

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: 118 (2020)

Heft: 11

Artikel: 25 Jahre neue Landesvermessung LV95 = La nouvelle mensuration
national MN95 a 25 ans

Autor: Wiget, Adrian / Schneider, Dieter / Gubler, Erich

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-905964>

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: 08.02.2025

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

25 Jahre neue Landesvermessung LV95

Das Bundesamt für Landestopografie swisstopo hat in den 1990er-Jahren die Grundlagen für eine zeitgemässe, hochgenaue, homogene und konsistente neue Landesvermessung aufgebaut. Als Teil des *Landesvermessungswerkes LVW95* bildet der Bezugsrahmen LV95 die geodätische Referenz für die Nationale Geodaten-Infrastruktur NGDI. Der Grundsatzentscheid zugunsten einer Umstellung des Bezugsrahmens in der amtlichen Vermessung AV erfolgte bereits 1996 nach breiter Vernehmlassung. Die Überführung der AV in den Bezugsrahmen LV95 unter der Leitung der V+D und in enger Zusammenarbeit mit den kantonalen Vermessungsaufsichten begann 2008 nach der Inkraftsetzung des Geoinformationsgesetzes. Sie wurde Ende 2016 planmässig abgeschlossen. Die praktische Realisierung des Bezugsrahmens LV95 erfolgt heute vor allem durch den *Swiss Positioning Service swipos*[®]. Dieser ist in der Vermessung und Positionierung zum Standard geworden, wobei sich dessen Anwendungsbereich in Richtung Bauwesen und Maschinensteuerung erweitert hat.

A. Wiget, D. Schneider, E. Gubler,
U. Wild, M. Scherrer, A. Schlatter

Einleitung

Jubiläen bieten willkommene Gelegenheiten, Entwicklungen zu reflektieren, Standortbestimmungen durchzuführen und Ausblicke in die Zukunft zu wagen. Ende 1995, vor 25 Jahren, konnte das Bundesamt für Landestopografie swisstopo nach intensiven Projektarbeiten den Bezugsrahmen LV95 mit den präzisen Koordinatensätzen des neu erstellten *GPS-Landesnetzes LV95* herausgeben¹⁴. Die Publikation erfolgte gerade rechtzeitig, so dass die damals in Vorbereitung stehenden Grossprojekte der NEAT bei den Grundlagenvermessungen für die Eisenbahn-Basistunnel AlpTransit Gotthard^{56, 57, 69} und BLS AlpTransit Lötschberg³⁷ davon profitieren konnten.

Mit der Herausgabe des neuen Bezugsrahmens war die Erneuerung der schweizerischen Landesvermessung (LV) aber längst nicht abgeschlossen. Schon 1996 wurde mit dem Aufbau eines permanenten GNSS-Netzes unter dem Projektnamen *Automatisches GPS-Netz Schweiz AGNES* begonnen¹⁸. Weitere Arbeiten, wie die Erneuerung des Landeshöhen-

netzes LHN95 und die Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004 folgten^{22, 24, 35}. Die Gesamtheit der Entwicklungsarbeiten, welche der AV, der Geomatik allgemein sowie der Positionierung und Navigation die ökonomische Nutzung der *Global Navigation Satellite Systems (GNSS)* erst ermöglichte, wurde nach der Jahrtausendwende unter dem Sammelbegriff *Landesvermessungswerk LVW95* zusammengefasst⁵⁹. An dieser epochalen Entwicklung war ein Team von Geodäten und Geomatikern aller Stufen von swisstopo beteiligt. Der rasche Einstieg in die neue GNSS-Technologie war nur dank der optimalen Zusammenarbeit mit Hochschulen und Partnerorganisationen im In- und Ausland möglich. LVW95 ist in diversen Berichten eingehend dokumentiert worden^{9, 32, 59, 66}. Vorliegender Beitrag zum Jubiläum «25 Jahre LV95» möchte die Entwicklung dieses Generationenwerks Revue passieren lassen und einen Blick in die Zukunft werfen.

Von der Vision zur Realisierung

Mit der Entwicklung des *NAVSTAR Global Positioning Systems (GPS)* durch das Amerikanische *Department of Defense* und der Lancierung der ersten Block I GPS-

Testsatelliten ab 1978 begann eine neue Epoche in der Satellitennavigation. Zu Beginn der 1980er-Jahre erfolgten in den USA erste Versuche, das System für die geodätische Positionsbestimmung anzuwenden¹.



Abb. 1: Erster geodätischer GPS-Empfänger Macrometer V-1000 im 3D-Testnetz Turtmann 1985. Im Vordergrund: Antenne; Empfänger und Stromversorgung im Fahrzeug (Foto swisstopo).

Mit der Entwicklung der ersten handelsüblichen geodätischen GPS-Empfänger wie dem Macrometer V-1000 und deren ersten erfolgreichen Messeinsätzen in Europa zeichneten sich neue Perspektiven für die LV ab. Daraus entstand folgende Vision, welche unter Geodäten rege diskutiert wurde und die Verantwortlichen bei swisstopo motivierte, das Projekt LV95 in Angriff zu nehmen:

«Der Benutzer der zukünftigen Landesvermessung hat die Möglichkeit, mittels GPS, an jedem beliebigen Ort des Landes, innert kurzer Zeit, die Position in einem weltweiten Bezugssystem mit cm-Genauigkeit zu bestimmen.»

Aus der Vision wurde schliesslich eine hochgesteckte Zielsetzung für die LV, welche es mit den vorhandenen Ressourcen umzusetzen galt.

1985 waren noch keine Erfahrungen zum Einsatz der GPS-gestützten Vermessung in der alpinen Topografie vorhanden. Mittels Versuchsmessungen im *3D-Testnetz Turtmann* im Wallis sollte geprüft werden, ob die Methode die Erwartungen bezüglich Genauigkeit erfüllt². Daneben galt es, geeignete GPS-Empfänger zu evaluieren sowie das Personal mit der neuen Technologie vertraut zu machen.

Die geodätischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden in der Schweiz seit jeher unter der Obhut der *Schweizerischen Geodätischen Kommission SGK*⁵⁸ mit den verschiedenen Hochschulinstituten und swisstopo koordiniert. Zudem gibt es einen regen wissenschaftlichen Austausch mit der *International Association of Geodesy IAG* und deren Fachkommissionen. Bei den Projektarbeiten für LV95 wurde deshalb die Zusammenarbeit mit Instituten im In- und Ausland gesucht. Neben dem *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie IGP der ETHZ* ist besonders das *Astronomische Institut der Universität Bern AIUB* zu erwähnen. Am AIUB wurde zu Beginn der 1980er-Jahre die *Bernese GPS Software* zur Auswertung von GPS-Messungen entwickelt³. Die Zusammenarbeit mit dem AIUB war ein Glücksfall. Innerer kurzer Zeit konnten die Geodäten von swisstopo wertvolle Erfahrungen bei der Auswertung der GPS-Messungen sammeln.

Die Ergebnisse der GPS-Messungen im Testnetz Turtmann sowie in einem Kurzstrecken-Testnetz in Thun übertrafen die Erwartungen. Bei den Lagekoordinaten konnte eine sehr hohe Übereinstimmung (im mm-Bereich) mit dem «ground truth» d.h. mit den Ergebnissen der hochgenauen terrestrischen Messungen nachgewiesen werden^{7,8}. Offen blieben Fragen zur Höhengenaugigkeit, da die Einflüsse der tropo- und ionosphärischen Refraktion noch Probleme bereiteten. Ende 1987 beschaffte swisstopo vier Einfrequenz-GPS-Empfänger Trimble 4000SL (1988 upgrade auf Zweifrequenzen-Empfänger SLD), um damit das landesweite Referenznetz von GNSS-Stationen LV95 messen zu können.

swisstopo begann 1988 mit dem Aufbau dieses *GNSS-Landesnetzes LV95*, einem von der bestehenden Landstriangulation unabhängigen Referenzpunktfeld mit 104 homogen verteilten Hauptpunkten, welche eine weitgehende Horizontfreiheit aufweisen, leicht zugänglich sowie stabil und dauerhaft in geeignetem Untergrund verankert sind^{4,5,6,9,14}.

Die Erstmessung erfolgte in vier Teilkampagnen von 1989–1992. Das Hauptnetz

wurde bis 1995 mit Verdichtungspunkten sowie mit Anschlüssen an die bestehende Landstriangulation und ans Landesniveau ergänzt, um den Übergang von der alten zur neuen Landesvermessung zu unterstützen.

Das LV95-Netz umfasst total 208 Punkte und wird seit 1998 von swisstopo alle 6 Jahre neu gemessen.

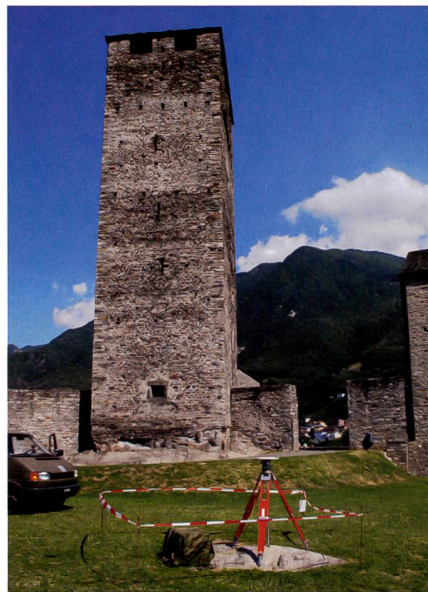


Abb. 2: GNSS-Landesnetz LV95. Stationierung auf Verdichtungspunkt «Bellinzona» (Castelgrande) in der Messkampagne CHTRF2010 (Foto swisstopo).

Das Landesvermessungswerk LVW95

Die Entwicklungen der Satellitengeodäsie eröffneten ein breites Feld neuer Möglichkeiten aber auch Bedürfnisse für die LV^{4,5,9,14,32}. Die gesamten abgeschlossenen oder z.T. noch laufenden geodätischen Arbeiten wurden unter dem Sammelbegriff *LVW95* anlässlich einer Standortbestimmung 2006 wie folgt im Überblick beschrieben⁵⁹.

(1) Geodätische Grundlagen GG95

Die Definition zweier nationaler geodätischer Bezugssysteme: *CHTRS95* (aus ITRS bzw. ETRS89 abgeleitetes, global gelagertes Bezugssystem) und *CH1903+* (lokales Bezugssystem mit Beibehaltung des in der Schweiz gebräuchlichen Projektions- und Koordinatensystems des alten Bezugssystems CH1903) sowie die Definition der Transformationen zwischen verschiedenen nationalen und internationalen Systemen¹¹.

(2) Fundamentalstation Zimmerwald

Betrieb der Fundamentalstation Zimmerwald (gemeinsam mit dem AIUB) mit Satellite Laser Ranging (SLR), GNSS- und Schweremessungen. Bestimmung der Stationskoordinaten und -geschwindigkeiten im globalen Bezugssystem¹⁰.

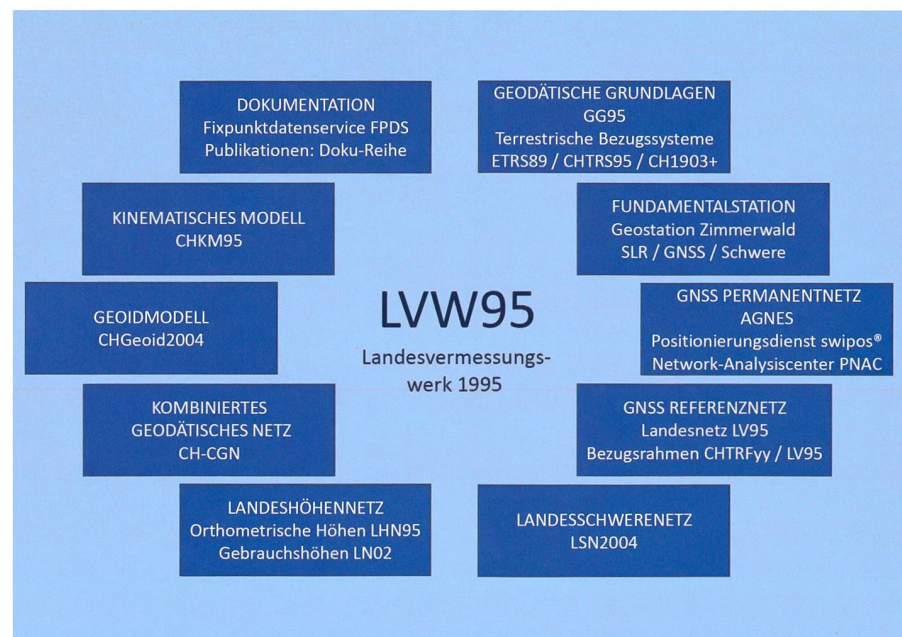




Abb. 3: Geostation Zimmerwald: Antennenmast der permanenten GNSS-Station des AGNES-Netztes, auf dem Fundamentalpunkt der LV (Foto swisstopo).

(3) GNSS-Permanentnetz AGNES

Permanentbetrieb des landesweiten *automatischen GNSS-Netztes Schweiz AGNES* und des *Positionierungsdienstes swipos*[®]. Daten der GNSS-Permanentstationen werden mittels swipos[®] verbreitet und als Referenzdaten für Echtzeitanwendungen sowie für nachträgliche Auswertungen verfügbar gehalten^{18,19,26,33,38}.

Betrieb des *Permanent Network Analysis Centers PNAC*⁷⁹ zur Auswertung von permanent gemessenen GNSS-Daten von Referenznetzen in der Schweiz und im europäischen Umfeld.

(4) GNSS-Referenznetz Landesnetz LV95

Realisierung des Bezugssystems CHTRS95 als 3D-Bezugsrahmen *CHTRFyy* durch wiederholte GNSS-Messungen mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit auf gut zugänglichen, stabil vermarkten Referenzpunkten des Landesnetzes LV95 unter Einbezug der AGNES-Permanentmessungen. Bestimmung der 3D-Koordinaten und deren Varianz/Kovarianz sowie der lokalen Koordinaten der GNSS-Referenzpunkte des statischen Bezugsrahmens LV95 als Realisierung des Bezugssystems CH1903+²⁸. Verknüpfung der Netze der bisherigen Landesvermessung LV03 mit

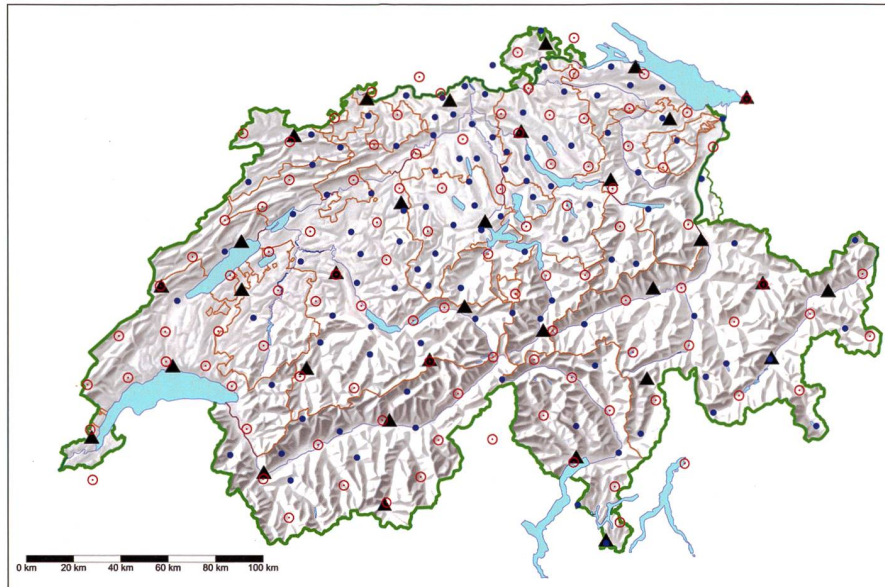


Abb. 4: Übersicht GNSS-Landesnetz LV95 (Stand 2020) mit AGNES-Permanentstationen (schwarz), 104 Hauptpunkten (rot) und 104 Verdichtungspunkten (blau).

dem Bezugsrahmen LV95 und Erstellung optimaler Anschlussmöglichkeiten für die Verdichtungsnetze der AV. Bereitstellung der Transformationswerkzeuge^{17,43,45}.

(5) Landesschwerenetz LSN2004

Bereitstellen des Schweregrundnetzes *LSN2004* mittels absoluter sowie relativer Schweremessungen. Verdichtung des LSN entlang der Nivellementslinien als Grundlage für LHN95³⁹.

(6) Landeshöhennetz LHN95

Aufbau des Landeshöhennetzes *LHN95* als nationaler Höhenbezugsrahmen auf der Basis von strengen orthometrischen Höhen. Unterhalt des Landesnivellements *LN02* (Gebrauchshöhen für die AV) und Bereitstellen optimaler Transformationswerkzeuge für die Höhenbestimmung mittels GNSS^{20,23,24,35,36,41}.

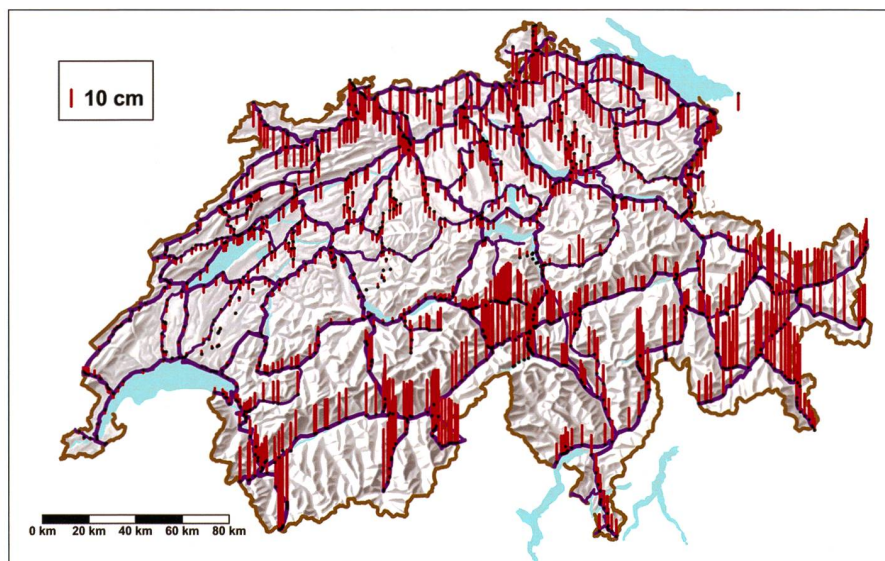


Abb. 5: Landeshöhennetz (Stand 2020) mit Unterschieden zwischen den Höhenbezugsrahmen LHN95 und LN02 (ca. 1430 Stützpunkte).

(7) Kombiniertes geodätisches Netz CH-CGN

GNSS-Levelling auf ausgewählten Stationen. Bestimmung von Geoidundulationen aus GNSS- und orthometrischen Höhen zur Stützung der Geoidmodelle³⁰.

(8) Geoidmodell CHGeo2004

Berechnung und Bereitstellen eines hochgenauen Geoidmodells der Schweiz, welches die Verknüpfung des 3D-Netzes (GNSS) mit dem Landeshöhennetz (Nivellement) erlaubt^{35,67}.

(9) Kinematisches Modell CHKM95

Berechnung von Zeitreihen, Geschwindigkeitsfeldern und des kinematischen Modells der Schweiz *CHKM95* aus wiederholten und permanenten geodätischen Messungen höchster Präzision. Grundlage für die Untersuchungen der Bewegungen der obersten Erdkruste in der Schweiz durch die wiederholte 3D-Vermessung^{5,34,62,69,71}.

(10) Dokumentation

Zeitgemässe Bereitstellung und Verfügbarkeit der Daten (Koordinaten, Höhen, etc.) der LV durch *Geodienste*. Die geodätischen Referenzpunkte der LV und der AV (Kategorien 1 und 2) werden von swisstopo und den Kantonen im *Fixpunkt-Datenservice FPDS*⁷³ verwaltet und über Internet bereitgestellt.

LVW95 ist heute zu grossen Teilen operationell und wird von der Fachwelt regen genutzt. Einzelne Teile, wie z. B. das kinematische Modell, werden zurzeit noch weiter entwickelt. Mit dem wachsenden Datenbestand von permanenten und wiederholten Messungen werden die Ergebnisse (Geschwindigkeitsfelder etc.) in naher Zukunft aussagekräftiger⁷².

Grundlagen für die Nationale Geodateninfrastruktur NGDI

Am 25.02.1998 beauftragte der Bundesrat das VBS, eine weisungsbefugte *Koordinationsstelle Grundlagedaten GIS* (Geografische Informationssysteme) zu

betreiben und eine interdepartementale Koordinationsgruppe einzusetzen. Die neue Geschäftsstelle *KOGIS* wurde im Januar 2000 swisstopo angegliedert.

Gestützt auf den in der Volksabstimmung vom 28.11.2004 angenommenen Art. 75a der Bundesverfassung erliess das Parlament das *Bundesgesetz über Geoinformation* (GeoIG, SR 510.62)^{31,46,47}. Es wurde vom Bundesrat gemeinsam mit Ausführungsverordnungen wie der *Geoinformationsverordnung* (GeoIV)⁴⁸ und der *Landesvermessungsverordnung* (LVV)⁴⁹ per 01.07.2008 in Kraft gesetzt. Diese Erlasse konkretisieren die im Juni 2001 vom Bundesrat beschlossene *Strategie für Geoinformation beim Bund*²¹. Sie hatte zum Ziel, die Verfügbarkeit von qualitativ hochwertiger Geoinformation zu verbessern, welche zum Wirtschaftswachstum, zu einer Verbesserung der Umwelt, zu einer nachhaltigen Entwicklung und zum sozialen Fortschritt beiträgt. Zentrales Element war der Aufbau einer *NGDI*²⁹. Sie umfasst insbesondere die *Geobasisdaten*, d. h. Geodaten, die gestützt auf einen rechtsetzenden Erlass als Grundaufgabe im öffentlichen Interesse flächendeckend über die Schweiz in geforderter Qualität und Homogenität produziert, nachgeführt und verwendet werden und für die Verwaltungsführung unerlässlich sind.

Der Datenkatalog der Geobasisdaten der NGDI Schweiz wird unterteilt in «Referenzdaten» und «Thematische Daten». *Georeferenzdaten* sind diejenigen Geobasisdaten, auf denen alle weiteren georeferenzierten Informationen aufbauen. Dazu gehören insbesondere auch die geodätischen Bezugssysteme (CH1903+; inkl. Referenzellipsoid, Geoid, Kartenprojektionen, Transformationen) und Bezugsrahmen (LV95 und LHN95; Lagekoordinaten und Höhen von Referenzpunkten, GNSS-Permanentstationen), also die wesentlichen Komponenten des LVW95⁵¹. Die Nutzung der Informationsangebote der NGDI soll auf der Basis von vernetzten *Geodiensten* erfolgen. Dazu zählen neben Web-Mapping- und Vertriebsdiensten auch die Positionierungs- und die Koordinatentransformationsdienste.

Aktuell hält die Geoinformationsplattform *geo.admin.ch*⁷⁴ der Schweizerischen Eidgenossenschaft mehr als 800 Datensätze verfügbar, die alle nach einheitlichen Kriterien georeferenziert sind und somit lagegenau überlagert und zusammen interpretiert werden können.

Das GeoIG, die GeoIV und die LVV bilden die rechtlichen Grundlagen für das LVW95. In der GeoIV werden der amtliche Lage- und Höhenbezug sowie die Übergangsfristen für den Wechsel des Lagebezugsrahmens von CH1903/LV03 zu CH1903+/LV95 festgelegt: Georeferenzdaten müssen bis Ende 2016 umgestellt sein, die übrigen Geobasisdaten des Bundesrechts bis Ende 2020^{44,46}.

Für den sog. *Bezugsrahmenwechsel (BRW)* der Georeferenzdaten von LV03 nach LV95, wie beispielsweise den Grundstücksdaten der AV, waren hochgenaue Grundlagedaten und *Transformationsalgorithmen* erforderlich. Zu deren Erstellung arbeitete der Bereich Geodäsie von swisstopo eng mit den Hochschulen zusammen. Das IGP der ETH Zürich adaptierte die Methode der linearen Transformation mit finiten Elementen (FINELTRA) an die Bedürfnisse in der Praxis¹³. Dazu wird das Gebiet der Schweiz in Dreiecke unterteilt. Die Dreiecksknoten sind Punkte, für welche sowohl alte LV03-Landeskoordinaten (Bezeichnung der Achsen y/x) als auch LV95-Koordinaten (Bezeichnung E/N) vorliegen. Für jedes Dreieck (innere Punkte und Randpunkte) wird eine lokale Affintransformation so festgelegt, dass die Eckpunkte durch die Transformation genau die Ausgangs- bzw. Zielwerte erhalten. Dieses Werkzeug ermöglicht zusammen mit der durch swisstopo und die Kantone erarbeiteten landesweiten Dreiecksvermaschung (Datensatz CHENy06; siehe nächstes Kapitel) eine Transformationsgenauigkeit von wenigen Zentimetern über die ganze Schweiz, exklusiv der Problemzonen, die eine besondere Bearbeitung erfordern⁴³. Über den Visualisierungsdienst *FINELTRA-Datenviewer*⁷³ kann die empirische Transformationsgenauigkeit abgerufen werden.

Eine besondere Aufmerksamkeit erhält auch die Transformation und Interpol-

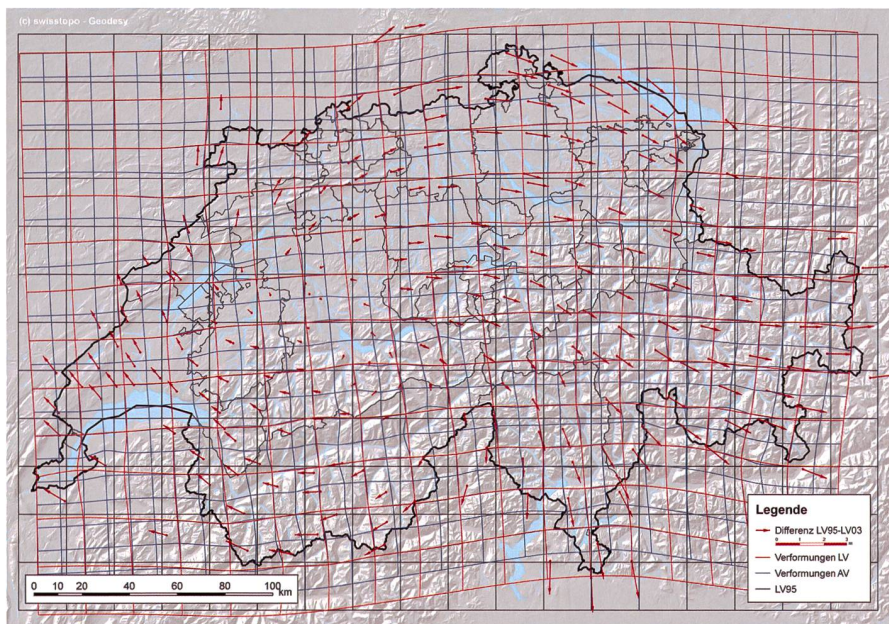


Abb. 6: Verformungen der alten Landesvermessung LV03. Vektoren der Lage-differenzen LV03 → LV95 (örtliche Entzerrung) und Verformungen des Ko-ordinatengitters der LV (rot) bzw. zusätzlich der lokalen Verzerrung der AV (blau) im Vergleich zum fehlerfreien Bezugsrahmen LV95.

tion von Raster- und Vektordaten, wofür spezielle Tools erarbeitet wurden^{53,60}. Für Daten mit geringeren Genauigkeitsanforderungen werden entsprechend vereinfachte Transformationen und Gitter-Interpolationen eingesetzt, bis hin zur reinen Block-Translation um die Shiftwerte 2 Mio. m/1 Mio. m der Lagekoordinaten. Im Softwarepaket *REFRAME* von swisstopo sind alle relevanten Umrechnungen und Anwendungen für den BRW unter einer übersichtlichen Benutzeroberfläche vereint. *REFRAME* steht den Benutzern auch als online-Transformationsdienst über das Internet-Portal von swisstopo zur Verfügung⁷⁵. Zur einheitlichen und optimalen Umsetzung des BRW hat swisstopo den Software-Entwicklern alle für die Schweiz relevanten Transformationen und Projektionen in verschiedenen Formen, inkl. Programm-bibliothek, Quellcode und Skripts, für die Integration in eigene Applikationen zur Verfügung gestellt^{53,60} (vgl. z. B. «SwissRailTra» der SBB⁶³).

Ebenso wie der Bereitstellung kundenfreundlicher Software-Werkzeuge und Geodienste⁶⁰ hat swisstopo auch der stufengerechten *Information* und breiten *Kommunikation* zum BRW mit allen be-

troffenen Institutionen und Nutzerkreisen grosse Bedeutung beigemessen. Deshalb wurden nebst den Institutionen der AV auch alle Bundesstellen, welche Geobasisdaten des Bundesrechts erstellen und verwalten, sowie die kantonalen GIS-Fachstellen und weitere grosse Geodaten- und Softwareproduzenten zeitgerecht über den BRW informiert und in ihren Vorbereitungen unterstützt. Dazu wurden die Berichte-Reihen «swisstopo-Doku»⁸¹ und Fachpublikationen⁵⁹ geschrieben, Informationsveranstaltungen⁵² und Schulungen durchgeführt und ein spezielles Internet-Portal^{43,45,76} erstellt. Schliesslich wurden alle weiteren Betroffenen bis hin zur gesamten Bevölkerung einbezogen und unter dem Label *Neue Koordinaten für die Schweiz* durch Informationsbroschüren⁴⁰, Textbausteine und Bildmaterial für Flyer (z. B. für Grundeigentümer⁶¹) und initiierte Kurzfilme, Medienmitteilungen und -artikel^{65,68} informiert.

Einführung in der amtlichen Vermessung AV

Die AV ist der Hauptkunde (und Partner) der Landesvermessung, auf deren Refe-

renzpunkte sie sich stützt. Gemeinsam stellen LV und AV die Referenzdaten und somit die Grundlage für praktisch alle Geodaten der Schweiz bereit. Deshalb müssen sie sich auf denselben Bezugsrahmen beziehen. Zudem hat der Bund im Bereich der AV direkte Einflussmöglichkeiten und beteiligt sich namhaft an deren Kosten.

Anfänglich wurde das Verhältnis vom Nutzen zum Aufwand der Einführung von LV95 in die AV kritisch beurteilt¹². Unter der Leitung der V+D wurde eine Arbeitsgruppe eingesetzt, welche die Konsequenzen der neuen Landesvermessung LV95 analysierte und breit diskutierte¹⁵. Im Schlussbericht wurden Ausgangslage, Umfeld, Zielkonflikte, rechtliche Aspekte, Nutzen, Kosten, Organisation und Szenarien bis hin zu Umsetzungsstrategien, Schlussfolgerungen und Empfehlungen detailliert ausgearbeitet¹⁶.

Die Arbeitsgruppe kam zum Schluss, dass «die AV vorausschauend handeln und den Bezugsrahmen LV03 durch LV95 ersetzen muss»¹⁶. Sie folgerte in ihrem Bericht, dass die AV die Herausforderung der technologischen Entwicklung annehmen muss, damit sie letztere aktiv nutzen und mitgestalten kann, um nicht den Führungsanspruch im Bereich Landinformationssysteme zu verlieren und ihre Aufgabe nur unzureichend erfüllen zu können. Die Umstellung auf LV95 sei notwendig, volkswirtschaftlich sinnvoll und gemäss beschriebener Strategie rationell durchführbar. Sie erkannte, dass die Probleme weniger bei der Technik als vielmehr bei der Information und Organisation liegen würden. «Je schneller mit der Umstellung begonnen wird, umso geringer sind die damit verbundenen Kosten (Koordination mit Realisierung AV93) und umso schneller tritt auch der Nutzen ein.»¹⁶

Am 06.05.1996 haben swisstopo und die V+D aufgrund einer breiten Vernehmlassung den *Grundsatzentscheid zugunsten einer Umstellung auf LV95* gefällt und eine Projektorganisation eingerichtet. Die Arbeiten für die Überführung der AV in LV95 wurden in die ordentlichen Programmvereinbarungen zwischen Bund

Als Vorteile des landesweit homogenen, spannungsfreien Bezugsrahmens der Landesvermessung 1995 wurden anerkannt:

LV95...

- bietet sichere, leicht zugängliche und stabile Referenzpunkte mit hoher Genauigkeit und ausgewiesener Zuverlässigkeit;
- erlaubt die Koordinaten mit den in der AV geforderten Genauigkeiten in den meisten Fällen ohne lokale Einpassung zu bestimmen;
- ermöglicht dank zwangsfreier Anschlussfelder Verzerrungen in den Fixpunktnetzen der AV vereinfacht aufzudecken und zu beheben;
- unterstützt lokale Entzerrungen zur Steigerung der Qualität der AV-Daten, redu-

ziert Fehlerquellen, rationalisiert die Berechnungen;

- reduziert die Kosten bei Erstellung und Unterhalt von Vermessungsoperaten der AV und anderer auf der AV referenzierter Geodaten dank den einheitlichen, homogenen und weitgehend spannungsfreien Grundlagen;
- ermöglicht eine starke Reduktion der zu unterhaltenden Dichte der Lagefixpunkte auf allen Stufen der Vermessungsgrundlagen und spart damit langfristig Kosten;
- optimiert die Nutzung der GNSS-Technologien und vereinfacht den effizienten, landesweiten Einsatz dieser modernen Messmethoden, inkl. flächendeckend und kontinuierlich verfügbaren Echtzeit-Positi-

onierungsdiensten zur rationellen Datenerhebung;

- vereinfacht die Integration raumbezogener Daten verschiedenster Herkunft infolge der einheitlichen und globalen Referenzierung;
- erleichtert die Verknüpfung mit Daten in globalen Bezugssystemen/-rahmen sowie mit denjenigen der Nachbarländer in grenzüberschreitenden Projekten dank genauen Koordinatentransformationen;
- eignet sich dank stabilen, geologisch begutachteten und überwachten Referenzstationen (AGNES) und -punkten (LV95) für tektonische Untersuchungen und zur verlässlichen Bestimmung eines konsistenten kinematischen Modells der Schweiz.

und Kantonen aufgenommen. Der Bund beteiligte sich an den anrechenbaren Kosten der «besonderen Anpassung von hohem nationalem Interesse» zu 60%. Ende 1998 wurde die V+D in das Bundesamt für Landestopografie swisstopo integriert, was die Koordination zwischen LV und AV erleichterte.

Am 22.02.2000 schuf die Geschäftsleitung swisstopo das *Kompetenzzentrum Raumdaten/LV95* als Koordinationsstelle für die Vorbereitung und Begleitung des BRWs der AV von LV03 auf LV95²⁵. Allerdings beschloss die GL swisstopo in Absprache mit der Konferenz der Kantonalen Vermessungsämter KKVA/CadastreSuisse am 30.04.2002, das neue Landeshöhennetz LHN95 nicht als Grundlage für die *offiziellen Höhen in der amtlichen Vermessung* einzuführen und die Referenzhöhen für die meisten Anwendungen in der Schweiz im Bezugsrahmen LN02 als sogenannte Gebrauchshöhen zu belassen²⁷.

In der Strategie der AV für die Jahre 2004–2007 wurde als Ziel bestimmt, dass die Daten der AV so aufbereitet oder erhoben werden, dass sie in LV95 vorliegen, weitgehend von Verzerrungen und Widersprüchen befreit («homogenisiert») sind und somit auf lokale Einpassungen verzichtet werden kann. In enger Zusammenarbeit mit swisstopo erstellten die kantonalen Vermessungsaufsichten ihre stark verdichteten Dreiecksvermaschungen

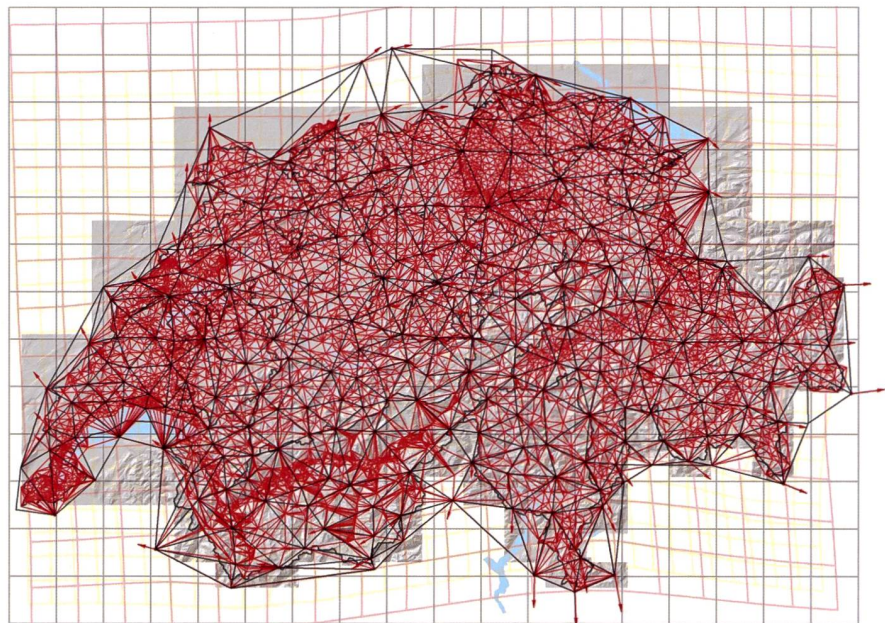


Abb. 7: Nationale Dreiecksvermaschung CHENyx06 für die lineare Transformation mit finiten Elementen (FINELTRA). In schwarz: Dreiecke auf Stufe LV, in rot: auf Stufe AV.

mindestens bis auf Stufe LFP2. Der offizielle Transformationsdatensatz CHENyx06 stand Ende 2006 flächendeckend zur Verfügung. Er umfasst 11 882 Dreiecke und 5 944 Transformationsstützpunkte. Die mittlere Transformationsgenauigkeit liegt bei 2 cm, wobei sich die erzielten Werte – je nach Kanton – zwischen 0.2 cm und 4.8 cm bewegen⁴³.

Implementiert in den Softwareprodukten wie REFRAME⁷⁵, im Positionierungsdienst swipos⁷⁷ sowie in den Transformations-

Geodiensten standen die technischen Voraussetzungen für eine Transformation der AV-Daten zwischen den beiden Bezugsrahmen für alle in der Schweiz verbreiteten Datenformate in der Lage im Zentimeterbereich ab Frühjahr 2007 bereit. Mit dem «Konzept zur Überführung der AV in den Bezugsrahmen LV95» vom Juni 2007 war auch das Vorgehen festgelegt^{42,44}. Die Kantone mussten die Umsetzung dieser Überführung für die nächsten zwei Vierjahres-Strategien pla-

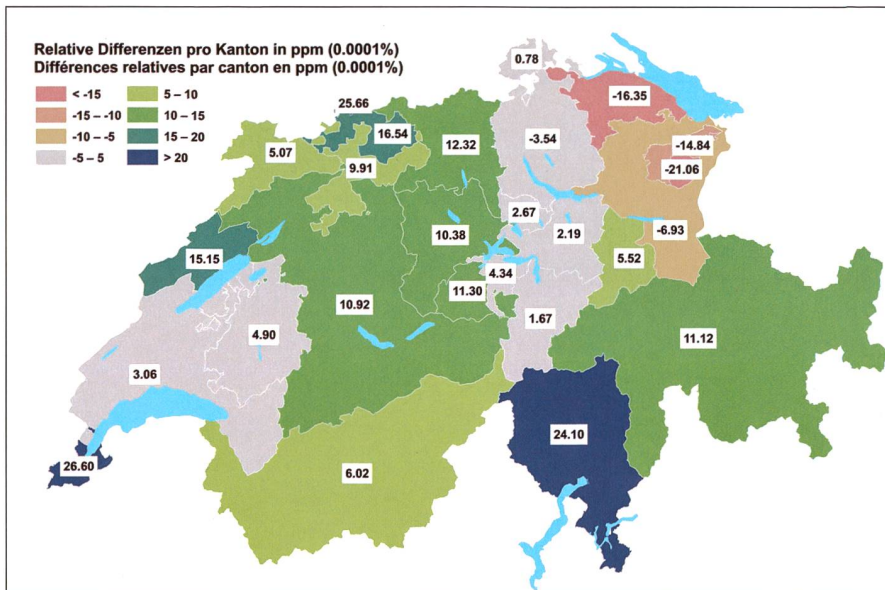


Abb. 8: Relative Flächendifferenzen [ppm] pro Kanton infolge des Bezugsrahmenwechsels LV03 → LV95.

nen. Dies entsprach der zeitlichen Vorgabe der GeoIV, welche die Übergangsfrist für den Wechsel von LV03 in LV95 bzw. die Einführung der neuen Koordinaten für die Referenzdaten auf Ende 2016 terminierte.

Die eigentliche Umstellung erfolgte also kantonsweise. Die Kantone stellten in zeitlicher Koordination mit ihren Umstellungen auf LV95 eigene Publikationen und Internetseiten bereit, welche mit den Informationsangeboten von swisstopo verlinkt waren. Bei der Information in den Medien war übrigens auffällig, wie die Medien vor allem an den Flächenänderungen der Kantone interessiert waren z.B. 68. Der BRW für die Georeferenzdaten und die Einführung der neuen Koordinaten in der AV bis Ende 2016 verliefen ohne nennenswerte Probleme. Einige Kantone nutzten die Gelegenheit, ihre gesamte kantonale Geodateninfrastruktur in den Bezugsrahmen LV95 zu überführen⁵⁴. Auch die meisten der verbleibenden Kantone hatten kurz darauf die kantonale Geodateninfrastruktur auf LV95 umgestellt.

Als einer der Vorteile des Bezugsrahmens LV95 wurde erkannt, dass er beste Voraussetzungen bietet, um detaillierte *Verzerrungsanalysen auf Stufe AV* durchzuführen, um geometrische Widersprüche aufzudecken und spannungsbehaftete

Gebiete zu entzerren⁵⁰. Idealerweise wurden diese Massnahmen gemäss dem Überführungskonzept gleich mit dem BRW kombiniert. Die Kantone wurden deshalb aufgefordert, spannungsarme Gebiete auszuscheiden, in denen die Lageübereinstimmung zwischen GNSS-Messungen und den AV-Sollkoordinaten besser ist als die gesetzlich geforderte Standardabweichung und somit keine Einpassungen erforderlich sind. Denn das volle Potential des neuen Bezugsrahmens LV95 kann nur ausgeschöpft werden, wenn spannungsbehaftete Gebiete entzerrt sind. Problembehaftet werden allerdings die Gebiete mit dauernden Bodenverschiebungen bleiben. Letztere müssen

ausgeschieden und mittels Anmerkung im Grundbuch als solche gekennzeichnet werden.

Mit dem BRW wurden zudem neue Möglichkeiten und Bedürfnisse im Umgang mit *Fixpunkten* geschaffen, um die Vorteile des stabilen, homogenen LV95-Rahmens verbunden mit GNSS-Messmethoden innerhalb der gesetzlich geforderten Genauigkeitsanforderungen der AV zu nutzen. Deshalb wurden die Kantone aufgefordert, ihre Fixpunktkonzepte gestützt auf die Fixpunktstrategie des Bundes zu aktualisieren⁶⁴. Das Leitmotiv der «*Vision Fixpunkte*» lautet: «Fixpunkte, so viele wie nötig – so wenige wie möglich». Zu erwähnen ist, dass die Hierarchie der Fixpunkte in LV95 an Bedeutung verliert. Die Unterscheidung in Fixpunkte oder Referenzpunkte der LV bzw. der AV ist primär eine Frage der Zuständigkeit (Bund/Kantone) bei der Messung und dem Unterhalt.

Vermessung, Positionierung und Navigation heute

Der *Swiss Positioning Service (swipos®)* ist heute – zusammen mit anderen kommerziellen Positionierungsdiensten – in der Vermessungspraxis zum Standard geworden. Während swipos® in den Anfangszeiten (um 2002) fast ausschliesslich im Fixpunktbereich und in der AV eingesetzt wurde, hat sich der Anwendungsbereich heute klar in Richtung Bauwesen und Maschinensteuerungen (inkl. Landwirtschaft und Pistenfahrzeuge) verschoben^{18, 19, 26, 33}. Insgesamt hat die Nutzung



Abb. 9: Beispiel des erweiterten Anwendungsbereichs von swipos®: Echtzeit-Positionierung von Pistenfahrzeugen (Foto swisstopo).



Abb. 10: Anwendungsbereich von swipos®: GNSS-gestützte Echtzeit-Positionierung einer Baumaschine, inkl. automatischer Steuerung der Grabtiefe. Monitor im Cockpit (Trimble Earthworks; Foto Sitech Schweiz AG).

von 11 Lizenzen (2002) auf ca. 3000 Lizenzen (2020) zugenommen.

Eine Besonderheit von swipos® bilden die real-time Transformationen zwischen den verschiedenen Lage- und Höhenbezugsrahmen in der Schweiz. Dank diesen können die Kunden wahlweise im «alten» (LV03) oder «neuen» (LV95) Lagebezugsrahmen messen. Bei den Höhenbezugsrahmen kann zwischen den offiziellen Gebrauchshöhen LN02 und den ortho-

metrischen Höhen in LHN95 gewählt werden. Die real-time Transformationen wurden mit dem Ziel eingeführt, den swipos®-Benutzern während der Einführung des neuen Bezugsrahmens LV95 das Arbeiten im alten und neuen Bezugsrahmen zu ermöglichen. Dadurch sollte insbesondere auch die Akzeptanz des neuen Bezugsrahmens gefördert werden.

Da gemäss der GeolV die Übergangsfrist für den BRW der Geobasisdaten per Ende 2020 abläuft, wird swisstopo auf diesen Zeitpunkt die real-time Transformation zwischen LV95 und LV03 abschalten. Die Transformation zwischen den Höhen LHN95 und LN02 wird beibehalten, da LN02 nach wie vor der offizielle Höhenbezugsrahmen für die AV ist. Eine kurze Analyse der aktuellen swipos-Nutzung zeigt, dass immer noch ca. 25% der Kunden in LV03 messen, während die Fachleute aus dem Vermessungsbereich heute praktisch ausschliesslich im Bezugsrahmen LV95 arbeiten.

Aktuell stellt sich bei swipos® die Frage, wie weit der Dienst auch für den Massenmarkt verwendet werden kann oder ob der Einsatz von swipos® auf den profes-

sionellen Vermessungs- und Baumarkt beschränkt bleiben soll. Unter Massenmarkt werden dabei Anwendungen mit mehreren Tausend Benutzern verstanden wie z. B. autonome Fahrzeuge. Für solche Anwendungen sind grundsätzlich Dienste nach der Methode des *Precise Point Positioning* (PPP) besser geeignet, da die Korrekturdaten im Broadcasting (d. h. an eine praktisch unbegrenzte Anzahl von Benutzern) ausgesendet werden können. Im Gegensatz dazu ist bei swipos® als *VRS* (Virtual Reference Station) – Dienst für jeden einzelnen Kundenzugriff eine bi-direktionale Datenverbindung erforderlich. Zudem sind bei diesen Anwendungen länderübergreifende (kontinentale bis globale) Dienste gefragt, da sich z. B. die Automobilindustrie niemals auf nationale Dienste abstützen wird.

Eine mögliche Form der Zusammenarbeit besteht in der Lieferung von GNSS-Daten der AGNES-Stationen an kommerzielle Dienste, da die Provider grundsätzlich an Daten von stabilen, gut überwachten Referenzstationen interessiert sind. Die Provider benutzen dabei in der Regel eine grössere Anzahl von Stationen als für die

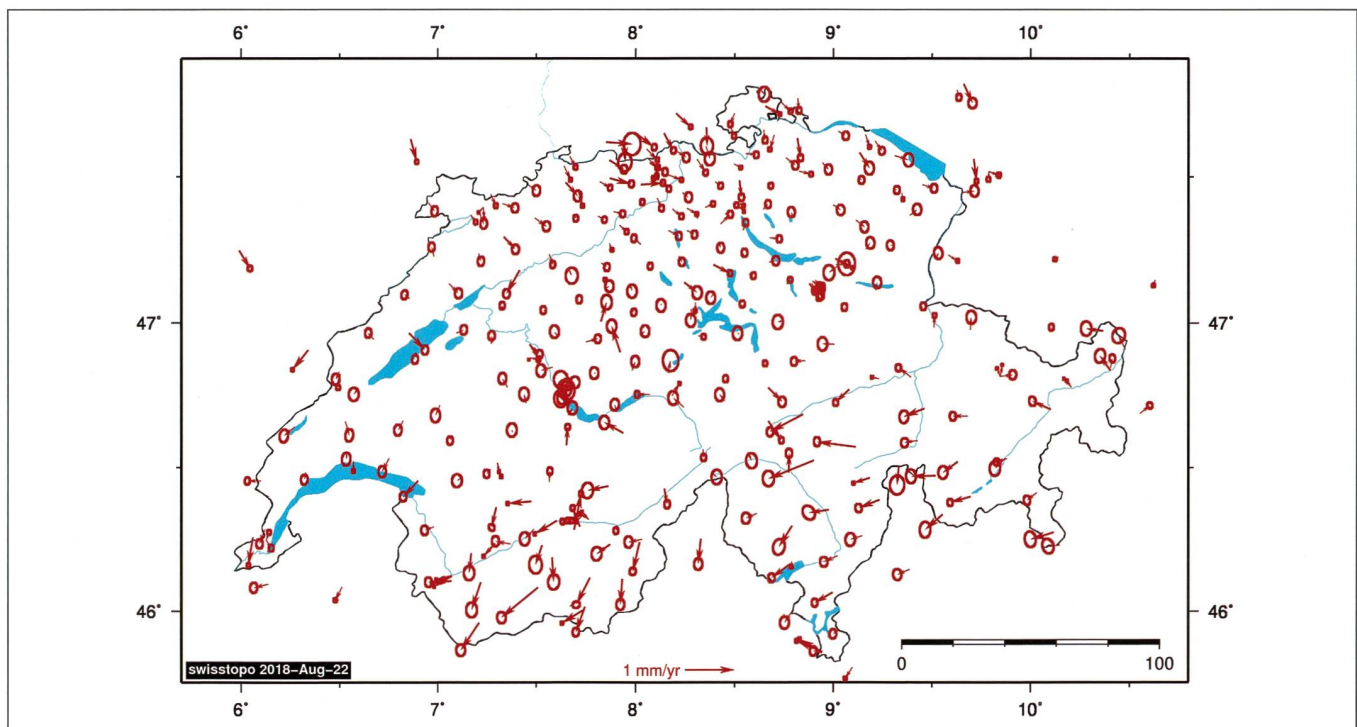


Abb. 11: Geschwindigkeitsfeld von ca. 300 LV95-Referenzpunkten und AGNES-Permanentstationen in der Lage bezgl. Zimmerwald mit Fehlerellipsen (Stand 2016).

PPP-Lösung effektiv benötigt wird und schaffen damit die notwendige Redundanz. Im Sinne eines Versuchs liefert swisstopo momentan die Daten von zwei AGNES-Stationen an den Dienst *SAPA (Safe and Precise Augmentation)* der 2017 gegründeten Joint-Venture Firma *SAPCORDA*⁷⁸. Diese kontinentalen Dienste verwenden in Europa in der Regel das System ETRS89 und sind damit im Bereich von einigen wenigen Zentimetern mit CHTRS95 kompatibel.

Resultate der wiederholten Messungen im Landesnetz LV95

Der Qualität und Verlässlichkeit der geodätischen Grundlagen wurde im LVW95 stets hohe Priorität zugeordnet. Die Einhaltung der Qualitätsstandards der geodätischen Produkte der Landesvermessung ist Teil der jährlichen Leistungsziele des Bereiches und wird in einem Bericht ausgewiesen⁵⁵. So wurde auch die Stabilität des LV95-Netzes seit 1995 in vier Wiederholungsmessungen (1998, 2004, 2010 und 2016) überprüft^{34,66,71}. Diese zeigten, dass nach 25 Jahren nur fünf der 208 LV95-Punkte gegenüber den auf cm-gerundeten offiziellen Lagekoordinaten eine Differenz auf weisen, welche den Betrag von 2 cm übersteigt. Dieser Betrag wurde in den Qualitätsstandards der LV als Grenzwert für eine Anpassung der publizierten Koordinaten des statischen Bezugsrahmens LV95 festgelegt. Lediglich vier LV95-Punkte mussten seit deren Erstellung anfangs der Neunzigerjahre ersetzt werden. Die Wiederholungsmessungen beweisen also einerseits die sorgfältige Auswahl der Standorte und die stabile Materialisierung der Punkte, andererseits die präzise Bestimmung der Lagekoordinaten zu einer Zeit, als GPS noch im Aufbaustadium war.

Gemeinsam mit den GNSS-Messungen der AGNES-Permanentstationen und den Präzisionsmessungen im Landeshöhennetz bilden die wiederholten Messungen im Landesnetz LV95 bzw. im kinematischen 3D-Bezugsrahmen CHTRFyy die Basis für

Untersuchungen der «neotektonischen» Bewegungen der obersten Erdkruste in der Schweiz. Zur Zeit des Aufbaus von LV95 war man noch der Meinung, dass die aus wiederholten Messungen im Landesniveau berechneten Hebungen der Alpen (bis ca. 1.5 mm pro Jahr) primär durch ein Aufschieben der tektonischen Platten verursacht würden. Aus der Interpretation der geologischen Schichtungen wurden in der Schweiz daher etwa dreifach grössere horizontale Verschiebungen erwartet.

Eine Analyse des Geschwindigkeitsfeldes zeigt jedoch, dass 95% der LV95-Punkte kaum eine Bewegung in einer Richtung von mehr als 0.6 mm/Jahr aufweisen⁷². Während sich das Mittelland sehr stabil zeigt, erkennt man einzelne Regionen, die ein ähnliches Bewegungsmuster haben, was auf tektonische Einflüsse hinweisen könnte. Regionen mit systematischen Bewegungen befinden sich in den Alpen südlich der Rhone (im Wallis) und des Vorder- und Hinterrheins (in Graubünden), aber auch im Jura sind solche erkennbar. Die horizontalen und vertikalen Bewegungen liegen somit in derselben Grössenordnung. Dies deutet darauf hin, dass die Alpenhebung zu einem wesentlichen Anteil durch isostatische Ausgleichsbewegungen nach dem Abschmelzen der Eismassen nach der letzten Eiszeit verursacht wird.

In Studien zusammen mit der Nagra, dem Schweizerischen Erdbebendienst und geologischen Fachstellen sollen die Daten vertieft analysiert werden. Dies ist eine Voraussetzung für die Entwicklung des *kinematischen Modells der Schweiz CHKM95*⁷⁰.

Die Resultate der Geschwindigkeitsschätzungen sind auf der Web-Plattform des *PNAC* von swisstopo zusammengestellt⁷⁹. Dank der Verwendung des Geodatenviewers können neben den vermessungsrelevanten Layern auch Geologie- und Tektonikkarten zugeschaltet werden.

Ausblick

In den nächsten Jahren werden weitere Grundlagedaten erhoben, um ein *kombiniertes Geschwindigkeitsmodell* für Bewegungen in Lage und Höhe abzuleiten.

Für die Oberflächenänderungen sollen zukünftig auch *InSAR-Daten (Interferometric Synthetic Aperture Radar)* von Erdbeobachtungssatelliten herangezogen werden. Die differentielle Radarinterferometrie ermöglicht flächenhafte Bestimmungen von lokalen bis grossräumigen Bodenbewegungen, wie sie z.B. durch Hangrutschungen oder Grundwasserabsenkungen hervorgerufen werden, mit einer relativen Genauigkeit im Millimeterbereich. Da die Messverfahren von Natur aus differenziell sind, werden Referenzpunkte und Vergleichsmessungen benötigt. Die AGNES-Permanentstationen, das GNSS-Landesnetz LV95 und das Landeshöhennetz LHN95 sind dafür geeignet. Da swisstopo zudem die Federführung im EUREF-Projekt *European Dense Velocities*⁸⁰ hat, ist auch die Konsistenz mit den europäischen Modellen sichergestellt.

Das offizielle Bezugssystem für Koordinatenbestimmungen in der LV und AV in der Schweiz ist CH1903+ (Bezugsrahmen LV95), welches als statisches System definiert ist. Auch wenn die mittleren LV95-Punktgeschwindigkeiten in der Schweiz kleiner als 1 mm/Jahr sind, kann nach 10 bis 20 Jahren die Forderung nach einem 1 cm-genauen Referenzrahmen streng genommen nicht mehr erfüllt werden. Aus diesem Grund werden bei swisstopo momentan die technischen Grundlagen für eine allfällige Einführung eines kinematischen Referenzrahmens erarbeitet.

Dank

Der Aufbau des Landesnetzes LV95 wie auch des gesamten Landesvermessungswerkes LVW95 ist das Resultat erfolgreicher Zusammenarbeit vieler Fachleute des damaligen swisstopo-Bereiches Geodäsie und der in der SGK engagierten Hochschulen. Zur Einführung von LV95 in der AV haben namentlich die V+D und die kantonalen Vermessungsinstitutionen beigetragen. Allen Beteiligten sei für ihren wertvollen Einsatz herzlich gedankt.

Dieser Beitrag wurde in dankenswerter Weise von swisstopo und der GGGs mit Kostenbeiträgen unterstützt.

Copyright der Bilder und Karten, soweit nicht anders erwähnt: © swisstopo.

La nouvelle mensuration nationale MN95 a 25 ans

C'est dans les années 1990 que l'Office fédéral de topographie swisstopo jeta les bases d'une nouvelle mensuration nationale moderne, extrêmement précise, homogène et cohérente. Le cadre de référence MN95, qui fait partie des œuvres de la mensuration nationale OMN95, constitue la référence géodésique de l'Infrastructure nationale de données géographiques INDG. La décision de principe en faveur d'un changement de cadre de référence dans la mensuration officielle MO remonte à 1996 et fut prise à l'issue d'une large consultation. Le passage de la MO au cadre MN95, réalisé sous la direction de la D+M et en étroite collaboration avec les services cantonaux du cadastre, démarra en 2008, après l'entrée en vigueur de la loi sur la géoinformation pour s'achever à la fin de l'année 2016, dans les temps impartis. Aujourd'hui, le cadre MN95 est concrètement mis en œuvre par swipos® (Swiss Positioning Service) qui s'est largement imposé dans les domaines de la mensuration et du positionnement, de sorte que son champ d'application s'est étendu aux domaines de la construction et du guidage d'engins.

Negli anni '90 l'Ufficio federale di topografia swisstopo ha gettato le basi per una nuova misurazione nazionale altamente precisa, al passo coi tempi, omogenea e coerente. Il quadro di riferimento MN95, come componente dell'opera della OMN95, costituisce il riferimento geodetico per l'infrastruttura nazionale di dati geografici (INDG). Già nel 1996, dopo un'ampia consultazione, si era adottata la decisione di principio di cambiare il quadro di riferimento nella misurazione ufficiale (MU). La conversione della MU nel quadro di riferimento MN95, avvenuta sotto la guida della D+M e in stretta collaborazione con i servizi cantonali di vigilanza sulle misurazioni, è iniziata nel 2008 dopo l'entrata in vigore della legge sulla geoinformazione. Il processo è stato ultimato, come da programma, alla fine del 2016. Oggi la realizzazione pratica del quadro di riferimento MN95 avviene attraverso lo 'Swiss Positioning Service' swipos® che è ormai diventato uno standard nel mondo della misurazione e del posizionamento, mentre il suo campo d'attività si è esteso all'edilizia e ai sistemi di controllo delle macchine.

A. Wiget, D. Schneider, E. Gubler,
U. Wild, M. Scherrer, A. Schlatter

Introduction

Les anniversaires offrent toujours des occasions bienvenues de revenir sur des évolutions, de dresser des états des lieux et d'esquisser des perspectives d'avenir. A la fin de l'année 1995, il y a donc 25 ans, l'Office fédéral de topographie swisstopo publiait ainsi le cadre de référence MN95, avec les jeux de coordonnées précis du tout nouveau réseau national GPS MN95, au terme de travaux particulièrement in-

tenses¹⁴. La publication eut lieu juste à temps pour que les grands projets des NLFA, alors en pleine préparation, puissent en profiter pour les mensurations primordiales des deux tunnels de base ferroviaires, AlpTransit Saint-Gothard^{56,57,69} et BLS AlpTransit Lötschberg³⁷.

Toutefois, le renouvellement de la mensuration nationale suisse (MN) était loin d'être achevé avec la parution du nouveau cadre de référence. La mise en place d'un réseau GNSS permanent débuta en 1996, le projet ayant été baptisé AGNES (réseau GPS automatique suisse)¹⁸. D'autres travaux suivirent, comme le renouvellement du réseau altimétrique national RAN95 et

le calcul du modèle de géoïde CH-Geo2004^{22,24,35}. La totalité des travaux de développement permettant à la MO, à la géomatique dans son ensemble, ainsi qu'aux secteurs du positionnement et de la navigation d'utiliser de manière économiquement rentable les systèmes mondiaux de navigation par satellite (GNSS) fut regroupée sous l'appellation générale d'Œuvres de la mensuration nationale OMN95 après le passage au nouveau millénaire⁵⁹. Une équipe de géodésiens et de géomaticiens de tous niveaux de swisstopo participa à ces développements qui firent date. La nouvelle technologie GNSS ne put être assimilée rapidement que grâce à la collaboration optimale avec des instituts des hautes écoles et des organisations partenaires, tant en Suisse qu'à l'étranger.

Les OMN95 ont fait l'objet d'une documentation approfondie dans divers rapports^{9,32,59,66}. Le présent article commémorant les 25 ans de la MN95 va donc passer en revue cette œuvre d'une génération avant de tracer quelques perspectives d'avenir.

De la vision à sa réalisation

Le développement du système NAVSTAR GPS (Global Positioning System) par le Département de la Défense des Etats-Unis et le lancement des premiers satellites de test du bloc I du GPS à partir de 1978 marquèrent l'entrée dans une nouvelle ère pour la navigation par satellites. C'est



Fig. 1: Premier récepteur GPS géodésique Macrometer V-1000 avec alimentation électrique dans le bus Volkswagen. Utilisation dans le réseau test (3D) de Tourtemagne en 1985 (photo swisstopo).

au début des années 1980 qu'eurent lieu les premiers essais d'utilisation du système pour déterminer des positions en géodésie¹.

Le développement des premiers récepteurs GPS géodésiques commerciaux Macrometer V-1000 et le succès des premières mesures effectuées avec eux en Europe ouvrirent de nouvelles perspectives à la MN, tant et si bien que la vision suivante en résulta, suscitant de vives discussions entre géodésiens, mais incitant les responsables de swisstopo à lancer le projet MN95:

«Grâce au GPS, l'utilisateur de la future mensuration nationale pourra déterminer sa position très rapidement en n'importe quel point du pays, dans un système de référence mondial et avec une précision centimétrique.»

La vision se traduisit finalement par un objectif ambitieux pour la MN, à réaliser avec les ressources à disposition.

En 1985, personne n'avait la moindre expérience en matière de mensuration par GPS dans l'espace alpin. Des mesures d'essai entreprises dans le réseau test (3D) de Tourtemagne, en Valais, devaient permettre de valider (ou d'invalider) les attentes en termes de précision². Il s'agissait en outre d'évaluer des récepteurs GPS adaptés et de familiariser le personnel avec la nouvelle technologie.

En Suisse, les travaux de recherche et de développement en géodésie ont toujours été placés sous l'égide de la *Commission géodésique suisse CGS*⁵⁸, avec une coordination entre les différents instituts des hautes écoles et swisstopo. Les échanges avec l'*Association internationale de géodésie AIG* et ses commissions spécialisées sont par ailleurs intenses. La collaboration avec des instituts suisses et étrangers fut donc recherchée dans le cadre du projet MN95. Outre l'*Institut de géodésie et de photogrammétrie IGP de l'ETHZ*, on mentionnera tout particulièrement l'*Institut d'astronomie de l'Université de Berne AIUB*. C'est à l'AIUB, au début des années 1980, que fut développé le logiciel *Bernese GPS Software* servant à l'exploitation des mesures GPS³. La collaboration avec l'AIUB se révéla des plus judicieuses.

En peu de temps, les géodésiens de swisstopo purent acquérir une expérience très précieuse en matière d'exploitation de mesures GPS.

Les mesures GPS réalisées dans le réseau test de Tourtemagne et dans celui de Thoune (où les distances sont courtes) dépassèrent les espérances placées en elles. Les coordonnées planimétriques obtenues étaient très proches des valeurs vraies (ou 'ground truth', les résultats des mesures terrestres de haute précision), les différences n'excédant pas quelques millimètres^{7,8}. En revanche, la précision altimétrique était bien moindre, les influences de la réfraction troposphérique et ionosphérique posant encore quelques problèmes. A la fin de l'année 1987, swisstopo fit l'acquisition de quatre récepteurs GPS monofréquence Trimble 4000SL (devenus des récepteurs bifréquence SLD à l'issue de leur mise à niveau en 1988), afin de pouvoir procéder à la mesure du réseau de référence de stations GNSS MN95 d'ampleur nationale.

swisstopo commença la mise en place de ce réseau *GNSS national MN95* en 1988. Il s'agissait d'un ensemble de points de



Fig. 2: Réseau GNSS national MN95. Récepteur en station sur le point principal «Engelberg» (Titlis), campagne de mesure CHTRF2010 (photo swisstopo).

référence totalement indépendant de la triangulation nationale existante, comportant 104 points principaux répartis de façon homogène sur l'ensemble du territoire, tous présentant un horizon largement dégagé, un accès aisé, une grande stabilité et un ancrage durable dans un sous-sol adapté^{4,5,6,9,14}.

La mesure initiale fut subdivisée en quatre campagnes partielles menées entre 1989 et 1992. Le réseau principal fut complété jusqu'en 1995 par des points de densification et par des rattachements à la triangulation nationale et au nivellement fédéral existants, afin que le passage de l'ancienne à la nouvelle mensuration nationale puisse se faire dans les meilleures conditions possibles.

Le réseau MN95 comporte 208 points au total et est remesuré tous les six ans par swisstopo depuis 1998.

Œuvres de la mensuration nationale OMN95

Si les développements de la géodésie par satellite ont ouvert un large éventail de possibilités pour la MN, ils ont aussi créé de nouveaux besoins^{4,5,9,14,32}. Les travaux géodésiques déjà achevés ou encore en cours furent regroupés sous l'appellation générale d'*OMN95* lors d'un état des lieux dressé en 2006. Ils sont brièvement décrits dans la suite⁵⁹.

(1) Bases géodésiques GG95

Définition de deux systèmes géodésiques de référence nationaux: *CHTRS95* (système de référence global, déduit d'ITRS, resp. d'ETRS89) et *CH1903+* (système de référence local avec conservation du système de projection et de coordonnées usuel en Suisse de l'ancien système de référence CH1903) et définition des transformations entre différents systèmes nationaux et internationaux¹¹.

(2) Station fondamentale de Zimmerwald

Exploitation de la station fondamentale de Zimmerwald (conjointement avec l'AIUB) où sont effectuées des mesures de trois types: SLR (Satellite Laser Ranging), GNSS

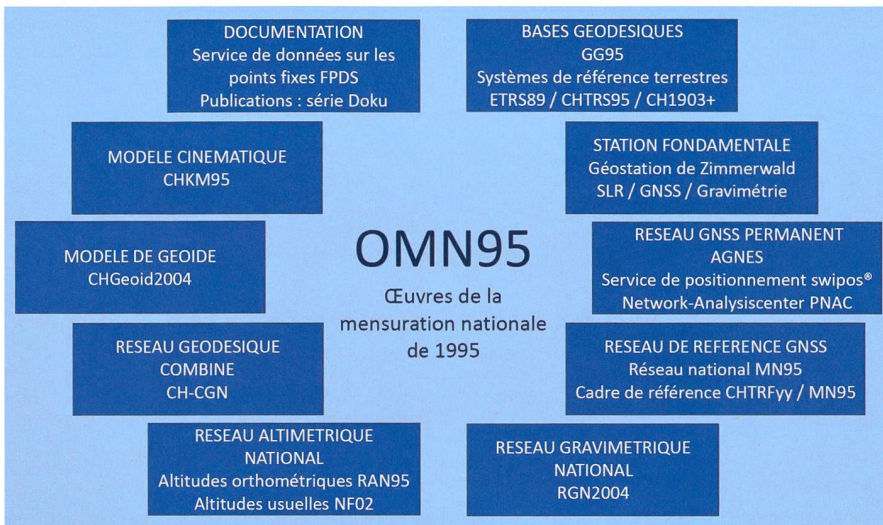


Fig.3: Géostation de Zimmerwald avec station GNSS permanente (mât d'antenne), de nuit, état en 2020 (photo Manu Friederich).

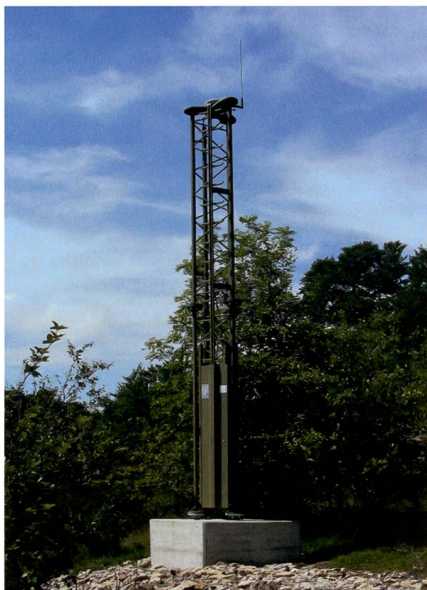


Fig.4: Mât d'antenne de la station GNSS permanente «Bourrignon» du réseau GNSS automatique AGNES (photo swisstopo).

et gravimétrique. Détermination des coordonnées et des vitesses de la station dans le système de référence global¹⁰.

(3) Réseau GNSS permanent AGNES

Exploitation en continu du *réseau GNSS automatique suisse AGNES* et du *service de positionnement swipos®*. Les données des stations GNSS permanentes sont diffusées via swipos® et tenues à disposition comme données de référence pour des applications en temps réel et des post-traitements^{18, 19, 26, 33, 38}.

Gestion du PNAC (*Permanent Network Analysis Center*)⁷⁹ pour l'exploitation des données GNSS mesurées en continu au sein des réseaux de référence en Suisse et ailleurs en Europe.

(4) Réseau GNSS national de référence MN95

Réalisation du système de référence CHTRS95 sous la forme du cadre en 3D CHTRFyy par des mesures GNSS répétées, très précises et très fiables, sur des points de référence du réseau national MN95, aisément accessibles et matérialisés de façon stable, avec intégration des mesures permanentes AGNES. Détermination des coordonnées en 3D et de leur variance/covariance ainsi que des coordonnées locales des points de référence du système de référence CH1903+²⁸. Mise en relation du réseau de la mensuration nationale MN03 en

vigueur avec le cadre de référence MN95 et création de possibilités de rattachement optimales pour les réseaux de densification de la MO. Mise à disposition des outils de transformation^{17, 43, 45}.

(5) Réseau gravimétrique national RGN2004

Mise à disposition d'un réseau de base RGN2004 au moyen de mesures gravimétriques absolues et relatives. Densification du RGN le long des lignes de nivellement comme base pour RAN95³⁹.

(6) Réseau altimétrique national RAN95

Mise en place du réseau altimétrique national RAN95 comme cadre de référence national sur la base d'altitudes orthométriques rigoureuses. Entretien du nivellement fédéral NF02 (altitudes usuelles pour la MO) et mise à disposition d'outils de transformation optimaux pour la détermination des altitudes via GNSS^{20, 23, 24, 35, 36, 41}.



Fig.5: Réseau altimétrique national: observations à Aarburg lors du nivellement fédéral de 2016, ligne Aarburg – Berne (photo swisstopo).

(7) Réseau géodésique combiné CH-CGN

Nivellement GNSS sur une sélection de stations. Détermination de cotes du géoïde à partir de hauteurs GNSS et d'altitudes orthométriques, en soutien des modèles de géoïde³⁰.

(8) Modèle de géoïde CHGeo2004

Calcul et mise à disposition d'un modèle de géoïde très précis de la Suisse, permettant de mettre en relation le réseau en 3D (GNSS) et le réseau altimétrique national (nivellement)^{35, 67}.

(9) Modèle cinématique CHKM95

Calcul de séries temporelles, de champs de vitesses et du modèle cinématique de la Suisse CHKM95 à partir de mesures géodésiques répétées et permanentes de très haute précision. Base pour l'examen des mouvements de la croûte terrestre superficielle en Suisse grâce à la répétition de mesures en 3D^{5,34,62,69,71}.

(10) Documentation

Mise à disposition moderne des données de la MN (coordonnées, altitudes, etc.) via des *géoservices*. Les points de référence géodésiques de la MN et de la MO (des catégories 1 et 2) sont gérés par swisstopo et les cantons dans le *service de données sur les points fixes FPDS*⁷³ et mis à disposition via Internet.

Les OMN95 sont en grande partie opérationnelles aujourd'hui et les milieux spécialisés en font un usage intensif. Le développement de certaines de leurs parties, comme le modèle cinématique, se poursuit encore. Fondés sur des volumes de données de plus en plus importants (mesures permanentes et répétées), les résultats (champs de vitesses, etc.) ne cessent de s'affiner au fil du temps⁷².

Bases pour l'Infrastructure nationale de données géographiques INDG

Le 25 février 1998, le Conseil fédéral mandata le DDPS pour qu'il mette en place un *centre de coordination des données de base des SIG* (systèmes d'information géographiques), habilité à donner des directives, et qu'il institue un groupe de coordination interdépartemental. Le centre opérationnel *COSIG* ainsi créé fut rattaché à swisstopo en janvier 2000.

C'est en vertu de l'article 75a de la Constitution suisse, adopté lors de la votation populaire du 28 novembre 2004, que le Parlement édicta la *loi fédérale sur la géoinformation* (LGéo, RS 510.62)^{31,46,47}. Elle fut mise en vigueur par le Conseil fédéral le 1^{er} juillet 2008, en même temps que des ordonnances d'exécution telles que *l'ordonnance sur la géoinformation*

(OGéo)⁴⁸ et l'ordonnance sur la mensuration nationale (OMN)⁴⁹.

Ces actes législatifs concrétisaient la *Stratégie pour l'information géographique au sein de l'administration fédérale*, adoptée en juin 2001 par le Conseil fédéral²¹. Elle visait à améliorer la disponibilité d'informations géographiques de qualité afin de contribuer à la croissance économique, à l'environnement, au développement durable et au progrès social. En son cœur se trouvait la mise en place d'une *INDG*²⁹. Cette dernière comprend notamment les *géodonnées de base*, autrement dit les géodonnées fondées sur un acte législatif, ayant pour finalité première d'être produites et mises à jour aux niveaux de qualité et d'homogénéité exigés pour pouvoir être utilisées dans l'intérêt de tous sur l'intégralité du territoire national et qui sont par ailleurs indispensables à la conduite de l'administration.

Le catalogue des géodonnées de base de l'INDG est subdivisé en données de référence et en données thématiques. Les *géodonnées de référence* sont les géodonnées de base sur lesquelles se fondent toutes les autres informations géoréférencées. Elles incluent notamment les systèmes géodésiques de référence (CH1903+; y compris l'ellipsoïde de référence, le géoïde, les projections cartographiques, les transformations) et les cadres de référence (MN95 et RAN95; coordonnées planimétriques et altitudes des points de référence, stations permanentes GNSS), donc les composantes principales des OMN95⁵¹.

Les offres d'information de l'INDG doivent être utilisées via des *géoservices* en réseau. Il s'agit non seulement de services de cartographie en ligne et de services de diffusion, mais également de services de positionnement et de services de transformation de coordonnées.

A l'heure actuelle, la plateforme de géoinformation *geo.admin.ch*⁷⁴ de la Confédération suisse propose plus de 800 jeux de données, tous géoréférencés selon des critères homogènes, de sorte qu'ils peuvent être superposés les uns aux autres avec une parfaite précision planimétrique et interprétés ensemble.

La LGéo, l'OGéo et l'OMN forment la base légale des OMN95. Les références planimétriques et altimétriques officielles sont définies dans l'OGéo, de même que les délais de transition pour le changement de cadre de référence planimétrique (de CH1903/MN03 à CH1903+/MN95): le passage devait être effectif à la fin 2016 pour les géodonnées de référence et intervenir avant la fin 2020 pour toutes les autres géodonnées de base relevant du droit fédéral^{44,46}.

Des données de base très précises et des *algorithmes de transformation* étaient nécessaires pour le *changement de cadre de référence (CCR)*, de MN03 à MN95, des géodonnées de référence, parmi lesquelles on compte notamment les données foncières de la MO. Le domaine Géodésie de swisstopo collabora très étroitement avec les hautes écoles pour développer ces outils. L'IGP de l'ETH Zurich adapta la méthode de la transformation linéaire avec des éléments finis (logiciel FINELTRA) aux besoins en pratique¹³. A cette fin, le territoire suisse fut subdivisé en triangles dont les coordonnées des sommets sont à la fois connues dans l'ancien cadre MN03 (désignation des axes y/x) et dans le nouveau cadre MN95 (désignation E/N). Une transformation affine locale fut définie de telle manière, pour chaque triangle (points intérieurs et points du pourtour), qu'elle conserve les coordonnées initiales ou finales connues des sommets. Cet outil, combiné au maillage triangulaire défini par swisstopo et les cantons (jeu de données CHENyx06; cf. chapitre suivant), permet d'atteindre une précision de transformation de quelques centimètres sur toute la Suisse, exception faite des zones problématiques requérant un traitement particulier⁴³. La précision de transformation empirique peut être consultée au moyen du visualiseur de données FINELTRA⁷³.

Une attention particulière fut aussi portée à la transformation et à l'interpolation de données tramées (raster) et vectorielles, pour lesquelles des outils spécifiques furent élaborés^{53,60}. Lorsque les données doivent répondre à des exigences de précision plus faibles, des transformations

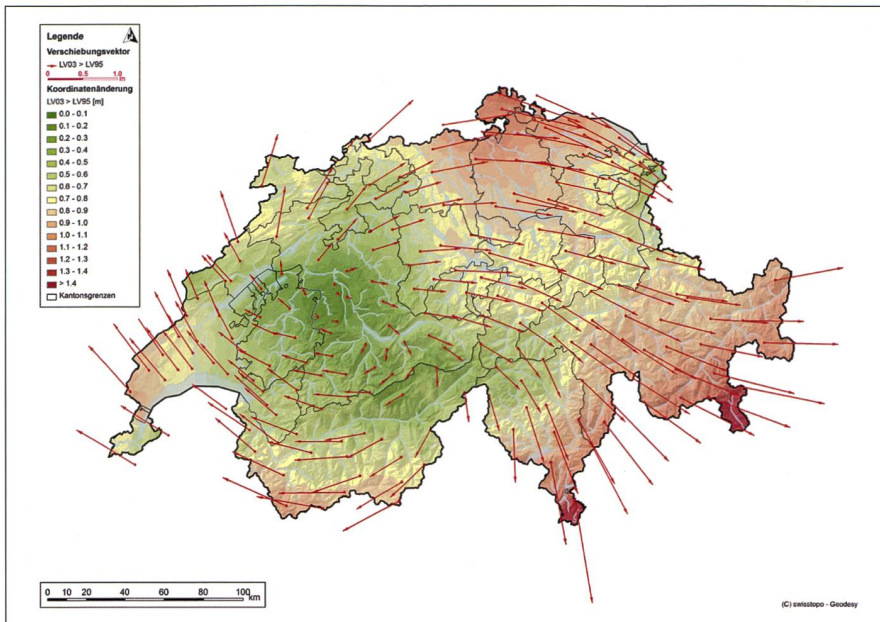


Fig. 6: Déformations de la mensuration nationale MN03, vecteurs et valeur moyenne des modifications de coordonnées MN03 → MN95.

simplifiées et des interpolations au sein de grilles sont suffisantes. Des translations en bloc sont même envisageables parfois, par simple addition des décalages en planimétrie (2 mio. m/1 mio. m).

Toutes les conversions et les applications pertinentes pour le CCR sont réunies dans le logiciel *REFRAME* de swisstopo où elles sont proposées avec une interface utilisateur claire. *REFRAME* est également à la disposition des utilisateurs sous forme de service de transformation en ligne sur le portail Internet de swisstopo⁷⁵. Et pour garantir la réalisation homogène et optimale du CCR, swisstopo a mis à la disposition des développeurs de logiciels toutes les transformations et les projections d'importance en Suisse sous différentes formes, en incluant une bibliothèque de programmes, les codes source et les scripts, afin qu'ils puissent les intégrer dans leurs propres applications^{53,60} (cf. par exemple SwissRailTra des CFF⁶³).

Si une grande importance fut accordée à la mise à disposition d'outils logiciels et de géoservices conviviaux⁶⁰, swisstopo veilla aussi à dispenser des informations adaptées aux institutions et aux cercles d'utilisateurs concernés par le CCR, dans le cadre d'une large communication. C'est pourquoi, outre les institutions de la MO,

tous les services fédéraux produisant et gérant des géodonnées de base relevant du droit fédéral, les services spécialisés SIG des cantons ainsi que d'autres producteurs de géodonnées et de logiciels d'une certaine importance, furent informés en temps utile du CCR et bénéficièrent d'un soutien durant leur préparation. Les séries de rapports «swisstopo-Doku»⁸¹ et des publications spécialisées⁵⁹ furent rédigées à cette intention, des journées d'information⁵² et des formations furent organisées à cet effet et un portail Internet dédié^{43,45,76} fut créé. Tous les autres acteurs concernés et la population dans son ensemble furent enfin informés par le biais d'une campagne intitulée *De nouvelles coordonnées pour la Suisse* qui se déclina sous la forme d'une brochure d'information⁴⁰, de modules de texte et de visuels pour des dépliants (par exemple pour les propriétaires fonciers⁶¹), de courtes vidéos, de communiqués aux médias et d'articles de presse^{65,68}.

Introduction dans la mensuration officielle MO

La MO est le client (et le partenaire) principal de la mensuration nationale. Elle s'appuie sur ses points de référence. En

semble, la MN et la MO mettent à disposition les données de référence et donc la base de presque toutes les géodonnées en Suisse, si bien qu'elles doivent s'appuyer sur le même cadre de référence. En outre, la Confédération peut exercer une influence directe dans le domaine de la MO et assume une part conséquente de ses coûts.

Au départ, un regard assez critique était jeté sur le rapport entre le bénéfice retiré de l'introduction de la MN95 dans la MO et la charge de travail qu'elle représentait¹². Un groupe de travail, placé sous la direction de la D+M, fut alors mis en place pour procéder à une analyse approfondie des conséquences de la nouvelle mensuration nationale MN95¹⁵. Dans son rapport final, il traita en détail du contexte de départ, de l'environnement, des conflits d'objectifs, des aspects juridiques, des bénéfices, des coûts, de l'organisation, des scénarios et des stratégies de mise en œuvre avant de tirer des conclusions et de délivrer des recommandations¹⁶.

Le groupe de travail en vint à conclure que la MO devait faire preuve d'esprit d'anticipation et remplacer le cadre de référence MN03 par le cadre MN95¹⁶. Il ajouta que la MO devait relever le défi et prendre une part active à cette évolution technologique pour pouvoir en tirer pleinement profit, conserver sa prééminence dans le domaine des systèmes d'information du territoire et accomplir l'ensemble des tâches qui lui incombent. Il estima que le passage à MN95 était nécessaire, économiquement judicieux et pouvait être exécuté rationnellement au vu de la stratégie décrite. Il reconnut que les problèmes relevaient moins de la sphère technique que des domaines de l'information et de l'organisation. Il considéra enfin que plus on se lancerait tôt dans le passage, moins les coûts seraient élevés (coordination avec la réalisation de la MO93), de sorte que le bénéfice attendu se matérialiserait plus rapidement¹⁶.

C'est le 6 mai 1996, au terme d'une large consultation, que swisstopo et la D+M prirent la *décision de principe de passer à MN95* et définirent l'organisation de ce

Les avantages suivants ont été reconnus au cadre de référence de la mensuration nationale de 1995, homogène dans tout le pays et libre de toute tension:

La MN95...

- propose des points de référence sûrs, aisément accessibles et stables avec une précision élevée et une fiabilité avérée;
- permet de déterminer les coordonnées avec la précision exigée dans la MO, la plupart du temps sans adaptation locale;
- permet de déceler plus simplement des déformations dans les réseaux de points fixes et d'y remédier grâce à des possibilités de rattachement libres de toute contrainte;
- permet de corriger des déformations locales pour accroître la qualité des données

de la MO, réduit les sources d'erreur et rationalise les calculs;

- réduit les frais d'établissement et d'entretien des entreprises de mensuration de la MO et de production d'autres géodonnées fondées sur la MO, grâce à des bases homogènes et largement exemptes de tensions;
- permet de réduire fortement la densité des points fixes planimétriques à entretenir, à tous les niveaux, et constitue donc un vecteur d'économies à long terme;
- optimise l'utilisation des technologies GNSS et simplifie le recours efficace à ces méthodes modernes dans tout le pays, services de positionnement nationaux en temps réel, disponibles en permanence compris, pour une saisie de données rationnelle;

- simplifie l'intégration de données géoréférencées de provenances variées, grâce au référencement uniforme global;
- facilite la mise en relation avec des données dans des systèmes/cadres de référence globaux ainsi qu'avec celles des pays voisins lors de projets transfrontaliers, au moyen de transformations de coordonnées précises;
- convient aussi bien pour des études tectoniques que pour la détermination fiable d'un modèle cinématique cohérent de la Suisse, grâce à des stations (AGNES) et des points (MN95) de référence stables, surveillés et ayant tous subi une expertise géologique.

projet. Les travaux de conversion de la MO en MN 95 furent inscrits dans les conventions-programmes ordinaires conclues entre la Confédération et les cantons. La Confédération participait à hauteur de 60% à cette adaptation particulière présentant un intérêt national élevé.

La D+M intégra l'Office fédéral de topographie swisstopo à la fin de l'année 1998. La coordination entre la MN et la MO s'en trouva facilitée.

Le 22 février 2000, la direction de swisstopo créa le *centre de compétences DG/MN95* pour qu'il coordonne la préparation et le suivi du CCR de la MO de MN03 vers MN95²⁵. Le 30 avril 2002, la direction de swisstopo décida cependant, en accord avec la Conférence des services cantonaux du cadastre (CSCC, aujourd'hui Cadastre-Suisse), de ne pas introduire le nouveau réseau altimétrique national RAN95 comme base des *altitudes officielles dans la mensuration officielle* et de conserver les altitudes usuelles du cadre NF02 comme référence pour la plupart des applications en Suisse²⁷.

Un des objectifs de la stratégie de la MO pour les années 2004 à 2007 indiquait que les données de la MO devaient être préparées ou saisies de manière à être disponibles en MN95, largement exemptes de déformations et de contradictions (homogénéisées), rendant ainsi tout ajustage local superflu. C'est en

étroite collaboration avec swisstopo que les services cantonaux du cadastre établirent leurs maillages triangulaires fortement densifiés, au moins jusqu'au niveau des PFP2, comportant au total 11 882 triangles et 5 944 points d'appui; la précision de transformation moyenne était de 2 cm, les valeurs obtenues variant entre 0,2 cm et 4,8 cm d'un canton à l'autre⁴³. Le jeu de données de transformation officiel *CHENyx06* était disponible

sur l'intégralité du territoire à la fin de l'année 2006.

Implémentés dans les produits logiciels tels que REFRAME⁷⁵, dans le service de positionnement swipos⁷⁷ et dans les géoservices de transformation, les prérequis techniques nécessaires à la transformation en planimétrie des données de la MO entre les deux cadres de référence avec une précision centimétrique pour tous les formats de données largement

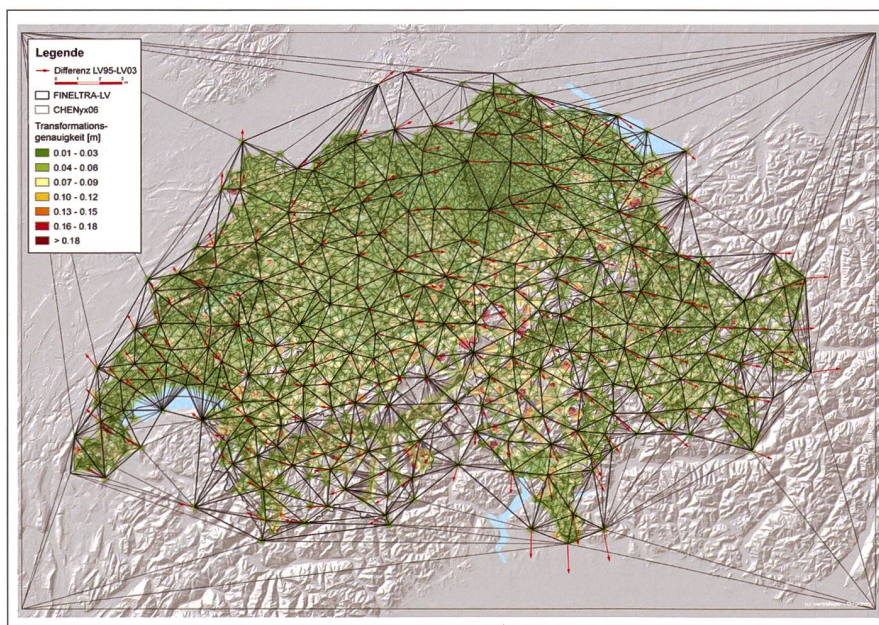


Fig. 7: Maillage triangulaire national CHENyx06 pour la transformation linéaire avec des éléments fins (FINELTRA), la précision [m] de la transformation estimée étant fournie.

répandus en Suisse étaient réunis dès le printemps 2007. Le concept d'adaptation de la MO au cadre de référence MN95 de juin 2007 définissait quant à lui le mode opératoire^{42,44}. Les cantons devaient planifier la mise en œuvre de ce processus pour les deux périodes stratégiques de quatre ans suivantes. Cela correspondait au calendrier établi dans l'OGéo, qui fixait le terme du délai de transition pour le passage de MN03 à MN95, resp. l'introduction des nouvelles coordonnées pour les données de référence à la fin de l'année 2016.

Le passage effectif eut donc lieu sur une base cantonale. Les cantons proposèrent leurs propres publications et sites Internet, en se calant sur la date prévue pour le passage à MN95 et en fournissant des liens vers les offres d'information de swisstopo. Il ressortait par ailleurs des informations publiées dans les médias que ces derniers s'intéressaient surtout aux modifications que ce changement apportait aux surfaces des cantons^{68, p. ex.} Le CCR pour les géodonnées de référence et l'introduction des nouvelles coordonnées dans la MO pour la fin de l'année 2016 se déroulèrent sans problème notable. Certains cantons profitèrent de l'occasion pour convertir toute leur infrastructure cantonale de géodon-

nées en MN95⁵⁴. La plupart des autres cantons ne tardèrent pas à suivre leur exemple.

Parmi les avantages reconnus au cadre de référence MN95, on compte le fait qu'il offre d'excellentes conditions pour procéder à des analyses de déformation détaillées au niveau de la MO, afin de déceler des contradictions géométriques et de libérer certaines zones des tensions qui les affectent⁵⁰. Dans l'idéal, ces mesures étaient directement combinées avec le CCR, conformément au concept d'adaptation établi. C'est pourquoi les cantons furent invités à délimiter les zones où les tensions étaient négligeables et où aucun ajustage n'était par suite requis, autrement dit les secteurs où le niveau de concordance en planimétrie entre les mesures GNSS et les coordonnées théoriques de la MO dépassait les exigences fixées dans la législation (en termes d'écart-type). En effet, le nouveau cadre de référence MN95 ne peut pleinement exprimer son potentiel que lorsque les secteurs affectés de tensions ont tous été traités. Toutefois, les zones comportant des territoires en mouvement permanent restent problématiques. Elles doivent être délimitées et identifiées en tant que telles par une mention au registre foncier.

Le CCR a par ailleurs créé de nouvelles possibilités et de nouveaux besoins en matière de points fixes, pour utiliser les avantages du cadre MN95, stable et homogène, combiné aux méthodes de mesure GNSS, tout en respectant les exigences de précision de la MO prescrites par la loi. Aussi, les cantons furent invités à actualiser leurs concepts de points fixes en s'appuyant sur la stratégie fédérale en matière de points fixes⁶⁴, la règle étant «Autant de points fixes que nécessaire, mais aussi peu que possible». Il faut encore préciser que la hiérarchie des points fixes a perdu de son importance avec MN95. La distinction entre points fixes ou de référence de la MO, resp. de la MN est avant tout une question de compétence (Confédération/cantons) pour la mesure et l'entretien.

Mensuration, positionnement et navigation aujourd'hui

swipos® (Swiss Positioning Service) est devenu une norme de fait en mensuration aujourd'hui, à l'instar d'autres services de positionnement commerciaux. Si swipos® était quasi-exclusivement utilisé dans les domaines des points fixes et de la MO durant les premières années (autour de 2002), son champ d'application s'est clairement déporté vers d'autres secteurs aujourd'hui, notamment ceux de la construction et du guidage d'engins (dont les engins agricoles et les dameuses)^{18, 19, 26, 33}. Au total, on est passé de 11 licences en 2002 à près de 3000 en 2020.

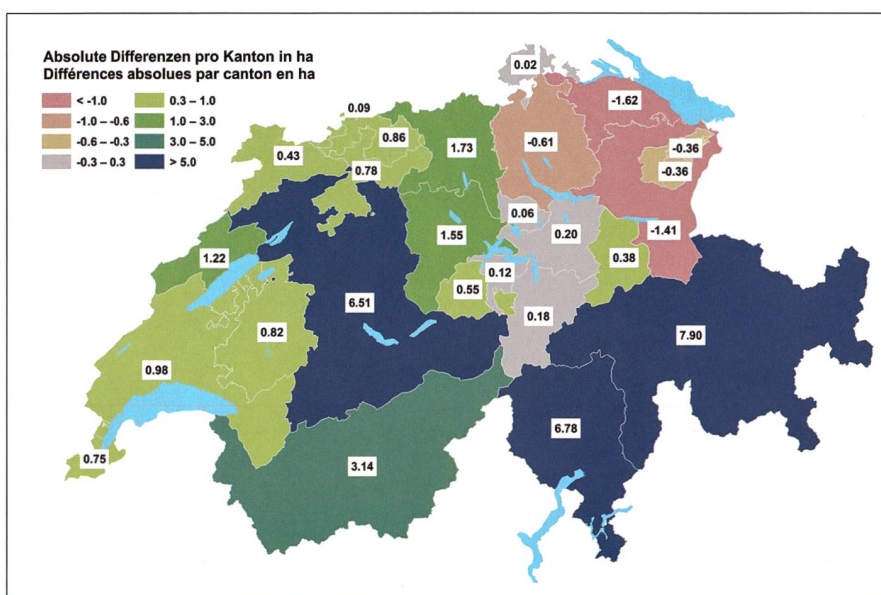


Fig. 8: Différences de surfaces absolues [ha] par canton consécutives au changement de cadre de référence MN03 → MN95.



Fig. 9: Champ d'application de swipos®: positionnement en temps réel par GNSS d'une dameuse, écran dans sa cabine (photo swisstopo).



Fig. 10: Champ d'application de swipos®: positionnement en temps réel par GNSS d'une machine de construction (photo Leica Geosystems SA, Suisse).

Les transformations en temps réel entre les différents cadres de référence planimétriques et altimétriques en Suisse constituent une particularité de swipos®. Grâce à elles, les clients peuvent travailler au choix dans l'«ancien» (MN03) ou dans le «nouveau» (MN95) cadre de référence planimétrique. S'agissant des cadres de référence altimétriques, le choix peut s'opérer entre les altitudes usuelles officielles NF02 et les altitudes orthométriques de RAN95. Les transformations en temps réel ont été introduites pour permettre aux utilisateurs de swipos® de travailler dans l'ancien et dans le nouveau cadre de référence durant l'introduction de MN95. Cela visait en particulier à favoriser l'acceptation du nouveau cadre de référence.

Le délai de transition pour le CCR des géodonnées de base expirant à la fin de l'année 2020 selon l'OGéo, swisstopo cessera de proposer la transformation en temps réel entre MN95 et MN03 à cette échéance. La transformation entre les altitudes NF02 et RAN95 sera conservée, puisque NF02 reste le cadre de référence altimétrique officiel pour la MO. Une analyse rapide de l'utilisation actuelle de swipos® montre que 25% des clients continuent à travailler en MN03, alors que les professionnels de la mensuration ont quasiment tous opté pour le cadre de référence MN95 aujourd'hui.

D'autres questions se posent désormais pour swipos®: le service peut-il être ouvert à des usages grand public? Si oui, jusqu'à quel point? Ou doit-il plutôt rester réservé aux professionnels des secteurs de la mensuration et de la construction? Par usages grand public, on entend ici des applications dont se servent des milliers d'utilisateurs et on pense notamment aux véhicules autonomes. Dans de tels cas, les services fondés sur le *positionnement de point précis (PPP)* sont mieux adaptés, les données de correction pouvant être radiodiffusées, donc captées par un nombre quasiment illimité d'utilisateurs. swipos®, qui est un service de type VRS (station de référence virtuelle), nécessite en revanche qu'une liaison de données bidirectionnelle soit établie lors de chaque accès d'un utilisateur. En outre, l'industrie automobile ne peut pas s'appuyer sur des services nationaux pour les véhicules autonomes, elle a besoin de services d'ampleur continentale voire mondiale. Une forme de collaboration possible consisterait à livrer des données GNSS des stations AGNES à des services commerciaux, des données de stations de référence stables et bien surveillées ne pouvant qu'intéresser les fournisseurs de tels services. En règle générale, ces derniers utilisent un nombre de stations supérieur à celui strictement nécessaire pour la

solution PPP et créent ainsi la redondance requise. A titre d'essai, swisstopo fournit actuellement les données de deux stations AGNES au service SAPA (*Safe and Precise Augmentation*) de la coentreprise SAPCORDA⁷⁸ fondée en 2017. Ces services d'ampleur continentale recourent d'ordinaire au système ETRS89 en Europe et sont donc compatibles avec CHTRS95, dans une plage de quelques centimètres.

Résultats des mesures répétées dans le réseau national MN95

Une priorité élevée a toujours été accordée à la qualité et à la fiabilité des bases géodésiques dans les OMN95. Le respect des normes de qualité propres aux produits géodésiques de la mensuration nationale fait partie des objectifs de performance annuels du domaine et est établi dans un rapport⁵⁵. La stabilité du réseau MN95 a ainsi été vérifiée lors de quatre répétitions des mesures (en 1998, 2004, 2010 et 2016)^{34,66,71}. Résultat: au bout de 25 ans, seuls cinq des 208 points MN95 présentaient un écart supérieur à deux centimètres par rapport aux coordonnées planimétriques initiales, arrondies au centimètre le plus proche. La valeur de deux centimètres retenue provient des normes de qualité de la MO où elle figure comme seuil pour l'adaptation des coordonnées publiées du cadre de référence statique MN95. Seuls quatre points MN95 ont dû être remplacés depuis leur mise en place au début des années nonante. La répétition des mesures fait donc clairement apparaître que les localisations ont été choisies avec soin et que la matérialisation des points est particulièrement stable, mais aussi que les coordonnées planimétriques ont été déterminées avec une grande précision, à une époque où le GPS était encore en cours de constitution.

Les *investigations portant sur les mouvements «néotectoniques» de la croûte terrestre superficielle en Suisse* se fondent sur la base conjointement formée par les mesures GNSS des stations

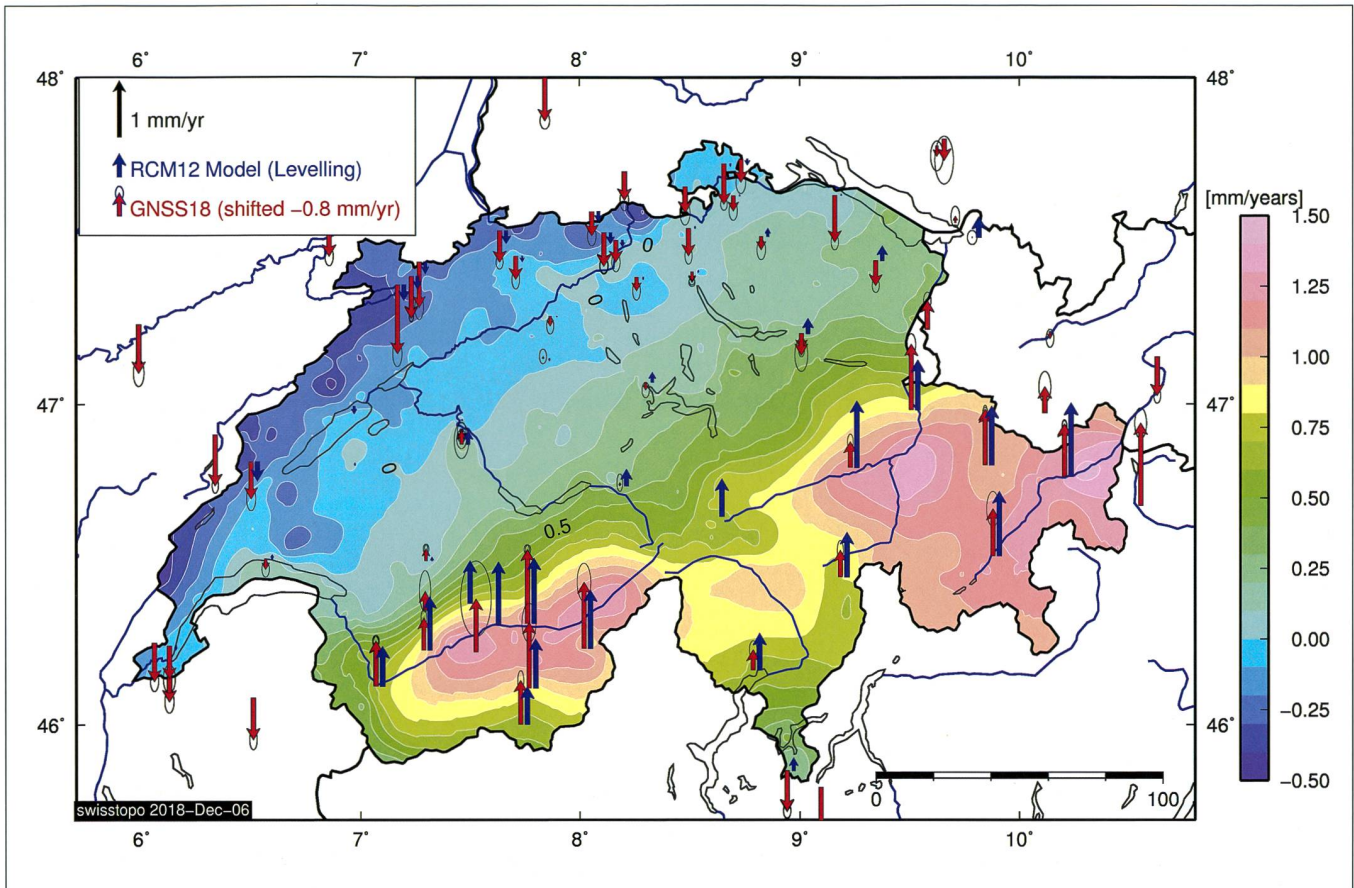


Fig. 11: Comparaison des vitesses verticales issues de mesures GNSS permanentes (flèches rouges) avec les valeurs modélisées à partir du réseau altimétrique national, le point de référence étant Aarburg (flèches bleues/surface du modèle en couleur). La différence au niveau de la référence (pour le GNSS, c'est le continent européen stable) a été pris en compte par le biais d'une adaptation de $-0,8$ mm/an des vitesses GNSS.

permanentes AGNES, les mesures de précision dans le réseau altimétrique national et les mesures répétées dans le réseau MN95, resp. dans le cadre de référence cinématique en 3D CHTRFyy. A l'époque de la mise en place de MN95, on estimait encore que le soulèvement alpin, pouvant atteindre $1,5$ mm par an et calculé à partir de mesures répétées au sein du nivellement fédéral, était principalement causé par la convergence de plaques tectoniques. C'est pourquoi on s'attendait à des déplacements horizontaux trois fois plus importants en Suisse au vu de l'interprétation des strates géologiques.

Une analyse du champ des vitesses montre toutefois que le déplacement de 95% des points MN95 reste inférieur à $0,6$ mm/an, quelle qu'en soit la direction⁷². Si le Plateau (Mittelland) se caracté-

térise par une très grande stabilité, on identifie un modèle de mouvement similaire dans certaines régions, ce qui pourrait indiquer la présence d'influences tectoniques. Les régions où l'on observe des mouvements systématiques se situent dans les Alpes, au sud du Rhône (en Valais), du Rhin antérieur et du Rhin postérieur (dans les Grisons), mais aussi dans le Jura. Les mouvements horizontaux et verticaux y sont du même ordre de grandeur. Cela laisse à penser que le soulèvement alpin est en grande partie causé par des mouvements de compensation isostatique à l'issue de la fonte des glaces après la dernière ère glaciaire.

Les données doivent faire l'objet d'analyses plus poussées, menées conjointement avec la Nagra, le service sismologique suisse et des services spécialisés en géologie. C'est là une condition sine qua

non pour le développement du *modèle cinématique de la Suisse CHKM95*⁷⁰.

Les résultats des estimations des vitesses sont récapitulés sur la plateforme Internet du PNAC de swisstopo⁷⁹. Le recours au visualiseur de géodonnées permet de compléter les couches d'importance pour la mensuration par des cartes géologiques et tectoniques.

Perspectives

Dans les prochaines années, d'autres données de base seront saisies afin d'en déduire un *modèle de vitesses combiné* pour les mouvements en planimétrie et en altimétrie. Pour les modifications de surface, il faudra aussi intégrer des données *InSAR* (interférométrie par radar à synthèse d'ouverture) à l'avenir, provenant de satellites d'observation de la

Terre. L'interférométrie radar différentielle permet de détecter des mouvements du sol avec une grande finesse (précision de niveau millimétrique), qu'ils soient locaux ou touchent des zones plus vastes. Ils peuvent par exemple être dus à des glissements de terrain ou à un abaissement des eaux souterraines. Les méthodes de mesure étant différentielles par nature, des points de référence et des mesures de comparaison sont nécessaires. Les stations permanentes AGNES, le réseau GNSS MN95 et le réseau altimétrique national RAN95 conviennent parfaitement à un tel usage. Et comme swisstopo assure la direction du projet EUREF *European Dense Velocities*⁸⁰, la cohérence avec les modèles européens est aussi garantie.

Le système de référence officiel pour la détermination de coordonnées dans la MN et la MO en Suisse est CH1903+ (cadre de référence MN95) qui est défini comme un système statique. Même si la vitesse moyenne de déplacement des points de la MN95 est inférieure à 1 mm/an en Suisse, l'exigence d'un cadre de référence précis au centimètre près ne peut plus être satisfaite, en toute rigueur, au bout de dix à vingt ans. C'est pourquoi swisstopo travaille actuellement à l'élaboration des bases techniques requises pour l'introduction éventuelle d'un cadre de référence cinématique.

Remerciements

La constitution du réseau national MN95, comme de l'ensemble des œuvres de la mensuration nationale OMN95 du reste, est le résultat d'une collaboration fructueuse entre bon nombre de spécialistes du domaine Géodésie de swisstopo d'alors et les hautes écoles engagées dans la CGS. La D+M et les services cantonaux du cadastre ont grandement contribué à l'introduction de la MN95 dans la MO. Que tous les participants soient chaleureusement remerciés ici pour leurs apports respectifs, toujours précieux.

Le présent article a bénéficié du soutien financier de swisstopo et de la SHGS. Nous les en remercions vivement.

Copyright des illustrations et des cartes, en l'absence de toute mention contraire: © swisstopo.

Littérature (chronologique) et Weblinks Littérature (chronologique) et liens internet

- 1 Counselman III, C.C., D.H. Steinbrecher: *The Macrometer: A Compact Radio Interferometry Terminal for Geodesy with GPS*. Proceedings Third International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning, Las Cruces, New Mexico, 1982.
- 2 Geiger A., H.-G. Kahle, D. Schneider, M. Rothacher, G. Beutler, W. Gurtner: *Das GPS-Testnetz Turtmann: Netzanlage und Messkampagne 1985*. VPK 7/1986, p. 266–271.
- 3 Gurtner W., G. Beutler: *Die Rolle der Satellitengeodäsie in der Vermessung*. VPK 8/1986, p. 336–341.
- 4 Chablais H., E. Gubler, D. Schneider, A. Wiget: *Die geodätische Landesvermessung in der Schweiz, heute und morgen*. VPK 4/1988, p. 154–163.
- 5 Wiget A., E. Gubler, D. Schneider: *GPS-Präzisionsnetz zur Bestimmung von rezenten Krustenbewegungen in der Nordschweiz*. VPK 8/1991, p. 415–426.
- 6 Chablais H.: *Le réseau actuel de triangulation et le nouveau réseau national*. MPG 12/1992, p. 726–728.
- 7 Geiger A., H.-G. Kahle, R. Köchle, D. Meier, B. Neiningen, D. Schneider, B. Wirth: *Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985–1990, Teil I*. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, herausgegeben von der Schweizerischen Geodätischen Kommission der SCNAT. Volume 45, Zürich, 1992.
- 8 Beutler G., A. Geiger, M. Rothacher, S. Schaer, D. Schneider, A. Wiget: *Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985–1993, Teil II*. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, herausgegeben von der Schweizerischen Geodätischen Kommission der SCNAT. Volume 51, Zürich, 1993.
- 9 Wiget A., B. Vogel, D. Schneider: *Die neue Landesvermessung LV95 der Schweiz*. Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation SPN 1/1994, p. 13–20.
- 10 Wild U., W. Gurtner: *Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95', Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS-Permanentbetrieb*. L+T-Bericht Nr. 07, swisstopo, Wabern, 1995.
- 11d Schneider D., E. Gubler, U. Marti, W. Gurtner: *Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95', Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen*. L+T-Bericht Nr. 8, swisstopo, Wabern, 1995 und Feb. 2001.
- 11f Schneider D., E. Gubler, U. Marti, W. Gurtner, H. Dupraz: *Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse 'MN95', 3e partie: Systèmes et cadres de référence terrestres*. Rapport du S+T No. 8f, swisstopo, Wabern, 1995 et Fév. 2001.
- 12d V+D: *Konsequenzen der neuen Landesvermessung 95 (LV95) für die amtliche Vermessung (AV93)*. VPK 3/1995, p. 154–155.
- 12f D+M: *Conséquences de la nouvelle mensuration nationale (MN95) pour la mensuration officielle (M093)*. MPG 3/1995, p. 155.
- 13 Carosio A., M. Plazibat: *Lineare Transformation mit finiten Elementen: Eine anpassungsfähige Verbindung zwischen alter und neuer Landesvermessung*. VPK 4/1995, p. 192–194.
- 14 Gubler E., D. Gutknecht, U. Marti, D. Schneider, Th. Signer, B. Vogel, A. Wiget: *Die neue Landesvermessung der Schweiz LV95*. VPK 2/1996, p. 47–65.
- 15 Ammann R., A. Carosio, W. Ulrich: *Konsequenzen der neuen Landesvermessung 1995 (LV95) für die Amtliche Vermessung (AV)*. VPK 2/1996, p. 66–69.
- 16 Arbeitsgruppe «AV-LV95»: *Konsequenzen der neuen Landesvermessung 95 für die Amtliche Vermessung. Schlussbericht*. Version August 1996.
- 17 Signer Th., B. Vogel: *Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95', Teil 9: GPS-Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung, Transformation 'LV95 ↔ LV03'*. L+T-Bericht Nr. 15, swisstopo, Wabern, 1999.
- 18 Wild U., E. Brockmann, R. Hug, Chr. Just, P. Kummer, Th. Signer, A. Wiget: *Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Ein multifunktionales Referenznetz für Navigation und Vermessung*. VPK 6/2000, p. 389–392.
- 19 Wild U., S. Grünig, R. Hug, P. Kummer, I. Pfammatter, U. Bruderer: *swipos®-GIS/GEO: real-time Positionierung in der ganzen Schweiz mit cm-Genauigkeit*. VPK 3/2001, p. 165–168.
- 20 Schlatter A., E. Brockmann, Th. Signer, A. Wiget, K. Wysser: *Konzept- und Machbarkeitsstudie zu HFP2-Netzen im heutigen Umfeld*. VPK 3/2001, p. 169–175.

- 21 GKG-KOGIS: *Strategie für Geoinformation beim Bund. Interdepartementale GI & GIS-Koordinationsgruppe (GKG)*. swisstopo, Wabern, 04.2001.
- 22 Signer Th.: *Landesvermessung LV95: Übersicht und Stand des Projektes*. VPK 1/2002, p. 4–7.
- 23 Marti U., A. Schlatter: *Höhenreferenzsysteme und -rahmen*. VPK 1/2002, p. 8–12.
- 24 Schlatter A., U. Marti: *Neues Landeshöhennetz der Schweiz LHN95*. VPK 1/2002, p. 13–17.
- 25 Wicki F.: *Landesvermessung LV95: Konsequenzen für die Amtliche Vermessung und weitere raumbezogene Daten*. VPK 1/2002, p. 19–23.
- 26 Niggeler L., S. Grünig, U. Wild: *Swipos à Genève*. MPG 6/2002, p. 373–375.
- 27d Wicki F., Th. Signer, W. Messmer, R. Ammann, R. Durussel, H. Thalmann: *Das Höhen-system für die amtliche Vermessung und weitere raumbezogene Daten*. VPK 8/2002, p. 528–529.
- 27f Wicki F., Th. Signer, W. Messmer, R. Ammann, R. Durussel, H. Thalmann: *Le système altimétrique pour la mensuration officielle et autres données géographiques*. MPG 8/2002, p. 530–531.
- 28 Wiget A., Th. Signer, B. Vogel, U. Wild: *Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95', Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988–94; Bezugsrahmen 'CHTRF95' und 'LV95'*. L+T-Bericht Nr. 13, swisstopo, Wabern, 2003.
- 29 GKG-KOGIS: *Umsetzungskonzept zur Strategie Geoinformation beim Bund*. swisstopo, Wabern, 16.04.2003.
- 30 Gurtner W., D. Schneider: *Swiss Combined Geodetic Network CH-CGN: Swiss Contribution to the European Combined Geodetic Network (ECGN). Proposal submitted to IAG Subcommission for Europe (EUREF), 24. April 2003*. swisstopo Report 03-13, swisstopo, Wabern, April 2003.
- 31 Ehrenberg Ph.: *Verfassungsartikel über die Vermessung*. Geomatik Schweiz 7/2003, p. 398–401.
- 32 Schneider D., B. Vogel, A. Wiget, E. Brockmann, A. Schlatter, U. Marti, U. Wild: *Landesvermessung einst und heute*. Geomatik Schweiz 12/2003, p. 669–674.
- 33 Grünig S., U. Wild: *swipos über Internet: Neue Entwicklungen bei der Echtzeit-Positionierung*. Geomatik Schweiz 3/2005, p. 121–124.
- 34 Brockmann E., D. Ineichen, A. Wiget: *Neumessung und Auswertung des GPS-Landesnetzes der Schweiz LV95*. Geomatik Schweiz 8/2005, p. 440–444.
- 35 Marti U., A. Schlatter: *Festlegung des Höhenbezugsrahmens LHN95 und Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004*. Geomatik Schweiz 8/2005, p. 445–449.
- 36 Schlatter A., U. Marti: *Höhentransformation zwischen LHN95 und den Gebrauchshöhen LN02*. Geomatik Schweiz 8/2005, p. 450–453.
- 37d Riesen H.-U., B. Schweizer, A. Schlatter, A. Wiget: *Tunnelvermessung des BLS Alp-Transit Lötschberg-Basistunnels*. Geomatik Schweiz 11/2005, p. 608–612.
- 37f Riesen H.-U., B. Schweizer, A. Schlatter, A. Wiget: *Le tunnel de base du Lötschberg. Tracés No. 19, 5 octobre 2005*, p. 18–21.
- 38 Wild U., S. Grünig, R. Hug: *Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95', Teil 11: Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Stationsnetz und Positionierungsdienste*. L+T-Bericht Nr. 19, swisstopo, Wabern, 2006.
- 39 Richard Ph., U. Marti: *Un nouveau réseau gravimétrique en Suisse*. MPG 8/2006, p. 426–431.
- 40 swisstopo: *Neue Koordinaten für die Schweiz: Der Bezugsrahmen LV95*. Informationsbroschüre, Wabern, Nov. 2006
- 41 Schlatter A.: *Das neue Landeshöhennetz der Schweiz LHN95. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, herausgegeben von der Schweizerischen Geodätischen Kommission der SCNAT. Volume 72, Zürich, 2007*.
- 42 swisstopo (Herausgeber): *Überführung der amtlichen Vermessung in den Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (LV95). Konzept. Version 8 vom 8. Juni 2007*.
- 43d Kistler M., J. Ray: *Neue Koordinaten für die Schweiz: Fertigstellung der nationalen Dreiecksvermaschung, neue Transformations-Software REFRAME und Eröffnung des Internet-Portals «Bezugsrahmenwechsel»*. Geomatik Schweiz 9/2007, p. 432–437.
- 43f Kistler M., J. Ray: *Nouvelles coordonnées pour la Suisse: achèvement du maillage national des triangles, nouveau logiciel de transformation REFRAME et inauguration du portail Internet sur le changement du cadre de référence*. Géomatique Suisse 9/2007, p. 439–445.
- 44d Scherrer M.: *Neue Koordinaten für die Schweiz: Konsequenzen des neuen Lagebezugsrahmens LV95*. Geomatik Schweiz 9/2007, p. 447–448.
- 44f Scherrer M.: *De nouvelles coordonnées pour la Suisse: Conséquences du nouveau cadre de référence MN95*. Géomatique Suisse 9/2007, p. 450–452.
- 45 Kistler M., U. Wild: *Neue Koordinaten für die Schweiz: Bezugsrahmenwechsel. Positionierungsdienste, Rechen- und Geodienste*. Geomatik Schweiz 5/2008, p. 274.
- 46 Wicki F.: *Neue Geoinformationsgesetzgebung: Konsequenzen für die Praxis*. Geomatik Schweiz 6/2008, p. 308–313.
- 47 Bundesgesetz über Geoinformation, GeoIG; SR 510.62. <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20050726/index.html>, Zugriff 04.06.2020.
- 48 Verordnung über Geoinformation, GeoIV; SR 510.620. <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20071088/index.html>, Zugriff 04.06.2020.
- 49 Verordnung über die Landesvermessung, LVV; SR 510.626. <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20071092/index.html>, Zugriff 04.06.2020.
- 50 Furrer M., B. Sievers: *Qualitätsindikatoren für den Bezugsrahmenwechsel LV03–LV95*. Geomatik Schweiz 1/2009, p. 20–24.
- 51d Vogel B., M. Burkhard, M. Kistler, U. Marti, J. Ray, M. Scherrer, A. Schlatter, A. Wiget: *Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95', Teil 13: Einführung des Bezugsrahmens 'LV95' in die Nationale Geodateninfrastruktur*. Geodäsie Doku 21, swisstopo, Wabern, 2009.
- 51f Vogel B., M. Burkhard, M. Kistler, U. Marti, J. Ray, M. Scherrer, A. Schlatter, A. Wiget: *Définition de la nouvelle mensuration de la Suisse 'MN95', 13ème partie: Introduction du cadre de référence 'MN95' dans l'infrastructure nationale de données géographiques*. Géodésie Doku 21f, swisstopo, Wabern, 2009.
- 52d swisstopo: *Bezugsrahmenwechsel – neue Koordinaten für die Schweiz. Informationsveranstaltungen*. Geomatik Schweiz 10/2009, p. 512–513.
- 52f swisstopo: *Changement de cadre de référence. Réunions d'information*. Géomatique Suisse 10/2009, p. 512–513.
- 53d Ray J., U. Marti, M. Kistler: *Methoden und Werkzeuge für die Koordinatentransformation zwischen globalen und lokalen Bezugsrahmen und den Datenaustausch mit den Nachbarländern*. Geomatik Schweiz 11/2009, p. 536–539.

- 53f Ray J., U. Marti, M. Kistler: *Méthodes et outils pour la transformation de coordonnées entre cadres de référence globaux et locaux et échanges de données avec les pays voisins*. Géomatique Suisse 11/2009, p. 541–544.
- 54 Niggeler L., F. Mumenthaler: *Genève se prépare à changer toutes les coordonnées de ses données géographiques*. Géomatique Suisse 12/2009, p. 592–595.
- 55d Wiget A., D. Andrey, E. Brockmann, D. Ineichen, M. Kistler, U. Marti, A. Schlatter, B. Vogel, U. Wild: *Qualitätsstandards der Landesvermessung. Indikatoren, Standards und Messgrößen für die Produkte der geodätischen Landesvermessung*. Geodäsie swisstopo Report 10-11, swisstopo, Wabern, Nov. 2010.
- 55f Wiget A., D. Andrey, E. Brockmann, D. Ineichen, M. Kistler, U. Marti, A. Schlatter, B. Vogel, U. Wild: *Normes de qualité de la mensuration nationale. Indicateurs, normes et grandeurs de mesure applicables aux produits de la mensuration nationale géodésique*. Géodäsie swisstopo Report 10-11f, swisstopo, Wabern, Nov. 2010.
- 56 Stengele R., I. Schättli-Stählin: *Grundlagen und Hauptkontrollmessung im Gotthard-Basistunnel*. Geomatik Schweiz 12/2010, p. 548–557.
- 57 Wiget A., U. Marti, A. Schlatter: *Beiträge der Landesvermessung zum AlpTransit Gotthard-Basistunnel*. Geomatik Schweiz 12/2010, p. 575–581.
- 58 Gubler E.: *150 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission*. Geomatik Schweiz 6/2011, p. 260–268.
- 59 Wiget A., E. Brockmann, M. Kistler, U. Marti, A. Schlatter, B. Vogel, U. Wild: *Das Landesvermessungswerk 1995 (LVW95)*. Geomatik Schweiz 6/2011, p. 270–279.
- 60 swisstopo: *Neuigkeiten aus dem Bereich Geodäsie von swisstopo. Nouveautés pour le domaine de la géodésie de swisstopo*. Geomatik Schweiz 5/2012, p. 1–4.
- 61 swisstopo: *Neue Koordinaten für die Schweiz. Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95*. Informations-Flyer für Grundeigentümer. Wabern, Mai 2013.
- 62 Condamin S., J. Schwarzgruber, B. Sievers: *Lokale Hebungsdaten in den Schweizer Alpen (Wildhorndecke)*. Geomatik Schweiz 1/2014, p. 12–15.
- 63d Mautz R., J.-J. Stuby: *Umstellung auf den neuen Bezugsrahmen LV95 bei der SBB*. Geomatik Schweiz 3/2014, p. 96–98.
- 63f Mautz R., J.-J. Stuby: *Introduction du nouveau de cadre de référence MN95 aux CFF*. Géomatique Suisse 3/2014, p. 100–102.
- 64 swisstopo: *Fixpunktstrategie für die amtliche Vermessung*. Wabern, April 2015.
- 65 Wiget A.: *Neue Koordinaten für die Schweiz – auf den Zentimeter genau. Neue Koordinaten für die Schweiz – au centimètre près*. GeoPanorama, SCNAT-Geosciences 4/2015, p. 32–35.
- 66 Schneider D., E. Gubler, A. Wiget: *Meilensteine der Geschichte und Entwicklung der Schweizerischen Landesvermessung*. Geomatik Schweiz 11/2015, p. 462–483.
- 67d Marti U.: *Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz, LV95', Teil 14. Das Geoid der Schweiz 2004 «CHGeo2004»*. Geodäsie Doku 22, swisstopo, Wabern, 2016.
- 67f Marti U.: *Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse, MN95', 14ème partie. Le géoïde de la Suisse 2004 «CHGeo2004»*. Géodäsie Doku 22f, swisstopo, Wabern, 2016.
- 68 Ruh, B.: *Ein Land auf Expansionskurs. Die Schweiz ist um eine Fläche so gross wie 43 Fussballfelder gewachsen*. Neue Zürcher Zeitung 6. April 2016, p. 14.
- 69 Schlatter A., U. Marti, A. Wiget: *AlpTransit-Gotthard-Basistunnel: Aspekte zu den Themen Schwerefeld, Höhe und Geodynamik*. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten avn 123 7/2016, p. 199–206.
- 70 Clinton J., A. Geiger, S. Häberling, F. Haslinger, M. Rothacher, A. Wiget, U. Wild: *The Future of National GNSS-Geomonitring Infrastructures in Switzerland. White Paper. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, herausgegeben von der Schweizerischen Geodätischen Kommission der SCNAT*. Volume 100, Zürich, 2017.
- 71 Brockmann E.: *LV95/CHTRF2016 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2016). Teil 2: Auswertung der GNSS-Messungen 2016 und Resultate der Gesamtausgleichung*. Vermessung Report 16–19, swisstopo, Wabern, 2018.
- 72 Brockmann E.: *Stabilität des schweizerischen Koordinatenreferenzrahmens*. cadastre, Fachzeitschrift für das schweizerische Katasterwesen No. 28, swisstopo, Wabern, 12/2018, p. 11–13.
- 73 Weblink Fixpunkt-Datenservice FPDS: <https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/karten-geodaten-online/fixpunkte.html> und <https://map.fineltra.admin.ch>, Zugriff: 04.06.2020.
- 74 Weblink Geoportal des Bundes: <https://www.geo.admin.ch/> und <https://map.geo.admin.ch/>, Zugriff 04.06.2020.
- 75 Weblink REFRAME: <https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/calculation-services/reframe.html>, Zugriff 04.06.2020.
- 76 Weblink opendata swiss: <https://opendata.swiss/de/dataset/bezugsrahmenwechsel-lv03-lv95-dreiecksvermaschung-chenyx06-und-fineltra-lv>, Zugriff 04.06.2020.
- 77 Weblink swipos: <https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/geoservice/swipos>, Zugriff 04.06.2020.
- 78 Weblink SAPCORDA: <https://www.sapcorda.com>, Zugriff 04.06.2020.
- 79 Weblink PNAC: <http://pnac.swisstopo.admin.ch>, Zugriff 04.06.2020.
- 80 Weblink European Dense Velocities: http://pnac.swisstopo.admin.ch/divers/dens_vel/index.html, Zugriff 04.06.2020.
- 81 swisstopo-Doku Reihe: deutsch: https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/publications/geodesy/swisstopo_doku_pdf; französisch: https://shop.swisstopo.admin.ch/fr/products/publications/geodesy/swisstopo_doku_pdf, Zugriff 04.06.2020.
- Weitere Informationen und Abbildungen sind verfügbar auf den Internetseiten von swisstopo: www.swisstopo.ch → Wissen und Fakten → Geodäsie/Vermessung
- Die Berichte zur Landesvermessung LV95 (swisstopo-DOKU) sind als PDF verfügbar (siehe Literaturreferenz 81)
- <https://emuseum.gggs.ch/literatur-lv/liste.htm>
- Virtuelle Ausstellung zur Geschichte der LV: <https://emuseum.gggs.ch/eexpo-lv/index.html>
- Homepage der GGGS:



<https://www.gggs.ch>

Abkürzungen

AGNES	Automatisches GPS-/GNSS-Netz Schweiz
AIUB	Astronomisches Institut der Universität Bern
AV	Amtliche Vermessung
AV93	Reform der AV 1993

BRW	Bezugsrahmenwechsel (von LV03 zu LV95)	IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ	V+D	Eidg. Vermessungsdirektion
Cadastre Suisse	Konferenz der kantonalen Katasterdienste	InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar	VBS	Eidg. Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
CH1903	Lokales geodätisches Bezugssystem der Schweiz von 1903	ITRS	International Terrestrial Reference System	VRS	Virtual Reference Station
CH1903+	Lokales geodätisches Bezugssystem der Schweiz von 1995	KKVA	Konferenz der kantonalen Vermessungsämter (heute CadastreSuisse)	Abréviations	
CH-CGN	Swiss Combined Geodetic Network; kombiniertes geodätisches Netz (Bestimmung von Geoidundulationen aus GNSS- und orthometrischen Höhen)	KOGIS	Interdepartementale Koordinationsgruppe GIS (heute Bereich «Koordination, Geo-Information und Services» von swisstopo)	AGNES	Réseau GPS/GNSS automatique suisse
CHENyx06	Transformations-Datensatz der landesweiten Dreiecksvermischung 2006 (EN für LV95, yx für LV03)	LFP1, LFP2	Lagefixpunkt der Kategorien 1 (Landesvermessung, Bund) und 2 (amtliche Vermessung, Kantone)	AIG	Association internationale de géodésie
CHGeo2004	Geoidmodell der Schweiz 2004	LHN95	Orthometrisches Landeshöhennetz 1995	AIUB	Institut d'astronomie de l'Université de Berne
CHKM95	Kinematisches Modell der Schweiz 1995	LN02	Gebrauchshöhennetz 1902 (Landesnivellement)	Cadastre Suisse	Conférence des services cantonaux du cadastre
CHTRFyy	Swiss Terrestrial Reference Frame (Realisierung des Bezugssystems CHTRS95 im Jahr yy)	LSN2004	Landesschwerennetz 2004	CCR	Changement de cadre de référence (de MN03 à MN95)
CHTRS95	Swiss Terrestrial Reference System 1995 (globales geodätisches Bezugssystem der Schweiz 1995)	LV	Landesvermessung	CGS	Commission géodésique suisse
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989	LV03	Bezugsrahmen der LV 1903	CH1903	Ancien système de référence local de la Suisse de 1903
EUREF	European Reference Frame (IAG Reference Frame Sub-Commission for Europe)	LV95	Bezugsrahmen der LV 1995	CH1903+	Nouveau système de référence local de la Suisse de 1995
FINELTRA	Lineare Transformation mit finiten Elementen (Software)	LVV	Landesvermessungsverordnung	CH-CGN	Réseau géodésique combiné, cotes du géoïde déterminées à partir de hauteurs GNSS et d'altitudes orthométriques
FPDS	Fixpunkt-Datenservice (swisstopo)	LVW95	Landesvermessungswerk 1995	CHENyx06	Jeu de données du maillage triangulaire national
GeoIG	Bundesgesetz über Geoinformation (Geoinformationsgesetz)	Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz	CHGeo2004	Modèle de géoïde de la Suisse de 2004
GeoIV	Verordnung über Geoinformation (Geoinformationsverordnung)	NAVSTAR	Navigation System using Timing and Ranging (USA)	CHKM95	Modèle cinématique de la Suisse de 1995
GG95	Geodätische Grundlagen der Schweiz 1995	NEAT	Neue Eisenbahn Alpentransversale	CHTRFyy	Swiss Terrestrial Reference Frame (Réalisation du système de référence CHTRS95 en l'an yy)
GGGS	Gesellschaft für die Geschichte der Geodäsie in der Schweiz	NGDI	Nationale Geodaten-Infrastruktur	CHTRS95	Swiss Terrestrial Reference System 1995 (Système de référence géodésique global de la Suisse, 1995)
GIS	Geografische Informationssysteme	PNAC	Permanent Network Analysis Center	COSIG	Coordination, services et informations géographiques (aujourd'hui le domaine 'Coordination, Services et Informations Géographiques' de swisstopo)
GNSS	Global Navigation Satellite System	PPP	Precise Point Positioning	CSCC	Conférence des services cantonaux du cadastre (aujourd'hui CadastreSuisse)
GPS	Global Positioning System (USA)	REFRAME	Software für geodätische Transformationen, insbesondere den Bezugsrahmenwechsel	DDPS	Département fédéral de la défense, de la protection, de la population et des sports
IAG	International Association of Geodesy	SAPA	Safe and Precise Augmentation	D+M	Direction fédérale des mensurations cadastrales
		SAPCORDA	Joint-Venture Firma für Auto-navigation		
		SGK	Schweizerische Geodätische Kommission		
		swipos	Swiss Positioning Service		
		SwissRailTra	Transformationslösung der SBB für den Bezugsrahmenwechsel		
		swisstopo	Bundesamt für Landestopografie		

ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989 (Système de référence terrestre européen de 1989)	PPP	Positionnement de point précis	schweizerische Katasterwesen No. 28, 12/2018, S. 11, Abb. 1, © swisstopo. Zum Vergleich ältere Version: 59 S. 278, Abb. 12.
EUREF	European Reference Frame (IAG Sub-Commission chargée du cadre de référence européen)	RAN95	Réseau altimétrique national de 1995	
FINELTRA	Transformation linéaire par la méthode des éléments finis (logiciel)	REFRAME	Logiciel dédié aux transformations géodésiques, notamment au changement de cadre de référence	Crédit des images
FPDS	Service de données sur les points fixes (swisstopo)	RGN2004	Réseau gravimétrique national de 2004	Fig. 1: Photo: © swisstopo; vgl. 58 E. Gubler: 150 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission. Geomatik Schweiz 6/2011, S. 267, Abb. 8.
GG95	Bases géodésiques Suisse de 1995	SAPA	Safe and precise Augmentation	Fig. 2: Photo: © swisstopo
GGGS	Gesellschaft für die Geschichte der Geodäsie in der Schweiz – Société pour l'histoire de la géodésie en Suisse	SAPCORDA	Coentreprise (joint-venture) pour l'autonavigation	Fig. 3: Astronomisches Institut Universität Bern AIUB; photo: Manu Friederich
GNSS	Global Navigation Satellite System	SHGS	Société pour l'histoire de la géodésie en Suisse	Fig. 4: Photo: © swisstopo
GPS	Global Positioning System (Etats-Unis)	SIG	Système d'information géographique	Fig. 5: Nivellement-Team A. Schlatter; photo: © swisstopo
IGP	Institut de géodésie et de photogrammétrie de l'ETHZ	swipos	Swiss Positioning Service	Fig. 6: 51f B. Vogel et al.: Introduction du cadre de référence 'MN95' dans l'infrastructure nationale de données géographiques. Géodésie Doku 21f, p. 35, Fig. 6-2, 2009; en combinaison avec: 43f M. Kistler et J. Ray: Nouvelles coordonnées pour la Suisse. Géomatique Suisse 9/2007, p. 440, Fig. 1b, 2007 © swisstopo
INDG	Infrastructure nationale de données géographiques	SwissRailTra	Changement de cadre de référence au sein des CFF	Fig. 7: 51f B. Vogel et al.: Introduction du cadre de référence 'MN95' dans l'infrastructure nationale de données géographiques. Géodésie Doku 21f, p. 41, Fig. 6-7; en combinaison avec: p. 51, Fig. 6-17, 2009 © swisstopo
InSAR	Interférométrie par radar à synthèse d'ouverture	swisstopo	Office fédéral de topographie	Fig. 8: A. Wiget und Ch. Peier: Schlussbericht Projekt P0146 «Kommunikation Bezugsrahmenwechsel». Première publication dans cette contribution. © swisstopo
ITRS	International Terrestrial Reference System (Système de référence terrestre international)	VRS	Station de référence virtuelle	Fig. 9: Photo: © swisstopo
LGéo	Loi fédérale sur la géoinformation			Fig. 10: Photo: © Leica Geosystems SA, Suisse
Nagra	Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs			Fig. 11: 71 E. Brockmann: LV95/CHTRF2016 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2016). swisstopo Report 16-19 A, S. 73, Abb. 3-58, 2018, © swisstopo. Zum Vergleich ältere Version/voir aussi une version plus âgée: 59 S. 278, Abb. 12.
NAVSTAR	Navigation System using Timing and Ranging (Etats-Unis)			
NEAT	Neue Eisenbahn Alpentransversale (cf. NLFA)			
NF02	Réseau altimétrique national de 1902 (Nivellement fédéral)			
NLFA	Nouvelles lignes ferroviaires à travers les Alpes (NEAT)			
OGéo	Ordonnance sur la géoinformation			
OMN	Ordonnance sur la mensuration nationale			
OMN95	Œuvres de la mensuration nationale de 1995			
PNAC	Permanent Network Analysis Center			
PPF1, PFP2	Point fixe planimétrique de catégorie 1 (mensuration nationale, swisstopo), 2 (mensuration officielle, cantons)			

Bildnachweis

Abb. 1: Foto: © swisstopo; vgl. 58 E. Gubler: 150 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission. Geomatik Schweiz 6/2011, S. 267, Abb. 8.

Abb. 2: Foto: © swisstopo

Abb. 3: Foto: © swisstopo

Abb. 4: 32 D. Schneider et al.: Landesvermessung einst und heute. Geomatik Schweiz 12/2003, S. 671, Abb. 5, 2003, © swisstopo

Abb. 5: 59 A. Wiget et al.: Das Landesvermessungswerk 1995 (LVW95). Geomatik Schweiz 12/2011, S. 276, Abb. 9, 2011, © swisstopo

Abb. 6: 43d M. Kistler und J. Ray: Neue Koordinaten für die Schweiz. Geomatik Schweiz 9/2007, S. 433, Abb. 1a, 2007, © swisstopo

Abb. 7: 43d M. Kistler und J. Ray: Neue Koordinaten für die Schweiz. Geomatik Schweiz 9/2007, S. 433, Abb. 2, 2007, © swisstopo

Abb. 8: A. Wiget und Ch. Peier: Schlussbericht Projekt P0146 «Kommunikation Bezugsrahmenwechsel». Erstveröffentlichung in diesem Beitrag. © swisstopo

Abb. 9: Foto: © swisstopo

Abb. 10: Foto: © SITE.ch Schweiz AG

Abb. 11: 72 E. Brockmann: Stabilität des schweizerischen Koordinatenreferenzrahmens. cadastre – Fachzeitschrift für das

Autoren

Erich Gubler, Flugplatzstrasse 19B, 3122 Kehrsatz

Markus Scherrer, swisstopo

Andreas Schlatter, swisstopo

Dieter Schneider, Schafmattstrasse 23, 3123 Belp

Adrian Wiget, Sonnenweg 6, 5507 Mellingen

Urs Wild, swisstopo

Übersetzung/Traduction

Olivier Reis, F-57200 Sarreguemines