

GNSS-Forschungsarbeiten am Astronomischen Institut der Universität Bern

Die GNSS-Forschungsgruppe am Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) ist in vier Bereichen tätig: operationelle Auswertung von GNSS-Daten als eines der globalen Rechenzentren des International GNSS Service (IGS), Bahnbestimmung von tieffliegenden Satelliten unter Verwendung von GNSS-Daten, Verwendung dieser Bahnen zur Gravitationsfeldbestimmung sowie Analyse von Satellite Laser Ranging (SLR) Daten zu Kugel- und GNSS-Satelliten. Für alle diese Aufgaben wird die Berner Software verwendet, die in der GNSS Gruppe entwickelt wird. Das AIUB betreibt zudem das Observatorium Zimmerwald.

Le groupe de recherche GNSS de l'Institut Astronomique de l'Université de Berne (AIUB) est actif dans quatre branches: l'analyse opérationnelle de données GNSS en tant que Centre d'Analyse de l'IGS (International GNSS Service), la détermination d'orbites de satellites de basse altitude sur la base de données GNSS, l'utilisation de ces orbites pour la détermination du champ de gravité terrestre, et l'analyse de données SLR (Satellite Laser Ranging), mesures de distance à des satellites de type sphérique et GNSS. Pour toutes ces applications, le groupe utilise un logiciel développé en interne, le Bernese Software. L'AIUB dirige les opérations de l'Observatoire de Zimmerwald.

Il gruppo di ricerca GNSS dell'Istituto Astronomico dell'Università di Berna (AIUB) è attivo in quattro campi: analisi operativa di dati GNSS come uno dei centri di calcolo a livello globale del IGS (International GNSS Service), determinazione delle orbite di satelliti di orbita bassa su base di dati GNSS, utilizzo di queste orbite per la determinazione del campo gravitazionale, e analisi di dati SLR (Satellite Laser Ranging) derivanti da misure a satelliti a sfera e GNSS. Per tutti questi compiti viene utilizzato il Software Bernese il quale è sviluppato dal gruppo di ricerca medesimo. L'AIUB dirige inoltre le attività dell'osservatorio di Zimmerwald.

R. Dach, G. Beutler, A. Jäggi,
T. Schildknecht

1. Das Astronomische Institut der Universität Bern und das Observatorium Zimmerwald

Das Astronomische Institut der Universität Bern (AIUB) ist für den Betrieb des Observatoriums Zimmerwald zuständig, von dem aus die Richtungen zu Erdsatelliten und Weltraumschrott sowie die Distanzen zu Satelliten (SLR: Satellite Laser Ranging) auf cm-Genauigkeit gemessen werden. Zimmerwald ist aus geodätischer Sicht der Zentralpunkt der Schweiz. International

ist er einer der wichtigen Verknüpfungspunkte zwischen dem SLR-Beobachtungsnetz des ILRS (International Laser Ranging Service) und – dank den Empfängern des Bundesamtes für Landestopographie swisstopo – dem Stationsnetz des IGS (International GNSS Service; GNSS steht für Global Navigation Satellite System). In beiden Diensten sind die Beiträge von Zimmerwald führend in Qualität und Zuverlässigkeit.

Die Forschungsaktivitäten am AIUB sind in zwei Themenbereiche gegliedert

- CCD-Astronomie mit dem Schwerpunkt der Suche, Identifizierung und Katalogisierung von aktiven Objekten sowie Weltraumschrott
- Wissenschaftliche Auswertung von GNSS- und SLR-Messungen

So unterschiedlich, wie diese Arbeitsgebiete sich auf dem ersten Blick auch darstellen mögen, liegen die Arbeiten der Gruppen thematisch doch sehr eng beisammen: Die Bahnbestimmung für erdnahe Objekte spielt eine zentrale Rolle.

2. Die GNSS- Forschungsgruppe

Die GNSS-Gruppe hat folgende Forschungsschwerpunkte, die eng miteinander verknüpft sind:

1. Entwicklung der Bernese-Software
2. Operationelles Rechenzentrum CODE des IGS
3. Bahnbestimmung tieffliegender Satelliten (LEO: Low Earth Orbiter) und deren Nutzung zur Gravitationsfeldbestimmung
4. Analyse von SLR-Beobachtungen und deren direkte Verknüpfung mit GNSS-Messungen

In diesen Bereichen sind zahlreiche weiterführende Forschungsprojekte angesiedelt.

2.1 Berner Software

Die Berner Software ist ein wissenschaftliches Programmpaket, das unter anderem zur weitestgehend automatischen Auswertung von GNSS-Daten mit höchsten Genauigkeitsansprüchen für regionale, kontinentale und globalen Netze eingesetzt wird (Dach et al., 2007). Die GNSS-Gruppe betreut die Software und entwickelt sie ständig weiter, sodass sie dem aktuellen internationalen Standard der GNSS-Auswertung entspricht. Die Software wird zur Zeit weltweit von mehr als 500 Institutionen für verschiedene Projekte genutzt.

Die flexible Verarbeitung von Daten des zukünftigen Europäischen GNSS Galileo in Kombination mit den neuen Signalen von GPS (Global Positioning System) und GLONASS (Global Navigation Satellite System) ist ein wichtiger Aspekt der aktuellen Entwicklung (Meindl et al., 2008).

2.2 Das IGS Rechenzentrum CODE

CODE (Center for Orbit Determination in Europe) stellt eine enge Zusammenarbeit

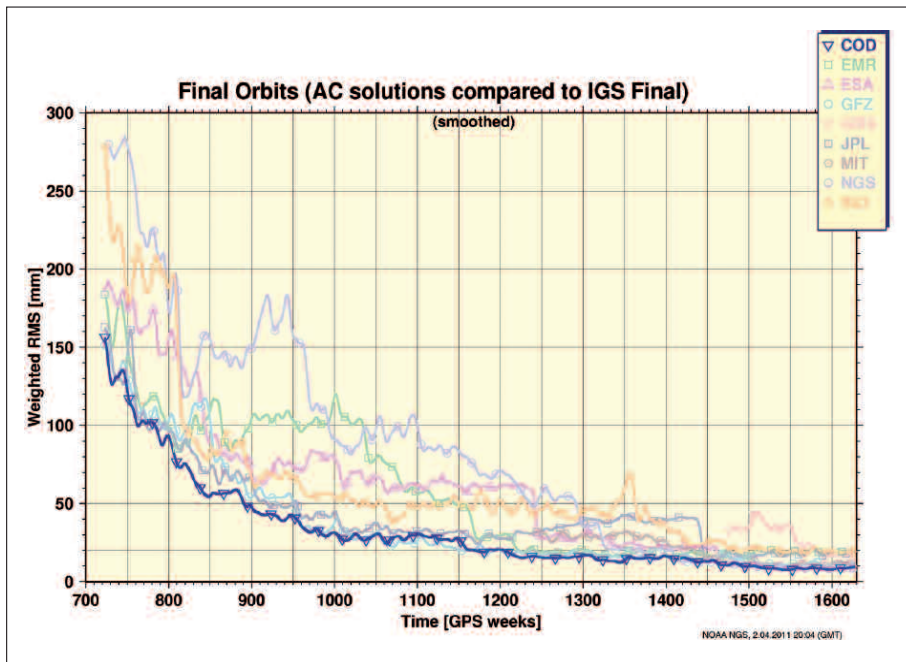


Abb. 1: Entwicklung der Genauigkeit der GPS-Bahnbestimmung im Vergleich zwischen den Rechenzentren des IGS seit 1994 bis heute (von acc.igs.org).

zwischen dem AIUB, der swisstopo, dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG, Frankfurt am Main) und dem Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie (IAPG) der Technischen Universität München (TUM) dar. CODE ist eines der Rechenzentren des IGS, dessen operationelle Auswertungen am AIUB durchgeführt werden. CODE liefert seit dem 21. Juni 1992 Bahnen für alle aktiven GPS-Satelliten, die im Vergleich mit den Resultaten der anderen Rechenzentren des IGS als führend bezeichnet werden dürfen (Abb. 1). Seit Mai 2003 werden die Daten des GPS und GLONASS in einer rigorosen Mehrsystemauswertung auf Beobachtungsstufe kombiniert (Dach et al., 2009). Mit diesem Vorgehen war CODE im Rahmen des IGS wegweisend: Erst nach mehr als fünf Jahren folgten weitere IGS-Rechenzentren diesem Beispiel (Springer und Dach, 2010). CODE hat die Entwicklung innerhalb des IGS und der GNSS-Auswertung durch seine Beiträge zur Verbesserung der Auswertemodelle signifikant mitgeprägt: Das CODE Bahnmodell (Beutler et al., 1994) wird bis heute von fast allen IGS-Rechenzentren verwendet. Ein Schwerpunkt ist die Bestimmung der systematischen Dif-

ferenzen zwischen den verschiedenen GNSS-Beobachtungstypen und Systemen. CODE liefert zusätzlich Beiträge zur Antennenphasenmodellierung der GLONASS-Satelliten (Dach et al., 2011).

2.3 LEO- Bahn- und Gravitationsfeldbestimmung

Zahlreiche LEOs sind mit GPS-Empfängern zur Bahnbestimmung ausgestattet. Am AIUB hat man sich auf Missionen mit hohen Anforderungen an die Bahnge-

nauigkeit spezialisiert. Die LEO-Bahnen werden nach dem Prinzip des sogenannten «Precise Point Positioning» (PPP) berechnet. Dass die dazu benötigten sehr genauen GPS-Satellitenbahnen und -uhren aus den Produkten des CODE-Rechenzentrums übernommen und mit der gleichen Software weiterverarbeitet werden, ist für die Qualität der LEO-Bahnen von grossem Vorteil.

Aus den mit GPS kinematisch bestimmten LEO-Trajektorien (z.B. für CHAMP, GRACE und GOCE) werden am AIUB die Parameter des Gravitationsfeldes und deren zeitliche Änderungen als verallgemeinerte Bahnbestimmungsaufgabe (Beutler et al., 2010a,b) abgeleitet. Neben den GPS-Daten fließen die mikrometergenauen, mikrowellenbasierten Messungen der Distanzänderungen zwischen den beiden GRACE-Satelliten (z.B. im Modell AIUB-GRACE03S in Abb. 2) bzw. die Gradiometerdaten von GOCE in die Gravitationsfeldbestimmung ein.

2.4 SLR-Auswertung

Mit der neuen Entwicklung der Berner Software zur Verarbeitung von SLR-Beobachtungen werden am AIUB die Beobachtungen zu LAGEOS und ETALON verarbeitet (weitere Kugelsatelliten sollen in Kürze folgen). Da die SLR spezifischen Module voll in die Umgebung der GNSS-Auswertesoftware integriert sind, ist eine direkte Kombination der beiden Techni-

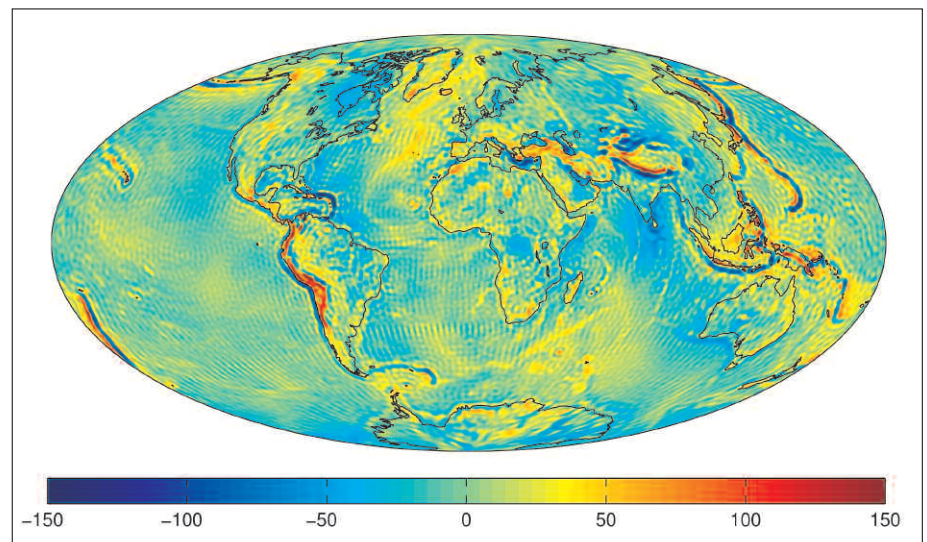


Abb. 2: Schwereanomalien in mgal, abgeleitet aus dem Modell AIUB GRACE03S.

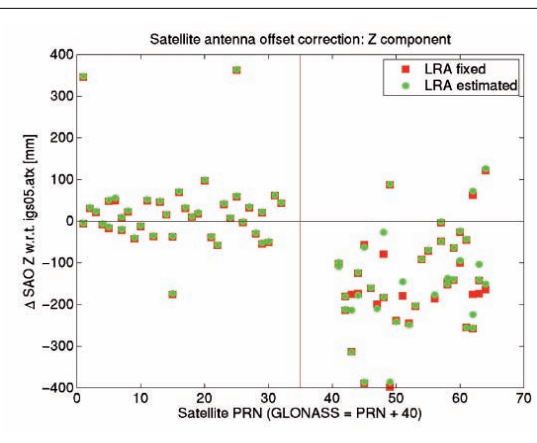


Abb. 3: GNSS-Satellitenantennenoffsets aus einer gemeinsamen GNSS-/SLR-Auswertung ohne bzw. mit gleichzeitiger Schätzung der SLR-Reflektoroffsets.

ken via die GNSS-Satelliten als Alternative zur klassischen Methode der «Local Ties» möglich (Thaller et al., 2011). Abbildung 3 zeigt die aus der kombinierten Auswertung abgeleiteten Antennenoffsets für die GNSS-Satelliten.

3. Projekte und Studien

Die oben beschriebenen Forschungsschwerpunkte bilden den Rahmen für zahlreiche Projekte, von denen hier nur die wichtigsten aufgelistet werden sollen.

Genaue Bahnbestimmung für den GOCE-Satelliten:

Das AIUB ist Mitglied des EGG-C (European GOCE Gravity Consortium) bestehend aus 10 Europäischen Institutionen. Das AIUB ist dabei im Rahmen von HPF (High level Processing Facility) für die Berechnung präziser Bahnen für den GOCE-Satelliten der ESA (European Space Agency) zuständig. Die Qualität der GOCE-Bahndaten wird mit Hilfe von SLR-Messungen validiert (Abb. 4). Diese Bahnen bilden die Grundlage für die Gravitationsfeldbestimmung aus den GOCE-Gravimeterdaten.

Galileo Geodetic Service Provider (GGSP): GGSP ist ein Konsortium unter der Leitung des GeoForschungsZentrums (GFZ, Potsdam), dem neben dem AIUB das Eu-

ropean Space Operation Centre (ESOC, Darmstadt), das BKG und das Institut Géographique National (IGN, Paris) angehören. Ziel ist die Realisierung des GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame), der geodätischen Grundlage für das zukünftige Galileo-System. In der In Orbit Validation (IOV) Phase werden die Produkte dieser Gruppe als Referenz für die neu entwickelten Galileo-Komponenten verwendet (Gendt et al., 2010).

Uhrenmodellierung in der GNSS-Analyse: Die Spezifikation der Stabilität der Galileo Satellitenuhren sowie jüngsten Erfahrungen mit dem ersten GPS-Block IIF-Satelliten zeigen, dass in Zukunft die Satelliten- und Empfängeruhren mit wenigen Parametern in der GNSS-Auswertung modelliert werden können. In einer ESA-Studie, die vom AIUB gemeinsam mit dem Geodesy and Geodynamics Lab (GGL) der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich und dem IAPG der TUM durchgeführt wird, sollen diese Möglichkeiten und die sich daraus ergebenden Vorteile für GNSS-Produkte (wie Satellitenbahnen, Stationskoordinaten, Polschwankung) untersucht resp. aufgezeichnet werden.

Analyse von Zeitreihen:

Die Leistungsfähigkeit der heutigen Rechentechnik erlaubt es, die GNSS-Daten von vielen Beobachtungsstationen mehrerer Jahre im Rahmen von so genannten

«Reprocessing Campaigns» mit den neusten Auswertemodellen konsistent auszuwerten. Um die daraus resultierenden Zeitreihen (insbesondere Stationskoordinaten) interpretieren zu können, müssen Sprünge, Ausreisser und Geschwindigkeitsänderungen möglichst automatisch erkannt werden. FODITS (Find Outliers and Discontinuities in Time Series) als eine neue Komponente der Berner Software bietet diese Möglichkeit. Seine Leistungsfähigkeit hat das Programm im Rahmen des DOGEx-Vergleichs (Detection of Offsets in GPS Experiment) bewiesen (Williams and King, 2010).

Reprozessierung von GPS, GLONASS und SLR-Daten:

Gemeinsam mit dem Institut für Planetare Geodäsie der Technischen Universität Dresden, dem GGL der ETH Zürich und dem IAPG der TUM sollen die GPS- und GLONASS-Messungen des IGS- und SLR-Daten zu LAGEOS des ILRS konsistent und nach neusten Auswertemodellen verarbeitet werden. Von der Zusammenführung der Messungen verspricht man sich ein besseres Verständnis der einzelnen Techniken und neue Erkenntnisse für die Geodynamik und der Realisierung des terrestrischen Referenzrahmens.

Referenzen:

Beutler G., E. Brockmann, W. Gurtner, U. Hugentobler, L. Mervart, M. Rothacher, and A. Verduin; 1994: Extended orbit modelling tech-

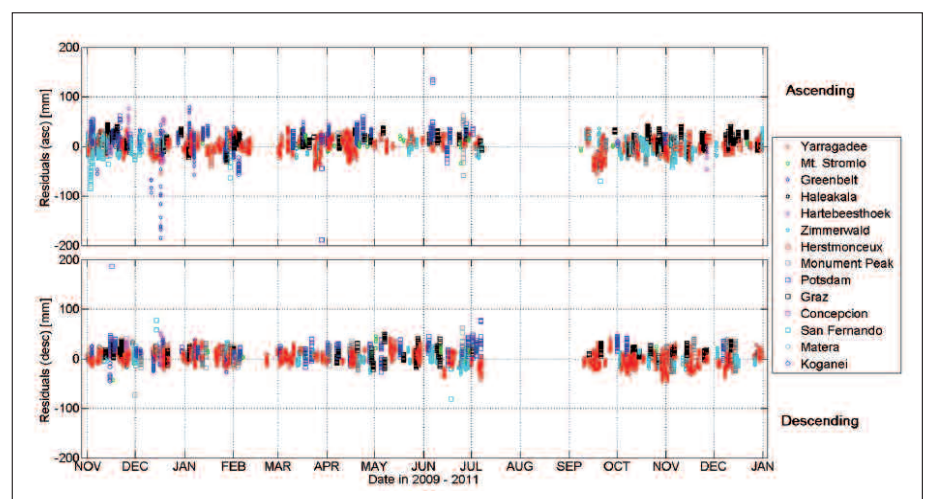


Abb. 4: SLR-Residuen der am AIUB bestimmten GOCE-Bahn.

niques at the CODE processing center of the International GPS Service for Geodynamics (IGS): theory and initial results. *Manuscripta Geodetica*, vol. 19(6), pp. 367–386.

Beutler, G., A. Jäggi, L. Mervart, U. Meyer; 2010a: The celestial mechanics approach: theoretical foundations. *Journal of Geodesy*, vol. 84(10), pp. 605–624, DOI 10.1007/s00190-010-0401-7.

Beutler, G., A. Jäggi, L. Mervart, U. Meyer; 2010b: The celestial mechanics approach: application to data of the GRACE mission. *Journal of Geodesy*, vol. 84(11), pp. 661–681, DOI 10.1007/s00190-010-0402-6.

Dach, R., E. Brockmann, S. Schaer, G. Beutler, M. Meindl, L. Prange, H. Bock, A. Jäggi, L. Ostini; 2009: GNSS processing at CODE: status report. *Journal of Geodesy* (special Issue: The International GNSS Service (IGS) in a Changing Landscape of Global Navigation Satellite Systems, guest editor C. Rizos), vol. 83(3–4), pp. 353–366, DOI 10.1007/s00190-008-0281-2.

Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl (Eds); 2007: *Bernese GPS Software Version 5.0.*

User manual, Astronomical Institute, University of Bern.

Dach, R., R. Schmid, M. Schmitz, D. Thaller, S. Schaer, S. Lutz, P. Steigenberger, G. Wübbena G. Beutler; 2011: Improved antenna phase center models for GLONASS. *GPS Solutions*, vol. 15(1), pp. 49–65, DOI 10.1007/s10291-010-0169-5.

Gendt, G., Z. Altamimi, R. Dach, W. Söhne, T. Springer; 2010: GGSP: Realisation and maintenance of the Galileo Terrestrial Reference Frame. *Advances in Space Research*, DOI: 10.1016/j.asr.2010.02.001, im Druck.

Meindl, M., R. Dach, S. Schaer, U. Hugentobler, G. Beutler; 2008: Developing a Generic Multi-GNSS Software Package. *International GNSS Service Analysis Center workshop 2008*, Miami Beach, FL, USA, June 2–6, 2008.

Ostini, L., R. Dach, M. Meindl, S. Schaer, U. Hugentobler; 2009: FODITS: A New Tool of the Bernese GPS Software to Analyze Time Series. In *Proceedings of EUREF 2008 Symposium*, Brussels, Belgium, June 18–21, 2008.

Springer, T., R. Dach; 2010: GPS, GLONASS and More. *GPS World*, vol.21(6), pp. 48–58.

Thaller D., Dach R., Seitz M., Beutler G., Marreyen M., Richter B.; 2011: Combination of GNSS and SLR observations using satellite collocations. *Journal of Geodesy*, vol. 85(5), pp. 257–272, DOI 10.1007/s00190-010-0433-z.

Williams, S., and M. King; 2010: The Detection of Offsets in GPS Experiment (DOGEx). *IGS Workshop 2010*, Newcastle upon Tyne, England, 28 June–2 July, 2010.

R. Dach

G. Beutler

A. Jäggi

T. Schildknecht

Universität Bern

Astronomisches Institut

Sidlerstrasse 5

CH-3012 Bern

rolf.dach@aiub.unibe.ch

gerhard.beutler@aiub.unibe.ch