

INSTITUT FÜR ERDMESSUNG
LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER
JAHRESBERICHT 2015



1. INSTITUTSARBEITEN, FORSCHUNGSPROJEKTE

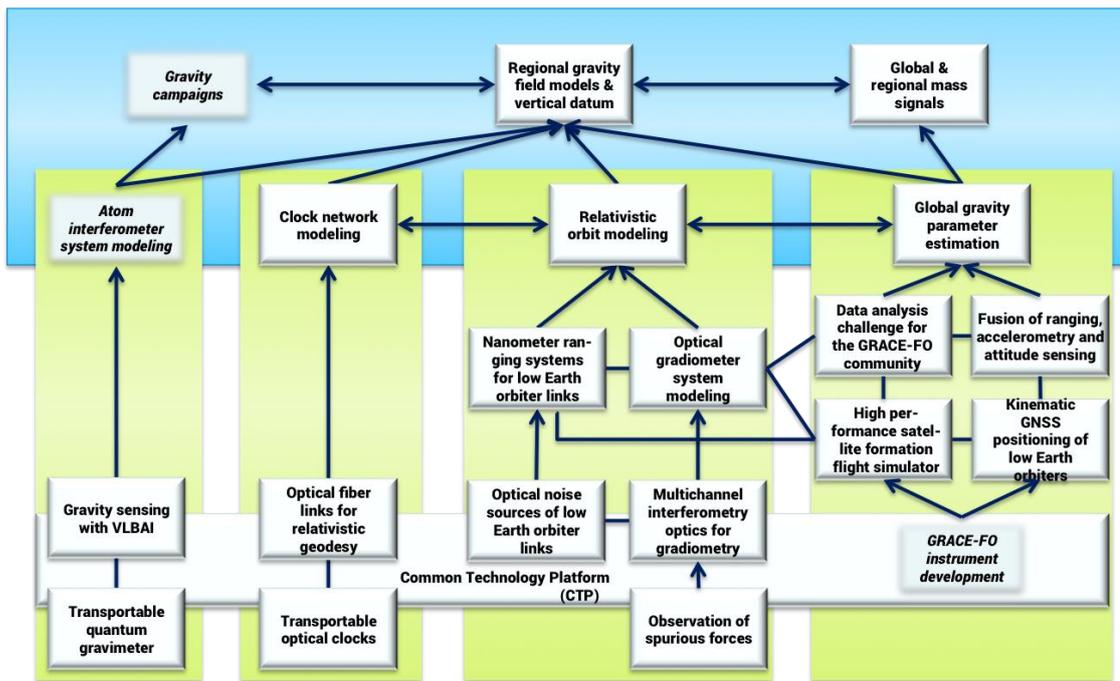
SONDERFORSCHUNGSBEREICH SFB 1128 RELATIVISTISCHE GEODÄSIE UND GRAVIMETRISCHE QUANTENSENSOREN (GEO-Q)

Nach der Einrichtung zum 1.10.2014 war 2015 das erste volle Jahr des SFB 1128 geo-Q. Die etwa 80 SFB-Mitglieder hatten bei der zweitägigen Kick-Off-Konferenz im Februar im Bremer Tagungshotel elements pure ausgiebig Gelegenheit zum gegenseitigen Kennenlernen und für den wissenschaftlichen Austausch. Prof. Joachim Escher (Vizepräsident für Personalentwicklung) begrüßte die Teilnehmer im Namen des Präsidiums der LUH. Als Gäste sprachen eine Reihe prominenter internationaler Wissenschaftler aus Geodäsie und Physik:

- Pete Bender, JILA, University of Colorado, USA
- Frank Flechtner, GFZ Potsdam
- Felipe Guzman, NIST, Washington, USA
- Urs Hugentobler, TU München
- Mark Kasevich, Stanford University, USA
- Hansjörg Kutterer, BKG, Frankfurt
- Torsten Mayer-Gürr, TU Graz, Österreich
- Ulrich Schreiber, Geodätisches Observatorium Wettzell, TU München
- Stefano Vitale, Università di Trento, Italien

Die Teilprojekte der ersten Förderperiode des SFB (bis Juni 2018) sind in der untenstehenden Tabelle und Grafik aufgeführt:

A01	Transportable Quantum Gravimeter	Müller (IfE), Rasel (IQ)
A02	Gravity sensing with very long baseline atom interferometry	Ertmer, Rasel (IQ)
A03	Transportable optical clocks for relativistic geodesy	Lisdat, Schmidt (PTB)
A04	Frequency transfer through long-distance optical fiber links for relativistic geodesy	Grosche, Schnatz (PTB)
A05	Optical noise sources of low Earth orbiter links	Heinzel, Wanner (AEI)
A06	Observation of spurious forces	Danzmann, Mehmet (AEI)
A07	Multichannel interferometry optics for gradiometry	Danzmann, Mehmet (AEI)
B02	Fusion of ranging, accelerometry, and attitude sensing in the multi-sensor system for laserinterferometric inter-satellite ranging	Flury (IfE), Heinzel (AEI)
B03	Kinematic GNSS positioning of low Earth orbiters	Schön (IfE)
B04	Data analysis challenge for the GRACE-FO community	Flury (IfE), Hewitson (AEI), List (ZARM)
B05	High performance satellite formation flight simulator	Flury (IfE), List, Rievers (ZARM)
B06	Nanometer ranging systems for low Earth orbiter links	Braxmaier (ZARM), Heinzel (AEI),
B07	System studies for an optical gradiometer mission	Heinzel (AEI), Müller (IfE)
C01	Global gravity parameter estimation	Flury (IfE)
C02	Relativistic effects in satellite constellations	Hackmann, Lämmerzahl (ZARM), Mai (IfE)
C03	Clock network modeling	Lämmerzahl (ZARM) Müller (IfE)
C04	Regional gravity field modeling & relativistic geodesy	Denker (IfE)
C05	Modeling of mass variations down to small scales	Gitlein, Müller (IfE)



**SFB 1128 TEILPROJEKTE DER ERSTEN FÖRDERPERIODE, ZUGEHÖRIGKEIT
ZU PROJEKTGRUPPEN UND PROJEKTÜBERGREIFENDE VERBINDUNGEN**

Die Zusammenarbeit im SFB findet u.a. in regelmäßigen projektübergreifenden Meetings statt, z.B. zur Satellitengravimetrie, zur terrestrischen Geodäsie und in der Common Technology Platform.

Ein wissenschaftliches Highlight im SFB war im März der erste rein optische Langstrecken-Frequenzvergleich zwischen den Strontium-Atomuhren der PTB Braunschweig und des Observatoire de Paris (Abteilung Systèmes de Référence Temps Espace SYRTE). Nach Berücksichtigung der relativistischen gravitativen Frequenzrotverschiebung aufgrund des Höhenunterschiedes zwischen Braunschweig und Paris betrug die relative Frequenzgenauigkeit lediglich $3 \cdot 10^{-17}$. Dies entspricht einer Unsicherheit im Höhenunterschied von 30 cm.

Anfang Oktober veranstaltete der SFB gemeinsam mit der WE Heraeus-Stiftung die Internationale Herbstschule „Global Gravity Field Modeling from Satellite-to-Satellite Tracking Data“ im Physikzentrum Bad Honnef, mit 10 der international führenden Dozenten auf diesem Gebiet und etwa 60 Teilnehmern aus allen Kontinenten (mehr dazu im Abschnitt Organisation und Symposien).

Für den SFB relevant sind die Fortschritte der Mission GRACE Follow-On. Der Start der Zwillingssatelliten ist für 2017 vorgesehen. Der Bau der Komponenten und die Integration der Plattformen (durch Airbus Friedrichshafen) sind weit fortgeschritten. Die Mission wird das erste Laserinterferometer zur Abstandmessung zwischen Satelliten (Laser ranging interferometer LRI) tragen. Das Design des LRI war am Albert-Einstein-Institut (AEI) – eines der in geo-Q involvierten Institute – entwickelt worden. Im Lauf des Jahres 2015 wurden nun die in der Industrie gefertigten LRI-Komponenten in den Labors des AEI getestet.



VERGLEICH DER STRONTIUM-GITTERATOMUHREN VON PTB UND SYRTE ÜBER PHASENSTABILISIERTE OPTISCHE KOMMUNIKATIONSFASERN. DIE VON DEN UHREN GENERIERTEN FREQUENZEN WERDEN IM DEUTSCHEN UND IM FRANZÖSISCHEN TEIL NACH UNTERSCHIEDLICHEN VERFAHREN INS RECHENZENTRUM DER UNIVERSITÄT STRASBOURG ÜBERTRAGEN; DORT FINDET DIE FREQUENZVERGLEICHSMESSUNG STATT (BILD: C. LISDAT, PTB)

In diesem Zusammenhang ist auch die am 3. Dezember 2015 zum Lagrange-Punkt L1 des Sonne-Erde-Systems gestartete Mission LISA Pathfinder zu nennen. Der Satellit trägt ein am AEI entwickeltes komplexes Laserinterferometer, das Abstandsänderungen zwischen zwei im Abstand von 38 cm schwebenden Testmassen messen wird. Damit soll die relative „geodätische Bewegung“ (geodesic motion) der beiden Testmassen mit einem Rauschniveau von lediglich einigen Picometern bestimmt werden und die Auslesung der Position der Testmassen in dieser Genauigkeit untersucht werden. Das Messsystem testet damit wichtige Komponenten für zukünftige Missionen für die Gravitationswellenastronomie. Es kann aber gleichzeitig als optisches Gravitations-Gradiometer betrachtet werden. Erkenntnisse aus der Mission werden nützlich sein, um in geo-Q die Anwendbarkeit ähnlicher Konzepte in Erdorbits für die Schwerefeldbestimmung zu untersuchen (siehe Beitrag K. Douch). Der Satellit wird im Februar 2016 den Lagrange-Punkt L1 erreichen, wo die wissenschaftliche Mission beginnen wird.

Am 27. Januar fand die Grundsteinlegung des Forschungsneubaus Hannover Institut für Technologie (HITec) auf dem Gelände des bisherigen Parkplatzes vor der „Kaserne“ in der Callinstraße statt. Nach der für Ende 2016 geplanten Fertigstellung werden dort eine Reihe von Experimenten aus geo-Q einziehen, u.a. die 10 m hohe Atomfontäne zur Very Long Baseline Atom Interferometry (VLBAI), ein Torsionspendel, um die picometergenaue Interferometrie mit mehreren Testmassen zu erforschen, ein Gravimeterlabor sowie Uhrenlabore.



BAUSTELLE DES HANNOVER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (HITec) IN DER CALLINSTRASSE IM JANUAR 2016, AUFGENOMMEN VOM UNIVERSITÄTSHOCHHAUS. IM ROTEN VIERECK IM VORDERGRUND LINKS ENTSTEHT DER EINSTEIN-ELEVATOR, EIN TEILWEISE IM BODEN EINGELASSENER FALLTURM FÜR EXPERIMENTE IN MIKROGRAVITATION

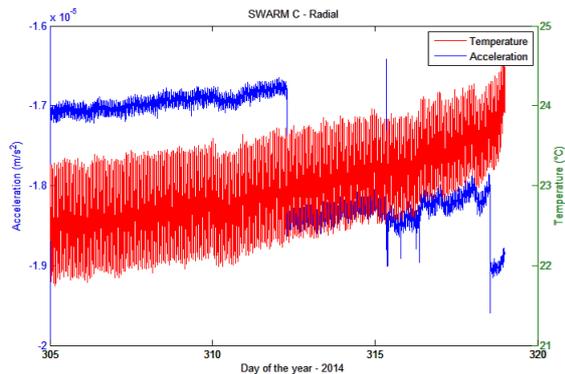
Als Aktivität über die reine Wissenschaft hinaus und um die Themen von geo-Q in die allgemeine Öffentlichkeit zu bringen, wurde eine Zusammenarbeit mit einer Gruppe von Künstlern aus ganz Deutschland ins Leben gerufen. Das Projekt mit dem Titel „Q[‘kju:]“ wird vom Verein Kunst und Begegnung Hermannshof in Völksen am Deister (Leitung Eckhart Liss) koordiniert. Die Künstler haben 2015 wiederholt die Labore von geo-Q besucht – insbesondere am AEI, bei der PTB und am Institut für Quantenoptik –, und es fanden gemeinsame „Laborientage“ zum Austausch zwischen Künstlern und Wissenschaftlern statt. Als erstes Ergebnis wurde am 25. November zur Feier des 100. Jahrestages der Erstveröffentlichung der Allgemeinen Relativitätstheorie durch Albert Einstein eine öffentliche Veranstaltung im Lichthof der LUH durchgeführt, ein „Parcours zwischen Kunst und Wissenschaft“, bei dem künstlerische Arbeiten gemeinsam mit wissenschaftlichen Kurzvorträgen präsentiert wurden. Die künstlerischen Arbeiten reichten vom eigens für den Anlass komponierten Musikstück „Foreboding“ für 4 Waldhörner bis zu den akustisch erlebbar gemachten Einstein’schen Feldgleichungen.

Der SFB wird von einem internationalen Scientific Advisory Board (SAB) wissenschaftlich beraten. Die Mitglieder des SAB (Michael Watkins, University of Texas; Richard Biancale, Centre National d’Études Spatiales; Stefano Vitale, Universität Trento; Harald Schuh, GFZ; Arnaud Landragin, SYRTE/Observatoire de Paris) trafen sich im November zum ersten Meeting in Hannover. Weitere internationale Gäste des SFB im Jahr 2015 waren Byron Tapley, Srinivas Bettadpur und Franck Pereira dos Santos. Der SFB selbst präsentierte aktuelle Themen und Ergebnisse auf großen Konferenzen wie der Tagung International Frequency Control Symposium – European Frequency Transfer Forum (IFCS-EFTF) in Denver, der IUGG General Assembly in Prag, dem 8. Symposium on Frequency Standards and Metrology, und dem AGU Fall Meeting in San Francisco.

SENSOR FUSION FOR GRACE FOLLOW-ON (DFG, GEO-Q, SANTOSKUMAR BURLA)

To get a better understanding of space accelerometers, GRACE and SWARM accelerometers data are analyzed. Although both accelerometers data have some similar anomalies, SWARM accelerometers have significant jumps in the data. An attempt to remove these jumps by means of GPS derived accelerations is done. Here, the external perturbations are also calculated to remove from the accelerometer data. But the final results have limited success due to the temperature dependency on the accelerometer data. Hence, it is recommended to remove the jumps once the temperature correction is done.

Satellite controllers have effects on accelerometer data. To better understand this effects, at first different controllers are studied. The linear

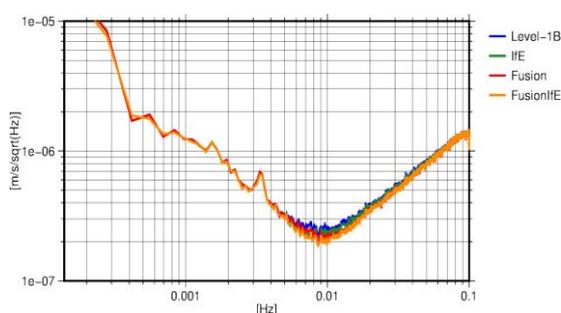


CORRELATION BETWEEN ACCELERATION AND TEMPERATURE

controllers namely PID and LQR and non-linear SDRE (State Dependent Riccati Equation) controllers are analyzed when external perturbations acting on the satellite. LQR controller has shown better performance than PID controller but when the LQR is away from the linearization point, the performance is not better than the SDRE. I have regularly participated in Global Gravity Field Recovery (GFR) group meetings and provided some inputs for this group.

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

When sets of global gravity field parameters are estimated from data sets of inter-satellite ranging measurements from GRACE, the post-fit measurement residuals obtained at the involved analysis centers still exceed the expected level considerably. The post-fit residuals are particularly large for spectral components in the mHz band where they exceed the expected influence of sensor noise by one order of magnitude. This frequency band is particularly important for time-variable gravity and mass variations. For further improvement of gravity field results, it is needed to disentangle and understand the sources of residuals. 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 and system modeling errors, such as uncertainties in star camera alignments and in phase center position calibrations, as well



THE POWER SPECTRAL DENSITY OF POST-FIT RANGE-RATE RESIDUALS COMPUTED FROM THE FOUR DIFFERENT GRAVITY FIELD SOLUTIONS. 1. OFFICIAL LEVEL-1B JPL, 2. IFE IS REPROCESSED AT IFE, 3. FUSION: REPROCESSED AT TU GRAZ, 4. FUSION AT IFE

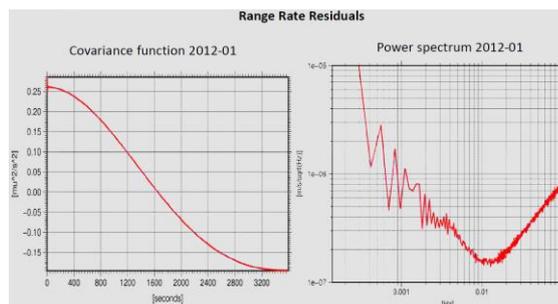
as environmental disturbances, and geophysical aliasing due to under sampling of rapid mass variations.

We will improve the understanding of systematic errors and disturbances and will develop an advanced covariance stochastic modeling for the parameter estimation that reflects the complex properties of error contributions. 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.

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

Ms. Behzadpour has been working on the C01 project together with Prof. Mayer-Gürr in Graz. A summary of the work progress is as follows:

She studied different gravity field solution methods with main focus on the integral equation approach and getting acquainted with the GROOPS (Gravity Recovery Object Oriented Programming System) software package, developed at Institute of Geodesy of TU Graz. Furthermore, she did an estimation of the unconstrained monthly solutions and daily solutions by means of Kalman filtering for the second half of the year 2014 for ITSG-Grace 2014 model. In addition, she got acquainted with the recent developed stochastic model by Torsten Mayer-Gürr. In this method, in addition to the K-band and POD observations, the linearized observation equations are also set up for the accelerometer data. This method shows some improvements in estimation of the spherical harmonics coefficients, but in this case there is a strong correlation between the observations, and the complexity that it caused, affected the implementation of the method. Moreover, a study on regression diagnostics using residual analysis is carried out.



THE COVARIANCE FUNCTION AND THE POWER SPECTRUM OF THE RANGE RATE RESIDUALS

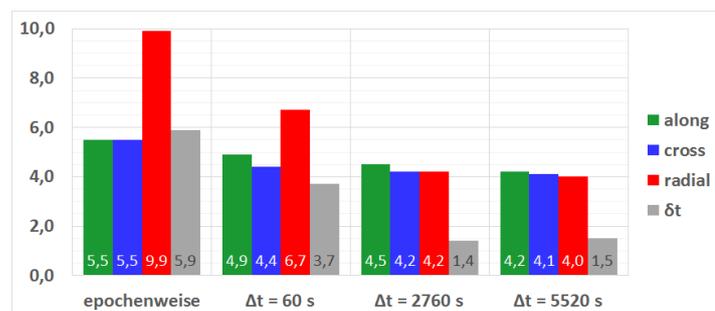
The main idea is to check how good the model is fitted by checking the normality and homogeneity of variance of the residuals. Checking these assumptions for the range rate and accelerometers residuals, it has been concluded that one of the major problems in the range rate observations is the outliers in the data.

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

Im Rahmen des SFB 1128 geo-Q ist das Thema des Projekts B03 die Positionierung von Low Earth Orbitern (LEO) zu verbessern. Die dreidimensionalen Koordinaten aus kinematischen Orbits dieser tieffliegenden Satelliten sind Voraussetzung, um aus weiteren Sensordaten das Erdschwerefeld zu bestimmen. Neben Sternkameradaten für die Orientierung des Satelliten sind GNSS-Beobachtungen, welche an Bord des Satelliten empfangen werden, Grundlage für die Orbitbestimmung. Der Forschungsansatz ist, dass durch weltraumtaugliche Atomuhren an Bord der Erdbeobachtungssatelliten, die bereits vom terrestrischen Fall bekannte GNSS-Empfängeruhrmodellierung hier ebenfalls realisierbar ist. Vorteile sind die Stabilisierung der Beobachtungsgeometrie (geringere DOP-Werte), die Dekorrelation der radialen Orbitkoordinate vom Empfängeruhrfehler und dessen präziserer Bestimmung.

Über ein kinematisches Precise Point Positioning (PPP) anhand von ionosphärenfreien Linearkombinationen für Code- und Trägerphasenmessungen, und gegenüber dem terrestrischen Fall angepassten Fehlerkorrekturen, kann die Empfängeruhrmodellierung in einem Extended Kalman Filter (EKF) oder einem Least-Squares Adjustment (LSA) angewendet werden.

Anhand von Simulationen können für den Fall der GRACE-Satelliten PPP-Lösungen berechnet werden, bei denen die Stabilität der Atomuhr beliebig gewählt werden kann. So zeigt die Abbildung, dass die mittlere formale Standardabweichung der radialen Koordinate (rot) von 9,9 mm für eine epochenweise Schätzung des Empfängeruhrfehlers auf bis zu 4,0 mm verbessert werden kann, wenn ein LSA mit der Uhrstabilität eines Aktiven Wasserstoff-Masers berechnet wird. Die mittlere formale Standardabweichung des Empfängeruhrfehlers δt (grau) kann sogar noch deutlicher verbessert werden.



GRACE B: MITTLERE FORMALE STANDARDABWEICHUNGEN KINEMATISCHER ORBITKOORDINATEN IN MILLIMETER FÜR VERSCHIEDEN LANGE UHRMODELLIERUNGSINTERVALLE

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

Entfernungsmessungen zwischen Satelliten sind heute mit einer Genauigkeit von bis zu 10nm möglich. Bei dieser hohen Genauigkeit ist es erforderlich relativistische Effekte in der Bahn- und Zeitbestimmung sowie der Signalausbreitung zu berücksichtigen. Für die Bahnbestimmung muss geklärt werden, ob deren post-Newton'sche Approximation für die hochgenauen experimentellen Möglichkeiten ausreichend ist. Dazu wird in einem ersten Schritt das Schwarzschild-Problem betrachtet. Einerseits können hier Satellitenbahnen rein numerisch berechnet werden. Andererseits kann mit Hilfe von Lie-Reihen eine semi-analytische Berechnung durchgeführt werden. Da für das Schwarzschild-Problem auch eine analytische Lösung vorliegt, wird diese ebenfalls zum Vergleich der Ergebnisse herangezogen. Ziel ist es, zuerst die Abweichungen zwischen den jeweils berechneten Satellitenorbits zu ermitteln. Danach wird die semi-analytische Lösung unter Ausnutzung des parallelen Rechnens möglichst effizient implementiert, um zukünftig auch den Einfluss anderer relativistischer Effekte auf Satellitenbahnen berechnen zu können.

REGIONAL GRAVITY FIELD MODELING & RELATIVISTIC GEODESY (DFG, GEO-Q, DR.-ING. MIAO LIN, DR.-ING. HEINER DENKER)

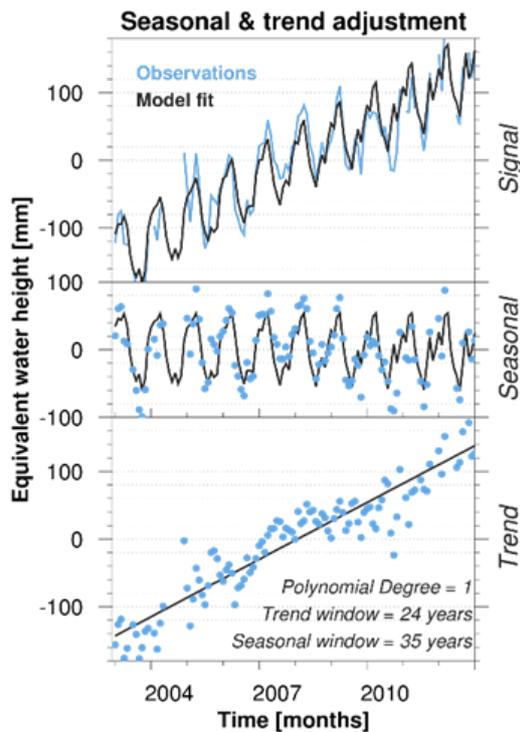
The accurate modeling of topographic and atmospheric effects is crucial for regional geoid and quasigeoid computations. Therefore one focus in subproject C04 is the refined computation of these gravitational effects based on spherical tesseroids instead of rectangular prisms used so far. As no complete analytical solution exists for the tesseroid elements, several numerical approaches were investigated, involving the 2D and 3D Gauss-Legendre quadrature (GLQ) as well as Taylor series expansions. Numerical tests were carried out by comparing the tesseroid results with corresponding analytical solutions, e.g., existing for spherical rings and shells. To speed up the computations, a combined approach of 3D GLQ for the inner zone and Taylor series expansions for the outer zone appears to be optimal. After final testing, the tesseroid computation routines shall be integrated into the widely used Fortran program TC as an additional option to the standard computation based on rectangular prisms. Furthermore, preparations were also done to determine the gravity potential at the Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) in Garching to support future clock comparisons involving MPQ.

MODELING OF MASS VARIATIONS DOWN TO SMALL SCALES (DFG, GEO-Q, DR.-ING. BALAJI DEVARAJU, LARS LEBMANN)

With the advances in sensor technologies for satellite and terrestrial gravimetry, the Earth's gravity field can be observed with an increased spatial and temporal resolution. This new-age data opens up vistas in the study of small-scale geophysical effects. In order to demonstrate this, a data-driven model of small-scale mass variations for Fennoscandia is being developed within this project. It is supported by novel satellite/terrestrial gravimetric data and other ancillary geophysical data. This model will then be used to gauge the sensitivity of the satellite signals and their associated uncertainties. In addition, this model will also be helpful in constraining the small-scale geodynamic transition zone (Glacial Isostatic Adjustment forebulge)

and in understanding the changes in small hydrological basins such as the Baltic Sea.

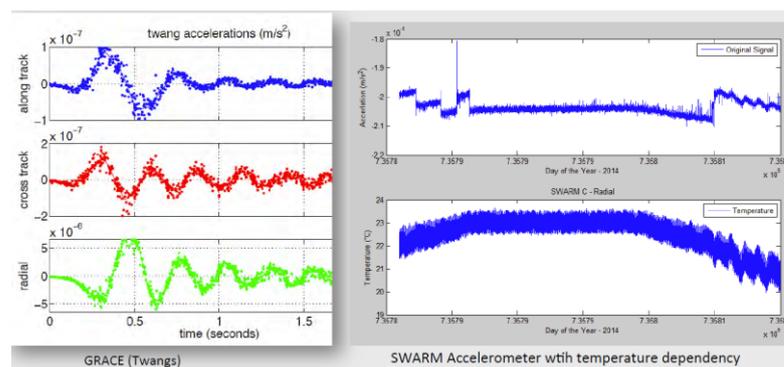
Since the gravimetric signals are integral signals of mass changes, efficient methods of signal separation have to be devised. To this end, we have investigated non-parametric methods for signal separation: Bandpass filtering and seasonal and trend adjustment by local regression (STL). All sensor systems are limited by their sampling frequency, which necessitates the proper treatment of the under sampled signals, also known as dealiasing. Currently, uncertainties in the modelling of daily atmospheric or unmodelled hydrological mass changes smear into the monthly global gravity field solutions. Ocean and climate models are used to consider these mass variations and calculate their effect on gravity. The model will also be used to investigate whether the augmentation of regional models will enable better dealiasing of gravity observations than it is currently possible.



SEPARATING THE SIGNAL INTO SEASONAL AND TREND COMPONENTS WHICH ARE TRIGGERED BY HYDROLOGY AND GLACIAL ISOSTATIC ADJUSTMENT

GENERIC HIGH PERFORMANCE SATELLITE DYNAMICS AND FORMATION FLIGHT SIMULATOR FOR MODELING GEODETIC OBSERVATIONS AND ENVIRONMENT CONDITIONS IN ORBIT; ANALYSE VON SWARM AKZELEROMETERDATEN (DFG, GEO-Q; ESA, GUY APELBAUM)

Im SFB-Projekt B05 sollen umweltbedingte Störungen in Akzelerometermessungen im Weltraum wie die „Twangs“ der Mission GRACE untersucht werden. Dazu soll der High Performance Satellite Dynamics Simulator HPS des ZARM verwendet und weiterentwickelt werden. Aufgrund der ausgeprägten umweltbedingten Störungen in den Akzelerometermessungen der drei Satelliten der Ende 2013 gestarteten Magnetfeldmission Swarm der ESA ergab sich der akute Bedarf und die Gelegenheit, die Untersuchung auf diese Messungen auszudehnen. Dabei geht es um die Aufdeckung und Korrektur zahlreicher Sprünge in den Swarm-Daten, um die Modellierung und Reduktion der ausgeprägten Temperaturabhängigkeit der gemessenen Beschleunigungen und um das Verständnis der auf den drei Satelliten sehr unterschiedlichen Akzelerometerqualität. Seit September 2015 wurden diese Arbeiten dank einer zusätzlichen Förderung im Swarm Expert Support Laboratory (ESL) der ESA intensiviert, in Kooperation mit Christian Siemes (ESA/ESTEC).



EINIGE BEOBACHTETE EFFEKTE IN GRACE UND SWARM BESCHLEUNIGUNGSMESSDATEN

Es wird erwartet, dass so die Qualität der Beschleunigungen und der daraus abgeleiteten Thermosphärendichte verbessert werden kann. Die verbesserten Daten sollen im Swarm ESL der Swarm Nutzergemeinschaft zur Verfügung gestellt werden.

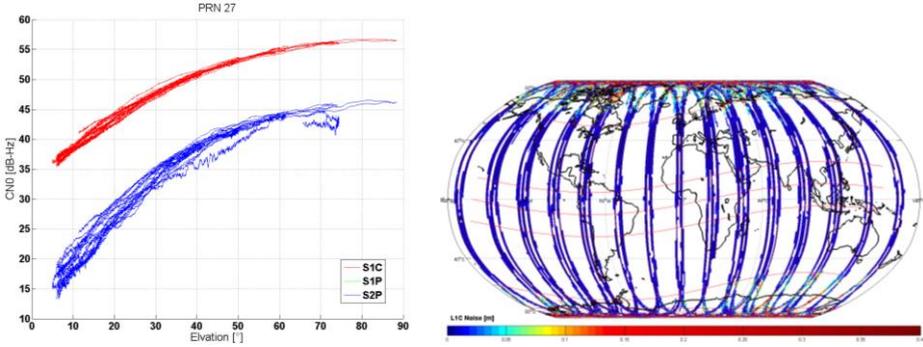
CONSISTENT OCEAN MASS TIME SERIES FROM LEO POTENTIAL FIELD MISSIONS (CONTIM), WORK PACKAGE: IMPROVED GPS DATA ANALYSIS FOR THE SWARM CONSTELLATION (DFG, LE REN)

Satellite missions are becoming more and more demanding in accuracy of absolute and relative position and attitude of a single spacecraft or a spacecraft formation, respectively.

The first objective is to understand the GPS data quality of the pendulum-like orbit of the SWARM formation flying through the highly active ionosphere layers. A second objective is to develop and implement improved absolute and relative positioning strategies for the SWARM spacecraft formation and validate them by SLR.

The current focus of the project launched in October 2015 is to assess the quality of the GPS data of the SWARM satellites. A first quality indicator is the carrier-to-noise density ratio, which indicates potential multipath contamination and diffraction as well as ionospheric scintillations. A second measure to be investigated are different observation noises. The code noise performance is assessed based on multipath combination. Due to lack of the true position of the antenna, a simple de-trending approach based on multiple differentiations of successive measurement epochs is applied for qualitative rather than quantitative evaluation of the carrier phase. Furthermore the completeness and information about cycle slips will be analyzed.

The quality measures with respect to different parameters, like e.g. time, elevation, geographic location, and others are depicted, which will help to understand their temporal and spatial evolution. The initial investigations have shown that the phase measurements are greatly disturbed around high-latitude regions.



CNO FOR PRN27 (LEFT) AND L1C NOISE (RIGHT) FOR SWARM A ON 20/04/2015

EUROPEAN GRAVITY SERVICE FOR IMPROVED EMERGENCY MANAGEMENT (EGSIEM, TAMARA BANDIKOVA)



Seit Januar 2015 ist das Institut für Erdmessung (Prof. Dr.-Ing. Jakob Flury, Dipl.-Ing. Tamara Bandikova) in dem neu gestarteten Forschungsprojekt „European Gravity Service for Improved Emergency Management (EGSIEM)“ beteiligt. Ein internationales Forschungskonsortium unter Leitung der Universität Bern (Schweiz) nutzt die satellitengenerierten Erdschwerefelddaten zur Verbesserung der Vorhersage und Kartierung von hydrologischen Extremereignissen wie z.B. großflächigen Fluten und Dürren. An dem Forscherteam sind weiter die folgenden Institute beteiligt: die Universität Luxemburg (Luxemburg), das Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., das Centre National d'Études Spatiales (Frankreich), die Géode & Cie (Frankreich) und die Technische Universität Graz (Österreich). EGSIEM ist durch das EU Horizon2020 Rahmenprogramm für Forschung und Entwicklung für den Zeitraum von 2015-2017 gefördert.

Ziel der Forschung ist es, die Datenprodukte der Schwerefeldsatellitenmission GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) zu verbessern und die Datenprozessierung zu beschleunigen, so dass die Daten innerhalb von 5 Tagen nach ihrer Aufnahme zur Verfügung stehen. Da die GRACE Daten wichtige Information über die Verteilung der gesamten Wassermengen beinhalten, kann man daraus z.B. die Grundwasservariationen oder den Sättigungsgrad des Bodens ableiten, was wichtige Indikatoren für die Überwachung der Dürren und Fluten darstellen. Durch EGSIEM soll neben der Vorhersage von Wetter- und Klimaereignissen, die generelle Anwendung von Erdschwerefelddaten in den Erd- und Umweltwissenschaften vorangetrieben und die zeitliche Auflösung der Daten verbessert werden.

Mehr Informationen unter www.egsiem.eu

GLOBAL GRAVITY FIELD RECOVERY FROM SATELLITE DATA (LAND NIEDERSACHSEN, DR.-ING. MAJID NAEIMI)

Global gravity field modeling from satellite observations is a complex and multistep process. Due to its difficulties, only a few working groups in the world are able to provide gravity field models from satellite observations. Since the beginning of the year 2015 and after approval of the Sonder-Forschungsbereich (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.

In the first phase, the team members worked on the preparation of a dynamic orbit integrator to model the trajectory of a LEO satellite as realistic as possible. To this end, all known background and force models are taken into account. Direct and indirect tidal effects, air drag and solar radiation pressure as well as non-tidal variability in the oceans and atmosphere are examples of the disturbing force models which have been used in the dynamic integration. In addition several numerical integration techniques have been successfully implemented by the group.

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.

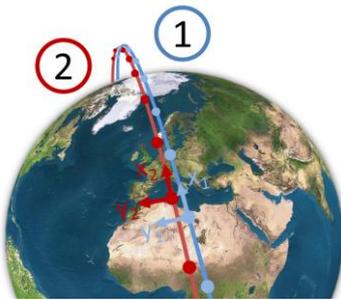
In addition, Majid Naeimi has been involved in the organization of the Wilhelm und Else Heraeus Autumn School on Global Gravity Field Modeling from Satellite-to-Satellite Tracking Data.

STUDY OF A CAI (COLD ATOM INTERFEROMETER) GRADIOMETER AND MISSION CONCEPTS (ESA, DR. KARIM DOUCH, PROF. JÜRGEN MÜLLER, DR.-ING. AKBAR SHABANLOUI)

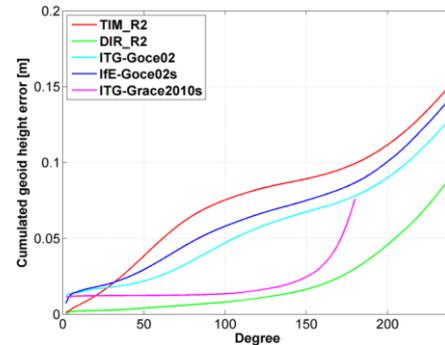
This project is led by the Paris Observatory and aims at studying the potential of cold atom interferometry for a spaceborne gravitational gradiometer. First results show that the intrinsic sensitivity of the CAI gradiometer is not good enough to map the time-varying gravitational field, therefore new scientific goals are studied. The challenging requirements for such a sensor only leave 2 possibilities for the orbit dynamics: either inertial pointing which would enable to operate 3 orthogonal gradiometer arms and thus determine the 3 diagonal elements of the GGT (Gravitational Gradient Tensor); or Earth pointing with only one sensitive gradiometer arm parallel to the satellite rotation vector. The performance of both configurations in terms of RMS error on the retrieved gravity anomaly is investigated thanks to a simulation of a 1-month measurement session.

THE GOCE MISSION – IN-ORBIT VALIDATION AND GLOBAL GRAVITY FIELD RECOVERY FROM SST-HL AND SGG DATA

ESA's gradiometry mission GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) re-entered the Earth's atmosphere in November 2013 after a highly successful operation time of more than four years. GOCE 'observations' the gravitational gradients, i.e. 2nd order derivatives of the gravitational potential are used in a variety of Earth related sciences, e.g. oceanography, geophysics, geodesy.



TWO ASCENDING COLLINEAR TRACKS ALONG WHICH GOCE GRADIENTS ARE COMPARED



CUMULATIVE GEOID HEIGHT ERRORS W.R.T. EIG-EN-6C4

IN-ORBIT VALIDATION USING COLLINEAR TRACKS (LAND NIEDER-SACHSEN, PHILLIP BRIEDEN)

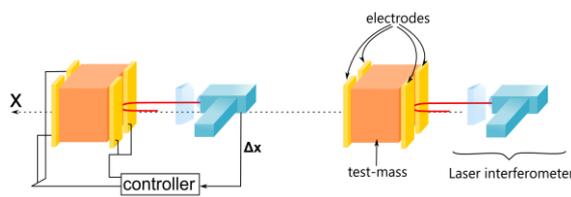
To ensure the gravitational gradient quality for geo-related analysis, dedicated validation (i.e. quality and consistency check) is performed, in which gradients are compared to each other in orbit altitude. Besides the comparison in satellite track cross-overs, gradients are compared along collinear satellite tracks – these are almost parallel and just some kilometers away from each other. Results confirm the high gradient quality with a mean RMS of less than 7 mE (1 mE = 10^{-12} 1/s²) for the important main diagonal components of the gravitational gradient tensor.

GLOBAL GRAVITY FIELD RECOVERY (CHINESE SCHOLARSHIP AND DFG, GEO-Q, HU WU)

During its lifetime, GOCE delivered hundreds of million SST-hl (satellite-to-satellite tracking high-low) and SGG (satellite gravity gradiometry) observations that are used to determine global gravity field models with high accuracy and resolution. The lE_GOCE02s model, maximum spherical harmonic degree and order of 240, is developed based on 8 months of observations. The accuracy of lE_GOCE02s is 10 cm (in terms of geoid height error) at the resolution of 100 km, which is at a comparable level with the 2nd generation of the GOCE officially published models that are computed on the same data base. Now, the whole data set will be used to develop the next-generation lE_GOCE model.

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

The success of both GOCE and GRACE missions has led to the idea of using gradiometry to recover the time-varying part of the gravitational field, with a better spatial resolution than current state-of-the-art. The computation of a realistic time-varying field has shown that the gradiometer must reach a sensitivity better than $10^{-4} E/\sqrt{\text{Hz}}$ in the 0.5-7 mHz bandwidth. Therefore the sensitivity of current best electrostatic accelerometers must be improved by a factor of 50. This can be achieved by integrating laser interferometry technology in the sensor detector. The operability of 3 different configurations of the gradiometer have been studied and a GOCE-



SCHEME OF A ONE ARM GRADIOMETER COMPOSED OF 2 ACCELEROMETERS WITH THE ULTRA-SENSITIVE AXIS ALONG X

like configuration enhanced by 6 laser interferometers has been finally selected. In this configuration, the 3 diagonal elements of the gradient tensor will be measured with a higher sensitivity and combined with the output of 3 fiber optic gyroscopes, which will yield the 3 diagonal gravitational gradients. The simulation of the full measurement process for realistic satellite conditions is in progress. This will enable to better quantify the error budget.

EINRICHTUNG EINES STATE-OF-THE-ART SCHWEREGRUNDNETZES IN MEXIKO (UNAM, CENAM, DR.-ING. LUDGER TIMMEN)

2015 wurde eine Zusammenarbeit mit dem CENAM (Centro Nacional de Metrología, Santiago de Querétaro) begonnen. Diese Zusammenarbeit wurde durch die PTB Braunschweig vermittelt und dient dem Aufbau eines nationalen Gravimetrie-Standards, welches dann auch für wissenschaftliche Zwecke und für die angewandte Gravimetrie (Exploration) zur Verfügung stehen wird. Neben dem CENAM ist das Zentrum für Geowissenschaften der mexikanischen Universität UNAM (Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México) der 2. wichtige Partner. Im der Zeit vom 19. bis 28. August wurden in Querétaro 3 neue Absolutgravimetrie Stationen in der näheren Umgebung der Stadt eingemessen. Das diente ebenfalls als Ausbildung der beteiligten 2 Wissenschaftler (von CENAM und UNAM) im Umgang mit dem neu beschafften FG5 Freifallgravimeter. Die nächste gemeinsame Messkampagne ist für Februar/März 2016 geplant.

ABSOLUTGRAVIMETRISCHE SCHWERMESSUNGEN IN DEUTSCHLAND, SCHWEDEN UND LUXEMBURG (DR.-ING. L. TIMMEN, M. SCHILLING)

Mit dem FG5X-220 Absolutgravimeter wurden 2015 Schwermessungen in nationalen Referenzstationen, im Weltraumobservatorium in Onsala/Schweden und in einer neuen Laborhalle der Universität Luxemburg durchgeführt. Im SIMULTAN-Projekt fanden erstmalig absolute Messungen in Flottbeck und Bad Frankenhausen statt.

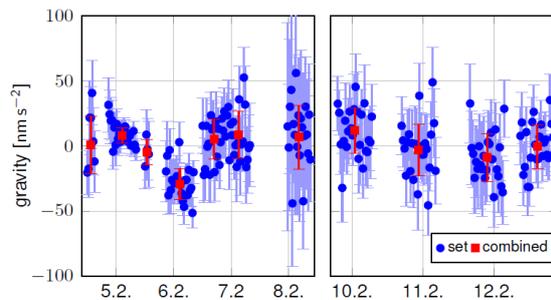
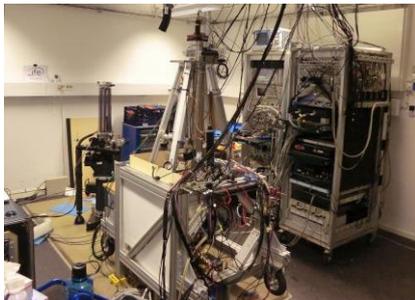
Station	Datum	Bemerkung
Onsala, Schweden (Punkte AC u. AA)	04.–12.02.15	Onsala Space Observatory, SLG-Station, Vergleich mit Atomgravimeter GAIN
PTB "Alte Gleisewaage"	04.–06.05.15	Norddeutsche Referenzstation (seit 2008, Geodynamik)
Bad Frankenhausen (Rathaus)	22.–24.06.15	SIMULTAN: Erdfallgebiet, Erstmessung
Hannover (IfE Grav.labor)	29.–31.07.15	DSGN94 4/4, Gravimeterüberprüfungen, Langzeittrend
Ruthe (Punkt 201)	03. –05.08.15	Außenlabor des IfE, Gravimeterüberprüfung, Referenzmessung Accelerometer-Experiment
Hamburg- Flottbeck (DESY)	12.–14.10.15	SIMULTAN: Erdfallgebiet, Erstmessung
Belval, Luxemburg (Punkte 2, 1, 10, 8)	09.-13.11.15	Comparison of Absolute Gravimeters, EURAMET.M.G-K2 Comparison

ÜBERWACHUNG DER LANGZEITSTABILITÄT DES FG5X-220 NACH DEM GERÄTEUPGRADE IN 2012 (LAND NIEDERSACHSEN, DR.-ING. L. TIMMEN, M. SCHILLING)

Die Messungen mit dem Absolutgravimeter FG5X-220 sind nicht von externen Referenzen abhängig. Das Gerät enthält die notwendigen Referenzen (Rubidium-Oszillator, Laser) um Messungen auf SI-Einheiten zurückzuführen. In der regelmäßigen Kontrolle des Rubidium-Oszillators zeigte sich in der zweiten Jahreshälfte einen Sprung in der Frequenz und eine Umkehr der Drift. Die Messung der Frequenz vor Messkampagnen erlaubt die Kompensation dieses Effekts. Neben der Kontrolle der internen Referenzen wurden regelmäßig Messungen an gut charakterisierten Stationen durchgeführt. Messungen in Clausthal, Onsala sowie in internationalen Vergleichen zeigten bislang keine Verschiebung des Messniveaus des aufgerüsteten FG5X-220 im Vergleich zu dem FG5-220, wie es seit 2003 im Einsatz war.

EIN MOBILES ABSOLUTGRAVIMETER NACH DEM PRINZIP DER ATOMINTERFEROMETRIE FÜR HOCHGENAUE PUNKTMESSUNGEN (DFG, MANUEL SCHILLING)

Im Rahmen der Kooperation mit der Humboldt-Universität zu Berlin wurde eine zweiwöchige Messkampagne am Onsala Space Observatory, Schweden, durchgeführt. Ziel dieser Messungen war der Test des Quantengravimeters bezüglich der Transportabilität und der direkte Vergleich mit dem Supraleitgravimeter (SG) vor Ort und dem FG5X-220. Der Vergleich mit dem SG zeigte eine Verbesserung der Sensitivität auf $1 \times 10^{-10} g$ zum letzten Vergleich mit einem SG in Wettzell. Der Unterschied zum Absolutschwerewert des FG5X-220 liegt bei $32 \pm 39 \text{ nm/s}^2$. Jahreszeitlich bedingt zeigten sich ab dem zweiten Tag in Onsala starke Störungen in der Messung durch den Anstieg der Mikroseeismik. Der resultierende Absolutschwerewert wurde hierdurch jedoch nicht beeinflusst. GAIN zeigte keine wesentliche Beeinträchtigung der Messungen. Grund hierfür sind die Verfahren zur Isolierung der inertialen Referenz, die auch für klassische Absolutgravimeter interessant in der Anwendung sind.



FG5X-220 UND GAIN IN ONSALA (LINKS), REDUZIERTE FG5X MESSUNGEN MIT STEIGENDEM EINFLUSS DER MIKROSEISMIK (RECHTS)

IMPROVED COMPENSATION OF VIBRATIONAL NOISE IN THE LASER INTERFEROMETER WITH APPLICATIONS IN ABSOLUTE GRAVIMETRY (DFG, DR.-ING. SERGIY SVITLOV)

Laser interferometry is the standard tool for accurate displacement measurements. In absolute gravimetry it implies tracking of a freely falling object in the Earth gravity field with a sub-nanometre resolution. Currently the precision of commercial absolute gravimeters is given as 10^{-9} , the accuracy however is about $1e^{-8}$. The goal of this project is to advance the accuracy of absolute gravimetry by about a factor of 10. The current limiting factor and main source of noise are unavoidable vibrations of the reference reflector in the interferometer, which attenuated with special vibration isolation systems. In this project a new concept for vibration compensation is under development and realization. In addition to the standard interferometric signal, a signal of a highly sensitive seismic accelerometer attached to the reference reflector is recorded. In contrast to similar attempts, we had previously calibrated to high precision the transfer function of the accelerometer at the SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH in Dresden. Combining signals from the interferometer and accelerometer through novel inverse filtering and correlation algorithms, a new level of accuracy can be reached. A special importance is an applicability of this concept to the absolute gravimeter based on atom interferometry. For this, common experiments with the Institute of Quantum Optics (LUH) were carried out. Furthermore, we are developing new adaptive filtering algorithms based on an original approach utilizing the time- and frequency domain analysis of an absolute gravimeter as a linear dynamic system. To prove the concept, experimental data were collected with a free-fall absolute gravimeter FG5X-220 (LUH) at different absolute gravity stations. Besides, the project envisages collaboration with the Earthquake Research Institute, the University of Tokyo (Japan) in part of improvements of both the free-fall and the rise-and-fall compact absolute gravimeters, intended for observations of volcanic activities. For this, new digital fringe signal processing methods were developed, suited for the quadrature laser interferometer with a built-in compact accelerometer used to compensate vibration disturbances. The improved accuracy of absolute gravimetry will have strong impacts on geophysics, geodesy, and fundamental metrology, towards the new definition of the kilogram.

ITOC – INTERNATIONAL TIMESCALES WITH OPTICAL CLOCKS (EUROPEAN METROLOGY RESEARCH PROGRAM EMRP, DR.-ING. HEINER DENKER, DR.-ING. LUDGER TIMMEN, DR.-ING. CHRISTIAN VOIGT)

Im Jahre 2015 wurden verschiedene Vergleiche zwischen den neuartigen optischen Uhren an den beteiligten Standorten in Europa durchgeführt, insbesondere auch zwischen der PTB in Braunschweig und dem OBSPARIS in Paris. In diesem Zusammenhang lieferte das IfE die Schwerepotentialdifferenzen zwischen den Uhrstandorten zur Berücksichtigung der relativistischen Rotverschiebung. Für angestrebte Frequenzstabilitäten und -unsicherheiten im Bereich von 10^{-18} ergeben sich Genauigkeitsanforderungen für das Schwerepotential von $0,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$, entsprechend $0,01 \text{ m}$ in der Höhe. Bei dem Uhrenvergleich zwischen Braunschweig (PTB) und Paris (OBSPARIS) über eine 1415 km lange Glasfaserverbindung konnte bisher eine Genauigkeit der optischen Uhren sowie Übereinstimmung mit geodätischen Resultaten im Bereich von 10^{-17} erzielt werden, entsprechend $0,1 \text{ m}$ in der Höhe. Dies ist etwa eine Größenordnung besser als bisherige Frequenzvergleiche und um mehrere Größenordnungen schneller als alle bisherigen Vergleiche, da bei den optischen Uhren Mittelungszeiten von nur etwa 1000 Sekunden ausreichend sind.

Neben dem dominanten statischen Anteil des Schwerepotentials müssen bei hochgenauen Uhrvergleichen auch die zeitlichen Variationen des Schwerefeldes berücksichtigt werden. Hierzu wurden alle aus Modellen bekannten zeitvariablen Effekte auf das Schwerepotential untersucht und Abschätzungen der entsprechenden Amplituden und dominierenden Zeitskalen durchgeführt. Dabei sind für reine Uhrenvergleiche nur die Effekte für Schwerepotentialdifferenzen zwischen den Uhrstandorten von Bedeutung, während jedoch für zukünftige Beiträge von optischen Uhren zu internationalen Zeitskalen (z.B. TAI, UTC) auch die absoluten (gesamten) Potentialvariationen zu berücksichtigen sind. Für alle Uhrstandorte wurden vom IfE für das gesamte Jahr 2015 Zeitreihen für die Erd- und Ozeangezeiteneffekte bereitgestellt. So betragen z.B. für einen Uhrenvergleich zwischen Braunschweig (PTB) und London (NPL) die Gezeiteneffekte der festen Erde max. etwa $1 \text{ m}^2/\text{s}^2$, die Ozeangezeiten und induzierte Auflasteffekte liefern mit bis zu 12% der festen Erdgezeiten den zweitgrößten Anteil, während alle weiteren Beiträge, beispielsweise aufgrund von nicht-gezeitenbedingten Massenverlagerungen in Atmosphäre, Ozean und kontinentaler Wasserspeicherung, üblicherweise unterhalb von $\pm 0,1 \text{ m}^2/\text{s}^2$ verbleiben.

EUROPÄISCHES GRAVIMETRISCHES (QUASI)GEOID 2015 (EGG2015) (DR.-ING. HEINER DENKER)

Im Jahre 2015 wurde ein vollständig aufdatiertes Quasigeoidmodell (EGG2015) für das gesamte Europa erstellt. Die Grundlage bildeten wiederum hochauflösende Punkt- und einige mittlere Schwerewerte, altimetrische Daten, digitale Geländemodelle mit einer Basisauflösung von 3" x 3" (etwa 90 m) sowie das globale Schwerefeldmodell GOCO-C05S basierend auf GOCE und GRACE Satellitenbeobachtungen. In die Neuberechnung gingen alle neuen und aufdatierten Schwerefelddaten seit der letzten Berechnung in 2008 ein, insbesondere auch die im Zusammenhang mit dem ITOC-Uhrenprojekt vom IfE durchgeführten Schweremessungen in Deutschland (Braunschweig), Frankreich (Paris, Fréjus-Tunnel), Großbritannien (London) und Italien (Turin, Fréjus-Tunnel). Somit war auch insbesondere die Unterstützung von Vergleichen neuartiger optischer Uhren zwischen den entsprechenden Standorten eines der wesentlichen Ziele dieser Neuberechnung. Die internere Fehlerschätzung ergab eine Standardabweichung von 0.020 m für die berechneten Quasigeoidhöhen, was auch durch unabhängige Vergleiche mit GPS und Nivellement bestätigt wurde; dies gilt jedoch nur für Gebiete mit entsprechend guter Verteilung und Genauigkeit der Ausgangsdaten. Ferner wird die Berechnung europäischer Geoid- und Quasigeoidmodelle auch weiterhin durch die Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG) unterstützt; für den Zeitraum 2015 – 2019 erfolgt dies im Rahmen einer regionalen Subkommission (SC2.4a European Gravity and Geoid).

SINKHOLE INSTABILITY: INTEGRATED MULTI-SCALE MONITORING AND ANALYSIS (BMBF, PROJEKT SIMULTAN, DR.-ING. LUDGER TIMMEN)

Im SIMULTAN-Arbeitspaket 3.2 "Zeitliche Schwereänderungen" wird auch die Absolutgravimetrie (AG) des IfE eingesetzt, um zeitliche Schwereänderungen in den Erdfallgebieten Hamburg-Flottbeck und Bad Frankenhausen zu messen. 2015 wurde die Erstvermessung vorgenommen, die dann 2016 und 2017 wiederholt werden. In Flottbeck befindet sich die AG-Station auf dem Gelände des Deutschen Elektronen-Synchrotrons (DESY). In Bad Frankenhausen wird die Aktivität direkt von der Stadtverwaltung unterstützt und die Station befindet sich im historischen Keller des Rathauses.



ABSOLUTGRAVIMETRIE-STATION BAD FRANKENHAUSEN: RATHAUS

INTEGRIERTES GEODÄTISCHES ÜBERWACHUNGSKONZEPT FÜR ERDFALL-INDUZIERTER OBERFLÄCHENDEFORMATION UND MASSENUMLAGERUNG (BMBF, PROJEKT SIMULTAN, DR.-ING. TOBIAS KERSTEN)

Ziel des im Juni 2015 gestarteten und interdisziplinär ausgerichteten Verbundvorhabens SIMULTAN (Sinkhole Instability and multi scale monitoring and analysis) ist die Weiterentwicklung von Methoden zur Früherkennung von Naturgefahren in Deutschland mit speziellem Fokus auf die fachübergreifende Analyse von Erdfällen. Direkte Kooperationspartner im Arbeitspaket WP3 sind das Leibniz Institut für Angewandte Geowissenschaften sowie die Geologischen Dienste der Stadt Hamburg und des Landes Thüringen.

Bereits im August 2015 konnte in Kooperation mit den Verbundpartnern in Bad Frankenhausen und in Hamburg ein kombiniertes Nivellements- Gravimetrie und GNSS-Netz eingerichtet und Kampagnen zur Generierung der Nullepoche erfolgreich durchgeführt werden; diese Messungen werden im halbjährigen Rhythmus bis zum Ende der Projektlaufzeit im Sommer 2018 wiederholt. Besondere Herausforderungen (Abschattung, Vibrationen) bieten hierbei die Untersuchungsgebiete, welche ausschließlich im urbanen Stadtgebiet gelegen sind.

Es bestehen rege Kontakte zur Landesvermessung in Thüringen und Hamburg sowie zusätzlich zur Vermessungsabteilung MEA2 des Deutschen Elektronensynchrotrons (DESY) und der Glückauf Vermessung Sondershausen, welche geeignete Punkte für die Errichtung von lokalen Referenzstationen (Gravimetrie und GNSS) zur Verfügung stellten.



(A)



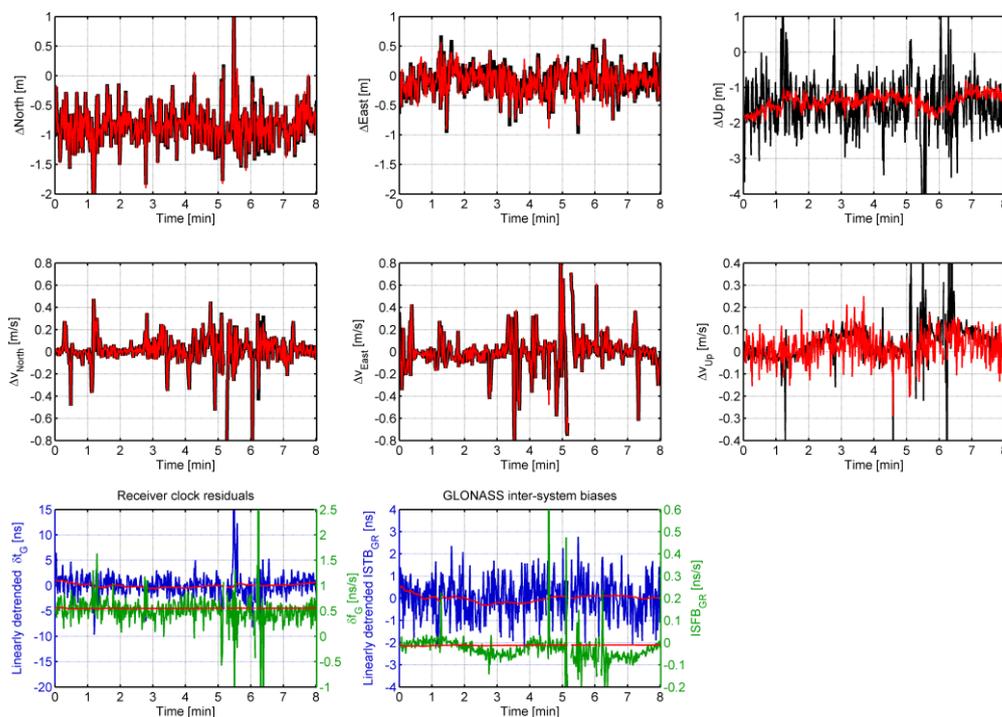
(B)

MESSPUNKT GRÜNANLAGE HAMBRUG GROß-FLOTTBEK (A), LOKALE REFERENZSTATION AUF DEM GELÄNDE DES DEUTSCHEN ELETRONSCHROTRONS (DESY) (B)

VERBESSERTE POSITIONIERUNG UND NAVIGATION DURCH UHRMODELLIERUNG (BMW/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.

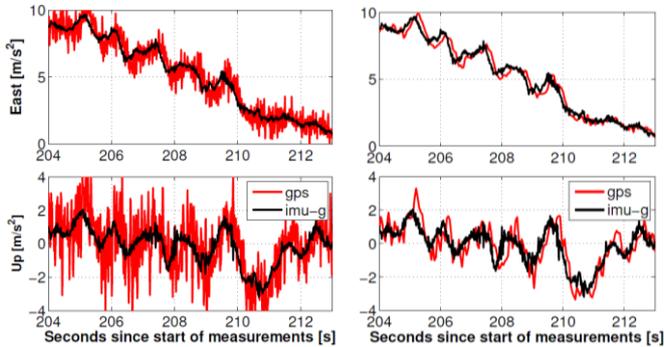
Mit den in einem ersten Praxistest im Jahr 2014 gesammelten Erfahrungen wurde im Jahr 2015 ein zweiter Praxistest auf einem Feldweg in der Nähe von Hannover durchgeführt. Hierbei wurden abermals insgesamt vier verschiedene externe Uhren – in Verbindung mit vier typgleichen GNSS-Empfängern – eingesetzt. 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-Angriffen durchgeführt. Die theoretisch zu erwartenden Vorteile der Nutzung einer hochstabilen Uhr konnten hier praktisch untermauert werden.

GESCHWINDIGKEITS- UND BESCHLEUNIGUNGS-BESTIMMUNG AUS 100Hz GPS-BE-OBSACHTUNGEN IM HOCHDYNAMISCHEN FLUG (LAND NIEDERSACHSEN, CHRISTIAN BISCHOF)



EXEMPLARISCHE OST-/HOCH-BESCHLEUNIGUNG IN DER KURVE WÄHREND EINES HOCHDYNAMISCHEN FLUGES AUS GPS- (ROT) UND IMU-MESSUNGEN (SCHWARZ), LINKS: 100Hz GPS-MESSRATE, RECHTS: 20Hz GPS-MESSRATE

Aufgrund der großen Positionsänderungen in der Flugnavigation sind hohe Update-Raten für die Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung von Interesse. Für die Flug-Gravimetrie sind zudem Beschleunigungsschätzungen aus GNSS-Trägerphasen essentiell.

Im Flugexperiment konnten die hohen Beschleunigungen gut mittels GPS abgebildet werden. Ein deutlich geringeres Rauschniveau für 20Hz im Vergleich zu 100Hz ist sichtbar. Es treten vergleichbare Latenzen gegenüber der

IMU-Beschleunigung wie im zuvor durchgeführten Rütteltisch-Experiment von ca. 0.2 Sekunden auf.

PRECISE POINT POSITIONING MIT GPS-EINFREQUENZ-EMPFÄNGERN UND DER RADOM-ANTENNE IN RAISTING FÜR DAS AUTONOME FAHREN (PPP-AF), ARBEITSPAKET RECEIVER-BIASES (BMW, DR.-ING. TOBIAS KERSTEN)

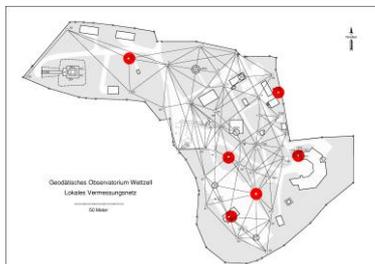
Das bis Mai 2015 laufende Arbeitspaket konzentrierte sich auf die Bestimmung der empfängerspezifischen Trägerphasen-Biases, die bei der Positionierung und Navigation mit Precise Point Positioning (PPP) einen erheblich limitierenden Einfluss ausüben. In dem Projekt wurde eine alternative Methode analysiert, um die Biases verschiedener Empfängerhersteller vergleichen zu können. Hierbei wurden die an einer Nullbasislinie und einem gemeinsamen stabilen Frequenznormal (Wasserstoff-Maser der Physikalisch Technischen Bundesanstalt, PTB) angeschlossenen, unterschiedlichen Empfänger studiert.

Die nur relativ zu bestimmenden Empfänger-Biases weisen ein stabiles und wiederholbares Verhalten auf. Herausforderungen liegen in vollständigen Signalabbrüchen, da abhängig vom Empfängerhersteller der Initiale Phasen-Bias entweder beibehalten oder aber vollständig neu aufgesetzt wird.

UNTERSUCHUNGEN DER TURBULENZ UND VERBESSERTE MODELLIERUNG DER ATMOSPHERISCHEN REFRAKTION MIT VLBI UND GNSS (DFG, FRANZISKA KUBE)

Im Rahmen des 2012 gestarteten Projektes werden kleinskalige meteorologische Phänomene (Turbulenz) untersucht, die Fluktuationen in den Phasenbeobachtungen geodätischer Raumverfahren wie VLBI oder GNSS verursachen.

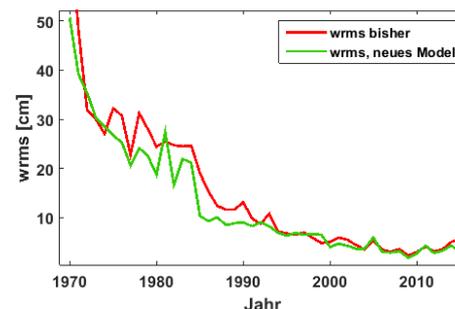
Im Februar 2015 wurde eine Messkampagne am Geodätischen Observatorium Wettzell im Bayerischen Wald durchgeführt. Auf fünf Pfeiler des geodätischen Netzes wurde an drei aufeinanderfolgenden Tagen GNSS-Beobachtungen aufgezeichnet. Gleichzeitig fanden VLBI-Messungen mit dem 20 m Radioteleskop und einem der neuen TWIN-Teleskope statt. Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Variabilität des Wasserdampfes in der Troposphäre und die daraus resultierenden Refraktionseffekte zu studieren.



VERMESSUNGSNETZ MIT PFEILERSTANDORTEN UND BLICK AUF PFEILER

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

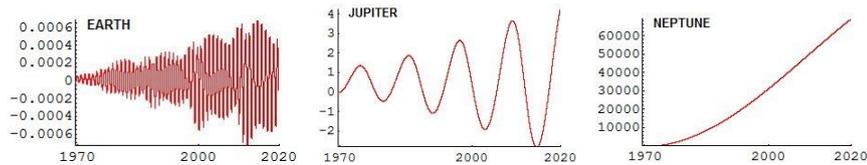
2015 begann die zweite, 3-jährige, Förderperiode des Projektes „Lunar Reference Systems“ der DFG FOR1503 „Space-Time Reference Systems“. Im Rahmen des Projektes wurde die Modellierung der externen Kräfte auf den Mond in der Ephemeridenrechnung weiter verfeinert. In den Bewegungsgleichungen werden jetzt Kopplungen der Planeten Merkur bis Saturn mit dem Mondschwerefeld bis Grad und Ordnung 2 berücksichtigt. Das Modell der Wechselwirkung zwischen dem Erd- und Mondschwerefeld wurde erweitert, sodass die Kräfte zwischen beliebigen Graden der Schwerefeldentwicklung beider Körper, sowie sekulare Veränderungen der zonalen Erdpotentialkoeffizienten berücksichtigt werden können. Die Abbildung zeigt den positiven Effekt von tlw. mehreren cm im jährlichen rms.



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

BARYZENTRISCHE EPHEMERIDEN (DFG, DR.-ING. HABIL. ENRICO MAI)

Die Modellierung moderner baryzentrischer Ephemeriden berücksichtigt zunehmend auch die gravitationelle Wirkung kleinerer Himmelskörper des Sonnensystems, wie z.B. Asteroiden. Zunächst wurde deshalb die IFE-Ephemeriden-Software, in Analogie zu etablierten Ephemeriden, um eine größere Anzahl (einige Hundert) individueller Himmelskörper des Hauptasteroidengürtels zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter ergänzt. Die Auswirkung hunderttausender weiterer Asteroiden wird effizient über ein Ringmodell berücksichtigt. Es wird untersucht, ob die Ersetzung des Rings durch eine Ringscheibe bessere Ergebnisse liefert.



TNO-RING-EINFLUSS (IN M) AUF HELIOZENTRISCHE RADIIEN VON ERDE, JUPITER, NEPTUN

In gleicher Weise werden kleine Himmelskörper jenseits der Neptunbahn (Trans-Neptun-Objekte, TNO) via eines einfachen Rings modelliert.

2. PROMOTIONEN

Dipl.-Ing. Tamara Bandikova: The role of attitude determination for inter-satellite ranging, 28.09.2015.

Referent: Prof. Dr.-Ing. Jakob Flury, Korreferenten: Prof. Dr.-Ing. Martin Horwath (TU Dresden), apl. Prof. Dr. Gerhard Heinzl.

Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) ist die erste und bislang einzige Satellitenmission, welche das sogenannte Inter-Satelliten-Ranging Verfahren, die Abstandsmessung zweier Satelliten zueinander, zur Bestimmung des statischen und zeit-variablen Erdschwerefeldes nutzt. Diese Schwerefelddaten sind für ein breites Spektrum der Geowissenschaften von größter Bedeutung, da die Informationen über die Masseverteilung und Massetransport im Erdsystem ermitteln, die mit keinem anderen Satellitenverfahren bestimmt werden können. Aus diesem Grund wird auch nach 13 erfolgreichen Jahren der Erdbeobachtung weiterhin an der Reduzierung des Rauschens der GRACE Schwerefeldmodelle gearbeitet, mit dem Ziel der maximalen Annäherung an die prädierte Genauigkeit. Eine der signifikantesten Fehlerquellen sind nicht korrigierte Fehler in den Satellitenbeobachtungsdaten. Zusammen mit den primären GRACE Messverfahren, d.h. der Mikrowellen Abstandsmessungen, präzisen Bahnbestimmung und der ultra-sensitiven Beschleunigungsmessung, die für die Schwerefeldmodellierung erforderlich sind, stellt die präzise Lagebestimmung die vierte fundamentale Beobachtung dar. Die präzise Lagebestimmung spielt eine entscheidende Rolle nicht nur für den In-Orbit Missionsbetrieb, sondern auch für die wissenschaftliche Datenverarbeitung.

Das Ziel ist eine umfassende Studie über die Lagebestimmung, die für GRACE in diesem Umfang noch nicht durchgeführt wurde, zu präsentieren. In dieser Arbeit wird eine ausführliche Analyse über die Eigenschaften und Genauigkeit der GRACE Lagebestimmungssensoren und Lageaktuatoren vorgestellt. Der Fokus liegt auf den Sternkameras, welche die primären Lagesensoren darstellen. Zusätzlich wird eine detaillierte Analyse der Eigenschaften des Inter-Satelliten-Pointings bereitgestellt. Das Inter-Satelliten-Pointing, d.h. die präzise Orientierung der GRACE Satelliten zueinander, ist eine der fundamentalen Grundvoraussetzungen für die Abstandsmessung zwischen den Satelliten. Unsere Überprüfung der Algorithmen für die Bestimmung der Pointingwinkel, welche bei dem Onboard- und Onground-Processing verwendet werden, zeigt einen großen Bias (bis zu 3 mrad) der Pointingwinkel auf. Dieses Bias wird durch Inkonsistenzen zwischen den Kalibrierungsparametern der Sternkameras und Abstandsmesser verursacht.

Des Weiteren werden hier die Ergebnisse einer vollständigen Überprüfung der Sternkameradatenprozessierung von Level-1A zu Level-1B vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf den Datenkombinationsmethoden. Diese Überprüfung wurde durchgeführt, um die Ursache des erhöhten Rauschens in den offiziellen Sternkameradaten, d.h. SCA1B Release~02, zu ermitteln. SCA1B RL02 weist ein systematisch erhöhtes Rauschen um den Faktor 3-4 auf. Die Datenanalyse zeigt, dass die Fehlerursache in der inkorrekten Implementierung der Algorithmen für die Sternkameradatenkombination in den offiziellen Verarbeitungsroutinen liegt. Zusätzlich wird der Einfluss

der Lagedatengenauigkeit auf die Missionslebensdauer dargestellt. Während der präzisen Orientierung der Satelliten zueinander wird der Treibgasverbrauch und die Anzahl der Düsenaktivierungen, welche beide zu den limitierenden Faktoren der Missionslebensdauer gehören, entscheidend durch die unterschiedliche Messgenauigkeit der Sternkameras beeinflusst.

Die Ergebnisse dieser GRACE-Datenanalyse stellen nicht nur die Grundlage für die Verbesserung der bestehenden GRACE Datenprodukten dar. Die gewonnenen Erfahrungen bieten auch wertvolle Informationen für die Entwicklung und das Design künftiger Schwerefeldsatellitenmissionen. Da die Technologie der primären Messsysteme, d.h. der Abstandsmessung, der Bahnbestimmung und der Beschleunigungsmessung stetig verbessert wird, steigen auch die Ansprüche an die Genauigkeit der Lagebestimmung stetig. Daher wird zusätzlich ein grundlegender Ansatz vorgestellt, zur Bestimmung der Anforderungen an die Messgenauigkeit der Lagebestimmungssensoren an die Genauigkeit der relevanten Kalibrierungsparameter sowie die Onboard- und Onground-Verarbeitung der Beobachtungsdaten.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe "Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover" (ISSN 0174-1454) als Heft Nr. 318 erschienen. Gleichzeitig ist die Arbeit in der Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (ISSN 0065-5325) unter der Nr. 758 online veröffentlicht (<http://www.dgk.badw.de>).

Mitberichte

Dipl.-Ing. Sebastien Guillaume, ETH Zürich: Determination of a Precise Gravity Field for the CLIC Feasibility Studies, 03.03.2015, Korreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Müller

3. LEHRE

LEHRVERANSTALTUNGEN BACHELOR IM WS 14/15 UND SS15

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'n und Mitarbeiter	3	-	1
Bachelorseminar (Projekt)	Krawinkel / Bischof / Dr. Kersten	4	-	4
Physikalische Geodäsie	Prof. Müller/ Schilling	5	2	1
Positionierung und Navigation I	Prof. Schön / Krawinkel	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 Tage	

LEHRVERANSTALTUNGEN MASTER IM WS 14/15 UND SS15

Lehrveranstaltung	Dozent / Assistent	Sem.	V	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 / Dr. Kersten u.a.	1 N	-	2
Praxisprojekt III	Bischof	3 N	-	3
Satellitenbahnberechnung (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 / Dr. Voigt	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	3 G	2	-
Geodätisches Hauptseminar / Kolloquium	Prof'n und Mitarbeiter	2 G	-	-
Schwerefeldmodellierung(W)	Dr. Denker, Dr. Voigt	3 G	2	1
Dynamik von Raumfahrzeugen (W)	Dr. Mai	3 G	2	1

(W) Wahlpflichtveranstaltung; G: Master GuG, N: Master Navigation und Umweltrobotik

BACHELOR – UND MASTERARBEITEN

BACHELORARBEITEN

ANALYSE VERSCHIEDENER REFLEKTORMATERIALIEN AUF DIE GNSS-SIGNALQUALITÄT (YANNICK BREVA, DR.-ING. TOBIAS KERSTEN)

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurden die Auswirkungen verschiedener Reflektormaterialien auf die GNSS-Signale näher analysiert. Für einen Zeitraum von 6 Tagen lagen GNSS-Daten vor, die während der Baumaßnahmen auf dem Messdach erhoben wurden. Aus diesen Daten wurde studiert, wie (1) ein Mehrwegefehler sich für die verschiedenen Reflektoroberflächen auf die GNSS-Signale auswirkt und (2) ob eine Aussage über Art des Reflektormaterials getroffen werden kann bzw. inwiefern eine Höhenänderung anhand der reflektierten Signale zu erkennen ist.

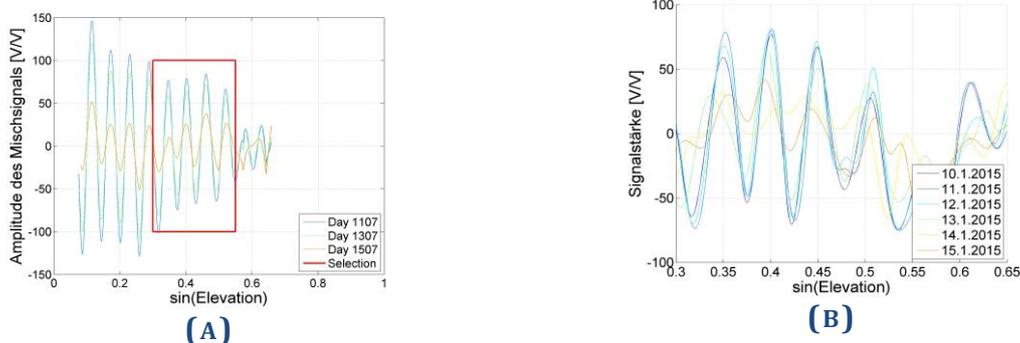


ABBILDUNG: AMPLITU DEN UND FREQUENZEN DES THEORETISCH MODELLIERTEN MISCHSIGNALS (A) UND TATSÄCHLICH GEMESSENEN MISCHSIGNALS AUF DER FREQUENZ GPS S1 (SIGNALSTÄRKE C/A-CODE)

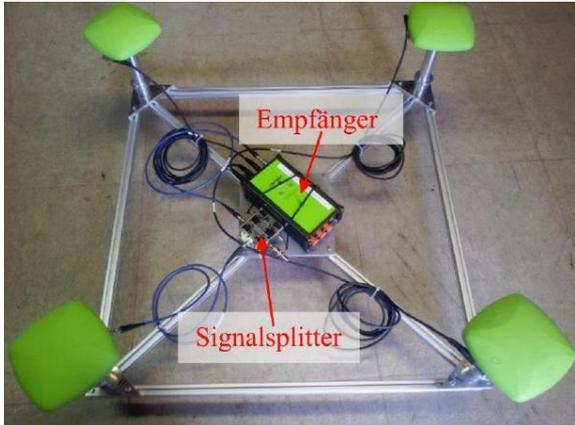
ANALYSE VON ERDBEBENPHÄNOMENEN MIT PPP UND HOCHSTABILEN OSZILLATOREN (JOHANNES KRÖGER, BETREUER: FRANZISKA KUBE)

GPS hat ein großes Potential zur Bestimmung von Erdbeben und daraus resultierenden Positionsänderungen. Im Vergleich zu Seismometern, die die Positionsänderungen während der Erdbebenwelle aus Beschleunigungsmessungen integrieren und damit an Genauigkeit verlieren, werden mit GPS direkt die Verschiebungen messbar. Bei kleineren Erdbeben gehen die Signaturen, die auf dem Durchlaufen der Oberflächenwelle beruhen, oft im Rauschen der Koordinatenzeitreihen unter. Weinbach und Schön (2015) haben unter Nutzung hochstabiler Atomuhren das Precise-Point-Positioning Verfahren so verändert, dass diese Signaturen sichtbar werden und dies für die Station Concepcion während des 2010 Erdbeben gezeigt. In der Bachelorarbeit wurde anhand von IGS-Stationen, die mit Wasserstoff-Masern ausgestattet sind, untersucht werden, inwieweit die Methodik auch auf andere Stationen und Erdbeben übertragen werden kann.

MASTERARBEITEN

UNTERSUCHUNG DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT EINES JAVAD-MEHRANTENNENEMPFÄNGERS (WERNER PAPE, BETREUER: CHRISTIAN BISCHOF, THOMAS KRAWINKEL, DR.-ING. TOBIAS KERSTEN, PROF. STEFFEN SCHÖN)

Dieses GNSS-Mehrantennensystem, das vier Antennenanschlüsse und Boards in einem Gehäuse vereint, ist geeignet um neben Position und

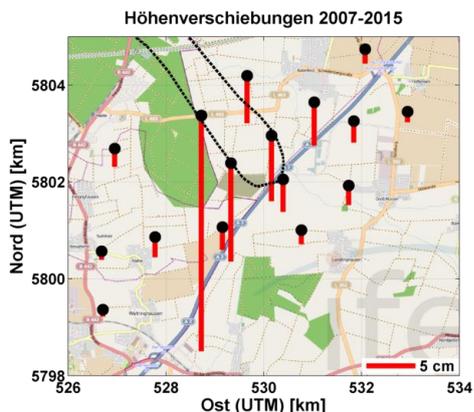
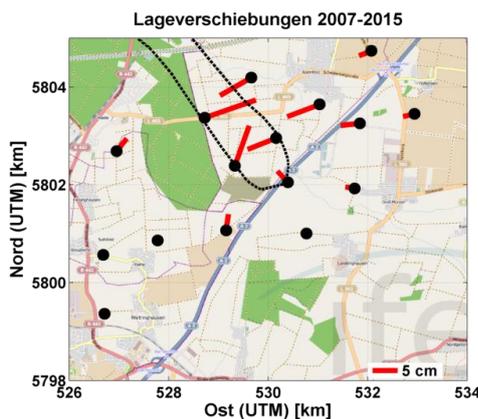


Geschwindigkeit auch Lageinformationen aus GNSS zu bestimmen. In dieser Masterarbeit wurde die dafür notwendige Basislinienberechnung mittels Einfach- sowie Doppeldifferenzen aus Trägerphasen zweier statischer Datensätze analysiert und quantifiziert. Es konnte ein zeitkonstanter, differentieller Board-Uhrfehler pro Basislinie aus Einfachdifferenzen bestimmt werden, der auf interne Kabelverzögerungen deutet.

JAVAD-MEHRANTENNEN-EMPFÄNGER MIT 4 ANTENNEN AUF DEM MESSKREUZ DES IfE.

PRAXISPROJEKT LANDESVERMESSUNG UND SCHWEREFELD (IfE): WUNSTORF.
BETREUER: THOMAS KRAWINKEL, CHRISTIAN BISCHOF, DR.-ING. LUDGER TIMMEN

Vom 20. bis 24. Juli wurde die fünfte Folgeperiode des Kontrollnetzes im Bodensenkungsgebiet bei Wunstorf gemessen. Hauptziel des Projekts war die wiederholte hochpräzise Koordinatenbestimmung trigonometrischer Punkte (TP) im Einzugsgebiet des Salzstocks Bokeloh mittels GPS-Beobachtungen. Wie in den vergangenen Jahren, wurde auch dieses Projekt in Kooperation mit dem Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN) durchgeführt. Letztgenanntes stellte dankenswerterweise acht GPS-Ausrüstungen zur Verfügung.



**LAGE- UND HÖHENVERSCHIEBUNGEN
ZWISCHEN 2007 UND 2015 IM GEBIET UM
DEN BOKELOHER SALZSTOCK (SCHWARZ
GESTRICHELTE LINIE)**

hohenverschiebungen von bis zu 1 cm bzw. 2 cm festzustellen. Der Vergleich mit der Nullepoche 2007 bestätigte das trichterförmige Bewegungsmuster der Punkte in Richtung der Mittelachse des Salzstocks sowohl in Lage als auch Höhe.

Insgesamt wurden dieses Jahr 19 Punkte in jeweils drei dreistündigen Sessions beobachtet, wobei ein Punkt als lokale Referenzstation in allen neun Sessions besetzt wurde. Weiterhin ermöglichte der Einsatz spezieller Höhenmessadapter die präzise Bestimmung der Antennenhöhen während der laufenden GPS-Messungen.

Die Datenauswertung erfolgte in der zweiten Projektwoche mithilfe der Software Leica Geo Office. Hierbei ging es darum, den Studierenden vertiefte Einblicke in die GPS-Prozessierung zu vermitteln und mit diesem Wissen eine hochpräzise Netzlösung der Messungen der Vorwoche zu generieren. Im Zuge dessen war auch die Qualitätsbeurteilung und Interpretation der Ergebnisse von großer Bedeutung. Des Weiteren wurden Detailuntersuchungen hinsichtlich verschiedener Auswertansätzen (GPS-Observable, Datumsgebung, etc.) durchgeführt. Für die finale Lösung des lokalen Netzes wurde dieses mittels der SAPOS-Station Hannover an ein übergeordnetes Netz angeschlossen, was einen Vergleich mit den Messepochen der letzten Jahre (hier: 2007, 2014) ermöglichte. Unter Berücksichtigung des Genauigkeitsniveaus der Koordinaten der jeweiligen Epochen sind im Vergleich zum Vorjahr nur für vier Punkte signifikante Lage- und Höhenverschiebungen von bis zu 1 cm bzw. 2 cm festzustellen.



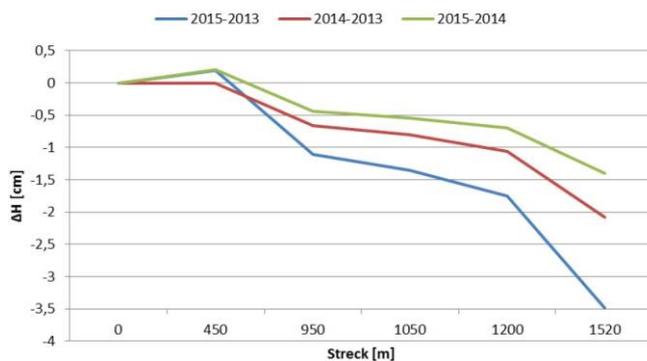
RELATIVGRAVIMETRISCHE VERMESSUNG ENTLANG DES SCHWEREPROFILS MIT DEN INSTRUMENTEN SCINTREX CG3M-4492 UND LCR G79

Parallel zu den GNSS-Aktivitäten wurde im Teilprojekt Angewandte Gravimetrie das 2013 eingerichtete Schwereüberwachungsnetz und das Bougueranomalienprofil über dem Bokeloher Salzstock gravimetrisch und z.T. auch nivellitisch wiederholt vermessen. Das lokale Überwachungsnetz enthält auch GNSS-Stationen, auf denen entweder zentrisch in 1.500 m Höhe über den TP-Platten bzw. exzentrisch wenige Meter neben den TPs mit Bezugshöhe Fahrbahndecke die Schwerebeschleunigungen bestimmt

2 cm festzustellen. Der Vergleich mit der Nullepoche 2007 bestätigte das trichterförmige Bewegungsmuster der Punkte in Richtung der Mittelachse des Salzstocks sowohl in Lage als auch Höhe.

Parallel zu den GNSS-Aktivitäten wurde im Teilprojekt Angewandte Gravimetrie das 2013 eingerichtete Schwereüberwachungsnetz und das Bougueranomalienprofil über dem Bokeloher Salzstock gravimetrisch und z.T. auch nivellitisch wiederholt vermessen. Das lokale Überwachungsnetz enthält auch GNSS-Stationen, auf denen entweder zentrisch in 1.500 m Höhe über den TP-Platten bzw. exzentrisch wenige Meter neben den TPs mit Bezugshöhe Fahrbahndecke die Schwerebeschleunigungen bestimmt wurden. Durch Nivellement wurde die geometrische Beziehung zwischen den Schwere- und den GNSS-Punkten realisiert.

Vergleich der Nivellierten Höhen



VERGLEICH NIVELLIRTER HÖHENUNTERSCHIEDE ZWISCHEN DEN EPOCHEN 2013, 2014 UN

Neben diesem Überwachungsnetz zu zeitlichen Schwereänderungen wurde über dem Bokeloher Salzstock ein Schwereprofil eingemessen. Salz weist eine geringere Dichte als herkömmliche Sedimentschichten auf, was gravimetrisch messbar ist. Alle Profilpunkte wurden höhenmäßig an unterirdisch vermarkte Höhenbolzen entlang der Linie angeschlossen. Die Verbindung zum GNSS/Schwerepunkt 6089 (TP-Platte) wurden ebenfalls nivelliert. In der Abbildung sind die aus dem Nivellement erhaltenen Höhendifferenzen des Schwereprofils dargestellt. Der Anfangspunkt der Linie wurde einfach als stabil angenommen. Zum Absenkungstrog hin ergab sich über den 2-Jahres Zeitraum eine relative Absenkung von 3.5 cm. In der Messkampagne 2016 sollte dann auch diese Absenkung in den Schweremessungen sichtbar werden.

Neben diesem Überwachungsnetz zu zeitlichen Schwereänderungen wurde über dem Bokeloher Salzstock ein Schwereprofil eingemessen. Salz weist eine geringere Dichte als herkömmliche Sedimentschichten auf, was gravimetrisch messbar ist. Alle Profilpunkte wurden höhenmäßig an unterirdisch vermarkte Höhenbolzen entlang der Linie angeschlossen. Die Verbindung zum GNSS/Schwerepunkt 6089 (TP-Platte) wurden ebenfalls nivelliert. In der Abbildung sind die aus dem Nivellement erhaltenen Höhendifferenzen des Schwereprofils dargestellt. Der Anfangspunkt der Linie wurde einfach als stabil angenommen. Zum Absenkungstrog hin ergab sich über den 2-Jahres Zeitraum eine relative Absenkung von 3.5 cm. In der Messkampagne 2016 sollte dann auch diese Absenkung in den Schweremessungen sichtbar werden.

4. PERSONELLES

MITARBEITER

- Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Müller**, 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, GRACE, European Gravity Service for Improved Emergency Management (EGSIEM)
M.Sc. Saniya Behzadpour, SFB: Globale Schwerfeldbestimmung aus GRACE Daten, in Kooperation mit TU Graz (ab 01.02.2015)
Dr.-Ing. Liliane Biskupek, SFB: Semi-Analytische Satellitenbahn-berechnung
M.Sc. Christian Bischof, GNSS-Highrate und Beschleunigungen, Bürgernahes Flugzeug
Dipl.-Ing. Phillip Brieden, GOCE und künftige Satellitenmissionen
M.Sc. Santoshkumar Burla, SFB: Sensorfusion für GRACE Follow-On
Dr.-Ing. Heiner Denker, Schwerfeldmodellierung, SFB PI
Dr.-Ing. Balaji Devaraju, SFB: De-Aliasing von Satellitenbeobachtungen
Dr. Karim Douch, SFB: Optische Gradiometrie
M.Sc. Melanie Garmann, Integrität und Navigation (ab 15.11.2015)
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, Antennenkalibrierung, Geomonitoring
M.Sc. Thomas Krawinkel, GNSS und Uhren
Dipl.-Ing. Ortwin Krüger, Technik (in Altersteilzeit seit 15.06.2012)
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, Global Gravity Field Modeling from satellite to satellite tracking data, GFR team, SFB Projects, B04, C01
Dipl.-Ing. Wolfgang Paech, Technik (in Altersteilzeit seit 01.01.2015)
M.Sc. Kim Pham, EU Projekt Längenmessung (bis 30.06.2015)

M.Sc. Le Ren, DFG Projekt zu SWARM: GPS Ionosphärenmodellierung/
kinematische Orbits (ab 01.05.2015)

M.Sc. Manuel Schilling, DFG-Projekt: Quantengravimetrie

Dr.-Ing. Akbar Shabanloui, Permafrost/Satellitengravimetrie

M.Sc. Marios Smyrnaios, GNSS, Mehrwegeeffekte (bis 31.03.2015)

Dr.-Ing. Sergei Svitlov, DFG-Projekt: Laserinterferometrie für Absolut-
gravimetrie (

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

Dr.-Ing. Christian Voigt, EMRP-Projekt: Gravity Potential for Optical
Clock Comparisons (bis 14.10.2015, danach GFZ, Potsdam)

M.Sc. Christoph Wallat, SFB: Satellitenpositionierung und Uhr-
modellierung

M.Sc. Hu Wu, Supported by China Scholarship Council (CSC), GOCE-
Analyse

FREIWILLIGES WISSENSCHAFTLICHES JAHR

Adrian Abendroth (bis 31.08.2015)

Daniel Rotter (ab 01.09.2015)

GÄSTE

Byron Tapley und **Srinivas Bettadpur**, Center for Space Research, Uni-
versity of Texas at Austin, 27.-31.01.2015

Ryosuke Nagasawa, Dept. of Astronomical Science, School of Physical
Sciences, The Graduate University for Advanced Studies (SOKENDAI),
23.-27.03.2015

EHRUNGEN

Prof. (em.) Dr.-Ing. Wolfgang Torge erhielt die Ehrenmitgliedschaft (Fel-
lowship) der International Union of Geodesy and Geophysics, Prague, 1.
July 2015

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-Comm. SC2.4a "Gravity and Geoid in Europe"

Mitglied International Gravity Field Service (IGFS) Advisory Board

Advisor International Service for the Geoid (IGS)

Korrespond. Mitglied IAG Joint Working Group JWG 2.3 "Assessment of GOCE Geopotential Models"

Müller, J.: Sprecher der GGOS Satellite Missions Working Group (seit 2015)

Mitglied im wissenschaftlichen Beirat des GFZ (seit 1.1.2011)

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 (NKG), seit Dezember 2011 NKG-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

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

Mitglied der DGK (Ausschuss Geodäsie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften) sowie in der Abteilung „Erdmessung“, seit 25.11.2015 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

Stellvertretender 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 Gephysik (AKGG)

Mitglied, IAG Working Group JWG 2.1 “Techniques and Metrology in Absolute Gravimetry”

Mitglied, IAG Working Group JWG 2.2 “Absolute Gravimetry and Absolute Gravity Reference System

5. VERÖFFENTLICHUNGEN

BEGUTACHTETE PUBLIKATIONEN

Bandikova, T. (2015): The role of attitude determination for inter-satellite ranging. Dissertation. DGK Nr. 758, ISBN 978-3-7696-5170-6.

Bischof, C., Schön, S. (2015): High-Rate GPS Velocity and Acceleration Determination in Highly Dynamic Flights, Proceedings of the 28th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+), Tampa FL, USA, September 14-18, pp. 3069 – 3076.

Devaraju, B. (2015). Understanding filtering on the sphere – Experiences from filtering GRACE data, Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C, Nr. 756, ISSN 0065-5325, ISBN 978-3-7696-5168-3.

Douch, K., Panet, I., Pajot-Métivier, G., Christophe, B., Foulon, B., Lequentrec- Lalancette, M. F., Diament, M. (2015).). Error analysis of a new planar electrostatic gravity gradiometer for airborne surveys. *Journal of Geodesy*, 89(12), 1217-1231.

Francis, O., Baumann, H., Ullrich, C., Castelein, S., Van Camp, M., de Sousa, M.A., Melhorato, R.L., Li, C., Xu, J., Su, D., Wu, S., Hu, H., Wu, K., Li, G., Li, Z., Hsieh, W.-C., Pálincás, V., Kostelecký, J., Mäkinen, J., Näränen, J., Merlet, S., Pereira Dos Santos, F., Gillot, P., Hinderer, J., Bernard, J.-D., Le Moigne, N., Fores, B., Gitlein, O., Schilling, M., Falk, R., Wilmes, H., Germak, A., Biolcati, E., Origlia, C., Iacovone, D., Baccaro, F., Mizushima, S., De Plaen, R., Klein, G., Seil, M., Radinovic, R., Sekowski, M., Dykowski, P., Choi, I.-M., Kim, M.-S., Borreguero, A., Sainz-Maza, S., Calvo, M., Engfeldt, A., Agren, J., Reudink, R., Eckl, M., van Westrum, D., Billson, R., Ellis, B. (2015): CCM.G-K2 key comparison, *Metrologia* Vol. 52 (1A), pp. 07009, IOP Publishing, DOI 10.1088/0026-1394/52/1A/07009.

Hofmann, F., Müller, J., Biskupek, L. (2015): Lunar Laser Ranging: Das Erde-Mond-System und Tests der Einstein'schen Gravitationstheorie, *zfv*, Jg. 140, S. 337-345, DOI: 10.12902/zfv-0087-2015.

Krawinkel, T., Schön, S. (2015): Benefits of receiver clock modeling in code-based GNSS applications, online first, *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), 2867-2874.

Lin, M., Denker, H., Müller, J. (2015) Regional gravity field modeling by radially optimized point masses: case studies with synthetic data. *International Association of Geodesy Symposia*, Online First: 1-7, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. doi: 10.1007/1345_2015_92.

Lorenz, C., Tourian, M.J., Devaraju, B., Sneeuw, N., Kunstmann, H. (2015). Basin-scale runoff prediction: An Ensemble Kalman Filter framework based on global hydrometeorological data sets. *Water Resources Research*, 51 (10): 8450-8475. DOI: 10.1002/2014WR016794.

Nagorny, V.D., Svitlov, S.; Araya, A. (2015): Improving absolute gravity estimates by the Lp-norm approximation of the ballistic trajectory, *Metrologia* (accepted).

Naeimi, M., Flury, J., Brieden, P. (2015): On the regularization of regional gravity field solutions in spherical radial base functions, *Geophysical Journal International*. DOI: 10.1093/gji/ggv210.

- Pollinger F., Astrua, M., Bauch, A., Bergstrand, S., Görres, B. Jokela, J., Kallio, U., Koivula, H., Kuhlmann, H., Kupko, V., Meiners-Hagen, K., Merimaa, Niemeier, W., Poutanen, N, Saraiva, F. Schön, S., van den Berg, S., Wallerand, J, Zucco M. (2015): Metrology for long distance surveying - a joint attempt to improve traceability of long distance measurements. IAG 150 Years - Proceedings of the 2013 IAG Scientific Assembly, Potsdam, Germany, 1-6 September, 2013, International Association of Geodesy Symposia, Vol. 143, Springer International Publishing Switzerland. doi:10.1007/1345_2015_154.
- Robertson, R., Flury, J., Bandikova, T., Schilling, M. (2015): Highly physical penumbra solar radiation pressure modeling with atmospheric effects, *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 123(2), 169-202, Springer Netherlands, DOI 10.1007/s10569-015-9637-0.
- Schilling, M., Gitlein, O. (2015): Accuracy Estimation of the IfE Gravimeters Micro-g LaCoste gPhone-98 and ZLS Burris Gravity Meter B-64, Proceedings of the IAG Scientific Assembly, 01.-06.09.2013, Potsdam; International Association of Geodesy Symposia Vol. 143, Chapter 29, Springer Berlin Heidelberg, DOI: 10.1007/1345_2015_29.
- Shabanloui, A., Müller, J. (2015a): Mass Variations in the Siberian Permafrost Region Based on New GRACE Results and Auxiliary Modeling. International Association of Geodesy Symposia, Springer International Publishing Switzerland 2015, and Accepted will be published in 2016.
- Shabanloui, A., Müller, J. (2015b): How reliable is the mass variation in the Siberian permafrost region as observed by GRACE? 68th Canadian Geotechnical Conference and 7th Canadian Permafrost Conference Proceedings, p. 646–651.
- Smyrniaios M., Schön, S. (2015): GNSS antenna impact on the resulting multipath effects in carrier-phase and signal amplitude. IAG 150 Years - Proceedings of the 2013 IAG Scientific Assembly, Potsdam, Germany, 1-6 September, 2013, International Association of Geodesy Symposia, Vol. 143, Springer International Publishing Switzerland. DOI: 10.1007/1345_2015_169.
- Timmen, L., Engfeldt, A, Scherneck, H.-G. (2015): Observed secular gravity trend at Onsala station with the FG5 gravimeter from Hannover, *J. Geod. Sc.*, 5:18-25, DeGruyter Open, DOI 10.1515/jogs-2015-0001.
- Torge, W. (2015): From a Regional Project to an International Organization: The “Baeyer-Helmert-Era” of the International Association of Geodesy 1862–1916, International Association of Geodesy Symposia, DOI 10.1007/1345_2015_42, Springer International Publishing Switzerland.
- Voigt, C., Denker, H. (2015): Validation of GOCE gravity field models in Germany, *Newton’s Bulletin* 5, 37-48.
- Weinbach U., Schön, S. (2015): Improved GPS-based co-seismic displacement monitoring using high-precision oscillators. *Geophysical Research Letters* 42(10):3773-3779, 10.1002/2015GL063632.

NICHT BEGUTACHTETE PUBLIKATIONEN

- Denker, H. (2015) Sub-commission 2.4a: gravity and geoid in Europe. In: Drewes, H., Hornik, H. (eds.), International Association of Geodesy, Reports 2011 – 2015, Travaux, Vol. 39, Commission 2 – Gravity Field: 37-38, http://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/Travaux2015/02_Travaux_Comm_2_2015.pdf.
- Freier, C., Hauth, M., Schkolnik, V., Leykauf, B., Schilling, M., Wziontek, H., Scherneck, H., Müller, J., Peters, A. (2015): Mobile quantum gravity sensor with unprecedented stability, arxiv.org/abs/1512.05660.
- Gabriel, G., Lindenthal, N., Schön, S., Sörgel, U., Timmen, L. (2015): Geometrische und gravimetrische Überwachung des GeneSys-Frac-Experiments, *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN)*, Heft 5, 207-218, VDE-Verlag.
- Mai, E., Oberst, J., Müller, J. (2015): Application of an evolution strategy in ephemeris force modelling. Proceedings, SpaceKazan - IAPS 2015, Kazan, 4p.
- Müller, J., Salbach, C. (2015): Die Publikationen des DVW. *gis.Business* 4.
- Müller, J., Staiger, R., Riecken, J. (2015): Geodätische Interessenswahrnehmung im internationalen Kontext - IAG - FIG - CLGE -. *gis.Business* 2.
- Müller, J., Biskupek, L., Hofmann, F. (2015): Earth Orientation and Relativity Parameters Determined from LLR Data. Proceedings of the 19th International Workshop on Laser Ranging, Annapolis, USA, 26.-31. Oktober 2014, No. 3033, 2015, Link: http://cddis.gsfc.nasa.gov/lw19/docs/2014/Papers/3033_Mueller_paper.pdf.
- Müller, J., Biskupek, L., Hofmann, F., Mai, E. (2015): Lasermaßstab bis zum Mond, *Physik Journal*, Vol. 14, Nr. 7, p. 35-40.

- Pavlis, E., Müller, J. (2015): International Laser Ranging Service (ILRS). IERS Annual Report 2014 ed. by W. Dick and D. Thaller, BKG, p. 34-45, online: www.iers.org/IERS/EN/Publications/AnnualReports/AnnualReport2014.
- Pavlis, E., Pearlman, M., Noll, C., Appleby, G., Müller, J., Bianco, G. (2015): International Laser Ranging Service (ILRS). IAG Travaux 2011-2015 (eds. H. Drewes, H. Hornik), Vol. 39.
- Schilling, M., Gitlein, O. (2015): Schwereregistrierungen mit dem Micro-g LaCoste gPhone-98 und dem ZLS Burris Gravity Meter B-64, Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (AVN), 122 (05), S. 176-183.
- Schön, S., Smyrniotis, S. (2015): Abschlussbericht zum Vorhaben BERTA: Beschreibung und Korrektur von Mehrwegeeffekten mittels Ray-Tracing und Software-Empfängern.
- Seitz, F., Müller, J. (2015): Erdrotation. Buchkapitel im Handbuch der Geodäsie (Hrsg. W. Freeden R. Rummel), Springer, Berlin, online.
- Wu, H., Müller, J., Brieden, P. (2015): The IfE global gravity field model recovered from GOCE orbit and gradiometer data. Proceedings of the 5th International GOCE User Workshop, ESA Special Publication SP-728, CD-ROM, March.

VORTRÄGE UND POSTER

- Araya, A., Sakai, H., Tamura, Y., Tsubokawa, T., Svitlov, S.: Systematic error evaluation of the compact absolute gravimeter TAG-1, the Japan Geoscience Union Meeting, Chiba, Japan, 27.05.2015 (talk).
- Bandikova, T.: Space Geodesy & opportunities in Germany, Czech Space Day, Prag, Tschechische Republik, 3.7.2015, Vortrag.
- Bandikova, T., Flury, J.: Attitude determination and its impact on the current and the future inter-satellite ranging missions, 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 26.6.2015, Vortrag.
- Biskupek L., Mai, E.: Numerical integration of the Schwarzschild problem using Lie series for the calculation of satellite orbits, Poster, 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 26.06. - 02.07.2015.
- Biskupek L., Mai E.: Numerische Integration des Schwarzschild Problems mit Hilfe von Lie-Reihen, Vortrag, Geodätische Woche, Stuttgart, 15.09.2015.
- Biskupek L., Müller, J.: Nutation coefficients and Earth rotation parameters determined from LLR data, Poster, 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 26.06. - 02.07.2015.
- Biskupek L., Müller, J.: Nutation coefficients and Earth rotation parameters determined from LLR data, Poster, Geodätische Woche, Stuttgart, 15.-17.09.2015.
- Brieden, P., Müller, J.: GOCE Gradient Transformation in the Framework of In-Orbit Validation. Vortrag auf der 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 29.06. – 02.07. 2015.
- Burla, S., Apelbaum, G., Flury, J.: Understanding the near-Earth space environment using highly accurate measurements of the geomagnetic field - A special session in honor of Hermann Lüher, EGU 2015, Vienna.
- Burla, S., Apelbaum, G., Flury, J.: GPS aided Accelerometer data for SWARM, 26th IUGG General Assembly, 22.06.- 02.07.2015, Prague, Czech Republic.
- Burla, S., Apelbaum, G., Flury, J.: SWARM accelerometer signal disturbances, poster, EGU General Assembly 12.04-17.04.2015, Vienna.
- Burla, S., Apelbaum, G., Flury, J.: GPS aided Accelerometer data for SWARM, poster, IUGG General Assembly 22.06-02.07.2015, Vienna.
- Denker, H.: A new European gravimetric (quasi)geoid EGG2015. XXVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Earth and Environmental Sciences for Future Generations, Prag, Tschechische Republik, 22.06 – 02.07.2015 (Poster).
- Denker, H.: Gravity potential for optical clocks. Lecture, OCS2015, 1st School on Optical Clocks, Torino, Italy, 29 June – 03 July 2015.
- Denker, H., Timmen, L., Voigt, C.: Gravity field modelling for optical clock comparisons. XXVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Earth and Environmental Sciences for Future Generations, Prag, Tschechische Republik, 22.06 – 02.07.2015, (Poster).
- Denker, H., Timmen, L., Voigt, C.: Gravity potential for optical clock comparisons, REG(LUH) – 30-month status report. Project “International timescales with optical clocks (ITOC)”, SIB55, European

- Metrology Research Programme (EMRP) of EURAMET, 30-month review meeting, INRIM, Torino, Italy, 26 – 27 Nov. 2015.
- Devaraju, B., Sneeuw, N.: Insights into filtering on the sphere offered by the polar form of spherical harmonics, European Geosciences Union General Assembly 2015, Vienna, Austria, 12 – 17.04.2015.
- Devaraju, B., Sneeuw, N.: On the spatial resolution of filters defined on the sphere, 26th IUGG General Assembly, Prague, Czech Republic, 22.06 – 02.07.2015.
- Douch, K.: Feasibility and performance assessment of a new gravitational gradiometer for airborne surveys, Poster, 26th General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Prague, Czech Republic, 27.06.2015.
- Douch, K., Müller, J., Brieden, P., Shabanloui, A.: Study of an optical gradiometer for future satellite gravitational missions, Vortrag, Geodätische Woche, Stuttgart, 17.09.2015.
- Flury, J., Mayer-Gürr, T., Goswami, S., Behzadpour, S.: Disentangling Gravitational Signals and Errors in Global Gravity Field Parameter Estimation from Satellite Observations", Geo-Q Kick-off Conference, Bremen, Februar 2015.
- Flury, J.: Relativistische Geodäsie und Gravimetrie mit Quantensensoren – Forschung im SFB1128 geo-Q, Geodätisches Kolloquium Uni Stuttgart, 9.1.2015.
- Flury, J.: Gravity sensing with atom interferometry, seminar talk TU Delft, 5.2.2015.
- Flury, J.: Relativistic geodesy with clocks, IFCS-EFTF Symposium, Denver, 14.4.2015.
- Flury, J.: Relativistische Geodäsie und Gravimetrie mit Quantensensoren – Forschung im SFB1128 geo-Q, BKG Kolloquium Frankfurt, 21.5.2015.
- Flury, J.: Gravitational geodesy as basis for geo-monitoring: progress in relativistic geodesy and gravimetry with quantum sensors IUGG General Assembly Prag, Tschechische Republik, 28.6.2015.
- Flury, J.: geo-Q / noise sources in GRACE-type missions Sino-German Symposium on Gravitational Physics, Hannover, 16.9.2015.
- Flury, J.: Relativistic Geodesy, 8th Symposium on Frequency Standards and Metrology, Potsdam, 13.10.2015.
- Flury, J and the geo-Q team: Gravimetry with quantum methods and quantum standards, poster AGU Fall Meeting, 15.12.2015.
- Freier, C., Schilling, M., Schkolnik, V., Hauth, M., Wziontek, H., Scherneck, H.-G., Peters, A., Müller, J.: Comparison of simultaneous gravity recordings by the gravimetric atom interferometer (GAIN), the FG5X-220 and superconducting gravimeters, Poster, 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 22.06.-02.07.2015.
- Freier, C., Hauth, M., Schkolnik, V., Leykauf, B., Schilling, M., Wziontek, H., Scherneck, H.-G., Peters, A.: Atom interferometer for mobile gravity measurements, Poster, 22nd ICOLS, Singapur, 28.06-03.07.2015.
- Goswami, S., Klinger, B., Mayer-Gürr, T., Bandikova, T., Flury, J., Naeimi, M.: Analysis of GRACE range-rate residuals with emphasis on reprocessed star camera datasets, AGU Fall Meeting, San Francisco, 14.-18.12.2015.
- Hiemer, L., Kersten, T., Schön, S.: On the Impact of GPS phase centre corrections on geodetic parameters: analytical formulation and empirical evaluation by PPP, Poster, EGU General Assembly 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-12973, Wien.
- Hofmann, F.: Status Report PN3(a) - Lunar Laser Ranging, Statusseminar der DFG Forschergruppe FOR1503, Frankfurt am Main, 12.10.2015.
- Hofmann, F., Müller, J.: The Effect of Planetary Torques on the Lunar Ephemeris and Reference Frame, 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 26.06. - 02.07.2015.
- Hofmann, F., Müller, J.: Der Mond als ausgedehnter Körper - Effekte der Planeten auf die Mondephemeride und Reflektorkoordinaten, Vortrag, Geodätische Woche 2015, Stuttgart, 15.09.2015.
- Icking, L., Ruwisch, F., Altemeier, B., Kersten, T., Krawinkel, T., Schön, S.: Evaluierung der Qualität realer Galileo- und Beidou-Signale, Geodätische Woche 2015, Stuttgart 15.09-17.09.2015.
- Kersten, T., Hiemer, L., Schön, S.: Impact of Antenna Phase Center Models: From Observation to Parameter Domain, 26th General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), 22.06. - 02.07.2015, Prag, Tschechische Republik.
- Kersten, T., Schön, S.: An alternative method for determining GPS receiver biases, Poster EGU2015-12042, EGU General Assembly 2015, Wien.

- Krawinkel, T., Schön, S.: Benefits of Receiver Clock Modeling in GNSS Navigation, Poster, 26th General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Prag, Tschechische Republik, 22.6.-2.7.2015.
- Krawinkel, T., Schön, S.: On the Benefits of Atomic Clocks in Autonomous GNSS Navigation, Vortrag, 5th Galileo Science Colloquium, Braunschweig, 27.-29.10.2015.
- Kube, F., Schön, S.: PPP carrier phase residual stacking for turbulence investigation, 26th General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), 22.06. – 02.07. 2015, Prag, Tschechische Republik.
- Leßmann, L., Gitlein, O., Müller, J.: Gravity effects from non-tidal water mass changes in the Baltic Sea, 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 22.06 – 02.07.2015.
- Lin, M., Denker, H., Müller, J.: Regional gravity field modeling using a two-step point mass method: results from IAG JSG0.3 test data. XXVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Earth and Environmental Sciences for Future Generations, Prag, Tschechische Republik, 22.06 – 02.07.2015, (Poster).
- Mai, E., Müller, J., Oberst, J.: Status report PN1 – Barycentric Ephemeris, Statusseminar der DFG-Forschergruppe FOR1503 "Referenzsysteme" Hannover, 5.-6.2.2015.
- Mai, E.: Numerische Integration mittels Lie-Reihen, Satellite Geodesy Group Meeting, Sonderforschungsbereich SFB1128 Relativistic Geodesy and Gravimetry with Quantum Sensors (geo-Q), Hannover, 28.4.2015.
- Mai, E., Oberst, J., Müller, J.: Application of an Evolution Strategy in Ephemeris Force Modelling, IAPS2015 Space-Kazan, Kazan, Russland, 31.5.-7.6.2015.
- Mai, E., Müller, J., Oberst, J.: Stochastic optimization of parameters for an asteroidal mass ring model in ephemeris computation, Poster zur 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 22.6.-2.7.2015.
- Mai, E., Müller, J., Oberst, J.: Status report PN1 – Barycentric Ephemeris, Statusseminar der DFG-Forschergruppe FOR1503 "Referenzsysteme" Frankfurt am Main, 12.-13.10.2015.
- Mai, E.: Solar-System Ephemeris Construction by the Evolution Method, ISSI/HISPAC Workshop on High Performance Clocks, with Special Emphasis on Geodesy and Geophysics and Applications to Other Bodies of the Solar System, Bern, Schweiz, 30.11.-4.12.2015.
- Margolis, H. S., Benkler, E., Calonico, D., Denker, H., Delva, P., Godun, R. M., Lisdat, C., Abgrall, M., Achkar, J., Barwood, G. P., Bize, S., Gersl, J., Gill, P., Guéna, J., Huang, G., Johnson, L. A. M., Jones, J. M., King, S. A., Klein, H. A., Le Coq, Y., Le Targat, R., Lindvall, T., Lodewyck, J., Merimaa, M., Nicolodi, D., Nisbet-Jones, P. B. R., Pizzocaro, M., Piester, D., Riedel, F., Robyr, J.-L., Rosenbusch, P., Rovera, D., Sesia, I., Shemar, S. L., Shi, C., Sterr, U., Szymaniec, K., Timmen, L., Vogt, S., Voigt, C., Wallin, A. E., Weyers, S., Whibberley, P. B.: ITOC: international timescales with optical clocks. 2015 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium & European Frequency and Time Forum, Denver, Colorado, U.S.A., 12-16 April 2015 (Poster).
- Margolis, H. S., Benkler, E., Calonico, D., Denker, H., Delva, P., Godun, R. M., Lisdat, C., Abgrall, M., Achkar, J., Barwood, G. P., Bize, S., Gersl, J., Gill, P., Guéna, J., Huang, G., Johnson, L. A. M., Jones, J. M., King, S. A., Klein, H. A., Le Coq, Y., Le Targat, R., Lindvall, T., Lodewyck, J., Merimaa, M., Nicolodi, D., Nisbet-Jones, P. B. R., Pizzocaro, M., Piester, D., Riedel, F., Robyr, J.-L., Rosenbusch, P., Rovera, D., Sesia, I., Shemar, S. L., Shi, C., Sterr, U., Szymaniec, K., Timmen, L., Vogt, S., Voigt, C., Wallin, A. E., Weyers, S., Whibberley, P. B.: ITOC: international timescales with optical clocks. XXVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Earth and Environmental Sciences for Future Generations, Prag, Tschechische Republik, 22.06. – 02.07.2015, (Poster).
- 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., Leuten, 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., Roland, 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.: Towards international timescales with optical clocks. 8th Symposium on Frequency Standards and Metrology 2015, Potsdam, Germany, 12 – 26 Oct. 2015 (Poster).
- Müller, J.: LLR status report – 2015. ILRS/AWG Meeting, Wien, 16.4.2015.

- Müller, J., Biskupek, L., Hofmann, F., Mai, E.: Lasermessungen zum Mond als Werkzeug für Geodäsie und fundamentale Physik. Geodätisches Kolloquium, TU Dresden, 10.06.2015.
- Müller, J., Biskupek, L., Hofmann, F., Mai, E.: 100th anniversary of Einstein's theory of general relativity - its impact on reference frames and geodetic tests of relativity. IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 28.06.2015.
- Müller, J.: The benefit of quantum gravimetry and relativistic geodesy with clocks for geodetic applications. IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 01.07.2015.
- Müller, J., Biskupek, L., Hofmann, F., Mai, E.: Earth Orientation Parameters Determined from LLR Data. Meeting of IAU/IAG WG on Earth Rotation, Prag, 02.07.2015.
- Müller, J.: Gedanken zum 80. Geburtstag von Manfred Schneider – im Jahr des 100. Geburtstages von Einsteins Relativitätstheorie. Festkolloquium TU München, 29.09.2015.
- Müller, J.: Gravity Modelling. Meeting des geo-Q Scientific Advisory Boards, Hannover, 03.11.2015.
- Müller, J.: Forschungsschwerpunkte Geodäsie. QUANOMET Meeting, Hannover, 12.11.2015.
- Müller, J.: The benefit of clock measurements for gravity field applications. ISSI Meeting on High Performance Clocks, Bern, 30.11.2015.
- Pham, H. K., Krawinkel, T., Schön, S. (2015): Removing Discrepancies Between Local Ties and GPS-Based Coordinates, 26th General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), June 22 - July 2, Prague, Czech Republic.
- Ren, L., Schön, S. (2015): Can Receiver Clock Modeling Influence Carrier Phase Residuals from Precise Point Position Solutions?, Intergeo and Geodetic Week, Stuttgart, Deutschland, (Vortrag).
- Schilling, M., Freier, C., Schkolnik, V., Hauth, M., Wziontek, H., Scherneck, H.-G., Peters, A., Müller, J.: Aktuelle Ergebnisse der Entwicklung des Quantengravimeters GAIN im Vergleich mit Supraleitgravimetern und FG5X-220, Vortrag, Geodätische Woche Stuttgart, 15.-17.09.2015.
- Schilling, M., Freier, C., Schkolnik, V., Hauth, M., Wziontek, H., Scherneck, H.-G., Peters, A., Müller, J.: Characterization of an atom interferometer gravimeter with classical sensors for the use in geodesy and geophysics, Vortrag, AGU Fallmeeting, San Francisco, 14.-18.12.2015.
- Schilling, M., Timmen, L.: Traceability of the Hannover FG5X-220 to the SI units, Poster, 26th IUGG General Assembly, Prag, Tschechische Republik, 22.06.-02.07.2015.
- Koch, I., Alpers, P., Bashi, M., Flury, J., Kröhnert, D., Naeimi, M., Schilling, M., Shabanloui, A.: Präzise Satellitenbahnmodellierung am Beispiel der neuen SWARM-Mission. Geodätische Woche, 15.09–17.09.2015, Stuttgart.
- Shabanloui, A., Müller, J.: How reliable is the mass variation in the Siberian permafrost region as observed by GRACE mission? Geo-Quebec 2015, Challenges from North to South, 20.09.-23.09.2015, Quebec City, Canada.
- Schön, S., Kersten, T.: Impact of PCV corrections on bias determination for multi GNSS, IGS Bias Workshop Bern 5.11-6.11.2015.
- Schön, S., Kersten, T.: Determination of Phase Biases with zero-baseline common clock setups IGS Bias Workshop Bern 5.11-6.11.2015.
- Schön, S.: Zur Unsicherheit von Flächen. DGK Workshop Ingenieurgeodäsie, Hausen Rhön, 2015.
- Schön, S.: SIB60 Surveying GNSS-based distance measurement REG (LUH) Local tie contribution. Statusseminar EMRP, Helsinki 17.6.2015.
- Schön, S.: SIB60 Surveying GNSS-based distance measurement REG (LUH) Local tie contribution. Statusseminar EMRP, Helsinki 16.6.2015.
- Schüller, K., Timmen, L.: Demonstration der neuesten Ausgabe des Gezeitenanalyseprogramms ET34-ANA-V5.1, Herbsttagung des Arbeitskreises Geodäsie/Geophysik, Loccum, 27.-30.10.2015.
- Svitlov, S.: Absolute gravimetry and digital signal processing in laser displacement interferometers, the geo-Q CTP kick-off meeting, AEI Hannover, 17.02.2015 (talk).
- Svitlov, S.: Digital signal processing in classical absolute gravimetry, the 2nd internal general assembly of the SFB 1128 geo-Q, Bremen, 25.-27.02.2015 (Poster).
- Svitlov, S., Araya, A., Tamura, Y., Tsubokawa, T.: Compact absolute gravimeter with a homodyne quadrature laser interferometer, the 26th IUGG General Assembly 2015, Prague, Czech Republic, 22.06.-02.07.2015 (Poster).
- Svitlov, S.: Absolute gravimetry and digital signal processing in laser displacement interferometers, the geo-Q CTP kick-off meeting, AEI Hannover, 17.02.2015 (Talk).
- Svitlov, S.: Digital signal processing in classical absolute gravimetry, the 2nd internal general assembly of the SFB 1128 geo-Q, Bremen, 25.-27.02.2015 (Poster).

- Svitlov, S., Araya, A., Tamura, Y., Tsubokawa, T.: Compact absolute gravimeter with a homodyne quadrature laser interferometer, the 26th IUGG General Assembly 2015, Prague, Czech Republic, 22.06.-02.07.2015 (Poster).
- Timmen, L.: Schweremessungen im regionalen Kontrollsystem Rotenburg - Vergleich der SFP-Werte zwischen heute und vor 20 Jahren, 5. Erfahrungsaustausch der Scintrex CG-5 Anwender in Deutschland, Universität Stuttgart, 10.03.2015.
- Timmen, L.: Absolute Gravimetry (LUH), Invitation to Roundtable on Gravimetry at PTB Braunschweig, 07.05.2015.
- Timmen, L.: Gravimetry and Gravity Variations, lecture at OCS2015, 1st School on Optical Clocks, Turin, 29.06. - 03.07.2015.
- Timmen, L.: Absolute Gravimetry (LUH), invited presentation, Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Santiago de Querétaro, 20.08.2015.
- Timmen, L.: Zum freien Fall von Atomen, Herbsttagung des Arbeitskreises Geodäsie/Geophysik, Loccum, 27.-30.10.2015.
- Timmen, L.: Gravimetrische und geodätische Messungen im Landhe-bunggebiet Fennoskandiens, Einladung zum Geodätisches Kolloquium, DVW Berlin-Brandenburg e.V., BDVI, VDV, TU Berlin, 26.11.2015.
- Voigt, C., Denker, H., Timmen, L.: Gravity potential for optical clock comparisons, REG(LUH) – 24-month status report. Project “International timescales with optical clocks (ITOC)”, SIB55, European Metrology Research Programme (EMRP) of EURAMET, 24-month review meeting, CMI, Prag, Tschechische Republik, 18.05. - 19.05.2015.
- Voigt, C., Denker, H., Timmen, L.: Investigation of time-variable components of the gravity potential for optical clock comparisons. XXVI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), Earth and Environmental Sciences for Future Generations, Prag, Tschechische Republik, 22.06. – 02.07.2015, (Poster).
- Wu, H., Müller, J., Brieden, P.: The IfE global gravity field model from GOCE-only observations. 26th General Assembly of IUGG, Prague, the Czech Republic, June 29th – July 2nd 2015.