Lokale Hebungsraten in den Schweizer Alpen (Wildhorndecke)

Autor(en): **Condamin, S. / Schwarzgruber, J. / Sievers, B.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **112 (2014)**

Heft 1

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-358081

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Lokale Hebungsraten in den Schweizer Alpen (Wildhorndecke)

Um die Alpenhebung auch fernab von den bekannten Höhenfixpunkten untersuchen zu können, wurde während einer aufwändigen Feldkampagne ein vorher geplantes und versichertes Netz mittels GNSS, Präzisionstachymetrie und -nivellement gemessen. Bei der Auswertung kamen zwei unterschiedliche Softwareprodukte zum Einsatz: Die wissenschaftliche Bernese GPS Software und das Standardprodukt Leica Geo Office. Sämtliche Messungen des hybriden Netzes wurden schliesslich mit Trinet+ streng dreidimensional ausgeglichen.

Afin de pouvoir également examiner le soulèvement alpin se trouvant éloigné des points fixes altimétriques on a mesuré dans le cadre d'une campagne de longue haleine un réseau planifié et assuré à l'avance à l'aide du GNSS, de tachymétrie et de nivellement de précision. Pour le dépouillement deux logiciels différents ont été utilisés: le logiciel GPS scientifique Bernese et le produit standard Leica Geo Office. Toutes les mesures du réseau hybride ont finalement été compensées de façon tridimensionnelle stricte par Trinet+.

Per riuscire ad analizzare il sollevamento tettonico delle Alpi anche lontano dai punti fissi altimetrici conosciuti, durante una laboriosa campagna sul terreno si è provveduto a misurare una rete garantita e progettata anticipatamente ricorrendo al GNSS, alla tacheometria e alla livellazione di precisione. Nella valutazione si è fatto ricorso a due prodotti software diversi: il software scientifico Bernese GPS e il prodotto standard Leica Geo Office. Tutte le misurazioni ufficiali della rete ibrida sono state infine compensate tridimensionalmente con Trinet+.

S. Condamin, J. Schwarzgruber, B. Sievers

Forschungsprojekt Hebungsraten

Im Jahr 2010 wurde ein Projekt initiiert, welches die Hebungsraten in den Schweizer Alpen genauer erforschen wollte [1]. Auf diese Hebungsraten bezieht man sich in verschiedenen Gebieten der Geowissenschaften, wobei es bis jetzt hauptsächlich ein Modell gibt, welches vom Bundesamt für Landestopografie swisstopo aus den Wiederholungsmessungen des Schweizerischen Landesnivellements LN02 berechnet wurde [2]. Seine Punkthöhen wurden seit über 100 Jahren periodisch bestimmt. Da die Linien des Landesnivellements vor allem entlang des schweizerischen Hauptverkehrsnetzes angelegt sind, hat man auch nur in diesem Bereich (Täler, Alpenpässe und grosse Alpentunnel) Informationen über die Alpenhebung. In den restlichen Gebieten werden Höhenänderungen lediglich interpoliert.

Alternative Messmethoden wie die Satellitenmesstechnik (Global Navigation Satellite System GNSS) ermöglichen es nun, die Hebungsraten in einem Testgebiet abseits der Linien des Landesnivellements zu untersuchen. Ideal dafür ist ein Testgebiet, in welchem bei den bisherigen Untersuchungen möglichst grosse Höhenänderungen festgestellt wurden. Des Weiteren ist es wichtig, dass die ursprünglich verwendeten Fixpunkte noch vorhanden



Abb. 1: Vermarkung einer Rückversicherung im rohen Fels.

sind. Ein solches Gebiet befindet sich im Bereich von Gstaad (BE) über Gsteig (BE) nach Sion (VS). In allen drei Orten befinden sich Höhenfixpunkte von swisstopo, wobei vor allem zwischen den beiden Punktgruppen Gsteig und Sion bei geringem horizontalem Abstand eine deutliche Höhenänderung von bis zu 1.6 mm pro Jahr festgestellt wurde.

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich über eine Distanz von 30 km und die Punkte sind über einen Höhenbereich von rund 500 bis 3000 m ü.M. verteilt. Da bei einem Netz dieser Ausdehnung die erreichbare Höhenmessgenauigkeit mit GNSS im Bereich von mehreren Millimetern bis sogar wenigen Zentimetern liegen kann, ist das Projekt auf lange Dauer ausgelegt. In diesem Fall arbeitet die Zeit für das Projekt: Je mehr Zeit zwischen zwei Messungen liegt, desto mehr summiert sich die Alpenhebung auf (z. B. 1.6 cm nach 10 Jahren, 3.2 cm nach 20 Jahren, etc.) und kann mit GNSS eher signifikant nachgewiesen werden.

Netzanlage

Die Punkte müssen so über das Gebiet verteilt werden, dass eine Höhenänderung sowohl aus messtechnischer wie auch aus geologischer Sicht sicher detektiert werden kann. Hauptkriterium ist aus

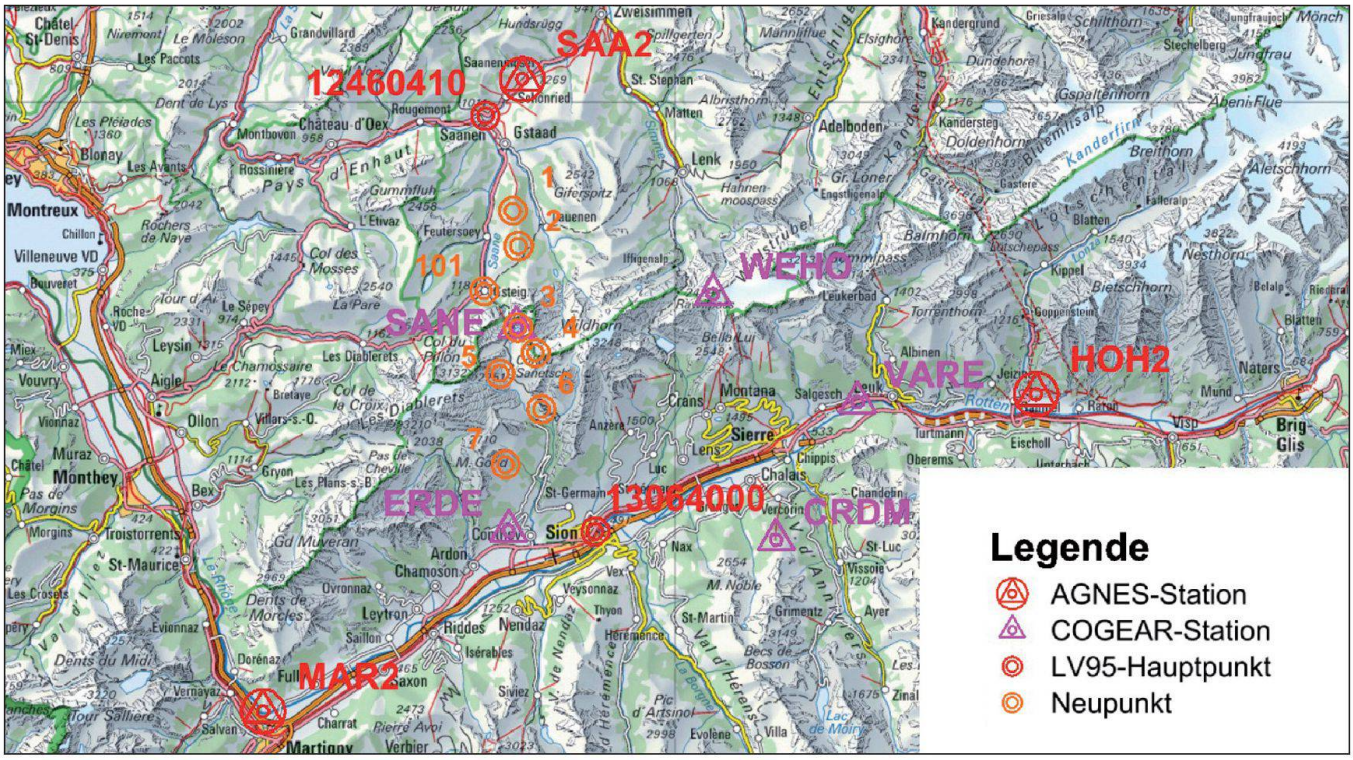


Abb. 2: Netzplan des Untersuchungsgebiets. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA13126).

geologischer Sicht eine feste Verbindung mit dem rohen Fels. So wird sichergestellt, dass wirklich die Bewegungen der oberen Erdkruste gemessen werden und nicht irgendwelche lokalen Phänomene. Aus messtechnischer Sicht ist eine gute GNSS-Tauglichkeit erforderlich. Das bedeutet möglichst wenig Horizontabdeckung und möglichst wenig grosse Objekte im näheren Umfeld, welche zusätzliche Mehrwegeffekte mit sich bringen würden.

Besonders hohe Ansprüche gelten auch für die Versicherung der Punkte. Diese müssen vor Ort so vermarkt werden, dass eine hochpräzise Zentrierung und Höhenmessung möglich ist. Zudem muss der Punkt Jahrzehnte überdauern, ohne dass es zu Qualitätseinbussen bei der erzielbaren Genauigkeit kommt.

Mit Unterstützung von swisstopo wurden die Punkte nach Qualitätsstandards der Landesvermessung vermarkt. Sämtliche Hauptpunkte wurden mit einem Kappenbolzen materialisiert und wenn immer möglich, wurden zusätzlich vier Mauerzielbolzen als exzentrische Rückversicherungen im anstehenden Fels einbetoniert (vgl. Abb. 1). Mithilfe dieser Mauerzielbolzen können künftig lokale Deformationen im Umfeld des Punktes festgestellt werden. Zudem kann der Hauptpunkt im Falle einer Zerstörung aus diesen Rückversicherungen rekonstruiert werden.

Das eigentliche Messnetz besteht aus zehn Punkten (vgl. Abb. 2). Sieben Punkte wurden im Rahmen des Projektes neu vermarkt. Bei zwei Punkten handelt es sich um LV95-Hauptpunkte der Landesvermessung und beim Punkt in Gsteig um einen temporären Punkt zur lokalen Anbindung an den nächsten Höhenfixpunkt (HFP1).

Feldkampagne

Während vier Wochen wurden im gesamten Netz langstatische, gleichzeitige GNSS-Messungen (48h-Sessionen) durchgeführt. Dabei wurde strikt darauf geachtet, dass die Auswertung von kur-



Abb. 3: Solarpanel nahe dem Arpelistockgipfel.



Abb. 4: Einmessung der Rückversicherungen nahe dem Sanetschpass.

zen Basislinien (kürzer als 10 km) möglich war. Das Netz wurde zweimal mit zwei unabhängigen Instrumentenflotten gemessen: *GNSS-Flotte* der FHNW und *GPS-Flotte* von swisstopo. Insgesamt waren 13 GNSS-Empfänger im Einsatz, welche 1604 h Messdaten oder 2 401 797 GNSS-Positionen aufzeichneten (ohne Permanentstationen). Als Referenz für sämtliche GNSS-Messungen diente das Automatische GNSS Netz Schweiz AGNES von swisstopo [3]. Zudem wurden Messungen der permanenten GNSS-Stationen der Forschungsprojekte TECVAL und COGEAR der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich mitausgewertet (vgl. Abb. 2).

Bei den meisten Punkten wurden die GNSS-Sensoren mit Autobatterien gespeist. Dies erlaubte eine Versorgung von mindestens zwei Tagen [3]. Eine Ausnahme bildete der Punkt FHNW04 nahe dem Arpelistock-Gipfel. Da der Zustieg zu Fuss mehrere Stunden dauerte und die Anzahl Helikopterflüge möglichst klein gehalten werden musste, wurde hier ein Solarpanel eingesetzt. Dieses konnte die Stromversorgung des GNSS-Messsystems ohne Probleme zwei Wochen lang sicherstellen (vgl. Abb. 3).

Mit Ergänzungsmessungen wurden die Rückversicherungen der Hauptpunkte mit einem Präzisionstachymeter eingemessen. Mit dem auf dem Zentrumspunkt aufgestellten Tachymeter wurden die Richtungen zu den Rückversicherungen mittels Satzmessung gemessen (vgl. Abb. 4). Um die Richtungssätze absolut zu orientieren, wurde zusätzlich zu den Rückversicherungen mindestens eine Richtung auf einen koordinatenmässig bekannten Punkt (Kirchturm, anderer Punkt des Netzes, TECVAL-Station) gemessen. Es wurden jeweils so viele Sätze gemessen, bis die empirische Standardabweichung mindestens den Herstellerangaben entsprachen ($\sigma_{Richtung} = 0.15$ mgon). Um eine ausreichende Zuverlässigkeit zu gewährleisten, massen beide Beobachter auf jedem Punkt mindestens zwei Sätze. Zusätzlich wurden die Distanzen auf die Rückversicherungen mittels reflektorloser Distanzmessung bestimmt.

Um einen Höhenbezug zwischen dem temporären GNSS-Punkt FHNW101 und der HFP1-Gruppe in Gsteig herzustellen, wurde ein Präzisionsnivellement durchgeführt. Somit konnte bei der Auswertung eine GNSS-Höhe für die HFP1-Punkte berechnet werden, die einen direkten Bezug zu den übrigen Projektpunkten hat. Dabei wurden mit einem digitalen Präzisionsnivellier und zwei kalibrierten Nivellierlatten nach dem Verfahren RVVR gemessen (pro Stationierung: Rückblick, Vorblick, Vorblick, Rückblick).

Auswertung

Eine der beiden Auswertungen erfolgte mit der Bernese GPS Software (V 5.0), einer wissenschaftlichen Spezialsoftware des Astronomischen Instituts der Universität Bern [4]. Mit dieser können GNSS-Messungen mit höchster Genauigkeit ausgewertet, d. h. ausgeglichen werden. Da bereits während der Messplanung auf kurze Basislinien geachtet worden war, konnte der Grossteil des Netzes mit L1-Trägerphasen ausgewertet werden [5]. Die so ermittelte Koordinatengenauigkeit ist bis zu drei Mal genauer als es die bei längeren Basislinien übliche Linearkombination L3 wäre. Zudem hängen die Koordinaten weniger von systematischen Abweichungen ab. Dank dem Einbezug der Messdaten von permanenten GNSS-Stationen (AGNES, TECVAL, COGEAR), welche über eine grössere Fläche verteilt sind, konnten in der Auswertung regionale (relative) Troposphärenparameter geschätzt werden, wie dies sonst für ein kleines Netz nicht möglich wäre.

Neben der Basislinienberechnung mit der Bernese GPS Software wurde alternativ mit Leica Geo Office (V 8.2) ausgewertet. Leica Geo Office berechnet die Basislinien nicht in einer Ausgleichung, sondern mit einem Filter-Ansatz. Durch die Verwendung von absoluten Antennenmodellen (Gruppenkalibrierwerte bei Feldflotten, individuelle Kalibrierwerte für AGNES), präzisen Ephemeriden, CODE-Ionosphärenmodellen und der manuellen Wahl der Frequenz (L1 für das Netz der Neupunkte, L3 für das übergeordnete AGNES-/TECVAL-Netz) konnte das Netz auch mit einem Standardprodukt ausgewertet und somit die Resultate mit jenen der Bernese GPS Software verglichen werden.

Das hybride Netz wurde mit Trinet+ ausgeglichen (Trinet+ V 7.2; erstellt in FHNW- und HEIG-VD-Diplomarbeiten). Somit konnten die GNSS-Messungen, die tachymetrischen Messungen und die Daten des Nivellements nach der Aufbereitung in anderen Programmen in einer strengen 3D-Gesamtausgleichung ausgewertet werden.

Ergebnisse

Dank der redundanten Feldmessung mit zwei Instrumentenflotten und der doppelten Auswertung (zwei Softwarepro-

	GPS	GNSS
Nord	1.6 mm	1.0 mm
Ost	1.4 mm	1.1 mm
Höhe	2.2 mm	1.3 mm

Tab. 1: Zusammenstellung der mittleren Wiederholbarkeiten.

dukte) sind nun auch entsprechende Vergleiche möglich [6]. Vor allem der Vergleich zwischen der Auswertung mit der Trägerfrequenz L1 und der Verwendung der Linearkombination L3 bietet sich an. Hierzu wurden die L1-, L3- und eine kombinierte Auswertung der beiden Flotten (aus der Berechnung mit der Bernese GPS Software) mittels einer Transformation verglichen (drei Translationen, keine Rotationen, kein Massstab).

Abbildung 5 zeigt, dass sich die beiden L1-Lösungen deutlich weniger unterscheiden als die beiden L3-Lösungen, weil der Einfluss der verschiedenen Antennenmodelle bedeutend kleiner ist. Betrachtet man zusätzlich die Wiederholbarkeiten der *GPS-* und der *GNSS-Flotte,* so unterscheiden sich die erreichten Genauigkeiten klar (Tab. 1).

Die bessere Genauigkeit der *GNSS-Flotte* ist primär auf die höhere Anzahl der Messungen zurückzuführen (nämlich zusätzlich Messungen zu GLONASS-Satelliten): Freiheitsgrad $f_{GPS} = 493\,039$, $f_{GNSS} = 942\,834$. Berechnet man für die *GNSS-Flotte* eine Lösung ohne GLONASS-Satelliten, ergeben sich ähnliche Werte wie bei der *GPS-Flotte.* Wiederholbarkeit bedeutet in diesem Zusammenhang ein Mass für die Streuung der Messungen. Wie stark die Messungen durch allfällige systematische Abweichungen beeinflusst sind, kann damit nicht beurteilt werden.

Fazit und Ausblick

Bei GNSS-Messungen in einem kleinen regionalen Netz lohnt es sich, die Messungen so zu disponieren, dass – wo immer möglich – L1-Auswertungen durchführbar sind [6]. Zudem können durch Einbezug von Messungen von permanenten GNSS-Stationen bei der Auswertung regionale (relative) Troposphärenparameter mitgeschätzt werden, was die Höhengenauigkeit verbessert.

Im Sommer 2013 ist eine Kontrollmessung der Referenzmessung ausgeführt worden, die gegenwärtig ausgewertet wird. Die nächste Folgemessung ist in etwa sechs Jahren geplant.

Dank

Ein grosser Dank geht an das Institut für Geologie der Universität Bern, das Bundesamt für Landestopografie swisstopo, die Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, das Astronomische Institut der Universität Bern sowie an die Schweizerische Geodätische Kommission. Sie alle haben das Projekt mit kostenlosem Material und Dienstleistungen, Datenmaterial, Schulungen, Kursbesuchen und finanziellen Mitteln unterstützt. Ohne diese Unterstützung wäre das Projekt nicht realisierbar gewesen.

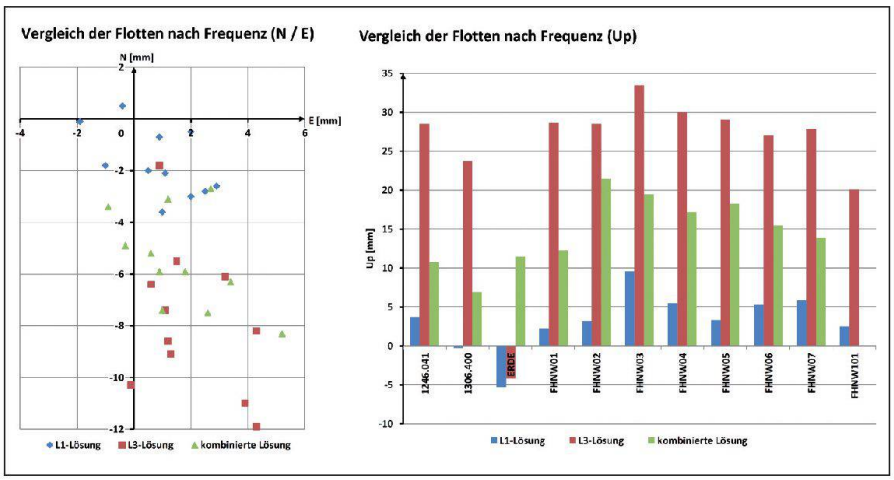


Abb. 5: Differenzen der beiden Feldflotten nach Trägerfrequenz.

Literatur:

[1] Condamin, S. / Egli Oppliger, R. (2011): Hebungsraten in den Schweizer Alpen. Bestimmung der lokalen Hebungsraten in einem Testgebiet in den Schweizer Alpen. Projektbeschrieb.

[2] Schlatter, A. (2006): Das neue Landeshöhennetz der Schweiz LHN95. Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich.

[3] Schlatter, A. (2011): LV95 / CHTRF2010 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2010). Teil 1: Messkonzept und Messkampagnen April - Oktober 2010 im GPS-Landesnetz LV95. Wabern: Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

[4] Dach, R. et. al. (2007): Bernese GPS Software Version 5.0. User Manual. Bern: Astronomisches Institut, Universität Bern.

[5] Brockmann, E. (2011): LV95 / CHTRF2010 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2010). Teil 2: Auswertung der GPS-Messungen 2010 und Resultate der Gesamtausgleichung 1988-2010. Wabern: Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

[6] Condamin, S. / Schwarzgruber, J. (2012): Lokale Hebungsraten in den Schweizer Alpen (Wildhorndecke). Bachelor-Thesis, Institut Vermessung und Geoinformation, Fachhochschule Nordwestschweiz.

Sebastian Condamin
Geissfluhweg 2
CH-4600 Olten
s.condamin@gmx.ch

Joachim Schwarzgruber
Schürmattweg 11
CH-3634 Thierachern
jsc@gmx.ch

Prof. Beat Sievers
Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW
Hochschule für Architektur Bau und Geomatik
Institut Vermessung und Geoinformation
Gründenstrasse 40
CH-4132 Muttenz
beat.sievers@fhnw.ch