsubokawa, T. (2016): Laser interferometry in absolute gravimeters: signal processing and error analysis (talk on the ERI (the University of Tokyo, Japan) scientific seminar 20. Oktober).
- Timmen, L., Arzate, J., Esparza, A., Schilling, M. (2016): Absolutgravimetrie in Mexiko 2015/2016: der Jalisco Block, Vortrag, Herbsttagung des Arbeitskreises Geodäsie/Geophysik, Annweiler am Trifels, 26. Oktober.
- Vogt, S., Grotti, J., Koller, S., Häfner, S., Herbers, S., Al-Masoudi, A., Grosche, G., Denker, H., Sterr, U., Lisdat, C. (2016): Using a transportable optical clock for chronometric levelling. EGU General Assembly 2016, Vienna, Austria, 17.–22. April.
- Voigt, C., Denker, H., Timmen, L. (2016): Time-variable components of the gravity potential field. Optical clocks: quantum engineering and international timekeeping, Workshop, Joint EMRP project consortia: ITOC & QESOCAS, University of York, United Kingdom, 08 April (Poster).
- Wallat, C., Schön, S. (2016): On the feasibility of phase only PPP for kinematic LEO orbits, EGU General Assembly, Vienna, Geophysical Research Abstracts, Vol. 18, EGU2016-16142.
- Wallat, C., Schön, S. (2016): Trägerphasenbasierte kinematische Orbitbestimmung erdnaher Satelliten, Geodätische Woche, 11.-13.10., Hamburg.