

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 109 (2011)

Heft: 6: 150 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission

Artikel: Die Höhere Geodäsie am IGP ETHZ

Autor: Kahle, H.-G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236797>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Höhere Geodäsie am IGP ETHZ

Mit der Etablierung einer Vollprofessur in Höherer Geodäsie und der Gründung des Geodäsie und Geodynamik Labors (GGL) wurde die geodätische Lehre und Forschung am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich wesentlich intensiviert. Dieser Artikel skizziert die geodätischen Forschungen und Entwicklungen am GGL im Rahmen der SGK und gibt einen Ausblick auf die neuen Herausforderungen der Satellitengeodäsie.

Avec la mise en place d'une chaire de géodésie supérieure à plein temps et la création du Laboratoire de géodésie et géodynamique (GGL) l'enseignement et la recherche au sein de l'Institut de géodésie et de photogrammétrie (IGP) de l'EPFZ ont été considérablement intensifiés. Cet article esquisse les recherches et développements géodésiques au GGL dans le cadre de la CGS et donne un coup de projecteur sur les nouveaux défis de la géodésie satellitaire.

Con la creazione di una cattedra a tempo pieno in alta geodesia e la fondazione del Laboratorio di geodesia e geomatica (GGL) si sono fundamentalmente intensificati l'insegnamento e la ricerca presso l'Istituto di Geodesia e Fotogrammetria (IGP) del Politecnico Federale di Zurigo. Quest'articolo vuole brevemente elencare i lavori di ricerca geodetica e gli sviluppi presso il GGL, nell'ambito della CSG, e fornisce una nuova prospettiva sulle nuove sfide della geodesia satellitare.

H.-G. Kahle

Geodäsie und Geodynamik Lab des IGP im Rahmen der SGK 1979–2009

Ende der 70er Jahre konnte eine Verstärkung des IGP mit der Etablierung einer Vollprofessur in Höherer Geodäsie und der Gründung des GGL vorgenommen werden. Die Lehrveranstaltungen in Höherer Geodäsie wurden seit den 80iger Jahren von dieser Professur betreut. Dies waren die Astronomische, Mathematische und Physikalische Geodäsie sowie die Satellitengeodäsie. Es war eine faszinierende Zeit des Aufbruchs, mit der Geodäsie in neue Gebiete vorstossen zu können. Dabei war nicht das Fachgebiet entscheidend, sondern die Vernetzung mit den Kompetenzen aus anderen Bereichen, wie der Geophysik, Geologie, Atmosphärenphysik und Ozeanographie. Es war die Zeit, als man die Zusammenhän-

ge der Lithosphärenplatten mit den Erdbeben zu verstehen begann und die ozeanischen Rücken, Subduktionszonen und Grabenzonen der Erde als Ziele von Forschungsprogrammen auserkoren hatte. 1979 wurde NASA's «Crustal Dynamics Project» etabliert, später das «Dynamics of the Solid Earth Project», an denen auch das GGL zusammen mit dem Institut für Geophysik der ETH, dem Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) und der swisstopo teilnahm, insbesondere im Rahmen des WEGENER-Konsortiums im alpin/mediterranen Raum.

Gestützt auf internationale Erfahrungen am Lamont Geological Observatory der Columbia Universität, New York, und der Mitwirkung in NASA Projekten, wie dem bemannten Mondflug im Rahmen der APOLLO 17 Mission, wurde das GGL in der Folge mit der Geodynamik, Gravimetrie, Satellitengeodäsie, Navigation und Fundamentalgeodäsie zu einer wissenschaftlich breit abgestützten Gruppe ausgebaut. Vor diesem Hintergrund hat das

GGL in der SGK dazu beigetragen, die Geodäsie in den geowissenschaftlichen Gesamtrahmen der Schweiz zu stellen. Dies schliesst auch die Vertretung der SGK in internationalen Gremien ein. Präsidenschaft und Sekretariat der SGK werden seit 1980 vom GGL in Zusammenarbeit mit der swisstopo geführt.

Anfang der 80er Jahre zeichneten sich bahngreifende Entwicklungen in der Satellitengeodäsie ab. Erste GPS-Messungen wurden 1985 von der SGK im Rahmen der vom Europarat etablierten Forschungsgruppe SATRAPE (Satellite Radio-Positioning in Europe) im Rhonetal durchgeführt. Das dabei aufgebaute GPS-Testnetz Turtmann wird seitdem international stark beachtet. Es bildete einen Ausgangspunkt für die spätere satellitengestützte Landesvermessung der swisstopo. Es war auch der Beginn, rezente Krustenbewegungen in der Schweiz mit GPS zu erforschen.

Um die GPS-Höhen mit den terrestrisch gemessenen Höhen miteinander zu verknüpfen, braucht man hochgenaue Kenntnis über das Schwerefeld. Messtechnisch kann man es mit Schwereanomalien, Lotabweichungen und Geoidundulationen erfassen. Andererseits liefern diese Grössen Informationen, die man in der Geodynamik zur Erforschung der Struktur des Erdinnern heranzieht. Ein Beispiel ist die mächtige geologische Störungsmasse des Ivrea-Körpers am Südrand der Alpen, der grosse Lotabweichungen und eine Anhebung der Geoids um 9 m verursacht. Das erste satellitengestützte Geoid der Schweiz wurde vom GGL noch vor der GPS-Technologie mit Hilfe von Satelliten-Dopplermessungen in internationaler Zusammenarbeit im gesamten Alpenraum bestimmt.

Das Schweizer Geoid ist immer wieder Ziel von Dissertationen am IGP gewesen. Das zur Zeit benutzte Geoid steht mit seiner cm-Genauigkeit für ein Gebirgsland an vorderster Front. Dies ist erst durch eine Reihe von unterschiedlichen Messtechniken und Auswertemethoden möglich geworden, die am GGL entwickelt wurden. Hierzu zählen gravimetrische Messungen, Lotrichtungsbeobachtungen, GPS-Mes-

sungen und Nivellements, sowie die theoretische Bearbeitung von Höhensystemen und deren Realisierung. Fundamentale Grundlagen wurden in Dissertationen erarbeitet, welche die orthometrische Höhenbestimmung und das neue physikalische abgestützte Höhensystem der Schweiz zum Ziel hatten. Die Fundamentalsystemgeodäsie und deren Integration in die Landesvermessung bildeten für das GGL stets eine wichtige Grundlage in seinem Lehr- und Forschungskonzept.

Das neue Schweizer Geoid, die erste flugzeuggestützte Schwerekarte eines Landes weltweit sowie innovative Hightech-Messsysteme wie Wasserdampfadiometer und Sonnenspektrometer gehören ebenso zu den Beiträgen des GGL wie die neuen Erkenntnisse zum geodätischen Deformationsfeld im östlichen Mittelmeerraum. Hierzu zählen die genaue GPS-gestützte Erfassung der rezenten Krustenbewegungen in Anatolien, Griechenland und Süditalien sowie deren Zusammenhänge mit co-seismischen Deformationen. Entsprechende aktuelle Projekte sind inzwischen auch in der Schweiz im Rahmen des «Competence Center Environment and Sustainability of the ETH Domain (CCES)» begonnen worden.

Ein wichtiger neuer Forschungszweig zeichnet sich auf dem Gebiet der GPS-Meteorologie und -Tomographie ab. Im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes hat das GGL im Ionischen Meer und in der Ägäis Wasserdampfadiometer und Sonnenspektrometer erprobt, um Radarmessungen des Altimetrie-Satelliten JASON zu validieren und zu kalibrieren. Zusätzlich wurde das Relief der Meeresoberfläche mit Airborne-Laser-Messungen und schiffsgebundenen Ultraschallmessungen bestimmt. Diese Daten ermöglichen es, die geologischen Strukturen genauer zu studieren. Bis zu 20 m grosse Anomalien des Meeresspiegels wurden dort beobachtet. Sie stehen mit dem Hellenischen Tiefseeegraben im Zusammenhang. Undulationen des Seespiegels hat das GGL auch auf Schweizer Seen gemessen. Dies sind Effekte der Topographie und geologischen Störungsmassen, die sowohl für die Landesvermessung wie auch

für die Geodynamik von Interesse sind und vom GGL im Rahmen der SGK intensiv weiterverfolgt werden.

M. Rothacher

Zukünftige Entwicklungen am GGL

Die Menschheit wird heutzutage von einer Vielzahl von Naturkatastrophen und globalen Veränderungen bedroht. Um solche Katastrophen oder Veränderungen besser vorherzusagen und einschätzen zu können, ist ein permanentes Monitoring der Erde unabdingbar. Die Geodäsie von heute ist daher vor die Aufgabe gestellt, mit boden- und satellitengestützten geodätischen Messinstrumenten die für die Gesellschaft kritischen Prozesse im System Erde, insbesondere Naturgefahren, mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu erfassen. Die Prozesse im System Erde spielen sich dabei sowohl in extrem kurzen (Erdbeben, Vulkanausbrüche, Hangrutschungen, ...) als auch sehr langen Zeitskalen ab (Plattenbewegungen, postglaziale Landhebung, Meeresspiegeländerungen, Schmelzen der Eiskappen, ...). Geodätische Monitoring- oder Frühwarnsysteme der Zukunft müs-

sen daher einerseits in (nahezu) Echtzeit katastrophale Ereignisse detektieren und quantifizieren und andererseits die kaum merkbaren, aber kritischen Langzeit-Trends (z.B. Meeresspiegelanstieg) erfassen können. Dies sind Herausforderungen nicht nur für das GGL sondern auch für die SGK und die Gesellschaft insgesamt. Fünf Beispiele sollen illustrieren, wie sich das GGL bereits heute diesen Herausforderungen stellt:

Reprocessing des globalen GNSS-Netzes: Die homogene Auswertung eines globalen GPS/GLONASS-Netzes über die letzten 16 Jahre am GGL liefert neben wichtigen Informationen über die globale Geodynamik und klimarelevante Prozesse (Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre, Weltraumwetter) auch ein hochgenaues globales Bezugssystem als Referenz für Meeresspiegeländerungen und andere Langzeit-Trends. Als Vision und Herausforderung werden bald 10 000-de von GNSS-Permanentstationen ein beinahe instantanes aber auch langfristiges Monitoring unseres ruhelosen Planeten erlauben, und dies mit insgesamt mehr als 120 GPS-, GLONASS-, Galileo- und COMPASS-Satelliten.

GNSS-Seismologie: Da heutige GNSS-Empfänger Messungen mit einer Aufzeichnungsrate von bis zu 100 Hz er-

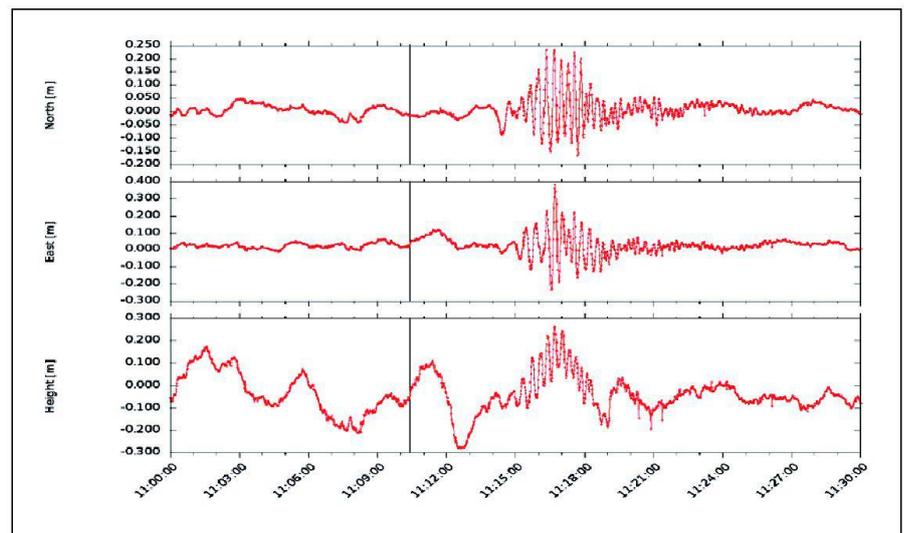


Abb. 1: GPS-Messungen der Erdbebenwellen des Sumatra-Erdbebens vom 12. September 2007. Die schwarze Linie bezeichnet den Zeitpunkt des Erdbebens. Koordinaten des GPS-Punktes in Nord- und Ost-Richtung und Höhe (GFZ, Potsdam).

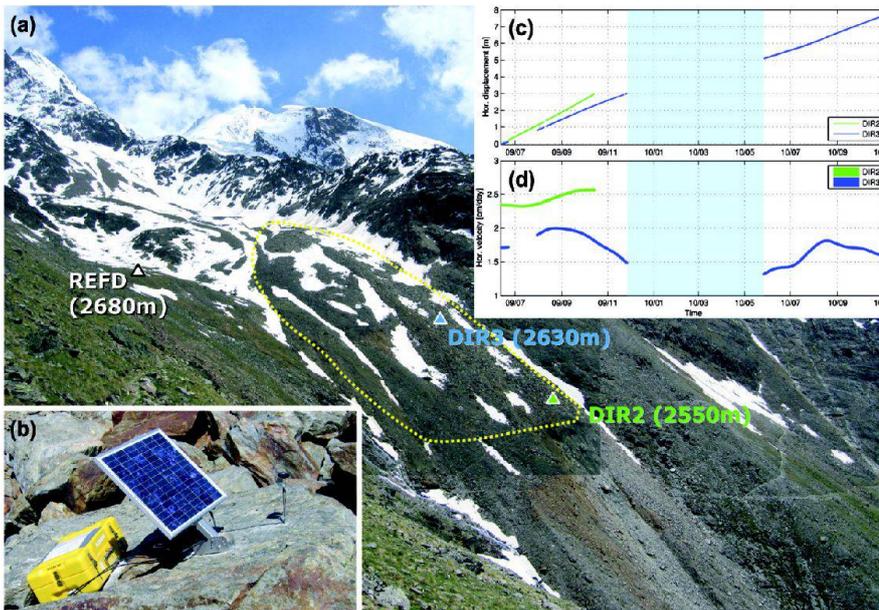


Abb. 2: (a) GPS-Testnetz am Dirru-Blockgletscher (gelbe gepunktete Linie) mit drei günstigen L1-Empfängern. (b) Eine der GPS-Stationen auf dem Dirru-Blockgletscher mit (von rechts nach links) GPS-Antenne, Solarzellen und Empfänger-Box mit Batterie. (c) Zeitreihen der Horizontalbewegung der Stationen DIR2 (grün) und DIR3 (blau), vom Juni 2009 bis November 2010. (d) Entsprechende Horizontalgeschwindigkeiten (jahreszeitlich ändernd).

möglichen, werden am GGL zurzeit Verfahren entwickelt, um nicht nur Verschiebungen (durch Erdbeben, Vulkane oder Hangrutschungen) sondern auch die Erdbebenwellen selbst in (nahezu) Echtzeit zu erfassen (siehe Abb. 1). Eine GNSS-Antenne auf einem Rütteltisch (oder in Zukunft auf einem Roboter) misst die realistisch simulierten Erdbebenwellen. Die Analyse der GNSS-Daten von solch simulierten, aber auch von echten Erdbeben, sollen aufzeigen, welche Beiträge GNSS zu Erdbeben- und Tsunami-Frühwarnsystemen liefern kann.

Dichte L1-GNSS-Netze: Aus Kostengründen muss bei einem räumlich sehr dicht-

ten Monitoring z.B. von Gletschern, Permafrostgebieten oder Hängen sowie für die Wasserdampftomographie auf günstige 1-Frequenz-GPS-Empfänger gesetzt werden (siehe Abb. 2). Am GGL werden mit ETH-Partnern zusammen solche 1-Frequenz-GPS-Sensoren mit Kommunikation, Stromversorgung und Software für eine zeitnahe Auswertung der Daten entwickelt.

Kleinstsatelliten für die Erdbeobachtung mit GNSS: Um sehr schnell auf Naturkatastrophen reagieren zu können, sind ganze Konstellationen und/oder Formationen von Satelliten notwendig. Solche Konstellationen können nur finanziert

werden, wenn die einzelnen Satelliten extrem klein und günstig (off-the-shelf) produziert werden können. Das GGL arbeitet zusammen mit dem Deutschen Geoforschungszentrum (GFZ) und der TU Berlin an der Entwicklung solcher zukunftsweisenden Kleinstsatelliten mit GNSS-Empfängern an Bord. Interessante Anwendungen sind u.a. die Atmosphärensondierung, Weltraumwetter, Reflektometrie, hochgenaue Bahnbestimmung, Schwerfeldbestimmung, und Beiträge zu Frühwarnsystemen.

Schwerfeld: Mit den neuen Schwerfeldsatellitenmissionen (CHAMP, GRACE und GOCE) haben sich in der Schwerfeldbestimmung neue Horizonte eröffnet. Das GGL wird sich damit befassen, wie die Resultate dieser Missionen für das Geoid der Schweiz nutzbar gemacht werden können. Die am GGL seit vielen Jahren entwickelten Zenitkameras für die Messung von Lotabweichungen sollen nicht nur für den geplanten neuen Linearbeschleuniger CLIC am CERN, sondern in Zukunft auch für die Validierung der Resultate aus den Satellitenmissionen herangezogen werden.

H.-G. Kahle
M. Rothacher
Institut für Geodäsie und
Photogrammetrie
HIL D 42.3
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
CH-8093 Zürich
hans-gert.kahle@geod.baug.ethz.ch
markus.rothacher@ethz.ch