

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: Das Landesvermessungswerk 1995 (LVW95)

Autor: Wiget, A. / Brockmann, E. / Kistler, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236794>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

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

Das Landesvermessungswerk 1995 (LVW95)

Die geodätische Landesvermessung (LV) der Schweiz ist eine Hauptaufgabe des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo. Sie umfasst die Erstellung, Weiterentwicklung und Erhaltung der geodätischen Grundlagen, namentlich der terrestrischen Bezugssysteme und deren Realisierung durch sog. Bezugsrahmen mittels geodätischer Fixpunkt- und Permanentnetze. Die modernen Technologien der Satellitengeodäsie (GPS) waren ab Mitte der 1980er Jahre Auslöser für eine umfassende Erneuerung der LV im Rahmen des Projektes Landesvermessung 1995 (LV95) mit dem Ziel, ihre Genauigkeit und Verwendbarkeit stark zu verbessern. Die wichtigsten Komponenten des sog. Landesvermessungswerkes 1995 (LVW95) sind: Die Definition der geodätischen Bezugssysteme CHTRS95 und CH1903+, die Fundamentalstation Zimmerwald, das Automatische GNSS Netz Schweiz (AGNES) und der Positionierungsdienst swipos®, das GPS-Landesnetz der LV95-Punkte, das Landeshöhennetz LHN95, das Landes-schwerenetz LSN2004, das Geoidmodell der Schweiz CHGeo2004, die Transformationsgrundlage CHENyx06 und das kinematische Modell CHKM95.

La mensuration nationale géodésique (MN) de la Suisse est une tâche principale de l'Office fédéral de topographie swisstopo. Elle englobe l'établissement, le développement et la maintenance des bases géodésiques, à savoir les systèmes de référence terrestres et leur réalisation par le cadre de référence concrétisé par des réseaux de points fixes et un réseau permanent. Dès le milieu des années 1980, la technologie moderne de géodésie par satellite (GPS) a été déterminante pour un renouvellement global de la mensuration nationale dans le cadre du projet Mensuration nationale 1995 (MN95), dont l'objectif est une amélioration sensible de sa précision et de son utilisation. Les composantes principales des oeuvres de la mensuration nationale 1995 (OMN95) sont les suivantes : définition des systèmes de référence géodésique CHTRS95 et CH1903+, la station fondamentale de Zimmerwald, le réseau automatique GNSS suisse (AGNES) et le service de positionnement swipos®, le réseau national GPS des points MN95, le réseau altimétrique national RAN95, le réseau gravimétrique national RGN2004, le modèle de géoïde suisse CHGeo2004, la base de transformation CHENyx06, ainsi que le modèle cinématique CHKM95.

La misurazione nazionale geodetica (MN) della Svizzera è un compito principale dell'Ufficio federale di topografia swisstopo. Essa comprende la creazione, lo sviluppo e il mantenimento delle basi geodetiche, in particolare dei sistemi di riferimento terrestri e della loro realizzazione tramite cosiddetti quadri di riferimento basati su reti geodetiche di punti fissi e reti permanenti. Le moderne tecnologie di geodesia satellitare (GPS) sono state lo spunto, a partire dalla metà degli anni ottanta, per un sostanziale rinnovamento della MN nel quadro del progetto Misurazione nazionale 1995 (MN95) avente lo scopo di migliorarne in modo marcato la precisione e l'utilizzabilità. Le componenti principali della cosiddetta Opera della misurazione nazionale 1995 (OMN95) sono: la definizione dei sistemi geodetici di riferimento CHTRS95 e CH1903+, la stazione fondamentale Zimmerwald, la rete automatica svizzera GNSS (AGNES) e il sistema di posizionamento swipos®, la rete nazionale GPS dei punti MN95, la rete altimetrica nazionale RAN95, la rete gravimetrica nazionale RGN2004, il modello geodetico della Svizzera CHGeo2004, il programma di trasformazione di base CHENyx06 e il modello cinematico CHKM95.

A. Wiget, E. Brockmann, M. Kistler,
U. Marti, A. Schlatter, B. Vogel, U. Wild

Konzept

Das Konzept und die Komponenten des LVW95 sind in der Berichte-Serie zum Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz «LV95» beschrieben, welche als swisstopo DOKU publiziert werden. Sie können unter www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/docu/pub/geodesy/doku.html bezogen werden. Die Zielsetzungen und Anforderungen an eine zeitgemässe Landesvermessung der Schweiz waren:

- Definition zeitgemässer nationaler geodätischer Bezugssysteme in Anlehnung an internationale, global gelagerte Bezugssysteme, insbesondere das europäische ETRS89, als Basis für die Nationale Geodaten Infrastruktur (NGDI).
- Herstellung des Bezuges der lokalen (nationalen) Systeme und Netze zu globalen (internationalen) geodätischen Bezugssystemen und Bezugsrahmen durch den Betrieb einer Fundamentalstation, welche in internationale Referenznetze eingebunden ist (Geostation Zimmerwald) sowie durch Anschlussmessungen; Bestimmung strenger Transformationsparameter.
- Aufbau eines dreidimensionalen terrestrischen Bezugsrahmens durch wiederholte GPS- bzw. GNSS-Messungen hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit auf gut zugänglichen, stabil vermarkten Referenzpunkten (GPS-Landesnetz LV95) sowie kontinuierlichen GNSS-Messungen auf Permanentstationen (AGNES). Bestimmung der 3D-Koordinaten und deren Kovarianz sowie des zugehörigen Geschwindigkeitsfeldes.
- Verknüpfung mit den Netzen der bisherigen Landesvermessung LV03 und des Landesnivellements LN02. Erstellung optimaler Anschlussmöglichkeiten für die Verdichtungsnetze der amtlichen Vermessung und Bereitstellung der Transformationswerkzeuge.
- Zeitgemässe Bereitstellung und Verfügbarkeit der Positionen und allenfalls Geschwindigkeiten der geodätischen

Referenzpunkte sowie Verbreitung der Messungen auf den GNSS-Permanentstationen durch den Positionierungsdienst swipos® als Georeferenzdaten für alle Vermessungen in der Schweiz.

- Erneuerung des Landesschwerenetzes LSN mit absoluten und relativen Schweremessungen und Bestimmung von astro-geodätischen (Lotabweichungen) und gravimetrischen (Schweremessungen) Daten auf den Punkten des GPS-Landesnetzes, ausgewählten Punkten des Landesnivellements und Punkten von besonderer Bedeutung.
- Berechnung eines genauen Geoidmodells, welches die Verknüpfung des 3D-Netzes (GNSS) mit dem Landeshöhennetz (Nivellement) erlaubt.
- Aufbau des Landeshöhennetzes LHN95 als nationaler Höhenbezugsrahmen; dieses basiert auf einem potenzialtheoretisch strengen Höhensystem (orthometrische und Normalhöhen) unter Berücksichtigung der Schwere; es wird durch eine gemeinsame kinematische Ausgleichung der wiederholten Messungen im Landesnivellement zusammen mit ellipsoidischen Höhen aus dem GPS-Landesnetz und den Geoidundulationen aus dem erneuerten Geoidmodell berechnet.
- Erfassung der Bewegungen der obersten Erdkruste in Raum und Zeit durch die wiederholte 3D-Vermessung geeigneter, geodätischer Punktfelder mit höchster Präzision und Bestimmung von Zeitreihen sowie eines kinematischen Modells der Schweiz.

Mit dem Bundesgesetz über Geoinformation (GeoIG) sowie der Geoinformationsverordnung (GeoIV) und der Landesvermessungsverordnung (LVV), welche am 1. Juli 2008 in Kraft traten, wurden auch die rechtlichen Grundlagen des LVW95 geschaffen. Insbesondere wurden der amtliche Lage- und Höhenbezug sowie die Übergangsfristen für den Wechsel des Bezugsrahmens von LV03 auf LV95 festgelegt: Georeferenzdaten müssen bis Ende 2016 umgestellt sein, die übrigen Geobasisdaten des Bundesrechts bis Ende 2020.

Bezugssysteme CHTRS und CH1903+

Um die vielfältigen Anforderungen der Landesvermessung und der wissenschaftlichen Geodäsie einerseits und der amtlichen Vermessung (AV) andererseits erfüllen zu können, wurden für die neue Landesvermessung zwei geodätische Bezugssysteme definiert, wobei der Bezug zwischen diesen Systemen streng festgelegt ist. Mit Blick auf die satellitengestützten Messverfahren wie GPS und die internationalen, global gelagerten terrestrischen Bezugssysteme (ITRS, ETRS89) wurde das dreidimensional-kartesische Bezugssystem CHTRS95 (Swiss Terrestrial Reference System 1995) definiert. Zum Zeitpunkt 1993.0 ist CHTRS95 mit ETRS89 identisch. Allfällige Abweichungen werden durch das kinematische Modell CHKM95 beschrieben. CHTRS95 wird durch den Bezugsrahmen CHTRF95 bzw. die Nachfolgerahmen CHTRFyy realisiert. Das sog. Schweizerische Geodätische Datum CH1903 und die zugehörige winkeltreue, schiefachsige Zylinderprojektion mit Fundamentalpunkt in Bern, das «Landeskoordinatensystem», haben sich in der praktischen Vermessung und in der AV bewährt. Aus diesem Grund wurde das lokal gelagerte Bezugssystem der Schweizerischen Landesvermessung grundsätzlich beibehalten. Die Erneuerung zu CH1903+ beinhaltet lediglich eine modernere Definition der Datumparameter, indem beispielsweise die räumlichen Koordinatenachsen durch drei fixe Translationen aus CHTRS95 abgeleitet sind. CH1903+ wird durch den Bezugsrahmen LV95 realisiert.

Fundamentalstation Zimmerwald

Mit den Messungen auf der Geostation Zimmerwald (Abb. 1) wird der geodätische Bezug des Fundamentalpunktes der Schweizerischen Landesvermessung zu den internationalen, globalen Referenzsystemen sichergestellt und fortwährend überwacht. Diese Station ist ein Observatorium der Universität Bern, das unter der Leitung des Astronomischen Institutes (AIUB) betrieben wird. swisstopo beteiligt sich sowohl an Investitionen wie auch an den jährlichen Betriebskosten. Da die Genauigkeiten moderner geodätischer Beobachtungsmethoden heute in der gleichen Grössenordnung (mm-Bereich) liegen wie die tektonisch bedingten jährlichen Verschiebungen der Punkte, müssen neben den Stationskoordinaten auch die Geschwindigkeiten (d.h. Koordinatenänderungen pro Zeiteinheit) bestimmt werden. Die wichtigsten in Zimmerwald vertretenen Messmethoden sind:

- Satellite Laser Ranging (SLR): Laserdistanzmessungen zu Satelliten, aus denen gemeinsam mit den Messungen anderer Stationen die Satellitenbahnen und die Position der Station in einem dreidimensionalen geozentrischen Koordinatensystem bestimmt werden. Die hohe Messgenauigkeit von wenigen Millimetern erlaubt eine globale Positionsbestimmung in derselben Grössenordnung.
- Seit 1992 wird in Zimmerwald eine permanente GPS-Station betrieben; seit 1999 werden auch GLONASS-Satelliten gemessen. 2007 wurde auf einer zweiten Station ein kombinierter GPS/GLO-



Abb. 1: Geostation Zimmerwald (von links): GPS-Mast, SLR-Teleskop und GNSS-Mast (GPS/GLONASS).

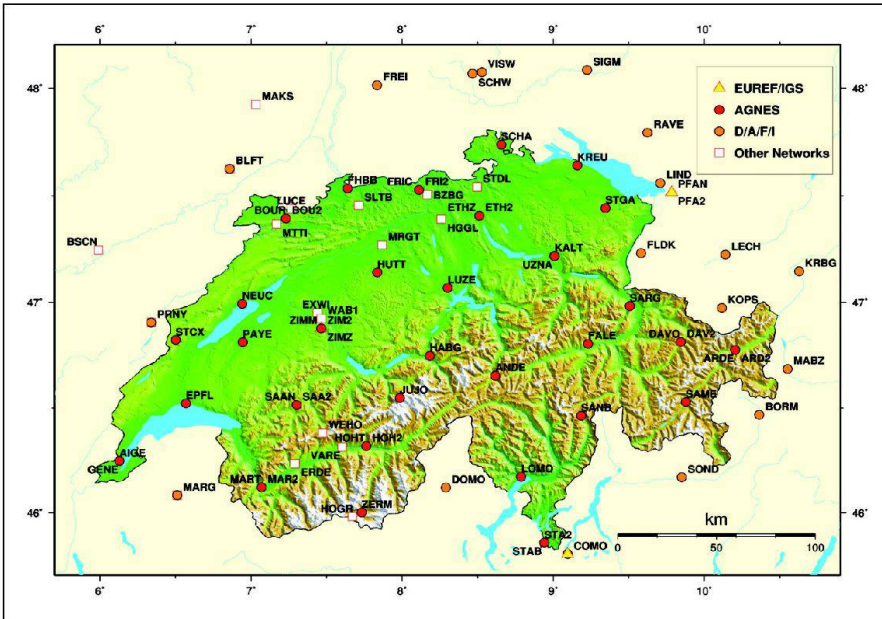


Abb. 2: AGNES-Stationen und von swisstopo ausgewertete Stationen der Nachbarländer bzw. von Dritt-Institutionen.

NASS-Empfänger (GNSS) in Betrieb genommen. Diese GNSS-Empfänger sind auch Stationen von AGNES.

- Mittels CCD-Kameras auf dem SLR-Teleskop führt das AIUB astrometrische Beobachtungen zu erdnahen Asteroiden, Satelliten und Weltraumschrott durch.
- Das Geodäsie und Geodynamik Labor (GGL) der ETH Zürich betreibt seit 1995 zusammen mit swisstopo ein Erdgezeiten-Gravimeter (LaCoste&Romberg ET-25).
- Zweimal jährlich führt das Bundesamt für Metrologie (METAS) zusammen mit swisstopo absolute Schweremessungen mit einem FG5 Gravimeter durch.
- Der Einsatz weiterer Messmethoden wurde u.a. durch einen Erweiterungsbau des Instituts für Angewandte Physik der Uni Bern ermöglicht, wo Geräte wie Wasserdampfadiometer und Sonnenspektrometer installiert worden sind.
- Die lokalen geodätischen Referenzpunkte und Messmarken werden regelmässig durch swisstopo mittels terrestrischer Vermessung überwacht.

Die Geostation Zimmerwald nimmt mit ihren Beobachtungen immer wieder und meist langjährig an internationalen For-

schungsprojekten teil. Insbesondere ist die Station eine Permanentstation (fiducial station) des International Laser Ranging Service (ILRS), des International GNSS Service for Geodynamics (IGS) sowie des European Permanent Network (EPN). Zudem wird Zimmerwald als Station des European Combined Geodetic Network (ECGN) betrieben. Durch die Abgabe der Messresultate an die «Services» ist die Geostation Zimmerwald auch am Global Geodetic Observing System (GGOS) der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) beteiligt. GGOS wiederum vertritt die IAG in der «Group on Earth Observation» (GEO) und GGOS ist der Beitrag der IAG zum «Global Earth Observation System of Systems» (GEOSS).

AGNES und swipos®

Permanent betriebene, stabil installierte GNSS-Stationen gehören heute zu den wichtigsten Infrastrukturkomponenten einer modernen Landesvermessung. Sie ermöglichen die aktive Realisierung der lokalen und globalen terrestrischen Bezugssysteme und dienen als Basis für den Betrieb von Positionierungsdiensten. In der Schweiz wird dies durch das ab 1998 aufgebaute AGNES-Netz (Automatisches

GNSS Netz Schweiz) bzw. den Swiss Positioning Service swipos® gewährleistet. Anstatt klassisch über Punktprotokolle und genaue Koordinaten kann den Benutzern der Zugang zu den terrestrischen Bezugsrahmen durch das Aussenden von GNSS-Referenzmessungen und Korrekturdaten via Mobilfunk (GSM) landesweit flächendeckend in Echtzeit und in homogener, überprüfbarer Qualität zur Verfügung gestellt werden. Die kontinuierlichen GNSS-Beobachtungen liefern langfristig auch einen Beitrag zur Bestimmung des kinematischen Modells CHKM95 für das schweizerische geodätische Referenzsystem CHTRS95 und dienen wissenschaftlichen Anwendungen in Geodynamik und Atmosphärenforschung (GNSS-Meteorologie). AGNES ist somit ein Vielzweck-Referenznetz für die Landesvermessung und für verschiedenste Arten von Vermessungen, Positionierungen und GIS-Anwendungen in der Schweiz.

AGNES besteht aktuell aus 31 gleichmässig über die ganze Schweiz verteilten GNSS-Permanentstationen (Abb. 2). Mit der Erweiterung auf GPS/GLONASS-Empfänger im Jahr 2007 wurden auf 10 Stationen die reinen GPS-Empfänger aus Kontinuitätsgründen in Betrieb belassen und Doppelstationen installiert. Somit sind aktuell total 41 Empfänger operationell. Zudem werden 19 grenznahe Stationen der Nachbarländer in AGNES bzw. swipos integriert. Die Daten der einzelnen AGNES-Stationen werden über ein geschütztes Kommunikationsnetz online in das Rechen- und Kontrollzentrum bei swisstopo übertragen. Dieses stellt die laufende Überwachung der AGNES-Stationen sicher und gibt bei fehlenden, lückenhaften oder fehlerbehafteten Daten einer Station eine Fehlermeldung weiter. Über den Swiss Positioning Service swipos® werden die geprüften Daten der AGNES- sowie der grenznahen Stationen den Benutzern als GNSS-Referenzdaten für praktische Anwendungen zugänglich gemacht. Die Kunden bzw. ihre GNSS-Empfänger können die Daten entweder in Echtzeit online (Real-time Anwendungen) über GSM vom swipos-Kommunikationsrechner beziehen oder später off-

Netzwerklösung	Stationen (2007 → 2010)	Auswerte- Intervall	Verzögerung
1: EUREF (EPN) Teilnetz	31 → 50	täglich	14–21 Tage
2: EUREF-Teilnetz + AGNES	89 → 118 (41 AGNES)	täglich	14–21 Tage
3: EUREF-Teilnetz + AGNES	80 → 115 (41 AGNES)	stündlich	1 Std. 45 Min.

Tab. 1: Netzwerkösungen von permanenten GNSS-Stationen bei swisstopo.

line (Post-processing Anwendungen) über einen Daten-Downloaddienst auf die Referenzdaten zugreifen.

Die Echtzeit-Dienste basieren auf der Methode der Virtuellen Referenzstation (VRS). Dabei werden für den aktuellen Standort des Benutzers aus den Daten der umliegenden AGNES-Stationen Messdaten interpoliert, welche für die präzise Positionsbestimmung im differentiellen Modus verwendet werden können. Bei der Interpolation werden systematische Fehleranteile der Satellitenbahnen, der Troposphäre und Ionosphäre weitgehend eliminiert. Die mit diesem Verfahren erreichbaren Genauigkeiten liegen je nach verwendeter Messgrösse (Code oder Phase) im Meter- bzw. Zentimeterbereich. Ausserdem bieten einzelne Dienste real-time Transformationen in die Bezugsrah-

men LV03 und LN02 an, so dass die Kunden bis zur definitiven Umstellung auf LV95 auch direkt in den offiziellen Koordinatenrahmen messen können.

Für post-processing Anwendungen können die Daten der AGNES-Stationen im RINEX-Format von einem zentralen Server herunter geladen werden, wobei die Messzeit und das Datenintervall durch den Benutzer definiert werden können. Im Permanent Network Analysis Center (PNAC) von swisstopo werden stündliche und tägliche Netzwerkösungen berechnet (Tab. 1). Die Anzahl der ausgewerteten Stationen hat kontinuierlich zugenommen, indem nebst den AGNES-Stationen auch die erwähnten Stationen der Nachbarländer und Permanentstationen des European Permanent Network (EPN) sowie einige Stationen von Drittparteien

ausgewertet werden (Abb. 2 und 3). swisstopo beteiligt sich als eines von mehreren europäischen Analyse-Zentren an der Auswertung des EPN (Netzwerklösung 1). Die Netzwerkösungen 2 und 3 dienen der Überwachung der schweizerischen Bezugsrahmen in Beinahe-Echtzeit sowie wissenschaftlichen Anwendungen und Untersuchungen (Geodynamik und GNSS- Meteorologie). Die Hauptprodukte sind kontinuierlich abgeleitete Koordinatensätze der Stationen für die Überwachung der Bezugsrahmen sowie aus GNSS bestimmte Troposphärenparameter (sog. *zenith total delays*) zur Unterstützung der Wetterprognosen.

Alle Berechnungen werden mit der sog. Bernese Software BSW5.0 durchgeführt. Indem am Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) und bei swisstopo dieselben Softwaremodule eingesetzt werden und die beiden Institutionen bei deren Weiterentwicklung eng zusammenarbeiten, ergeben sich wertvolle Synergien. swisstopo ist auch am Center for Orbit Determination in Europe (CODE) beteiligt, welches am AIUB betrieben wird und tägliche Auswertungen des globalen Permanentnetzes des International GNSS Service (IGS) durchführt.

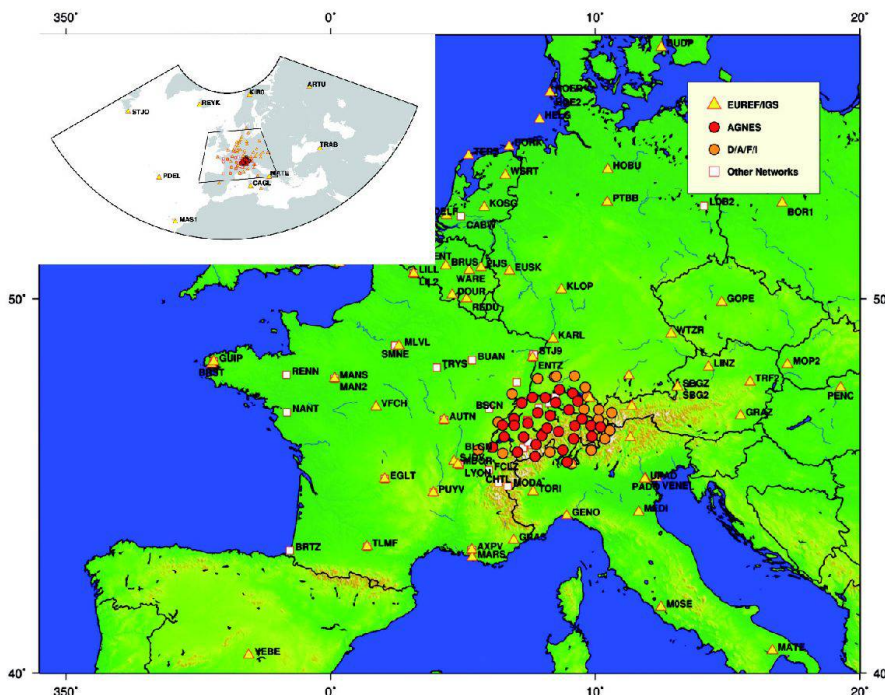


Abb. 3: Von swisstopo ausgewertete permanente GNSS-Stationen in Europa.

GPS Landesnetz LV95

Zwischen 1989 und 1995 hat swisstopo als Grundlage für den Bezugsrahmen der Landesvermessung LV95 das GPS-Landesnetz mit total 104 Hauptpunkten gemessen und dieses bis 1998 durch zusätzliche Verdichtungspunkte erweitert (Abb. 4). Heute stehen 208 stabil versicherte und leicht zugängliche Referenzmesspunkte als Grundlage für praktisch sämtliche Anwendungen der Vermessung in der Schweiz zur Verfügung. Zusammen mit dem GNSS-Permanentnetz AGNES realisieren diese Punkte den neuen Bezugsrahmen LV95, welcher mittelfristig (siehe Konzept) die Landestriangulation LV03 (1. bis 3. Ordnung) ablösen wird. Es ist vorgesehen, das gesamte LV95-Netz alle 6 Jahre nachzumessen. Die dritte Wiederholungsmessung nach 1998

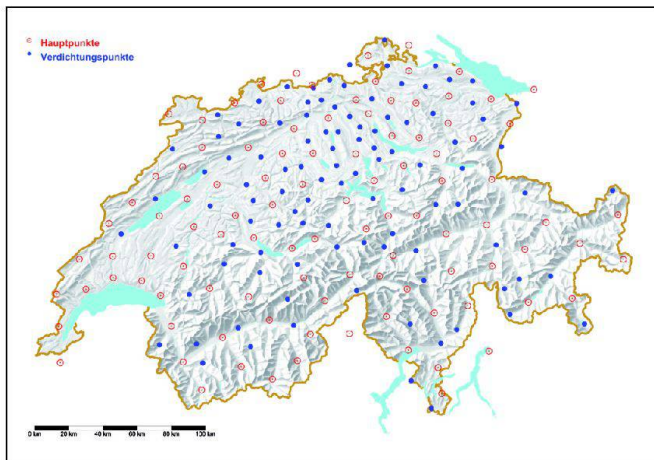


Abb. 4: Übersicht über alle Punkte im GPS-Landesnetz LV95.

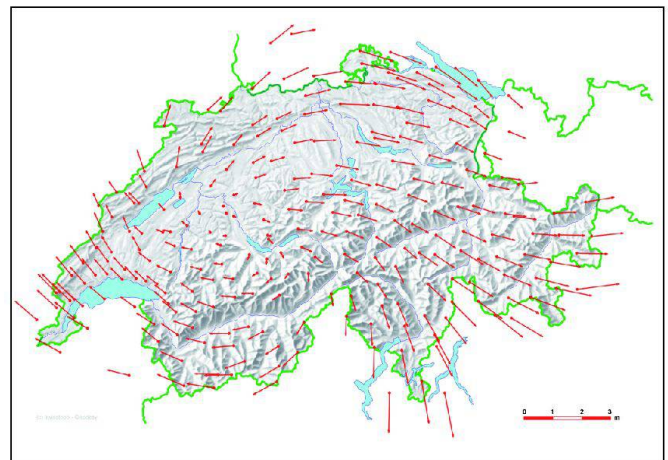


Abb. 5: Differenzvektoren von LV03 zu LV95.

und 2004 hat im Rahmen der Messkampagne CHTRF2010 stattgefunden.

Aus Vergleichsmessungen auf noch gut zugänglichen Vermessungspunkten der ursprünglichen Landestriangulation (LV03) und unter Einbezug der Resultate aus der Diagnoseausgleichung der Triangulation 1./2. Ordnung (DIA95) konnten gebietsweise systematische Verzerrungen in der hundertjährigen LV03 von bis zu 1.5 m nachgewiesen werden (Abb. 5). Demgegenüber ist die landesweite Genauigkeit (1 Sigma) der Lagekoordinaten des neuen Bezugsrahmens LV95 besser als 1 cm. Die Landesvermessung LV95 vermochte somit die Lagegenauigkeit um den Faktor 100 zu verbessern.

Bereits kurz nach seiner Erstellung erfüllte der Bezugsrahmen LV95 dank seiner landesweit homogenen Genauigkeit im Zentimeterbereich die Anforderungen von Grundlagenvermessungen grosser Ingenieurprojekte und Infrastrukturanlagen wie dem Lötschberg- und dem Gotthard-Basistunnel.

Alle Daten der Fixpunkte der Landesvermessung und der amtlichen Vermessung (Kategorien 1 und 2) werden zentral bei swisstopo in einer Datenbank, dem Fixpunkt-Datenservice (FPDS) verwaltet, auf welche auch die Kantone direkt zugreifen können. Über den Visualisierungsdienst «FPDS-Datenviewer» stehen die Koordinaten und Punktprotokolle ausserdem der Allgemeinheit unentgeltlich zur Verfügung.

Bezugsrahmenwechsel und Transformationsdienste

Die Einführung eines neuen Bezugsrahmens hat natürlich eine grosse Auswirkung auf die Nutzung und Verwaltung sämtlicher Geodaten, die hauptsächlich noch auf den ursprünglichen Grundlagen der LV03 basieren. In enger Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen der amt-

lichen Vermessung sowie mit Vertretern der Hochschulen und Fachverbände wurden diese neue Ausgangslage analysiert und Lösungsvorschläge für einen optimalen Bezugsrahmenwechsel erarbeitet. Mit dem an der ETHZ in den Neunziger Jahren entwickelten FINELTRA-Algorithmus (Affin-Transformation über finite Elemente) und dem dazu gehörigen Datensatz «CHENyx06», der einer flächendeckenden Dreiecksvermaschung über die

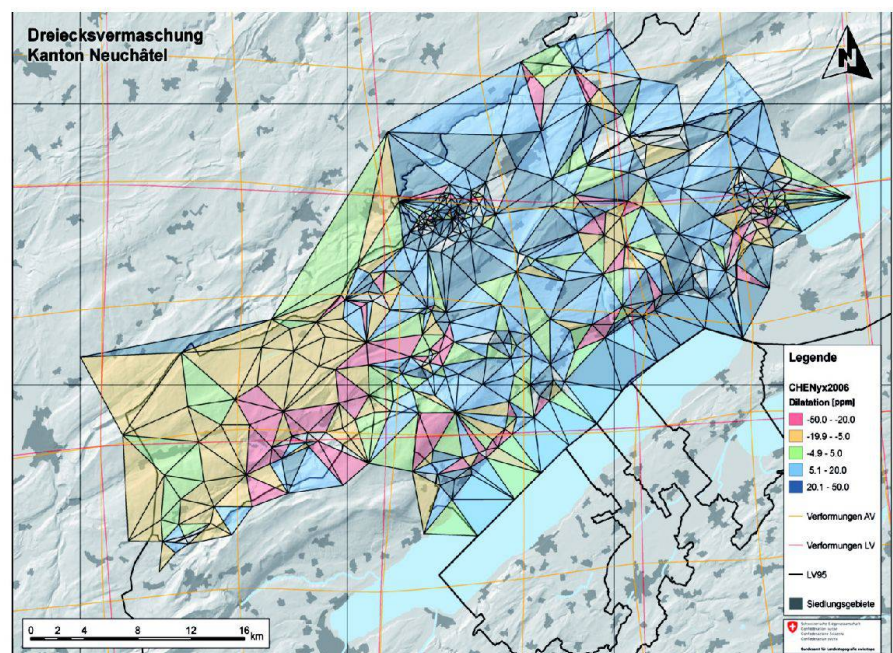


Abb. 6: Dreiecksvermaschung des Kantons Neuchâtel (mit lokaler Verdichtung in zwei Gebieten) mit dem Verzerrungsparameter «Dilatation», welcher eine Ausdehnung oder Stauchung des Dreiecks durch die Transformation LV03 → LV95 angibt.

ganze Schweiz entspricht, steht heute ein geeignetes Werkzeug bereit. Zur hohen Qualität dieses Transformationsdatensatzes, welche mit einer eigens zu diesem Zweck von swisstopo entwickelten GIS-Fachschale (Abb. 6) nachgewiesen wurde, haben die Vermessungsfachstellen der Kantone mit Messungen von Kontroll- und Verdichtungspunkten wesentlich beigetragen.

Mit dem FINELTRA-Algorithmus, respektive CHENyx06 steht eine Transformation bereit, welche den Bezugsrahmenwechsel in hoher Genauigkeit ermöglicht. Hingegen bleiben mit diesem Ansatz über finite Elemente geometrische und topologische Eigenschaften nicht (immer) erhalten, da die Affin-Transformation nicht winkel- und längentreu ist. So waren weitere Ansätze gefordert, welche die Transformation in Abhängigkeit der Datengenauigkeit und der geometrischen Anforderungen möglichst verzerrungsarm ermöglichen. swisstopo hat 2009 entsprechende Realisierungsvarianten erarbeitet. Insbesondere werden die Produzenten und Benutzer von Geodaten beim Bezugsrahmenwechsel mit der Software REFRAAME von swisstopo bestmöglich unterstützt. Sie vereinigt alle für die Schweiz relevanten geodätischen Transformationen unter einer Benutzeroberfläche und steht auch als öffentlicher Geodienst zur Verfügung.

Da der Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95 jeden Geodaten-Produzenten und -nutzer in der Schweiz betrifft, hat swisstopo zu diesem Thema eine Internetplattform unter www.swisstopo.ch/lv95 aufgebaut: Unter dieser URL können Informationen zu den «neuen Koordinaten» gefunden werden. Es wurde auch ein Download-Dienst für den offiziellen Transformationsdatensatz CHENyx06 sowie für eine Programmbibliothek (DLL) mit dem offiziellen FINELTRA-Algorithmus für Software-Entwickler eingerichtet. Weiter wurde ein Transformationsdienst mit allen für die Schweiz relevanten Umrechnungen aufgeschaltet und über den Visualisierungsdienst «Fineltra-Datenvierwer» kann die empirische Transformationsgenauigkeit abgerufen werden.

Landesschwerenetz LSN2004

Seit 2004 ist die Erneuerung des Landesschwerenetzes LSN2004 in Arbeit. Dieses hierarchisch aufgebaute Netz dient als Grundlage für lokale Schweremessungen, wie sie für die Korrektur des Landesnivellements oder in geophysikalischen Projekten benötigt wird. Das Rückgrat (Netz 0. Ordnung) des Landesschwerenetzes bilden absolute Schweremessungen auf 10 Punkten in der ganzen Schweiz (Abb. 7). Diese stabil und dauerhaft versicherten Punkte sind in der Regel nicht öffentlich zugänglich und werden in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Metrologie (Metas) mit dessen Freifallgravimeter FG5 beobachtet. Die erreichbare Genauigkeit einer 24stündigen Absolutmessung beträgt einige wenige μgal ($1 \mu\text{gal} = 10^{-8} \text{ms}^{-2}$). Die Absolutstationen werden zur Kontrolle auch durch relative Schweremessungen untereinander verbunden. Diese Relativmessungen erfolgen in Zusammenarbeit mit der Uni Lausanne und der ETH Zürich mit einem Scintrex CG5. Die Genauigkeit dieser Messungen liegt etwa in derselben Größenordnung wie diejenige der Absolutmessungen. Verdichtet wird LSN2004

durch ein Netz 1. Ordnung, welches aus ca. 15 stabilen und gut zugänglichen Punkten des Landesnivellements und des LV95-Netzes besteht. Auf diesen Punkten werden nur relative Schweremessungen durchgeführt. Eine weitere Verdichtung (Netz 2. Ordnung) wird durch sämtliche LV95-Hauptpunkte gebildet.

Der Netzaufbau von LSN2004 entspricht demjenigen seines Vorgängers SG95 (Schweregrundnetz 1995), wobei nur einige in der Zwischenzeit zerstörte Punkte ersetzt wurden. Durch die Verknüpfung des Landesschwerenetzes mit LV95 und dem Landesnivellement konnten insbesondere zusätzliche Dokumentations- und Unterhaltsarbeiten eingespart werden und LSN2004 konnte ohne grossen Zusatzaufwand in den Fixpunkt-Datenservice (FPDS) integriert werden.

Landeshöhennetz LHN95

Mit dem Projekt «Landesvermessung 1995» war von Anfang an geplant, einen modernen, auf einem potenzialtheoretisch strengen Höhensystem basierenden Höhenbezugsrahmen einzuführen. Das Landeshöhennetz LHN95 sollte zusammen mit dem neuen Geoidmodell die Verwendbarkeit der satellitengeodätischen

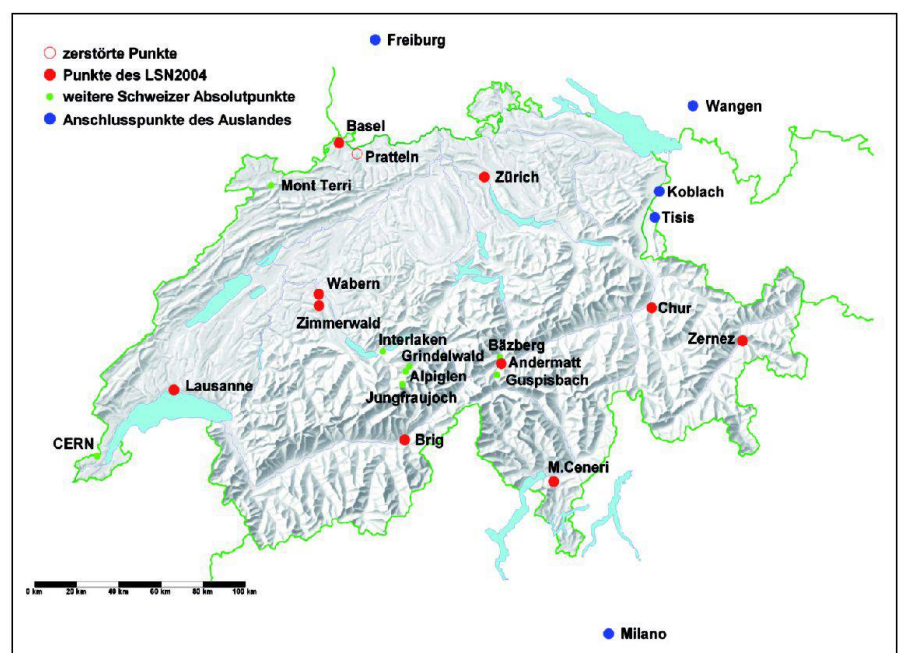


Abb. 7: Landesschwerenetz: Absolute Schwerestationen in der Schweiz.

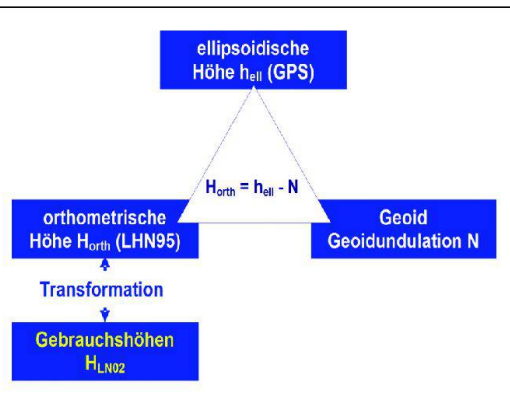


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Geoid, Ellipsoid und LHN95 sowie den Gebrauchshöhen LN02.

Messmethoden für die Höhenbestimmung verbessern. Eine Neumessung der Linien des Landesnivellements stand dabei nie zur Debatte. Das neue Landeshöhenetz stützt sich im Wesentlichen auf die Messungen ab, welche seit 1903 auf den Linien des Landesnivellements getätigt wurden.

Vor allem hinsichtlich einer soliden Höhengrundlage für die beiden alpenquerenden Basistunnels Gotthard und Lötschberg wurde ab 1996 die Digitalisierung der Landesnivellementmessungen vorangetrieben. Im Gegensatz zu den offiziell gültigen Gebrauchshöhen im amtlichen Höhenbezug des Landesnivellements LN02 werden die Höhen im LHN95 potenziell theoretisch streng als orthometrische Höhen über dem Geoid berechnet und ausgeglichen. Nebst der Berücksichtigung der räumlichen Variation des Erdschwerefeldes sind auch die rezenten tektonischen Bewegungen der Messpunkte modelliert, indem die wiederholten Messungen des Landesnivellements einer kinematischen Ausgleichung unterzogen werden. LHN95 ist aber (trotz der Alpenhebung von bis zu 1.5 mm/Jahr) ein statischer Rahmen; mit dem kinematischen Modell des LHN95 (RCM04 Modell) werden die Höhen auf den Bezugszeitpunkt 1993.0 umgerechnet. Auch wurde bewusst darauf verzichtet, den Höhenhorizont zu ändern. Das Schwerepotenzial bzw. die orthometrische Höhe des Fundamentalpunktes in Zimmerwald wurde so festgelegt, dass

der Repère Pierre du Niton als ideeller Ausgangspunkt die Höhe 373.6 m ü. M. beibehält. Relativ zu Zimmerwald resultieren schweizweit Höhen mit maximalen mittleren Fehlern von ± 2 cm. Der grosse Nutzen von LHN95 entsteht aber in erster Linie im Zusammenspiel zwischen den ellipsoidischen Höhen aus LV95 und dem Geoidmodell (Abb. 8).

Die Verantwortlichen der Landesvermessung konnten sich im Jahre 2001 mit ihrem Ansinnen nicht durchsetzen, mit LHN95 die Gebrauchshöhen abzulösen. Unabhängig von diesem Entscheid war schon immer geplant, mit LHN95 auch eine Umrechnungsmöglichkeit in den Gebrauchshöhenrahmen LN02 zu verwirklichen (Abb. 9). Die Transformationssoftware HTRANS steht seit 2005 zur Verfügung und ist heute auch im Programm REFRAME integriert.

Weniger bekannt ist, dass die weiterhin gültigen Gebrauchshöhen (LN02) auf den Messungen von 1864–91 der Schweizerischen Geodätischen Kommission beruhen. Bis auf ausgeprägte Senkungspunkte weichen die jeweiligen Höhen auf heute noch existierenden Punkten nur im cm-Bereich voneinander ab (Abb. 10). Somit prägen die Arbeiten der 150-jährigen SGK die Höhen in der Schweiz bis zum heutigen Tage.

Geoidmodell CHGeo2004

Zum neuen Landesvermessungswerk gehört auch ein neues Geoidmodell CHGeo2004, welches die Umrechnung von ellipsoidischen in orthometrische Höhen LHN95 ermöglicht (Abb. 11). Wie das Vorgängermodell CHGeo98 basiert es vor allem auf astro-geodätischen Lotabweichungsmessungen, wird zusätzlich aber auch durch GPS-Messungen auf Punkten des Landeshöhennetzes und durch gravimetrische Daten gestützt. Zur Genauigkeitssteigerung wurde 2003 eine grössere astro-geodätische Messkampagne mit zwei transportablen digitalen Zenitkameras der ETH Zürich und der TU Hannover durchgeführt. Ziel dieser Kampagne war es, ältere, zweifelhafte Messungen zu ersetzen oder zu überprüfen. Der Schwerpunkt lag dabei auf den anlässlich der Berechnung von CHGeo98 erkannten problematischen Regionen wie dem Unterengadin, dem Sustenpass oder dem Gebiet des Bodensees. Aber auch in der übrigen Schweiz wurden insgesamt mehr als 50 neue Lotabweichungen mit einer Genauigkeit in der Grössenordnung von 0.1" bestimmt. Dies ist gegenüber den älteren analogen Messungen eine Genauigkeitssteigerung um etwa den Faktor 3 bis 5.

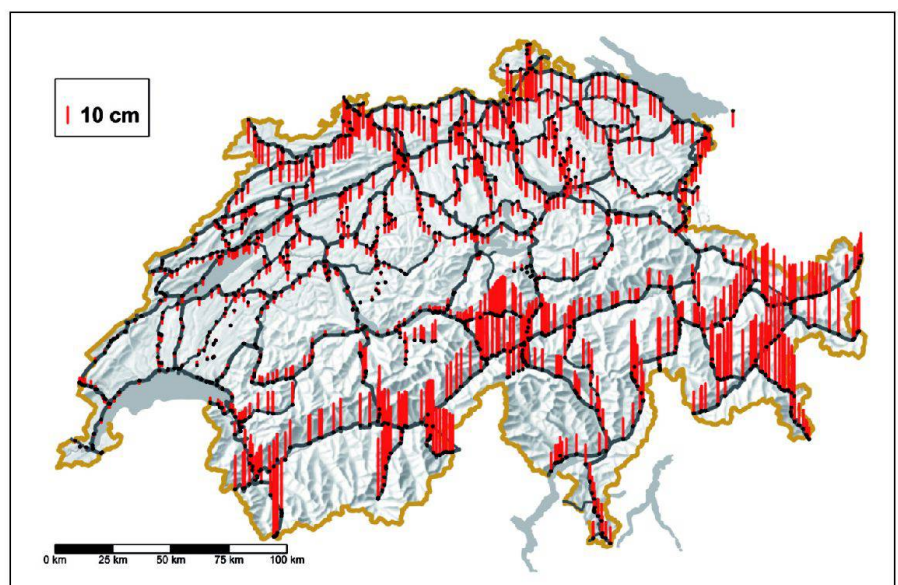


Abb. 9: Die Linien des Landeshöhennetzes mit den Differenzen zwischen LHN95 und LN02 auf ca. 1430 Stützpunkten.

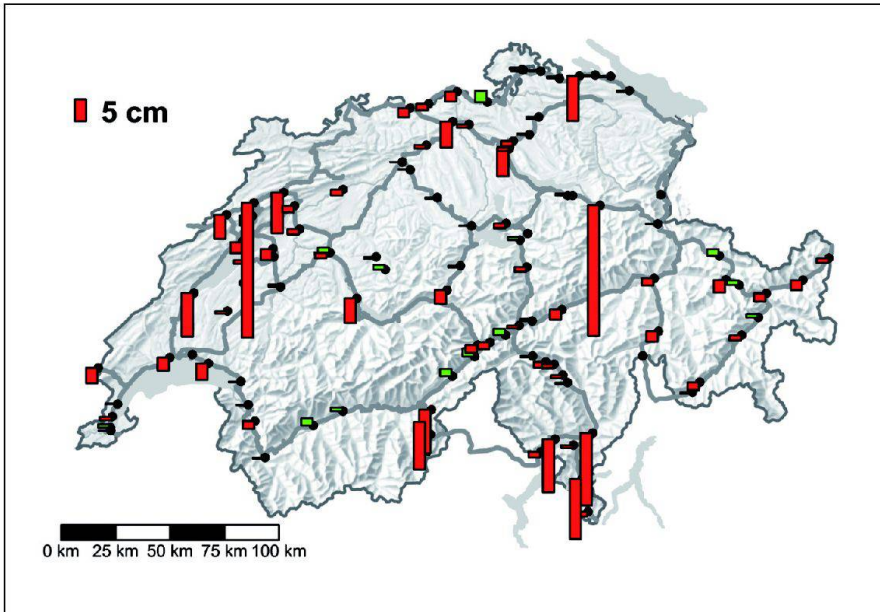


Abb. 10: Differenzen zwischen den heutigen offiziellen Gebrauchshöhen LN02 und den Höhen der Schweizerischen Geodätischen Kommission (1864–91).

Um die Konsistenz des Geoidmodells mit den orthometrischen Höhen LHN95 zu erreichen, wurden möglichst viele Punkte des Landesnivellements mit GPS beobachtet und auch möglichst viele LV95-Punkte ans Landeshöhenetz angeschlossen. So konnten für die Geoidberechnung ca. 200 solche GPS/Nivellement-Punkte verwendet werden. Diese direkten Beobachtungen von Geoidhöhen wurden mit einem sehr hohen Gewicht in die Berechnung eingeführt, so dass die Konsistenz zwischen ellipsoidischen und orthometrischen Höhen für CHGeo2004 erzwungen wurde. Dies mag aus potenzialtheoretischer Sicht zwar nicht sehr sauber sein, ist aber diejenige Lösung, welche in der praktischen Anwendung den meisten Nutzen bringt.

Eine weitere Genauigkeitssteigerung gegenüber dem Modell von 1998 wurde in einigen Regionen durch den direkten Einbezug von Schweremessungen erreicht. Aber auch die Weiterentwicklungen in den digitalen Höhenmodellen im In- und Ausland, die Verbesserungen der globalen Schwerfeldmodelle und der erleichterte Datenaustausch mit dem Ausland trugen wesentlich zur Genauigkeitssteigerung bei.

In der Zwischenzeit ist CHGeo2004 in den meisten handelsüblichen GPS-Empfängern sowie in GPS-Auswerte-Programmen und in GIS- und Transformations-Software integriert, ist somit in der Schweiz recht weit verbreitet und hat sich bewährt. Die Genauigkeit von 1 bis 3 cm (1 Sigma) hat sich bestätigt. Deshalb ist es nicht vorgesehen in den nächsten Jahren CHGeo2004 durch ein neueres Modell abzulösen.

Kombination CH-CGN

Um die Konsistenz zwischen den ellipsoidischen Höhen im GPS-Landesnetz (LV95), den orthometrischen Höhen des LHN95 sowie den Geoidundulationen des Geoidmodells CHGeo2004 zu gewährleisten, wurden deren Messungen und Daten im sog. «Swiss Combined Geodetic Network (CH-CGN)» kombiniert. Dieses wird gebildet durch die heute ca. 200 vorhandenen GPS/Nivellement-Punkte. Dies sind einerseits die ans Landeshöhenetz angeschlossenen LV95- und AGNES-Punkte, andererseits Höhenfixpunkte, welche auch mit GPS beobachtet wurden. Der Grossteil dieser Punkte wurde zur Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004 verwendet und dabei wurde, wie oben erwähnt, die Konsistenz mit LV95 und LHN95 durch eine grosse Gewichtung dieser Beobachtungen bereits erzwungen. Deshalb ist der Vergleich zwischen CHGeo2004, LV95-Höhen und LHN95 auf diesen Punkten nicht mehr interessant. Aussagekräftiger ist der Vergleich mit einer Variante der Geoidberechnung, bei welcher die GPS/Nivellement-Punkte weggelassen oder nur mit sehr kleinem Gewicht verwendet werden. Bei einem solchen Vergleich konnte die Genauigkeit des Geoidmodells von 1 bis 3 cm im grössten Teil der Schweiz bestätigt werden. Nur

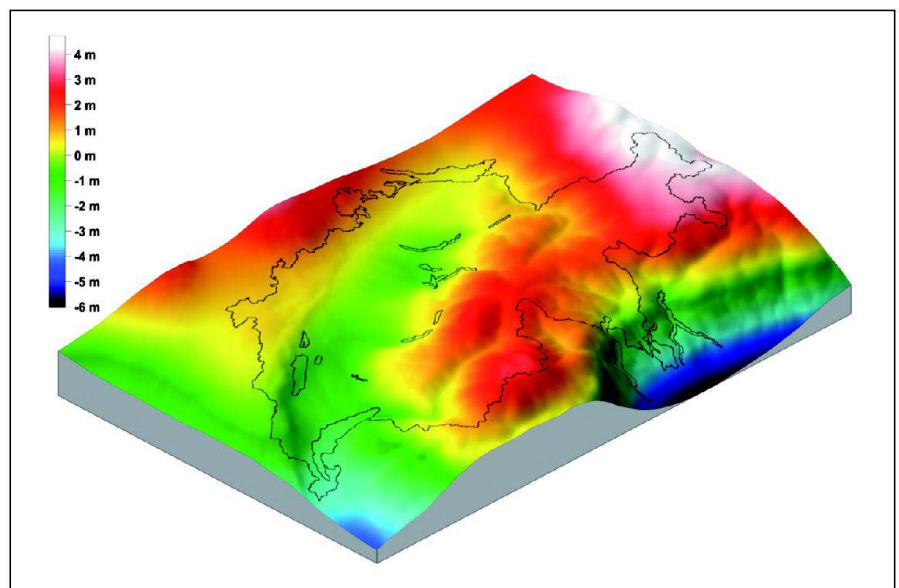


Abb. 11: Geoidmodell CHGeo2004 im Referenzsystem CH1903+.

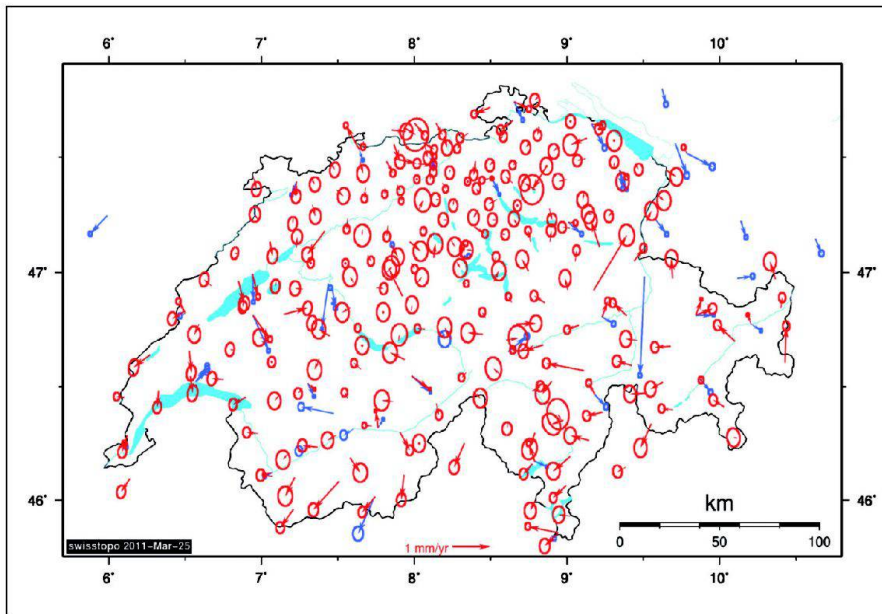


Abb. 12: Geschätzte horizontale Geschwindigkeiten (in mm/Jahr) mit Fehler-ellipsen der permanenten AGNES-Stationen (in blau) bzw. der LV95-Punkte aus Kampagnenmessungen (in rot).

im Unterengadin zeigten sich systematische Unterschiede von bis zu 20 cm. Bisher konnte für diese Diskrepanz noch kein plausibler Grund gefunden werden. Dies ist deshalb ein Grund für weitere Untersuchungen.

Die Restklaffen auf den GPS/Nivellementpunkten können mithilfe der vollständigen Varianz/Kovarianz-Matrizen der einzelnen, als unabhängig betrachteten Einzellösungen (GPS, Nivellement und Geoid) einer Gesamtausgleichung zugeführt werden und auf die jeweiligen Datensätze verteilt werden. Dabei hat sich gezeigt, dass die reine GPS-Lösung aufgrund der sehr hohen Anzahl Beobachtungen ein sehr starkes Gewicht bekommt und mit Ausnahme einiger weniger, schwächer bestimmten Stationen fast keinen Anteil der Restklaffen aufnehmen kann. Das Landesnivellement ist lokal ebenfalls ein sehr starker Datensatz und kann nur in Randgebieten einen systematischen Anteil der Residuen erklären. Somit bleibt das Geoidmodell als einziger Datensatz, welcher den Grossteil der GPS/Nivellement-Residuen in sich aufnimmt. Dies ist auch der Grund, dass bei der Veröffentlichung von CHGeo2004 auf die Verarbeitung der Resultate dieser

Gesamtausgleichung verzichtet wurde und die gesamten Residuen dem Geoidmodell zugeschlagen wurden. Die Unterschiede zu einer strengen Verteilung auf die einzelnen Datensätze waren zu gering. Somit bleiben die orthometrischen LHN95- und die ellipsoidischen LV95-Hö-

hen unabhängig voneinander und sind streng durch CHGeo2004 miteinander verknüpft.

Ein weiterer aussagekräftiger Vergleich kann auf GPS/Nivellement-Punkten erfolgen, welche erst nach der Veröffentlichung von CHGeo2004 erstellt wurden. Dort sind GPS, Nivellement und Geoidmodell voneinander unabhängig und dienen einer externen Qualitätsaussage für die erreichte Konsistenz der Höhen. Allerdings sind seit 2004 nur sehr wenige zusätzliche GPS/Nivellement-Stationen erstellt worden und die Resultate sind noch nicht sehr aussagekräftig.

Kinematisches Modell CHKM95

Ein wesentlicher Aspekt der modernen Geodäsie ist die konsequente Berücksichtigung der zeitlichen Veränderungen der Geometrie der Form und Oberfläche der Erde sowie des Schwerefeldes. Es ist deshalb ein wesentliches Ziel der neuen Landesvermessung, die Kinematik der obersten Erdkruste in der Schweiz und den umliegenden Gebieten zuverlässig zu bestimmen und in einem kinematischen 3D-Modell zu beschreiben.

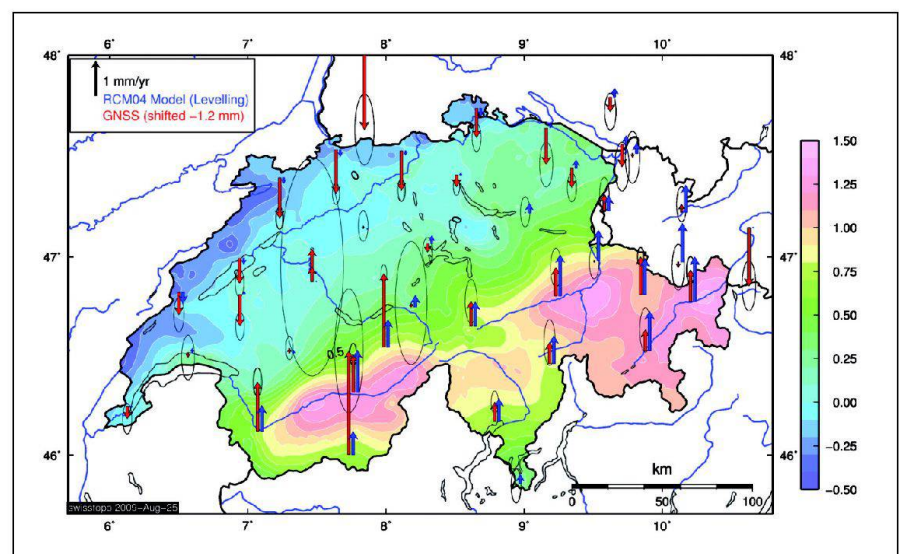


Abb. 13: Vertikale Geschwindigkeiten (in mm/Jahr) aus permanenten GNSS-Messungen (rote Pfeile) und Nivellementmessungen (blaue Pfeile) auf AGNES-Stationen, wobei der Referenzpunkt Aarburg mit der Geschwindigkeit Null fixiert wird. Die Hintergrundfarben zeigen das kinematische Modell LHN95 (RCM04 Modell).

Für die Untersuchung der kinematischen Bewegungen (rezenten Krustenbewegungen) in der Schweiz werden nebst Messungen des Landesnivellements auch kombinierte Mehrjahres-GNSS-Lösungen der Permanentnetze AGNES und EPN/IGS sowie der Kampagnen im GPS-Landesnetz zwischen 1988 und 2010 berechnet. Die Analyse von Zeitreihen der Koordinaten ist ein Hauptelement der Langzeitüberwachung der Stabilität der Permanentstationen bzw. des Bezugsrahmens. In Ergänzung dazu erlaubt die Analyse von GPS-Kampagnendaten die Untersuchung der Stabilität von gut versicherten Punkten, welche das Permanentnetz verdichten.

Die horizontalen Geschwindigkeiten der AGNES-Stationen mit Zeitreihen von mehr als 3 Jahren sowie der LV95-Stationen mit mindestens 3 Bestimmungen in mehr als 4 Jahren sind in Abb. 12 zusammen mit deren Fehlerellipsen dargestellt. Die geschätzten Geschwindigkeiten sind klein. Eine Nullhypothese, die annimmt, dass keine horizontalen Bewegungen auftreten, trifft mit einer Standardabweichung der Geschwindigkeiten von 0.3 mm pro Jahr und pro Koordinatenkomponente zu. In der Statistik zur Berechnung der Standardabweichung sind auch die grösseren Bewegungen einiger offensichtlich lokal instabiler Stationen enthalten.

Die Analyse von mehr als zehn Jahren Daten der Permanentstationen in AGNES und EPN/IGS erlaubt auch eine Schätzung der vertikalen Geschwindigkeiten (Abb. 13). Diese können mit den Hebungs- bzw. Senkungsraten von Nivellementpunkten verglichen werden, welche im Landesnivellement im Intervall von mehr als 100 Jahren mindestens dreimal beobachtet worden sind.

Dank

Für den Aufbau des Landesvermessungswerkes LVW95 gebührt allen Beteiligten herzlicher Dank, insbesondere den ehe-

maligen und heutigen Mitarbeitenden des Bereiches Geodäsie von swisstopo. Namentlich erwähnen möchten wir unsere Vorgänger, ehemaligen Vorgesetzten und Kollegen: Dr. E. Gubler, Dr. D. Schneider, H. Chablais und Th. Signer sel. Sie haben bereits in den 1980er und 1990er Jahren mit ihrer Weitsicht und ihrem Einsatz Wesentliches zum Konzept, den Grundlagen und der Realisierung des LVW95 beigetragen. Wertvolle Beratung und konstruktive Zusammenarbeit bei vielen Projekten hat swisstopo auch von den Hochschulen, insbesondere dem AIUB und dem IGP der ETHZ erhalten. Wichtig waren zudem die Anregungen und Ratschläge der Mitglieder der Schweizerischen Geodätischen Kommission.

Literatur in früheren Ausgaben dieser Zeitschrift:

Brockmann E., D. Ineichen und A. Wiget (2005): Neumessung und Auswertung des GPS-Landesnetzes der Schweiz LV95. Geomatik Schweiz 8/2005, S. 440–444.

Gubler E., D. Gutknecht, U. Marti, D. Schneider, Th. Signer, B. Vogel und A. Wiget (1996): Die neue Landesvermessung der Schweiz LV95. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 2/1996, S. 47–65.

Kistler M. und Ray J. (2007): Neue Koordinaten für die Schweiz. Fertigstellung der nationalen Dreiecksvermaschung, neue Transformations-Software REFRAME und Eröffnung des Internet-Portals «Bezugsrahmenwechsel». Geomatik Schweiz, 9/2007, S. 432–437.

Marti U. und A. Schlatter (2002): Höhenreferenzsysteme und -rahmen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/2002, S. 8–12.

Marti U. und A. Schlatter (2005): Festlegung des Höhenbezugsrahmens LHN95 und Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004. Geomatik Schweiz 8/2005, S. 445–449.

Ray J., U. Marti und M. Kistler M. (2009): Methoden und Werkzeuge für die Koordinatentransformation zwischen globalen und lokalen Bezugsrahmen und den Datenaustausch mit den Nachbarländern. Geomatik Schweiz, 11/2009, S. 536–539.

Scherrer M. (2007): Neue Koordinaten für die Schweiz: Konsequenzen des neuen Lagebezugsrahmens LV95. Geomatik Schweiz 9/2007, S. 447–448.

Schlatter A. und U. Marti (2002): Neues Landeshöhennetz der Schweiz LHN95. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/2002, S. 13–17.

Schneider D., B. Vogel, A. Wiget, E. Brockmann, A. Schlatter, U. Marti und U. Wild (2003): Landesvermessung einst und heute. Geomatik Schweiz 12/2003, S. 669–674.

Signer Th. (2002): Landesvermessung LV95: Übersicht und Stand des Projektes. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/2002, S. 4–7.

Wild U., S. Grünig, R. Hug, P. Kummer, I. Pfammatter und U. Bruderer (2001): swipos®-GIS/Geo: real-time Positionierung in der ganzen Schweiz mit cm-Genauigkeit. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 3/2001, S. 165–168.

Eine Liste weiterer Publikationen, insbes. auch in Englisch, kann bei den Autoren bezogen werden.

Adrian Wiget
Elmar Brockmann
Matthias Kistler
Urs Marti
Andreas Schlatter
Bruno Vogel
Urs Wild

Bundesamt für Landestopografie
swisstopo
Bereich Geodäsie
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern
adrian.wiget@swisstopo.ch