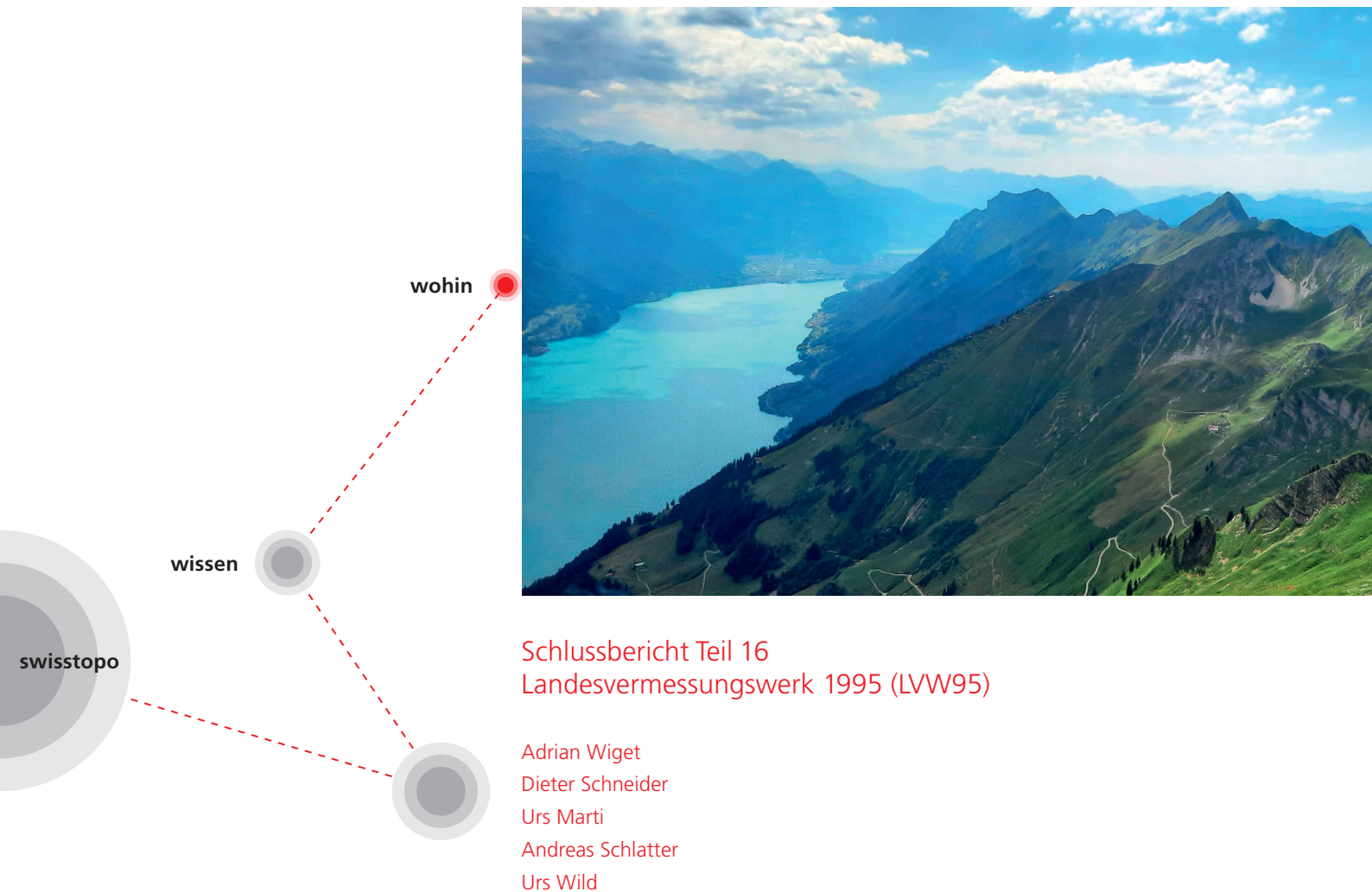


Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz «LV95»



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Landestopografie swisstopo
www.swisstopo.ch

Titelbild: Brienzergrat

ISBN **978-3-302-10033-3**
EAN **9783302100333**

Impressum

© 2023 Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Geodäsie und Eidgenössische Vermessungsdirektion
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern

Telefon: +41 58 469 01 11
E-Mail: vermessung@swisstopo.ch



Inhalt

1. Einleitung	6
1.1 Vorgeschichte und Vision zur Erneuerung der Landesvermessung	6
1.2 Vorarbeiten und begleitende Entwicklungen	7
1.2.1 Bernese GPS Software	7
1.2.2 Testnetz Turtmann	7
1.2.3 Diagnoseausgleichungen der Triangulation 1. und 2. Ordnung DIA93 und DIA95	8
1.3 Rechtliche Grundlagen zur Einführung von LV95	10
2. Das Landesvermessungswerk 1995 «LVW95»	13
2.1 Geodätische Grundlagen GG95	17
2.1.1 Strategische Zielsetzung, Konzept und Inhalt	17
2.1.2 Terrestrische Bezugssysteme	19
2.1.2.1 Globale Systeme	19
2.1.2.2 Lokale Systeme	20
2.1.3 Projektionssysteme	20
2.1.4 Transformationen	21
2.1.4.1 3D-Transformationen	21
2.1.4.2 2D- Transformationen (Projektion); FINELTRA	21
2.1.4.3 1D-Transformationen (Höhe); HTRANS	22
2.1.5 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen	22
2.2 Fundamentalstation Geostation Zimmerwald	23
2.2.1 Strategische Zielsetzung, Konzept und Inhalt	23
2.2.2 Satellite Laser Ranging (SLR)	26
2.2.3 Global Navigation Satellite Systems (GNSS)	28
2.2.4 Schwerestation (ECGN / LSN)	29
2.2.5 Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen	30
2.3 Permanentes GNSS-Netz AGNES und Positionierungsdienst swipos	32
2.3.1 Strategische Zielsetzung, Konzept und Inhalt	32
2.3.2 Automatisches GPS/GNSS-Netz der Schweiz (AGNES)	33
2.3.3 PNAC	34
2.3.4 Swiss Positioning Service (swipos)	36
2.3.5 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen	38
2.4 GNSS-Referenznetz Landesnetz LV95	39
2.4.1 Strategische Zielsetzung und Dokumentation	39
2.4.2 Netzanlage	40
2.4.3 Vergleich mit LV03, Bezugsrahmenwechsel von LV03 zu LV95 und Transformationsdienste	41
2.4.4 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen	48
2.5 Landesschwerenetz LSN2004	49
2.5.1 Strategische Zielsetzung und Konzept	49
2.5.2 Vorgeschichte	50
2.5.3 Aufbau des Landesschwerenetzes LSN	50



2.5.4	LSN 0. Ordnung	51
2.5.5	LSN 1. – 2. Ordnung	52
2.5.6	LSN 3. Ordnung	53
2.5.7	Kalibrationsstrecke Interlaken–Jungfraujo	54
2.5.8	Schweren für das LHN (LSN 4. Ordnung)	55
2.5.9	Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen	56
2.6	Landeshöhennetz LHN95	58
2.6.1	Strategische Zielsetzung	58
2.6.2	Arbeiten am Teilprojekt Landeshöhennetz LHN95	58
2.6.3	Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen	63
2.7	Kombiniertes Geodätisches Netz CH-CGN	64
2.7.1	Strategische Zielsetzung	64
2.7.2	European Combined Geodetic Network ECGN	64
2.7.3	Geostation Zimmerwald	65
2.7.4	Netz-Kombination CH-CGN	66
2.7.5	Vertikalbewegungen	68
2.7.6	Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen	69
2.8	Geoidmodell CHGeo2004	70
2.8.1	Strategische Zielsetzung	70
2.8.2	Vorgeschichte	70
2.8.3	Geoidmodell CHGeo98	71
2.8.4	Geoidmodell CHGeo2004	72
2.8.5	Aktueller Stand und zukünftige Entwicklung	74
2.9	Kinematische Landesvermessung CHKM95	75
2.9.1	Strategische Zielsetzung, Konzept und Inhalt	75
2.9.2	Kinematisches 3D-Modell CHKM95	76
2.9.3	Landesweite Untersuchungen und Deformationsanalysen; Projekte Swiss4D	81
2.9.3.1	Projekt Swiss4D	81
2.9.3.2	Projekt Swiss4D-Erweiterung SAR	82
2.9.3.3	Projekt Swiss4D-II	83
2.9.4	Lokale Deformationsuntersuchungen	84
2.9.5	Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen	85
2.10	Dokumentation, Kommunikation und Dienstleistungen	87
2.10.1	Strategische Zielsetzung	87
2.10.2	Dokumentation und Publikationen	87
2.10.3	Spezielle Arbeitsgruppen und LV95-Projekte zur Kommunikation und Einführung	88
2.10.4	Kommunikationskonzept und Medienarbeit	89
2.10.5	Weitere Informationskanäle und -materialien	90
2.10.6	Informationen der Kantone	91
2.10.7	Softwareentwicklung und Dienstleistungen (Webservices)	92
2.10.8	Qualitätskontrolle	96
2.10.9	Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen	98

3. Würdigung und Dank **99**



Anhang	I
1. Glossar	II
2. Publikationen / Referenzen	VI
2.1 Fachpublikationen	VI
2.1.1 Publikationen zur Geschichte der Landesvermessung der Schweiz	VI
2.1.2 Übersichtsartikel zur Landesvermessung LV95 / Landesvermessungswerk LVW95 bzw. Fachartikel zu dessen Komponenten und Konsequenzen	VI
2.1.3 Beiträge zum Thema Geodynamik	VIII
2.1.4 SGK-Bände der Reihe « <i>Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz</i> » (Auswahl mit Bezug zur Landesvermessung)	IX
2.2 Berichte aus der L+T / Rapports du S+T; swisstopo-Doku	X
2.3 <i>Technische Berichte</i> (TB) und <i>swisstopo Reports</i> und Hinweise zu weiteren Publikationen	XII
2.3.1 EUREF	XII
2.3.2 Fundamentalstation Zimmerwald	XII
2.3.3 GNSS Permanentnetz AGNES / Positionierungsdienst swipos	XIII
2.3.4 GNSS-Referenznetz Landesnetz LV95 (inkl. Sondernetze) / CHTRF	XV
2.3.5 Landesschwerenetz LSN2004	XX
2.3.6 Landeshöhennetz LHN95	XXI
2.3.7 Kombiniertes Geodätisches Netz CH-CGN / ECGN	XXIII
2.3.8 Geoidmodelle der Schweiz	XXIII
2.3.9 Kinematisches Modell CHKM95 (Projekte Swiss4D/Swiss4D-II)	XXIV
2.3.10 Dokumentation, Software, Fixpunktdatenservice FPDS, Transformation und Webdienste	XXV
2.3.11 Qualitätskontrolle	XXVII
2.4 Software	XXIX



Vorwort

Seit den ersten geodätischen GPS-Messungen in der Schweiz (1984) sind bald vier Jahrzehnte vergangen. Inzwischen hat sich das Fachgebiet der Geodäsie und Landesvermessung weitgehend verändert. Schon frühzeitig haben die für die Landesvermessung der Schweiz zuständigen Geodäten des Bundesamts für Landestopografie swisstopo erkannt, dass sich eine grundsätzliche Erneuerung des Landesvermessungswerkes aufdrängt. Ursprünglich konzentrierten sich die Arbeiten auf den Aufbau eines «GPS-Landesnetzes LV95» als Ersatz für die bisherige Triangulation 1. bis 3. Ordnung. Schon bald stellte sich aber heraus, dass eine Erneuerung der Werke, welche die Landesvermessung beinhaltet, viel umfassender angegangen werden muss.

Die erste Teilaufgabe war die Erneuerung der theoretischen Grundlagen. Dabei ging es um die kritische Überprüfung der vorhandenen Bezugssysteme, Ellipsoidmodelle und Kartenprojektionssysteme sowie die Abwägung der Vor- und Nachteile von Ersatz- oder Anpassungslösungen. Die anvisierten Ziele waren die Anbindung der nationalen, lokalen Bezugssysteme und -rahmen an die globalen Bezugssysteme und Standards, u.a. durch deren einheitliche Festlegung in Bezug auf den neu gewählten Fundamentalpunkt Zimmerwald, sowie die konsequente Berücksichtigung der zeitlichen Variation aller räumlichen geodätischen Daten (Geodynamik). Weitere Aufgaben waren die vollständige Erneuerung des Höhenbezugsrahmens (LHN) nach potentialtheoretischen Grundsätzen bei bestmöglicher Kompatibilität zwischen nivellierten und GNSS-gestützten Höhenbestimmungen. Dabei ist auch beim LHN die Kinematik zu berücksichtigen. Ein weiterer Verbesserungsschritt beim offiziellen Geoidmodell wurde dadurch zur Voraussetzung. Eng damit verbunden war das Bedürfnis, den vorhandenen Schwerebezugsrahmen (das Schweregrundnetz) zu erneuern und unter der Bezeichnung Landesschwerenetz (LSN) zu einem integrierten Bestandteil der neuen Landesvermessung zu machen. Die gravimetrische Landesvermessung wurde zu einer neuen Grundaufgabe von swisstopo.

Die Entwicklung der satellitengestützten Positionierung ermöglichte ganz neue Entwicklungen hin zu Echtzeitmessverfahren, welche schliesslich das Bedürfnis nach permanenten GNSS-Netzen weckten. Die zeitgemässe Bereitstellung der neuen Bezugsrahmen durch den Aufbau und Betrieb eines nationalen GNSS-Permanentnetzes (AGNES) sowie von nationalen Positionierungsdiensten (swipos) und Webdiensten (z.B. den Fixpunkt-Datenservice FPDS) wurden zu prioritären Aufgaben der Landesvermessung. Heute ist es offensichtlich, dass diese Entwicklung bei weitem nicht abgeschlossen und eine kontinuierliche Auseinandersetzung mit der technologischen Innovation unabdingbar ist.

Die neue Landesvermessung wurde damit zu einem sehr umfassenden Werk, welches mit dem strategischen Entscheid des Bundes, eine neue Nationale Geodaten-Infrastruktur (NGDI) aufzubauen, zusätzlich an Bedeutung gewann. Aus der ursprünglichen, zeitlich befristeten Projektarbeit «LV95» wurde eine kontinuierliche Weiterentwicklung hin zu einem umfassenden Landesvermessungswerk. Deshalb versucht dieser Bericht, die in der schweizerischen Vermessungspraxis sehr uneinheitlich verwendete Terminologie im Zusammenhang mit «LV95» neu zu prägen. Der Begriff «LV95» wird heute gleichzeitig für das Landesvermessungswerk im Allgemeinen, für den Bezugsrahmen LV95 (Koordinatensatz im Bezugssystem CH1903+) sowie für dessen Referenznetz, das «GPS-Landesnetz LV95» im Speziellen verwendet, was gelegentlich zu Verwirrung führt. Neu wird in diesem Bericht die Gesamtheit der geodätischen Arbeiten für die neue Landesvermessung als «Landesvermessungswerk 1995 (LVW95)» bezeichnet.

Der erste Entwurf des vorliegenden Berichts entstand im Nachgang zu einem swisstopo-Kolloquium des abtretenden Leiters des Bereichs Geodäsie, Dieter Schneider, im Frühjahr 2006. Ausgehend von der damaligen Standortbestimmung und einem Ausblick auf mögliche weitere Entwicklungen in allen Arbeitsbereichen der neuen Landesvermessung wurde der Wunsch nach einem umfassenden Schlussbericht zu allen Teilen des Werks formuliert. Dabei sollte die Tatsache, dass aus vielen Einzelteilen inzwischen das umfassende Gesamt(kunst)werk «LVW95» entstanden war, verdeutlicht werden. Zur damaligen Zeit war die Entwicklung verschiedener Komponenten des Werks noch im Fluss. Die Einführung in die amtliche Vermessung und die Anpassung der Gesetzgebung waren noch nicht abgeschlossen. Deshalb war es nicht sinnvoll, schon den Schlusspunkt der Dokumentationsreihe zu setzen. Dass bis zur Fertigstellung des Berichts 16 Jahre verstreichen würden und ein Teil der Protagonisten der neuen Landesvermessung inzwischen bereits im Ruhestand sind, konnte man nicht ahnen. Die Vollendung dieses Berichts ist dem



Engagement, dem Teamspirit und der Beharrlichkeit aller beteiligten Mitautoren – ob im aktiven Berufs- oder im Ruhestand – zu verdanken.

Die vorliegende Doku 24 – «Schlussbericht zum Landesvermessungswerk 1995» – kann nur einen Überblick über die Entwicklung und den aktuellen Stand des weit gefächerten Feldes der geodätischen Arbeiten 25 Jahre nach der Festlegung einer der Hauptkomponenten, eben dem «GPS-Landesnetz LV95», geben. Die einzelnen Kapitel dieses Abschlussberichts sind bezüglich ihres Umfangs und Detaillierungsgrades sehr unterschiedlich verfasst worden. Jene Teile des LVW95, welche bereits in Einzelberichten dokumentiert sind, wurden kürzer abgefasst. Die anderen Teile des LVW95, welche in den letzten Jahren noch grosse Entwicklungen erfahren haben und deren Arbeiten bisher noch nicht in Teilberichten beschrieben sind, wurden ausführlich gestaltet. Dies betrifft vor allem die Kapitel 2.9 Kinematische Landesvermessung und 2.10 Dokumentation, Kommunikation und Dienstleistungen. Auf diese Weise sollten auch die letzten Phasen der Entwicklungsgeschichte des Werks festgehalten werden.

Der Bericht soll dem Benützer der Landesvermessungswerke den Zugang zur umfangreichen Dokumentation dieser Arbeiten im Rahmen der Reihe «Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'» sowie der internen Berichtsreihen (*Technische Berichte / swisstopo Reports*) und anderen Publikationen von swisstopo erschliessen. Deshalb wird bei der Beschreibung der einzelnen Komponenten gezielt auf die jeweiligen Originalberichte der *swisstopo-Dokus* verwiesen.

Schliesslich passt der Abschluss der Berichte-Reihe *Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz «LV95»* auch zu dem in der Geoinformationsverordnung festgelegten Termin, wonach der Wechsel des Lagebezugssystems und -rahmens von CH1903/LV03 zu CH1903+/LV95 für alle Geobasisdaten des Bundesrechts bis zum 31. Dezember 2020 abgeschlossen sein musste. Möge dieser Bericht allen interessierten Leserinnen und Lesern, sei es aus der Politik, der Vermessungspraxis oder der Lehre, und später bis hin zu den Historikern, die gewünschten Hintergrundinformationen und Hinweise auf weitere Quellen geben.

Wabern, im Oktober 2022

Dr. Dieter Schneider
1998–2006 Leiter Bereich Geodäsie

Adrian Wiget, Dipl. Ing. ETH
2006–2016 Leiter Bereich Geodäsie

Dr. Urs Wild
2017–2022 Stv. Leiter Bereich «Geodäsie und Eidgenössische Vermessungsdirektion»

Dr. Urs Marti

Dr. Andreas Schlatter



1. Einleitung

1.1 Vorgeschichte und Vision zur Erneuerung der Landesvermessung

Die Geschichte der Schweizerischen Landesvermessung, insbesondere jene der Aufbauphase in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, ist gut dokumentiert [Zölly 1948]. Die Epoche 1950–1970 war geprägt durch die Erhaltung und Nachführung der Werke der alten Landesvermessung (Landestriangulation 1. bis 3. Ordnung und Landesnivellement) [Matthias 1977]. In dieser Zeit war es vor allem die Schweizerische Geodätische Kommission (SGK), welche die geodätischen Entwicklungen an den Hochschulen koordinierte und förderte, namentlich im Bereich der astronomischen Geodäsie, später bei der Einführung der Elektronischen Distanzmessung (EDM), bei der Geoidbestimmung und schliesslich bei der Satellitengeodäsie [SGK Band 39].

Beim Bundesamt für Landestopografie swisstopo wurden die Grundmethoden der Landesvermessung (Triangulation und Nivellement) in der Epoche 1970–1985 weiter verfeinert, optimiert, digitalisiert und auf einem hohen Stand perfektioniert [Chablais et al. 1988, Schneider et al. 2003, Schneider et al. 2015]. Die wesentlichen internen Entwicklungen betrafen u. a. die Software-Entwicklung für die Auswertung und Ausgleichung geodätischer Netze (Programm LTOP etc.), die praktische Einführung der EDM sowie die Untersuchungen von vertikalen Krustenbewegungen aus der Analyse wiederholter Nivellements.

Aufgrund der neuen Messverfahren (EDM) wurden in dieser Zeitspanne an verschiedenen Stellen Mängel (Inhomogenitäten in den Triangulationsnetzen) in den bestehenden Bezugsrahmen der Landesvermessung (LV03 und LN02) festgestellt. Der damaligen Strategie folgend, wurde mit Hilfe von Teilerneuerungen der Triangulationsnetze 1. bis 3. Ordnung und durch die Neumessung von Linienabschnitten des Landesnivellements versucht, die Mängel in den bestehenden Bezugsrahmen zu beheben. Damit wollte man in der Landesvermessung den steigenden Anforderungen der Fixpunktverdichtung (Triangulation 4. Ord.) der amtlichen Vermessung gerecht werden. Obwohl mit diesem Vorgehen die vorhandenen Netzzwänge nur neu verteilt und damit deren schädliche Wirkung gemildert werden konnte, war an einen vollständigen Neuaufbau der Landesvermessung mit den beiden Bezugsrahmen (Lage / Höhe) schon allein aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu denken.

Mit der Entwicklung des *NAVSTAR Global Positioning Systems (GPS)* durch das *U.S. Department of Defense* und der Lancierung der ersten Block I GPS-Testsatelliten ab 1978 begann eine neue Epoche in der Satellitennavigation. Auf Grund erster Berichte zu Beginn der 1980er Jahre über Versuche, das System für die geodätische Positionierung zu verwenden, zeichneten sich ganz neue Perspektiven für die zukünftige Landesvermessung ab. Daraus entstand eine Vision, die unter Geodäten in der Schweiz diskutiert wurde und schliesslich die Verantwortlichen motivierte, Bestrebungen zum Aufbau einer neuen Landesvermessung LV95 in Angriff zu nehmen:

«Die Nutzerin und der Nutzer der zukünftigen Landesvermessung haben die Möglichkeit, mittels GPS, an jedem beliebigen Ort des Landes, innert kurzer Zeit, die Position in einem weltweiten Bezugssystem mit cm-Genauigkeit zu bestimmen.»

Diese Idee wurde zu einer hochgesteckten Zielsetzung, welche während mindestens zwei Jahrzehnten zu einer Vielzahl von geodätischen Entwicklungen führte.



1.2 Vorarbeiten und begleitende Entwicklungen

Die Bestrebungen in Geodäsie und Landesvermessung waren in der zweiten Hälfte der Achtzigerjahre geprägt durch die Vorarbeiten, welche zur Entwicklung und Erprobung der neuen GNSS-Technologie und zur Ausbildung des Personals in der damaligen Abteilung Geodäsie von swisstopo notwendig wurden. Zentrale Vorarbeiten und Entwicklungen wurden auf den folgenden Gebieten erbracht.

1.2.1 Bernese GPS Software

Am Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) wurde frühzeitig erkannt, dass für die Entwicklung und Anwendung der GPS-Technologie das Wissen der Astronomen über die Himmelsmechanik und die Berechnung von Satellitenbahnen von grosser Wichtigkeit ist. Unter der Bezeichnung Bernese GPS Software wurde am AIUB auf Initiative und unter der Führung von Prof. Dr. G. Beutler (und unter wesentlicher Mitwirkung u.a. der späteren Professoren Dr. W. Gurtner, Dr. M. Rothacher und Dr. U. Hugentobler) eine GPS-Auswertesoftware entwickelt, welche in geodätischen Kreisen weltweite Beachtung erlangte. Das AIUB wurde rasch zu einem der führenden Institute auf diesem Spezialgebiet.

Der Bereich Geodäsie des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo konnte von diesen Entwicklungen entscheidend profitieren. Die Geodäten kamen in den Genuss einer hochstehenden Ausbildung in der Theorie der Satellitengeodäsie mit GPS und seiner Anwendung, insbesondere bezüglich der Auswertung mit Hilfe der *Bernese GPS Software*. Die Zusammenarbeit war durchaus wertvoll für beide Institutionen: swisstopo konnte Messdaten von hoher Qualität aus Messkampagnen unterschiedlicher Grössenordnung mit einer grossen Anzahl von GPS-Empfängern bereitstellen. Das AIUB verbesserte die Software laufend entsprechend den Erfahrungen mit diesen Daten und berücksichtigte dabei die hohen Genauigkeitsanforderungen der Landesvermessung wie auch der Ingenieurvermessung.

Ein weiterer positiver Aspekt der damaligen Entwicklung war die ausgezeichnete Zusammenarbeit mit geodätischen Institutionen in der Schweiz und in Europa, welche national unter der Obhut der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) und international im Rahmen der Assoziation für Geodäsie (IAG) sowie deren Subkommission EUREF koordiniert wurde. Auch mit den Landesvermessungsämtern der Nachbarstaaten, insbesondere dem BKG in Deutschland und dem BEV in Österreich sowie dem Landesverwaltungsamt Niedersachsen, bestand eine enge Zusammenarbeit, u.a. mit gegenseitiger Ausleihe von GPS-Empfängern und Personaleinsätzen.

Es war vor allem diesem Wissensvorsprung und dem Weitblick der damaligen Abteilungsleitung unter Dr. h.c. Erich Gubler (dem damaligen EUREF-Präsidenten und späteren Amtsdirektor) zu verdanken, dass die Schweizer Geodäsie bei der Einführung der neuen Technologie in die Landesvermessung in dieser Zeit und bis heute eine führende Rolle spielen konnte.

1.2.2 Testnetz Turtmann

Im Bestreben, die Entwicklungen der Satellitengeodäsie rasch in der Landesvermessung zu nutzen, entstanden bei swisstopo Mitte der 1980er Jahre folgende Bedürfnisse:

- 1) Beschaffung von Wissen und praktischen Erfahrungen mit der neuen GPS-Technologie;
- 2) Erprobung der Einsatzmöglichkeiten und Grenzen, insbesondere der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messungen, auch bei grösseren Höhenunterschieden in gebirgigem Gelände;
- 3) praktische Ausbildung (*training on the job*) der Mitarbeitenden der Abteilung Geodäsie auf verschiedenen Stufen bei der Messung und Auswertung.

Einen entscheidenden Anstoss zur Auseinandersetzung mit der neuen Technologie gab die 1985 gegründete «Arbeitsgruppe GPS der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK)». Zur Erprobung der neuen Messverfahren insbesondere im alpinen Raum wurde beschlossen, ein hochgenaues 3D-Testnetz im Gebiet von Turtmann (VS) einzurichten [SGK Band 45]. Dieses sollte den folgenden Zielen dienen:

- 1) als GPS-Testnetz: Referenznetz für die Prüfung und Evaluation von GPS-Empfängern sowie von Mess- und Auswerteverfahren;



- 2) als terrestrisches 3D-Testnetz: Prüfung klassisch-geodätischer Messgeräte und Vermessungsmethoden;
- 3) als geodynamisches Kontrollnetz: Langfristige Untersuchungen der Kinematik der obersten Erdkruste im seismisch aktiven Untersuchungsgebiet.

Nach Abschluss der terrestrischen Messungen erfolgten in den Jahren 1985–1996 insgesamt 16 Messkampagnen mit 18 verschiedenen GPS-Empfängertypen [SGK Band 51]. Die GPS-Messdaten und die terrestrisch bestimmten dreidimensionalen Vergleichskordinaten (*ground truth*) dienten während Jahren der Erprobung und Weiterentwicklung der GPS-Auswertung am AIUB, bei swisstopo und an der ETHZ. Zudem konnten die Mitarbeitenden der Abteilung Geodäsie von swisstopo auf verschiedenen Ausbildungsstufen sowie Gast-Teams aus Deutschland, Österreich und Frankreich erste praktische Erfahrungen mit der GPS-Messmethode sammeln. Die Ergebnisse, Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Projekt TURTMANN dienten als wertvolle Grundlage zur Konzeption, Planung und Durchführung der Erstmessung des neuen GPS-Landesnetzes LV95.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass swisstopo auch ein Kurzstrecken-Referenznetz höchster Genauigkeit auf der Allmend in Thun errichtet hat. Dieses wurde u.a. für die Evaluation der GPS-Empfänger sowie zur Bestimmung relativer Offsets der GPS-Antennen verwendet.

1.2.3 Diagnoseausgleichungen der Triangulation 1. und 2. Ordnung DIA93 und DIA95

Die Hauptarbeiten an der alten Landesvermessung LV03 und damit der Grossteil der Daten wurden von swisstopo in der Landestriangulation 1.–3. Ordnung beobachtet und erfasst. Über die Zeitspanne von 1890 bis 1986 betrachtet bestehen aber weitere geodätische Messdatensätze, von den ersten Basismessungen und astronomischen Azimuten bis zu den Mikrowellen- und Laserdistanzmessungen, welche in einer Gesamtausgleichung der «Vor-GNSS-Ära» einbezogen werden können. Viele dieser Messdaten sind im Rahmen von wissenschaftlichen Arbeiten der SGK entstanden, effektiv aber nicht in den Bezugsrahmen (Koordinatensatz) LV03 eingeflossen. Die strenge Gesamtausgleichung all dieser Messdaten war zwar aus geodätischer Sicht schon lange wünschbar, aber erst mittels ihrer Digitalisierung und Anwendung der Ausgleichungssoftware (Programm LTOP) mit vertretbarem Arbeitsaufwand machbar.

Im Zusammenhang mit den Vorbereitungen für eine neue Landesvermessung wurde 1985 in der damaligen Abteilung Geodäsie beschlossen, eine umfassende Diagnoseausgleichung aller Messungen im Triangulationsnetz 1./2. Ordnung durchzuführen. Damit konnten das Wissen und die praktische Erfahrung in der Abteilung bei der Ausgleichung von klassischen geodätischen Netzen noch einmal umfassend angewendet und dokumentiert werden.

Die wichtigsten Zielsetzungen des Projektes «Diagnoseausgleichung DIA93» [Berichte aus der L+T Nr. 9 – LV95 – Teil 4] waren die folgenden:

- Vollständige und einheitliche Dokumentation aller geodätischen Messungen im Triangulationsnetz 1./2.Ordnung aus dem Zeitraum 1880–1980;
- Berechnung eines bestmöglichen Koordinatensatzes aller TP 1./2. Ord. mit Varianz-Kovarianz-Matrix für Vergleichszwecke;
- Statistische Beurteilung der Genauigkeit der verschiedenen Beobachtungsklassen;
- Analyse der Verzerrungen im offiziell gültigen Bezugsrahmen LV03 und Erprobung von deren mathematischen Modellierung;
- Bereitstellung eines Vergleichsnetzes für die Untersuchung neuer Messverfahren (Doppler, GPS etc.);
- Berechnung von Parametersätzen für die Datumstransformation zwischen dem schweizerischen geodätischen Datum (Bezugsrahmen LV03) und anderen weltweiten Bezugsrahmen;
- Bereitstellen des Datenmaterials für geodynamische Untersuchungen rezenter Krustenbewegungen in der Schweiz.

Die wichtigsten Ergebnisse von DIA93 zusammengefasst:

- Die ursprünglichen Richtungsmessungen (1893–1982), die astronomischen Azimute (1890–1970) wie auch die EDM-Daten (1963–1986) sind von sehr guter Qualität.



- Aus dem Vergleich mit den Ergebnissen der RETRIG-Ausgleichungen (nur 1.Ord.) wurde festgestellt, dass die zusätzlich erfassten Messungen 2. Ord. eine wesentliche Genauigkeitsverbesserung gebracht hat.
- Eine Helmert-Transformation der Koordinaten von DIA93 auf die offiziellen Werte von LV03 ergab eine Drehung von $-2.7^{\circ} \pm 0.3^{\circ}$ und eine Massstabsdifferenz von $-5.0 \text{ ppm} \pm 0.05 \text{ ppm}$.
- Interessant waren auch Vergleiche mit Distanzmessungen in den Basisvergrößerungsnetzen Aarberg, Weinfelden, Bellinzona (1980/81) und der Basis Heerbrugg (1959) sowie mit den terrestrischen Laserdistanzmessungen (1985) von Zimmerwald über das Jungfraujoch zum Monte Generoso.

Unter der Bezeichnung «Diagnoseausgleichung 1995 (DIA95)» wurde schliesslich auch der Bezug zum GPS-Netz LV95 erstellt. Damit wurde einerseits eine bessere Analyse der geodätischen Messdaten und der in der Triangulation 1./2. Ordnung vorliegenden Verzerrungen möglich, andererseits wurden damit die Basisdaten für die Transformation zwischen LV03 und LV95 bereitgestellt. Die Arbeiten der Diagnoseausgleichung 1995 sind im [Berichte aus der L+T Nr. 14 – LV95 – Teil 8] dokumentiert.



1.3 Rechtliche Grundlagen zur Einführung von LV95

Zur Zeit des Starts des LV95-Projektes und dem Aufbau des GPS-Landesnetzes waren die Aufgaben des Bundesamtes für Landestopografie (L+T/swisstopo) im Bundesgesetz über die Erstellung neuer Landeskarten vom 21. Juni 1935 und in der «**Verordnung über die Obliegenheiten der Eidg. Landestopographie (L+T)**» vom 10. Mai 1972 (SR 510.61) geregelt. Diese legte fest, dass die L+T (Abteilung Geodäsie) für die Erstellung der geodätischen Grundlagen und für den Aufbau, die Erhaltung und Nachführung der geodätischen Netze der Landesvermessung zuständig ist. Die amtliche Vermessung (AV) untersteht der Oberaufsicht der Eidgenössischen Vermessungsdirektion, die vom Bundesrat per 1. Januar 1999 in das Bundesamt für Landestopografie swisstopo integriert wurde. Das Bezugssystem und der Bezugsrahmen (damals noch geodätisches Datum genannt) für die AV waren damals noch in der Verordnung über die Grundbuchvermessung bzw. die amtliche Vermessung (VAV, SR 211.432.2) in Art. 20 festgelegt. Dennoch war klar, dass alle Vermessungen in der Schweiz auf einem einheitlichen Bezugssystem und Bezugsrahmen beruhen sollten. Daher war die enge Zusammenarbeit zwischen der Landesvermessung (L+T/swisstopo) und der amtlichen Vermessung (Vermessungsdirektion V+D und Konferenz der kantonalen Vermessungsämter KKVA) sehr wichtig. Wenn die LV95 nicht ein wissenschaftliches Projekt bleiben sollte, musste swisstopo die Nutzerinnen und Nutzer der Landesvermessung, insbesondere die Repräsentanten der amtlichen Vermessung, von den Vorteilen der neuen Landesvermessung überzeugen.

Zur Einführung von LV95 und zur Festlegung des neuen Bezugssystems CH1903+ (inkl. Festlegung des Nullpunktes mit neuem *false easting / false northing*) wurden daher die interessierten und betroffenen Institutionen (wie Eidgenössische Vermessungsdirektion, KKVA, Generalstab, Armee, Luftwaffe, Gruppe Rüstung, GF-SVVK, weitere Verbände, Hochschulen, PTT Telecom etc.) in Vernehmlassungen befragt und einbezogen.

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

Die Arbeitsgruppe kam zum Schluss, dass «*die AV vorausschauend handeln und den Bezugsrahmen LV03 durch LV95 ersetzen muss*». 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.*»

Die neuen Bezugssysteme CHTRS95 und CH1903+ (Nullpunkt: E = 2'600'000 m, N = 1'200'000 m) wurden unter Berücksichtigung der Ergebnisse der o.g. Vernehmlassung festgelegt und von der Geschäftsleitung swisstopo am 23. April 1996 genehmigt. Am 6. Mai 1996 haben swisstopo und die Eidgenössische Vermessungsdirektion aufgrund einer breiten Vernehmlassung seitens der AV 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 und Kantonen aufgenommen. Der Bund beteiligte sich an den anrechenbaren Kosten der «besonderen Anpassung von hohem nationalem Interesse» zu 60%. Ende 1998 wurde die Eidgenössische Vermessungsdirektion in das Bundesamt für Landestopografie swisstopo integriert, was die Koordination zwischen LV und AV erleichterte.

Nach der Einführung des **Regierungs- und Verwaltungsorganisationsgesetzes (RVOG)** vom 21. März 1997 (SR 172.10) und der Regierungs- und Verwaltungsorganisationsverordnung (RVOV) vom 25. November 1998 (SR 172.010.1) erliess das VBS die **Organisationsverordnung für das**



Eidgenössische Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (OV-VBS) vom 13. Dezember 1999 (SR 172.214.1), welches die obige Verordnung ablöste. Darin wurde bestimmt:

Art. 5 Unterstellte Verwaltungseinheiten und ihre Funktionen

1 Dem Generalsekretariat sind mit folgenden Funktionen unterstellt:

a. Bundesamt für Landestopographie:

Es führt die geodätische und die topografische Landesvermessung, erstellt das Landeskartenwerk, übt die Oberleitung und Oberaufsicht für die amtliche Vermessung aus, erbringt kommerzielle Dienstleistungen in seinem Fachgebiet und koordiniert die Datenbedürfnisse der Bundesverwaltung im Bereich der geografischen Informationssysteme, indem es ein Kompetenzzentrum führt, das weisungsberechtigt ist.

Im Jahr 2003 wurde swisstopo nicht mehr dem Generalsekretariat des VBS unterstellt, sondern in die neue «Gruppe armasuisse» integriert. Damit wurde die **OV-VBS** vom 7. März 2003 geändert in:

Art. 13 Bst. c

Der Gruppe armasuisse sind mit folgenden Funktionen unterstellt:

c. Bundesamt für Landestopografie (swisstopo):

Es führt die geodätische, topografische und kartografische Landesvermessung durch, erstellt das Landeskartenwerk, übt die Oberleitung und Oberaufsicht für die amtliche Vermessung aus, stellt die geologische Landesaufnahme sicher und erbringt gewerbliche Leistungen in seinem Fachgebiet. Es koordiniert die Bedürfnisse der Bundesverwaltung in den Bereichen der Geoinformation und der Landesgeologie durch je ein weisungsberechtigtes Koordinationsorgan. Es erfüllt weitere Aufgaben, die ihm die Gesetzgebung über die Geoinformation zuweist.

Gestützt auf den in der Volksabstimmung vom 28. November 2004 angenommenen **Art. 75a «Vermessung»** der **Bundesverfassung** (Abs. 1: *Die Landesvermessung ist Sache des Bundes*) erliess das Parlament das **Bundesgesetz über Geoinformation GeolG** (SR 510.62). Es wurde vom Bundesrat gemeinsam mit folgenden Ausführungsverordnungen per 1. Juli 2008 in Kraft gesetzt:

- *Geoinformationsverordnung GeoIV* (SR 510.620)
- *Verordnung des Bundesamtes für Landestopografie über Geoinformation GeoIV-swisstopo* (SR 510.620.1)
- *Landesvermessungsverordnung LVV* (SR 510.626)
- *Verordnung des VBS über die Landesvermessung LVV-VBS* (SR 510.626.1)

Das GeolG, die GeoIV und die GeoIV-swisstopo, die LVV und die LVV-VBS bildeten nun wesentlich konkretere rechtlichen Grundlagen für das LVW95:

- In der **GeoIV** werden der amtliche Lage- und Höhenbezug sowie die Übergangsfristen für den Wechsel des Lagebezugssystems und -rahmens von CH1903/LV03 zu CH1903+/LV95 festgelegt: Georeferenzdaten müssen bis Ende 2016 umgestellt sein, die übrigen Geobasisdaten des Bundesrechts bis Ende 2020.
- Die **GeoIV-swisstopo** definiert die lokal gelagerten geodätischen Bezugssysteme CH1903 und CH1903+ sowie die Koordinatentransformation zwischen CHTRS95 und CH1903+.
- Die **LVV** gibt die Gegenstände der geodätischen Landesvermessung (die Komponenten von LVW95) vor, beschreibt die global gelagerten Bezugssysteme und -rahmen sowie die Höhenbezugssysteme und -rahmen der Landesvermessung.
- Die **LVV-VBS** regelt weitere technische Details zu den Bezugssystemen und -rahmen der Landesvermessung und zu deren Komponenten wie die Fundamentalstationen, die Permanentstationen, das Landesschwerenetz und das Geoidmodell der Schweiz. Sie definiert, welche amtlichen Leistungen der geodätischen Landesvermessung das Bundesamt für Landestopografie erbringen muss.

Diese Erlasse, insbesondere die GeoIV, sind abgestimmt auf die vom Bundesrat im Juni 2001 beschlossene Strategie für Geoinformation beim Bund und das zugehörige Umsetzungskonzept. 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 Nationalen Geodaten-Infrastruktur NGDI. 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 LVW95. 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.

Schliesslich sei erwähnt, dass das Bundesamt für Landestopografie per 1. März 2015 direkt dem Chef des VBS (damals BR Ueli Maurer) unterstellt wurde und die **OV-VBS** (SR 172.214.1) wie folgt angepasst wurde (Stand 1. Januar 2018):

6a. Abschnitt: Bundesamt für Landestopografie

Art. 13

- 1 Das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) ist entsprechend den politischen Vorgaben das nationale Kompetenzzentrum der Schweizerischen Eidgenossenschaft für die Beschreibung, Darstellung und Archivierung von raumbezogenen Geodaten (Geoinformation).
- 2 Zur Verfolgung der Ziele gemäss dem Geoinformationsgesetz vom 5. Oktober 20072 (GeolG) nimmt das swisstopo insbesondere folgende Aufgaben wahr:
 - a. Es führt eine moderne, dreidimensionale Landesvermessung in erforderlicher Aktualität und Qualität durch.
 - b. Es stellt die bedarfsgerechte Versorgung ziviler und militärischer Kunden mit geodätischen, topografischen, kartografischen und geologischen Produkten und Dienstleistungen sicher.
 - c. Es sichert die historischen Geoinformationen zur Nachverfolgung der Entwicklung von Raum und Umwelt.
 - d. Es erstellt geologische Grundlagen zur Bewirtschaftung des Untergrunds und stellt den Betrieb des Forschungslabors Mont Terri sicher.
 - e. Es ist Leistungserbringer innerhalb der Bundesverwaltung in den Bereichen Geoinformatik und Geoinformation.
 - f. Es koordiniert die Bedürfnisse der Bundesverwaltung in den Bereichen der Geoinformation und der Landesgeologie durch je ein weisungsberechtigtes Koordinationsorgan.
 - g. Es übt die Oberleitung und Oberaufsicht für die amtliche Vermessung und den Kataster der öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen aus.
 - h. Es erfüllt weitere Aufgaben, die ihm die Gesetzgebung über die Geoinformation zuweist.



2. Das Landesvermessungswerk 1995 «LVW95»

Die geodätische Landesvermessung ist eine Hauptaufgabe des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo. Sie umfasst die Erstellung, Weiterentwicklung und Erhaltung der geodätischen Grundlagen, namentlich der terrestrischen Bezugssysteme und deren Realisierung durch sog. Bezugsrahmen mittels geodätischer Fixpunkt- und Permanentnetze. Die ursprüngliche Zielsetzung, die bisherigen Triangulationsnetze 1.–3. Ordnung der Landesvermessung 1903 (LV03) durch ein neues, den Anforderungen der neuen Messverfahren angepasstes Festpunktfeld (LV95) zu ersetzen und dessen Koordinaten mit GPS zu messen, konnte in sehr kurzer Zeit erreicht werden. Doch das GPS-Landesnetz allein kann den Bedürfnissen einer modernen Landesvermessung nicht genügen. Das alte Gebrauchshöhensystem des Landesnivellements (LN02) wird den künftigen Anforderungen eines genauen Höhenreferenzsystems aus mehreren Gründen nicht mehr gerecht:

- Das neue schwerefeldbezogene System sollte auf einer potentialtheoretisch strengen Basis beruhen;
- Die zeitliche Veränderung der Höhen sollten durch ein kinematisches Modell parametrisiert werden können, frei von jeglichen Anschlusszwängen und kompatibel mit dem europäischen Höhenrahmen EUVN;
- Der neue Höhenrahmen sollte nach Berücksichtigung des offiziellen Geoidmodells mit dem dreidimensionalen Koordinatenrahmen des GPS-Referenznetzes LV95 konsistent sein.

Aus diesem Grunde wurde das Projekt für eine neue Landesvermessung LV95 1992/93 konzeptionell überarbeitet und der erweiterten Zielsetzung angepasst [*Berichte aus der L+T* Nr. 6 – LV95 – Teil 1]. Die Kernaufgabe wurde mit Teilaufgaben ergänzt und die Projektorganisation wie folgt gegliedert:

- 1) Referenzsysteme (inkl. Geostation Zimmerwald, EUREF, Transformationsparameter zw. Referenzsystemen);
- 2) Verdichtung (inkl. Diagnoseausgleichung, Transformation und Interpolation, Anschlüsse an Landestriangulation und Landesnivellement);
- 3) Höhensysteme (inkl. Geoid, Schwere, kinematische Ausgleichung des Landesnivellements, UELN);
- 4) GPS-Methode (inkl. Messtechnik, Auswertung, Software, Meteomodelle, Satellitenbahnen, Aufbau des GPS-Landesnetzes);
- 5) Koordination (inkl. Dokumentation und Kommunikation/Public Relations LV95, Kontakte zur Eidgenössischen Vermessungsdirektion).

Die neue Landesvermessung LV95 mit ihren Konzepten, Modellen, diversen Netzen, Anlagen und Datensätzen wurde somit im Laufe der Jahrzehnte zu einem veritablen Vermessungswerk, dem **Landesvermessungswerk 1995 (LVW95)** ausgebaut. Dieses umfasst insbesondere folgende Komponenten (vgl. Abbildung 2-1): Die Definition der geodätischen Bezugssysteme CHTRS95 und CH1903+, die Fundamentalstation/Geostation Zimmerwald, das Automatische GNSS-Netz Schweiz AGNES und den Positionierungsdienst swipos, das GPS-Landesnetz der LV95-Punkte, das Landeshöhennetz LHN95, das Landesschwerenetz LSN2004, das Geoidmodell der Schweiz CHGeo2004, die Transformationsgrundlage CHENyx06 und das kinematische Modell CHKM95.

Die **Zielsetzungen und Anforderungen** an eine zeitgemässe Landesvermessung wurden wie folgt festgelegt:

- Definition zeitgemässer nationaler geodätischer Bezugssysteme in Anlehnung an internationale, global gelagerte Bezugssysteme, insbesondere das europäischen ETRS89, als Basis für die Nationale Geodaten Infrastruktur (NGDI).
- Herstellung des Bezuges der lokalen (nationalen) Systeme und Netze zu globalen (internationalen) geodätischen Bezugssystemen und Bezugsrahmen durch den Betrieb einer Fundamentalstation, welche in internationale Referenznetze eingebunden ist (Geostation Zimmerwald) sowie durch Anschlussmessungen; Bestimmung strenger Transformationsparameter.



- Aufbau eines dreidimensionalen terrestrischen Bezugsrahmens durch wiederholte GPS- bzw. GNSS-Messungen hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit auf gut zugänglichen, stabil vermarkten Referenzpunkten (GPS-Landesnetz LV95) sowie kontinuierlichen GNSS-Messungen auf Permanentstationen (AGNES). Bestimmung der 3D-Koordinaten und deren Kovarianz sowie des zugehörigen Geschwindigkeitsfeldes.
- Verknüpfung mit den Netzen der bisherigen Landesvermessung LV03 und des Landesnivellements LN02. Erstellung optimaler Anschlussmöglichkeiten für die Verdichtungsnetze der amtlichen Vermessung und Bereitstellung der Transformationswerkzeuge.
- Zeitgemässe Bereitstellung und Verfügbarkeit der Positionen und allenfalls Geschwindigkeiten der geodätischen Referenzpunkte sowie Verbreitung der Messungen auf den GNSS-Permanentstationen durch den Positionierungsdienst swipos als Georeferenzdaten für alle Vermessungen in der Schweiz.
- Erneuerung des Landesschwerenetzes LSN mit absoluten und relativen Schweremessungen und Bestimmung von astro-geodätischen (Lotabweichungen) und gravimetrischen (Schweremessungen) Daten auf den Punkten des GPS-Landesnetzes, ausgewählten Punkten des Landesnivellements und Punkten von besonderer Bedeutung.
- Berechnung eines (cm-)genauen Geoidmodells, welches die Verknüpfung des 3D-Netzes (GNSS) mit dem Landeshöhenetz (Nivellement) erlaubt.
- Aufbau des Landeshöhenetzes LHN95 als nationaler Höhenbezugsrahmen; dieses basiert auf einem potentialtheoretisch strengen Höhensystem (orthometrische und evtl. Normalhöhen) unter Berücksichtigung der Schwere; es wird durch eine gemeinsame kinematische Ausgleichung der wiederholten Messungen im Landesnivellement zusammen mit ellipsoidischen Höhen aus dem GPS-Landesnetz und den Geoidundulationen aus dem erneuerten Geoidmodell berechnet.
- Erfassung der Bewegungen der obersten Erdkruste in Raum und Zeit durch die wiederholte 3D-Vermessung geeigneter, geodätischer Punktfelder mit höchster Präzision und Bestimmung von Zeitreihen sowie eines kinematischen Modells der Schweiz.

Einzelne Teile von LVW95 sind fertig entwickelt und werden nun nachgeführt und erhalten. Andere werden in periodischen Intervallen wiederholt gemessen. Dabei entstehen episodische Datensätze (z.B. Koordinaten, Geschwindigkeiten etc.), welche einer Epoche zugeordnet sind. Daraus wiederum werden Zeitreihen, welche für Analysen der zeitlichen Veränderungen Verwendung finden. Zum gesamten Werk gehören auch Mess- und Auswertanlagen, welche im ständigen Betrieb sind und den Nutzerinnen, den Nutzer Echtzeitdaten liefern. Diese permanenten Anlagen bedürfen besonderer Aufmerksamkeit sowie der Bereitstellung von Ressourcen, da sie während 365 Tagen je 24 Stunden in Betrieb sind und möglichst ohne Unterbrechung online Daten liefern sollen. Diese neusten Teile des LVW95 müssen ständig weiterentwickelt werden, um mit der rasanten technologischen Innovation in der IT- und Kommunikationswelt Schritt halten zu können.

Der Aufbau gewisser Teile (insbesondere der Modelle) des LVW95 sind noch nicht abgeschlossen. Hier sind in den nächsten Jahrzehnten noch grössere Anstrengungen notwendig, um die im Konzept des LVW95 vorgesehenen Aufgaben und Standards erreichen zu können. Schliesslich ist die Dokumentation des ganzen Werkes zu pflegen und nachzuführen. Die Konzepte, Modelle, Dokumente und Daten sollen den Nutzerinnen und Nutzern in leicht verständlicher Form zugänglich gemacht werden. Dazu dienen vor allem die modernen Möglichkeiten der Kommunikation über das Internet mit den Webservices und dem Geodatenportal von swisstopo.

Die folgende Abbildung gibt einen schematischen Überblick über das Landesvermessungswerk 1995. Die einzelnen Teile werden in den folgenden Unterkapiteln dieses Schlussberichtes kurz beschrieben. Für detaillierte Angaben und Beschreibungen sei auf weitere Publikationen verwiesen (siehe Kapitel 2.10 bzw. Anhang 2), insbesondere auf die Berichte der LV95-Reihe in der Serie «*Berichte aus der L+T*» (bis 2002) bzw. «*swisstopo-Doku*».



Abbildung 2-1: Schema der Komponenten des Landesvermessungswerkes LVW95

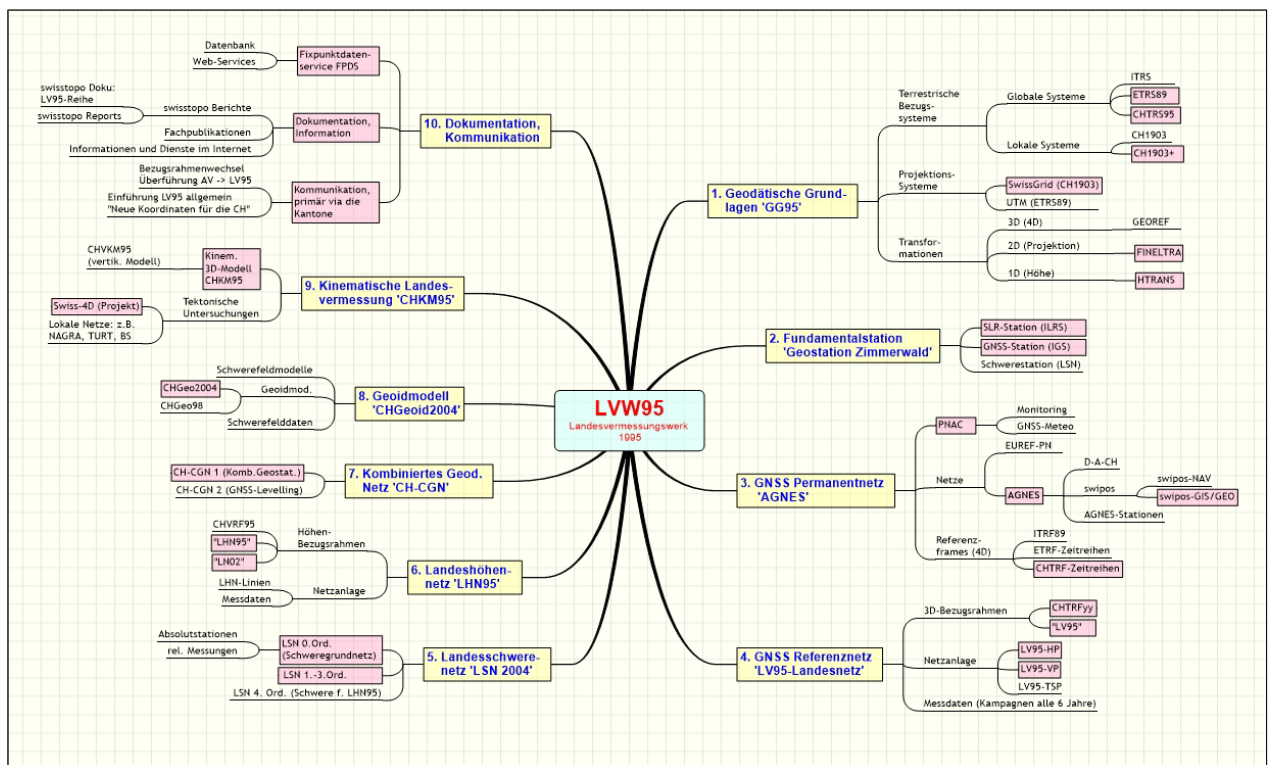


Abbildung 2-2: Mindmap der erweiterten Komponenten des Landesvermessungswerkes LVW95 aus der Projektarbeit



Referenzen zur Landesvermessung, insbesondere zum LV95:

Publikationen zur Geschichte der Landesvermessung der Schweiz sind im Anhang 2 im Kapitel 2.1.1 zusammengestellt.

Eine umfassende Liste von Übersichtsartikeln zu Landesvermessung LV95 / Landesvermessungswerk LVW95 bzw. von Beiträgen zu dessen Komponenten und Konsequenzen, welche primär in der schweizerischen Fachzeitschrift *Vermessung*, *Photogrammetrie*, *Kulturtechnik* bzw. *Geomatik Schweiz* publiziert wurden, findet sich im Anhang 2 im Kapitel 2.1.2.

Die Liste der *Berichte aus der L+T* bzw. der *swisstopo-Doku* aus der LV95-Reihe «Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95» ist im Anhang 2.2 zusammengestellt.



2.1 Geodätische Grundlagen GG95

2.1.1 Strategische Zielsetzung, Konzept und Inhalt

Festlegen neuer geodätischer Bezugssysteme (Terrestrial Reference Systems) für die Schweiz als Basis für den Aufbau einer Nationalen Geodaten-Infrastruktur (NGDI), welche den Anforderungen der modernen Geomatik und Navigation sowie der wissenschaftlichen Forschung gerecht werden. Sicherstellen der Beziehung in Raum und Zeit zwischen den bisherigen, nationalen (lokalen) und globalen Systemen. Bereitstellung von geeigneten geodätischen Modellen, Transformationsmethoden und Kartenprojektionen.

Die Festlegung der neuen Bezugssysteme und ihrer Parameter war und ist eine wichtige Aufgabe, welche die Verantwortlichen für die Geodäsie und Landesvermessung in den Jahren 1995 bis 2001 stark beschäftigt hatte. Die grundlegenden geodätischen Definitionen mussten rechtzeitig mit dem Abschluss der Auswertungen des GNSS-Referenznetzes (GPS-Landesnetz) definitiv vorliegen. Dabei ging es um Entscheide von langfristiger Bedeutung für die Grundlage aller Vermessungen und im weiteren Sinn auch der nationalen Geodaten der Schweiz, welche gründlich vorbereitet und auf ihre Konsequenzen bei der Umsetzung hin geprüft werden mussten. Diese Grundlagen wurden durch einen swisstopo-Fachausschuss unter Beizug von W. Gurtner (AIUB) erarbeitet und in [Berichte aus der L+T Nr. 8 – LV95 – Teil 3] im Entwurf dokumentiert.

Die wichtigsten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen für die Festlegung der Parameter von LV95 waren die folgenden:

- **Konzept der «Dualen Systemwahl»:** Das Konzept der terrestrischen Bezugssysteme für LV95 geht von der dualen Systemwahl aus, welches sowohl ein lokal gelagertes (CH1903+) wie auch ein global gelagertes System (CHTRS95) nebeneinander vorsieht. Diese beiden Systeme sollen durch eine einfache, reguläre Transformation miteinander verbunden sein. Als Transformation wurde eine einfache Translation (3 konstante Shifts) der geozentrisch kartesischen Koordinaten «per Definition» ein für alle Mal festgelegt. Diese Wahl hat den Vorteil, dass eine einfache mathematische Transformation mittels scharf definierter konstanter Parameter, welche nicht von gemessenen Grössen abhängig ist und für immer gültig bleibt, zur Verfügung steht. Da CHTRS95 zudem für den Zeitpunkt 1993.0 mit ETRS89 identisch ist, können lokale schweizerische Koordinaten der neuen Landesvermessung LV95 (Bezugsrahmen LV95) auf einfache Weise in die europäischen Bezugsrahmen ETRFyy umgerechnet werden. Die terrestrischen Bezugsrahmen sind dabei mehr oder weniger perfekte Realisierungen der Bezugssysteme, welche aus reellen GNSS-Messungen berechnet wurden. Deshalb muss beim Vergleich der Koordinaten aus verschiedenen Bezugsrahmen mit kleinen Differenzen in der Grössenordnung der Messungengenauigkeit (i. a. < 1 cm) gerechnet werden.
- **Fundamentalpunkte:** Als Fundamentalpunkt für die Landesvermessung hat der für Messungen unzugängliche Nullpunkt bei der alten Sternwarte Bern ausgedient. Als Ersatz drängt sich eine neue Festlegung in der Geostation Zimmerwald, welche als Messstation für eine Vielzahl moderner geodätischer Messverfahren dient, buchstäblich auf. Der Bezug zwischen dem alten und dem neuen Fundamentalpunkt ist indirekt ohne weiteres mit hoher Genauigkeit herstellbar. Die Festlegung der Parameter sollte dabei so gewählt werden, dass die Veränderungen für die Nutzerinnen und Nutzer der Landesvermessungswerke möglichst gering sind.
- **Transformation global-lokal:** Die neuen, nationalen terrestrischen Bezugssysteme sollen jeweils sowohl einen lokalen Bezug zu den bisherigen Systemen (lokale Lagerung) wie auch einen globalen Bezug (globale Lagerung) zu den internationalen und europäischen Systemen herstellen. Die Übergänge (Transformationen) zwischen diesen Systemen sind durch mathematische Beziehungen so einfach und eindeutig wie möglich herzustellen (z.B. einfache 3D-Translationen).
- **Kartenprojektion:** Die Vorteile des bisherigen Bezugsellipsoids (Bessel 1841) und der Schweizerischen Kartenprojektion (schiefachsig, winkeltreue Zylinderprojektion) für die Vermessungspraxis sollen wo immer möglich beibehalten werden. Dank den kleinen Verzerrungswerten, welche bei der Reduktion der geodätischen Messungen ins Projektionssystem angebracht werden müssen, können diese Berechnungen mit einfachen, altbewährten Formeln und Subroutinen durchgeführt werden. Für



viele Zwecke sind die Reduktionsbeträge so klein, dass sie in erste Näherung vernachlässigt werden können. Aus diesem Grund wurden die Ellipsoiddimensionen und die Schweizerische Kartenprojektion beim lokal gelagerten neuen Bezugssystem CH1903+ unverändert übernommen.

- **Schwerefeldmodelle:** Zu den geodätischen Grundlagen der neuen Landesvermessung gehören auch geeignete Schwerefeldmodelle (Geoid etc.), welche eine konsistente Anwendung der schwerefeldbezogenen geodätischen Netze (Nivellement etc.) mit jenen der räumlichen geometrischen Netze (GNSS-Netze) erlaubt (*combined geodetic networks*).
- **Kinematische Modelle:** Alle geodätischen Messdaten sind nicht nur in der Domäne 3D-Raum sondern auch in der Domäne Zeit zu betrachten. Als Mittel zur Beschreibung dieses Zusammenhangs werden kinematische Modelle (Geschwindigkeitsfelder, Strainfelder etc.) erstellt. Damit können einerseits die Phänomene der zeitlichen Variation von Objektpunkten (Kinematik der obersten Erdkruste) erfasst und untersucht werden. Andererseits erlaubt diese Modellierung auch die gemeinsame Auswertung von Messdaten aus unterschiedlichen Epochen (4D-Auswertungen).
- **Übergänge zwischen den lokalen Bezugsrahmen:** Die bestehenden Bezugsrahmen der alten Landesvermessung werden auch nach der geplanten Umstellung auf die neue Landesvermessung noch während einer langen Zeit, insbesondere in der AV, in Gebrauch sein. Deshalb ist es wichtig, dass den Benützern geeignete Transformationsverfahren, welche die Verzerrungen in den alten Netzen (in Lage und Höhe) mit genügender Genauigkeit modellieren, zur Verfügung stehen.

Nachdem im Juni 1995 der erste Entwurf des [Berichte aus der L+T Nr. 8 – LV95 – Teil 3] vorlag, wurde beschlossen, diesen den betroffenen Amtsstellen des Bundes und der Kantone sowie diversen anderen Fachstellen im Rahmen einer Vernehmlassung zu unterbreiten. Im Hinblick auf die Tragweite und die Kostenfolgen des Entscheids für die AV wurde der Entwurf auch der «paritätischen Arbeitsgruppe AV / LV95» der Eidgenössischen Vermessungsdirektion zur Stellungnahme unterbreitet. In der Folge gingen viele Anregungen und Verbesserungsvorschläge ein, welche soweit möglich berücksichtigt wurden. Die Einführung des neuen Bezugssystems (CH1903+) und -rahmens (LV95) und die Festlegung des Koordinatennullpunkts für die Landesvermessung ($N_0 = 1'200 \text{ km}$ / $E_0 = 2'600 \text{ km}$) erfolgten schliesslich nach Absprache mit der Eidgenössischen Vermessungsdirektion durch einen Beschluss der Geschäftsleitung von swisstopo am 16. April 1996.

Der Entwurf des Berichts enthielt nur einige grundlegende Überlegungen zur Einführung eines neuen Höhensystems. Die Arbeiten für ein neues Höhensystem und einen Höhenbezugsrahmen (Landeshöhennetz LHN95) konnten auf Grund der knappen personellen Ressourcen erst 1996 in Angriff genommen werden. Die definitive Publikation des [Berichte aus der L+T Nr. 8 – LV95 – Teil 3] wurde in der Folge bis Februar 2001 zurückgestellt, um entsprechende Abschnitte über den Höhenbezugsrahmen LHN95 und damit eine Gesamtsicht über die terrestrischen Bezugssysteme und -rahmen dokumentieren zu können.

Als Topic Nr. 1 des LVW95 werden die **Geodätischen Grundlagen GG95** bezeichnet. Dazu gehören die terrestrischen Bezugssysteme, die zur Anwendung gelangenden Projektionssysteme sowie die Transformationen der Daten (2D-, 3D-Koordinaten, Geschwindigkeiten und Höhen) zwischen diesen Systemen. In Abbildung 2-3 sind dieses Topic Nr. 1 sowie die Subtopics, deren Struktur und Abgrenzung und die darin erstellten Produkte dargestellt.

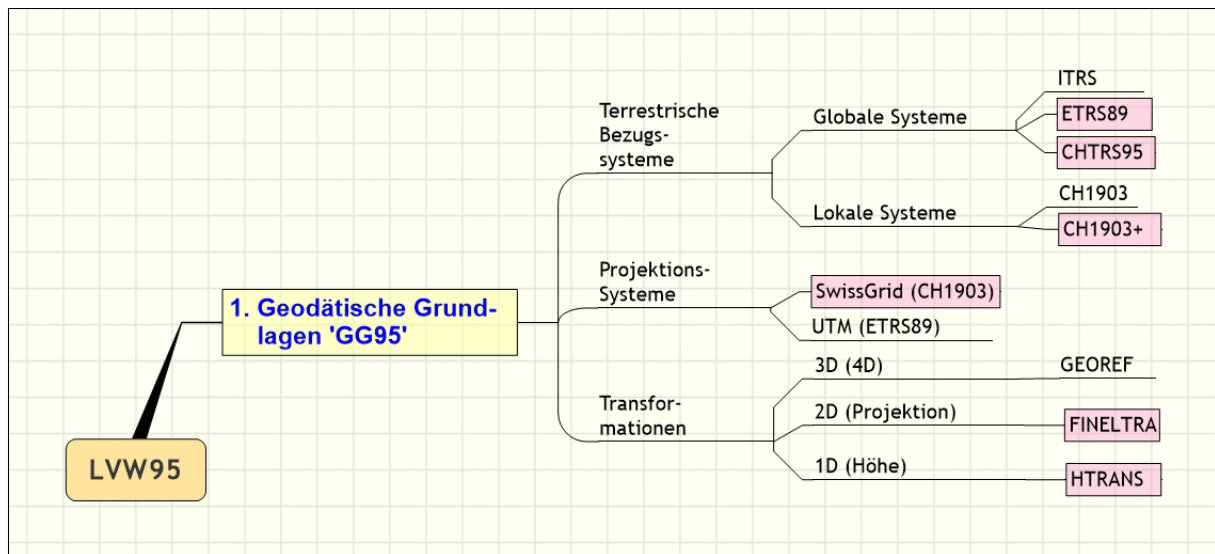


Abbildung 2-3: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 1 – Geodätische Grundlagen GG95

2.1.2 Terrestrische Bezugssysteme

2.1.2.1 Globale Systeme

Die Entwicklung der terrestrischen Bezugssysteme für die neue Landesvermessung LV95 ist in [Berichte aus der L+T Nr. 8 – LV95 – Teil 3] im Detail beschrieben. Die globalen Bezugssysteme ITRS und ETRS89 sind durch den International Earth Rotation Service (IERS) bzw. die Subkommission EUREF der International Assoziation für Geodäsie (IAG) vorgegeben. Sie spielen beide bei den GNSS-Auswertungen eine zentrale Rolle und werden international bzw. europaweit einheitlich angewendet. ETRS89 unterscheiden sich vor allem durch die zeitlichen Veränderungen verursacht durch die Bewegung der eurasischen tektonischen Platte vom weltweiten System ITRS. Mit Hilfe eines kinematischen Modells der globalen Platten-tektonik wird ETRS89 mit Europa mitbewegt, sodass es überhaupt erst möglich wird «Festpunkt-Koordinaten» von Referenzpunkten innerhalb des Kontinents zu beschreiben. Auch die Koordinaten im ETRS89 sind nicht über längere Zeit als invariant zu betrachten. Insbesondere südlich der Alpen und im Gebiet des Mittelmeeres muss mit beträchtlichen lokalen Bewegungen innerhalb von ETRS89 gerechnet werden. Diesem Umstand wird Rechnung getragen, indem die Referenznetze in Europa (EUREF bzw. deren nationalen Verdichtungen) periodisch neu gemessen werden und daraus terrestrische Bezugsrahmen ETRF_{yy} bezogen auf eine bestimmte Epochenzeit t berechnet werden. Auf Grund der permanenten Messungen im Rahmen von EUREF-PN entstehen dazu Zeitreihen, aus welchen neben den 3D-Koordinate auch Geschwindigkeitsvektoren berechnet werden können.

Eine Auswahl von *Technischen Berichten* bzw. *swisstopo Reports*, welche sich mit dem Thema EUREF bzw. ETRS89 befassen, ist im Anhang 2 im Kapitel 2.3.1 aufgelistet.

Die tektonische Situation in der Schweiz mit z.T. recht aktiven Gebieten z.B. in der Nordwestschweiz (Rheingraben) und im westlichen Wallis sowie mit dem Phänomen der Alpenhebung war Grund zur Annahme, dass die ETRS89-Koordinaten über einen Zeitraum von Jahrzehnten wohl kaum als konstant betrachtet werden können. Auf Grund der gut gesicherten Grössen der relativen Vertikalgeschwindigkeiten im Alpengebiet gegenüber einem Referenzpunkt im Mittelland von 1.5–2 mm/a (aus der kinematischen Ausgleichung des LHN95) ergeben sich schon nach 50 Jahren Höhenänderungen im dm-Bereich. Deshalb wurde für LV95 ein erweitertes Konzept für die Festlegung eines eigenen, nationalen Bezugssystems CHTRS95 (Swiss Terrestrial Reference System 1995) ausgearbeitet. Das dreidimensional-kartesische Bezugssystem CHTRS95 ist direkt an ETRS89 angeschlossen, indem die beiden Systeme für den Zeitpunkt 1993.0 als identisch festgelegt wurden. CHTRS95 enthält aber zusätzlich noch ein kinematisches Modell CHKM95, welches die regionale Kinematik im Gebiet der Schweiz und deren Umfeld beschreibt. Mit CHTRS95 (und CHKM95) wird es daher möglich, die 3D-Position von stabilen Objektpunkten auf der Erdkruste auch über Jahrzehnte zu beschreiben. Für CHTRS95 wird das Bezugsellipsoid GRS80



verwendet. Als Fundamentalpunkt Z_0 wird ein Kappenbolzen auf dem Fundament des GNSS-Hauptmasts der Fundamentalstation Zimmerwald gewählt, dessen Koordinaten aus ETRF93 (Epoche 1993.0) bestimmt wurden.

CHTRS95 wird durch den Bezugsrahmen CHTRF95 bzw. die Nachfolgerahmen CHTRFyy realisiert.

Zu CHTRS95 gehört auch ein global gelagertes, potentialtheoretisch strenges Höhenbezugssystem (CHVN95), dessen Potentialwerte im Ausgangspunkt in Zimmerwald durch Anschluss an UELN und damit an den Pegel von Amsterdam erfolgte.

Details zur Festlegung von CHTRS95 und CHVN95 finden sich in [Berichte aus der L+T Nr. 8 – LV95 – Teil 3; Anhang A3].

Die *swisstopo Reports* zu den CHTRF-Kampagnen und ihren Ergebnissen sind im Anhang 2 im Kapitel 2.3.4 > CHTRF-Kampagnen zusammengestellt. Ebenfalls im Anhang 2 sind im Kapitel 2.3.9 die *swisstopo Reports* zum Projekt «Swiss4D» bzw. «Swiss4D-II» erwähnt, welche im Hinblick auf die Bestimmung des Kinematischen Modells CHKM95 lanciert wurden (vgl. Kapitel 2.9.3).

2.1.2.2 Lokale Systeme

ETRS89 wird in Europa zu einem wichtigen Bezugssystem, welches vor allem für den Austausch von GIS-Daten und die Bearbeitung von Projekten über die Landegrenze hinaus vermehrt Anwendung finden wird. Daneben werden aber lokale, nationale Bezugssysteme in allen Ländern Europas weiterhin praktische Bedeutung für die amtliche Vermessung und die GIS-Datenerfassung behalten.

GG95 führte deshalb das Konzept der dualen Systemwahl mit global (europäisch) und lokal (national) gelagerten Systemen ein. Dabei sind die dualen Partnersysteme durch eine, «per Definition» festgelegte, reguläre Transformation miteinander verbunden.

Das sog. Schweizerische Geodätische Datum CH1903 und die zugehörige winkeltreue, schiefachsige Zylinderprojektion mit Fundamentalpunkt in Bern, das «Landeskoordinatensystem», haben sich in der praktischen und in der amtlichen Vermessung bewährt. Aus diesem Grund wurde das lokal gelagerte Bezugssystem der Schweizerischen Landesvermessung grundsätzlich beibehalten. Als lokales Bezugssystem wird CH1903+ so festgelegt, dass es in grober Näherung (m-Bereich) mit dem bisherigen geodätischen Bezugssystem CH1903 übereinstimmt. Die Erneuerung zu CH1903+ beinhaltet lediglich eine modernere Definition der Datumparameter, indem die räumlichen Koordinatenachsen bzw. der räumliche 3D-Bezug der beiden Systeme durch drei fixe Translationen (3 Shifts: dX, dY, dZ) aus CHTRS95 abgeleitet sind. Im Gegensatz zu CHTRS95 wird beim lokalen System CH1903+ das Bessel Ellipsoid 1841 verwendet. Fundamentalpunkt ist ebenfalls Z_0 in Zimmerwald, wobei die Koordinaten dieses Punktes so festgelegt wurden, dass der Koordinatenursprung P_0 des Schweizerischen Projektionssystems immer noch am alten Ort (alte Sternwarte Bern) praktisch unverändert bleibt.

Zu CH1903+ gehört auch ein strenges orthometrisches Höhensystem mit dem Ausgangspunkt (neu) in Zimmerwald. Der Höhenhorizont (*vertical datum*) ist so festgelegt, dass sich aus der kinematischen Ausgleichung des Landeshöhennetzes (LHN95) für den alten Ausgangspunkt im Hafen von Genf (Repère Pierre de Niton) genähert wieder der bisherige Horizont des Landesnivellements von 1902 (LN02) ergibt.

CH1903+ wird durch den Bezugsrahmen LV95 realisiert. Details zur Festlegung von CH1903+ und dessen Höhenbezugssystem finden sich in [Berichte aus der L+T Nr. 8 – LV95 – Teil 3; Anhang A3].

Neben CH1903+ wird das bisherige geodätische Datum (und Bezugssystem) CH1903 mit dem Fundamentalpunkt P_0 in der alten Sternwarte Bern, mit leicht unterschiedlicher Ellipsoidlagerung, aber den gleichen Ellipsoiddimensionen (Bessel 1841) und dem darauf festgelegten Projektionssystem und Bezugsrahmen (LV03) noch für eine gewisse Zeit weiterverwendet werden.

2.1.3 Projektionssysteme

Die **Schweizerische Landesprojektion** ist die «schiefachsige winkeltreue Zylinderprojektion» mit der Rotationsachse in der Meridianebene und dem Grosskreis als Berührungskreis durch den Fundamentalpunkt P_0 in der alten Sternwarte in Bern. Das geodätische Datum (CH1903) wurde 1903 von M. Rosenmund



in die Schweizerische Landesvermessung 1903 (LV03) eingeführt. Auf dessen Grundlage und dieser auf dem Bessel-Ellipsoid 1841 definierten Projektion wurde 1903 das Landeskoordinatensystem der Schweiz mit dem Ursprung im alten Fundamentalpunkt P_0 in der alten Sternwarte in Bern mit den Ausgangswerten $y = 600'000$ m und $x = 200'000$ m festgelegt. Eine detaillierte Beschreibung dieser, in der GPS-Navigation auch als «Swiss Grid» bezeichneten Kartenabbildung mit Berechnungsbeispielen findet sich in [Berichte aus der L+T Nr. 8 – LV95 – Teil 3; Anhang A6].

Die Schweizerische Landesprojektion mit ihren innerhalb der Schweiz sehr geringen Verzerrungseigenschaften hat sich bei allen praktischen Vermessungen und insbesondere bei der amtlichen Vermessung sehr gut bewährt. Deshalb war es naheliegend, die gleiche Projektion auch bei der neuen Landesvermessung LV95 für die Anwendung auf der Basis des Bezugssystems CH1903+ zu verwenden. Es ist dabei darauf hin zu weisen, dass diese Projektion eigentlich nur auf dem Bessel-Ellipsoid sinnvoll angewendet werden kann.

Für die praktische Vermessungsarbeit im europäischen Bezugssystem ETRS89 und dem global gelagerten System CHTRS95 der Schweiz wird die als «Universal Transverse Mercator (UTM)» bezeichnete, weltweit anwendbare Kartenprojektion verwendet. UTM-Koordinaten in CHTRS95 sind mit solchen in ETRS89 in erster Näherung (wenige cm) vergleichbar und können europaweit ausgetauscht werden.

2.1.4 Transformationen

2.1.4.1 3D-Transformationen

Für die 3D-Transformation von geozentrischen 3D-Koordinatensätzen wird in der Geodäsie üblicherweise eine räumliche 7-Parameter-Transformation a) mit Rotation um den Koordinatennullpunkt (Modell Bursa-Wolf) oder b) mit Rotation um den Schwerpunkt der Passpunkte (Modell Molodensky-Badekas) verwendet.

Für die 3D-Transformationen von globalen (ETRS89 oder CHTRS95) in lokale Koordinaten (CH1903+) auf Grund von GG95 genügt eine einfache Translation mit 3 Shifts:

$$X_{(CH1903+)} = X_{(CHTRS95)} - 674.374 \text{ m}$$

$$Y_{(CH1903+)} = Y_{(CHTRS95)} - 15.056 \text{ m}$$

$$Z_{(CH1903+)} = Z_{(CHTRS95)} - 405.346 \text{ m}$$

In den meisten Fällen sind nachfolgend noch die Standard-Transformationen der geozentrisch kartesischen Koordinaten in geodätische Koordinaten auf dem Ellipsoid und schliesslich in die Kartenprojektion notwendig.

2.1.4.2 2D- Transformationen (Projektion); FINELTRA

Für die praktische Umsetzung des vorgesehenen Wechsels der Bezugssysteme in der amtlichen Vermessung (sowie bei allen Anwendungen der Geobasisdaten) ist die Bereitstellung einer geeigneten Transformation zwischen den Bezugsrahmen LV03 und LV95 von entscheidender Bedeutung. Deshalb wurden in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Vermessungsdirektion (Projekt RD/LV95) grosse Anstrengungen unternommen, eine entsprechende Softwarelösung für die Transformation anbieten zu können.

Aus einem Forschungsauftrag an das IGP ETHZ (Prof. A. Carosio) entstand mit FINELTRA eine dem Problem bestens angepasste Lösung. FINELTRA steht für eine lineare Transformation nach der Methode der finiten Elemente. Das Transformationsgebiet wird dabei in Dreiecke unterteilt, deren Eckpunkte die Passpunkte (Transformationsstützpunkte TSP) der Transformation sind. Die Koordinaten der TSP sind sowohl in LV03 wie auch in LV95 bekannt. Innerhalb der Dreiecke wird linear, das heisst affin transformiert.

FINELTRA weist folgende mathematische Eigenschaften auf: Sie ist stetig und eineindeutig, d.h. die Transformation ist reversibel. Auch nach mehrmaliger Hin- und Rücktransformation (LV03 \leftrightarrow LV95) ergeben sich wieder die gleichen Koordinaten und in den TSP wird genau der vorgegebene Koordinatenunterschied angebracht (keine Glättung). Die Berechnung ist sehr einfach und erfordert keinen grossen Rechenaufwand. Die Transformation ist allerdings nicht konform, wodurch geometrische Formen und Richtungssätze bei der Transformation nicht exakt erhalten bleiben. Die Methode hat daneben auch organisatorische Vorteile. Die Veränderung der Parameter (TSP) in einem Gebiet hat keine Auswirkungen auf die



Transformation in anderen Gebieten. Somit ist es problemlos möglich, ein Dreiecksgitter nach Bedarf durch weitere Dreiecke zu unterteilen, ohne dass die übrigen Dreiecke verändert werden. Dies ermöglicht eine sequentielle Bearbeitung der Transformation über die ganze Schweiz.

Ein erster Transformationsdatensatz für FINELTRA wurde 1995 berechnet. Als Grundlage diente das GNSS-Referenznetz LV95 sowie die Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung (vgl. Kapitel 1.2). Der Datensatz DIA95 entstand durch Neuausgleichung des Diagnosenetzes im Bezugsrahmen LV95.

2.1.4.3 1D-Transformationen (Höhe); HTRANS

Ähnlich wie bei den Lagekoordinaten besteht auch bei den Höhenbezugsrahmen ein dringender Bedarf nach geeigneten Transformationsverfahren. Hier ist allerdings die Ausgangslage noch etwas komplexer, da bei Höhenbestimmungen mit GNSS auch der Übergang von den geozentrisch-kartesischen Koordinaten (LV95) zu ellipsoidischen Höhen und nach der Korrektur der Geoidundulation (CHGeo2004) zu orthometrischen Höhen (LHN95) erfolgen muss. Um schliesslich in den von der amtlichen Vermessung weiterhin verwendeten Gebrauchshöhenrahmen (LN02) zu gelangen, wird eine weitere recht komplexe Transformation (HTRANS) angewendet.

2.1.5 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen

Im Sinne der Systemdefinition können die Arbeiten im Teilbereich GG95 als abgeschlossen betrachtet werden. Gerade im Zusammenhang mit neuen GNSS-Anwendungen und -Diensten taucht immer mehr das Bedürfnis auf, die Transformationen zwischen CHTRS95 und den globalen und kontinentalen Bezugssystemen (ITRS, WGS-84, ETRS etc.) besser zu kennen (bzw. zu dokumentieren).

Diese Beziehungen stehen heute im Vordergrund, während früher eher die Transformationen in die Systeme der Nachbarländer von Bedeutung waren.

Ausserdem gilt es die Entwicklungen bei der Definition von Bezugssystemen in fachfremden Gebieten zu verfolgen. Bekannte Beispiele sind what3words, GeoHash oder Open Location Code. Im Zuge der «Demokratisierung von Positionierung und Navigation» gewinnen solche Systeme bei der grossen Masse immer mehr an Bedeutung.

Tabelle 2-1: Geodätische Grundlagen GG95: Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2020	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none">• Die neuen Bezugssysteme sind dokumentiert, eingeführt und haben sich grundsätzlich bewährt.• Die Transformationsmethoden in Lage und Höhe sind vorhanden. Programme und Web-Dienste (Koordinaten-Transformation, Geoidberechnung etc.) sind kundengerecht verfügbar.• Die Transformationsroutinen werden auch für die Integration in GIS-Systeme angeboten.	<ul style="list-style-type: none">• ITRSxx / ETRS89 und UTM auf ETRS89 bzw. CHTRS95 für länderübergreifende Anwendungen (z.B. Bahnprojekte, europäische Positionierungsdienste etc.) besser bekannt machen.• Verfolgen der Entwicklungen bei den «<i>Spatial Reference Systems</i>» und Kartenprojektionen in fachfremden Gebieten (→ Geolokalisierung).



2.2 Fundamentalstation Geostation Zimmerwald

2.2.1 Strategische Zielsetzung, Konzept und Inhalt

Durch den permanenten bzw. regelmässigen GNSS- und SLR-Beobachtungsbetrieb der Geostation Zimmerwald wird der Bezug des neuen Fundamentalpunktes der Schweizerischen Landesvermessung zu den globalen terrestrischen Bezugssystemen in Raum und Zeit bestimmt, laufend überwacht und sichergestellt. Aktive Beteiligung an internationalen geodätischen Forschungsprojekten im Bereich der modernen Erdmessung (zusammen mit dem Astronomischen Institut der Universität Bern und anderen Partnern). Die geodätischen Messungen der Geostation liefern einen wichtigen wissenschaftlichen Beitrag zur Untersuchung der globalen Geodynamik (Tektonik der kontinentalen Platten) und des Schwerefeldes der Erde.

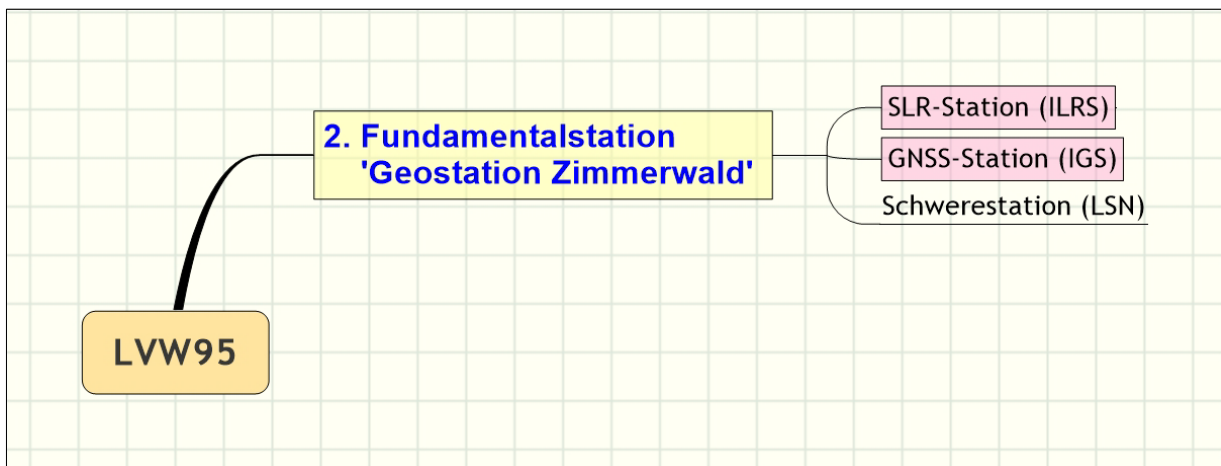


Abbildung 2-4: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 2 – Fundamentalstation Geostation Zimmerwald

Im Konzept der Geodätischen Grundlagen GG95 wird der Geostation Zimmerwald eine grosse Bedeutung zugemessen. Sie ist die physische Realisierung des geometrischen Fundamentalpunktes Z_0 der modernen Landesvermessung (siehe Kapitel 2.1). Die Festlegung der lokalen terrestrischen Bezugssysteme (oder des geodätischen Datums) basiert auf diesem Punkt. Dies betrifft sowohl die geometrische Festlegung der 3D-Bezugssysteme CHTRS95 und CH1903+, wie auch die Fixierung des Höhenbezugssystems CHVN95 bezüglich des Geoids und des Schwerefeldes. Letztlich wird auch das kinematische Modell CHKM95 mit der Festlegung des 3D-Geschwindigkeitsvektors in diesem Punkt gelagert. Dieses Konzept geht von der Überlegung aus, dass auf diese Weise das grosse Potential der in der Geostation konzentrierten geodätischen Messmittel ganz direkt und damit optimal für die Realisierung der lokalen Bezugsrahmen der Landesvermessung genutzt werden kann.



Abbildung 2-5: Geostation Zimmerwald. Alte astronomische Kuppel, GNSS-Masten (Mitte), SLR-Kuppel (rechts) und neue CCD-Kuppeln im Hintergrund

Die Geostation Zimmerwald (damals astronomisches Observatorium) wurde 1956/57 vom Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) unter der damaligen Leitung von Prof. Dr. M. Schürer gegründet und aufgebaut [Berichte aus der L+T-Nr. 7 – LV95 – Teil 2]. Im Laufe der Zeit wurde die «Sternwarte» ständig ausgebaut und weiterentwickelt. Seit den Anfängen der Satellitengeodäsie in den Sechzigerjahren verwandelte sich die Station immer mehr zu einer Satelliten-Beobachtungsstation und gehört heute zu den weltweit bedeutendsten geodätischen Referenzstationen.

Die Geostation Zimmerwald nimmt mit ihren Beobachtungen immer wieder und meist langjährig an internationalen Forschungsprojekten und geodätischen Beobachtungskampagnen teil. Insbesondere ist die Station eine Referenzstation (*fiducial station* bzw. *core station*) in den internationalen geodätischen Referenznetzen des International Laser Ranging Service (ILRS), des International GNSS Service (IGS) und des EUREF Permanent Networks (EPN). Zudem wird Zimmerwald als Station des European Combined Geodetic Network (ECGN) betrieben. Durch die Abgabe der Messresultate an die «Services» ist die Geostation Zimmerwald auch am Global Geodetic Observing System (GGOS) der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) beteiligt. GGOS wiederum vertritt die IAG in der Group on Earth Observation (GEO) und GGOS ist der Beitrag der IAG zum Global Earth Observation System of Systems (GEOSS).

Die Geostation Zimmerwald mit dem SLR-Betrieb und der GNSS-Permanentstation ist im Teil 2 der Berichte zum Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz [Berichte aus der L+T-Nr. 7 – LV95 – Teil 2] im Detail dokumentiert. Anlässlich des Jubiläums «50 Jahre Sternwarte Zimmerwald» wurde diese auch im «UniPress», dem Publikationsorgan zu Forschung und Wissenschaft der Universität Bern, im Heft 130 vom September 2006 ausführlich beschrieben.

Die Geostation wurde in den letzten dreissig Jahren mehrmals ausgebaut und für neue Beobachtungsmethoden weiterentwickelt. So wurde 1995 der Gravimetriekeller mit zwei weitgehend erschütterungsfreien Räumen gebaut. Im Keller wurden drei stabile Beton-Plattformen eingerichtet, auf welchen verschiedene Messgeräte installiert werden können. Seit Oktober 1995 wird dort in enger Zusammenarbeit zwischen dem AIUB, dem Geodäsie und Geodynamik Labor (GGL) des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich und dem Bundesamt für Landestopografie swisstopo permanent ein LaCoste&Romberg Erdgezeiten-Gravimeter ET25 betrieben (vgl. Kapitel 2.2.4). Die Initiative für diese Dauerbeobachtungen entstand im Zusammenhang mit dem Projekt des «kombinierten Geodätischen Netzes CH-CGN» (vgl. Kapitel 2.7). Am 7. Oktober 1997 wurde in diesem Kellerraum durch das Istituto di Metrologia G. Colonnetti (IMGC) das erste Mal die absolute Schwere gemessen. Auch das Rack mit den Apparaturen und GNSS-Empfängern der AGNES-Station Zimmerwald, betrieben durch swisstopo, ist in diesem Kellerraum aufgestellt. Sowohl das Laserteleskop wie auch der GNSS-Trackingbetrieb wurden und werden dem Stand der Technik stets angepasst.



2006 wurde die Sternwarte bzw. das Observatorium Zimmerwald um einen Anbau erweitert (<https://wbar-chitekten.ch/architektur/universitaet-bern-neubau-sternwarte-zimmerwald>). Dieser dient u.a. für Messstationen des Instituts für Angewandte Physik (IAP) der Universität Bern. Im Jahr 2018 konnten zwei zusätzliche, unabhängige Kuppelbauten bzw. Teleskopbeobachtungsplätze, u.a. für CCD-Teleskope, in Betrieb genommen werden. Sie dienen primär der optischen Suche, Beobachtung und Katalogisierung von deaktivierten Satelliten und anderen Resten der Raumfahrt (sog. Weltraumschrott oder «*space debris*»). Zudem wurde das alte astronomische Teleskop aus den Anfangszeiten der Station durch ein neues, multifunktionales Teleskop (ZimMAIN = Zimmerwald Multiple Applications Instrument) ersetzt, das sowohl für die Suche von Raumschrott als auch für astronomische Beobachtungen verwendet werden kann. Insgesamt werden heute in Zimmerwald fünf Teleskope betrieben. Die offizielle Stationsbezeichnung lautet heute aufgrund der neuen Anwendungen «Swiss Optical Ground Station and Geodynamics Observatory Zimmerwald».

Aufgrund der grossen Bedeutung der Geostation Zimmerwald für die Landesvermessung hat sich swisstopo mit dem AIUB über den Ausbau der Station und den gemeinsamen Betrieb vertraglich geeinigt. Die Finanzierung des neuen Laser- und Astroteleskops (ZIMLAT) wurde bereits 1993 zwischen der Universität Bern, dem Schweizerischen Nationalfonds und swisstopo gemeinsam geregelt. Im Okt./Nov. 1995 wurde für die Zusammenarbeit zwischen swisstopo (als Vertreter des Bundes bzw. des EMD/VBS) und dem AIUB (als Vertreter des Kantons Bern bzw. der Universität Bern) ein Rahmenvertrag unterzeichnet. Dieser stellte die rechtliche Grundlage für «*die beidseits nutzvolle langfristige Zusammenarbeit zwischen swisstopo und dem AIUB auf dem Gebiet der Satellitengeodäsie und modernen Astronomie*» dar. Gegenstände des Vertrags waren/sind insbesondere «Personaleinsätze, Mitbenutzungsrechte an Räumlichkeiten, Apparaturen und Einrichtungen, Dienstleistungen und Beratungen, sowie der Austausch von Messdaten und Forschungsergebnissen».

Details zu konkreten Formen der Zusammenarbeit in gemeinsamen Projekten wurden in Anhängen geregelt. Der Anhang 1, der «Benützungs- und Zusammenarbeitsvertrag zur Geostation Zimmerwald», regelte die Zusammenarbeit zwischen swisstopo und dem AIUB bezüglich der Apparaturen, der Räumlichkeiten und der Infrastruktur für den Betrieb des Lasersystems (SLR) sowie der permanenten GPS/GNSS-Station. Betreffend das Lasersystem war/ist das AIUB für den Unterhalt und swisstopo für den Beobachtungsbetrieb zuständig. Als Operateure werden Mitarbeitende von swisstopo sowie Hilfskräfte (Studierende) eingesetzt. Die GPS-/GNSS-Permanentstationen werden von swisstopo selbständig finanziert, installiert und betrieben. Diesbezüglich wurde lediglich das Benützungsrecht der Räumlichkeiten geregelt. Ein zweiter Anhang zum Rahmenvertrag regelt die Zusammenarbeit von swisstopo und dem AIUB im Rahmen des Center for Orbit Determination in Europe (CODE), welches für swisstopo für die Auswertung und Lagerung der GPS/GNSS-Messungen von grosser Bedeutung ist.

Mit den Messungen auf der Geostation Zimmerwald wird auch der geodätische Bezug des Fundamentpunktes der Schweizerischen Landesvermessung zu den internationalen, globalen Referenzsystemen sichergestellt und fortwährend überwacht.

Da die Genauigkeiten moderner geodätischer Beobachtungsmethoden heute in der gleichen Grössenordnung (mm-Bereich) liegen wie die tektonisch bedingten jährlichen Verschiebungen der Punkte, müssen neben den Stationskoordinaten auch die Geschwindigkeiten (d.h. Koordinatenänderungen pro Zeiteinheit) bestimmt werden.

Die wichtigsten in Zimmerwald vertretenen Messmethoden sind:

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



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

Die wichtigsten in Zimmerwald vertretenen Messmethoden – SLR, GNSS und Schwere – werden im Folgenden näher beschrieben.

2.2.2 Satellite Laser Ranging (SLR)

Die SLR-Messungen werden auf der Geostation Zimmerwald mit dem Teleskop ZIMLAT (= Zimmerwald Laser and Astrometry Telescope) durchgeführt, welches am 26. Juni 1997 nach über zweijähriger Bauzeit in Betrieb genommen werden konnte. Das 1-Meter-Teleskop soll einerseits einen modernen Laserdistanzmessbetrieb zu Satelliten (SLR) ermöglichen, gleichzeitig aber auch als astronomisches Teleskop dienen, um mit digitalen Kameras (CCD) vor allem Positionen und Helligkeiten von erdnahen Objekten aller Art, insbesondere Raumschrott, bestimmen zu können. Der Messbetrieb ist weitgehend automatisiert, wird aber jeweils trotzdem von einem Operateur überwacht. Als Operateure stehen Mitarbeitende des AIUB und von swisstopo im Einsatz.



Abbildung 2-6: ZIMLAT-Teleskop



Als Laser wird ein Titanium-Saphir-Laser eingesetzt, mit Messungen in zwei Wellenlängen (Blau 423 nm und Infrarot 846 nm). Die Genauigkeit beträgt pro Einzelmessung wenige Millimeter bis Zentimeter. Die Messungen erfolgen zu einer Vielzahl von verschiedenen Satelliten. Die wichtigsten Klassen umfassen geodynamische Satelliten (z.B. LAGEOS), Umweltsatelliten (z.B. Envisat) und Navigationssatelliten (z.B. GLONASS). Insgesamt werden heute Distanzen zu über 70 Satelliten gemessen.

Wie zuverlässig und stabil der SLR-Messbetrieb in Zimmerwald läuft, zeigt die globale Statistik der Anzahl Beobachtungen der einzelnen SLR-Stationen. Während die SLR-Station Yarragadee (Australien) das Ranking mit grossem Abstand anführt, liegt die Station Zimmerwald in den Jahresstatistiken immer an zweiter oder dritter Stelle. Führt man sich die klimatischen Bedingungen in Zimmerwald im Vergleich zu Yarragadee in der australischen Wüste vor Augen, stellt dies eine beachtliche Leistung dar.

Zimmerwald SLR station as World's top class in week 13/2021

The Satellite Laser Ranging (SLR) Station of the Swiss Optical Ground Station and Geodynamics Observatory Zimmerwald operated by the Astronomical Institute of the University of Bern (AIUB) was the most successful station worldwide in week 13 of this year. From March 28 to April 3 this SLR station No. 7810 of the International Laser Ranging Service (ILRS) was able to observe almost 400 passes of Low Earth Orbiters (LEOs), about 50 passes of the geodynamics satellites LAGEOS-1 and LAGEOS-2, and about 300 passes of High Earth Orbiters (HEOs) of the GNSS (Global Navigation Satellite System) like Galileo, Glonass, Etalon, Compass, or BeiDou satellites. This result confirms Zimmerwald's foremost position as the most productive SLR station in the northern hemisphere. This success is only possible thanks to the high degree of automatization and due to the fact that Zimmerwald Observatory is operating 24/7 all the year including holidays as Easter and Christmas.

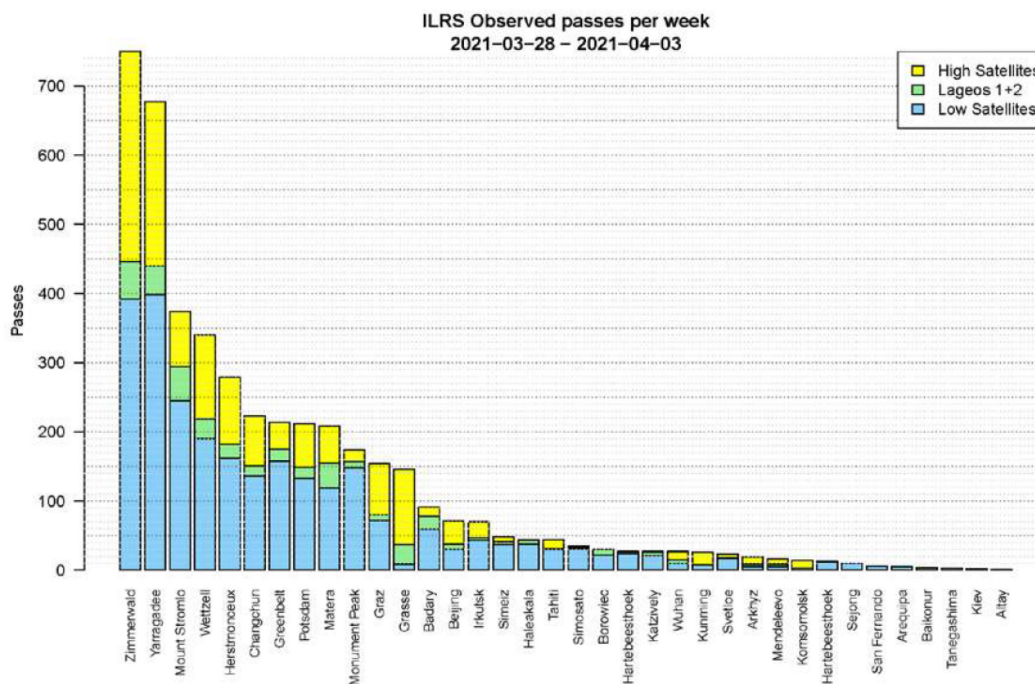


Abbildung 2-7: Ranking SLR-Stationen im Frühjahr 2021



Die Messdaten werden schliesslich an die Datenzentren von EUROLAS (= europäischer Teil des globalen Netzes der SLR-Stationen) und des International Laser Ranging Service (ILRS) weitergeleitet. Diese Datenzentren sind für die Überprüfung der Qualität der SLR-Messdaten (inkl. Rückmeldungen an die SLR-Stationen) und für die Archivierung der Daten zuständig.

Der ILRS seinerseits ist ein sog. «Technique Center» des International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) und stellt die SLR-Daten für die Berechnung des globalen Bezugsrahmens ITRF (= International Terrestrial Reference Frame) zur Verfügung.

2.2.3 Global Navigation Satellite Systems (GNSS)

Auf der Geostation Zimmerwald wurde bereits 1989 während der EUREF89-Kampagne, welche die erste gesamteuropäische GPS-Messkampagne darstellte, ein GPS-Empfänger semi-permanent betrieben. Ab 1992 wurde dann definitiv der Permanentbetrieb eines GPS-Empfängers eingeführt.



Abbildung 2-8: GNSS-Masten (ZIMM und ZIM2) [Bilder A. Wiget]

Die erste permanente GPS-Antenne wurde auf einem neun Meter hohen Stahlmast montiert, um einen möglichst freien Horizont (oberhalb der die Antennen umgebenden Kuppeln) zu haben. Dieses Konzept wurde später auch für einzelne Stationen des Automatischen GNSS-Netz Schweiz (AGNES) übernommen.

Mit der Integration von GLONASS in AGNES im Jahre 2007 wurde auch auf der Geostation Zimmerwald eine sog. Doppelstation mit einem zweiten Antennenmast eingerichtet, auf dem eine neue Multi GNSS-Choke-Ring-Antenne installiert wurde (ZIM2).

Auf der neuen Station wurde ein Antennen-Splitter installiert, so dass mit derselben GNSS-Antenne zwei Empfänger gleichzeitig betrieben werden können. Zusammen mit einem Test-Empfänger des AIUB werden in Zimmerwald aktuell insgesamt vier GNSS-Empfänger (ZIMM / ZIM2 / ZIM3 / ZIMJ) betrieben.



Die Stabilität der Antennenmasten wird jährlich mit terrestrischen Messungen (sog. Ablotung) überprüft. Bis anhin konnten keine signifikanten lokalen Bewegungen nachgewiesen werden.

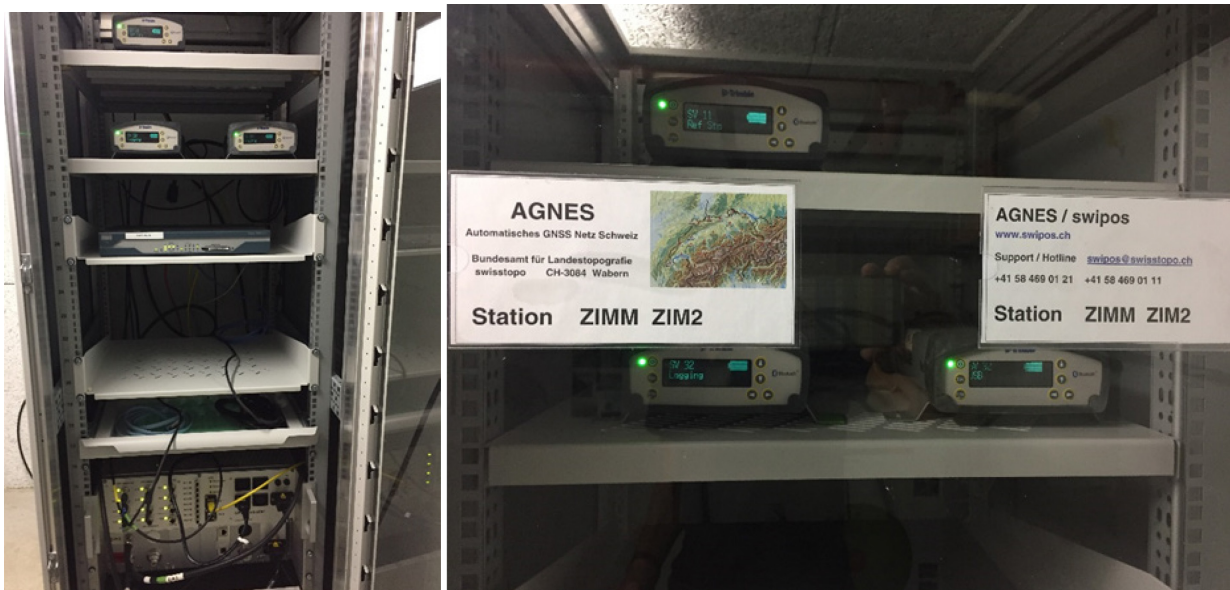


Abbildung 2-9: AGNES GNSS-Empfänger (Rack) und Detail mit den GNSS-Empfängern (ZIMM und ZIM2)

Die Daten der Permanentstationen ZIMM, ZIM2, ZIM3 und ZIMJ (bis Herbst 2020) fließen mit hoher Stabilität in die internationalen Datennetze, wo sie auf globaler, europäischer und nationaler Ebene für eine Vielfalt von Anwendungen zur Verfügung stehen:

- im **International GNSS Service (IGS)**
Die Geostation Zimmerwald ist seit 1992 (dem Gründungsjahr des IGS) eine wichtige Referenzstation des IGS/ITRS. Als Station des «core network» («very-high-performance stations, operating with a high degree for reliability») bzw. als «fiducial site» («where geodetic and, if feasible, geophysical measurements are made, continuously or periodically, meeting standards and specifications established for highly precise data») erfüllt die Station besondere Anforderungen bezüglich Stabilität und Qualität der Referenzkoordinaten sowie der Messdaten¹. Die Daten der IGS-Stationen werden in verschiedenen Datenzentren gespeichert und von weltweit insgesamt über 30 Auswertezentren (Analysis Centers) ausgewertet. Eines dieser Auswertezentren ist das Center for Orbit Determination in Europe (CODE), welches am Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) angesiedelt ist und an dem swisstopo ebenfalls beteiligt ist.
- als Station des **European Permanent Network (EPN)**
- als Station des **Automatischen GPS/GNSS-Netzes der Schweiz (AGNES)**.

2.2.4 Schwerestation (ECGN / LSN)

Seit Oktober 1995 wird von der ETH Zürich im Gravimetriekeller in Zimmerwald ein Gezeitengravimeter LaCoste&Romberg ET25 betrieben, welches von swisstopo betreut wird. Dieses Relativgravimeter misst permanent jede Sekunde einen Schwerewert. Auf dem angeschlossenen PC (zurzeit läuft dieser unter WindowsNT4.0) wird ein Mittelwert über 1 Minute abgespeichert. Die Steuerung des Gravimeters wird durch die installierte Software LabView geregelt.

Das erste Ziel des Gezeitengravimeters ist die Leistung eines Beitrags an die Bestimmung der Gezeiteninflüsse (Tide Models) für die Korrektur von Feld- und Laborgravimetern. Ein zweites Ziel ist – in Verbindung mit den SLR- und GPS-Beobachtungen – Informationen über die Elastizitätsparameter der

¹ Definitionen gemäss National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 1991. International Network of Global Fiducial Stations: Science and Implementation Issues. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1855>.



Erdkruste zu gewinnen. Nebenbei leistet das ET25 natürlich auch einen Beitrag zum Langzeitmonitoring der Schwerewerte in Zimmerwald, wie es in ECGN gefordert wird.

Die Genauigkeit des ET25 ist in der Grössenordnung von 1 μGal und seine Drift ist kleiner als 0.5 mGal pro Monat (Herstellerangaben). Neben dem eigentlichen Schwerewert und der Zeit werden auch die Libellenwerte, der Druck im Raum und im Gravimeter, sowie die Temperatur und Feuchtigkeit im Raum registriert. Die innere Temperatur des Gravimeters wird konstant auf 48.8°C gehalten.

Nach der Pensionierung von Prof. E. Klingelé wurde die generelle Wartung des ET25 von swisstopo übernommen. Dies umfasst die Datensicherung, die Überprüfung der korrekten Funktion des Gerätes und die Korrektur der Zeit und der Libellen. Die Daten werden an das GGL der ETH Zürich zur Weiterverarbeitung (Screening, Sampling, Vorauswertung) geschickt. Die auf eine Auflösung von 10 Minuten reduzierten Monatsfiles werden anschliessend an die europäischen Datenzentren zur Auswertung und Integration in die Gezeitenmodellierung geschickt.



Abbildung 2-10: Geostation Zimmerwald: Schwerestation mit Gezeitengravimeter

Mindestens einmal jährlich führt das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) zusammen mit swisstopo in Zimmerwald absolute Schweremessungen mit einem FG5-Gravimeter durch.

2.2.5 Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen

Tabelle 2-2: Fundamentalstation: Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2020	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none"> Die Geostation Zimmerwald liefert einen wesentlichen Beitrag durch die hohe Produktivität des SLR-Service im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit (ILRS, EUROLAS, IERS). Die GNSS-Station in Zimmerwald erfasst alle wesentlichen GNSS-Satellitensignale permanent und liefert die Daten in die weltweiten Netzwerke der GNSS-Dienste (IGS, EUREF-PN, AGNES. etc.). Die Schwerestation Zimmerwald wird durch regelmässig durchgeführte absolute Schweremessungen, durch den permanenten Betrieb eines Gezeitengravimeters und durch regelmässige relative Schweremessungen zur Absolutstation des METAS 	<ul style="list-style-type: none"> Fortsetzung der SLR-Messungen von hoher Qualität in Kooperation und im Rahmen internationaler Netze und Dienste. Fortsetzung der GNSS-Messungen im Rahmen der weltweiten Netzwerke und GNSS-Dienste sowie als Referenzstation des AGNES. Fortsetzung der wiederholten absoluten Schweremessungen in Zusammenarbeit mit METAS. Fortsetzung der regelmässigen relativen Schweremessungen (Anschluss an die Absolutstation des METAS und innerhalb des LSN2004).



<p>international eingebunden und ist «Core Station» im europäischen Projekt ECGN.</p> <ul style="list-style-type: none">• Erfolgreiche Durchführung weiterer geodätischer Messungen wie astronomische Beobachtungen zur Bestimmung von Lotabweichungen (Zenitkamera), regelmässige Nivellements (Anschluss an LHN95) und Wasserdampfadiometermessungen etc. im Rahmen des Projektes CH-CGN.	<ul style="list-style-type: none">• Weitere Wiederholung des Nivellements Bern-Zimmerwald.• Fortsetzung der Kollokation anderer geodätischer Messungen auf dem Fundamentalpunkt.• Laufende Erneuerung und Modernisierung der Instrumente, der Anlagen und der Infrastruktur, insbes. auch des Lasersystems.
---	---

Referenzen zu 2.2:

Die *swisstopo Reports* zur Fundamentalstation bzw. Geostation Zimmerwald sind im Anhang 2.3.2 zusammengestellt.



2.3 Permanentes GNSS-Netz AGNES und Positionierungsdienst swipos

2.3.1 Strategische Zielsetzung, Konzept und Inhalt

Erstellung und Betrieb eines Automatischen GNSS-Netzes der Schweiz (AGNES), bestehend aus einer Konstellation von permanenten GNSS-Stationen mit landesweit flächendeckender Anordnung. AGNES (System und Netzanlage) dient den folgenden Zwecken:

- a) als aktives mit der Erdoberfläche verbundene Realisierung der Bezugssysteme (CHTRS95 bzw. CH1903+) in Echtzeit.
- b) als Basis für den Betrieb von Positionierungsdiensten unterschiedlicher Genauigkeit und zu deren Kontrolle
- c) zur Erfassung der Kinematik der obersten Erdkruste und als Referenzbasis für lokale Deformationsnetze (Monitoring)
- d) zur Erfassung des Wasserdampfgehalts der Atmosphäre (GNSS-Meteo, GNSS-Tomographie) im Dienste der Wettervorhersage

Betrieb eines permanenten Auswertezentrums (PNAC) mit den Zielsetzungen:

- a) Tägliche Auswertung eines Anteils des europäischen Permanentnetzes EUREF-PN im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit
- b) Ständige Überwachung (Monitoring) des AGNES-Netzes und damit des Bezugsrahmens durch die laufende Auswertung der GNSS-Messungen
- c) stündliche Berechnung der «zenith path delays» der Atmosphäre aus den GNSS-Daten eines europäischen Netzes zur Verwendung bei der Berechnung von Wettervorhersagemodellen durch MeteoSchweiz.

Betrieb eines flächendeckenden GPS-Navigations- und -Positionierungsdienstes, auf der Basis von AGNES, für verschiedene Anwendungen und Genauigkeitsklassen (Markenname *swipos*).

Die Geschäftsleitung swisstopo formulierte für die **swisstopo-Strategie 2020** folgendes Ziel: «*swisstopo erweitert seine Kompetenzen und seine Leistungsfähigkeit im Bereich Positionierung und Lokalisierung*». Als Massnahme A3.1 wurde beschlossen:

- swisstopo evaluiert das bestehende und zukünftige Potential vielfältiger Geolokalisierungsmethoden (z.B. GNSS, PPP-RTK, GSM, WLAN/Wi-Fi, IP, RFID, Bluetooth, Ultraschall, Pseudolites, Indoor-Navigation);
- swisstopo erstellt die Roadmap für Positionierung und Lokalisierung (z.B. «seamless» / unterbrechungsfreie Navigation, Fahrzeugnavigation, Verkehrstelematik, indoor-Positionierung).

Im *SGK Band 100* «The Future of National GNSS-Geomonitoring Infrastructures in Switzerland» dokumentieren das IGP/ETH Zürich, der Schweizerische Erdbebendienst und swisstopo gemeinsam die Bedeutung von GNSS und des Permanentnetzes AGNES (siehe 2.3.2) für **Monitoring-Aufgaben**. Zitat aus dessen Zusammenfassung: «Das automatische GNSS-Netzwerk der Schweiz AGNES ist ein hochqualitatives, automatisiertes Multifunktions-Netzwerk, welches Anwendungen der geodätischen Landesvermessung, der Positionierung, der Geodynamik und der Meteorologie ermöglicht bzw. unterstützt. Während AGNES bezüglich der Stationsabstände und der Qualität der Instrumentierung gleichwertig ist mit anderen fortschrittlichen GNSS-Netzen, scheinen Verbesserungen in der Organisation des Datenmanagements und der Datenverteilung machbar zu sein, besonders für Echtzeit- und kurzfristige Anwendungen sowie in der Koordination mit anderen Anspruchsgruppen. Eine spezielle Erkenntnis ist, dass weitergehende Verstärkungen der bestehenden Anwendungen und die Ausdehnung in Richtung der Seismologie und lokaler seismologischer Überwachung das Potenzial hätten, signifikant zur Abschätzung der allgemeinen seismischen Bedrohung in der Schweiz beizutragen. Werden die in diesem Dokument dargelegten Empfehlungen befolgt, so können diese zu einem besseren Verständnis der aktuellen tektonischen und seismischen Prozesse beitragen. Zudem können dadurch künftige Erdbeben-Frühwarnsysteme sowie andere Systeme zur raschen Charakterisierung von Ereignissen unterstützt werden, indem neue Erkenntnisse, Redundanzen und eine höhere Zuverlässigkeit ermöglicht werden.»



Die neun Empfehlungen des Fachgremiums sind Teil der in der Tabelle 2-4 im Kapitel 2.3.5 formulierten möglichen zukünftigen Entwicklungen.

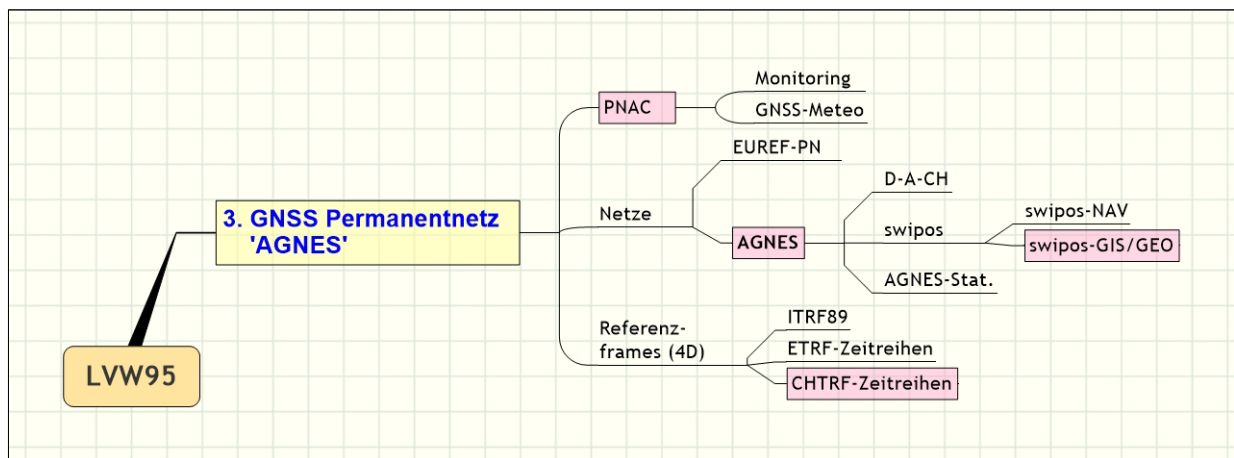


Abbildung 2-11: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 3 – GNSS-Permanentnetz AGNES

2.3.2 Automatisches GPS/GNSS-Netz der Schweiz (AGNES)

Permanent betriebene GNSS-Netze mit stabil installierten GNSS-Stationen gehören heute zu den wichtigsten Infrastrukturkomponenten einer modernen Landesvermessung. Sie ermöglichen die aktive Realisierung der lokalen und globalen terrestrischen Bezugssysteme und dienen als Basis für den Betrieb von Positionierungsdiensten. In der Schweiz wird dies durch das ab 1998 aufgebaute AGNES-Netz (Automatisches GNSS-Netz Schweiz) bzw. den Swiss Positioning Service swipos gewährleistet. Anstatt klassisch über Punktprotokolle und genaue Koordinaten kann den Benützern der Zugang zu den terrestrischen Bezugsrahmen durch das Aussenden von GNSS-Referenzmessungen via Mobilfunk (GSM) landesweit flächendeckend in Echtzeit und in homogener, überprüfbarer Qualität zur Verfügung gestellt werden. Die kontinuierlichen GNSS-Beobachtungen liefern langfristig auch einen Beitrag zur Bestimmung des kinematischen Modells CHKM95 für das schweizerische geodätische Referenzsystem CHTRS95 und dienen wissenschaftlichen Anwendungen in Geodynamik und Atmosphärenforschung (GNSS-Meteorologie). AGNES ist somit ein Vielzweck-Referenznetz für die Landesvermessung und für verschiedenste Arten von Vermessungen, Positionierungen und GIS-Anwendungen in der Schweiz.

Nach einer umfassenden Vorstudie konnte das AGNES-Pilotnetz im Sommer 1998 mit fünf Stationen (Zimmerwald, Pfänder (A), Muttentz (FHBB), Zürich (ETHZ) und Jungfrauoch) permanent in Betrieb genommen werden. Vier weitere Stationen (Locarno Monti, Davos, Lausanne [EPFL] und Andermatt/Gütsch) wurden in der zweiten Jahreshälfte installiert und in Betrieb genommen, sodass Ende 1998 neun Permanentstationen zur Verfügung standen. Das AGNES war 2002 komplett, d.h. flächendeckend über die Schweiz aufgebaut. Es bestand aus 31 gleichmässig über die ganze Schweiz verteilten GNSS-Permanentstationen (Abbildung 2-12). Mit der Erweiterung auf GPS/GLONASS-Empfänger im Jahr 2007 wurden auf 10 Stationen die reinen GPS-Empfänger aus Kontinuitätsgründen in Betrieb belassen und Doppelstationen installiert. Somit sind aktuell 41 Empfänger operationell. Zudem sind 19 grenznahe Stationen der Nachbarländer in AGNES bzw. swipos integriert. Die Daten der einzelnen AGNES-Stationen werden über ein geschütztes Kommunikationsnetz online in das Rechen- und Kontrollzentrum bei swisstopo übertragen. Dieses System stellt die laufende Überwachung der AGNES-Stationen sicher und gibt bei fehlenden, lückenhaften oder fehlerbehafteten Daten einer Station eine Fehlermeldung weiter.

In Verbindung mit den Auswertezentren für Permanentnetze (PNAC) dient AGNES heute noch verschiedenen anderen Zwecken. Durch das automatische Monitoring wird das korrekte Funktionieren von System und Netzanlage ständig überprüft. Die entstehenden Zeitreihen der Koordinatenlösungen dienen zudem wissenschaftlichen Zwecken im Zusammenhang mit der Untersuchung von Erdkrustenbewegungen. Gleichzeitig lassen sich aus den Messungen interessante Informationen über den Wasserdampfgehalt der Atmosphäre gewinnen.

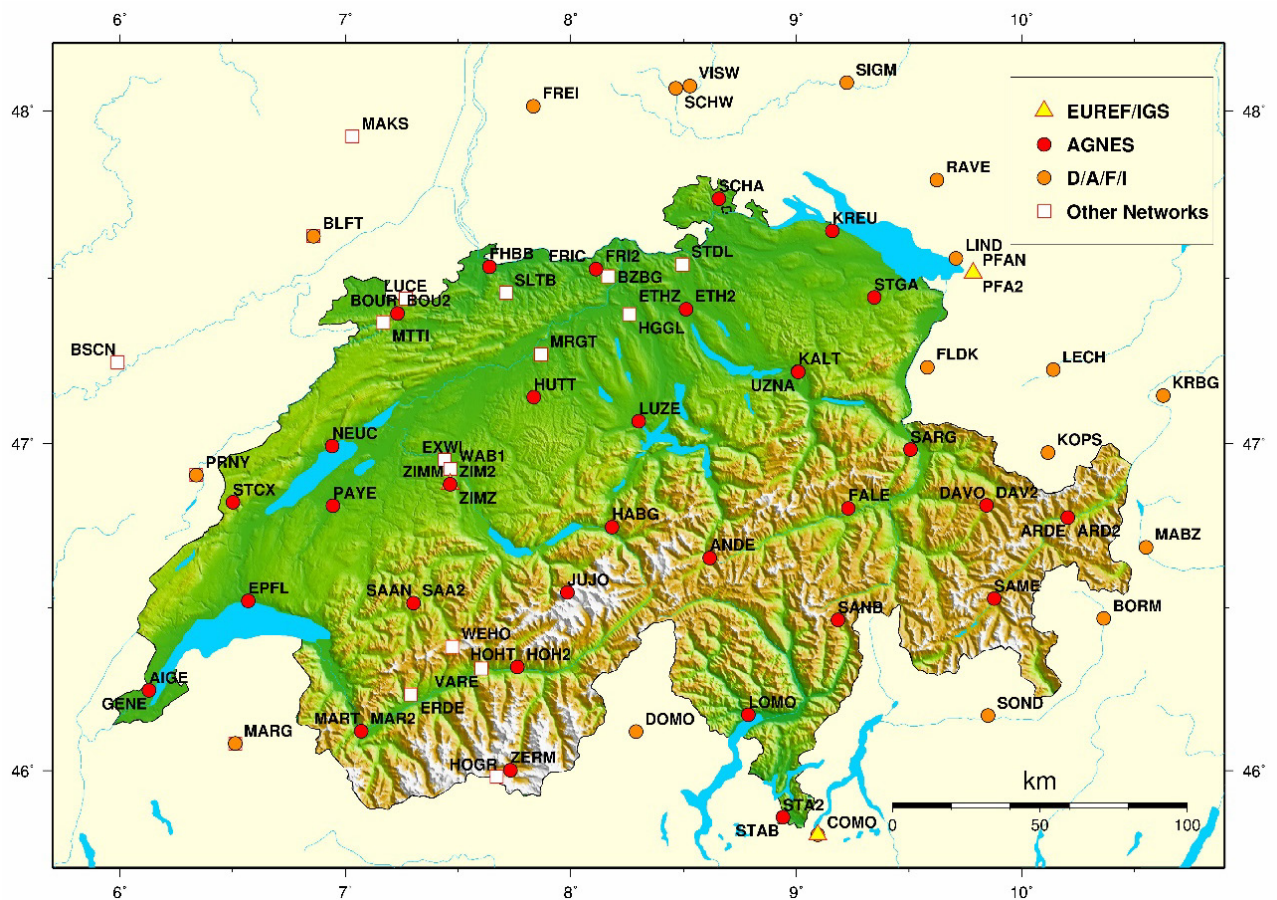


Abbildung 2-12: AGNES-Stationen und von swisstopo ausgewertete Stationen der Nachbarländer bzw. von Dritt-Institutionen

2.3.3 PNAC

Gleichzeitig mit dem Aufbau des Permanentnetzes der Schweiz (AGNES) ab 1998 entwickelte swisstopo auch ein GNSS-Auswertezentrum, genannt PNAC (Permanent Network Analysis Center).

Im PNAC von swisstopo werden stündliche und tägliche Netzwerklösungen berechnet (Tabelle 2-3). Die Anzahl der ausgewerteten Stationen hat kontinuierlich zugenommen, indem nebst den AGNES-Stationen auch die erwähnten Stationen der Nachbarländer und Permanentstationen des European Permanent Network (EPN) sowie einige Stationen von Drittparteien ausgewertet werden. swisstopo beteiligt sich als eines von mehreren europäischen Analyse-Zentren an der Auswertung des EPN (Lösung 1). Die Lösungen 2 und 3 dienen der Überwachung der schweizerischen Bezugsrahmen in Beinahe-Echtzeit sowie wissenschaftlichen Anwendungen und Untersuchungen (Geodynamik und GNSS-Meteorologie). Die Hauptprodukte sind kontinuierlich abgeleitete Koordinatensätze der Stationen für die Überwachung der Bezugsrahmen sowie aus GNSS bestimmte Troposphärenparameter (sog. *zenith total delays*) zur Unterstützung der Wetterprognosen.

Tabelle 2-3: Netzwerklösungen von permanenten GNSS-Stationen bei swisstopo

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

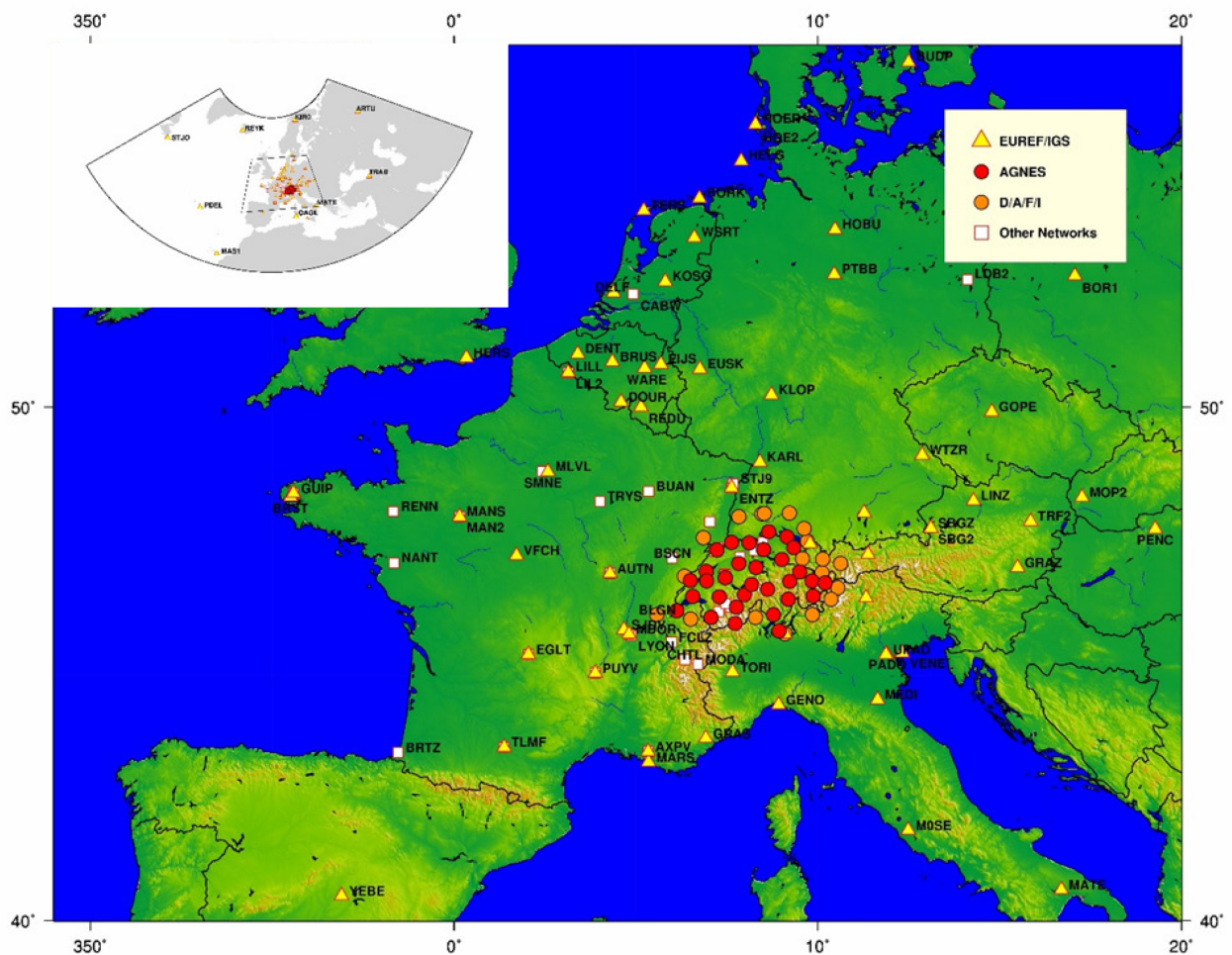


Abbildung 2-13: Von swisstopo ausgewertete permanente GNSS-Stationen in Europa

Alle Berechnungen werden mit der sog. Bernese Software BSW 5.0 durchgeführt. Indem am Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) und bei swisstopo dieselben Softwaremodule eingesetzt werden und die beiden Institutionen bei deren Weiterentwicklung eng zusammenarbeiten, ergeben sich wertvolle Synergien. swisstopo ist auch am Center for Orbit Determination in Europe (CODE) beteiligt, welches am AIUB betrieben wird und tägliche Auswertungen des globalen Permanentnetzes des International GNSS Service (IGS) durchführt. Weitere Partner für CODE sind das deutsche Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und das französische Institut Géographique National (IGN).

Das PNAC von swisstopo ist auch ein Analysis Center des EUREF Permanent Network (EPN). Es beteiligt sich zudem an zahlreichen internationalen GNSS-Projekten. Lediglich als Beispiele seien erwähnt:

- Die COST Action 716: Exploitation of ground based GPS for climate and numerical weather prediction applications.
- Das EU Projekt TOUGH (Targeting the Optimal Use of GPS Humidity), welches die Möglichkeiten der GPS-Meteorologie wissenschaftlich untersucht.

Weitere Informationen zum PNAC können den jährlichen Berichten der Geodäsie/swisstopo zuhanden von EUREF, der Reference Frame Sub Commission for Europe, entnommen werden. Diese sog. EUREF *National Reports of Switzerland* wurden an den jährlich stattfindenden EUREF Symposia präsentiert und sind auf der Website von EUREF publiziert: http://www.euref.eu/euref_symposia_meetings.html.

Eine Übersichtsdarstellung bietet der Beitrag von E. Brockmann mit dem Titel: Stabilität des schweizerischen Koordinatenreferenzrahmens, welcher in *cadastre*, der Fachzeitschrift für das schweizerische Katasterwesen, Nr. 28, Dezember 2018, S. 11–13 veröffentlicht wurde.



2.3.4 Swiss Positioning Service (swipos)

Der Aufbau eines landesweiten, hochpräzisen Positionierungsdienstes auf der Basis von differentiellem GNSS gestützt auf Permanentstationen war von Beginn weg Bestandteil des Konzepts LV95. Hauptmotivation war (und ist) die Bereitstellung eines neuen Bezugsrahmens in Echtzeit für eine Vielzahl von Nutzerinnen, Nutzern und Anwendungen.

Neben den Anwendungen in der Landesvermessung und in der Forschung (Atmosphärenforschung und Geodynamik) bildet AGNES vor allem auch die Grundlage des Swiss Positioning Service swipos. Über diesen öffentlichen GNSS-Positionierungsdienst werden die geprüften Daten der AGNES- sowie der grenznahen Stationen den Nutzerinnen und Nutzern als GNSS-Referenzdaten für praktische Anwendungen zugänglich gemacht. Die Kundinnen und Kunden bzw. ihre GNSS-Empfänger können die Daten entweder in Echtzeit online (Real-time-Anwendungen) über GSM vom swipos-Kommunikationsrechner beziehen oder offline (Post-processing-Anwendungen) über einen Daten-Downloaddienst auf die Referenzdaten zugreifen.

Grundsätzlich werden zwei Genauigkeitsstufen dieser Echtzeit-Positionierungsdienste unterschieden:

- **swipos-NAV UKW/RDS:**

DGPS-Dienst mit einer Genauigkeit von 0.5–2 m. Bei swipos-NAV wurden Korrekturdaten von einer GPS-Referenzstation bei der SRG SSR Idée Suisse über UKW/RDS ausgesendet. Die Nutzerin resp. der Nutzer musste mit einem speziellen Decoder ausgerüstet sein. Dieser Dienst war ab Januar 2000 in der Schweiz flächendeckend verfügbar.

Ab Januar 2004 wurde/wird swipos-NAV über GPRS/NTRIP angeboten. Der Datenstrom kann ohne Authentifizierung empfangen werden.

- **swipos-GIS/GEO:**

Bei swipos-GIS/GEO erfolgt der Zugriff mittels Natel/GSM über eine 0900-Business-Nummer. Sobald die Nutzerin oder der Nutzer mit dem zentralen Kommunikationsrechner verbunden ist, sendet der GPS-Empfänger seine Näherungsposition (im NMEA-Format). Anhand dieser Näherungsposition wird in der Zentrale für den aktuellen Standort der Nutzerin, des Nutzers eine sog. Virtuelle Referenzstation (VRS) berechnet, welche – vereinfacht gesagt – aus den Echtzeit-Messdaten der drei nächstgelegenen AGNES-Stationen optimal interpoliert wird und welche für die präzise Positionsbestimmung im differentiellen Modus verwendet werden kann. Durch diese Mittelbildung können systematische Fehlereinflüsse (Satellitenbahnen und Ionosphäre sowie Troposphäre) signifikant reduziert werden, was die Genauigkeit der Positionsbestimmung erhöht. Die VRS-Daten werden im RTCM-Format an die Nutzerin und den Nutzer zurückgeschickt und ermöglichen die Positionsbestimmung mit cm-Genauigkeit (Initialisierungszeit typischerweise 30 Sekunden). Nutzerinnen und Nutzer von swipos-GIS/GEO brauchen sich nicht mehr um das Aufstellen und den Betrieb einer eigenen Referenzstation zu kümmern, sondern sind mit nur einem GPS-Empfänger jederzeit messbereit.

Per 1. März 2001 hatte swisstopo einen Pilotbetrieb von swipos-GIS/GEO im Mittelland, Jura und Valais aufgenommen. Ziel dieses Pilotbetriebs war es, swipos-GIS/GEO einem breiteren Nutzerkreis zur Verfügung zu stellen, Erfahrungen zu sammeln und allfällige Probleme zu erkennen und zu bereinigen. Voraussetzung für die Nutzung von swipos-GIS/GEO war ein RTK-fähiger GPS-Empfänger, der mit einem Natel/GSM-Modul verbunden werden konnte. Ausserdem musste der Empfänger bei der Verbindungsaufnahme mit dem Kommunikationsrechner seine Näherungsposition im sog. NMEA-Format übermitteln können. Die Korrekturdaten wurden bei swipos-GIS/GEO im RTCM-Format (Typ 18,19) übertragen. Die marktüblichen geodätischen Empfänger der grösseren GPS-Hersteller erfüllten diese Voraussetzungen. Der Zugriff erfolgte über die Business-Nummer 0900 55 00 50, der Preis betrug Fr. 0.36/Minute (exkl. Kommunikationskosten). Für Kundinnen und Kunden mit speziellen Anforderungen (z.B. kantonale Vermessungsämter, Versorgungsbetriebe etc.) konnten auf Anfrage auch andere Lösungen für den Zugriff auf die Daten angeboten werden.

Ab Januar 2005 wurde/wird auch swipos-GIS/GEO über GPRS/NTRIP angeboten. Die zugehörigen Datenströme heissen VRS-LV95 und VRS-LV03 für die entsprechenden Koordinatenrahmen (siehe unten). Diese Datenströme erfordern eine Authentifizierung und die Näherungsposition des Benutzers.



Schliesslich können die Daten aller AGNES-Stationen auch (einzeln) für Post-processing Anwendungen im RINEX-Format von einem zentralen Server heruntergeladen werden, wobei die Messzeit und das Datenintervall durch den Nutzer bzw. die Nutzerin definiert werden können.

Der Swiss Positioning Service swipos bzw. seine Dienste wurden von swisstopo/Geodäsie in enger Zusammenarbeit mit dem Softwarehersteller (Trimble Ltd.) stets weiterentwickelt, wodurch mit den steigenden Anforderungen an Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit und Genauigkeit Schritt gehalten werden konnte. 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 amtlichen Vermessung eingesetzt wurde, hat sich der Anwendungsbereich heute klar in Richtung Bauwesen und Maschinensteuerungen (inkl. Landwirtschaft und Pistenfahrzeuge) verschoben. Insgesamt hat die Nutzung von 11 Lizenzen (2002) auf ca. 3'000 Lizenzen (2020) zugenommen. Die Kundinnen und Kunden werden auch periodisch mit dem Newsletter «swipos-News» über die Entwicklungen und geplanten Ausbauschritte informiert.

Eine Besonderheit von swipos bilden die Real-time-Transformationen zwischen den verschiedenen Lage- und Höhenbezugsrahmen in der Schweiz. Dank diesen können die Kundinnen und Kunden wahlweise im «alten» (LV03) oder «neuen» (LV95) Lagebezugsrahmen messen. Bei den Höhenbezugsrahmen kann zwischen den offiziellen Gebrauchshöhen LN02 und den orthometrischen Höhen in LHN95 gewählt werden. Die Real-time-Transformationen wurden mit dem Ziel eingeführt, den swipos-Nutzerinnen und -Nutzern 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 GeoIV 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 amtliche Vermessung ist. Eine kurze Analyse der aktuellen swipos-Nutzung zeigt, dass immer noch ca. 25% der Kundinnen und 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 professionellen Vermessungs- und Bau-Markt 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 Nutzerinnen und Nutzern) ausgesendet werden können. Im Gegensatz dazu ist bei swipos als VRS (Virtual Reference Station)-Dienst für jeden einzelnen Kunden-zugriff 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 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.



2.3.5 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen

Tabelle 2-4: Permanente GNSS-Netze (AGNES): Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2020	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none">• Realisierung des cm-genauen nationalen Bezugsrahmens in Echtzeit sowie offline, schweizweit flächendeckend durch AGNES.• Der swipos-Positionierungsdienst ist flächendeckend und kontinuierlich verfügbar. Die Echtzeit-Positionierung ist genau, zuverlässig und rationell (kostengünstig). Die Grenzgebiete zu D und A sind lückenlos abgedeckt. Die Anwendung wird gefördert, der Nutzerkreis wächst schnell.• AGNES und swipos sind auf GNSS ausgebaut.• Das Permanent Network Analysis Center PNAC von swisstopo überwacht AGNES und damit den CHTRF-Bezugsrahmen laufend (von swipos unabhängiges Monitoring).• Das PNAC trägt durch die tägliche Auswertung eines Teils von EUREF-PN zur internationalen Zusammenarbeit bei.• Die «zenith path delays» aus einem erweiterten AGNES-Netz werden stündlich berechnet und an MeteoSchweiz für die Wettervorhersage abgeliefert.• Die Zeitreihen (Koordinaten und Geschwindigkeiten) der AGNES-Stationen werden laufend berechnet und zur Untersuchung der Kinematik der Erdkruste bereitgestellt.	<ul style="list-style-type: none">• Örtliche Verdichtung des Basisnetzes von AGNES durch neue Stationen, welche für Studien der Geodynamik geeignet sind, insbes. in Regionen mit erhöhter seismischer Aktivität.• Netzoptimierung durch Ersatz ungeeigneter und instabiler Stationen durch stabile Stationen der Kat. «A» (im Fels fundiert).• Verbesserung der Höhenverteilung der Stationen in Bergregionen und damit der Performance in den Alpentälern, insbes. bzgl. der Höhe.• Kollokation von ausgewählten AGNES-Stationen mit seismischen Stationen und meteorologischen Sensoren.• Monitoring-Geodienste: Deformationsüberwachung (Gelände, Bauwerke), Untersuchung von Krustenbewegungen (3D) in Echtzeit; Verarbeitungskette, welche die Auswertung hoher GNSS-Datenraten (100 Hz) mit minimalen Latenzzeiten ermöglichen (in Zusammenarbeit mit dem Schweiz. Erdbebendienst) (vgl. <i>SGK Band 100</i>).• Aufbau eines nationalen Datacenters für die GNSS Auswertung und Analyse.• Weiterentwicklung der GNSS-Meteorologie (Tomographie).• Entwicklung, Optimierung und Unterstützung vielfältiger Positionierungs- und Geolokalisierungsmethoden (GNSS, PPP-RTK, LBS, GSM, WLAN/ Wi-Fi, IP, RFID, Bluetooth, Ultraschall, Pseudolites, Indoor-Navigation) für eine zeitlich und örtlich landesweit unterbrechungsfreie Navigation und Positionierung (outdoor und indoor).• Kooperation mit europaweiten Positionierungs- und Navigationsdiensten.

Referenzen zu 2.3:

Eine Zusammenstellung von *swisstopo Reports* und weiteren Publikationen (zusätzlich zu den bereits erwähnten) zum GNSS-Permanetnetz AGNES sowie zu den Positionierungsdiensten swipos findet sich im Anhang 2.3.3.



2.4 GNSS-Referenznetz Landesnetz LV95

2.4.1 Strategische Zielsetzung und Dokumentation

Im Hinblick auf die Realisierung der lokalen und globalen terrestrischen Bezugssysteme in der Schweiz erstellt, erweitert und aktualisiert swisstopo ein modernes, hochpräzises, landesweites GNSS-Referenznetz, welches stabil und dauerhaft materialisiert ist. Durch Neu- und periodische Wiederholungsmessungen des Netzes mit den modernsten GNSS-Messverfahren werden auf die Messepoche bezogene 3D-Bezugsrahmen (CHTRFyy) zuverlässig und mit ausgewiesener Genauigkeit bestimmt. Die Referenzpunkte werden erhalten und nachgeführt, zusammen mit den Bezugsrahmen (3D-Koordinatensätze) dokumentiert und den Benutzern in geeigneter Form zur Verfügung gestellt.

Der Aufbau des GNSS-Landesnetzes wurde in folgenden «*Berichten aus der L+T*» detailliert und sorgfältig beschrieben:

- *L+T-Bericht 6* – LV95 – Teil 1: insbes. Kapitel 5: Entwurf und Realisierungskonzept des GPS-Landesnetzes
- *L+T-Bericht 8* – LV95 – Teil 3: insbes. Kapitel 3: Lokale terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen; Kapitel 6: Global und lokal gelagerte Bezugsrahmen CHTRF95 und LV95
- *L+T-Bericht 11* – LV95 – Teil 5: GPS-Landesnetz: Netzanlage, Rekognoszierung und Netzentwurf, Kennzeichnung, Dokumentation und Nachführung
- *L+T-Bericht 12* – LV95 – Teil 6: GPS-Landesnetz: GPS-Messungen 1988–1994
- *L+T-Bericht 13* – LV95 – Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988–1994; Festlegung der Bezugsrahmen CHTRF95 und LV95
- *L+T-Bericht 15* – LV95 – Teil 9: GPS-Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung, Transformation LV03 \leftrightarrow LV95

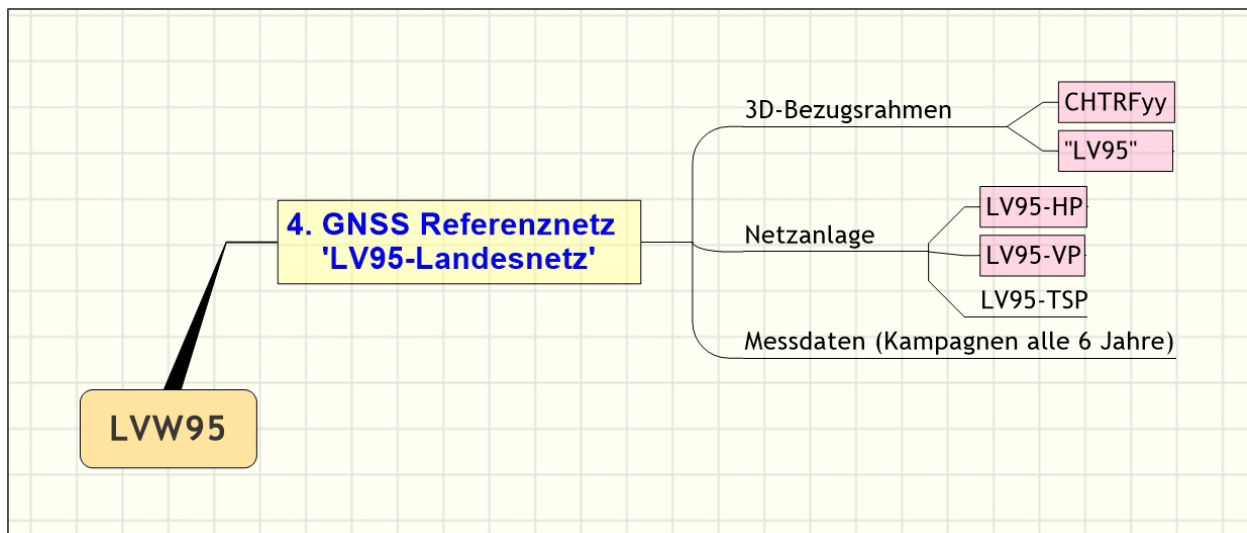


Abbildung 2-14: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 4 – GNSS-Referenznetz «LV95-Landesnetz»



2.4.2 Netzanlage

Der Netzentwurf des GNSS-Referenznetzes LV95 der Schweiz (damals als «GPS-Landesnetz LV95» bezeichnet) entstand 1988. Die Kriterien für den Netzaufbau waren:

- 1) Optimaler Anschluss an die Fundamentalstation Zimmerwald und an die 4 weiteren EUREF-Stationen Chrischona, Pfänder, Monte Generoso und La Givrine.
- 2) Flächendeckend über die ganze Schweiz bei gleichmässiger Verteilung und Dichte der Netzpunkte (Punktabstand für problemlose Lösung der Phasenmehrdeutigkeiten auch bei Messungen mit L1-Empfängern): 15–25 km im Mittelland und Jura, 20–30 km in den Alpen.
- 3) Geeignete Auswahl der Punktstandorte bezüglich Sicherheit (nach Möglichkeit auf öffentlichem Grund) und Dauerhaftigkeit (mindestens 50 Jahre), Geologie und Eignung des Untergrundes, Zugänglichkeit des Punktes mit Fahrzeugen während des ganzen Jahres und ungestörtem Satellitenempfang (freier Horizont, keine Störsignale oder reflektierende Flächen); optimale Materialisierung und Rückversicherung.

LV95-Punkte sollen Aussagen über allfällige tektonische Veränderungen in der Schweiz ermöglichen. Deshalb wurden die Punktstandorte bezüglich ihrer Stabilität durch den Geologen Dr. Peter Heizmann (damals Landeshydrologie und -geologie des BWG) beurteilt. Im Allgemeinen geschah dies aufgrund der geologischen Karte im Büro. Bei Bedarf wurde aber auch eine Feldbegehung mit Benützung des «Pavoni-Meters» und einer Rammsonde durchgeführt (siehe *Berichte aus der L+T* Nr. 11 – LV95 – Teil 5, S. 8f).

- 4) Verbindung zu den bisherigen Netzen der Landesvermessung LV03 (Triangulation 1. oder 2. Ordnung) sowie an die Fixpunkte des Landesnivellements (LN02) bzw. des Landeshöhennetzes LHN95.

Der Netzaufbau des GPS-Landesnetzes LV95, heute GNSS-Referenznetz LV95, die Materialisierung der Referenzpunkte und die GPS-Messungen des Hauptnetzes erfolgten etappiert in 4 Teilnetzen. Die **104 Hauptpunkte** (inkl. die EUREF-Stationen) wurden zusammen mit sog. Anschlusspunkten (an LV03 und LN02) in jährlichen Messkampagnen 1989–1992 sowie in Ergänzungskampagnen bis 1994 gemessen. Alle Punkte sind durch einen Kappenbolzen zentrisch versichert. Davon sind 34 direkt im anstehenden Felsen, 22 auf einem im Felsen fundierten Betonsockel, 3 auf einem massiven Felsblock, 14 auf einem stabilen Bauobjekt und 31 auf einem im Erdreich fundierten grossen Betonsockel materialisiert. Alle Hauptpunkte besitzen exzentrische Versicherungen, entweder mit Exzenterbolzen (Lochdurchmesser 5 mm) oder durch eine unterirdische Bodenplatte (mit Exzenterbolzen). Anschliessend erfolgte bis 1998 noch eine Verdichtung des Referenznetzes durch zusätzliche **104 Verdichtungspunkte**. Auch diese Erweiterung wurde etappiert und nach den Dringlichkeiten und Bedürfnissen der Benutzer (Aufbau der FP-Netze der AV) bearbeitet.

Heute stehen somit **208** stabil versicherte, leicht zugängliche, GNSS-taugliche und detailliert dokumentierte Referenzmesspunkte als Grundlage für praktisch sämtliche Anwendungen der Vermessung in der Schweiz zur Verfügung. Zusammen mit dem GNSS-Permanentnetz AGNES realisieren diese Punkte die neuen **Bezugsrahmen CHTRF und LV95**, welcher grundsätzlich die Landestriangulation LV03 (1. bis 3. Ordnung) abgelöst hat (siehe Konzept).

Der Hauptteil des GPS-Landesnetzes LV95 wurde von 1989 bis 1994 erstellt und erstmalig gemessen. Zeitlich können dessen Koordinaten der mittleren Zeitepoche 1992 zugeordnet werden. Danach wurde und wird das Gesamtnetz (Haupt- und Verdichtungsnetz) gemeinsam mit dem GNSS-Permanentnetz AGNES alle 6 Jahre nachgemessen, nämlich 1998, 2004, 2010, 2016, 2022 (bereits realisiert) etc. Die Messkampagnen tragen den Namen CHTRF (Swiss Terrestrial Reference Frame) kombiniert mit der Jahrzahl yy. Die daraus bestimmten Koordinaten der Haupt- und Verdichtungspunkte bestimmen gemeinsam mit denjenigen der AGNES-Stationen die epochenspezifischen Realisierungen der offiziellen Bezugsrahmen CHTRF des Bezugssystems CHTRS. Dadurch werden also die im global gelagerten, zeitabhängigen Bezugssystem CHTRS95 definierten **Bezugsrahmen CHTRFyy** realisiert.



Die Ergebnisse der CHTRFyy-Kampagnen dienen einerseits der Überprüfung des im Prinzip statischen Bezugsrahmens LV95. Andererseits bilden sie, nebst den LHN95-Daten, die Hauptdatenquelle für kinematische Untersuchungen der Landesvermessung und für die Berechnung des kinematischen 3D-Modelles CHKM95 (vgl. Kapitel 2.9).

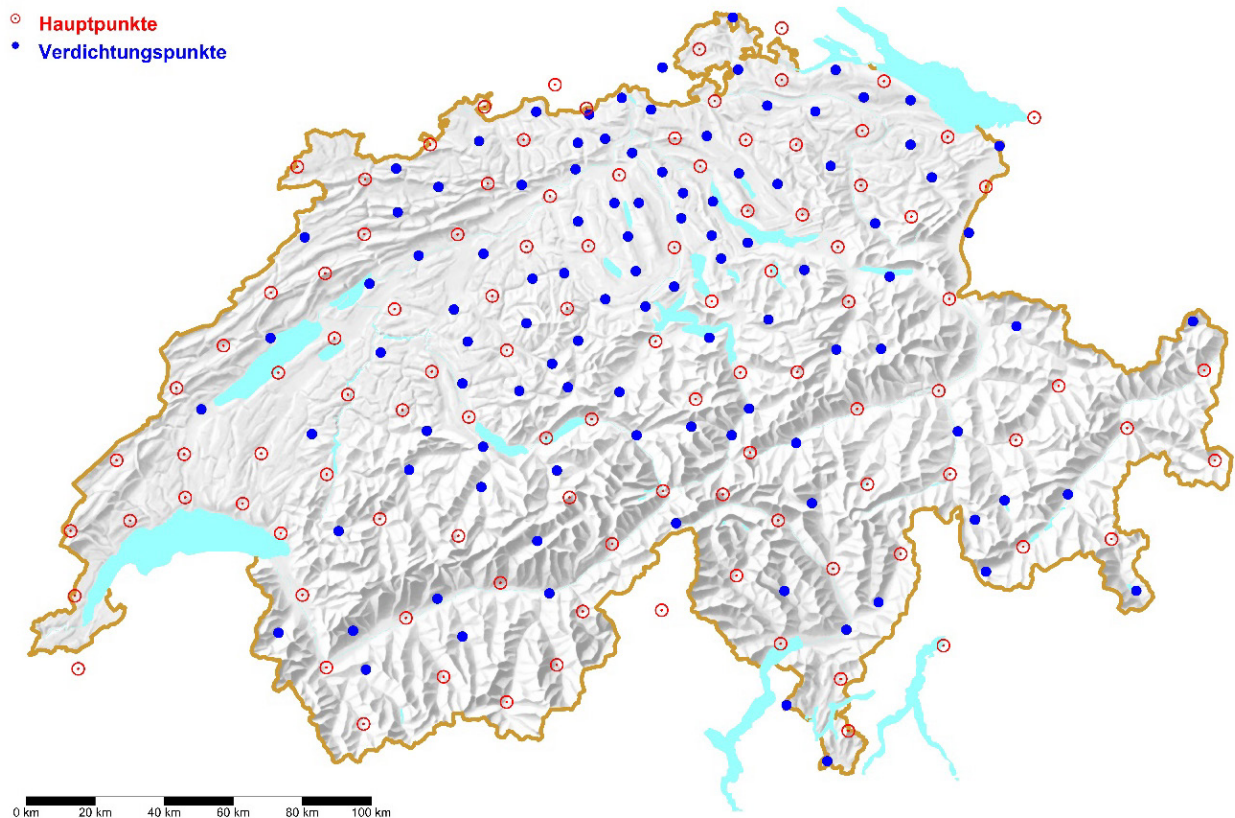


Abbildung 2-15: Übersicht über alle Punkte im GNSS-Referenznetz LV95

2.4.3 Vergleich mit LV03, Bezugsrahmenwechsel von LV03 zu LV95 und Transformationsdienste

Aus Vergleichsmessungen auf gut zugänglichen Vermessungspunkten der ursprünglichen Landestriangulation (LV03) und unter Einbezug der Resultate aus der Diagnoseausgleichung der Triangulation 1./2. Ordnung (DIA95, siehe Kapitel 1.2) konnten gebietsweise systematische Verzerrungen in der hundertjährigen LV03 von bis zu 1.5 m nachgewiesen werden. Demgegenüber ist die landesweite Genauigkeit (1 Sigma) der Lagekoordinaten des neuen Bezugsrahmens LV95 besser als 1 cm. Die Landesvermessung LV95 vermochte somit die Lagegenauigkeit gegenüber LV03 etwa um den Faktor 100 zu verbessern.

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

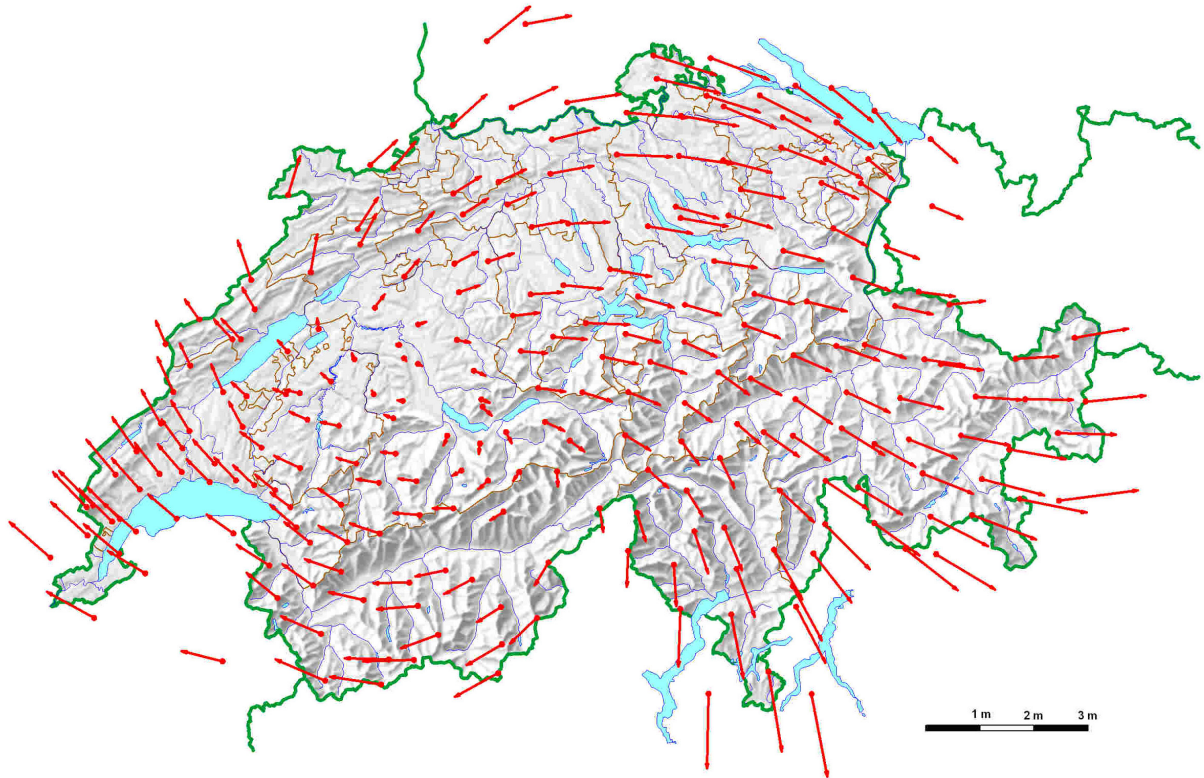


Abbildung 2-16: Differenzvektoren von LV03 zu LV95

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

Die Einführung eines neuen Bezugsrahmens hat eine grosse Auswirkung auf die Nutzung und Verwaltung sämtlicher Geodaten, die hauptsächlich noch auf den ursprünglichen Grundlagen der LV03 basieren. In enger Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen der amtlichen Vermessung (Eidgenössische Vermessungsdirektion, Konferenz der kantonalen Vermessungsämter KKVA resp. KGK) sowie mit Vertretern der Hochschulen und Fachverbände wurden diese neue Ausgangslage analysiert und Lösungsvorschläge für einen optimalen Bezugsrahmenwechsel erarbeitet. Mit dem an der ETHZ in den 1990er Jahren entwickelten FINELTRA-Algorithmus (Affin-Transformation über finite Elemente) und dem Datensatz CHENyx06 (siehe unten), der einer flächendeckenden Dreiecksvermaschung über die ganze Schweiz entspricht, steht heute dafür ein geeignetes Werkzeug bereit. Zur hohen Qualität dieses Transformationsdatensatzes, welche mit einer eigens zu diesem Zweck von swisstopo entwickelten GIS-Fachschale nachgewiesen wurde, haben die Vermessungsfachstellen der Kantone mit Messungen von Kontroll- und Verdichtungspunkten wesentlich beigetragen.



Die auf diese Weise gebildete Dreiecksdefinition wurde schliesslich als

CHENyx06

bezeichnet und ist die Abkürzung zu folgenden Begriffen:

CH	Gebiet der Schweiz
EN	Ostwert (E) und Nordwert (N) der Koordinaten in LV95
yx	y- und x-Werte der Koordinaten in LV03
06	Jahr der Entstehung 2006

Sie besteht insgesamt aus:

11'882	Dreiecken und
5'944	Transformationsstützpunkten (TSP).

Die einzelnen Dreiecksvermaschungen, die von den Kantonen erstellt worden sind (siehe Beispiel in Abbildung 2-17), wurden durch die Geschäftsstelle «Raumdaten/LV95» im Bereich Geodäsie verifiziert und zu einem nationalen Datensatz, der nationalen Dreiecksvermaschung CHENyx06, zusammengesetzt. Widersprüche an den Kantonsgrenzen wurden in Rücksprache mit den Kantonen bereinigt. Die Einzelheiten dazu sind im [swisstopo-Doku 21 – LV95 – Teil 13] beschrieben. Damit die Vermaschung den gesamten Perimeter des Topographischen Landschaftsmodells (TLM) von swisstopo abdeckt, musste die bestehende Lösung der Kantone durch zusätzliche Dreiecke ergänzt werden. Dies wurde realisiert, indem vier virtuelle Transformationsstützpunkte (TSP) ausserhalb des TLM-Gebiets eingeführt und die zusätzlichen Dreiecke entlang der Landesgrenze zu den vier neuen TSP definiert wurden (vgl. Abbildung 2-18). Die LV95-Koordinaten für diese virtuellen TSP wurden so gewählt, dass keine Verzerrungen mehr zwischen LV03 und LV95 vorhanden sind. Die folgende Abbildung zeigt als Beispiel die Dreiecksvermaschung des Kantons Neuchâtel.

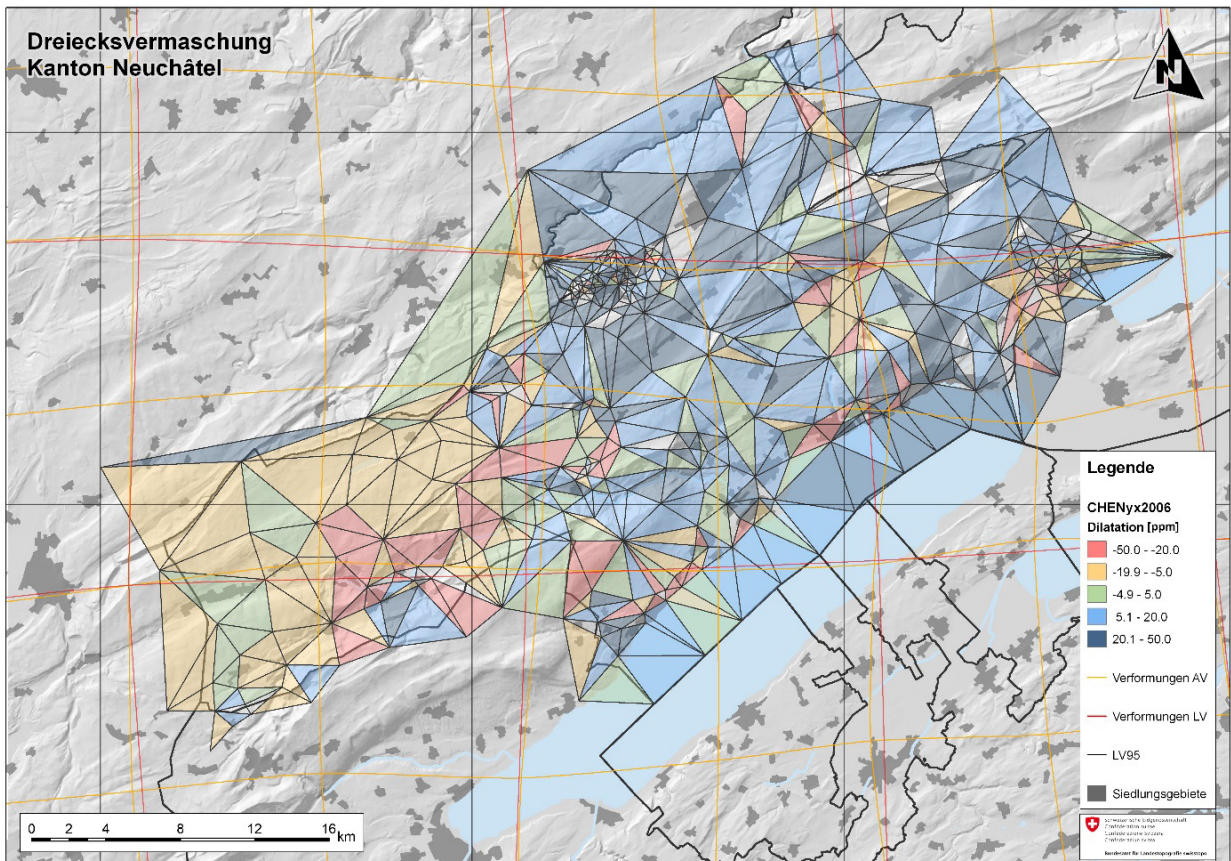


Abbildung 2-17: Dreiecksvermaschung des Kantons Neuchâtel (mit lokaler Verdichtung in zwei Gebieten) mit dem Verzerrungsparameter «Dilatation», welcher eine Ausdehnung oder Stauchung des Dreiecks durch die Transformation LV03 → LV95 angibt.

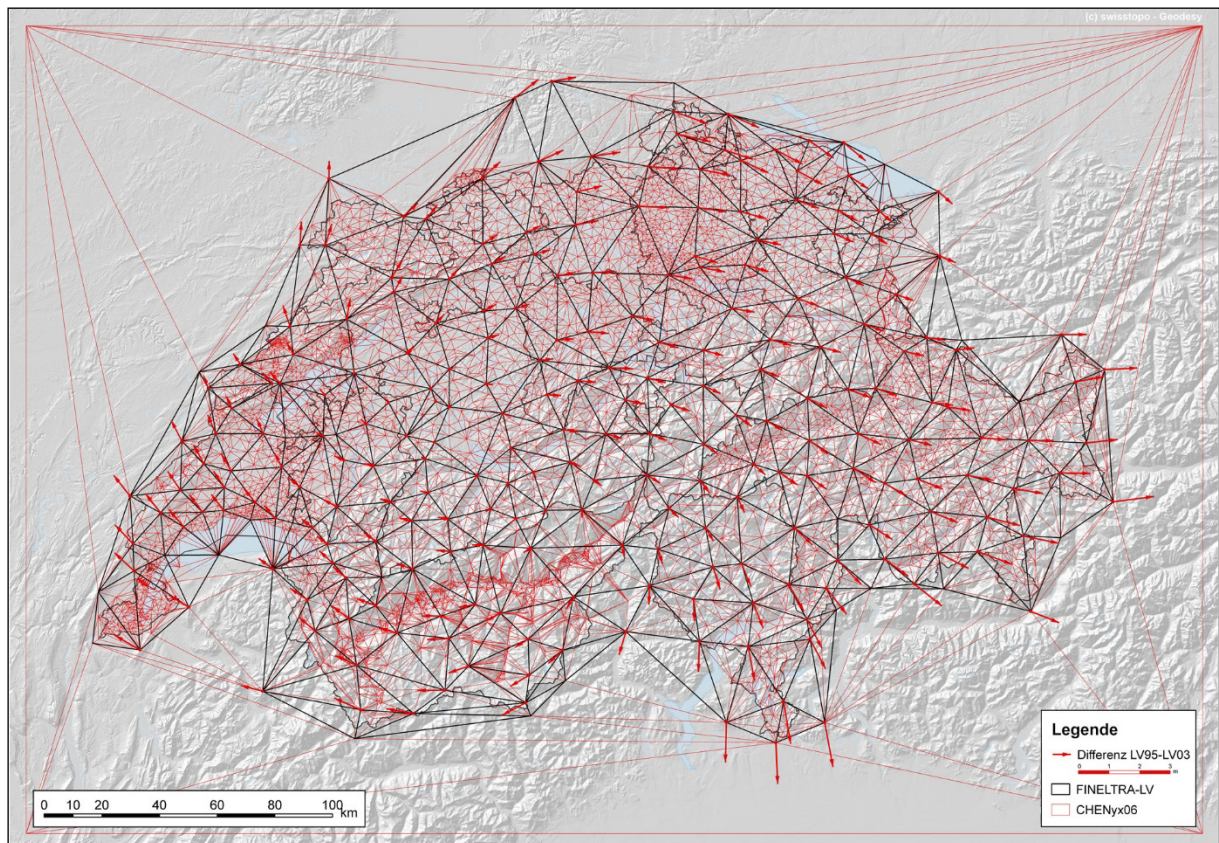


Abbildung 2-18: Die Dreiecksvermaschung auf Stufe Landesvermessung (FINELTRA-LV) ist in schwarz erkennbar. Diese wurde in den 1990er Jahren fertig gestellt und ermöglichte, Geodaten von LV03 nach LV95 und umgekehrt mit einer Genauigkeit von ungefähr einem dm zu transformieren. Diese Dreiecksvermaschung wurde durch die Kantone systematisch verdichtet (rote Dreiecke) und durch swisstopo zum Datensatz CHENyx06 vereint.

Mit dem FINELTRA-Algorithmus respektive CHENyx06 steht eine Transformation bereit, welche den Bezugsrahmenwechsel in hoher Genauigkeit ermöglicht. Die durchschnittliche Transformationsgenauigkeit von CHENyx06 liegt bei rund 3 cm. Diese Genauigkeit konnte empirisch mit Hilfe von Kontrollpunkten hergeleitet werden. Hingegen bleiben mit diesem Ansatz über finite Elemente geometrische und topologische Eigenschaften nicht immer erhalten, da die Affin-Transformation nicht winkel- und längentreu ist. So waren weitere Ansätze gefordert, welche die Transformation in Abhängigkeit der Datengenauigkeit und der geometrischen Anforderungen möglichst verzerrungsarm ermöglichen. swisstopo hat 2009 entsprechende Realisierungsvarianten erarbeitet. Insbesondere wurden die Produzenten und Nutzerinnen resp. Nutzer von Geodaten beim Bezugsrahmenwechsel mit der Software REFRAME von swisstopo bestmöglich unterstützt. Sie vereinigt alle für die Schweiz relevanten geodätischen Transformationen unter einer Benutzeroberfläche und steht auch als öffentlicher Geodienst zur Verfügung.

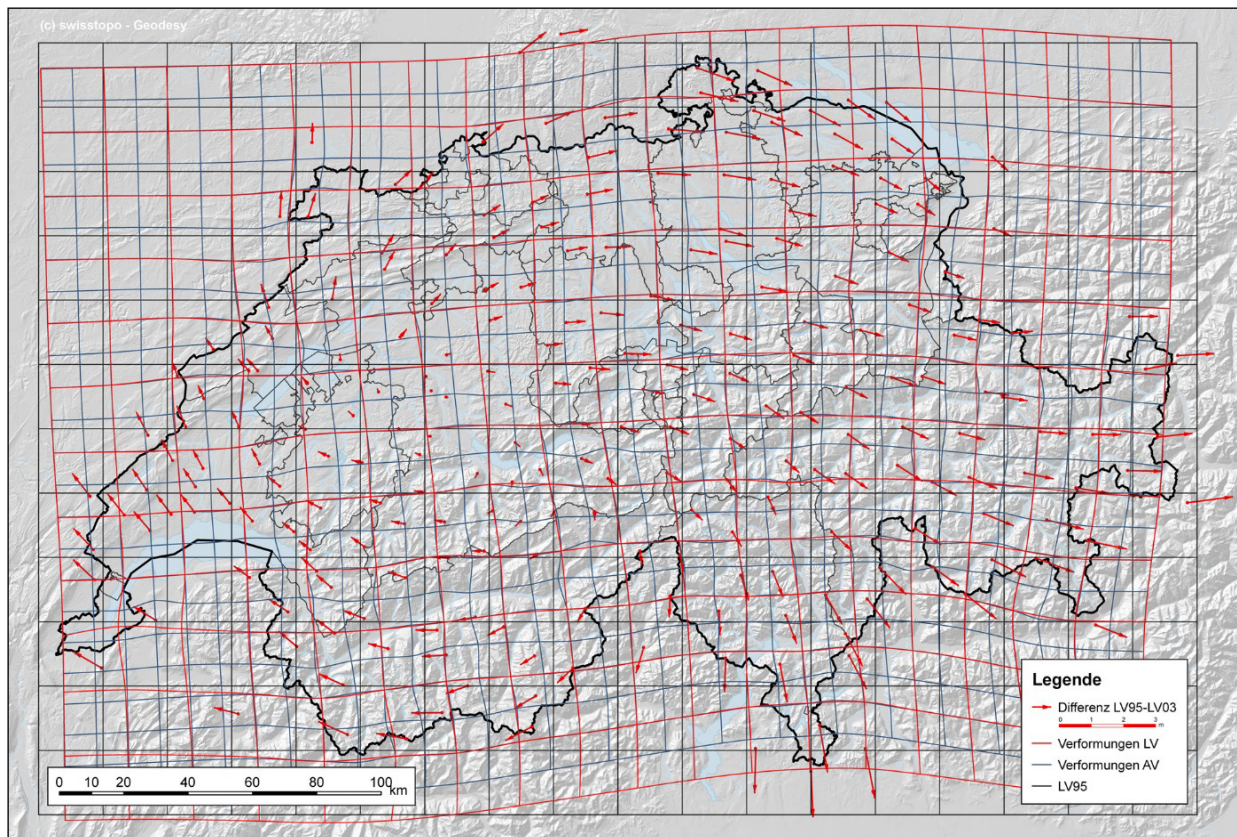


Abbildung 2-19: Verzerrungen des aktuell verwendeten Bezugsrahmens von 1903 im Vergleich zum neuen, praktisch fehlerfreien Bezugsrahmen von 1995 (LV95 = schwarzes Referenzgitter): LV03 = rotes Gitter mit den Deformationen aus der Landesvermessung LV sowie das blaue Gitter, welches zusätzlich auch noch die lokalen Verzerrungen aus der amtlichen Vermessung beinhaltet. Die roten Pfeile zeigen von LV03 (rot) nach LV95 (schwarz) und stellen damit die Richtung und den Betrag der örtlichen Entzerrung dar.

Die etwa um den Faktor 100 verbesserte Genauigkeit der neuen Landesvermessung LV95 gegenüber LV03 war für die meisten Nutzer ausserhalb der Vermessung nicht ohne weiteres erkennbar. Offensichtlich sind lediglich die neuen, im Meterbereich siebenstelligen LV95-Koordinaten. In diversen Medienberichten und in einzelnen Kantonen auch in direkten Informationsschreiben an die Grundeigentümerinnen und Grundeigentümer wurde allerdings auch auf die Flächenänderungen hingewiesen, welche aus dem Bezugsrahmenwechsel resultierten (vgl. Kapitel 2.10.6). Zur Übersicht wurden von swisstopo Grafiken der absoluten und relativen Flächenänderungen pro Kanton resp. pro Gemeinde erstellt.



Absolute Differenzen pro Kanton in ha
Différences absolues par canton en ha

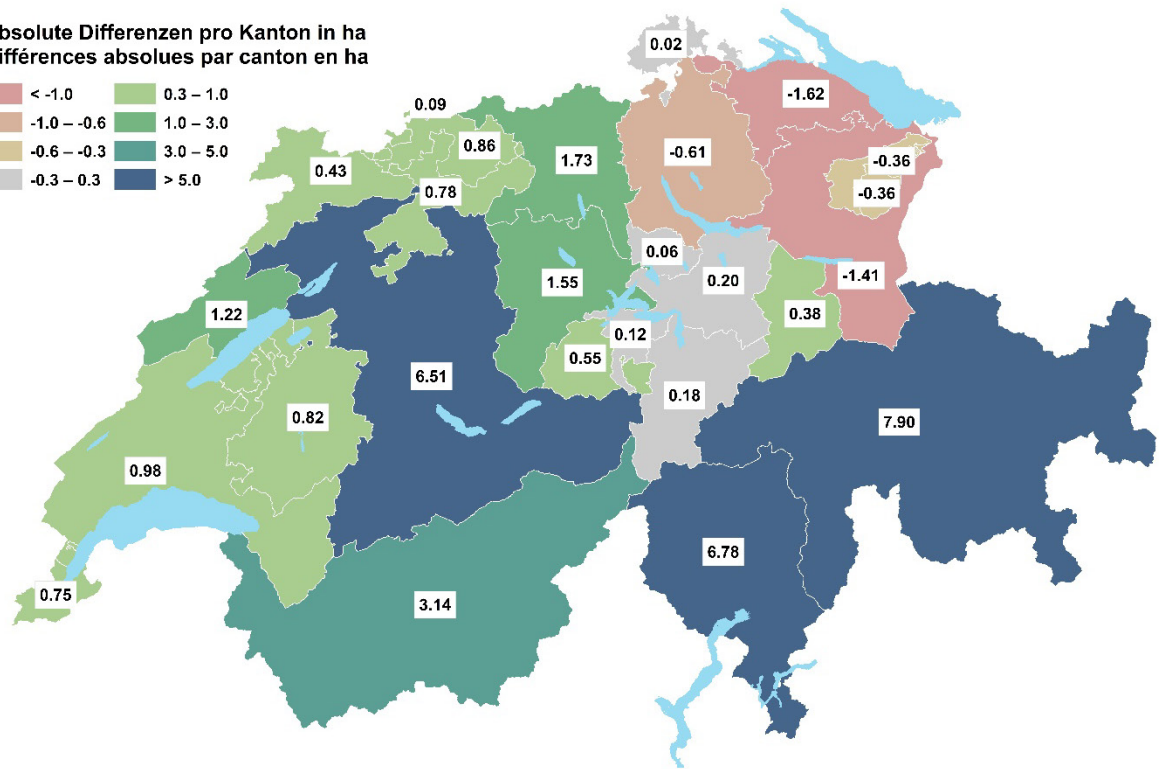
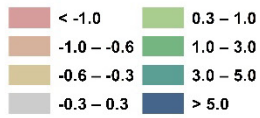


Abbildung 2-20: Absolute Flächendifferenzen pro Kanton [in ha] infolge des Bezugsrahmenwechsels LV03 → LV95

Relative Differenzen pro Kanton in ppm (0.0001%)
Différences relatives par canton en ppm (0.0001%)

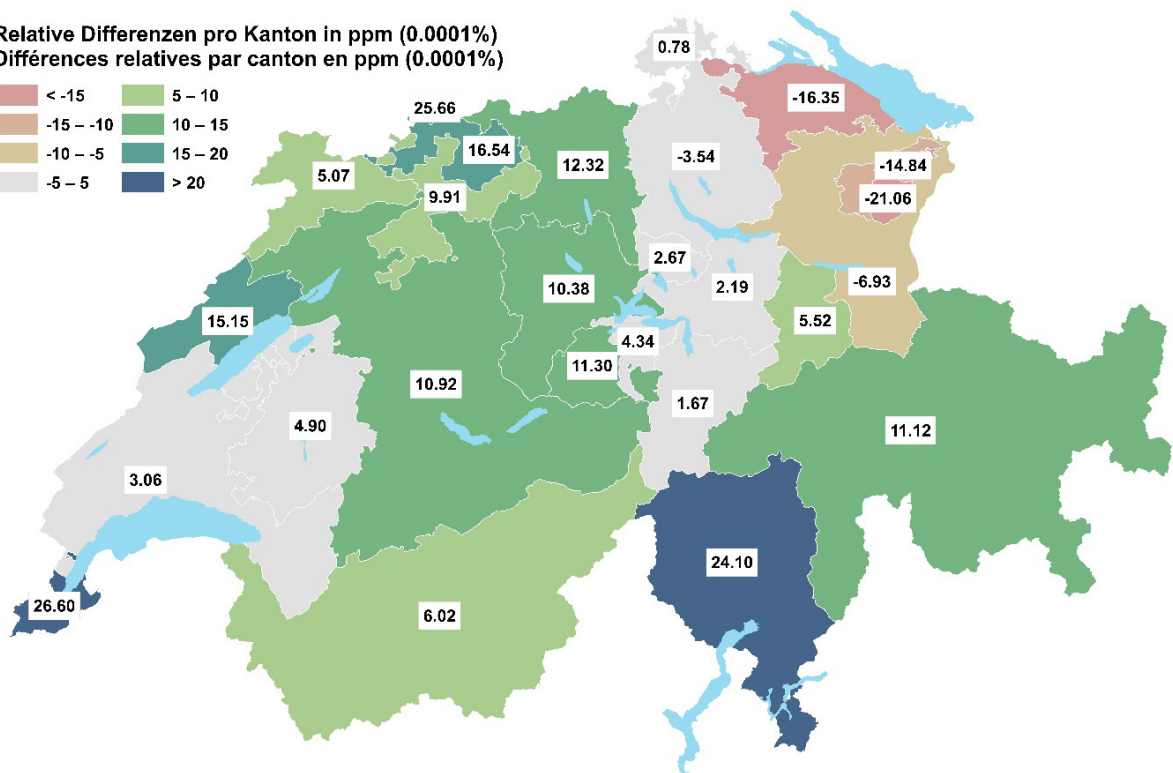
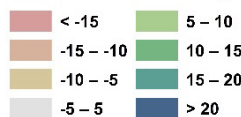


Abbildung 2-21: Relative Flächendifferenzen pro Kanton [in ppm] infolge des Bezugsrahmenwechsels LV03 → LV95



2.4.4 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen

Tabelle 2-5: GNSS-Referenznetz LV95 (Landesnetz LV95): Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2022	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none">• Aufbau des GNSS-Referenznetzes abgeschlossen.• 6 Messeperioden im 6-Jahres-Rhythmus: 1989–94 (Mittelwert 1992) / 1998 / 2004 / 2010 / 2016 / 2022 und die zugehörigen Bezugsrahmen CHTRFyy sind verfügbar.• Die Qualität der Stationen und Koordinaten ist nachgewiesen. Zeitreihen sind vorhanden.• Dokumentation ist vollständig (Berichte, FPDS).• Nachführung/Unterhalt ist gewährleistet und im Rahmen des Qualitätsmanagements des Bereichs kontrolliert.	<ul style="list-style-type: none">• Erweiterung durch Referenzpunkte in geologisch/tektonisch interessanten Gebieten und in den angrenzenden Ländern.• Fortsetzung der kinematischen Untersuchungen und Bestimmung eines kinematischen Modells der Schweiz (siehe Kapitel 2.9).• Dokumentation des geologischen Untergrundes der LV95-Punkte sowie deren Eignung für neotektonische Untersuchungen.• Bei Bedarf Aufrüstung interessanter LV95-Punkte zu GNSS-Permanentstationen.

Referenzen zu 2.4:

Eine umfassende Zusammenstellung von *swisstopo Reports* und Publikationen zum GNSS-Referenznetz Landesnetz LV95 (inkl. Sondernetzen) sowie zu CHTRF gibt der Anhang 2.3.4.



2.5 Landesschwerenetz LSN2004

2.5.1 Strategische Zielsetzung und Konzept

Als Grundlage für alle gravimetrischen Arbeiten im Allgemeinen und für die Geoidbestimmung und die Berechnung eines strengen Höhenbezugsrahmens (LHN95) im Speziellen wird das bestehende Schweregrundnetz erneuert und ergänzt. Die bisherigen Schweremessdaten werden zusammen mit neuen Absolut- und Relativmessungen ausgeglichen und die Ergebnisse unter der Bezeichnung «Landesschwerenetz LSN» dokumentiert. Das LSN ist ein Bestandteil der Landesvermessung und wird demzufolge von swisstopo unterhalten und nachgeführt. Die Daten werden verwaltet und den Nutzerinnen und Nutzer zugänglich gemacht.

Unter dem Titel «Landesschwerenetz (LSN)» werden alle Arbeiten der gravimetrischen Landesvermessung in der Schweiz zusammengefasst. Das LSN ist dabei als weiteres Element des Landesvermessungswerkes LVW95 zu betrachten (Marti und Schneider, 2004). Die Referenzierung des neuen schwerefeldbezogenen, strengen Höhensystems LHN95 ist dabei die primäre Zielsetzung. Daneben dient das LSN aber auch als Referenz für die gravimetrische Landesaufnahme und für weitere geologische und geophysikalische Projekte. Diese flächendeckenden, dichten Datenerhebungen finden vor allem in der Geophysik (Exploration unterirdischer Lagerstätten etc.) Verwendung. Für die Landesvermessung spielen sie vor allem bei der Geoidbestimmung sowie bei der Schwereinterpolation und bei der gravimetrischen Reduktion der Nivellements (Berechnung von geopotentiellen Koten) für die Höhenbestimmung im Rahmen des LHN95 eine Rolle.

Ein modernes Landesschwerenetz (Schweregrundnetz) stützt sich auf einige hochpräzise absolute Schweremessungen mit einer kombinierten Messunsicherheit in der Grössenordnung von $3 \mu\text{Gal}$ ($= 3 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$). Dieses Schweregrundnetz 0. Ordnung dient als Rückgrat und kann durch wiederholte genaue Relativmessungen zu weiteren Punkten zu den Schwerenetzen 1. bis 3. Ordnung verdichtet werden. Moderne Absolutgravimeter werden regelmässig in internationalen Kampagnen untereinander verglichen und liefern die Schwere direkt ohne grössere systematische Fehler mit hoher Genauigkeit. Damit entfällt eigentlich der Anschluss an ein übergeordnetes Netz. Das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) ist im Besitz des einzigen Absolutgravimeters der Schweiz und ist in der Lage, das Grundgerüst für ein schweizerisches Schweregrundnetz zu realisieren. Dieses Freifall-Instrument vom Typ FG5 von MicroG-Lacoste entspricht den modernen Standards für die absolute Referenzmessung im Rahmen der gravimetrischen Landesvermessung.

Neben dem Schweregrundnetz werden auch die Schweremessungen, welche für die gravimetrische Korrektur und strenge Ausgleichung von Nivellementnetzen benötigt werden, als Bestandteil des Landesschwerenetzes betrachtet. Diese Messungen auf Haupt- und Hilfspunkten des Landesnivellements sind für die Berechnung von geopotentiellen Koten, von orthometrischen Höhen und von Normalhöhen unverzichtbar. Diese Punkte sind mit ihren gemessenen Schwerewerten ein Bestandteil eines modernen Höhenrahmens (LHN95) und werden auch dort dokumentiert.

Die Schwerereferenzdaten des LSN sind als Geobasisdaten Teil der Nationalen Geodaten-Infrastruktur (NGDI) und als solche der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Zudem werden auch der Unterhalt und die Nachführung des LSN sichergestellt.

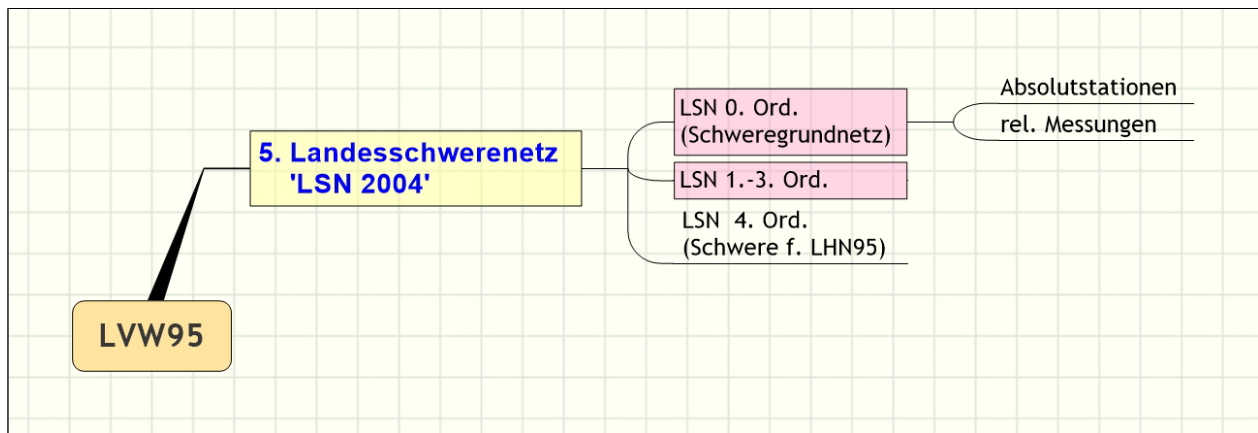


Abbildung 2-22: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 5 – Landesschwerenetz LSN2004

2.5.2 Vorgeschichte

Die Geodäsie und Landesvermessung befassten sich bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts mit der Schwere. Schon 1902, bei der Festlegung des Höhensystems für die Landesvermessung, war es den Fachleuten klar, dass eine strenge Festlegung eines Höhensystems nur unter Berücksichtigung des Schwerefeldes möglich ist. Dass bei der Realisierung des Systems mit dem Landesnivellement und dem Gebrauchshöhenrahmen LN02 diese Grundsätze nicht eingehalten werden konnte, hatte praktische Gründe, welche hier nicht weiter dargelegt werden sollen.

Das erste nationale Schweregrundnetz der Schweiz entstand 1953 (SG53) unter Leitung der SGK (Hunziker, 1959). Es umfasste 123 Stationen, welche meistens identisch mit HFP1 waren (neben einigen Stationen auf Flughäfen für die Verbindung mit dem Ausland). Es wurde mit statischen Relativ-Gravimetern vom Typ Worden realisiert und wies eine Genauigkeit von ca. 0.1 mGal auf. 1956 erfolgten erstmals systematische Schweremessungen entlang des Landesnivellements für die Berechnung von strengen orthometrischen Höhen und für die Bedürfnisse des europäischen Nivellementnetzes REUN (heute UELN).

Die Schweremessungen in den 1960er und 1970er Jahren führten zum «Swiss National Gravity Net» (SNGN), welches 1983 publiziert wurde (Fischer, 1983). Es bestand aus 112 Punkten (vor allem HFP1) und wurde mit Lacoste&Romberg Relativ-Gravimetern realisiert. Erstmals konnte die Lagerung durch Absolutmessungen erfolgen, welche 1978–1980 in Zürich, Brig, Chur und Interlaken durchgeführt wurden. Seit 1974 erfolgten auch systematisch Schweremessungen auf den Linien des Landesnivellements, welche im selben Jahr beobachtet wurden.

In den Jahren 1993–1995 erfolgte ein grundsätzlicher Neuaufbau des Schweregrundnetzes (SG95) [Arnet und Klingelé, 1997]. Sein Rückgrat bildeten die 5 im Jahr 1994 gemessenen Absolutstationen (Zürich, Chur, Lausanne, Pratteln und Monte Ceneri). Diese Messungen wurden 1994 vom österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) mit dessen Absolutgravimeter JilaG-6 durchgeführt. Die Verdichtung erfolgte mit Lacoste&Romberg Gravimetern. Als Verdichtungspunkte 1. und 2. Ordnung wurden in erster Linie nicht mehr HFP1, sondern die Hauptpunkte des GPS-Netzes LV95 gewählt. Dadurch ist SG95 nur schwach mit früheren Schwerenetzen verknüpft.

Für eine ausführliche Darstellung der Vorgeschichte der Gravimetrie in der Schweiz verweisen wir auf den [swisstopo Report 04-08] und den Bericht [swisstopo-Doku 23 – LV95 – Teil 15: Das Landesschwerenetz LSN2004].

2.5.3 Aufbau des Landesschwerenetzes LSN

Ab 2004 wurde das Landesschwerenetz LSN aufgebaut. Dieses hierarchisch aufgebaute Netz dient als Grundlage für lokale Schweremessungen, wie sie für die Korrektur des Landesnivellements oder in geophysikalischen Projekten benötigt wird. Es basiert im Wesentlichen auf seinem Vorgänger SG95 (Schweregrundnetz 1995), wobei nur einige in der Zwischenzeit zerstörte Punkte ersetzt wurden. Das Rückgrat



(Netz 0. Ordnung) des Landesschwerenetzes bilden absolute Schweremessungen auf ca. 10 Punkten in der ganzen Schweiz (siehe Abbildung 2-23). Diese stabil und dauerhaft versicherten Punkte werden in Zusammenarbeit mit dem Eidgenössischen Institut für Metrologie (METAS) mit dessen Freifallgravimeter FG5 (Seriennummer 209, 2012 umgebaut zu einem FG5x) beobachtet. Die erreichbare Genauigkeit einer Absolutmessung beträgt einige wenige μGal ($1 \mu\text{Gal} = 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$). Die Absolutstationen werden zur Kontrolle auch durch relative Schweremessungen untereinander verbunden. Diese Relativmessungen erfolgten ab 2005 mit einem Scintrex CG-5. Die Genauigkeit dieser Messungen liegt etwa in derselben Grössenordnung wie diejenige der Absolutmessungen. Verdichtet wird LSN2004 durch ein Netz 1. Ordnung, welches aus ca. 15 stabilen und gut zugänglichen Punkten des LHN und des LV95-Netzes besteht. Auf diesen Punkten werden nur relative Schweremessungen durchgeführt. Eine weitere Verdichtung (Netz 2. Ordnung) wird im Wesentlichen durch sämtliche LV95-Hauptpunkte gebildet.

Alle absoluten und relativen Schweremessungen des LSN werden gemeinsam ausgeglichen. Als Unbekannte treten neben den Schwerewerten der Punkte auch Driftparameter und Skalenfaktoren für die einzelnen Gravimeter auf. Die Standardabweichung eines Schwerewertes liegt heute bei stabilen Punkten zwischen 2 und 8 μGal .

Durch die Verknüpfung des LSN mit LV95 und dem LHN konnten insbesondere zusätzliche Dokumentations- und Unterhaltsarbeiten eingespart werden und das LSN konnte ohne grossen Zusatzaufwand in den Fixpunkt-Datenservice (FPDS) integriert und somit publiziert werden.

2.5.4 LSN 0. Ordnung

SG95 basierte auf absoluten Schweremessungen auf 5 Stationen in der Schweiz (Lausanne, Pratteln, Zürich, Monte Ceneri, Chur). Diese Punkte sollten auch für das LSN weiterhin verwendet werden. Leider wurde aber der Punkt in Pratteln zerstört, sowie auch der alte Absolutpunkt in Brig. Für diese beiden Punkte wurde ein Ersatz in der näheren Umgebung eingerichtet. Als Ergänzung zu den bereits bestehenden Absolutstationen wurden für das LSN noch die Punkte in Zimmerwald, in Wabern (am METAS), in Andermatt (als Ersatz für die schwer zugänglichen Punkte Bözberg und Guspisbach im Gotthard-Strassentunnel) und in Zerneß eingerichtet. Diese 10 Punkte werden ergänzt durch die 7 Punkte der Kalibrationslinie Interlaken–Jungfrauoch, 3 Punkte am CERN, dem Punkt im Felslabor Mont Terri, 3 Anschlusspunkten in Österreich und 2 Anschlusspunkten in Deutschland. Diese 26 Punkte bilden das LSN 0. Ordnung (siehe Abbildung 2-23). Die Absolutstation in Milano als Verbindung zum italienischen Netz wurde zerstört und kann nicht mehr verwendet werden. Die Verbindung zum französischen Netz ist zwar vorhanden, da aber die französischen Absolutmessungen mit geringerer Genauigkeit erfolgen, werden sie nicht als Bestandteil des LSN 0. Ordnung betrachtet.

Eine Absolutstation muss in einem geschlossenen Gebäude eingerichtet werden, da das FG5 kein feldtaugliches Gerät ist. Die Punkte werden wegen der Hoffnung auf Langzeit-Erhaltbarkeit vorzugsweise in Militäranlagen, Zivilschutzräumen und Kirchen eingerichtet. Sie sollen möglichst erschütterungsarm sein und ausserhalb von Grundwasserzonen liegen. Da sich die Absolutstationen meist in abgeschlossenen Räumen befinden, werden in unmittelbarer Umgebung frei zugängliche Exzentren eingerichtet, welche durch hochgenaue Relativmessungen mit der Absolutstation verbunden sind. Auf allen Absolutstationen muss der vertikale Schweregradient gemessen werden, um die Verknüpfung mit Relativmessungen überhaupt zu ermöglichen.

Mit dem METAS wurde eine Vereinbarung abgeschlossen, dass pro Jahr eine Messung in Zimmerwald erfolgt (als Beitrag zu ECGN) und 1–2 weitere Stationen pro Jahr beobachtet werden. Das Ziel ist, dass die Absolutmessungen auf einer Station mindestens alle 10 Jahre wiederholt werden und in der Gesamtausgleichung eine Standardabweichung von besser als 3 μGal erhalten. Dies konnte bisher auch eingehalten werden.



National Gravity Network LSN2004

Absolute Stations

- × destroyed
- absolute stations of LSN
- other absolute stations
- connection stations

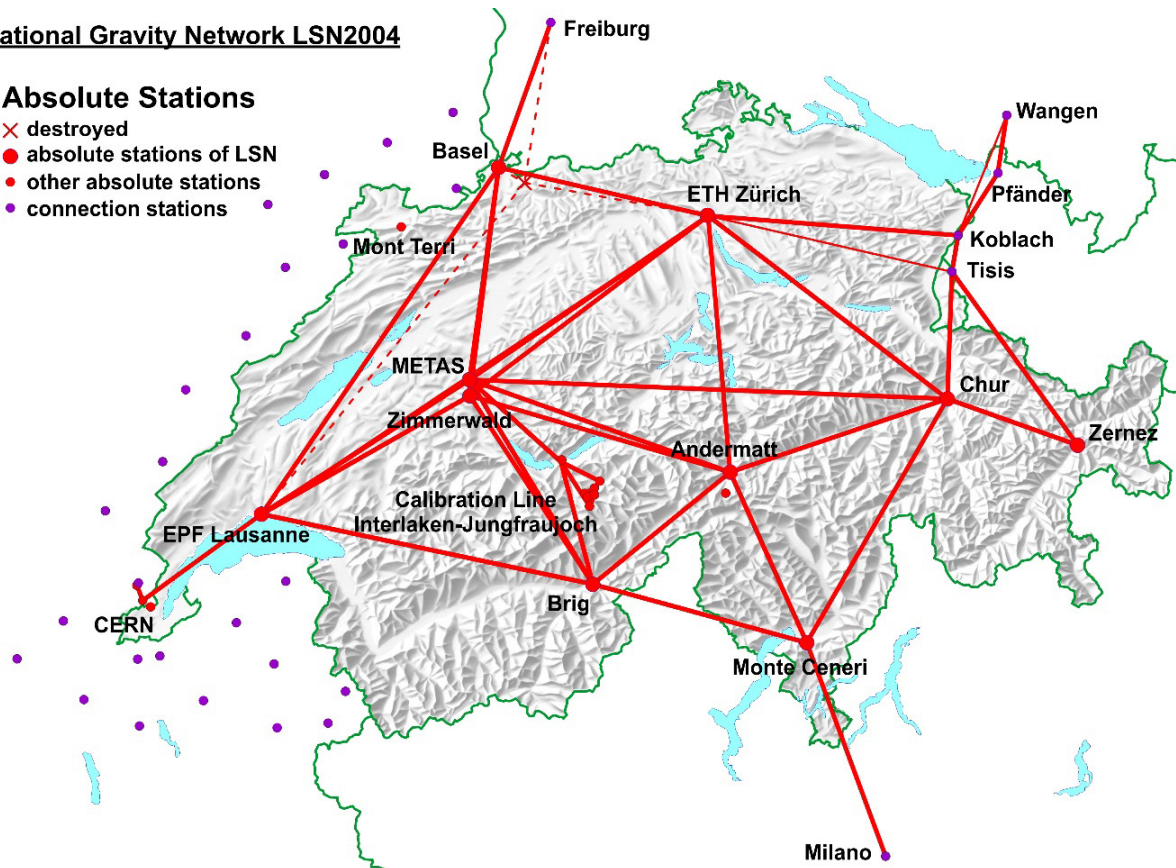


Abbildung 2-23: Schwerenetz 0. Ordnung des LSN und weitere Absolutstationen

2.5.5 LSN 1. – 2. Ordnung

Die Punkte des LSN 1. und 2. Ordnung werden mit Relativmessungen bestimmt. Die Unterscheidung zwischen den Punkten 1. und 2. Ordnung hat historische Gründe und wurde von SG95 so übernommen. Die Punkte 1. Ordnung sind stabil, sehr gut stationierbar und werden etwas häufiger gemessen als die Punkte 2. Ordnung. Dadurch erhalten sie in der Gesamtausgleichung tendenziell auch bessere Standardabweichungen.

Das LSN 1. Ordnung wird von 17 Punkten gebildet. Davon sind 5 LV95-Hauptpunkte (einer davon heute zerstört) und 12 sind HFP1 für die Verbindung zum LHN und zu den älteren Schwerenetzen. Die Genauigkeit der ausgeglichenen Schwerewerte der Punkte 1. Ordnung liegt in der Grössenordnung von 2–4 μGal .

Das Grundnetz 2. Ordnung wird im Wesentlichen durch die LV95-Hauptpunkte gebildet. Hinzu kommen noch 2 HFP1 in St. Margrethen und Vinadi als weitere Verbindungen zum österreichischen Schwerenetz und die 4 Punkte (HFP2) der Eichstrecke Mollendruz der Uni Lausanne. Die Genauigkeit dieser Punkte ist mit 2–10 μGal (im Mittel 5 μGal) nur unwesentlich schlechter als diejenige der Punkte 1. Ordnung.

Die Relativmessungen im LSN begannen 2005 und hatten bis 2009 den Hauptzweck, die neuen Absolutstationen (Brig, Basel, Andermatt, Zerne) mit dem übrigen Netz zu verbinden. Diese Messungen erfolgten bis 2007 mit dem Scintrex CG-5 der Universität Lausanne. Ab 2009 konnte das von swisstopo und der ETH Zürich gemeinsam beschaffte CG-5 eingesetzt werden. Ab 2012 erfolgte dann eine systematische Neu-messung des gesamten Netzes 0. bis 2. Ordnung. Die Erstmessung war 2015 abgeschlossen. Bis heute wurden alle Punkte mindestens zwei Mal beobachtet. Das Ziel ist, jeden Punkt mindestens alle 5 Jahre zu beobachten und eine Standardabweichung von besser als 8 μGal zu erreichen.



Landesschwerenetz 0. bis 2. Ordnung

- Absolutpunkte (0. Ordnung)
- Punkte 1. Ordnung
- Punkte 2. Ordnung
- Verbindungspunkte zum Ausland
- zerstörte Punkte



Abbildung 2-24: Landesschwerenetz 0. bis 2. Ordnung

2.5.6 LSN 3. Ordnung

Als Erweiterung zum Konzept von 2004 [swisstopo Report 04-08] wurde ab 2015 damit begonnen, das LSN zu verdichten und es wurde ein LSN 3. Ordnung eingeführt. Ziel dieser Erweiterung sind einerseits kürzere Anfahrtswege für lokale Messkampagnen, andererseits aber vor allem eine bessere Verknüpfung mit älteren Schwerenetzen. Dadurch soll eine Genauigkeitsabschätzung und Transformation älterer Schweremessungen, längerfristig aber auch eine Bestimmung von Schwereänderungen ermöglicht werden.

Deshalb besteht das LSN 3. Ordnung vor allem aus HFP1 (und HFP2), welche schon in früheren Schweregrundnetzen verwendet wurden. In Regionen ohne HFP-Netze werden in erster Linie LV95-Verdichtungs-punkte verwendet. Auch die Punkte 3. Ordnung sind in die Gesamtausgleichung des LSN integriert. Da aber teilweise diese Punkte nicht sehr stabil sind und noch nicht oft beobachtet wurden, erhalten sie häufig deutlich schlechtere Standardabweichungen als die Punkte 2. Ordnung.

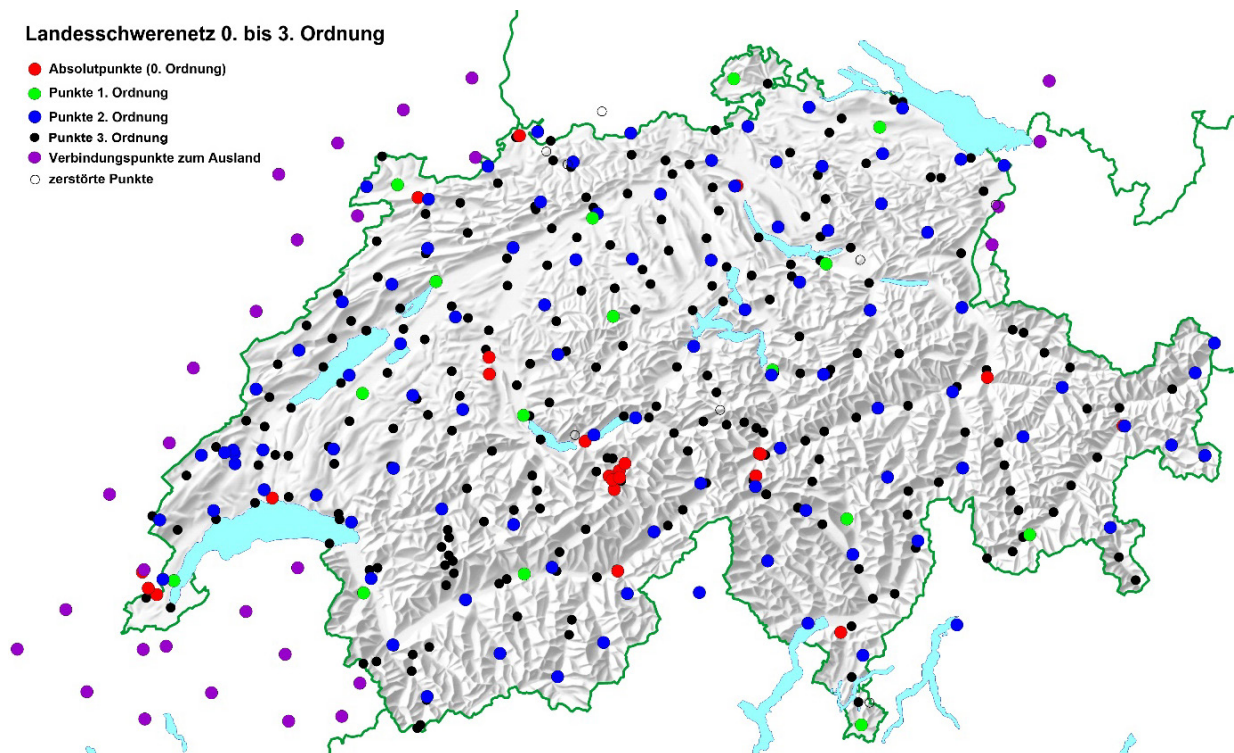


Abbildung 2-25: LSN 0. bis 3. Ordnung (Stand 2020)

2.5.7 Kalibrationsstrecke Interlaken–Jungfrauoch

Der Massstabsfaktor eines Relativgravimeters wird vom Hersteller bestimmt, muss aber dennoch regelmässig überprüft und allenfalls angepasst werden. Dies geschieht üblicherweise auf einer gravimetrischen Kalibrationslinie (Eichstrecke) mit absoluten Schwerestationen und mit einem möglichst grossen Schwereunterschied, welcher sich am einfachsten durch einen möglichst grossen Höhenunterschied zwischen den Stationen erreichen lässt.

Deshalb wurde schon 1980 eine Eichstrecke zwischen Interlaken und dem Jungfrauoch eingerichtet, bei welcher die beiden Endpunkte absolut beobachtet wurden. Ergänzt wurde die Kalibrationslinie durch 5 Zwischenpunkte, welche nur relativ gemessen wurden. Insgesamt beträgt der Schwereunterschied auf der Kalibrationslinie mehr als 600 mGal.

Die Aktivitäten an der Eichstrecke wurden 2010 in einem gemeinsamen Projekt von swisstopo, der ETH Zürich und dem METAS wieder aufgenommen. Zwischen 2010 und 2015 wurden auf 7 Stationen Absolutmessungen durchgeführt (Interlaken, Grindelwald, Alpiglen, Kleine Scheidegg, Eigergletscher, Eigerwand, Jungfrauoch). Die Stationen liegen an einfach zugänglichen Orten in der Nähe der alten Stationen von 1980 – also mehrheitlich bei den Haltestellen der Jungfrauobahn zwischen Grindelwald und dem Jungfrauoch (Marti, 2017).

Eine erste grössere Messkampagne mit Relativgravimetern erfolgte 2013 mit 3 unterschiedlichen Typen von Gravimetern (Scintrex CG-5, ZLS Burris, LaCoste&Romberg). In einer weiteren erwähnenswerten Kampagne 2017 konnten alle 4 in der Schweiz vorhandenen CG-5 (ETHZ/swisstopo, Uni Lausanne, Uni Neuchâtel, RBR/geo2x) untereinander verglichen werden.

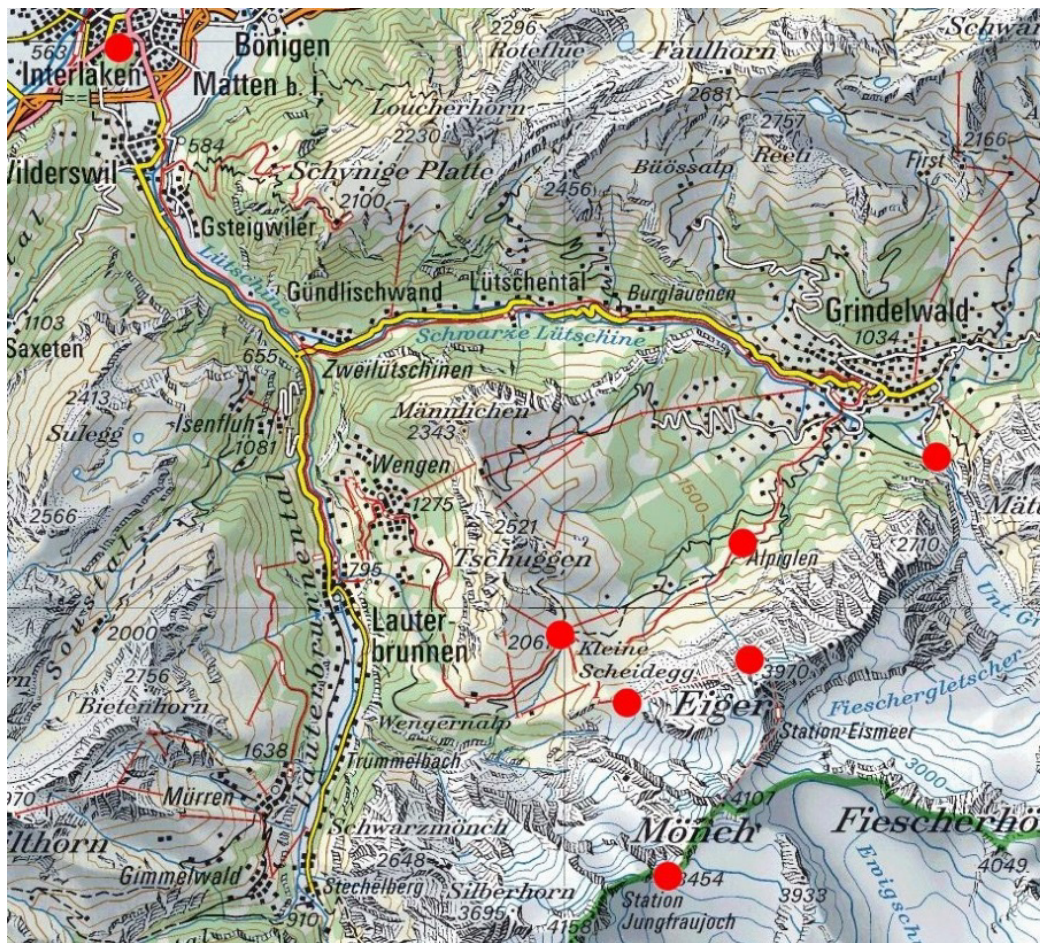


Abbildung 2-26: Absolutstationen der Eichstrecke Interlaken-Jungfrauoch

2.5.8 Schweren für das LHN (LSN 4. Ordnung)

Neben dem Schwerenetz 0. bis 3. Ordnung werden auch die Schweremessungen auf Punkten des LHN als Bestandteil des LSN betrachtet. Diese Messungen sind nötig, um geopotentielle Knoten zu berechnen und daraus Normalhöhen und orthometrische Höhen zu bestimmen. Seit 1974 werden auf denjenigen Linien des LHN, welche neu nivelliert werden, normalerweise im gleichen Jahr auch Schweremessungen durchgeführt. Dabei ist es nicht nötig, dass auf allen Punkten des LHN Schweremessungen durchgeführt werden. Auf Punkten ohne gemessene Schwere lässt sich aus Messungen auf umliegenden Punkten der Schwerewert mit einer Genauigkeit von ca. 1 mGal interpolieren, was für die Berechnung von geopotentiellen Knoten mit Sub-mm-Genauigkeit ausreicht. Als Faustregel gilt, dass etwa jeden Kilometer und in steilem Gelände etwa alle 30 Höhenmeter (10 mGal Schwereunterschied) eine Schwere gemessen werden soll.

Die Schweremessungen für das LHN sind nicht in die Gesamtausgleichung des LSN integriert, sondern werden als Einzel-Kampagnen ausgewertet. Gelagert werden diese aber auf LSN-Punkten 0. bis 2. Ordnung.

Bis heute wurden auf ca. 7000 HFP1 und LHN-Hilfspunkten Schweren gemessen. Seit 2018 sind auf sämtlichen Linien des LHN (Haupt- und Nebenlinien) Schweremessungen vorhanden. Dokumentiert sind diese im Fixpunkt-Datenservice (FPDS) bei den jeweiligen HFP.

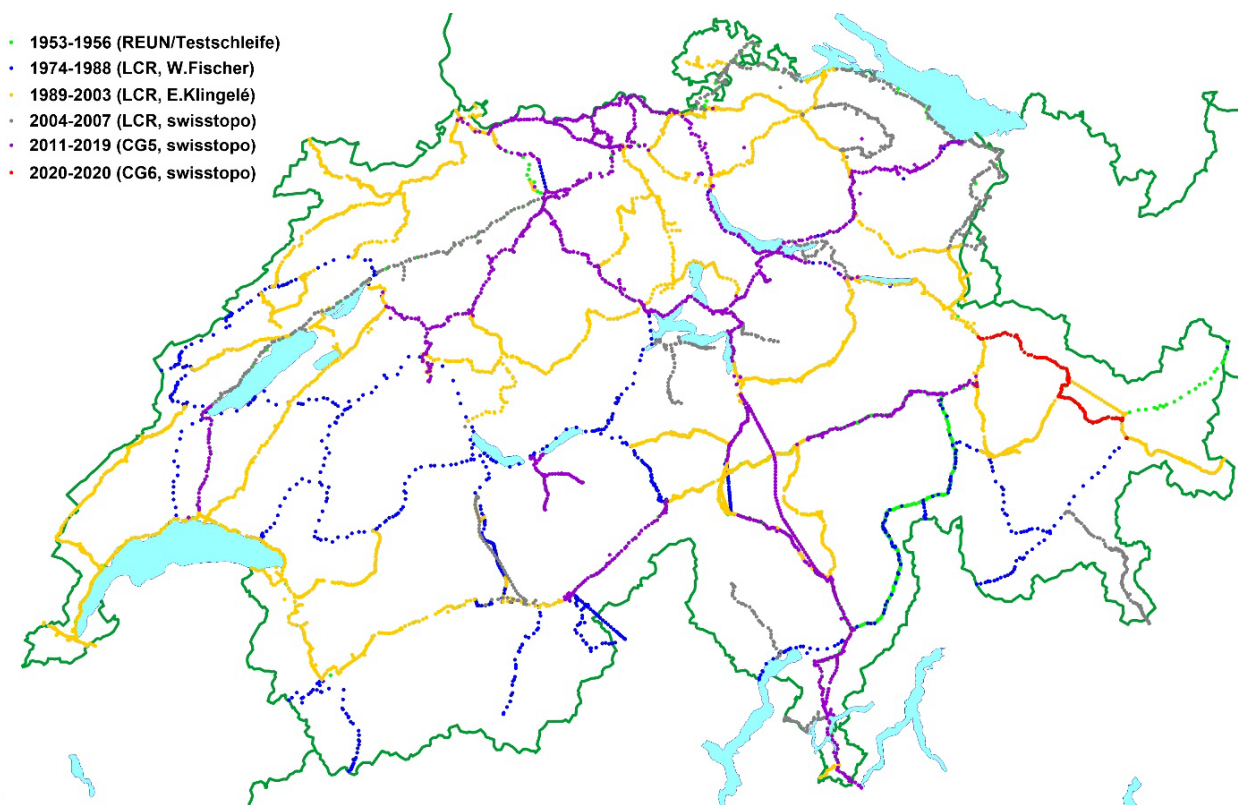


Abbildung 2-27: Schweremessungen für das LHN (Stand 2020)

2.5.9 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen

Die Einrichtung des LSN ist abgeschlossen. Alle nötigen Absolutstationen und die Kalibrationslinie Interlaken-Jungfrauoch sind eingerichtet und mindestens einmal vermessen. Alle Punkte 1. und 2. Ordnung sind bisher mindestens zweimal beobachtet worden. Durch die Integration eines Netzes 3. Ordnung ist auch eine gute Verknüpfung mit älteren Schwerenetzen erreicht. Nach jeder grösseren Messkampagne erfolgt standardmässig eine Gesamtausgleichung des ganzen Netzes 0. bis 3. Ordnung. Dokumentiert und öffentlich zugänglich sind die Schwerewerte hauptsächlich über map.geo.admin.ch, wo jeweils die aktuellsten Werte publiziert werden.

Die Absolutmessungen sollen auch weiterhin alle 10 Jahre wiederholt werden um die Stabilität der Stationen zu überprüfen und längerfristig säkulare Schwereänderungen nachzuweisen. Auch die Punkte 1. bis 3. Ordnung sollen weiterhin regelmässig beobachtet werden um das Netz auch über längere Zeit aufrechtzuerhalten.

Die Schweremessungen für das LHN sollen weitergeführt werden. Erstes Ziel ist es, die Messungen aus den 1950er Jahren durch bessere, neue Messungen zu ersetzen.



Tabelle 2-6: Landesschwerenetz LSN2004: Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2020	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none">• Das LSN2004 ist eingerichtet und erstmals vollständig vermessen.• Die Resultate der Ausgleichung liegen vor und sind auf map.geo.admin.ch publiziert.• Auf allen Linien des LHN liegen seit 2018 Schweremessungen vor.• swisstopo ist in der Lage, sämtliche Relativmessungen selbständig durchzuführen.• Die Zusammenarbeit mit dem METAS für absolute Schweremessungen hat sich gut etabliert.	<ul style="list-style-type: none">• Wiederholen der Absolutmessungen in einem Rhythmus von 10 Jahren.• Unterhalt des Netzes durch regelmässige Relativmessungen.• Bestimmung von säkularen Schwereänderungen im Kontext mit dem kinematischen Modell CHKM95.• Ersetzen der alten Schweremessungen für das LHN.• Aufbau einer Datenbank sämtlicher Schweremessungen der Schweiz.

Referenzen zu 2.5:

Die *swisstopo Reports* und weitere Publikationen zu Schweremessungen, zum Schweregrundnetz und zum Landesschwerenetz LSN2004 sind im Anhang 2.3.5.



2.6 Landeshöhennetz LHN95

2.6.1 Strategische Zielsetzung

swisstopo erarbeitet im Rahmen des Landesvermessungswerks LVW95 ein neues, potentialtheoretisch strenges Landeshöhennetz (LHN95) unter Berücksichtigung von zeitlichen Höhenänderungen und mit Anbindung an die europäischen Höhenbezugsrahmen. Zu seiner Realisierung werden die Messungen des Landesnivellements aller Epochen, Schwere- und GNSS-Messungen (LV95, AGNES) sowie ein Geoidmodell in einer kinematischen Ausgleichung verwendet. Der daraus entstehende Höhenbezugsrahmen (LHN95) wird als primäre Referenz der Landesvermessung betrachtet. Solange von der amtlichen Vermessung (AV) benötigt, wird der bisherige, verzerrte Höhenbezugsrahmen (Gebrauchshöhensystem LN02) daraus abgeleitet.

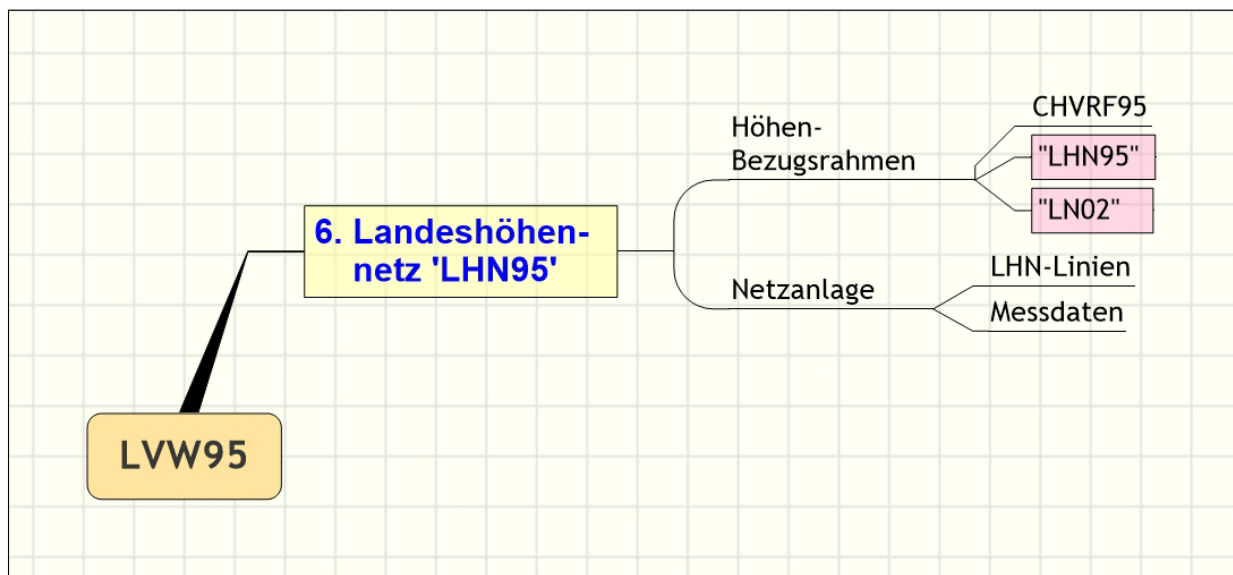


Abbildung 2-28: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 6 – Landeshöhennetz LHN95

2.6.2 Arbeiten am Teilprojekt Landeshöhennetz LHN95

Mit dem Projekt «Landesvermessung 1995» war von Anfang an geplant, einen modernen, auf einem potentialtheoretisch strengen Höhensystem basierenden Höhenbezugsrahmen einzuführen. Das Landeshöhennetz LHN95 sollte zusammen mit dem neuen Geoidmodell die Verwendbarkeit der satellitengeodätischen Messmethoden für die Höhenbestimmung verbessern. Eine vollständige Neumessung der Linien des Landesnivellements stand dabei nie zur Debatte. Das neue Landeshöhennetz LHN95 stützt sich im Wesentlichen auf die grösstenteils mehrmals wiederholten Nivellements- und Schweremessungen ab, welche seit 1903 bis heute auf den Linien des Landesnivellements getätigt wurden (vgl. Abbildung 2-29).



National Levelling Network Measurements 1903 - 2021

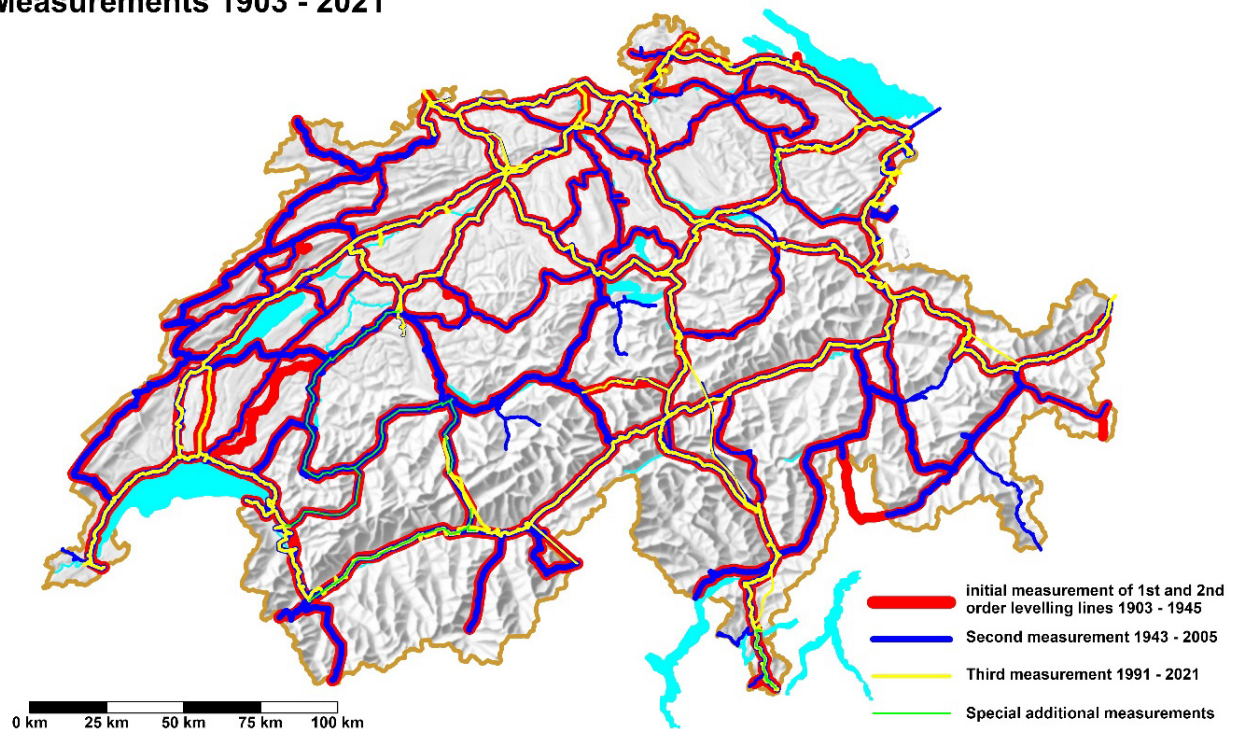


Abbildung 2-29: Messungen im Landeshöhennetz von 1903–2021

Vor allem hinsichtlich einer soliden Höhengrundlage für grossräumige Ingenieurprojekte wie z.B. die beiden alpenquerenden Basistunnels Gotthard und Lötschberg (AlpTransit) wurde ab 1996 die Digitalisierung der Landesnivellementmessungen vorangetrieben. Im Gegensatz zu den offiziell gültigen Gebrauchshöhen der amtlichen Vermessung (AV), dem Höhenbezugsrahmen des Landesnivellements LN02 werden die Höhen im LHN95 potentialtheoretisch streng als orthometrische Höhen über dem Geoid berechnet und ausgeglichen. Nebst der Berücksichtigung der räumlichen Variation des Erdschwerefeldes sind auch die rezenten tektonischen Bewegungen der Messpunkte modelliert, indem die wiederholten Messungen des Landesnivellements einer kinematischen Ausgleichung unterzogen werden (vgl. Abbildung 2-30).

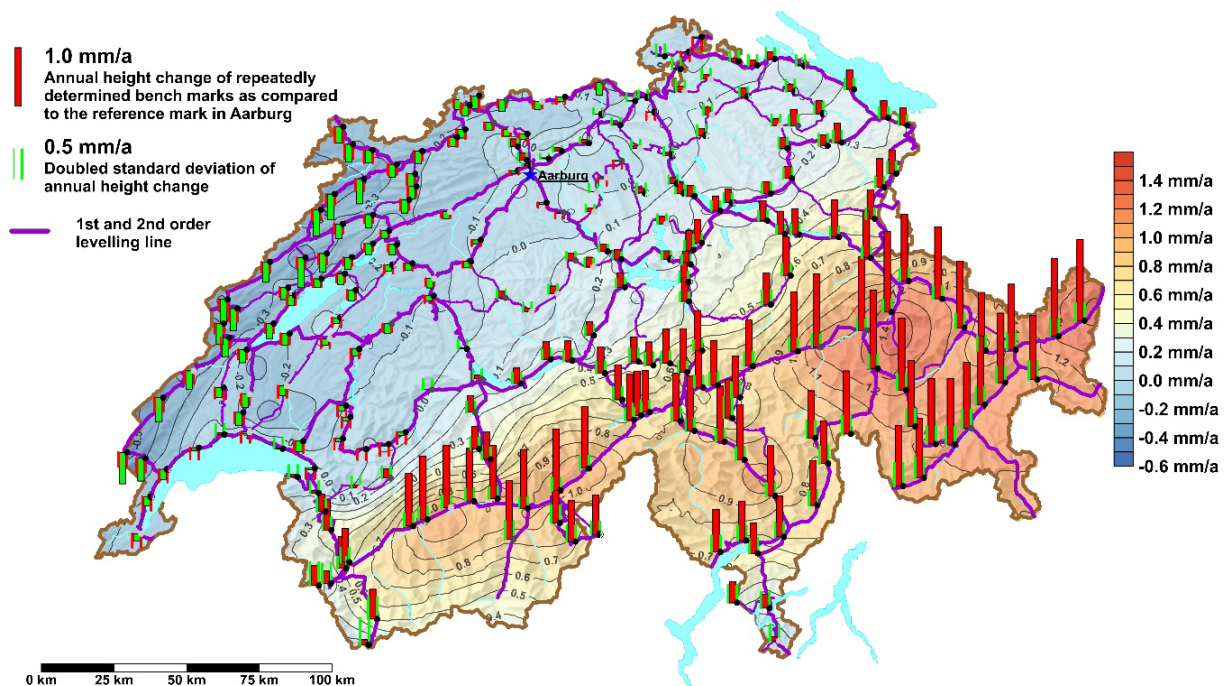


Abbildung 2-30: Rezente Höhenänderungen aus den Landesnivellementmessungen (Stand 2021)

LHN95 kann aber (trotz der Alpenhebung von bis zu 1.5 mm/Jahr) als statischer Rahmen betrachtet werden. Mit dem kinematischen Modell des LHN95 (RCM04-Modell) werden die Höhen auf den Referenzzeitpunkt $t_0 = 1993.0$ umgerechnet. Auch wurde bewusst darauf verzichtet, den Höhenhorizont zu ändern. Das Schwerepotential bzw. die orthometrische Höhe des Fundamentalpunktes in Zimmerwald wurde so festgelegt, dass der Repère Pierre du Niton als ideeller Ausgangspunkt die Höhe 373.6 m ü. M. beibehält. Relativ zu Zimmerwald resultieren schweizweit Höhen mit maximalen mittleren Fehlern von 2 cm. Der grosse Nutzen von LHN95 entsteht aber in erster Linie im Zusammenspiel zwischen den ellipsoidischen Höhen aus LV95 und dem Geoidmodell (Abbildung 2-31).

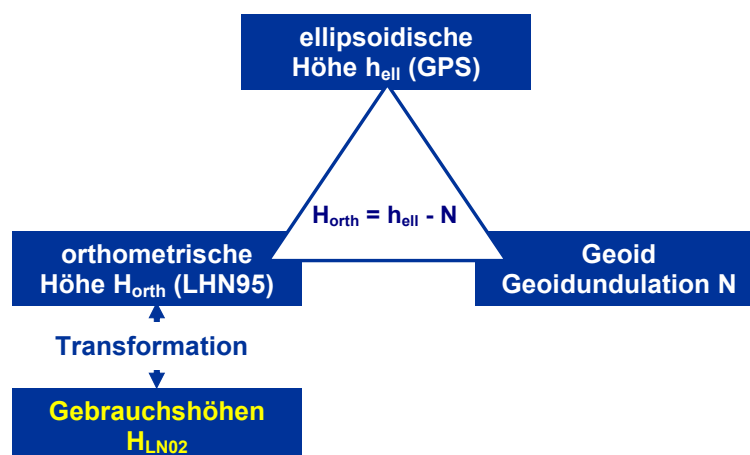


Abbildung 2-31: Zusammenhang zwischen Geoid, Ellipsoid und LHN95 sowie den Gebrauchshöhen LN02

Um die Konsistenz zwischen Geoidmodell, orthometrischen Höhen LHN95 und den ellipsoidischen Höhen zu erreichen, wurden 193 GNSS/Nivellementpunkte in LHN95-Höhen berechnet und damit das Geoidmodell quasi gezwängt gelagert (vgl. Kapitel Geoidmodell CHGeo2004).



Bei einer allfälligen offiziellen Einführung von LHN95 in der Vermessungspraxis (amtliche Vermessung, GIS etc.) stellen sich unter anderem die folgenden Fragen:

- LV95-Koordinaten können durch ein spezifisches False Northing / False Easting deutlich gekennzeichnet werden, sodass eine Verwechslung mit LV03-Daten vermieden werden kann. Dies ist bei den Höhen nicht so einfach möglich. Die Höhenwerte in den Bezugsrahmen LN02 und LHN95 unterscheiden sich nur im Dezimeterbereich (vgl. Abbildung 2-32), sodass eine grosse Gefahr von Verwechslungen bei der Verwendung in Listen und Plänen besteht.
- Ein weiteres Problem entsteht durch die neotektonische Kinematik der obersten Erdkruste, welche sich bei einem Höhenbezugsrahmen mit Millimetergenauigkeit schon nach wenigen Jahren deutlich bemerkbar macht. Würde man den LHN95-Höhenbezugsrahmen 2023 mit dem Referenzzeitpunkt $t_0=1993.0$ statisch einführen, ergäben sich z.B. beim Höhenunterschied zwischen Saignelégier (JU) und Bonaduz (GR) bereits systematische Abweichungen von ca. 6 cm (vgl. Abbildung 2-30).
- Ein modernes Höhensystem der Schweiz sollte europakompatibel sein, d.h. sowohl bezüglich Systemwahl (Normal- oder orthometrisches System) wie auch bezüglich Höhendatum (Ausgangshorizont) an das zukünftige europäische Höhenreferenzsystems (EVRS) angepasst oder angebunden sein.

Die Verantwortlichen der Landesvermessung konnten sich im Jahre 2001 mit ihrem Ansinnen nicht durchsetzen, mit LHN95 die Gebrauchshöhen LN02 abzulösen. Unabhängig von diesem Entscheid war schon immer geplant, mit LHN95 auch eine approximative Umrechnungsmöglichkeit in den Gebrauchshöhenrahmen LN02 zu verwirklichen. Die Transformationssoftware HTRANS steht seit 2005 zur Verfügung und ist heute auch im Programm REFRAME integriert. Die Unterschiede zwischen LHN95 und LN02 sind in Abbildung 2-32 auf 1430 Stützpunkten des Landeshöhennetzes dargestellt.

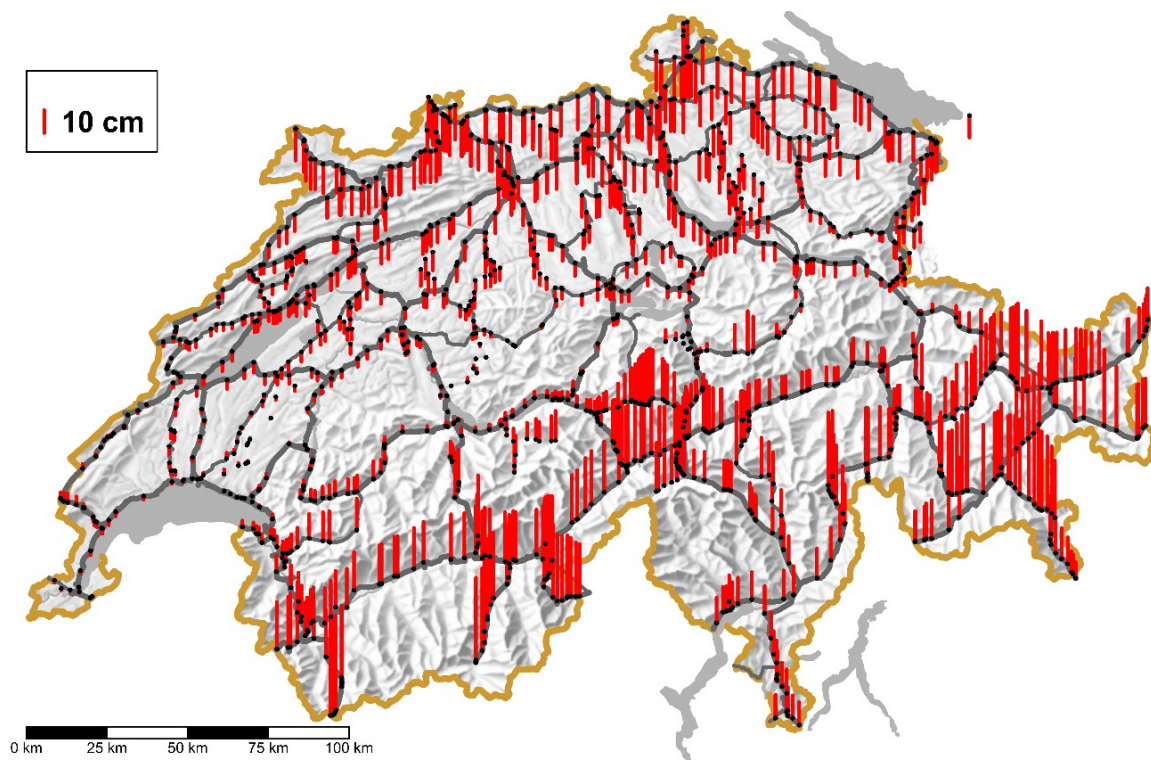


Abbildung 2-32: Die Linien des Landeshöhennetzes mit den Differenzen zwischen LHN95 und LN02 auf ca. 1430 Stützpunkten

Die Ergebnisse der Berechnung des neuen Höhenbezugsrahmens LHN95 bildeten die Grundlage für die erfolgreichen Tunnel-Durchschläge an den drei AlpTransit-Basistunnels Lötschberg (38 km, 2005), Gotthard (57 km, 2010) und Ceneri (15 km, 2016) in Bezug auf die Höhe. Bei allen drei Basistunnels konnte man sich auf die vorhandenen Nivellements- und Schweremessungen des Landeshöhennetzes und die Berechnungen für LHN95 verlassen. Nur wenige lokale Anschlussnivellements vom Landeshöhennetz an die geplanten Portale waren zusätzlich notwendig [Schlatter et. al. 2016].

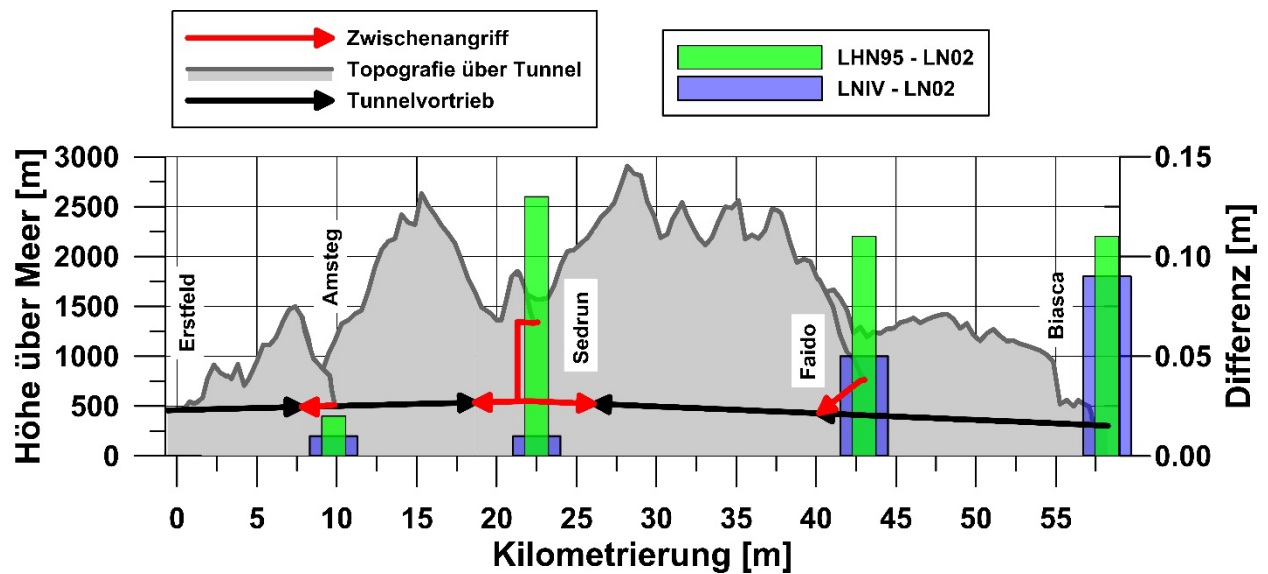


Abbildung 2-33: Querprofil durch den Gotthard Basistunnel mit Zwischenangriffen (rot) und den Differenzen LHN95 – LN02 und «beobachtete Nivellementhöhen (LNIV)» – LN02

Weniger bekannt ist, dass die weiterhin gültigen Gebrauchshöhen (LN02) zu grossen Teilen auf den Messungen des Nivellement de Précision von 1864–1891 der Schweizerischen Geodätischen Kommission SGK beruhen. Bis auf ausgeprägte Senkungspunkte weichen die jeweiligen Höhen auf heute noch existierenden Punkten nur im cm-Bereich voneinander ab (Abbildung 2-34). Somit prägen die Arbeiten der 150-jährigen SGK die Gebrauchshöhen (LN02) in der Schweiz bis zum heutigen Tag.

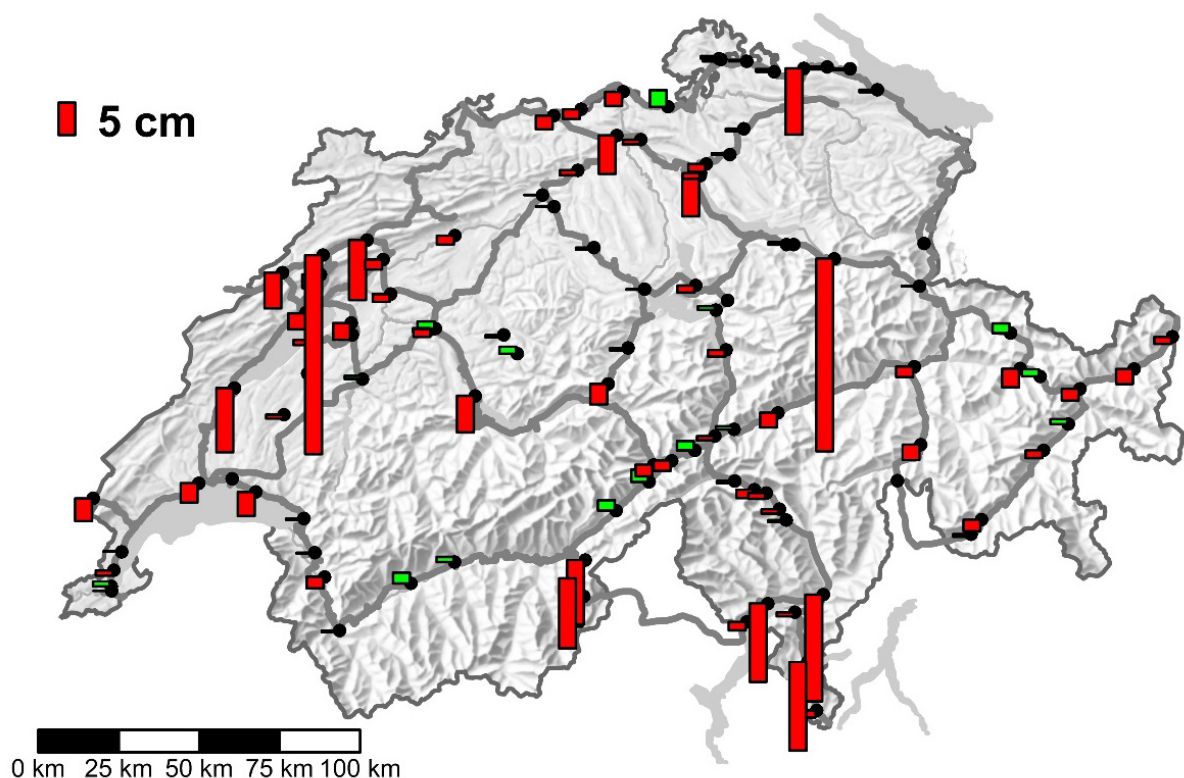


Abbildung 2-34: Differenzen zwischen den heutigen offiziellen Gebrauchshöhen LN02 und den Höhen des Nivellement de Précision (1864-1891) der Schweizerischen Geodätischen Kommission SGK



Die Arbeiten für das neue Landeshöhennetz sind im Wesentlichen in der *SGK-Publikation* Nr. 72 [Schlatter 2007] sowie den beiden *swisstopo Dokus* Nr. 20 [Schlatter und Marti 2007] und Nr. 21 [Vogel et. al. 2009] umfangreich festgehalten.

2.6.3 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen

Tabelle 2-7: Landeshöhennetz LHN95: Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2020	Mögliche zukünftige Entwicklung
<ul style="list-style-type: none">• Konzept für strenges Höhensystem und Höhenbezugsrahmen liegt vor.• Methodik für die strenge, kinematische Ausgleichung des LHN ist entwickelt.• Messdaten des LN seit 1902 sind erfasst und aufbereitet.• Netzanlage LHN95 ist bereinigt, in gutem Zustand und dokumentiert.• Neumessungen sind komplettiert (d.h. alle Linien sind mindestens in 2 Epochen gemessen).• Bezugsrahmen (Höhen der Hauptpunkte) ist berechnet und offiziell «released».• Projekt ist dokumentiert (SGK-Bericht, swisstopo-Doku).• swisstopo beteiligt sich aktiv an den Arbeiten für die Einführung des europäischen Höhenreferenzsystems (EVRS) und dessen Realisierung.	<ul style="list-style-type: none">• swisstopo erarbeitet Grundlagen für ein neues, an den globalen und europäischen Systemen angelehntes Höhensystem für die künftige Landesvermessung und die Geobasisdaten.• swisstopo beteiligt sich an den Vorabklärungen zur offiziellen Einführung eines neuen Höhensystems für die amtliche Vermessung und alle Vermessungen in der Schweiz.• Auf der Basis eines neuen Höhensystems (oder dem bestehenden LHN95) werden die Höhen sämtlicher HFP1 (Höhen aller Zwischenpunkte) berechnet und publiziert.• Einsatz von GNSS (Galileo) bei der Höhenbestimmung wird abgeklärt (allenfalls Ersatz des Landesnivellements).

Referenzen zu 2.6:

Für *Technische Berichte* und *swisstopo Reports* sowie weitere Publikationen zum Landeshöhennetz LHN95 vgl. Anhang 2.3.6.



2.7 Kombiniertes Geodätisches Netz CH-CGN

2.7.1 Strategische Zielsetzung

Kollokation der verschiedenen geodätischen Messverfahren und -aktivitäten (SLR, GNSS, Nivellement und Schwere, Astrogeodäsie etc.) im Fundamentalpunkt Zimmerwald. Verknüpfung und Integration der verschiedenen Landesvermessungsnetze (AGNES, LV95, LHN95 und Landesschwerenetz LSN) durch GNSS-Levelling zu einem kombinierten nationalen Referenznetz (CH-CGN), welches mit den übergeordneten europäischen Referenznetzen (ECGN, EPN, EUREF, EUVN etc.) kompatibel ist. Mittels einer Gesamtausgleichung der geometrischen und der schwerefeldbezogenen Höhendaten zusammen mit dem Geoidmodell entstehen die drei konsistenten Datensätze CHTRFxx-C, LHN95-C und CHGeo2004-C.

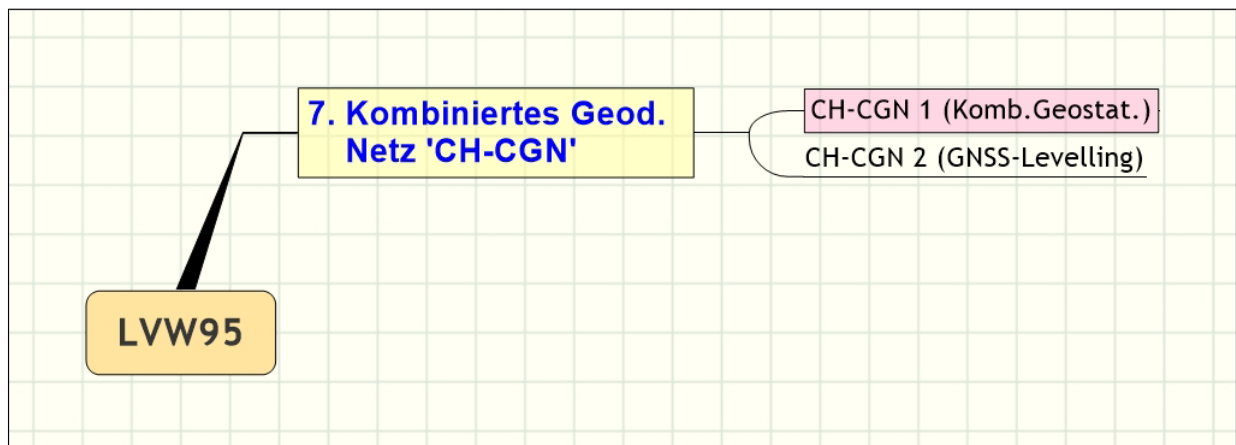


Abbildung 2-35: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 7 – Kombiniertes Geodätisches Netz CH-CGN

2.7.2 European Combined Geodetic Network ECGN

Die Sub-Commission for Geodetic Networks in Europe (EUREF) der International Association of Geodesy (IAG), in welcher alle Landesvermessungsinstitute Europas vertreten sind, hat anlässlich ihres Symposiums 2002 in Portugal ein internationales Projekt für die Entwicklung eines «European Combined Geodetic Network (ECGN)» initialisiert. Das Projekt hatte die Kombination von räumlichen (geometrischen) Messnetzen mit auf das Schwerfeld bezogenen Netzen zu einem einheitlichen integrierten Referenzsystem zum Ziel. ECGN wird als ein europäischer Beitrag zum «Global Geodetic Observing System» (GGOS) verstanden.

In einer ersten Phase sollte ein europäisches Netz von ECGN-Stationen aufgebaut werden, auf welchen permanente, hochgenaue Positionsbestimmungen mittels VLBI, SLR und GNSS durchgeführt werden sollen. Auf den gleichen Stationen sollen periodische Messungen mit absoluten Gravimetern im Microgal-Bereich oder permanente Messungen mit supraleitenden Gravimetern erfolgen. In einer späteren Phase ginge es dann um die methodische Entwicklung zur kombinierten Ausgleichung der verschiedenen Messdaten, um insbesondere die Konsistenz in der Höhenbestimmung zu erreichen und auch zeitliche Veränderungen zu modellieren.

Neben den eigentlichen CORE-Stationen des ECGN, wo mehrere geodätische Messtechniken im Einsatz sind, besteht dieses Netz aus den folgenden wichtigsten Bestandteilen:

- europäisches GNSS-Permanetnetz (EPN)
- europäisches Nivellementnetz (UELN)
- GPS/Nivellement-Stationen des European Vertical Network (EUVN und EUVN-DA)
- europäische Geoidmodelle (EGG)
- wichtigsten Pegelstationen
- absolute Schwerestationen



- europäisches Schwerenetz (UEGN)
- permanente Gezeitengravimeter (vor allem supraleitende Gravimeter)

Als wesentlicher Bestandteil gelten auch die lokalen Einmessungen (Local Ties) auf den CORE-Stationen, um die unterschiedlichen Beobachtungstechniken mittels mikrogeodätischer Netze mit hoher Genauigkeit untereinander zu verbinden.

2.7.3 Geostation Zimmerwald

Als Schweizer Beitrag zu ECGN gelten insbesondere die geodätischen Aktivitäten auf der Geostation Zimmerwald, welche eine CORE-Station des ECGN ist. Bis 2003 konzentrierten sich diese Arbeiten hauptsächlich auf die räumlichen Messverfahren (SLR und GNSS). Absolute Schweremessungen waren bis dahin nur in einer einmaligen Aktion 1997 durchgeführt worden. Permanente relative Schweremessungen im Rahmen von Erdgezeiten-Beobachtungen werden seit 1995 durchgeführt. Seit 2004 erfolgen in der Regel jährlich absolute Schweremessungen durch das METAS, welche auch als Beobachtungen in das Landesschwerenetz (LSN2004) eingehen. Der Anschluss der Geostation ans Landesnivellement mit einer LN-Linie von Wabern nach Zimmerwald erfolgte erstmals 1995 und wurde seither zweimal wiederholt. Die lokalen Einmessungen auf der Station werden regelmässig durchgeführt.

Ein weiterer Beitrag der Schweiz zu ECGN ist die aktive Beteiligung an europäischen Projekten wie z.B. an EPN oder UELN.

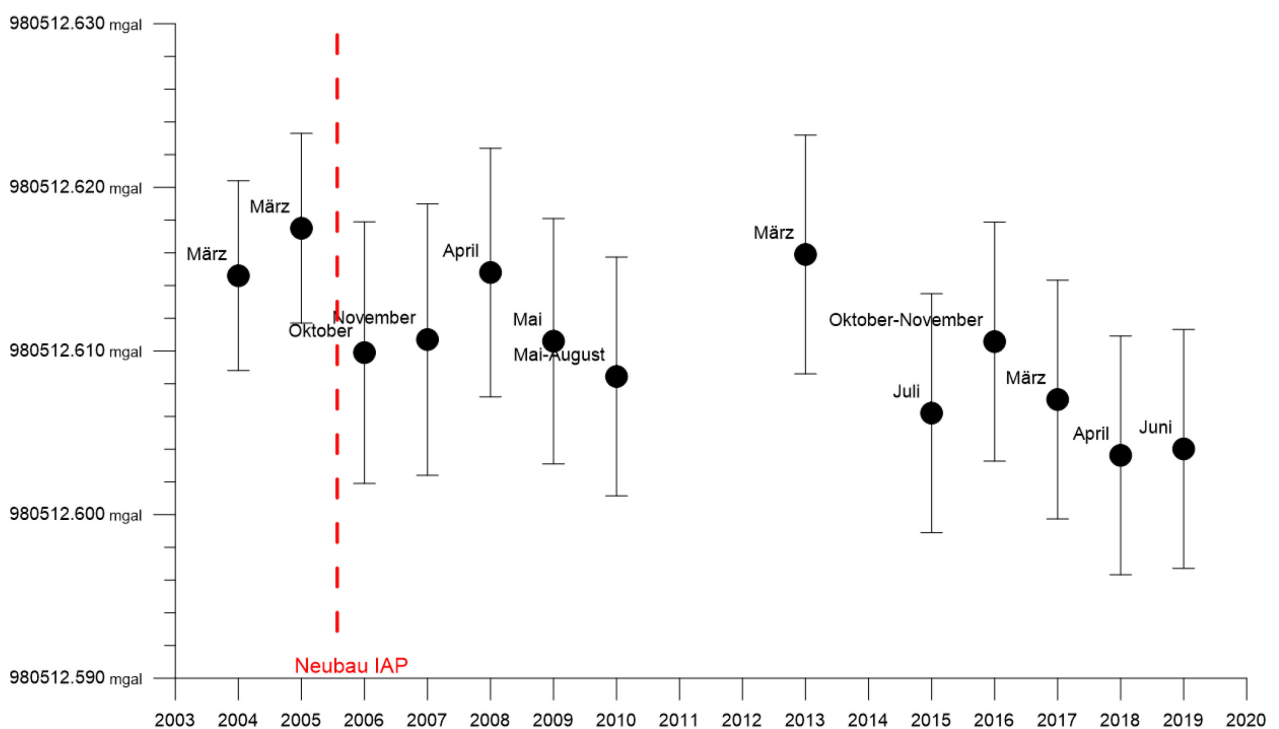


Abbildung 2-36: Absolute Schweremessungen in Zimmerwald seit 2004



Earth-Tide Measurements January/February 2009 Zimmerwald

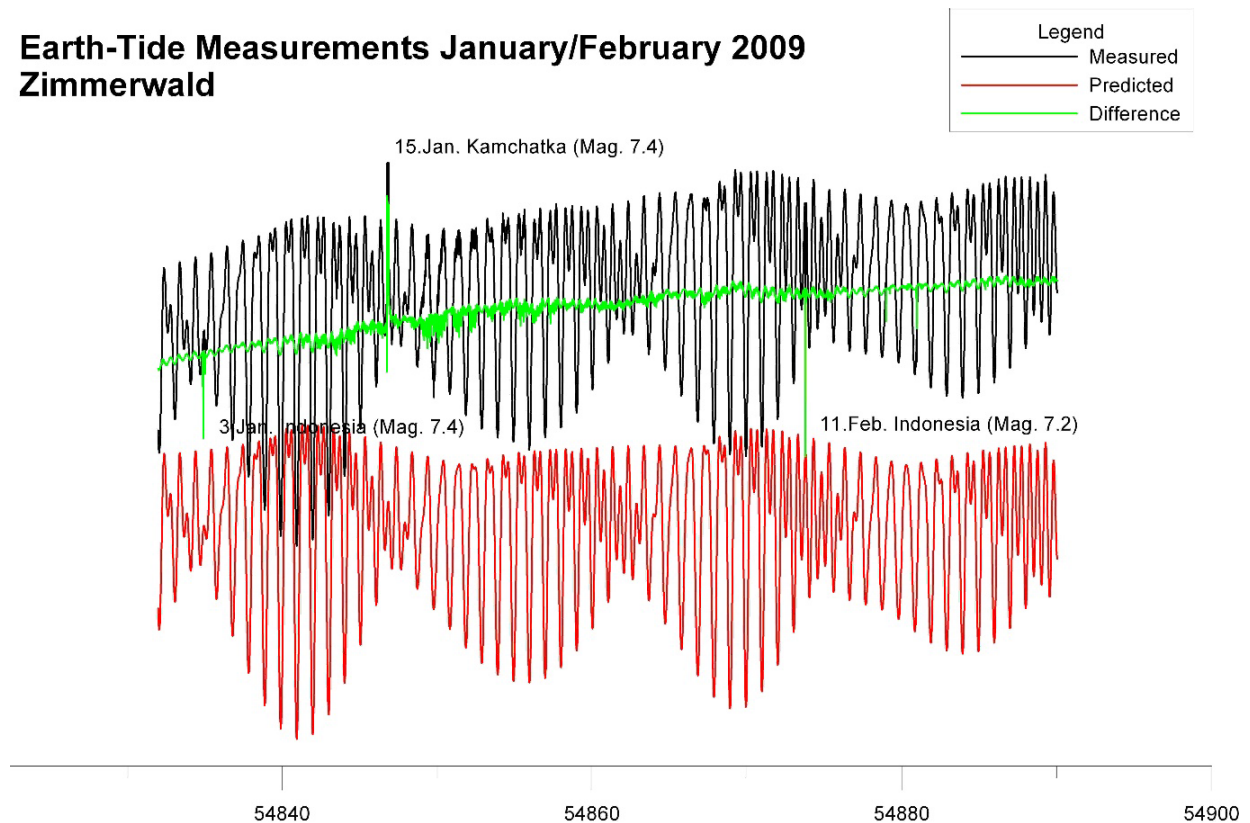


Abbildung 2-37: Daten des Gezeitengravimeters Lacoste&Romberg ET25 über zwei Monate in Zimmerwald

2.7.4 Netz-Kombination CH-CGN

Die Ziele von ECGN sind natürlich auch auf der nationalen Ebene gültig. Die verschiedenen geodätischen Netze müssen kombiniert und zu einem konsistenten Gesamtnetz zusammengefasst werden. Im Vordergrund steht dabei die Höhenkomponente, aber auch das Geschwindigkeitsfeld.

Gemäss dem Konzept «Combined Geodetic Network» sollen die verschiedenen geodätischen Messnetze wie GNSS-, Nivellement- und Schwerenetze sowie astrogeodätische Netze etc. unter Berücksichtigung von Geoidmodellen zu einem in sich konsistenten geodätischen Referenznetz der Landesvermessung CH-CGN vereinigt werden [swisstopo-Report 04-19]. Essentiell ist dabei die Verbindung der rein geometrischen 3D-Referenzdaten (GNSS) mit den schwerefeldbezogenen geodätischen Messungen. Dabei gelingt es z.B. durch die Kollokation von Nivellement und Schwere mit der GNSS-Positionierung, Geoidprofile auf einfache Art zu bestimmen (GNSS/Nivellement). Wichtig ist dabei, dass die einzelnen Beobachtungsgruppen (Teilnetze) möglichst frei von systematischen Fehlereinflüssen und mit genügender Genauigkeit absolut gelagert sind.

Um die Konsistenz zwischen den ellipsoidischen Höhen im GNSS-Landesnetz LV95, den orthometrischen Höhen des LHN95 sowie den Geoidundulationen von CHGeo2004 zu gewährleisten, wurden deren Messungen und Daten im sog. Swiss Combined Geodetic Network (CH-CGN) kombiniert. Dieses wird gebildet durch die heute ca. 200 vorhandenen GPS/Nivellement-Punkte. Dies sind einerseits die ans Landeshöhenetz angeschlossenen LV95- und AGNES-Stationen, andererseits Höhenfixpunkte, welche auch mit GNSS beobachtet und deren Höhen streng in LHN95 berechnet wurden.



Abbildung 2-38: GNSS/Nivellement-Punkte der Schweiz

Der Grossteil dieser Punkte wurde zur Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004 mitverwendet; dabei wurde die Konsistenz mit LV95 und LHN95 durch eine grosse Gewichtung dieser Beobachtungen bereits erzwungen. Deshalb ist der Vergleich zwischen CHGeo2004, LV95-Höhen und LHN95 auf diesen Punkten nicht mehr sehr interessant. Aussagekräftiger ist der Vergleich mit einer Variante der Geoidberechnung, bei welcher die GNSS/Nivellement-Punkte weggelassen oder nur mit sehr kleinem Gewicht verwendet werden. Bei einem solchen Vergleich konnte die Genauigkeit des Geoidmodells von 1 bis 3 cm im grössten Teil der Schweiz bestätigt werden. Nur im Unterengadin zeigten sich systematische Unterschiede von bis zu 20 cm.

Die Restklaffen auf den GNSS/Nivellement-Punkten können mithilfe der vollständigen Varianz/Kovarianz-Matrizen der einzelnen, als unabhängig betrachteten Einzellösungen (GNSS, Nivellement und Geoid) einer Gesamtausgleichung zugeführt und auf die jeweiligen Datensätze verteilt werden. Das genaue Vorgehen ist in [Marti, 2016, Kapitel 8] oder [Schlatter 2007, Kapitel 10] beschrieben. Dabei hat sich gezeigt, dass die GNSS-Lösung aufgrund der hohen Anzahl Beobachtungen ein sehr starkes Gewicht bekommt und mit Ausnahme einiger weniger, schwächer bestimmten Stationen fast keinen Anteil der Restklaffen aufnehmen kann. Das Landesnivellement ist lokal ebenfalls ein sehr starker Datensatz und kann nur in Randgebieten einen systematischen Anteil der Residuen erklären. Somit bleibt das Geoidmodell als einziger Datensatz, welcher den Grossteil der GNSS/Nivellement-Residuen in sich aufnimmt. Dies ist auch der Grund, dass bei der Veröffentlichung von CHGeo2004 auf die Verarbeitung der Resultate dieser Gesamtausgleichung verzichtet wurde und die gesamten Residuen in der Regel dem Geoidmodell zugeschlagen wurden. Die Unterschiede zu einer strengen Verteilung auf die einzelnen Datensätze waren zu gering. Nur auf einigen schwächer bestimmten GNSS-Punkten wurde das Gewicht soweit reduziert, dass noch kleine GNSS/Nivellement-Residuen verbleiben, welche vollumfänglich den GNSS-Messungen zugeordnet wurden. Somit bleiben die orthometrischen LHN95- und die ellipsoidischen LV95-Höhen unabhängig voneinander und sind streng durch CHGeo2004 miteinander verknüpft. Auf den GNSS/Nivellement-Punkten, auf welchen die orthometrische Höhe sowohl aus LHN95 als auch durch GNSS und Geoid berechnet werden kann, erhält der Wert aus dem Nivellement den Vorzug.

Ein weiterer aussagekräftiger Vergleich kann auf GNSS/Nivellement-Punkten erfolgen, welche erst nach der Veröffentlichung von CHGeo2004 erstellt wurden. Dort sind GNSS, Nivellement und Geoidmodell



voneinander unabhängig und dienen einer externen Qualitätsaussage für die erreichte Konsistenz der Höhen. Zwischen 2005 und 2014 kamen durch Messungen im Landesnivellement und durch einige kleinere GNSS-Kampagnen ca. 20 neue GNSS/Nivellement-Punkte hinzu. Im Mittel zeigen diese zwischen GNSS, LHN95 und CHGeo2004 verbleibende Restklaffen von 1.7 cm. Dies zeigt also den Grad der Konsistenz, welche bereits erreicht wurde und bestätigt die generelle Genauigkeit des Geoidmodells von 1–3 cm. Es gibt jedoch noch einige wenige Regionen (z.B. Malcantone, Val Müstair), wo die Unterschiede grösser sind und bis zu 7 cm (LV95-Punkt Monteggio) betragen.

2.7.5 Vertikalbewegungen

Ein Problem bei der Konsistenz von GNSS und LHN sind die zeitlichen Veränderungen der Höhen. Aus Nivellement und Schwere lassen sich die Vertikalbewegungen über lange Zeiträume sehr zuverlässig berechnen. Allerdings können diese Geschwindigkeiten nur relativ zu einem beliebigen, als stabil angenommenen Referenzpunkt (Aarburg) gerechnet werden. Für LHN95 wurden alle orthometrischen Höhen auf den Zeitpunkt 1993.0 umgerechnet.

Auch aus GNSS lassen sich heute Vertikalbewegungen sehr gut bestimmen. Dies gilt insbesondere für die Permanentstationen, aber inzwischen auch für viele LV95-Punkte. Die Geschwindigkeiten ergeben sich in einem absoluten Rahmen gegenüber dem «stabilen Teil Europas». Das war aber zum Zeitpunkt der Geoidberechnung von CHGeo2004 noch nicht der Fall. CHTRF2004 war noch eine statische Lösung ohne Schätzung von Geschwindigkeiten. Dies ergab ellipsoidische Höhen, welche für den Zeitpunkt der Messungen gültig sind.

Alleine durch diese unterschiedliche Behandlung der Geschwindigkeiten entstehen im Geoidmodell CHGeo2004 Inkonsistenzen von mehr als 1 cm. Und natürlich ist streng genommen auch das Geoidmodell nicht zeitlich unveränderlich, obschon deutlich weniger als GNSS oder Nivellement. Aber von der Bestimmung der zeitlichen Veränderung des Geoids sind wir in der Schweiz noch sehr weit entfernt.

Ein geeigneter Ansatz zur Bestimmung der zeitlichen Veränderung des Geoids wäre der Vergleich der Geschwindigkeiten aus GNSS und denjenigen aus dem LHN. Die Differenz wäre dann die Geschwindigkeit des Geoids. Da ergibt sich aber bereits die erste Schwierigkeit der unterschiedlichen Lagerung der beiden Geschwindigkeitsfelder: Während sich GNSS-Geschwindigkeiten global gegenüber dem stabilen Teil Europas ergeben, beziehen sich die Geschwindigkeiten aus dem LHN auf den Referenzpunkt in Aarburg. Zwar lässt sich diese Differenz heute grob abschätzen (Aarburg hebt sich im europäischen Rahmen mit etwa 0.9–1.2 mm/Jahr). Dieser Wert ist aber noch sehr unzuverlässig bestimmt. Die beiden Netze zur Bestimmung von Vertikalbewegungen sind auf der Zeitachse noch schlecht verknüpft, da die GNSS-Stationen maximal 30 Jahre alt sind und sich zuverlässige tektonische Bewegungen aus wiederholten Nivellements erst etwa nach einem Zeitraum von 50 Jahren ergeben.

Die sich aus dem Vergleich von GNSS- und LHN-Messungen ergebenden Unterschiede in der Vertikalgeschwindigkeit müssen auch kompatibel zu den Änderungen des Schwerefeldes sein. Man müsste diese Veränderungen also auch in den Schweremessungen (LSN) und eventuell sogar in den Lotabweichungen sehen. Dazu liegen aber bis heute noch keine zuverlässigen Daten vor.

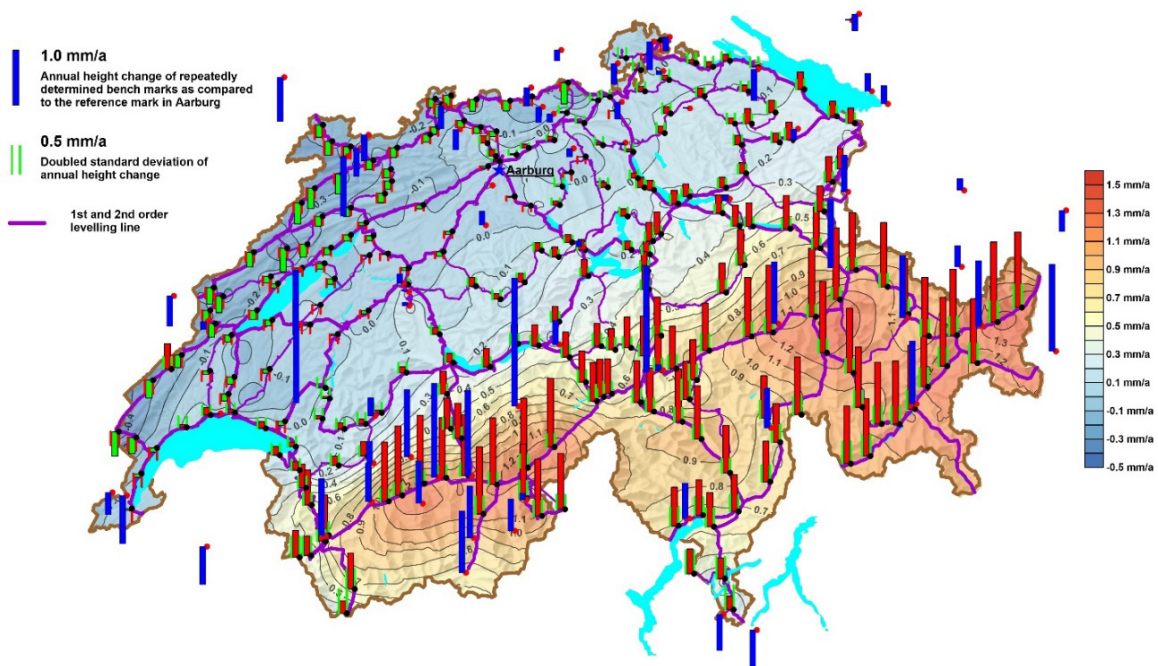


Abbildung 2-39: Vertikalbewegungen aus LHN (grün und rot) und GNSS-Permanentstationen (blau, reduziert um 0.9 mm/Jahr)

2.7.6 Aktueller Stand und mögliche zukünftige Entwicklungen

Tabelle 2-8: Kombiniertes Geodätisches Netz CH-CGN: Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2016	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none"> CH-CGN 1: Die Geostation Zimmerwald ist «Core-Station» des europ. Projekts ECGN, welches die Verbindung von schwerefeldbezogenen mit geometrischen Messungen zum Ziel hat. In Zusammenarbeit von swisstopo mit METAS, AIUB und der ETHZ (koordiniert durch die SGK) wurden im Fundamentpunkt 9 verschiedene geodätische Messmethoden vereinigt (kolloziert). CH-CGN 2: Kombination von GNSS und Nivellement (+Schwere) auf ausgewählten Punkten der Referenznetze ist realisiert (GNSS-Nivellement). GNSS-Referenznetz, Nivellement und Schwere (LHN95) sowie das Geoidmodell (CHGeo2004) sind in einer kombinierten Ausgleichung vereinigt. Die konsistenten Bezugsrahmen und Modelle erlauben die echte Kombination von GNSS, Nivellement und Schwere. 	<ul style="list-style-type: none"> CH-CGN 1: Die europäische Zusammenarbeit wird durch Beiträge der Schweiz fortgesetzt. Dabei wird die Kombination der SLR- mit den GNSS-Messungen sowie mit Nivellement und Schwere angestrebt. CH-CGN 2: Weitere Verdichtung des kombinierten Referenznetzes (GNSS-Referenznetz und LHN95) und Neumessung der GNSS-Höhen sowie Weiterentwicklung des Geoidmodells (CHGeo20xx) erlaubt Konsistenz der Höhen im Sub-cm-Bereich. Ersatz der Verdichtungs-nivellements durch GNSS-Höhenbestimmungen. Der alte Bezugsrahmen LN02 (Gebrauchshöhen) wird nur noch indirekt durch Transformation aus LHN95 abgeleitet. Konsistentes Geschwindigkeitsfeld aus GNSS, Nivellement und Schwere.

Referenzen zu 2.7:

Für die Liste der *swisstopo Reports* zu den kombinierten geodätischen Netzen CH-CGN / ECGN vgl. Anhang 2.3.7. Für Publikationen zum Thema Kinematik der Landesvermessung bzw. Geodynamik vgl. Anhang 2.1.3.



2.8 Geoidmodell CHGeo2004

2.8.1 Strategische Zielsetzung

Durch geodätische Messungen und verfeinerte Massenmodelle wird das Schwerefeld in der Schweiz erfasst und das Schweizer Geoidmodell CHGeoxx ständig weiterentwickelt und verfeinert.

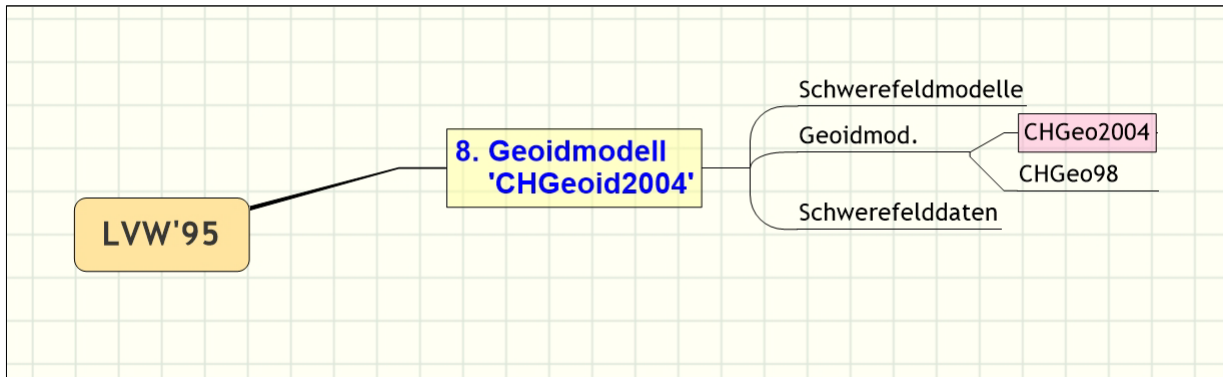


Abbildung 2-40: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 8 – Geoidmodell CHGeo2004

2.8.2 Vorgeschichte

In der alten Landesvermessung spielten die Geoidmodelle noch keine grosse Rolle. Der Unterschied zwischen orthometrischen und ellipsoidischen Höhen und die Lotabweichungen wurden meist vernachlässigt. Dies war möglich, da die Lagerung des Ellipsoids 1902 so gewählt wurde, dass die Lotabweichungen im Fundamentalpunkt a priori gleich Null waren. Da sich alle Gebrauchshöhen damals auf das Geoid und den Horizont des RPN in Genf bezogen, konnte auf eine exakte Höhenlagerung des Ellipsoids damals verzichtet werden.

Die Situation änderte sich erst mit der Einführung der Elektronischen Distanzmessung (EDM) in die Landesvermessung ab etwa 1968 und bei den Arbeiten für das Europäische Triangulationsnetz RETRIG. Für die Reduktion der schief gemessenen Distanzen wurden mindestens genäherte ellipsoidische Höhendifferenzen und bei der Ausgleichung der Triangulationsnetze im Gebirge Lotabweichungen benötigt. In dieser Zeit entstanden die ersten wissenschaftlichen Studien mit dem Ziel, ein landesweites Geoidmodell für die Schweiz bereit zu stellen [Elmiger, 1969; Gurtner, 1978].

Mit der Umwälzung der Geodäsie und Landesvermessung im Zusammenhang mit der Einführung von GPS/GNSS erhielten die Geoidmodelle ein viel grösseres Gewicht. Aus der eher akademischen Thematik des Einflusses des Schwerefeldes auf die geodätischen Messungen wurde plötzlich ein elementares Problem für die Geomatikerin, den Geomatiker in der Praxis.

Aus den GNSS-Messungen ergeben sich geometrische (ellipsoidische) Höhen, bezogen auf ein bestimmtes Referenzellipsoid (geodätisches Datum). Die Gebrauchshöhen der praktischen Vermessung sind aber physikalisch im Schwerefeld der Erde definierte Meereshöhen (orthometrische Höhen oder genähert orthometrische Gebrauchshöhen). Sie beziehen sich auf das Geoid (Äquipotentialfläche des Schwerefeldes, welche mit dem mittleren Meeresspiegel zusammenfällt). Zur Berechnung der Unterschiede zwischen diesen beiden Höhensystemen benötigt man ein Geoidmodell, welches die Geoidundulation N beschreibt. Die Geoidundulation N ist jene Ortsfunktion, welche die Abweichung des Geoids vom Referenzellipsoid beschreibt. Bei bekannter Geoidhöhe N ist es möglich, die ellipsoidischen Höhen h_{ell} in orthometrische Höhen H_{orth} mit der folgenden einfachen Beziehung umzurechnen:

$$H_{\text{orth}} = h_{\text{ell}} - N$$

In der Schweiz stand seit 1978 ein astrogeodätisches Geoidmodell (Gurtner-Geoid) [Gurtner, 1978] zur Verfügung. Dieses hatte bei vielen geodätischen Arbeiten wertvolle Dienste geleistet. Es genügte den Bedürfnissen bei der Anwendung von EDM und GPS in der alten Landesvermessung. Bei der Konzeption der



neuen Landesvermessung [*Berichte aus der L+T*-Nr. 6 – LV95 – Teil 1] wurde aber rasch klar, dass dieses Modell den Anforderungen, welche die Verknüpfung des LHN95 mit dem GNSS-Referenznetz stellt, nicht genügen wird.

2.8.3 Geoidmodell CHGeo98

Im Rahmen der wissenschaftlichen Zusammenarbeit in der SGK wurde ein gemeinsames Projekt, mit dem Ziel ein neues Geoidmodell für die Schweiz mit der Genauigkeit von wenigen cm zu berechnen, gestartet. Hauptbeteiligte am Projekt waren neben swisstopo das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich (IGP) sowie das Astronomische Institut der Universität Bern (AIUB). Das Ergebnis aus diesem Projekt, welches im Wesentlichen in [*SGK Band 56*] publiziert wurde, ist das Modell «CHGeo98» (Schweizer Geoid 1998). Dieses löste ab 1998 das Gurtnergeoid von 1978 als offizielles Geoid der Schweizer Landesvermessung ab [*Berichte aus der L+T*-Nr. 16 – LV95 – Teil 10].

Das Schweizer Geoid 1998 (CHGeo98) wurde nach der gleichen Methodik wie schon jenes von Gurtner (1978) berechnet. Es stützt sich hauptsächlich auf 629 astrogeodätische Lotabweichungsmessungen, aber erstmals auch auf 72 GPS/Nivellement-Punkte. Schweremessungen wurden für CHGeo98 nicht direkt als Beobachtungen eingeführt. Als digitales Geländemodell zur Massenberechnung wurde im Wesentlichen das DHM25 (Level 1) verwendet, welches damals gerade komplettiert vorlag. Als weitere Massenmodelle wurden die Moho-Tiefe, der Ivreakörper, die Po-Sedimente, sowie grobe Modelle der Seetiefen (Bathymetrie) und der quartären Flusssedimente eingeführt.

Die eigentliche Geoidbestimmung erfolgte nach der bekannten Methode Remove-Compute-Restore, wobei der Schritt «Compute» durch Kollokation nach kleinsten Quadraten erfolgte.

CHGeo98 hatte eine Genauigkeit von ca. 3–5 cm und wurde in einem regelmässigen Raster mit einer Auflösung von 1 km an die Nutzerinnen und Nutzer abgegeben.

Da bei der Geoidbestimmung 1998 die Lotabweichungsmessungen im Vergleich zu den GPS-Nivellement-Messungen ein sehr hohes Gewicht erhielten, verblieben auf den GPS-Nivellement-Punkten systematische Restklaffen von mehreren cm (siehe Abbildung 2-41), was für eine genaue Höhenbestimmung mit GPS/GNSS natürlich unbefriedigend war.

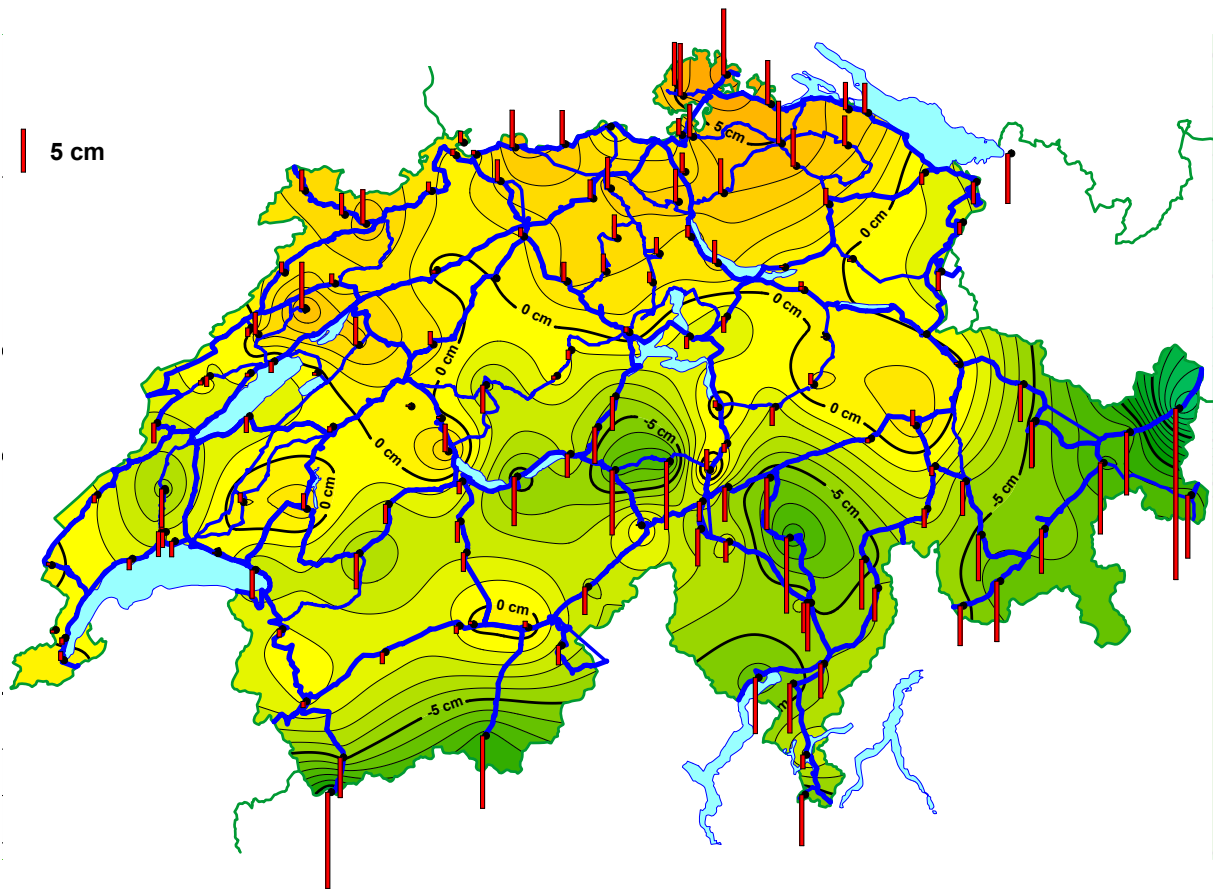


Abbildung 2-41: GPS-Nivellement-Residuen mit CHGeo98 (Stand 2002)

Dies führte schon wenige Jahre nach der Publikation von CHGeo98 zur Entscheidung, ein neues Projekt für eine verbesserte Geoidbestimmung zu starten [Schneider et al 2002].

2.8.4 Geoidmodell CHGeo2004

An der Methodik der Geoidbestimmung CHGeo2004 wurde gegenüber CHGeo98 nicht viel geändert. Die höhere Genauigkeit sollte vor allem durch neue Messungen und verbesserte Massenmodelle erreicht werden. Zudem sollten erstmals auch die Schweremessungen als Beobachtungen eingeführt werden und es wurde ein globales Referenz-Geoid (EGM96) verwendet, was die Genauigkeit vor allem im benachbarten Ausland steigert.

Zur Genauigkeitssteigerung wurde 2003 eine grössere astro-geodätische Messkampagne mit zwei transportablen digitalen Zenitkameras der ETH Zürich (DIADEM) und der TU Hannover (TZK2-D) durchgeführt [Marti et al. 2004]. Ziel dieser Kampagne war es, ältere, zweifelhafte Messungen zu ersetzen oder zu überprüfen. Der Schwerpunkt lag dabei auf den anlässlich der Berechnung von CHGeo98 erkannten problematischen Regionen wie dem Unterengadin, dem Sustenpass oder dem Gebiet des Bodensees. Aber auch in der übrigen Schweiz wurden insgesamt mehr als 50 neue Lotabweichungen mit einer Genauigkeit in der Grössenordnung von 0.1" bestimmt. Dies ist gegenüber den älteren analogen Messungen eine Genauigkeitssteigerung um etwa den Faktor 3 bis 5.

Um die Konsistenz des Geoidmodells mit den orthometrischen Höhen LHN95 zu erreichen, wurden im Rahmen von CH-CGN (Swiss Combined Geodetic Network) [Schlatter et al 2003] und einer speziellen Messkampagne CHGeoid2003 [Brockmann, 2003; Schlatter et al, 2005] möglichst viele Punkte des Landesnivellements mit GNSS beobachtet und auch möglichst viele LV95-Punkte ans Landeshöhenetz angeschlossen. So konnten für die Geoidberechnung 193 solche GNSS/Nivellement-Punkte verwendet werden. Als Nivellement-Datensatz konnte die Schlusslösung von LHN95 (inklusive der Messungen 2004)



verwendet werden. Als GNSS-Datensatz wurden die Ergebnisse der Kampagne CHTRF2004 eingeführt. Diese zeigen gegenüber den früheren CHTRF-Lösungen zwar eine recht grosse Nord-Süd-Kippung von mehreren cm, was aber die Restklaffen in CHGeo98 nur teilweise erklären konnte.

Für CHGeo2004 wurden auch Schweremessungen direkt als Beobachtungen eingeführt. Dies bringt eine Genauigkeitssteigerung in Gebieten, welche sonst nur schwach durch Beobachtungen (Lotabweichungen und GNSS/Nivellement) abgedeckt sind. Verwendet wurde dazu der Datensatz der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission [Olivier et al. 2010] mit mehr als 30'000 gemessenen Schweren. Dies ist eine Menge, welche im bei der Geoidbestimmung verwendeten Kollokationsansatz auch nicht mit modernen Computern bewältigt werden kann. Deshalb musste dieser Datensatz auf ein regelmässiges Gitter mit 5 km Auflösung und 2225 repräsentativen Schweremessungen reduziert werden.

Die direkt beobachteten Geoidhöhen (GNSS/Nivellement) wurden mit einem sehr hohen Gewicht in die Schluss-Berechnung eingeführt, so dass die Konsistenz zwischen ellipsoidischen Höhen und orthometrischen Höhen LHN95 für CHGeo2004 erzwungen wurde. Dies mag aus potentialtheoretischer Sicht zwar theoretisch nicht sehr sauber sein, ist aber diejenige Lösung, welche in der praktischen Anwendung den meisten Nutzen bringt.

Die angestrebte Genauigkeit von 1 bis 3 cm hat sich in den allermeisten Gegenden der Schweiz bestätigt. Die Genauigkeitssteigerung gegenüber dem Modell von 1998 wurde vor allem durch die neuen Messungen und in einigen Regionen durch den direkten Einbezug von Schweremessungen erreicht. Aber auch die Weiterentwicklungen in den digitalen Höhenmodellen im In- und Ausland (DHM25 Level 2, SRTM) und die Verbesserungen der globalen Schwerefeldmodelle und der erleichterte Datenaustausch mit dem Ausland trugen wesentlich zur Genauigkeitssteigerung bei.

Angeboten wird CHGeo2004 seit 2005 als Gitter sowohl im Projektionssystem mit einer Auflösung von 1 km als auch im europäischen System ETRS89 (Auflösung 30 Bogensekunden) und erlaubt die Transformation zwischen ellipsoidischen Höhen und orthometrischen Höhen LHN95 mit cm-Genauigkeit. Da aber LN02 für die amtliche Vermessung weiterhin das offizielle Höhensystem bleiben wird, kam mit der Zeit auch der Wunsch auf, eine Variante des Geoidmodells zu erzeugen, welches kompatibel zu LN02 ist. Diese Datei (CHGeo2004/HTRANS) wird seit 2009 ebenfalls an die Benutzer abgegeben, ist aber wegen der Ungenauigkeiten von LN02 um einiges weniger genau als CHGeo2004.

CHGeo2004 ist heute in den meisten handelsüblichen GNSS-Empfängern sowie in GNSS-Auswerteprogrammen und in GIS- und Transformations-Software integriert und ist somit in der Schweiz recht weit verbreitet und hat sich bewährt.

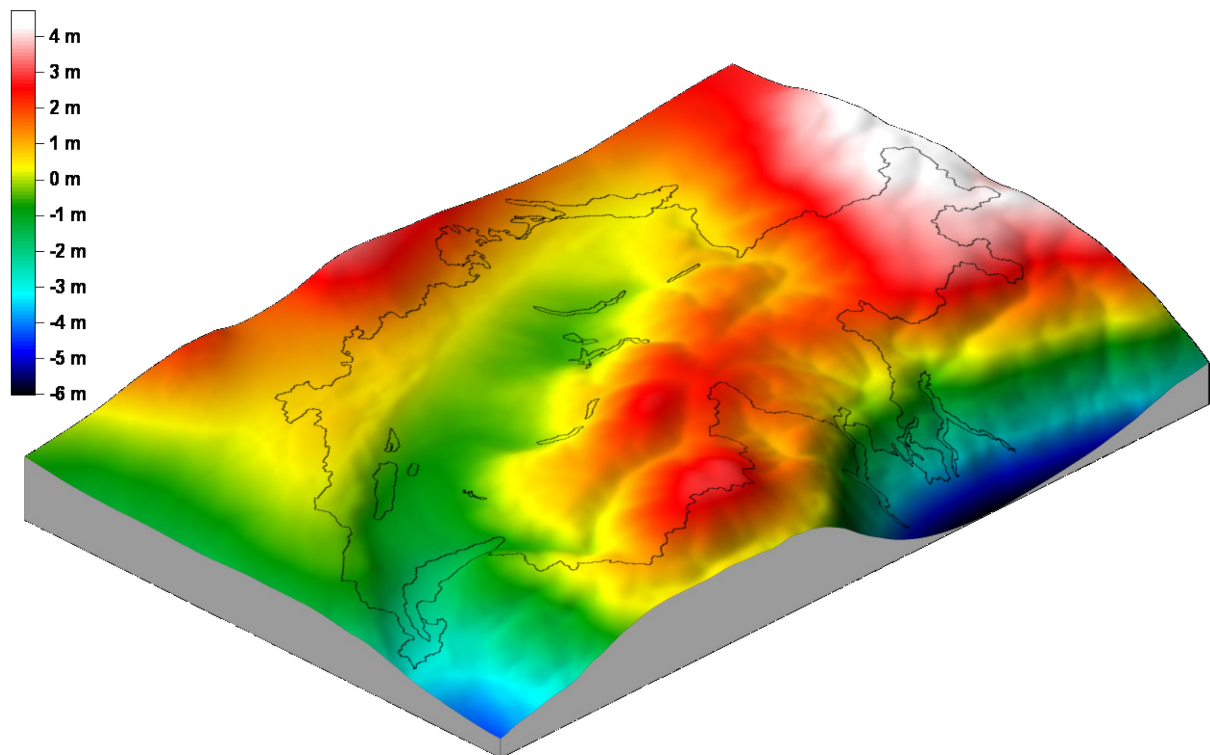


Abbildung 2-42: Geoidmodell CHGeo2004 im Referenzsystem CH1903+

2.8.5 Aktueller Stand und zukünftige Entwicklung

Tabelle 2-9: Geoidmodell CHGeo2004: Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2006	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none">• Mit CHGeo2004 liegt ein Geoidmodell mit einer Genauigkeit von wenigen cm vor.• Zusätzlich liegt auch ein Quasigeoid-Modell vor, das für die Anwendung von Normalhöhen dient.• Für die praktische Berechnung (Interpolation) liegt ein Rasterdatensatz CHGeo2004-R vor.• Aufgrund der kombinierten Ausgleichung mit LHN95 und dem GNSS-Referenznetz ist das Modell CHGeo2004 konsistent mit den Referenznetzen.	<ul style="list-style-type: none">• Weitere Verbesserungen des Geoidmodells durch den Einbezug neuer Lotabweichungsmessungen, verbesserter GNSS-Nivellament-Daten und neuen Massenmodellen.• Verbesserungen durch die kombinierte Geoidbestimmung mit Daten aus den Satellitenmissionen (u.a. GRACE und GOCE und follow-on).• Bessere Kompatibilität mit globalen Modellen und Modellen der Nachbarländer.

Referenzen zu 2.8:

Für die Liste der *swisstopo Reports* sowie weiteren Publikationen zu den Geoidmodellen der Schweiz vgl. Anhang 2.3.8.



2.9 Kinematische Landesvermessung CHKM95

2.9.1 Strategische Zielsetzung, Konzept und Inhalt

Die Kinematik der obersten Erdkruste in der Schweiz und der umliegenden Gebiete wird mit Hilfe verschiedenster geodätischer Methoden erfasst. Es wird ein in sich konsistentes kinematisches Modell CHKM der Schweiz gebildet. Das Modell erlaubt die gemeinsame Verwendung und Integration von geodätischen Messungen verschiedener Epochen. Es liefert wichtige Grundlagen für die Untersuchung von Bewegungen und Deformationen der obersten Erdkruste und für lokale Monitoring-Aufgaben.

Noch vor einem Jahrhundert waren sich die Wissenschaftler nicht einig, ob und wie sich die Kruste unseres Planeten verändert. Heute weiss man, dass sich die Kontinente verschieben und deformieren (Plattentektonik) und dass gebirgsbildende Kräfte sowie die Isostasie nach wie vor aktiv sind. Unser Lebensraum wird deshalb nicht nur qualitativ, sondern auch kinematisch sehr langsam aber nachhaltig verändert.

Eine wesentliche konzeptionelle Neuerung in den Modellen der modernen Geodäsie ist die konsequente Berücksichtigung der zeitlichen Veränderungen der Geometrie der Form und Oberfläche der Erde sowie des Schwerfeldes. Die globalen Modelle beschreiben vor allem die grossräumigen Bewegungsmuster der Plattentektonik. Im kontinentalen Rahmen sind aber auch die Deformationen innerhalb und an den Rändern der tektonischen Platten von Interesse; im Weiteren Hebungen und Senkungen auf Grund isostatischer Ausgleichsbewegungen wie der postglaziale Rebound, verursacht durch das Abschmelzen der Eismassen von Gletschern sowie Erosionen. Bei lokalen Modellen spielen daneben noch andere Effekte wie Hangrutschungen, Felsbewegungen, lokale Setzungen (u.a. induziert durch Tunnel- oder Bergbau) und grundwasserbedingte Höhenänderungen etc. eine Rolle.

Die primäre Aufgabe der Geodäsie ist (nebst dem Schwerfeld) die Beschreibung der Geometrie der dreidimensionalen Bewegungen, d.h. die Bestimmung der Kinematik der obersten Erdkruste. Diese kann aus den wiederholten geodätischen Messungen berechnet werden. Dabei ist es wichtig zu erkennen, dass auf Grund von wiederholten relativen geodätischen Messungen immer nur Relativbewegungen bestimmt werden können. Zur Beschreibung von «absoluten» Verschiebungs- bzw. Geschwindigkeitsfeldern müssen geeignete Referenzwerte oder Datumsunkte eingeführt werden (z.B. Nullvektor in einem hypothetischen Festpunkt). Zur Beschreibung der lokalen Deformation der Erdkruste wird mit Vorteil das Straintensorfeld (räumliches Differential des Verschiebungsfeldes) verwendet. Dieses hat den Vorteil, invariant bezüglich der Translation zu sein. Die Festlegung eines Nullvektors ist dabei nicht notwendig. Die Ergebnisse der Strainanalyse sind Dehnungen und Scherungen, welche die lokale Deformation des Kontinuums beschreiben und im Kontext mit den physikalischen Kräften (Stresstensorfeld) und der rezenten Seismizität besser interpretiert werden können.

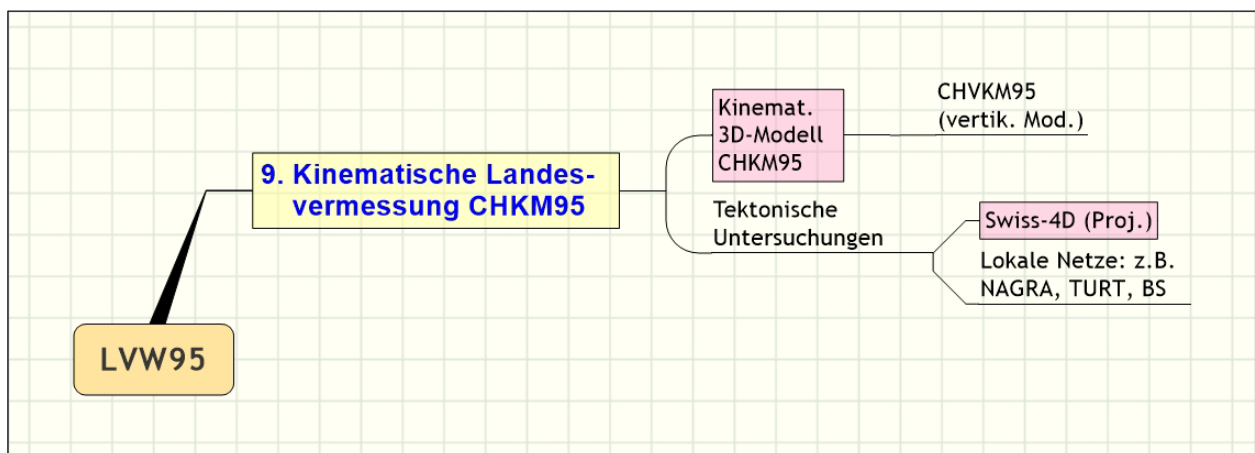


Abbildung 2-43: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 9 – Kinematische Landesvermessung CHKM95



2.9.2 Kinematisches 3D-Modell CHKM95

Das Konzept der geodätischen Grundlagen GG95 sieht die Bestimmung eines kinematischen 3D-Modells CHKM95 als Element des Bezugssystems CHTRS95 vor. Ein solches Modell beinhaltet die Beschreibung des Verschiebungsfeldes der obersten Erdkruste in Raum und Zeit im erweiterten Gebiet des Landes und dient den folgenden zwei Zwecken:

- 1) Bereitstellung eines Datenmodells zur Beschreibung der zeitlichen Veränderung der Bezugsrahmen (Koordinaten und Höhen). Damit wird es möglich, geodätische Messdaten aus verschiedenen Epochen miteinander zu kombinieren. Solche Modelle sind eine Voraussetzung für die Berechnung hochgenauer Bezugsrahmen (zu den Epochen t_0 , t_n), wie sie etwa in der Ingenieurvermessung als Grundlage für den Bau grosser Tunnels (z.B. AlpTransit) gebraucht werden.
- 2) Untersuchung von neotektonischen Phänomenen in den geologischen Formationen der Schweiz und der angrenzenden Gebiete auf der Grundlage von wiederholt gemessenen geodätischen Messungen. Diese Nebenanwendung gewinnt dank dem über die Zeit an Qualität und Umfang zunehmenden Datenbestand stark an Bedeutung für die geologische/geophysikalische Grundlagenforschung.

Die klassischen geodätischen Referenznetze mit invarianten Koordinaten werden abgelöst durch geodätische Monitoringnetze mit zeitabhängigen Koordinaten und Geschwindigkeiten. Dies trifft vor allem für die permanenten GNSS-Netze zu. Bei diesen entstehen ständig wachsende Zeitreihen, welche als ideale Basis für neotektonische Analysen und die Bildung von kinematischen Modellen dienen.

Die grösste Schwierigkeit der kinematischen Landesvermessung in der Schweiz liegt in der Tatsache begründet, dass die Relativbewegungen auch in den tektonisch aktiven Gebieten äusserst klein sind. Deshalb gelingt es nur signifikante Verschiebungen zu detektieren, wenn die Zeitintervalle zwischen den Messepochen oder die Zeitreihen aus den Permanentmessungen genügend lang sind.

Das kinematische Modell CHKM95 sieht grundsätzlich ein 3D-Geschwindigkeitsmodell vor. Für die Bestimmung der 3 Komponente (v_x , v_y , v_z) bestehen allerdings unterschiedliche Ausgangslagen. Aus den wiederholten Nivellements des LHN95 mit den Zeitintervallen von bis zu einem Jahrhundert lässt sich (nur) das diskrete v_z -Feld mit hoher Genauigkeit bestimmen. Die Schwierigkeit liegt allenfalls in der Auswahl geeigneter Kontrollpunkte entlang den LHN95-Linien und der Interpolation der Vertikalgeschwindigkeit dazwischen. Das Geschwindigkeitsfeld, welches aufgrund der kinematischen Ausgleichung des LHN95 entsteht, wird als CHVKM95 bezeichnet.

Anders ist die Situation bei den GNSS-Referenzpunkten. Die Lagekomponenten v_x , v_y lassen sich mit wesentlich höherer Genauigkeit aus den wiederholten GNSS-Messungen bestimmen als die Höhenkomponente v_z . Das gleiche gilt auch für die Zeitreihen aus dem Monitoring der Permanentstationen. Das Ziel liegt aber klar bei der Bestimmung der 3-dimensionalen Information, die auch für die geophysikalische Interpretation (Vergleich mit Erdbeben-Herdlösungen etc.) am interessantesten ist. Die Kombination der kinematischen Ergebnisse aus dem GNSS-Monitoring und jener aus LHN95 hat das Potential zur Bestimmung des gewünschten 3D-Geschwindigkeitsfeldes und schliesslich des kinematischen Modells CHKM95.

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

Für die Untersuchung der kinematischen Bewegungen (rezenten Krustenbewegungen) in der Schweiz werden nebst Messungen des Landesnivellements auch kombinierte Mehrjahres-GNSS-Lösungen der Permanentnetze AGNES und EPN/IGS sowie der Kampagnen CHTRFyy im GPS-Landesnetz LV95 bzw. GNSS-Referenznetz LV95 zwischen 1988 und 2022 berechnet (vgl. Kapitel 2.4.2). Die Analyse von Zeitreihen der Koordinaten ist ein Hauptelement der Langzeitüberwachung der Stabilität der Permanentstationen bzw. des Bezugsrahmens. In Ergänzung dazu erlaubt die Analyse von GPS/GNSS-Kampagnendaten die Untersuchung der Stabilität von gut versicherten Punkten, welche das Permanentnetz verdichten.

Die horizontalen Geschwindigkeiten der AGNES-Stationen mit Zeitreihen von mehr als 3 Jahren sowie der LV95-Stationen mit mindestens 3 Bestimmungen in mehr als 4 Jahren sind in Abbildung 2-44 zusammen



mit deren Fehlerellipsen dargestellt. Die Fehlerellipsen sind vor allem für Punkte sehr klein, die über einen längeren Zeitraum bestimmt wurden. Die geschätzten Geschwindigkeiten sind klein. Eine Nullhypothese, die annimmt, dass keine horizontalen Bewegungen auftreten, trifft mit einer Standardabweichung der Geschwindigkeiten von 0.3 mm pro Jahr und pro Koordinatenkomponente zu. In der Statistik zur Berechnung der Standardabweichung sind auch die grösseren Bewegungen einiger offensichtlich lokal instabiler Stationen enthalten.

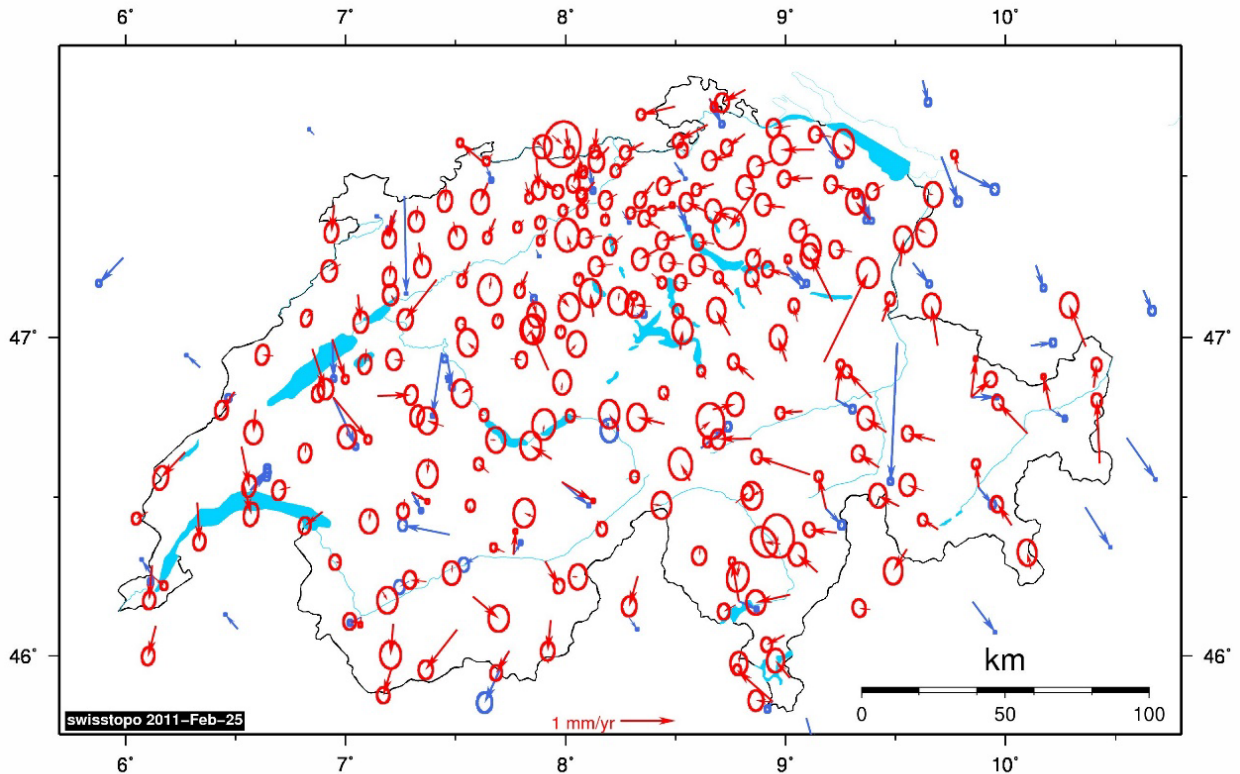


Abbildung 2-44: Geschätzte horizontale Geschwindigkeiten mit Fehlerellipsen der permanenten AGNES-Stationen (in blau) bzw. der LV95-Punkte aus Kampagnenmessungen (in rot) (Stand 2010)

Die GNSS-Messungen der AGNES-Permanentstationen und die wiederholten Messungen im Landesnetz LV95 bzw. im kinematischen 3D-Bezugsrahmen CHTRFyy bilden also gemeinsam mit den Präzisionsmessungen im Landeshöhenetz die Basis für Untersuchungen der neotektonischen Bewegungen der obersten Erdkruste in der Schweiz. Dementsprechend werden die Grafiken der Bewegungen bzw. Geschwindigkeiten jeweils nach der Auswertung der alle sechs Jahre stattfindenden CHTRF-Messkampagnen neu erstellt und aktualisiert. Die jüngsten veröffentlichten Resultate können dem *swisstopo Report* 16-19 (publiziert 2018) entnommen werden: «LV95 / CHTRF2016 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2016): Auswertung der GNSS-Messungen 2016 und Resultate der Gesamtausgleichung». Teile davon sind auch in der Fachzeitschrift *cadastre* Nr. 28, Dezember 2018, S. 11–13, sowie im Bericht «25 Jahre neue Landesvermessung LV95» in *Geomatik Schweiz* 11/2020 veröffentlicht.

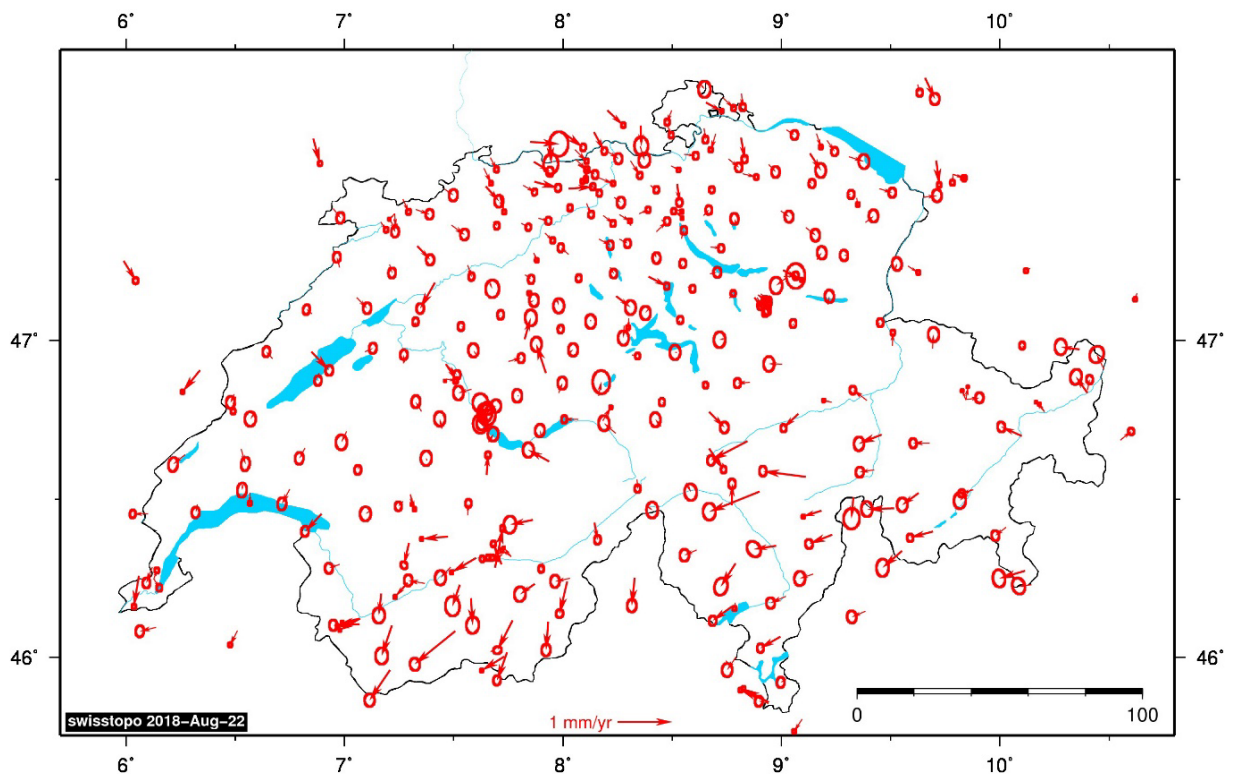


Abbildung 2-45: Geschwindigkeitsfeld der horizontalen Geschwindigkeiten der LV95-Referenzpunkte und der AGNES-Permanentstationen (Ausschnitt Schweiz mit 306 Stationen, 443 in Europa) nach der Auswertung von CHTRF2016 (Stand 2016). Die Fehlerellipsen zeigen die Grössenordnung der Genauigkeit der Bestimmung der Bewegungen [aus *swisstopo Report 16-19* bzw. *cadastre* Nr. 28, publiziert 2018]

Zitat aus dem Bericht «Stabilität des schweizerischen Koordinatenreferenzrahmens» von E. Brockmann in *cadastre* Nr. 28: «Die Annahme eines horizontalen Nullgeschwindigkeitsfeldes stimmt mit einer Standardabweichung von ca. 0.2 mm / Jahr für die Nord- und Ostrichtung. 95 % der Punkte werden kaum eine Bewegung in einer Richtung von mehr als 0.6 mm / Jahr aufweisen. Sehr stabil zeigt sich das Mittelland. Allerdings erkennt man erstmals einzelne Regionen in der Schweiz, die ein ähnliches Bewegungsmuster zeigen und auf tektonische Bewegungen schliessen lassen. Diese Regionen befinden sich südlich der Rhone und des Rheins mit systematischen Bewegungen knapp unter der Grenze von 1 mm / Jahr. Auch im Jura erkennt man kleinere systematische Bewegungen.»

Die Analyse von Zeitreihen von mehr als 10 Jahren der Permanentstationen in AGNES und EPN/IGS erlaubt auch eine Schätzung der vertikalen Geschwindigkeiten. Diese können mit den Hebungs- bzw. Senkungsraten von Nivellementpunkten verglichen werden, welche im Landesnivellement im Intervall von mehr als 100 Jahren mindestens dreimal beobachtet worden sind.

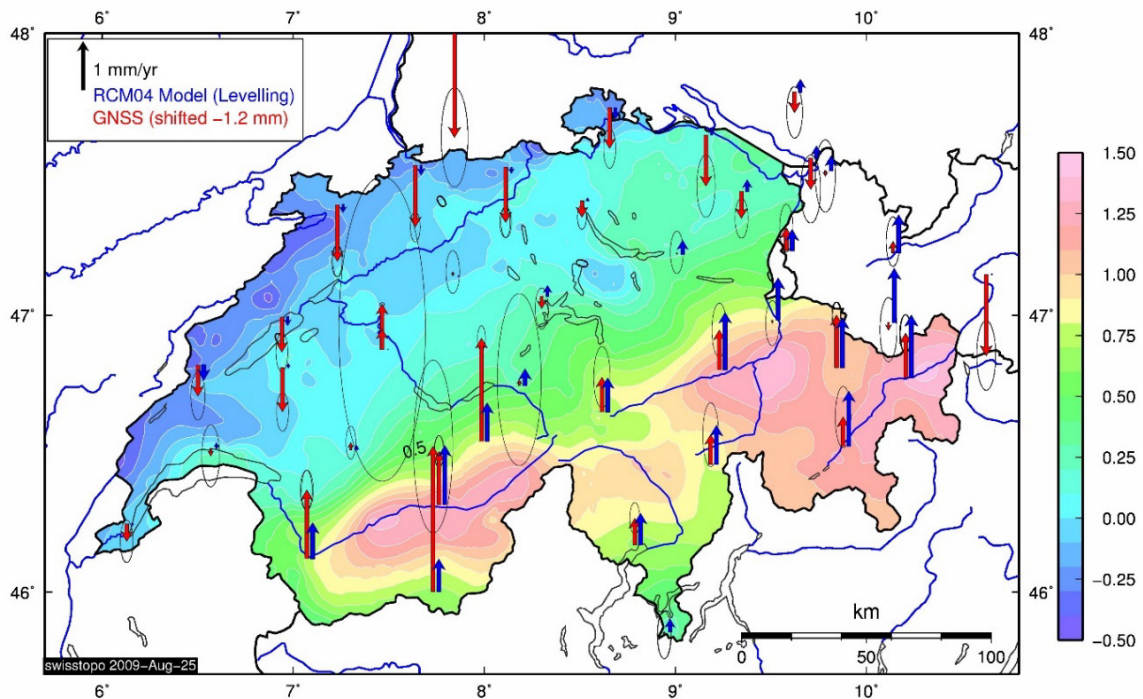


Abbildung 2-46: Vertikale Geschwindigkeiten aus permanenten GNSS-Messungen (rote Pfeile) und Nivellementmessungen (blaue Pfeile) auf AGNES-Stationen, wobei der Referenzpunkt Aarburg mit der Geschwindigkeit Null fixiert wird. Die Hintergrundfarben zeigen das kinematische Modell LHN95 (RCM04-Modell).

Auch für die vertikalen Geschwindigkeiten (Höhenänderung/Zeiteinheit) ist im *swisstopo Report 16-19* eine aktuellere Darstellung nach der Auswertung der CHTRF2016-Kampagne publiziert:

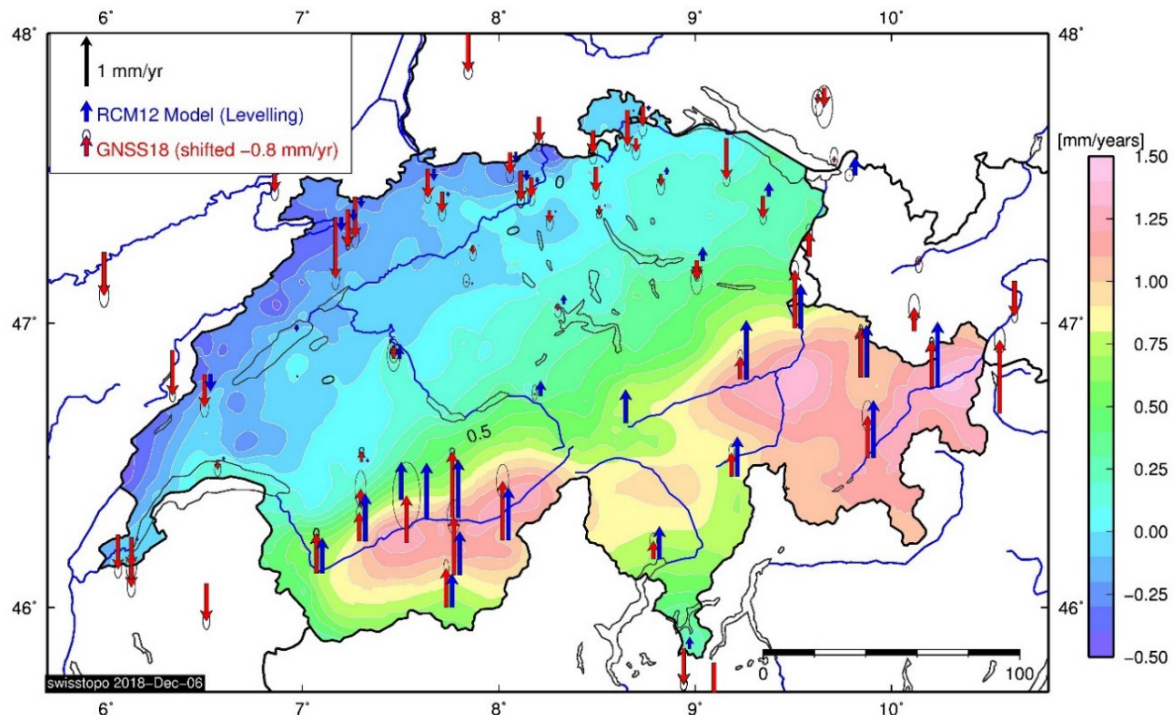


Abbildung 2-47: Vergleich der Vertikalgeschwindigkeiten aus GNSS (rote Pfeile) mit denen des Nivellements (blaue Pfeile, aus RCM12-Modell); mit Anpassung von -0.8 mm/Jahr wegen des unterschiedlichen Bezugspunkts Aarburg des Nivellements.



Die Ergebnisse der GNSS-Messkampagne 2022 bzw. des Datensatzes CHTRF2022 werden die Resultate der kinematischen Untersuchungen weiter verfeinern und deren Genauigkeit und Zuverlässigkeit erhöhen. Sie werden zu gegebener Zeit veröffentlicht.

Die jeweils aktuellsten Resultate der Geschwindigkeitsschätzungen sind auf der Web-Plattform des PNAC von swisstopo zusammengestellt (<http://pnac.swisstopo.admin.ch/>). Dank der Verwendung des Geodatenviewers <https://map.geo.admin.ch/> können neben den vermessungsrelevanten Layern zu Vergleichszwecken auch Geologie- und Tektonikkarten zugeschaltet werden.

Zur Zeit des Aufbaus von LV95 (in den 1980er Jahren) war man noch der Meinung, dass die aus wiederholten Messungen im Landesnivellement berechneten Hebungen der Alpen (bis ca. 1.5 mm pro Jahr) primär durch ein Aufschieben der tektonischen Platten (Afrika gegen Eurasien) 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 aufweisen. 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 erkenntlich. Die horizontalen und vertikalen Bewegungen sind somit von 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 und im kleineren Ausmass durch die Alpentektonik verursacht wird.

Vor allem wegen diesen relativ kleinen horizontalen (neotektonischen) Bewegungen in der Schweiz, im Bezug zu deren Bestimmungsgenauigkeit, insbesondere aber auch im Vergleich mit Oberflächenbewegungen anderer Natur wie z.B. Hangrutschungen, wurde bis heute noch kein gesamtschweizerisches kinematisches 3D-Geschwindigkeitsmodell CHKM95 veröffentlicht, welches vom «Null-Geschwindigkeitsfeld» verschieden ist. Daten und Ergebnisse künftiger Messungen sollten auch in Studien zusammen mit der Nagra, dem Schweizerischen Erdbebendienst und geologischen Fachstellen vertieft analysiert werden. Deren Ergebnisse dürften in den nächsten Jahrzehnten eine gute Voraussetzung für die Entwicklung des kinematischen Modells der Schweiz CHKM95 liefern.

Im Sinne eines Ausblicks sei noch auf Grundsätze hingewiesen, welche die Geschäftsleitung swisstopo in **den strategischen Stossrichtungen** 2020 für künftige Entwicklungen festlegte. Anlässlich der GL-Klausur vom 28./29. Juni 2016 in Gerzensee formulierte sie die Massnahme E4 wie folgt: *«swisstopo stellt die geometrischen Grundlagen für die landesweite Überwachung der Veränderungen der Erdoberfläche bereit.»*

Und als Massnahmen wurden formuliert: swisstopo ...

- (E4.1) - stellt den einheitlichen geometrischen Raumbezug für Erdbeobachtungsprogramme, geodätische und geophysikalische Beobachtungsnetze (an der Oberfläche und im Untergrund) und Deformationsmessungen in der Schweiz bereit und fördert dessen Anwendung;
 - prüft Massnahmen zur nachhaltigen Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur unter Beachtung der Beschlüsse und Governance Vorgaben von UN-GGIM und GIAC betreffend den Global Geodetic Reference Frame (GGRF);
 - stellt die nachhaltige Beteiligung an internationalen Beobachtungsprogrammen, -systemen und -diensten wie GGOS, IGS, EUREF und ILRS sicher (u.a. mit Zimmerwald und CODE);
- (E4.2) - definiert und erstellt als neue amtliche Leistung einen landesweiten Geobasisdatensatz der (horizontalen und vertikalen) Oberflächenbewegungen;
 - klärt das Potenzial und die Rahmenbedingungen verschiedener Beobachtungsmethoden ab, insbes. der differenziellen SAR-Interferometrie (D-InSAR);
- (E4.3) - evaluiert den Einsatz neuer Technologien im Bereich der cm/mm-genauen Höhenbestimmung (z.B. GNSS-Nivellement).



Im November 2016 hat der Bereich Geodäsie der Geschäftsleitung swisstopo das **Projekt «Neue Messtechnologien»** wie folgt beantragt: *«Auf dem Gebiet der Geomatik sind in den letzten Jahren verschiedene Sensoren wie Laser Scanner (TLS / ALS), kombinierte Video-Scanner-Total Stationen (Multistation), terrestrisches Radar (GBRI), satellitengestütztes InSAR etc. auf den Markt gekommen, welche flächenhafte Beobachtungen von Bewegungen der Erdoberfläche oder an Kunstbauten ermöglichen. Im Rahmen des Projekts P0198 «neue Messtechnologien» soll untersucht werden, in welchen Bereichen diese neuen Technologien in der geodätischen Landes- und Ingenieurvermessung für swisstopo einen Nutzen haben könnten. Somit leistet dieses Projekt einen Beitrag gemäss den «Massnahmen zu den strategischen Stossrichtungen 2020» von swisstopo (Massnahme E4). Weiter sollen die Rahmenbedingungen, die Vorteile bzw. die Notwendigkeiten der verschiedenen Beobachtungsmethoden geklärt werden und eine Kosten-/Nutzenanalyse durchgeführt werden. Dabei werden das notwendige Grundwissen erarbeitet, mögliche Kooperationen analysiert, Anwendungsfälle in der Landesvermessung wie z.B. ein neuer Geobasisdatensatz «Bodenbewegungen» identifiziert und die Beschaffung von neuen Instrumenten oder Messtechnologien vorbereitet.»*

Am 15. November 2016 hat die GL-swisstopo die Konzeptphase des Projektes freigegeben, die Projektorganisation genehmigt und den Projektleiter S. Condamin beauftragt, die entsprechenden Aufträge auszulösen. Schliesslich resultierte daraus in Zusammenarbeit mit dem BAFU die Erarbeitung eines neuen Geobasisdatensatzes der Oberflächenbewegungen in der Schweiz aus interferometrischen Zeitreihenanalysen von INSAR-Daten. Die Produktion wurde dann allerdings im Rahmen einer WTO-Ausschreibung extern vergeben. Der Produktname des **Datensatzes** soll **«swissGroundMotion»** sein.

Schliesslich ist in den **strategischen Handlungsfeldern 2025** festgehalten: *«swisstopo ermöglicht mit Grundlagedaten die Überwachung der Bewegungen der Erdoberfläche.»* Damit ist gewährleistet, dass die eingangs dieses Kapitels seitens des Bereichs Geodäsie im Rahmen des LVW95 formulierte Zielsetzung auch längerfristig weiterbearbeitet werden kann.

2.9.3 Landesweite Untersuchungen und Deformationsanalysen; Projekte Swiss4D

Vor dem Hintergrund der wissenschaftlichen Debatten in den Sechzigerjahren des letzten Jahrhunderts zur «Hypothese von Wegener» und den Kontinentalverschiebungen wurden die Fragen nach der Untersuchung von Erdkrustenbewegungen aus wiederholten Beobachtungen auch in den Kreisen der geodätischen Wissenschaft diskutiert. Berichte über erste Untersuchungen in der Schweiz haben sich mit dem Versuch, Horizontalverschiebungen aus wiederholten Triangulationsmessungen zu ermitteln, befasst [vgl. Anhang 2.1.3: Kobold und Habib, 1966]. Erste Hinweise auf mögliche Vertikalbewegungen in der Schweiz ergaben sich aus dem Vergleich der ersten Zweitmessungen des Landesnivellements, welche ab 1943 durch swisstopo systematisch aufgenommen wurden. Anlässlich der Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG), welche 1967 in der Schweiz stattfand, wurde erstmals von signifikanten Hebungen des Rheintals (Sargans) bezüglich Rorschach und Walenstadt aus dem Vergleich wiederholt gemessener Linien des Landesnivellements berichtet [SGK, 1967]. Den Durchbruch brachte die Nachmessung des Nord-Südprofils Basel–St. Gotthard–Faido 1967 bis 1970. In diesem Zusammenhang wurden auch Vermutungen über die geophysikalischen Ursachen dieser Phänomene diskutiert. Diese konnten einerseits durch isostatischen Ausgleichsbewegungen im Zusammenhang mit dem Abschmelzen der Eismassen seit der letzten Eiszeit und/oder durch die Alpentektonik erklärt werden.

Konkret wurden die Untersuchungen in Projekten durchgeführt. Dennoch basieren die landesweiten kinematischen Analysen immer auf den wiederholten oder permanenten Messungen der Landesvermessungsnetze, insbesondere dem GNSS-Landesnetz LV95 und dem GNSS-Permanentnetz AGNES (Messreihen CHTRF95) sowie dem Landesnivellement (kinematische Ausgleichung LHN95).

2.9.3.1 Projekt Swiss4D

Das swisstopo-Projekt Swiss4D (2001–2005) hatte das Ziel, mit Hilfe von Daten der Landesvermessung (AGNES, LV95, LHN95) Analysen von rezenten Krustenbewegungen durchzuführen. Die geodätischen Daten sollten auch mit geophysikalischen Daten (z.B. des Schweizerischen Erdbebendienstes) kombiniert und gemeinsam interpretiert werden. Daraus sollte ein 4D-Modell der Schweiz (kinematisches 3D-Modell, CHKM95) zur Ergänzung des geodätischen Referenzsystems CHTRS95 erstellt werden.



Kern des Projektes war ein Ressortforschungsvertrag (FEP) mit dem GGL der ETH Zürich mit folgenden Teilarbeiten:

- 1) Dokumentation theoretischer Grundlagen und vorhandener praktischer Resultate zur Deformationsanalyse und zur Modellbildung sowie vorhandener seismisch-geologischer, tektonischer und evtl. gravimetrischer Informationen in der Schweiz.
- 2) Entwicklung der Methode und entsprechender Software für die Analyse der periodisch oder permanent anfallenden GPS-Messdaten aus AGNES sowie von Daten der Landesvermessung (inkl. Nivellement-Daten der LHN95-Ausgleichung und, soweit sinnvoll, Daten der Diagnoseausgleichung DIA93) mit dem Ziel der Berechnung eines 4D-Modelles der Schweiz (kinematisches 3D-Modell, CHKM95). Dazu sind Programme bereitzustellen, welche die grafische Präsentation der Deformationsdaten und der zugehörigen stochastischen Information liefern und die geowissenschaftliche Interpretation der Resultate erleichtern.
- 3) Vorläufige geodätische Deformationsanalyse und Berechnung des CHKM95 (3D-Geschwindigkeitsfeld, Strainfeld etc.) aus AGNES, EUREF und ITRF (evtl. auch weiteren Daten aus dem Alpenraum wie z.B. «Alpine Network» oder EUCOR/URGENT) sowie Daten der Landesvermessung (GPS-Netz LV95, LHN95, evtl. LV03).
- 4) Vorläufige geowissenschaftliche Interpretation anhand der Ergebnisse und Korrelation mit den seismisch-geologischen Informationen. Verknüpfung mit geodynamischen Modellen (Strain-Stressfeld).
- 5) Empfehlungen für mögliche Vertiefungen der geowissenschaftlichen Untersuchungen und für das weitere Vorgehen in der Landesvermessung.

Hauptresultat der Arbeiten am GGL ist die Methode Adaptive Least Square Collocation (ALSC) zur Bestimmung und Interpolation von inhomogenen und anisotropen 3D-Geschwindigkeitsfeldern und Deformationstensoren. Die zugehörige Software wurde im Rahmen dieses FEP von Dr. Ramon Egli am GGL/ETHZ entwickelt und konnte bei swisstopo installiert und praktisch angewendet werden. Sie ist im [swisstopo Report 04-39] dokumentiert. Der Schlussbericht zum FEP, inkl. die Programmanleitung zum Programm ALSCStrain, ist als swisstopo Report 04-47 redigiert. Die Methode wurde auch in einem Poster am Symposium der EGS 2004 vorgestellt. Und am 2nd Swiss Geoscience Meeting (20. Nov. 2004 in Lausanne) hat Prof. A. Geiger dazu unter dem Titel «A Kinematic Model of Switzerland and its relation with alpine Orogenesis and recent Seismicity» referiert.

Die Erkenntnisse des Hauptprojektes sowie die Software ALSCStrain wurden im Jahr 2005 auf die Landesvermessungsdaten angewendet. Aus den Resultaten der kinematischen Ausgleichung des Landesnivellements für die Bestimmung des neuen Landeshöhennetzes LHN95 (A. Schlatter), der Gesamtausgleichung aller GPS-Messkampagnen im Netz LV95 (E. Brockmann, D. Ineichen) sowie den mehrjährigen Daten des AGNES-Netzes (U. Wild, S. Grünig) wurde mit ALSCStrain für die ganze Schweiz ein dreidimensionales Geschwindigkeitsfeld interpoliert und die Hauptkomponenten des Deformationstensors berechnet (U. Marti, A. Wiget). Das Projekt lieferte somit als Ergebnis ein erstes genähertes Modell für die Kinematik in der Schweiz. Der damalige Stand der Erkenntnisse wurde von A. Wiget in einem Vortrag am 3rd Swiss Geoscience Meeting (19. Nov. 2005 in Zürich) präsentiert: «The project Swiss4D: A kinematic model of Switzerland derived from geodetic measurements; a status report.» Im Auftrag der Nagra wurden zusätzlich vertiefte Untersuchungen im Raum Nordschweiz durchgeführt [swisstopo Report 04-40].

2.9.3.2 Projekt Swiss4D-Erweiterung SAR

Zum Projekt Swiss4D wurde vom Bereich Geodäsie der Geschäftsleitung swisstopo im März 2003 ein Erweiterungsantrag eingereicht, um nebst den geodätischen Messmethoden als weitere Technik die Differentielle Synthetic Aperture Radar Interferometrie (D-InSAR) studieren zu können. Denn während das Nivellement und die GPS-Messungen die punktuelle oder lineare Erfassung von horizontalen und vertikalen Bewegungen oder Verschiebungen an der Erdoberfläche ermöglichen, bietet die differentielle SAR-Interferometrie flächige Informationen über die untersuchten Gebiete. Wegen der Verfügbarkeit der SAR-Bilder (z.B. von ERS-Satelliten) war diese Technik allerdings auf die letzten zwei Jahrzehnte begrenzt.



Die Resultate der Studie von GAMMA Remote Sensing zum Thema D-InSAR sind in einem *swisstopo Report* zusammengestellt: U. Wegmüller (2004): INSAR analysis for land subsidence monitoring. *swisstopo Report* 04-57, August 2004.

Später wurden von swisstopo noch weitere Studien und Vergleiche zwischen Verschiebungsmessungen mittels GNSS und Radar Interferometrie gemacht. Hierzu sei auf die Publikation von M. Kistler, E. Brockmann, S. Condamine, A. Schlatter und A. Wiget (2016) am 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM) in Wien verwiesen [siehe Anhang 2 Kapitel 2.1.3].

2.9.3.3 Projekt Swiss4D-II

Die Bestimmung von Koordinaten der geodätischen Referenzrahmen und deren zeitlichen Änderungen gehört zu den fundamentalen Aufgaben der Geodäsie und der Landesvermessung. Zudem gehört die Kenntnis von tektonischen Vorgängen innerhalb eines Landes heute zu den zentralen Bereichen eines Raummonitorings. Am 7. Aug. 2007 genehmigte die Geschäftsleitung swisstopo auf Antrag des Bereiches Geodäsie das Nachfolgeprojekt Swiss4D-II (2007–2013). Das Projekt wurde als Beitrag der Geodäsie zum Raummonitoring und als Baustein für Studien zur Thematik des «Global Change» resp. des «Observing the Earth – the Living Planet» Programms der ESA anerkannt.

Die im Projektantrag aufgelisteten Hauptziele konnten durchwegs erreicht werden. Diese sind im Einzelnen:

- 1) Analyse der lokalen und regionalen geologischen / tektonischen Verhältnisse:
Die geologischen Verhältnisse auf sämtlichen AGNES-Stationen und LV95-Punkten wurden in einer Tabelle zusammengefasst. Diese ist im 3. Zwischenbericht des GGL zu Swiss-4D-II im Anhang A enthalten. Zudem wurde untersucht, ob es eine Korrelation zwischen Bewegung und Hangneigung gibt. Die Resultate sind im Kapitel 2 des 3. Zwischenberichts enthalten.
- 2) Analyse der geodätischen Netze und Messungen:
Die Analyse der Zeitreihen auf den AGNES-Stationen ist im 1. Zwischenbericht dokumentiert. Diese enthält Common Mode Filterung, Korrelations-Analyse, saisonale Schwankungen, Sprung-Detektion und Block-Detektion.
- 3) Verbesserung der Auswertemethoden der geodätischen Messungen:
In diesem Bereich wurden vor allem die Multipath-Untersuchungen auf allen AGNES-Stationen durchgeführt. Diese sind im Kapitel 1 und Anhang B des 3. Zwischenberichts dokumentiert.
- 4) Verbesserung der Software ALSCStrain/STRAIN für die Interpolation und 3D-Analyse der geodätischen Daten (Methodik):
Das Programm ALSCStrain wurde zunächst in einem kleinen Auftrag an R. Egli noch leicht erweitert und an die Bedürfnisse von swisstopo angepasst. Danach wurde die Software vom GGL auf R portiert und mit einem Python-Interface versehen. Ebenso erfolgte die Erweiterung auf 3D und die Unterstützung weiterer Eingabeformate. Die Software wurde bei swisstopo erfolgreich installiert und getestet. Die Methode und das Programm wurden in internen Berichten sowie in folgender Referenz umfassend beschrieben: R. Egli, A. Geiger, A. Wiget and H.-G. Kahle (2007): A modified least-squares collocation method for the determination of crustal deformation: first results in the Swiss Alps, *Geophysical Journal International*, 168(1), 1–12, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03138.x>.
- 5) Methodische Erweiterung der Untersuchungen um geophysikalische Messungen:
Hier stand vor allem die Integration der Resultate aus seismischen Daten, insbesondere Erdbebenherdlösungen im Vordergrund. Diese Arbeiten sind im 2. Zwischenbericht dokumentiert. Die Verwendung weiterer ursprünglich vorgesehener Daten (z.B. die Auswertung von Bohrlochdaten) sprengten den Rahmen des Projektes.
- 6) Abstecken des Tätigkeitsfeldes für geowissenschaftliche Untersuchungen:
Die präsentierte Schlusslösung enthält sämtliche bisher verfügbaren Daten aus AGNES, CHTRF und dem LHN. Das berechnete kinematische Modell CHKM kann für weitere Untersuchungen verwendet werden. Ebenso kann die erstellte Software auch auf andere Daten – zum Beispiel lokale Rutschungen – angewandt werden. Probleme im erstellten Modell zeigen sich noch an den Randzonen des Untersuchungsgebietes. Durch die Integration von Daten aus dem benachbarten Ausland könnte dies noch stabilisiert werden.



Da die tektonischen Geschwindigkeiten innerhalb der Schweiz mit weniger als ca. 1 mm/Jahr sehr klein sind, halten sich die berechneten tektonischen Bewegungen und das Messrauschen zurzeit noch etwa die Waage. Diese Situation wird sich aber in Zukunft durch die Verfügbarkeit von längeren Zeitreihen verbessern.

Als Schlussfolgerungen wurde im Projektschlussbericht von Swiss4D-II festgehalten: Die rezente tektonische Deformation in der Schweiz ist im Vergleich zu anderen Einflüssen sehr klein. Instabilitäten der Gebäude und Fundamente der Stationen, lokale Bewegungen, tägliche und saisonale Schwankungen wegen Temperatur und Hydrologie beeinflussen die Stationskoordinaten. Alle diese Einflüsse liegen in derselben Grössenordnung von Sub-mm bis mm. Deshalb ist es klar, dass die Separierung eines tektonischen Signals sehr schwierig ist. Die Analyse der Zeitreihen der AGNES-Stationen zeigt die lokalen Bewegungen welche durch Grundwasserschwankungen, Temperatur etc. verursacht werden. Es wurde aber aufgezeigt, dass die Messungen der CHTRF-Kampagnen verwendet werden können, um tektonische Information zu gewinnen. Lokale Einflüsse können durch die Verwendung von Kollokations-Methoden eliminiert werden, indem das totale Signal in verschiedene Wellenlängen aufgeteilt wird. Die Fortsetzung des Strainfeldes von der Oberfläche in den Untergrund bleibt eine schwierige Aufgabe. Dazu müssen sehr viele hypothetische Annahmen getroffen werden. Zurzeit ist die Fortsetzung des Feldes in den Untergrund nur durch die Verwendung sehr einfacher Modelle (z.B. Thin Plate Model) möglich.

Der Projektschlussbericht sowie sämtliche Berichte des GGL/ETHZ zum Projekt wurden im *swisstopo Report* 13-08 zusammengefasst. Nach Projektabschluss werden die Ergebnisse auch noch zu einer Dissertation ausgebaut, welche in der Reihe der «*Geodätisch-Geophysikalischen Arbeiten der Schweiz*» der Schweizerischen geodätischen Kommission publiziert wurde [A. Villiger (2014): Improvement of the Kinematic Model of Switzerland (Swiss4D-II); SGK Band 90].

2.9.4 Lokale Deformationsuntersuchungen

In Ergänzung zu landesweiten Untersuchungen wurden und werden von swisstopo auch lokale Bewegungen und Deformationen der Erdoberfläche bzw. des Untergrundes (z.B. in Tunnels) untersucht. Diese wurden teilweise im Auftrag und in Zusammenarbeit mit interessierten Auftraggebern durchgeführt, welche auch zusätzliche Messungen finanziert haben.

Als Beispiele seien erwähnt:

- Geodätisches Kontrollnetz **Zugerbucht** als Folge des «Erdeinbruchs von Zug vom 5. Juli 1887» im Auftrag der Stadt und des Kantons Zug. Das ursprüngliche Nivellementnetz wurde 1975 durch ein Lagekontrollnetz mittels trigonometrischer Messungen ergänzt, welches alle 6 Jahre wiederholt gemessen wurde; seit 1995 werden für die Lage primär GPS/GNSS-Messungen durchgeführt [siehe TB 95-07, TB 96-01, TB 00-18, *swisstopo Report* 06-22, *swisstopo Report* 11-12 und *swisstopo Report* 16-09].
- Rutschungsmessungen am **Wägitalersee** (SZ) im Auftrag der Kraftwerke Wägital mit klassischen und GPS-RTK-Methoden [siehe z.B. *swisstopo Reports* 93-04, 95-08, 96-06, 97-04, 98-04, 99-04, 00-10].
- Präzisionsnivellements im Gebiet **Rheinfelden-Riburg** zur Untersuchung von Bodensenkungen im Salzausbeutungsgebiet der Rheinsalinen im Auftrag des Kantons Aargau [siehe z.B. TB 98-13].
- Langjährige Rutschhangvermessungen oberhalb von Silenen (UR) an der Westflanke der **Kleinen Windgällen** im Auftrag des Kantons Uri (Amt für Forst und Jagd) und den Schweizerischen Bundesbahnen SBB [siehe z.B. *swisstopo Reports* 01-37, 03-23, 15-24]. In diesem Gebiet wurden auch Vergleiche mit Radarmessungen (InSAR) durchgeführt und publiziert [siehe Kistler et al. JISDM 2016].
- Netz «**Neotektonik Nordschweiz**» im Auftrag der Nagra [siehe TB 87-01, TB 90-03, TB 92-05, TB 95-02, TB 96-05 und TB 97-20 sowie *swisstopo Reports* 04-40, 05-31, 04-45 und 07-03]. Ergebnisse und Erkenntnisse wurden auch in *Technischen Berichten der Nagra* (NTB) bzw. in *Arbeitsberichten* (NAB) publiziert [siehe u.a. NTB 99-08, NAB 06-04, NAB 07-27, NTB 08-04 und NAB 14-26]. Diese sehr frühen GPS-Messungen wurden 1988 mit Messungen für die geplanten SBB-Bahntunnels Wisenberg und Adlertunnel kombiniert [siehe TB 89-04, TB 89-05, TB 90-02, TB 91-03 und TB 95-01]. Die späteren Messkampagnen wurden in die Messungen für das Landesnetz LV95 integriert bzw. mit den CHTRFyy-Kampagnen kombiniert [z.B. TB 98-15].



- Deformationsanalysen «**Gotthard**» aus dem Landesnivellement im Rahmen des neuen Landeshöhen-netzes LHN95 [siehe TB 97-40 «Untersuchung der Senkungserscheinungen im Bereich des Gotthard-Strassentunnels», TB 99-10 «Kinematische Ausgleichungen und Deformationsanalyse im Gotthardge-biet, Stand 1999» sowie TB 00-13 «Ergebnisse der kinematischen Analyse der Landesnivellements im Gotthardgebiet und grossräumige Überwachung des Projektgebiets mit Hilfe von Präzisionsnivele-ments und mit GPS-Permanentnetzen (Beitrag zu Ingenieurvermessung 2000)»].
- Präzisionsnivellements, Präzisionspolygonzug und Deformationsanalysen im **Hauenstein Basis-tunnel** im Auftrag der Schweizerischen Bundesbahnen SBB sowie der Nagra [siehe TB 89-03, TB 90-04, TB 91-02, TB 92-03, TB 92-04, TB 95-04, *swisstopo Report* 03-24].
- Neotektonische Untersuchungen (RCM) im **Lötschberg-Scheiteltunnel** sowie auf der Strecke Gop-penstein – Steg im Auftrag der BLS-AlpTransit AG [siehe TB 95-28, TB 96-08, TB 99-16, TB 99-37 und TB 01-17].
- **Präzisionsnivellements im Raum Basel** in Zusammenarbeit mit dem GGL ETHZ im Rahmen des Projekts **EUCOR-URGENT**: Recent vertical movements from precise levelling in the vicinity of the city of Basel, Switzerland [*swisstopo Report* 03-27 und Schlatter et al., 2005].

Die Ergebnisse dieser und weiterer lokaler Untersuchungen wurden in *Technischen Berichten* und *swisstopo Reports* des Typs C «Berichte von Arbeiten für Dritte (Werkvertrag)» dokumentiert, bei denen das Copyright an die Auftraggeber überging.

2.9.5 Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen

Tabelle 2-10: Kinematische Landesvermessung CHKM95: Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2020	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none">• Aus den langjährigen SLR-Beobachtungen in Zimmerwald und aus den GNSS-Auswertungen des IGS liegen globale 3D-Geschwindigkeitsvektoren für den Fundamentpunkt Zimmerwald im ITRS vor.• Als Nebenprodukt der kinematischen Ausgleichung des LHN95 liegt ein detailliertes kinematisches Modell der Vertikalgeschwindigkeiten (CHKVM95) vor (diskretes Geschwindigkeitsfeld und dessen Interpolation).• Aus der Gesamtausgleichung von mind. vier Epochen des GNSS-Landesnetzes liegt ein 3D-Geschwindigkeitsfeld vor.• Aus den gesammelten Messdaten des AGNES-Netzes liegen Zeitreihen (diskrete 3D-Geschwindigkeitsfelder) vor.• Im Rahmen des Projektes Swiss4D wurde die Methodik für die kinematische und geodynamische Untersuchung aus wiederholten geodätischen Messungen entwickelt und an ersten Datensätzen erprobt.• Eine erste lokale Untersuchung wurde in der Nordschweiz für die Nagra durchgeführt.• Verschiedene lokale Untersuchungen mit Mess-epochen, welche bis in die frühen Siebzigerjahre zurückreichen, liegen vor (Netze: RCM-Basel, Le Pont, Turtmann, Visp-Zermatt etc.).	<ul style="list-style-type: none">• Verbesserter 3D-Geschwindigkeitsvektor des Fundamentpunktes Zimmerwald durch die kombinierte Auswertung von SLR- und GNSS-Daten.• Das diskrete 3D-Geschwindigkeitsfeld wird in echter Kombination der GNSS-Messungen aus dem Permanentnetz AGNES und dem GNSS-Referenznetz berechnet.• Durch den Einbezug aller GNSS-Systeme und verbesserten Satellitenkonstellationen bei der Auswertung neuer Messungen wird die Höhengengenauigkeit der AGNES-Stationen bzw. des GNSS-Referenznetzes und damit auch jene des 3D-Geschwindigkeitsfeldes laufend verbessert.• Das Geschwindigkeitsfeld aus LHN95 wird mit jenem aus dem GNSS-Referenznetz/ AGNES kombiniert ausgeglichen.• Die Methodik der kinematischen und geo-dynamischen Untersuchung wird weiter verbessert und auf die neuen Datensätze angewendet.• Die lokalen Untersuchungen werden unter Verwendung neuer Messmethoden wie z.B. der differentiellen SAR-Interferometrie (D-InSAR) fortgesetzt.



Referenzen zu 2.9:

Im Anhang 2 im Kapitel 2.1.3 sind einige Beiträge zum Thema Kinematik der Landesvermessung bzw. Geodynamik der Schweiz aufgeführt. *swisstopo Reports* zu den Projekten Swiss4D und Swiss4D-II sind im Kapitel 2.3.9 «Kinematisches Modell CHKM95 (Projekt Swiss4D)» zusammengestellt.



2.10 Dokumentation, Kommunikation und Dienstleistungen

2.10.1 Strategische Zielsetzung

Die Konzepte, Grundlagen und Daten des Landesvermessungswerks LVW95 werden dokumentiert, archiviert und dem Nutzer, der Nutzerin in geeigneter Form und zeitgemäss durch Nutzung aktueller Kommunikationswege und kundenfreundlicher Webdienste zur Verfügung gestellt.

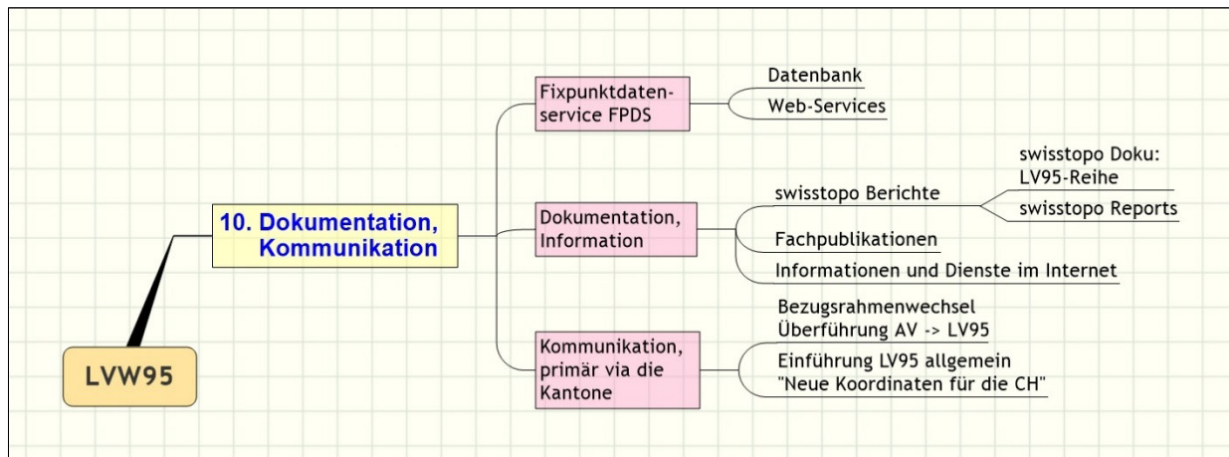


Abbildung 2-48: Mindmap LVW95: Inhalte von Topic 10 – Dokumentation, Kommunikation LVW 95

2.10.2 Dokumentation und Publikationen

Die technischen Grundlagen der «Neuen Landesvermessung LV95» bzw. des «Landesvermessungswerks LVW95» wurden von 1995 bis 2002 in der «Dokumentationsreihe für technisch-wissenschaftliche Arbeiten der L+T» unter dem Namen «**Berichte aus der L+T / Rapports du S+T**» sehr detailliert und umfassend dokumentiert und publiziert. Danach wurde diese Reihe unter dem Namen «**swisstopo-Doku**» weitergeführt. Alle Berichte sind im Internet abrufbar unter:

https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/publications/geodesy/swisstopo_doku_pdf

Die Titel der Berichte der LV95-Reihe heissen: «Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95» (französisch: Série MN95 «Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse MN95») – zusammen mit dem jeweilig spezifischen Fachtitel. Die Liste mit allen Berichten aus der LV95-Reihe ist im **Anhang 2.2** zusammengestellt.

Alle Entwicklungen, Messkampagnen und begleitenden Untersuchungen des Bereiches Geodäsie ab den 1990er-Jahren wurden in «**Technischen Berichten**» (TB) und «**swisstopo Reports**» dokumentiert. Eine (wohl unvollständige) Liste der Berichte, welche direkt oder indirekt mit dem Aufbau des Landesvermessungswerks LVW95 in Zusammenhang stehen, ist im **Anhang 2.3** zusammengestellt.

Die Fachwelt wurde bereits früh über die neue Landesvermessung LV95 informiert. Primär in der Schweizer Fachzeitschrift «**Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik**» (heute «**Geomatik Schweiz**») hat swisstopo verschiedene Artikel über die Neuerungen mit GPS und über den Aufbau von LV95 publiziert. Beispiele von **Fachpublikationen zu LV95** bzw. **LVW95** sind im **Anhang 2.1** zusammengestellt. Ein umfassendes Literaturverzeichnis ist am Schluss der *swisstopo-Doku* 21 sowie in der Fachpublikation in «**Geomatik Schweiz**» Heft 11/2020 zu finden. swisstopo-intern sei auch auf den Archivordner 2 «Medienmitteilungen, Texte, Fachpublikationen» des Projekts «Kommunikation Bezugsrahmenwechsel» sowie auf das **Kommunikationskonzept im swisstopo Report 11-14** verwiesen (siehe Kapitel 2.10.4).

Ein wichtiger Teil der Dokumentation zum LVW95 sind auch die **Punktdokumente**. Für alle LV95-Punkte und AGNES-Stationen wurden neue, mit umfassenderen Informationen wie GNSS-Tauglichkeit versehene Fixpunktprotokolle geschaffen. Sie sind sowohl über den gemeinsam mit den Kantonen betriebenen



Fixpunkt-Datenservice FPDS wie auch im Internet über <https://map.geo.admin.ch> (siehe dort unter: Grundlagen und Planung → Ortsangaben, Referenzsysteme) allgemein abrufbar.

Als weitere Informationskanäle nutzte swisstopo die eigenen Publikationsreihen für Kundinnen und Kunden, wie die Fachzeitschrift für das schweizerische Katasterwesen «**cadastre**» und die «**swipos-News**» für die Nutzerinnen und Nutzer des swisstopo-Positionierungsdienstes.

2.10.3 Spezielle Arbeitsgruppen und LV95-Projekte zur Kommunikation und Einführung

Bereits 1993 wurde von der Eidgenössischen Vermessungsdirektion und swisstopo die gemeinsame **Arbeitsgruppe «Amtliche Vermessung – Landesvermessung 95»** gegründet. Sie hatte den Auftrag, Entscheidungsgrundlagen für die Umstellung der amtlichen Vermessung auf das neue Bezugssystem bzw. den neuen Bezugsrahmen zu liefern. Ihre Erkenntnisse wurden im Oktober 1995 im Schlussbericht «Konsequenzen der neuen Landesvermessung 95 für die Amtliche Vermessung» publiziert. In den drei folgenden Jahren wurde das Detailprojekt «Raumbezogene Daten / Landesvermessung 95» ausgearbeitet und mit Beschluss der Geschäftsleitung-swisstopo am 22.02.2000 das **Projekt «CC RD/LV95»** gestartet, um die Verfügbarkeit von Geodaten wahlweise sowohl im Bezugsrahmen LV03 wie auch im Bezugsrahmen LV95 sicherzustellen. Es sollte eine langfristige Überführung sämtlicher raumbezogener Daten geprüft und vorbereitet werden. Die Projektgruppe erarbeitete das Konzept zur «Überführung der amtlichen Vermessung in den Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (LV95)». Ebenfalls Gegenstand des Projektes war die Frage, ob eine Umstellung des offiziellen Höhenbezugsrahmens von LN02 auf LHN95 sinnvoll wäre – welche schliesslich negativ beantwortet wurde. Das Projekt wurde im März 2008 abgeschlossen. Zusammen mit dem Projektschlussbericht wurde auch ein Dokumentationsverzeichnis erstellt.

Das **Nachfolgeprojekt «Überführung AV → LV95»** wurde noch im Jahr 2008 gestartet. Denn gemäss Artikel 53 GeoIV mussten die Kantone die amtliche Vermessung als einer der wichtigsten und komplexesten Referenzdatensätze der Geobasisdaten des Bundesrechts bis Ende 2016 in den Lagebezugsrahmen LV95 überführen. Das Projektteam half mit bei der Bereitstellung der Grundlagen und Werkzeuge durch swisstopo und zeichnete verantwortlich für die fachliche Begleitung, Steuerung und Überwachung der Prozesse in den Kantonen.

Wichtige Komponenten der erfolgreichen landesweiten Einführung von LV95 waren die rechtzeitige, stufengerechte Information und die Kommunikation mit allen Betroffenen. Deshalb schlug der Leiter des Bereichs Geodäsie von swisstopo dem Steuerungsorgan des Impulsprogramms e-geo.ch die Lancierung einer Aktion unter dem Namen «**Breite Sensibilisierung zum Thema Bezugsrahmenwechsel**» vor. Ziel der am 5. November 2008 vom Steuerungsorgan im Aktionsplan 2009 genehmigten **e-geo.ch Aktion 09-02** war die zeit- und stufengerechte Sensibilisierung, Information und Kommunikation zum Thema «Bezugsrahmenwechsel» (BRW) auch ausserhalb der amtlichen Vermessung, wie beispielsweise bei den Bundesämtern als Produzenten von Geobasisdaten, bei den Geoinformationsstellen der Kantone und Städte sowie weiterer Produzentinnen und Produzenten und schliesslich bei allen Anwenderinnen und Anwendern von Geodaten. Die Aktion 09-02 wollte breit für den BRW sensibilisieren, bei den Betroffenen eine positive Grundhaltung schaffen, über die Vorteile und die gemachten Erfahrungen berichten sowie kompetente Beratung und Unterstützung anbieten. Die Aktion half, den Kontakt zu den Partnern von e-geo.ch und swisstopo in dieser Sache zu erleichtern und gemeinsam eine gute Basis zu schaffen. Diese Aktivität bzw. das Ziel, den «allgemeinen Wissensstand betreffend Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 zu verbessern», wurde auch in die Leistungsvereinbarung 2009 von swisstopo mit dem VBS aufgenommen. Nach der Genehmigung und Verdankung dieser zeitlich begrenzten Aktion durch den Steuerungsausschuss von e-geo.ch im Jahr 2011 wurde sie swisstopo-intern als **Projekt «Kommunikation Bezugsrahmenwechsel»** weitergeführt, da die Realisierung des Bezugsrahmenwechsels bei den Produzentinnen resp. Produzenten wie bei den Nutzern der Geodaten noch andauerte.

Beide Projekte – «Überführung AV → LV95» und «Kommunikation Bezugsrahmenwechsel» – wurden zeitgleich abgeschlossen, nachdem im Frühling 2017 alle Kantone den Bezugsrahmenwechsel erfolgreich abgeschlossen und die LV95-Koordinaten in der amtlichen Vermessung eingeführt hatten. Im Schlussbericht zum Projekt «Überführung» wurden nebst den getroffenen Massnahmen insbesondere auch alle



Informationsmittel und Publikationen umfassend dargestellt. In den folgenden Kapiteln werden diese Massnahmen und Informationsmittel erläutert.

2.10.4 Kommunikationskonzept und Medienarbeit

Schon früh hielten Ingenieure der Abteilung bzw. des Bereichs Geodäsie Vorträge zur neuen Landesvermessung LV95 an Fachveranstaltungen, an swisstopo-Kolloquien sowie an Seminaren der Hochschulen und Fachhochschulen. Besonders erwähnt seien die zwei ganztägigen **Informationsveranstaltungen zu LV95**, welche im Oktober 1995 an der ETHZ und an der EPFL durchgeführt wurden. Nach der Klärung der Rechtsgrundlagen durch das GeoIG nahm die Vortragstätigkeit zu. Zwei weitere Informationsveranstaltungen fanden im Oktober/November 2009 ebenfalls an der ETHZ und an der EPFL mit insgesamt über 200 Teilnehmenden statt. Hinzu kamen Vorträge, beispielsweise an der Fachhochschule Nordwest-Schweiz (April 2008), an der SIK-GIS Tagung im 2010, an der GIS/SIT 2010, für den Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE (Juni 2010), am «ESRI GIS-Day» (November 2011). Intensiv genutzt wurden auch die **Ausbildungskurse**, welche swisstopo in Zusammenarbeit mit dem Bildungszentrum Geomatik Schweiz (BIZ-Geo) anbot.

Für einen breiteren Kreis interessierter Personen und Institutionen haben die swisstopo-Bereiche Geodäsie und Vermessungsdirektion im November 2006 gemeinsam die **Informationsbroschüre** «Neue Koordinaten für die Schweiz – Der Bezugsrahmen LV95» in Deutsch, Französisch und Italienisch herausgegeben.

Im Rahmen der bereits genannten e-geo.ch Aktion bzw. des Projektes «Kommunikation Bezugsrahmenwechsel» (siehe 2.10.3) wurde ein detailliertes **Kommunikationskonzept** erstellt und nach intensiven Kontakten mit den Zielgruppen und Ansprechpartnern von der Geschäftsleitung swisstopo genehmigt. Im April 2012 wurde es in deutscher und französischer Sprache im *swisstopo Report* 11-14 publiziert. Es enthält eine Situations- und Umfeldanalyse, eine SWOT-Analyse, Beschreibung der Ziele und des Zielpublikums, der Akteure, der Informationsmittel und -kanäle sowie einen Zeitplan mit Mittelbedarf. Die vorgesehenen Aktivitäten wurden in einem **Masterplan – Kommunikation** zusammengestellt. Zudem wurde je ein **Aktionsplan Kommunikation BRW** für Fachleute, für spezielle Kunden und für allgemeine Nutzerinnen, Nutzer und die Öffentlichkeit erstellt.

Als zuständige Stellen für die Referenzdaten der amtlichen Vermessung waren gemäss GeoIV die **Kantone** verantwortlich, den Wechsel des Lagebezugsrahmens bis zum 31. Dezember 2016 zu vollziehen. Sie waren daher die ersten und wichtigsten Kunden bzw. Datenherren, die informiert werden mussten. An mehreren Erfahrungsaustausch-Tagungen sowie an der Konferenz der Kantonalen Vermessungsämter (**KKVA/CSCC**) im Dezember 2011 in Olten wurden die Kantonsgeometerinnen und Kantonsgeometer und die kantonalen Fixpunktverantwortlichen über LV95 und den Bezugsrahmenwechsel informiert. Selbstverständlich wurde auch die Frage der optimalen Kommunikation angesprochen und diskutiert, wie swisstopo die Kantone am besten unterstützen könnte. Im April 2014 organisierte die Eidgenössische Vermessungsdirektion, unterstützt vom Bereich Geodäsie, einen breit besuchten **nationalen Erfahrungsaustausch** und eine **Fachtagung zum Bezugsrahmenwechsel**.

Schon frühzeitig wurden auch **externe Firmen** darin unterstützt, ihre Software für den Wechsel auf LV95 aufzurüsten, Informationsflyer für ihre Kundschaft zu erstellen sowie eigene Fachvorträge zu LV95 zu halten: z.B. ESRI Geocom mit GEONIS; Intergraph bzw. a/m/t mit Geomedia/GEOS Pro; terra vermessungen ag mit gut besuchten Firmenvorträgen. Mit den Herstellern von geodätischen GNSS-Empfängern, namentlich Leica Geosystems und Trimble, war swisstopo stets in engem Kontakt. Zudem wurden auch der Generalimporteur und Vertreter von Garmin (Navigations- und Wander-GPS-Empfänger), die Firma Bucher + Walt, kontaktiert und über die Neuerungen im Schweizerischen Koordinatensystem informiert.

Da der Bezugsrahmenwechsel kantonsweise erfolgte, sollten auch die Benutzer der Daten und die breite Öffentlichkeit zeitnah und somit kantonsweise informiert werden. Andererseits mussten viele **Institutionen und Firmen**, welche schweizweit tätig sind, frühzeitig für den Bezugsrahmenwechsel sensibilisiert und über die optimale Einführung der neuen Koordinaten informiert werden (z.B. SBB, Swisscom). Besonders wichtig war, dass die sog. **Blaulichtorganisationen** frühzeitig informiert wurden, damit keine Verwechslungen oder Falschinterpretationen mit neuen Koordinaten im Zusammenhang mit Unfallmeldungen vorkommen würden. Aus diesem Grund wurden bereits vor der Medienmitteilung vom 2. Oktober 2012 (siehe unten)



die Nationale Alarmzentrale NAZ, das Bundesamt für Polizeiwesen FEDPOL und die REGA vorinformiert. Das FEDPOL seinerseits informierte gemäss Abmachung alle kantonalen Polizeistellen (bzw. Polizei-Kommandanten). Vorzeitig wurde auch die «Tagesschau» des Schweizer Fernsehens SF informiert.

Zu beachten war und ist zudem, dass Fachleute sowie Kundinnen und Kunden, welche mit ihren Anwendungen an cm- oder dm-Genauigkeit interessiert sind, vom Bezugsrahmenwechsel echt betroffen sind. Andererseits ist die **breite Öffentlichkeit**, z.B. Wanderer, nur von der neuen siebenstelligen Bezeichnung der Koordinaten tangiert, ohne dass die Änderungen im Meterbereich eine Rolle spielen. Doch wie kommuniziert man eine Veränderung, welche alle wissen sollten, aber die wenigsten echt betrifft? Denn es darf beispielsweise nicht vorkommen, dass jemand ohne Sachkenntnisse die neu vorangestellten 2 Mio. m resp. 1 Mio. m der Koordinaten weglässt oder hinzufügt. Dadurch ginge die Information verloren, in welchem Bezugsrahmen die Daten vorliegen. Eine Folge könnte sein, dass Transformationen sogar doppelt durchgeführt würden, in der Meinung, die Daten lägen immer noch in LV03 vor.

Damit war die Kommunikation insgesamt recht komplex und anspruchsvoll. Der Bereich Geodäsie war daher besonders dankbar, dass er vom swisstopo-Ressort «Kommunikation und Web» (DKW) tatkräftig und kompetent unterstützt wurde. Gemeinsam mit dem DKW und dem Bereich Kartografie wurden diverse **Schlüsselkundinnen und -kunden im Herbst 2012 direkt angeschrieben**, beispielsweise der Chef der Armee, der Schweizer Alpen-Club SAC und die Schweizer Wanderwege.

Diese Unterstützung durch DKW war insbesondere im Zusammenhang mit der offiziellen Lancierung der neuen Koordinaten im Rahmen einer **Medienmitteilung** von swisstopo unter dem Titel **«Die Schweiz erhält neue Koordinaten»** am **2. Oktober 2012** wichtig. Diese wurde via die Kommunikationsstelle des GS-VBS auf dem offiziellen Info-Kanal www.news.admin.ch verteilt. Anlass für die Medienmitteilung war die Herausgabe der nachgeführten Landeskartenblätter 1:25'000 von Basel, Rodersdorf, Arlesheim und Damvant, welche erstmals mit den neuen LV95-Koordinaten am Kartenrand publiziert wurden.

2.10.5 Weitere Informationskanäle und -materialien

Ein wichtiger Schritt zur Unterstützung der Kommunikation und der Berichterstattung in den Medien war die frühzeitige Bereitstellung von **Textbausteinen** und **Grafiken**. Da nebst den Fachleuten auch die breite Öffentlichkeit informiert wurde, mussten den Medien sachlich korrekte und (trotzdem) gut verständliche Texte bereitgestellt werden. Für deren Erstellung wurde Frau Claudia Fahlbusch (Firma escribo) engagiert. In enger Zusammenarbeit mit dem Projektleiter hat Frau Fahlbusch Standardtexte verschiedener Länge sowie die Kernbotschaften zu LV95 in Stichworten («Das Wichtigste in Kürze») und Kurztexte für «Häufige Fragen (FAQ)» verfasst. Diese Textbausteine wurden den Medien zur Verfügung gestellt.

Verschiedene Medienstellen wie das «*Schweizer Baublatt*» oder der SAC wurden direkt angeschrieben. Die Redaktorin vom «*Baublatt*» hat den Journalisten B. Kron mit einem Artikel beauftragt. Er sowie Herr U. Mosimann von der Redaktion «*Die Alpen*» (SAC) wurden von swisstopo mit weiteren Informationen, Bildern und Grafiken beliefert. Speziell von swisstopo in Auftrag gegebene oder durch Textredaktion und Grafiken unterstützte Publikationen wurden in folgenden Zeitschriften publiziert: *Baublatt* (B. Kron), *Bauen Heute* (B. Kron), *Die Alpen* (U. Mosimann), *Haustech* (B. Kron), *NZZ* (B. Ruh) und *NZZ am Sonntag* (A. Hirstein)

Bereits im Jahr 2011 wurden auf der Website von swisstopo spezielle Webseiten unter der Kurzadresse <http://www.swisstopo.ch/lv95> **«Neue Koordinaten für die Schweiz»** zur neuen Landesvermessung, zu den neuen Koordinaten und zum Bezugsrahmenwechsel publiziert. Diese richteten sich einerseits an die breite Öffentlichkeit, die im Wesentlichen nur die Einführung neuer, siebenstelliger Koordinaten zur Kenntnis nehmen musste. Andererseits wurden Seiten mit detaillierten Hintergrundinformationen für Fachleute geschaffen (siehe auch Kapitel 2.10.7). Selbstverständlich waren alle Informationen viersprachig und mit aussagekräftigen Grafiken ergänzt.

Die Textbausteine und Grafiken wurden auch den Kantonen für ihre eigenen Informationskampagnen zur Verfügung gestellt. Um gezielt die Grundeigentümerinnen und Grundeigentümer anzusprechen, schuf swisstopo einen vierseitigen **Flyer «Neue Koordinaten für die Schweiz»** in deutscher, französischer und italienischer Sprache und gab diesen den Kantonen digital ab.



Als Zielgruppe wurden auch die **Kartenbenutzerinnen und -benutzer** angesprochen. Gezielt zur Publikation der ersten Landeskarten mit LV95-Koordinaten im September/Oktober 2012 wurde gemeinsam mit dem Bereich Kartografie ein viersprachiger Flyer im Format der Karten-Informationen (A5) produziert und via Kartenverkäufer gestreut. Die Mitarbeitenden von swisstopo wurden mit einem Artikel «Neue Koordinaten in den Landeskarten – Hintergründe zum Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95» in der internen **Personalzeitschrift TOPO** (Nr. 132 August 2012) orientiert sowie im **Jahresbericht swisstopo 2013**.

Schliesslich wurde die Firma Lomotion AG, Bern, beauftragt, ein Kurzvideo zu den neuen Koordinaten zu drehen. Dieses **Video «Neue Koordinaten für die Schweiz»** (2'05) war über die Internetseite von swisstopo wie auch auf Youtube abrufbar. Weitere «swisstopo Know-how» Videos erklären das Schweizer Koordinatensystem LV95 (<https://www.youtube.com/watch?v=WNcUxt7QfvI>) sowie das globale Koordinatensystem mit geografischen Längen- und Breitengraden (WGS84) (https://www.youtube.com/watch?v=o2_t6MGieLI).

Die Armee bzw. der **Departementsbereich Verteidigung** wurde über die Key-Account-Manager Armee bzw. die Leiter Militärgeografisches Institut informiert. Bereits anlässlich der Definition des neuen Bezugssystems CH1903+ und der Vorbereitung des neuen Bezugsrahmens LV95 wurde im Jahr 1996 mit dem Generalstabschef und mit dem Kommandant Luftwaffe Kontakt aufgenommen. Am 26. März 2014 hat das MilGeo Fachboard die Handlungsrichtlinien zu LV95 genehmigt, wonach «sich die Schweizer Armee in Zukunft nach dem neuen Bezugsrahmen ausrichten wird». swisstopo/Geodäsie hat sich auch an der Überarbeitung des **Reglements 55.082** «Vermessungsdienst der Artillerie» beteiligt, damit darin der neue Bezugsrahmen korrekt dargestellt wird.

Auch in der vollständig überarbeiteten 3. Auflage des **Buches «Karten lesen»** von Martin Gurtner, herausgegeben vom Verlag des SAC im Jahr 2010, wurde der neue Bezugsrahmen LV95 eingeführt und gut verständlich beschrieben.

2.10.6 Informationen der Kantone

Wie erwähnt waren die Kantone verantwortlich für die Einführung des neuen Bezugsrahmens in der amtlichen Vermessung. Daher beriet und unterstützte der Bereich Geodäsie von swisstopo die Kantone sowohl bei technischen Fragen des Rahmenwechsels als auch bei der Kommunikation über die neuen Koordinaten. Die Fachberatung erfolgte im Rahmen diverser Erfahrungsaustausch-Tagungen als auch im direkten Kontakt, insbesondere mit den Fixpunktverantwortlichen der Kantone. Weiter wurden die notwendigen Software-Werkzeuge für die Umrechnungen, primär natürlich mit FINELTRA/REFRAME, zur Verfügung gestellt. Für einzelne Kantone (z.B. Bern und Basel-Stadt) entwickelte der Bereich Geodäsie sogar spezielle Transformationsprogramme. Diese Arbeiten erfolgten allerdings nicht im Rahmen dieses Projektes; sie wurden den Kantonen kostendeckend verrechnet.

Für die **Information der Öffentlichkeit** waren die kantonalen Fachstellen (Geoinformations- und Vermessungsämter) verantwortlich, zumal die Umsetzung des Bezugsrahmenwechsels organisatorisch wie terminlich je nach Kanton unterschiedlich ablief. Für die Kommunikation konnten sich die Kantone besonders auf die erwähnten Textbausteine und Flyer stützen. Auffällig ist, wie die einzelnen Kantone die Kommunikation dann doch recht unterschiedlich, ja individuell angegangen sind. Sehr variantenreich war und ist denn auch die Information über die neuen Koordinaten und den Bezugsrahmenwechsel auf den **Internetseiten der Kantone**. Einige informieren dort sehr breit, mit erklärenden Kurztexten und Hinweise auf die vom Bund (swisstopo) und den Kantonen bereitgestellten Geodienste. Auch die Konzepte zur Umsetzung des Bezugsrahmenwechsels sind teilweise verfügbar und es wurden sogar eigene Plakate entworfen (Kt. ZH). Andere, insbesondere kleine Kantone (AI, AR, JU) dagegen erwähnten die neuen Koordinaten nur minimal.

Die von swisstopo bereitgestellten **Textbausteine** wurden also dankend übernommen, aber in den jeweiligen Medienmitteilungen und vor allem auch in den Internetauftritten variantenreich eingesetzt. Besonders geschätzt wurde der **Flyer für die Grundeigentümerinnen und Grundeigentümer**. Auffällig war dennoch, wie unterschiedlich auch über das Thema der Flächenänderungen der Parzellen im Grundbuch informiert wurde. Einzelne Kantone massen dieser Frage grosse Bedeutung bei und informierten die



Grundeigentümerinnen und Grundeigentümer pauschal oder ab gewissen prozentualen Änderungen gar individuell. Für andere Kantone wiederum war dieses Thema nicht besonders erwähnenswert.

Das Thema der **Flächenänderungen** (vgl. Kapitel 2.4.3) wurde dagegen besonders von den Journalistinnen und Journalisten dankbar aufgenommen. Dies widerspiegelte sich in vielen Titeln von Zeitungsartikeln, wie zum Beispiel «Der Kanton St. Gallen schrumpft», «il Grischun crescha» oder «Il Ticino si è ingrandito». In Liechtenstein wurde der Titel der *NZZ* vom 17. März 2014 «Liechtenstein geht auf Distanz zur Schweiz» bzw. in der Online-Version: «Liechtenstein distanziert sich von der Schweiz» von einer Fachjury sogar zum **Satz des Jahres erkoren**.

Schliesslich sei an dieser Stelle im Sinne einer «externen Reaktion» noch die Beurteilung des Projektes «Kommunikation Bezugsrahmenwechsel» durch das «CC Projekte» zitiert: *Mit bescheidenen finanziellen Mitteln ist es dem Projektteam gelungen, dieses Projekt über eine Laufzeit von 8 Jahren erfolgreich umzusetzen. Das umsichtige Vorgehen beim Einbezug der Kantone und die gute Zusammenarbeit haben wesentlich zu diesem Erfolg beigetragen und dürften Vorbildcharakter haben. Es mag ein «ruhiges» Thema gewesen sei, das von den Medien zurückhaltend aufgenommen worden ist, doch die Schäden durch Falschberechnungen und Missverständnisse aufgrund fehlender oder schlechter Kommunikation wären umso grösser gewesen und hätten zu einem grossen Imageschaden führen können. Dem Projektleiter und -team gebührt insofern für diese wichtige und erfolgreiche Informations- und Kommunikationsarbeit ein grosser Dank.*

2.10.7 Softwareentwicklung und Dienstleistungen (Webservices)

Wichtige Komponenten und Werkzeuge der Einführung des neuen Bezugsrahmens LV95 waren die Softwareentwicklungen von swisstopo sowie die zugehörigen Dienstleistungen, da der Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95 alle Geodaten-Produzentinnen und -Nutzer in der Schweiz betraf (siehe auch Kapitel 2.1). Alle Formeln und Parameter für Koordinatenumrechnungen wurden selbstverständlich frei publiziert, damit in Programmen anderer Hersteller oder in GIS-Applikationen nur diese verwendet wurden. Auch der Source-Code der Softwaremodule für Transformationen wurde kostenlos abgegeben. Dazu hat swisstopo unter der bereits erwähnten Internetplattform <http://www.swisstopo.ch/lv95> «**Neue Koordinaten für die Schweiz**» auch einen **Download-Dienst** für den offiziellen Transformationsdatensatz **CHENyx06** sowie für eine Programmbibliothek (DLL) mit dem offiziellen **FINELTRA-Algorithmus** für Software-Entwickler eingerichtet. Als weitere Webservices wurde ein Transformationsdienst mit allen für die Schweiz relevanten Umrechnungen aufgeschaltet und über den Visualisierungsdienst **FINELTRA-Datenviewer** kann die empirische Transformationsgenauigkeit abgerufen werden [vgl. Kistler und Ray 2007]. Die Transformationsdienste im Internet sind gratis. Die entsprechenden Entwicklungen werden als amtliche Leistungen im Rahmen der Aufgaben des Bereiches Geodäsie erbracht.

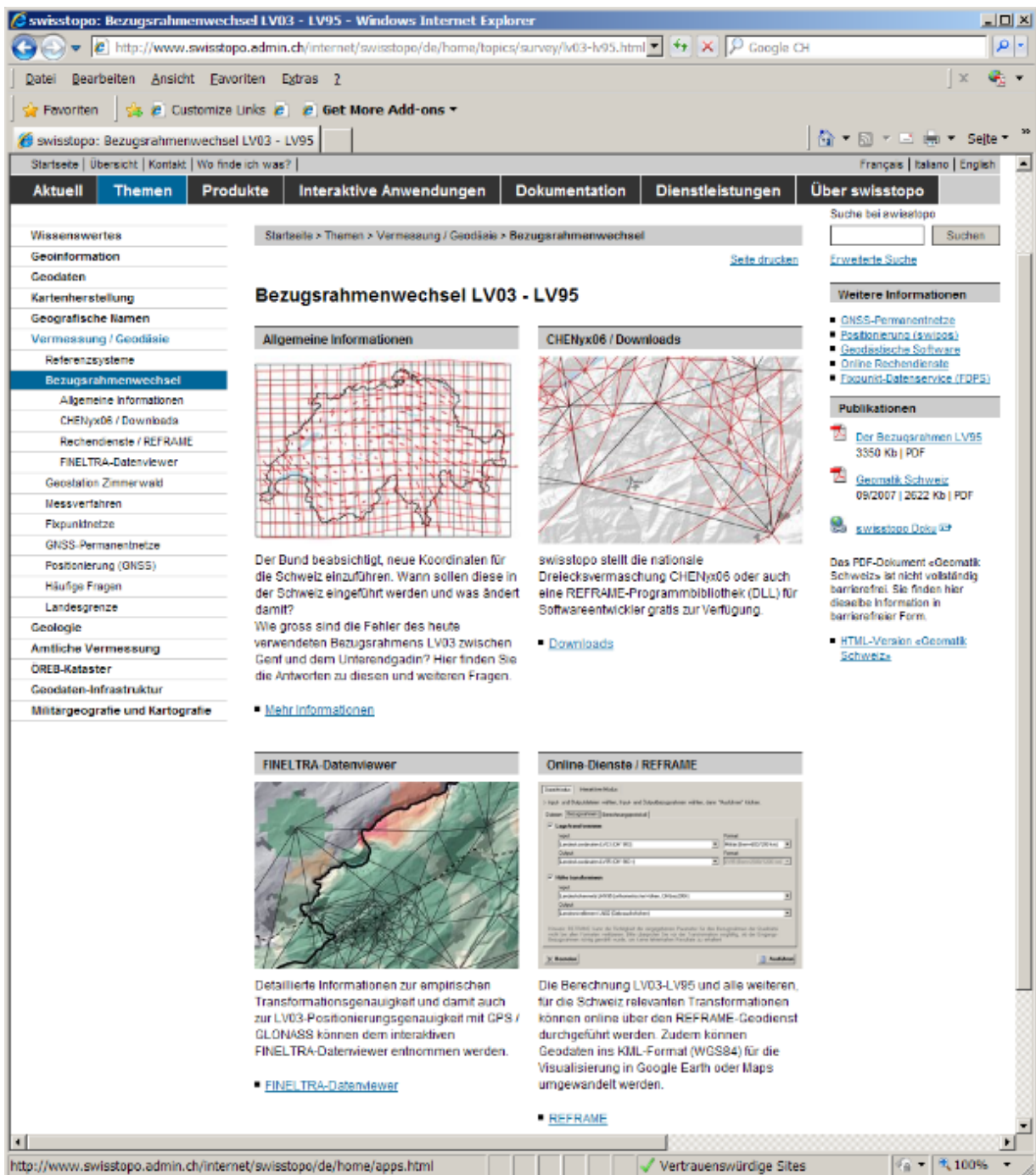


Abbildung 2-49: Einstiegseite des damaligen Internetportals www.swisstopo.ch/lv95

Heute sind die online Transformations- und Rechendienste von swisstopo zum Umrechnen von Koordinaten und zum Konvertieren von Datenformaten hier aufrufbar: <https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/calculation-services.html>. Das Programm **REFRAME** erlaubt Koordinatentransformationen in Lage und Höhe zwischen dem alten Bezugsrahmen LV03 (CH1903) und dem neuen LV95-Rahmen (CH1903+) mit Gebrauchshöhen (LN02), LHN95-Höhen (CHGeo200) oder ellipsoidischen Höhen (Bessel) sowie globalen dreidimensionalen Koordinaten in X/Y/Z oder L/B/H (CHTRS93, ETRS89, WGS84) oder ebenen UTM-Koordinaten (CHTRS93, ETRS89).

Vereinfachte Transformationen zwischen Landeskoordinaten und globalen GPS-Koordinaten (WGS84) ermöglicht das Programm **NAVREF**. Der Geodienst «KML-Generierung» ermöglicht die Umwandlung einer Datei mit Schweizer Landeskoordinaten in ein KML-File.



Die geodätischen **REST Webdienste** (REpresentational State Transfer) erlauben es, verschiedene Koordinatentransformationen (WGS84-LV95-LV03) in die eigenen Softwareprodukte oder Webdienste zu integrieren. Von der Universität Neuenburg wurde die Software zur Berechnung der magnetischen Deklination eines beliebigen Punktes in der Schweiz übernommen. Als Webdienst erlaubt sie es, innerhalb der Schweiz die Meridiankonvergenz und die magnetische Deklination (Differenz zwischen Magnetisch- und Geografisch-Nord) sowie weitere Angaben zum Magnetfeld zu berechnen, wie die Inklination oder die Feldstärke.



Transformations- und Rechendienste

Die Rechendienste unterstützen Sie beim Umrechnen von Koordinaten und Konvertieren von Datenformaten, aber auch beim Ermitteln der magnetischen Deklination eines beliebigen Punktes in der Schweiz.

REFRAME

Mit REFRAME können Sie Koordinatentransformationen in Lage und/oder Höhe durchführen.

NAVREF

Mit NAVREF können Sie Schweizer Landeskoordinaten in WGS84-Koordinaten (GPS) transformieren und umgekehrt.

Magnetische Deklination

Die magnetische Deklination ist der Unterschied zwischen der magnetischen und der geografischen Nordrichtung. Der Unterschied zwischen magnetisch Nord und Kartennord wird als Missweisung bezeichnet.

KML-Generierung

Der Geodienst KML-Generierung ermöglicht Ihnen, eine Datei mit Schweizer Landeskoordinaten oder eine mit einem GPS-Handempfänger aufgezeichnete Route in ein KML (kompatibel mit Google Earth/Maps)...

Geodätische REST Webdienste (REFRAME Web API)

swisstopo bietet mehrere REST-Dienste ("REpresentational State Transfer") an, welche es erlauben, verschiedene Koordinatentransformationen (WGS84-LV95-LV03) in die eigenen Softwareprodukte oder...

Dokumente und Publikationen

- Näherungsformeln für die Transformation zwischen Schweizer Projektionskoordinaten und WGS84
PDF, 4 Seiten, 72 KB, Deutsch
- Formeln und Konstanten für die Berechnung der Schweizerischen schiefachsigen Zylinderprojektion und der Transformation zwischen Koordinatensystemen
PDF, 20 Seiten, 430 KB, Deutsch
- Geodetic REST Web services User Manual (Reframe API)
PDF, 20 Seiten, 775 KB, Englisch

Abbildung 2-50: Transformations- und Rechendienste von swisstopo im Jahr 2020

Ein wichtiger Teil der Dokumentation zum LVW95 sind auch die Punktdokumente. Für alle LV95-Punkte und AGNES-Stationen wurden neue, mit umfassenderen Informationen wie GNSS-Tauglichkeit versehene Fixpunktprotokolle bereitgestellt. Sie sind sowohl über den gemeinsam mit den Kantonen betriebenen Fixpunkt-Datenservice FPDS wie auch im Internet über <https://map.geo.admin.ch> (siehe dort unter



Grundlagen und Planung > Ortsangaben, Referenzsysteme) allgemein abrufbar. Über diesen Kartenviewer des Geoportals des Bundes wurde vom Bereich Geodäsie eine breite Palette von Informationen und Karten im Zusammenhang mit den neuen LV95- Koordinaten verfügbar gemacht (siehe Thema «Geodäsie» → Bezugsrahmenwechsel publiziert, z.B. Koordinatenänderungen, Verschiebungsvektoren, Dreiecksvermaschung, Transformationsgenauigkeit, spannungsarme Gebiete).

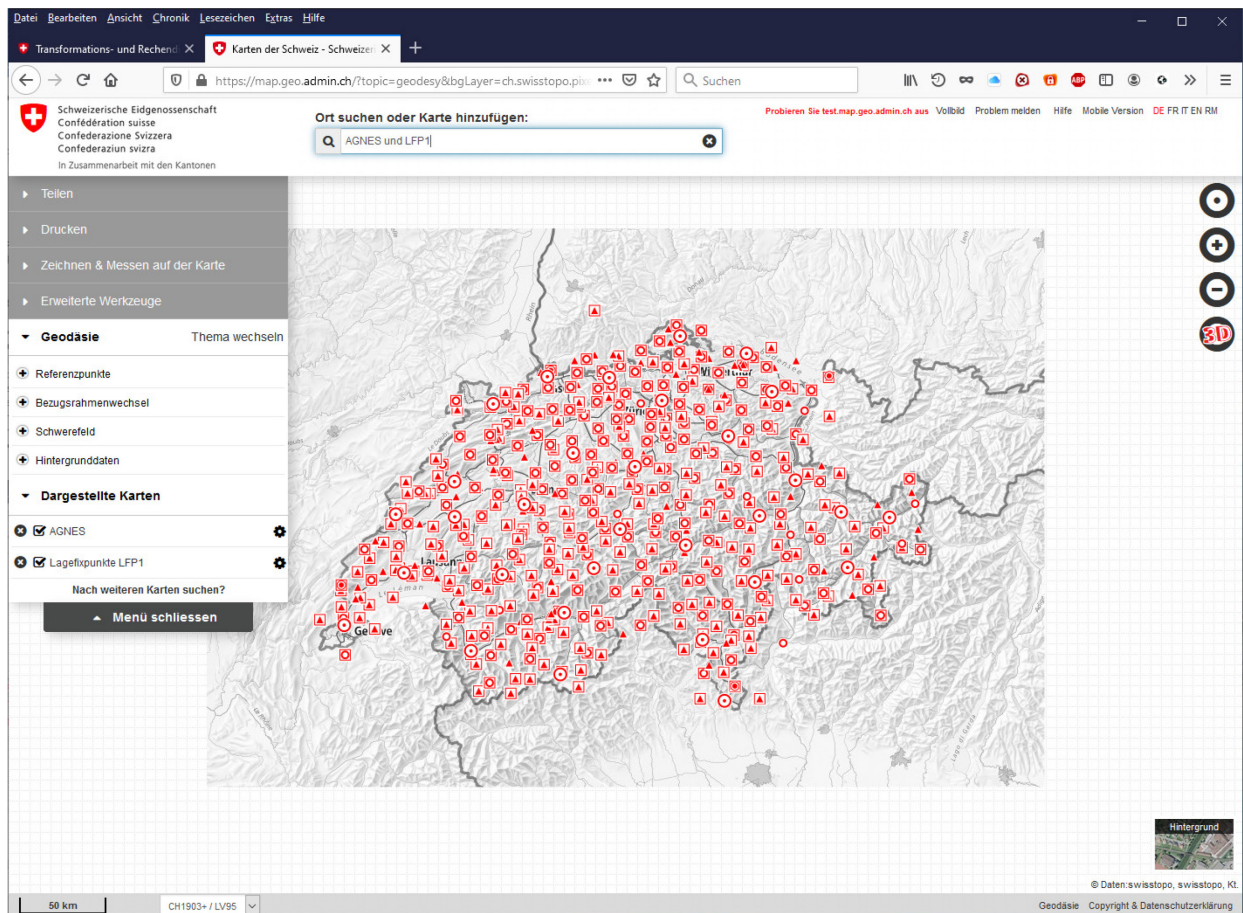


Abbildung 2-51: Übersicht über die AGNES- und LFP1-Punkte als Beispiel der verfügbaren Daten / Karten zum Thema «Geodäsie» im Kartenviewer des Geoportals des Bundes <https://map.geo.admin.ch>

Die Publikationen zum Themenkreis «Dokumentation, Software, Fixpunktdatenservice FPDS, Transformation und Webdienste» sind im Anhang 2.3.10 zusammengestellt. Zudem sind im Anhang 2.4 die Links zu den von swisstopo entwickelten und kostenlos abgegebenen Softwareprodukten und Online-Transformations- und Rechendiensten angegeben.

2.10.8 Qualitätskontrolle

Von Beginn weg wurde, der Tradition des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo folgend, der Qualität der neuen Landesvermessung sowie deren Überwachung und Dokumentation ein hoher Stellenwert eingeräumt. Wie in der Geodäsie und Vermessung üblich wurden alle Arbeiten wie Koordinaten- und Höhenbestimmungen und die übrigen Messungen mit sehr hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit durchgeführt. Dies betraf sowohl die Messungen im Feld, deren sorgfältige Dokumentation ebenso wie die Auswertungen im Büro. So wurde beispielsweise die Gesamtauswertung und -ausgleichung aller 17 Messkampagnen zwischen 1988 und 1994 für den primären Koordinatensatz von CHTRF95 bzw. LV95 mit zwei verschiedenen Versionen der Bernese GPS Software, den Versionen 4.0 und 4.2, getrennt berechnet und sorgfältig geprüft. Zudem wurde die Auswertung dem Astronomischen Institut der Universität Bern (Prof. Dr. G. Beutler) zur Verifikation bezüglich des Berechnungsablaufes sowie der verwendeten Modelle und Satellitendaten (z.B. GPS-Bahnen und -Uhren) vorgelegt und von Prof. Dr. Markus Rothacher als



korrekt und dem Stand des damaligen Wissens entsprechend anerkannt. Wie erwähnt konnte schliesslich, primär natürlich dank GPS, die Genauigkeit der neuen Landesvermessung LV95 gegenüber LV03 um den Faktor 100 verbessert werden.

Die Datensicherung und Archivierung der Originaldaten (z.B. der GPS-Messungen im RINEX-Format) wurde nach den jeweiligen Grundsätzen und Richtlinien von swisstopo durchgeführt. Alle Dokumente sind im Geodäsie-Archiv von swisstopo abgelegt und registriert, primär bei den «geodätischen Grundlagen» (GG) sowie den «geodätischen Fixpunkten» (GF).

Zwischen 2000 und 2002 wurde mit Unterstützung von G. Wägli (Trend Wirtschaftsberatung AG) das Qualitätsmanagement der Geodäsie (QMS-Geo) aufgebaut und der Bereich Geodäsie im Mai 2002 nach der Norm ISO9001:2000 zertifiziert (siehe *swisstopo Report* 02-40). Das Qualitätsmanagement und dessen Umsetzung im Bereich wurde in den Folgejahren immer wieder in internen und externen Audits überprüft und für gut befunden.

Mit der Einführung des FLAG-Status für swisstopo («Führen durch Leistungsauftrag und Globalbudget) im Jahr 1998 und ab 2017 mit dem Neuen Führungsmodell des Bundes (NFB) wurden in den Leistungsaufträgen bzw. den Leistungsvereinbarungen mit dem Bundesrat auch für die Landesvermessung (LV) qualitätsrelevante Leistungsziele eingeführt. Um die Qualität der LV-Produkte umfassend zu definieren und zu garantieren, wurden die Indikatoren, Standards und Messgrössen sowie ihre Messweise im Detail festgehalten (*swisstopo Report* 03-06). Zur Wahrung einer minimalen Unabhängigkeit wurden die Formulierungen der Q-Standards und deren Messweise Prof. Dr. A. Carosio vom IGP/ETHZ zur Beurteilung vorgelegt und um eine unabhängige Prüfung der Referenzerhebung gebeten.

In der Folge der Inkraftsetzung des GeolG hat der Bereich Geodäsie ein Nachführungskonzept der Landesvermessung ausgearbeitet (*swisstopo Report* 09-14). Abgestimmt auf die Grundlagen und Vorgaben dieses neuen NF-Konzeptes sowie gestützt auf die Erfahrungen der früheren Datenerhebungen wurden auch die Qualitätsstandards der Landesvermessung überarbeitet. Sie wurden im *swisstopo Report* 10-11 zusammengestellt. Nachdem die Q-Standards ursprünglich gemäss Leistungsauftragsperioden alle vier Jahre überprüft wurden, wird nun seit 2010 eine jährliche Erhebung der insgesamt 28 Qualitätsstandards durchgeführt. Die Ergebnisse dieser jährlichen Qualitätsprüfungen werden in *swisstopo Reports* dokumentiert und öffentlich zugänglich gemacht (siehe Anhang 2.3.11).

Ab 2010 wurde bei swisstopo und damit auch in der Geodäsie zudem das EXCELLENCE-Modell nach EFQM eingeführt. Zur Erreichung der mittel- und langfristigen Managementziele in Übereinstimmung mit der Geschäftsfeldstrategie von swisstopo hat die Bereichsleitung Geodäsie die Strategie 2012–15 in der Struktur des EFQM-Modelles neu formuliert. Mittels eines Web-Tools wurde auch das Kompetenzmanagement für die Mitglieder der Bereichsleitung aufgebaut und eingeführt. Ab 2012 wurden alle Mitarbeitenden der Geodäsie integriert.



2.10.9 Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen

Tabelle 2-11: Dokumentation: Status und mögliche zukünftige Entwicklungen

Status 2020	Mögliche zukünftige Entwicklungen
<ul style="list-style-type: none">• Daten und Dokumente des LVW95 sind dokumentiert und publiziert (Publikationsreihen von swisstopo und der SGK); die Dokumentationsreihe zum LVW95 ist mit diesem Bericht abgeschlossen.• Fixpunktdaten (LFP1 und 2) von Bund und Kantonen werden zentral verwaltet (FPDS-Datenbank).• Fixpunktdaten sind über das Internet öffentlich zugänglich (FPDS-Web-Service).• Die geodätische Software (GeoSuite, REFRAME, etc.) und die geodätischen Web-Services (Transformations- und Rechendienste) sind kostenlos via Internet verfügbar.• Die Qualitätskontrolle und der Unterhalt des LVW95 sind gewährleistet.	<ul style="list-style-type: none">• Ausbau des geodätischen Web-Service erlaubt die Transformation von GIS-Daten in die Bezugsrahmen der Nachbarländer (Lage und Höhe).• Location Based Services LBS für FP-Daten sind zeitgemäss und landesweit kostenlos verfügbar (vgl. auch Kap. 2.3).• Alle Dokumente (aktuelle und historische) betr. die Landesvermessung bzw. die Landesvermessungswerke der Schweiz sind online verfügbar.



3. Würdigung und Dank

Das Landesvermessungswerk LVW95 stellt eine umfassende Modernisierung der geodätischen Landesvermessung der Schweiz dar, welche weit über den Ersatz von einzelnen bestehenden Messverfahren und Fixpunktnetzen hinausgeht.

Bei der Definition der Bezugsrahmen als Grundaufgabe der geodätischen Landesvermessung wurde von einer geodätischen Gesamtsicht ausgegangen, welche von Beginn weg die «drei Pfeiler der Geodäsie» (vgl. «*the three pillars of geodesy*» for the *Global Geodetic Observing System GGOS of the IAG*), nämlich die Geokinematik, das Erdschwerefeld und die Erdrotation im Auge hatte und auf die optimale Kombination und Kompatibilität von geometrischen (GNSS / SLR) und schwerefeldabhängigen Methoden (z.B. Nivellement) abzielte.

Neu am LVW95 war auch die konsequente Einbindung der geodätischen Landesvermessung in das internationale Umfeld. Dies einerseits durch den Einbezug globaler und kontinentaler Messdaten (z.B. Satellitenorbits, Referenzstationen) bei den Messtechniken wie SLR (Geostation Zimmerwald) und GNSS (IGS, EUREF), andererseits durch länderübergreifende Messkampagnen und Anschlusspunkte im Ausland beim Landesnivellement und den Messungen für das Landesschwerenetz. Zudem hat swisstopo in Koordination mit weiteren Partnern der Schweizerischen Geodätischen Kommission SGK ihre Mitarbeit in internationalen geodätischen Gremien, Institutionen und Diensten intensiviert.

Die Gesamtsicht beim LVW95 beschränkte sich aber nicht nur auf technische Aspekte. Die Erneuerung der gesetzlichen Grundlagen bildeten ebenfalls einen Teil des LVW95. Dazu gehören insbesondere die Regelung und Festlegung der gesetzlichen Vorgaben und Übergangsfristen für die Einführung des neuen LV95-Bezugsrahmens. In diese Kategorie fallen zudem sämtliche Arbeiten für die Information und Kommunikation des neuen Bezugsrahmens unter dem Motto «Neue Koordinaten für die Schweiz».

Die Wirkung bzw. der Nutzen des LVW95 musste für verschiedene Zielgruppen optimiert werden. Primär im Vordergrund stand natürlich die «Vermessungspraxis» mit den Untergruppen Landesvermessung / Amtliche Vermessung / Ingenieurvermessung / Bauvermessung. Im weiteren Sinne mussten aber auch das «Publikum» wie beispielsweise die Nutzerinnen und Nutzer von analogen und digitalen Karten sowie von GNSS-Geräten oder Smartphone-Apps einbezogen werden. Schliesslich waren die Interessen der «Wissenschaften» wie der Geodäsie, der Geologie und Seismologie sowie der Natur- und Umweltwissenschaften im weiteren Sinn etc. zu beachten.

Mit grosser Zufriedenheit darf festgestellt werden, dass die Einführung der neuen «LV95-Koordinaten» wie auch der weiteren modernen Komponenten der neuen Landesvermessung (AGNES, swipos etc.) problemlos erfolgen konnte und von allen Nutzenden gut akzeptiert wurde. Dies ist einerseits der guten Vorbereitung und jeweils zeitgerechten Bereitstellung der notwendigen Grundlagen und Rahmenbedingungen (wie z.B. Software) durch swisstopo zu verdanken, andererseits der guten Zusammenarbeit mit den kantonalen Vermessungsinstitutionen und weiteren Partnern.

Bei der Konzeption, der Umsetzung und der Einführung mussten sowohl volkswirtschaftliche wie betriebswirtschaftlichen Überlegungen und Kriterien berücksichtigt werden. Zu betrachten waren also die Wirkung und der Nutzen bei den Zielgruppen (*Outcome*) wie auch die Wirkungen über die Zielgruppen hinaus auf die Gesellschaft (*Impact*). Beispielhaft sei die Bedeutung von AGNES/swipos für swisstopo und für die Vermessungspraxis an den folgenden Anwendungen aufgezeigt:

- swisstopo-intern werden die AGNES-Daten und swipos auch im Bereich Topografie für die präzise Positionierung der Vermessungsflugzeuge und zur Messung von Passpunkten zur Georeferenzierung von Luftbildern und bei der Nachführung der Landeskarten verwendet. Dazu wurde 2006 zwischen den Bereichen Topografie und Geodäsie (heute Vermessung) ein internes SLA betreffend «Lieferung von AGNES-Daten für Post-processing- und Real-time-Anwendungen» erstellt. Darin wird explizit festgehalten, dass die Daten langfristig in der vorhandenen Dichte und zeitlichen Verfügbarkeit zur Verfügung stehen müssen.
- Der Hauptnutzen von AGNES und swipos besteht in der Bereitstellung des amtlichen cm-genauen und homogenen geodätischen Bezugsrahmens in der Schweiz. Dies ermöglicht allen Nutzerinnen und Nutzern (kantonalen und kommunalen/städtischen Vermessungsinstitutionen, privaten Geometer- und



Vermessungsbüros, Baufirmen und weiteren Interessenten an präzisen Geodaten) die rasche und effiziente Messung von Punkten, ohne den Betrieb einer eigenen Referenzstation und ohne aufwändige Transformationen und lokale Einpassungen. Durch die Einbindung von AGNES in europäische und globale Permanentnetze steht diese hohe Genauigkeit auch grenzübergreifend zur Verfügung, was z.B. für zukünftige Massenanwendungen im Bereich von autonomen Fahrzeugen von Bedeutung sein wird.

- Der Swiss Positioning Service swipos hat sich als Standardverfahren für die Kataster- und Bauvermessung (inkl. Maschinensteuerung) etabliert und ist aus der Vermessungspraxis nicht mehr wegzudenken. Der Dienst basiert auf standardisierten Datenformaten und ist damit einem breiten Benutzerkreis zugänglich. Mit rund 3'000 Nutzerinnen und Nutzern (Stand 2019) wird der Dienst rege genutzt und entwickelt sich auch in neuen Marktsegmenten wie z.B. Pistenfahrzeuge und Landwirtschaft weiter.

Betreffend die Auswirkungen für die breite Öffentlichkeit seien ebenfalls beispielhaft erwähnt:

- Die neue duale Systemwahl oder neue Komponenten wie die Höhen des LHN95 sind für viele Anwendungen von «Laien» nicht spürbar. Selbst die neuen Koordinaten haben für die meisten Mitmenschen keine bedeutende Relevanz, abgesehen vielleicht von einer anfänglichen Irritation wegen den siebenstelligen Koordinaten. Andererseits mussten die neue Landesvermessung und die neuen Koordinaten so eingeführt und kommuniziert werden, dass es nicht zu Verwirrungen oder Verwechslungen (z.B. bei Einsätzen der Blaulichtorganisationen) kommen konnte. Mit Befriedigung darf festgestellt werden, dass dies swisstopo in guter und enger Zusammenarbeit mit den Kantonen gelungen ist.
- Mit der Auswertung des permanenten GNSS-Netzes der Nagra (NaGNet) durch das PNAC leistet swisstopo nebst dem Felslabor Mont-Terri einen weiteren wichtigen Beitrag zur Standortwahl und zur Sicherheit des zukünftigen Betriebs der geologischen Tiefenlager für radioaktive Abfälle in der Schweiz.
- Die AGNES-Daten werden von verschiedenen privaten Firmen zur Überwachung von Rutschhängen oder von Blockgletschern in den Permafrost-Regionen verwendet. Dank den Referenzdaten von swisstopo können hier Verschiebungen mit cm-Genauigkeit bestimmt werden. Diese Messungen sind ein wichtiger Bestandteil von sog. Frühwarnsystemen bei Naturgefahren.
- Die langen Zeitreihen der AGNES-Stationskoordinaten und die daraus abgeleiteten Deformations- und Geschwindigkeitsmodelle erlauben in Kombination mit geologischen und geophysikalischen Daten Aussagen zur Erdbebengefährdung in bestimmten Gebieten zu machen. Solche Daten und Aussagen sind für die Gebäude- und Rückversicherungen von grosser Bedeutung.
- AGNES-Daten fliessen auch in numerische Wettermodelle ein und tragen damit zur Verbesserung der Wetterprognosen bei. Aus den mittel- bis langfristigen Änderungen des Feuchtegehalts der Atmosphäre können zudem Rückschlüsse auf Phänomene der Klimaveränderung gemacht werden.



Dank

Neben den in den vorangehenden Kapiteln bereits erwähnten Schlüsselfaktoren für den Erfolg des LVW95 wie z.B. dem frühzeitigen Erkennen von technologischen Entwicklungen und Trends sowie guten Partnerschaften war vor allem auch die Teamarbeit innerhalb des ehemaligen Bereichs Geodäsie (heute «Geodäsie und Eidgenössische Vermessungsdirektion») ein wichtiger Erfolgsfaktor. Das Zusammenspiel von «Kopf und Hand», zwischen den vorausschauenden Strategen und der praktischen Umsetzung im Feld, zeichnete diese Zusammenarbeit von Beginn aus.

Die Autoren und früheren Mitglieder der Bereichsleitung Geodäsie möchten sich an dieser Stelle bei allen Mitarbeitenden des ehemaligen Bereichs Geodäsie von swisstopo für den grossen Einsatz zum Aufbau des Landesvermessungswerkes LVW95 während der vergangenen drei Jahrzehnte bedanken. Namentlich erwähnen möchten wir unsere Vorgänger, ehemaligen Vorgesetzten und Kollegen Dr. E. Gubler, H. Chablais, B. Vogel und Th. Signer sel. Sie haben bereits in den 1980er und 1990er Jahren mit ihrer Weitsicht und ihrem Einsatz Wesentliches zum Konzept, den Grundlagen und der Realisierung des LVW95 beigetragen. Ein aufrichtiger Dank geht auch an die übrigen Kolleginnen und Kollegen von swisstopo, der anderen Bundesämter sowie der kantonalen Vermessungsinstitutionen.

Wertvolle Beratung und konstruktive Zusammenarbeit bei vielen Projekten hat der Bereich Geodäsie auch von den Hochschulen, insbesondere dem AIUB und dem IGP der ETHZ erhalten. Wichtig waren zudem die Anregungen und Ratschläge der Mitglieder der Schweizerischen Geodätischen Kommission SGK. Ihnen allen sei für die kompetente und wohlwollende Unterstützung herzlich gedankt.

Wabern, im Oktober 2022

Die Autoren: Adrian Wiget, Dieter Schneider, Urs Marti, Andreas Schlatter und Urs Wild



Anhang



1. Glossar

Ausgewählte Abkürzungen und Definitionen

AGNES	Automatisches GPS/GNSS-Netz der Schweiz GNSS-Permanentnetz der Schweizerischen Landvermessung bestehend aus 30 ausgewählten, permanent trackenden GNSS-Stationen verteilt über die ganze Schweiz. Die Stationen sind im Allgemeinen (A) fest im anstehenden Felsen, (B) im Erdboden (Lockergestein) oder stabil fundierten Gebäuden verankert. (C) Bei einigen Stationen sind die Antennen vorläufig an Gebäuden angeflanscht oder auf Dächern montiert.
AIUB	Astronomisches Institut der Universität Bern
AV	Amtliche Vermessung
AV93	Amtliche Vermessung 1993 (Qualitätsstandard gemäss den eidg. Vorschriften von 1993)
Bezugsrahmen	Terrestrischer Bezugsrahmen = Terrestrial Reference Frame TRF Mit den geodätischen Bezugsrahmen werden die geodätischen Bezugssysteme im Gelände realisiert und nutzbar gemacht, z.B. für die praktische Vermessung, als Basis für Geografische Informationssysteme (GIS) und für die Kartografie. Solche Bezugsrahmen sind die geodätischen Fixpunktnetze und die Permanentstationen, deren Koordinaten (2D, 3D, Höhen) im Bezugssystem festgelegt sind. (Globale) terrestrische Bezugsrahmen sind somit Realisierungen von (globalen) terrestrischen Bezugssystemen in der Form von Koordinatensätzen (und evtl. Geschwindigkeitssätzen) von terrestrischen Punkten, welche aus der Ausgleichung von geodätischen Beobachtungen entstehen. TRFs können mittels einer Referenzzeit t_0 auf der Zeitachse festgelegt werden.
Bezugssystem	Terrestrisches Bezugssystem = Terrestrial Reference System TRS Theoretische Festlegung eines erdbezogenen Koordinatensystems in Raum (und evtl. Zeit). Ein geodätisches Bezugssystem definiert ein Koordinatensystem im Raum (Ursprung und Orientierung der Koordinatenachsen) zur Angabe räumlicher Positionen (Lage, Höhe und evtl. Schwere) von Punkten. Diese Definition legt auch die Figur, die Grösse und die räumliche Lagerung der Bezugsfläche (meist ein Rotationsellipsoid) fest, allenfalls zusätzlich auch zugehörige physikalische Parameter des Schwerfeldes der Erde und eine Kartenprojektion. Globale terrestrische Bezugssysteme sind geozentrische kartesische Koordinatensysteme mit dem Ursprung im Massenschwerpunkt (M) der Erde. Als Conventional Terrestrial System (CTS) wird jenes System bezeichnet, dessen Ursprung in M liegt, dessen Z-Achse durch den «Nordpol» (Conventional International Origin: CIO) geht, dessen XZ-Ebene den mittleren Nullpunkt im Observatorium in Greenwich enthält und dessen Y-Achse die Definition zu einem rechtshändigen Achsensystem ergänzt. Als lokale Bezugssysteme bezeichnet man die nationalen Koordinaten- und Höhensysteme, welche für die Landesvermessungen und die amtliche Vermessung der Länder im offiziellen Gebrauch sind. Dazu gehören auch die lokalen Bezugsellipsoide und die Kartenprojektionen mit ihren spezifischen Landeskoordinatensystemen. Lokale terrestrische Bezugssysteme werden durch die Festlegung von geodätischen Datumparametern in einem oder mehreren Fundamentalpunkten definiert.
BRW	Bezugsrahmenwechsel (von LV03 zu LV95)
Cadastre Suisse	Konferenz der kantonalen Katasterdienste (heute Konferenz der kantonalen Geoinformations- und Katasterstellen KGK)
CH1903	Lokales geodätisches Bezugssystem der Schweiz von 1903 (der alten Landesvermessung 1903) Das alte Bezugssystem CH1903, welches 1903 festgelegt und eingeführt wurde, basiert auf dem Bezugsellipsoid Bessel 1841 mit Lagerung (Position und Orientierung) im alten Fundamentalpunkt (alte Sternwarte Bern) und der Schweizerischen winkeltreuen schiefachsigen Zylinderprojektion (Swiss Grid). CH1903 legt auch das Gebrauchshöhensystem LN02 fest, welches als Ausgangshorizont die Höhe des «Repère Pierre du Niton» im Hafen von Genf mit dem Höhenwert 373.6 m verwendet.
CH1903+	Offizielles lokales geodätisches Bezugssystem der Schweiz von 1995 Das Bezugssystem der Schweizerischen Landesvermessung wurde 1995 basierend auf Satellitenmessungen auf mehr als 200 LV95-Referenzpunkten definiert. CH1903+ verwendet die gleichen



	Ellipsoiddimensionen (Bessel 1841) wie CH1903. Der Fundamentalpunkt des Bezugssystems CH1903+ ist ein Kappenbolzen im Hauptmastsockel der «Geostation Zimmerwald». Die Lagerung des Systems wird direkt von CHTRS95 durch 3 Translationen abgeleitet. Das Kartenprojektionssystem (Swiss Grid) ist identisch zu CH1903. Als Ausgangspunkt für die Höhen dient ebenfalls der Fundamentalpunkt «Geostation Zimmerwald», dessen orthometrischer Wert $H_0 = 897.9063$ so gewählt wurde, dass die Höhe des «Repère Pierre du Niton» im Hafen von Genf genähert die orthometrische Höhe 373.6 m erhält.
CH-CGN	Swiss Combined Geodetic Network; kombiniertes geodätisches Netz zur Bestimmung von Geoidundulationen aus GNSS (LV95) und orthometrischen Höhen (LHN95), sog. GPS-Levelling.
CHENyx06	Transformations-Datensatz der landesweiten Dreiecksvermaschung 2006 (E,N für LV95, y,x für LV03)
CHGeo2004	Geoidmodell der Schweiz 2004
CHKM95	Kinematisches Modell der Schweiz 1995
CHTRFyy	Swiss Terrestrial Reference Frame (Realisierung des Bezugssystems CHTRS95 im Jahr yy) Dreidimensionaler Bezugsrahmen basierend auf dem flächendeckenden GNSS-Landesnetz mit ca. 200 Haupt- und Verdichtungspunkten und dem permanenten GNSS-Netz AGNES (ca. 40 automatische Stationen). Der hochgenaue Bezugsrahmen erfüllt alle Anforderungen bezüglich der absoluten Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Koordinatensätze im Zentimeterbereich. CHTRFyy-Koordinaten sind statisch und beziehen sich auf den Zeitpunkt der Messung im Jahr yy. Die exakte Transformation zwischen ETRFyyyy und CHTRFyyyy ist gewährleistet.
CHTRS95	Swiss Terrestrial Reference System 1995 (globales geodätisches Bezugssystem der Schweiz 1995) Das global gelagerte Bezugssystem der Schweizerischen Landesvermessung LV95 ist zum Zeitpunkt 1.1.1993 identisch mit dem europäischen Bezugssystem ETRS89. CHTRS95 verwendet, wie sein europäisches Pendant, das Bezugsellipsoids GRS80 und als Projektion die Universal Transverse Mercator Projection (UTM). CHTRFyyyy ist die Realisierung des Systems CHTRS95 zu verschiedenen Zeitpunkten. Durch periodische Neumessung und -berechnung der geodätischen Netze werden neue Koordinatensätze (z.B. CHTRF95, CHTRF98, CHTRF2004, -2010, -2016 und -2022) bestimmt und für spezielle Bedürfnisse (Grundlagenvermessungen und grosse Ingenieurprojekte) zur Verfügung gestellt.
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EUREF	European Reference Frame (bzw. IAG Reference Frame Sub-Commission for Europe)
FINELTRA	Lineare Transformation mit finiten Elementen (Software)
FPDS	Fixpunkt-Datenservice (swisstopo)
GeoIG	Bundesgesetz über Geoinformation (Geoinformationsgesetz)
GeoIV	Verordnung über Geoinformation (Geoinformationsverordnung)
GG95	Geodätische Grundlagen der Schweiz 1995
GGGS	Gesellschaft für die Geschichte der Geodäsie in der Schweiz
GIS	Geografisches Informationssystem
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System (offiziell Navigational Satellite Timing and Ranging – Global Positioning System (NAVSTAR GPS) des U.S. Department of Defense)
IAG	International Association of Geodesy
IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
ITRS	International Terrestrial Reference System
KGK	Konferenz der kantonalen Geoinformations- und Katasterstellen
KKVA	Konferenz der kantonalen Vermessungsämter (wurde zu CadastreSuisse, heute KGK)
KOGIS	Interdepartementale Koordinationsgruppe GIS (heute Bereich «Koordination, Geo-Information und Services» von swisstopo)



Landesnetz LV95	Nationales GNSS-Referenznetz (zu Beginn GPS-Landesnetz LV95 genannt), bestehend aus stabil im Untergrund versicherten Festpunkten, deren globalen und lokalen Koordinaten mit GPS/GNSS mit hoher Präzision bestimmt wurden. Zum GNSS Referenznetz gehören im Konzept des LVW95 auch die Permanentstationen des Automatischen GNSS-Netzes der Schweiz AGNES als integrierende Bestandteile.
Landesvermessungswerk 1995 (LVW95)	Gesamtheit aller Teile der neuen Landesvermessung 1995, namentlich deren geodätischen Grundlagen, der Fundamentalstation Zimmerwald, die GNSS-Referenznetze und -Permanentnetze (AGNES), das Landesschwerenetz (LSN2004), das Landeshöhennetz (LHN95), das kombinierte geodätische Netz (CH-CGN), das Geoidmodell (CHGeo-2004) und die kinematischen Modelle (CHKM95)
LFP1, LFP2	Lagefixpunkt der Kategorien 1 (Landesvermessung, Bund) und 2 (amtliche Vermessung, Kantone)
LHN95	<p>Orthometrisches Landeshöhennetz 1995</p> <p>Potentialtheoretisch strenger Höhenbezugsrahmen der Landesvermessung LV95 basierend auf den Daten des Landesnivellements (von 1902 bis heute), mit orthometrischen Höhen unter Berücksichtigung des Geoidmodells CHGeo2004. Als Ausgangshorizont wird die orthometrische Höhe des Fundamentalpunktes in Zimmerwald verwendet. Der offizielle Höhenbezugsrahmen der Schweiz bleibt bis auf Weiteres LN02. Die Höhentransformation von LN02 zu LHN95 und zum europäischen Höhenbezugsrahmen EVRF wird durch swisstopo gewährleistet.</p>
LN02	<p>Gebrauchshöhennetz 1902 (Landesnivellement)</p> <p>Höhenbezugsrahmen, basierend auf dem «Nivellement de Précision» der Schweizerischen Geodätischen Kommission (1864–1887) und den Netzerweiterungen, Neumessungen und Nachführungen des Landesnivellements (1902 bis heute) mit sogenannten Gebrauchshöhen ohne Berücksichtigung der Schwere. Der Höhenbezugsrahmen hat eine gute Nachbargenauigkeit, beinhaltet aber grossräumig Verzerrungen im dm-Bereich. Eine direkte Höhentransformation LHN95 <-> LN02 ist nur genähert möglich. Dennoch bleibt LN02 bis auf Weiteres der offizielle Höhenbezugsrahmen der Schweiz. Die Höhentransformation von LN02 zu LHN95 wird durch swisstopo gewährleistet.</p>
LSN2004	Landesschwerenetz 2004. Gravimetrisches Grundnetz der Schweiz, basierend auf absoluten Schweremessungen auf Hauptstationen und relativen Gravimetermessungen auf Fixpunkten der Landesvermessung LV95 sowie auf LHN95-Punkten des Landesnivellements
LV	Landesvermessung
LV03	<p>Landesvermessung 1903 bzw. Bezugsrahmen der LV 1903</p> <p>Bezugsrahmen basierend auf den ab 1903 erstellten und bisher erneuerten und nachgeführten Lagefixpunkten LFP 1 (resp. Triangulation 1.–3. Ordnung). Die Koordinatensätze beinhalten auch Gebrauchshöhen, trigonometrisch oder nivellistisch bestimmt durch Anschluss an das Landesnivellement (LN02). LV03 war der offiziell gültige Bezugsrahmen der Schweiz bis 2016. Gemäss Artikel 53 Absatz 2 GeoIV war LV03 für Geodaten, die nicht offizielle Referenzdaten sind, bis zum 31. Dezember 2020 gültig.</p> <p>Der Bezugsrahmen LV03 verfügte über eine gute Nachbargenauigkeit im cm-Bereich. Für die landesweite, absolute Positionierung war er aber wegen den vorhandenen Verzerrungen (bis 1.6 m) nur eingeschränkt geeignet. Eine direkte Koordinatentransformation LV95 <-> LV03 ist durch den Datensatz «CHENyx06» gewährleistet und über die ganze Schweiz mit einer Genauigkeit von durchschnittlich +/- 3 cm verfügbar.</p>
LV95	<p>Landesvermessung 1995 bzw. Bezugsrahmen der LV 1995</p> <p>Dreidimensionaler statischer Bezugsrahmen, basierend auf den gleichen Netzknoten wie CHTRFyyyy. Seit 2017 ist LV95 der offizielle Bezugsrahmen für die Vermessung in der Schweiz.</p> <p>Realisierung des Bezugssystems CH1903+ durch das GNSS-Landesnetz und AGNES, dessen geodätische Messung und den daraus ermittelten Koordinaten (Georeferenzdaten)</p>
LVV	Landesvermessungsverordnung
LVW95	Landesvermessungswerk 1995 (siehe dort)
Nagra	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz
NAVSTAR	Siehe GPS
NEAT	Neue Eisenbahn Alpentransversale
NGDI	Nationale Geodaten-Infrastruktur
PNAC	Permanent Network Analysis Center von swisstopo



PPP	Precise Point Positioning
REFRAME	Software für geodätische Transformationen, insbesondere den Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95
REST	REpresentational State Transfer; REST-Webdienste, um Koordinatentransformationen in die eigenen Softwareprodukte oder Webdienste zu integrieren
SAPA	Safe and Precise Augmentation
SAPCORDA	Joint-Venture Firma für Autonavigation
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
SGK	Schweizerische Geodätische Kommission
swipos	Swiss Positioning Service von swisstopo
SwissRailTra	Transformationslösung der SBB für den Bezugsrahmenwechsel
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie
V+D	Eidgenössische Vermessungsdirektion; diese wurde 1999 ins Bundesamt für Landestopografie integriert und 2017 mit dem Bereich «Geodäsie» zum Bereich «Geodäsie und Eidgenössische Vermessungsdirektion» (Vermessung) fusioniert
VBS	Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
VRS	Virtual Reference Station



2. Publikationen / Referenzen

2.1 Fachpublikationen

Zur Geschichte der Landesvermessung wie auch zum Aufbau der Landesvermessung LV95 bzw. dem Landesvermessungswerk LVW95 haben Mitarbeitende von swisstopo sowie weitere Protagonisten der Entwicklung der Landesvermessung zahlreiche Fachpublikationen verfasst. Diese wurden insbesondere in der Zeitschrift «*Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*» bzw. «*Geomatik Schweiz*» publiziert. Im Folgenden sollen einige wichtige Übersichtsartikel sowie Fachartikel zu Komponenten und Konsequenzen des LVW95 erwähnt werden. In deren Literaturangaben oder Referenzenlisten wurde auf sehr viele weitere Publikationen zu Einzelthemen rund um die Landesvermessung verwiesen. Diese sollen hier nicht nochmals zusammengestellt werden.

2.1.1 Publikationen zur Geschichte der Landesvermessung der Schweiz

Zölly H. (1948): Geschichte der Geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz. Eidg. Landestopographie 1948, 160 Seiten.

Matthias H. (1977): Landestriangulation der Schweiz: Rückblick, Umschau und Vorschläge für die zukünftige Entwicklung. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 7, 1977, S. 221–229.

Chablais H., E. Gubler, D. Schneider, A. Wiget (1988): Die geodätische Landesvermessung in der Schweiz, heute und morgen. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 4, 1988, S. 154–163.

Chablais H. (1992): Le réseau actuel de triangulation et le nouveau réseau national. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 12, 1992, S. 726–728.

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

Schneider D., E. Gubler, A. Wiget (2015): Meilensteine der Geschichte und Entwicklung der Schweizerischen Landesvermessung. *Geomatik Schweiz* Heft 11, 2015, S. 462–483.

Wiget A., D. Schneider, E. Gubler, U. Wild, M. Scherrer, A. Schlatter (2020): 25 Jahre neue Landesvermessung LV95. *Geomatik Schweiz* Heft 11, 2020, S. 316–338.

2.1.2 Übersichtsartikel zur Landesvermessung LV95 / Landesvermessungswerk LVW95 bzw. Fachartikel zu dessen Komponenten und Konsequenzen

Wiget A., B. Vogel, D. Schneider (1994): Die neue Landesvermessung LV95 der Schweiz. *Zeitschrift für Satellitengestützte Positionierung, Navigation und Kommunikation SPN* Heft 1, März 1994, S. 13–20.

Wiget A., B. Vogel, D. Schneider (1995): The new national reference system and frame. In: Report on the Geodetic Activities of Switzerland in the years 1991 to 1995. Presented to the XXI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics in Boulder, Colorado, Juli 1995, pp. 5–6.

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

Wild U., E. Brockmann, R. Hug, Chr. Just, P. Kummer, Th. Signer, A. Wiget (2000): Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Ein multifunktionales Referenznetz für Navigation und Vermessung. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 6, 2000, S. 389–92.

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

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



- Marti U., A. Schlatter (2002) Höhenreferenzsysteme und -rahmen. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 1, 2002, S. 8–12.
- Schlatter A., U. Marti (2002): Neues Landeshöhennetz der Schweiz LHN95. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 1, 2002, S. 13–17.
- Wicki F. (2002): Landesvermessung LV95: Konsequenzen für die Amtliche Vermessung und weitere raumbezogene Daten. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 1, 2002, S. 19–23.
- Wicki F., Th. Signer, W. Messmer, R. Ammann, R. Durussel, H. Thalmann (2002): Das Höhensystem für die amtliche Vermessung und weitere raumbezogene Daten. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 8, 2002, S. 528–529.
- Grünig S., U. Wild (2005): swipos über Internet: Neue Entwicklungen bei der Echtzeit-Positionierung. *Geomatik Schweiz* Heft 3, 2005, S. 121–124.
- Brockmann E., D. Ineichen, A. Wiget (2005): Neumessung und Auswertung des GPS-Landesnetzes der Schweiz LV95. *Geomatik Schweiz* Heft 8, 2005, S. 440–444.
- Marti U., A. Schlatter (2005): Festlegung des Höhenbezugsrahmens LHN95 und Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004. *Geomatik Schweiz* Heft 8, 2005, S. 445–449.
- Schlatter A., U. Marti (2005): Höhentransformation zwischen LHN95 und den Gebrauchshöhen LN02. *Geomatik Schweiz* Heft 8, 2005, S. 450–453.
- Riesen H.-U., B. Schweizer, A. Schlatter, A. Wiget (2005): Tunnelvermessung des BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnels. *Geomatik Schweiz* Heft 11, 2005, S. 608–612.
- Wild U. (2007): Neue Entwicklungen bei swipos. *Geomatik Schweiz* Heft 5, 2007, S. 256.
- Kistler M., J. Ray (2007): Neue Koordinaten für die Schweiz: Fertigstellung der nationalen Dreiecksvermessung, neue Transformations-Software REFRAME und Eröffnung des Internet-Portals «Bezugsrahmenwechsel». *Geomatik Schweiz* Heft 9, 2007, S. 432–437.
- Kistler M., J. Ray (2007): 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* Heft 9, 2007, S. 439–445.
- Scherrer M. (2007): Neue Koordinaten für die Schweiz: Konsequenzen des neuen Lagebezugsrahmens LV95. *Geomatik Schweiz* Heft 9, 2007, S. 447–448.
- Kistler M., U. Wild (2008): Neue Koordinaten für die Schweiz: Bezugsrahmenwechsel LV03 / LV95. *Geomatik Schweiz* Heft 5, 2008, S. 274.
- Wicki F. (2008): Neue Geoinformationsgesetzgebung Konsequenzen für die Praxis. *Geomatik Schweiz* Heft 6, 2008, S. 308–313.
- Furrer M., B. Sievers (2009): Qualitätsindikatoren für den Bezugsrahmenwechsel LV03–LV95. *Geomatik Schweiz* Heft 1, 2009, S. 20–24.
- Ray J., U. Marti, M. Kistler (2009): Methoden und Werkzeuge für die Koordinatentransformation zwischen globalen und lokalen Bezugsrahmen und den Datenaustausch mit den Nachbarländern. *Geomatik Schweiz* Heft 11, 2009, S. 536–539.
- Niggeler L., F. Mumenthaler (2009): Genève se prépare à changer toutes les coordonnées de ses données géographiques. *Géomatique Suisse* Heft 12, 2009, S. 592–595.
- Wiget A., U. Marti, A. Schlatter (2010): Beiträge der Landesvermessung zum AlpTransit Gotthard-Basistunnel. *Geomatik Schweiz* Heft 12, 2010, S. 575–581.
- Wiget A., E. Brockmann, M. Kistler, U. Marti, A. Schlatter, B. Vogel, U. Wild (2011): Das Landesvermessungswerk 1995 (LVW95). *Geomatik Schweiz* Heft 6, 2011, S. 270–279.
- Geodäsie swisstopo (2012): Neuigkeiten aus dem Bereich Geodäsie von swisstopo. *Geomatik Schweiz* Heft 5, 2012, S. 1–2.



Bösch R., A. Wiget (2013): Schweiz erhält neue Koordinaten. *Schweizer Soldat* Nr. 02, 2013.

Mautz R., J.-J. Stuby (2014): Umstellung auf den neuen Bezugsrahmen LV95 bei der SBB. *Geomatik Schweiz* Heft 3, 2014, S. 96–98.

Kistler M., U. Marti, J. Ray, Ch. Baumann, A. Wiget (2015): Towards a Distortion Free National Spatial Data Infrastructure in Switzerland: Approach, Developed Tools and Internet Services for the Change of the Reference Frame. Paper presented at the *FIG Working week 2015 «From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World»*. Sofia, Bulgaria, 17–21 May 2015. Paper No. 7679, 12 pages.

Wiget A. (2015): Neue Koordinaten für die Schweiz – auf den Zentimeter genau. *GeoPanorama – Fachzeitschrift der Plattform Geosciences der SCNAT* Heft 4, 2015, S. 32–35.

2.1.3 Beiträge zum Thema Geodynamik

Kobold F., A.F. Habib (1966): Über einen Versuch, aus dem Vergleich der Landestriangulation erster Ordnung von 1911 bis 1916 mit der Gradmessungstriangulation von 1860 bis 1879 Krustenbewegungen in der Schweiz nachzuweisen. *Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie*, Band 64, Heft Nr. 7, Juli 1966, S. 228–244.

SGK (1967): Nivellement et mouvements de l'écorce terrestre. Commission Géodésique Suisse et Service Topographique Fédéral: Rapport sur les travaux géodésiques exécutés de 1963 à 1966. Présenté à la quatorzième *Assemblée générale de l'Union Géodésique et Géophysique Internationale* tenue en Suisse en septembre/octobre 1967, S. 5.

Wiget A., E. Gubler (1988): Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik der Alpen. *Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure* Vol./Band 54, Heft Nr. 127, Oktober 1988, S. 9–14.

Wiget A., E. Gubler, D. Schneider, G. Beutler, U. Wild (1990): High precision regional crustal motion network in Switzerland. Proceedings of the *Second International Symposium on Precise Positioning with the GPS*, Ottawa, Canada, September 1990, pp. 835–852.

Wiget A., E. Gubler, D. Schneider (1991): GPS-Präzisionsnetz zur Bestimmung von rezenten Krustenbewegungen in der Nordschweiz. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* Heft 8, 1991, S. 415–426.

Wiget A., M. Kistler, A. Geiger, E. Brockmann, A. Schlatter, D. Schneider (2003): Swiss4D: Modelling the Kinematics of the Deformation of the Swiss Geodetic Reference Network. Poster presented at the *IUGG XXIII General Assembly*, Sapporo, Japan, 30 June–11 July 2003.

Wegmüller U. (2004): INSAR analysis for land subsidence monitoring. Feasibility study for surface deformation mapping with repeat-pass spaceborne SAR interferometry and its comparison and validation with geodetic reference data. *swisstopo Report* 04-57, Wabern, August 2004.

Egli, R., A. Geiger, A. Schlatter, A. Wiget, E. Brockmann (2004): A Kinematic Model of Switzerland and its relation with Alpine Orogenesis and Recent Seismicity. *2nd Swiss Geoscience Meeting*, Lausanne, 20. November 2004.

Schlatter A., D. Schneider, A. Geiger and H.-G. Kahle (2005): Recent vertical movements from precise levelling in the vicinity of the city of Basel, Switzerland. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)* Vol. 94/2005: pp. 507–514.

Wiget A., E. Brockmann, A. Schlatter, A. Geiger, O. Heller and R. Egli (2005): The project Swiss4D: A kinematic model of Switzerland derived from geodetic measurements; a status report. *3rd Swiss Geoscience Meeting*, Zürich, 19. November 2005.

Wiget A., A. Schlatter, E. Brockmann, D. Ineichen (2006): GPS-Netz NEOTEKTONIK Nordschweiz 2004: Messkampagne 2004 im Auftrag der Nagra; kombiniert mit der Messkampagne CHTRF2004 im GPS-Landesnetz LV95. *swisstopo Report* 04-40, Wabern, Januar 2006.

Wiget A., A. Schlatter, E. Brockmann, D. Ineichen, U. Marti, R. Egli (2007): GPS-Netz NEOTEKTONIK Nordschweiz 2004: Messkampagne im Auftrag der Nagra und Deformationsanalyse 1988–1995–2004. *swisstopo Report* 07-03, Wabern, April 2007. Ebenfalls publiziert als *Nagra Arbeitsbericht* NAB 06-04.



Egli R., A. Geiger, A. Wiget, H.-G. Kahle (2007): A modified least-squares collocation method for the determination of crustal deformation: first results in the Swiss Alps. *Geophysical Journal International* (2007) 168, p. 1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03138.x>.

Wiget A., U. Marti, R. Egli, A. Geiger, O. Heller (2007): Modelling the Kinematics of the Deformation of the Swiss Geodetic Reference Network: Project Swiss4D. Poster presented at the *IUGG XXIV General Assembly*, Perugia, Italy, 2–13 July 2007.

Condamin S., J. Schwarzgruber, B. Sievers (2014): Lokale Hebungsraten in den Schweizer Alpen Wildhorndecke). *Geomatik Schweiz* Heft 1, 2014, S. 12–15.

Kistler, M., E. Brockmann, S. Condamin, A. Schlatter, A. Wiget (2016): Displacement Measurements with GNSS and Radar Interferometry above the New Alp Traverse Tunnel Gotthard. Paper presented at the *3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*, Vienna, 30 March–1 April 2016.

Brockmann E. (2018): Stabilität des schweizerischen Koordinatenreferenzrahmens. *Cadaastre, Fachzeitschrift für das schweizerische Katasterwesen* Nr. 28, Dezember 2018, S. 11–13.

Weitere Berichte zum Thema «Kinematisches Modell CHKM95» bzw. zu den Projekten Swiss4D und Swiss4D-II sind im Anhang im Kapitel 2.3.9 aufgeführt. Zudem wurden Themen der Geodynamik und kinematischer Bewegungen (recent crustal movements) in der Schweiz auch in den *Swiss National Reports* zuhanden der IAG-Subcommission EUREF anlässlich der jährlichen EUREF-Symposia diskutiert und präsentiert. Zudem sind Daten, Analysen und Grafiken von Messkampagnen und Auswertungen des Bereiches Geodäsie in *Technische Berichte und Arbeitsberichte der NAGRA* (NTB, NAB) eingeflossen bzw. darin publiziert (siehe z.B. NTB 99-08, NAB 06-04, NAB 07-27, NTB 08-04 und NAB 14-26).

2.1.4 SGK-Bände der Reihe «Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz» (Auswahl mit Bezug zur Landesvermessung)

Band 39 (1989): Diverse Autoren: 125 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission:

- I. Bedeutung geodätischer Raumverfahren für Landesvermessung und Geodynamik (R. Sigl)
- II. Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik (H.-G. Kahle)
- III. L'état actuel de la recherche sur les mouvements de l'écorce terrestre en Suisse (F. Jeanrichard)
- IV. Die Satellitengeodäsie im Dienste der globalen Geodynamik (I. Bauersima)
- V. Die Veranstaltungen zum 125 Jahr-Jubiläum der Schweizerischen Geodätischen Kommission (W. Fischer).

Band 40 (1989): B. Bürki: Integrale Schwerefeldbestimmung in der Ivrea- Zone und deren geophysikalische Interpretation.

Band 41 (1990): U. Marti: ALGESTAR satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz.

Band 42 (1990): B. Wirth: Höhensysteme, Schwerepotentiale und Niveauflächen: Systematische Untersuchungen zur zukünftigen terrestrischen und GPS-gestützten Höhenbestimmung in der Schweiz.

Band 43 (1990): A. Geiger: Gravimetrisches Geoid der Schweiz: Potentialtheoretische Untersuchungen zum Schwerefeld im Alpenraum.

Band 45 (1992): F. Jeanrichard (Hrsg.) Autoren: A. Geiger, H.-G. Kahle, R. Köchle, D. Meier, B. Neininger, D. Schneider, B. Wirth: Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985–1993, Teil I.

Band 46 (1993): M. Rothacher: Orbits of Satellite Systems in Space Geodesy.

Band 47 (1993): H.-G. Kahle (Hrsg.). Autoren: I. Bauersima, G. Beutler, B. Bürki, M. Cocard, A. Geiger, E. Gubler, W. Gurtner, H.-G. Kahle, U. Marti, B. Mattli, M. Rothacher, Th. Schildknecht,



D. Schneider, A. Wiget, B. Wirth: NFP 20. Beitrag der Geodäsie zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik.

Band 48 (1994): U. Wild: Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring.

Band 50 (1993): A. Elmiger, R. Köchle, A. Ryf, F. Chaperon: Geodätische Alpen traverse Gotthard.

Band 51 (1993): F. Jeanrichard (Hrsg.) Autoren: G. Beutler, A. Geiger, M. Rothacher, S. Schaer, D. Schneider, A. Wiget: Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985–1993, Teil II (GPS-Netz).

Band 54 (1997): F. Arnet und E. Klingelé: SG95: Das neue Schweregrundnetz der Schweiz.

Band 55 (1997): E. Brockmann: Combination of Solutions for Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System (GPS).

Band 56 (1997): U. Marti: Geoid der Schweiz 1997.

Band 72 (2007): A. Schlatter: Das neue Landeshöhenetz der Schweiz LHN95.

Band 90 (2014): A. Villiger: Improvement of the Kinematic Model of Switzerland (Swiss4D-II).

Band 95 (2016): S. Haeberling: Theoretical and Practical Aspects of High-Rate GNSS Geodetic Observations.

Band 100 (2017): J. Clinton, A. Geiger, S. Haeberling, F. Haslinger, M. Rothacher, A. Wiget, U. Wild: The Future of National GNSS-Geomonitoring Infrastructures in Switzerland. White Paper.

Themen, Infrastruktur und Messkampagnen der Landesvermessung bzw. des Landesvermessungswerkes LVW95 wurden auch in den alle vier Jahre publizierten *Swiss National Reports on Geodetic Activities* zuhanden der *International Association of Geodesy IAG* bearbeitet und dokumentiert. Diese wurden an den *General Assemblies of the International Union of Geodesy and Geophysics* präsentiert und abgegeben; siehe [Swiss Geodetic Commission – Publications \(ethz.ch\)](https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/publications/geodesy/swisstopo_doku_pdf) > Swiss National Reports on Geodetic Activities.

2.2 Berichte aus der L+T / Rapports du S+T; swisstopo-Doku

LV95-Reihe «Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95» / Série MN95 «Définition de la nouvelle mensuration nationale de la Suisse MN95».

https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/publications/geodesy/swisstopo_doku_pdf

(Letzter Zugriff 11.11.2020)

Berichte aus der L+T / swisstopo-Doku		LV95-Reihe / Série MN95
Nr.	Titel (Autoren)	Ausgabe
6	Teil 1: Vorgeschichte, Konzept, Projektorganisation und Planung Dieter Schneider, Erich Gubler und Adrian Wiget	1995
7	Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS-Permanentbetrieb Urs Wild und Werner Gurtner	1995
8 d	Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen Dieter Schneider, Erich Gubler, Urs Marti und Werner Gurtner	1995/2001
8 f	3e partie: Systèmes et cadres de référence terrestres Dieter Schneider, Erich Gubler, Urs Marti et Werner Gurtner; traduit par Hubert Dupraz	1995/2001



Berichte aus der L+T / swisstopo-Doku		LV95-Reihe /Série MN95
Nr.	Titel (Autoren)	Ausgabe
9	Teil 4: Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung DIA93 Hubert Chablais, Thomas Signer und Bruno Vogel	1995
11	Teil 5: GPS-Landesnetz: Netzanlage, Materialisierung, Dokumentation und Nachführung Werner Santschi, Bruno Vogel, Thomas Signer und Daniel Gutknecht	1998
12	Teil 6: GPS-Landesnetz: GPS-Messungen 1988–94 Bruno Vogel, Daniel Gutknecht, Werner Santschi, Thomas Signer und Adrian Wiget	1997
13	Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988–94; Bezugsrahmen CHTRF95 und LV95 Adrian Wiget, Thomas Signer, Bruno Vogel und Urs Wild	2003
14	Teil 8: Gesamtausgleichungen des GPS-Landesnetzes mit dem Diagnosenetz der Triangulation 1. und 2. Ordnung DIA95 Thomas Signer und Bruno Vogel	2000
15	Teil 9: GPS-Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung. Transformation LV95 <-> LV03 Thomas Signer und Bruno Vogel	1999
16	Teil 10: Das Geoid der Schweiz 1998 CHGEO98 Urs Marti	2002
19	Teil 11: Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Stationsnetz und Positionierungsdienste Urs Wild, Simon Grünig und René Hug	2006
20	Teil 12: Landeshöhennetz LHN95: Konzept, Referenzsystem, kinematische Gesamtausgleichung und Bezug zum Landesnivellement LN02 Andreas Schlatter und Urs Marti	2007
21 d	Teil 13: Einführung des Bezugsrahmens LV95 in die Nationale Geodateninfrastruktur Bruno Vogel, Michael Burkard, Matthias Kistler, Urs Marti, Jérôme Ray, Markus Scherrer, Andreas Schlatter und Adrian Wiget	2009
21 f	13^{ème} partie : Introduction du cadre de référence MN95 dans l'infrastructure nationale de données géographiques Bruno Vogel, Michael Burkard, Matthias Kistler, Urs Marti, Jérôme Ray, Markus Scherrer, Andreas Schlatter et Adrian Wiget	2009
22	Teil 14: Das Geoid der Schweiz 2004 CHGeo2004 Urs Marti	2016
23	Teil 15: Das Landesschwerenetz LSN2004 Urs Marti	2022
24	Teil 16: Das Landesvermessungswerk 1995 LVW95: Schlussbericht Adrian Wiget, Dieter Schneider, Urs Marti, Andreas Schlatter und Urs Wild	2022



2.3 Technische Berichte (TB) und swisstopo Reports und Hinweise zu weiteren Publikationen

In den folgenden Tabellen sind die «Technischen Berichte» (TB) und «swisstopo Reports» zusammengestellt, welche direkt oder indirekt Entwicklungen, Messkampagnen oder Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Aufbau des Landesvermessungswerks LV95 dokumentieren. Diese (wohl unvollständigen) Listen sind pro Themenbereich bzw. Komponente des LV95 gegliedert. Die TB bzw. *swisstopo Reports* sind nicht im Internet abrufbar.

In einzelnen Unterkapiteln sind Hinweise zu weiteren Publikationen enthalten, welche für spezifische Themen von Interesse sind.

2.3.1 EUREF

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
93-01	EUREF-Stationen der Schweiz. Lokale Beziehungen zwischen RETRIG/DIA und EUREF/LV95	G. Danuser A. Wiget	1993
96-12	EUREF-CH '92 / 93: Swiss GPS Campaigns for the densification of EUREF and the establishment of the new national network «LV95»	A. Wiget	01.1996
96-20	Einmessung LV95 (EUREF)-Neupunkt Generoso 1995: GPS-Messungen vom 25.–26.4.1995»	U. Wild W. Santschi	06.1996
01-13	EUREF2001: National Report of Switzerland: «Introduction and first applications of a Real-Time Precise Positioning Service using the Swiss Permanent Network AGNES» und «Swiss Activities in Combining GPS with Meteorology». Papers presented at the EUREF Symposium, Dubrovnik, Croatia; May 16–18, 2001	E. Brockmann S. Grünig R. Hug D. Schneider A. Wiget U. Wild	06.2001
08-17	Das Bezugssystem ETRS89 und nationale Koordinatensysteme der Schweiz: Kurzbericht mit besonderer Berücksichtigung der Lage- und Höhendifferenzen zwischen Deutschland und der Schweiz	A. Wiget	05.2008

2.3.2 Fundamentalstation Zimmerwald

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
03-38	Fundamentalstation Zimmerwald: Lokale Einmessung 2003. Messungen vom 6./7. Okt. 2003 und Multiepochen-Ausgleichung 1987–2003	W. Santschi S. Hohl E. Brockmann	03.2005
08-23	Fundamentalstation Zimmerwald: Lokale Einmessung 2008. Messungen vom 15.–17. Juli 2008 / 2. September 2008 und Multiepochen-Ausgleichung 1987–2008	D. Ineichen E. Brockmann	04.2009
10-14	Geostation Zimmerwald: Ablotungen 2010. Messungen vom 21. Oktober und 4. November 2010	D. Ineichen E. Brockmann	04.2011
11-13	Geostation Zimmerwald: Ablotungen 2011. Messungen vom 22. August zur Bestimmung der kurzperiodischen Mastdeformationen	D. Ineichen E. Brockmann	10.2011
14-21	Geostation Zimmerwald: Einmessung 2014. Messungen vom 10.–14. November 2014 und Multiepochen-Ausgleichung 1987–2014	D. Ineichen E. Brockmann	07.2015



Besondere Publikation zur Sternwarte Zimmerwald (Swiss Optical Ground Station and Geodynamics Observatory Zimmerwald):

- UniPress 130 – Diverse Autoren (2006): 50 Jahre Sternwarte Zimmerwald.
UniPress – Forschung und Wissenschaft an der Universität Bern. Heft 130, September 2006.

2.3.3 GNSS Permanentnetz AGNES / Positionierungsdienst swipos

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
	GNSS Permanentnetz AGNES		
95-25	Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Projektvorschlag	U. Wild A. Wiget	12.1995
96-28	Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Dokumentation zur automatischen Datenverarbeitung	E. Brockmann	11.1996
97-01	Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Vorstudie	U. Wild A. Wiget Th. Signer R. Hug	05.1998
99-21	Versuchsmessungen RTK / AGNES: Versuchsmessungen RTK / AGNES unter Verwendung der AGNES-Stationen	U. Bruderer	01.2003
00-17	AGNES: Empfängerevaluation. Auswertungen der Testmes- sungen Thun und weitere Untersuchungen der Empfänger- qualitäten	E. Brockmann	06.2000
00-43	Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Hauptstudie	R. Hug U. Wild P. Kummer	01.2003
01-05	Die Koordinaten der AGNES-Stationen	E. Brockmann	06.2001
01-39	Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Real-time Fineltra 2001 Entwicklung, Integration, Testmessungen	S. Grünig	12.2001
02-08	Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES) und Swiss Positioning Service (swipos): Abgrenzung und Marketing- Szenarien	U. Wild	04.2002
02-25	Troposphäreninterpolation aus AGNES: Benutzeranleitung und Resultate anhand der GPS Verdichtungsmessungen 2001	M. Troller E. Brockmann	11.2002
02-32	AGNES-Stationen: Einmessung in LV03 und Anschluss an LV95	B. Vogel	04.2004
04-12	Konzept AGNES Zentrale BIT: Beschreibung der neuen AGNES Serverarchitektur im BIT (Redundanz, Sicherheit, Archivierung)	S. Grünig	09.2004
04-22	Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Schlussbericht Projekt 8101	U. Wild	12.2004
05-04	AGNES-Netzoptimierung 2005 / 2006: Evaluation der Stationen, Konzept, Massnahmenplan, Ausblick Galileo	S. Grünig U. Wild	05.2005
06-25	AGNES II / GLONASS: Testmessungen GNSS-RTK	S. Grünig	03.2007



08-13	AGNES II / GLONASS: Projektantrag, Reporting und Schlussbericht	U. Wild E. Brockmann S. Grünig	05.2008
11-24	Neue AGNES/swipos-Zentrale: Testmessungen 2011	L. Kislig	12.2011
12-16	AGNES-Ersatzstandort Andermatt: Beurteilung des Standortes Andermatt (Gütsch) und die Beurteilung von drei Alternativstandorten	E. Brockmann M. Wiederkehr Ch. Misslin	10.2012
14-23	Projet AGNES III: Rapport final RE1	D. Andrey	04.2015
15-07	Projet AGNES III: Rapport final RE2	D. Andrey	12.2015
	Positionierungsdienst swipos		
97-22	swipos-NAV: Technisches Konzept	U. Wild R. Hug St. Tschanz	01.2003
00-06	swipos-Nav: Tests DGPS, couverture et précision	P. Kummer	03.2000
01-40	Testmessungen swipos GIS/GEO	S. Grünig	12.2001
02-51	swipos-GIS/GEO: Testmessungen 2002 im Operat Guggisberg (Auszug aus Diplomarbeit FHBB)	B. Hofer S. Wittmer (FHBB)	01.2003
03-35	swipos über Internet: Konzept für die Weiterentwicklung von swipos-NAV und swipos-GIS/GEO	U. Wild S. Grünig	11.2003
04-05	swipos: VRS-Monitor: Softwarebeschreibung RTKMON und Hardwarebeschreibung eines mobilen VRS-Monitors	A. Wägli S. Grünig	02.2004
04-21	swipos-Testmessungen: Untersuchung der Initialisierungszeit und der Extrapolation / Interpolation bei swipos-GIS/GEO	St. Wittmer U. Wild	10.2004
04-23	Swiss Positioning Service (swipos): Projekt 8102, Schlussbericht	U. Wild	12.2004
04-24	Vernetzung SAPOS, APOS und swipos: Schlussbericht D-A-CH	U. Wild S. Grünig	05.2005
04-45	VRS-Monitor: Integrity Monitoring für swipos-GIS/GEO. Technischer Schlussbericht des Projekts P0026	S. Grünig A. Wägli	12.2004
05-08	swipos-NAV: Positionierungsdienst über UKW-RDS, 1996–2004, Schlussbericht	U. Wild	07.2008
05-21	Testmessungen VRS-Monitor 2005: Resultate, Analyse, Ausblick	S. Grünig	12.2005
06-09	Testmessungen VRS-Monitor 2006: Untersuchungen des Einflusses von Schneeablagerungen auf die Positionierung mit swipos-GIS/GEO und Vergleich mit den Resultaten vom PNAC	S. Grünig E. Brockmann	05.2006
07-21	swipos-Testmessungen 2007: Testmessungen GPS/GLONASS im Rahmen des Projekts AGNESII/GLONASS	Th. Wüthrich D. Andrey	07.2007
08-14	swipos-mesures test 2008: Mesures RTK GPS/GLONASS	D. Andrey St. Wittmer	03.2009
08-28	Rover Integrity: Test d'une solution de remplacement du VRS-Monitor	D. Andrey	12.2008
08-32	3D-Baggersteuerung mit swipos-GIS/GEO: Machbarkeitsstudie (WK Th. Hardegger, 10.–28. November 2008)	Th. Hardegger	12.2008



08-33	AGNES/swipos: Integration von real-time Stationen aus Frankreich / Italien: Konzept und Beschaffung SW-Lizenzen	U. Wild	05.2009
09-05	Real-time Monitoring mit swipos: Dokumentation der Versuche mit Trimble Integrity Manager (TIM) am Beispiel des GPS-Überwachungsnetzes Braunwald	D. Ulrich D. Andrey	12.2009
09-06	Review und Redesign von AGNES/swipos: Konzeptstudie zur technischen Weiterentwicklung	D. Andrey Chr. Misslin U. Wild	12.2009
09-06a	Zukunftsanalyse zu AGNES/swipos Diensten	H.-J. Euler	02.2010
09-12	swipos: Businessplan 2008–2011	U. Wild	08.2009
11-04	swipos-II: TP Infrastruktur 2010–2012	Chr. Misslin	01.2013
11-05	swipos-II: TP Migration 2010–2012	D. Andrey, L. Kislig	01.2013
12-18	swipos-II: TP3: Servicemanagement	U. Wild D. Andrey L. Kislig Chr. Misslin	01.2013
12-19	swipos-II: Dokumente zum Projektmanagement	U. Wild	01.2013.
13-15	POSTECH: Schlussbericht RE1	U. Wild D. Andrey L. Kislig Chr. Misslin E. Brockmann H.-J. Euler	01.2014
14-11	POSTECH: Schlussbericht RE2	U. Wild	04.2016
15-05	swipos: Kontroll- und Statistikprogramme Statistik der RINEX-Datenverfügbarkeit	L. Kislig	02.2015
15-06	swipos: Kontroll- und Statistikprogramme <i>Alberding QC-Software</i>	L. Kislig J. Liechti	02.2017
16-11	swipos Leistungstests mit Version TPP 3.8 und RTK-Vergleich mit Dienst RefNet	U. Bruderer	10.2016

Informationen und Details zum Aufbau und Betrieb von AGNES können auch den folgenden, im obenstehenden Kapitel 2.1.2 bereits aufgeführten Publikationen entnommen werden:

- Wild U., E. Brockmann, R. Hug, Chr. Just, P. Kummer, Th. Signer, A. Wiget (2000).
- Wild U., S. Grünig, R. Hug, P. Kummer, I. Pfammatter, U. Bruderer (2001).
- Grünig S., U. Wild (2005).
- Wild U. (2007).

2.3.4 GNSS-Referenznetz Landesnetz LV95 (inkl. Sondernetze) / CHTRF

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
	GPS-Messkampagnen im Landesnetz LV95 und deren Auswertung		
89-06	Aufbau von GPS-Netzen in der Schweiz	D. Schneider	1989



95-30	Neue Landesvermessung LV95-89: Messungen und Berechnungen Teilnetz 1989	Th. Signer	1995
95-31	Neue Landesvermessung LV95-90: Messungen und Berechnungen Teilnetz 1990	B. Vogel	1995
95-32	Neue Landesvermessung LV95-91: Messungen und Berechnungen Teilnetz 1991	D. Gutknecht Th. Signer	1995
95-33	Neue Landesvermessung LV95-91A: Anschlusskampagne 1991	D. Gutknecht Th. Signer	1995
95-34	Neue Landesvermessung LV95-92: Messungen und Berechnungen Teilnetz 1992	W. Santschi U. Wild	1995
95-35	Neue Landesvermessung LV95-92A: Anschlusskampagne 1992	W. Santschi A. Wiget	1995
95-36	Neue Landesvermessung LV95-94A: Anschlusskampagne 1994	D. Gutknecht U. Wild	1995
95-37	Neue Landesvermessung LV95-94 Oberarth: Ergänzungsnetz Oberarth 1994	W. Santschi Th. Signer	1995
95-38	Neue Landesvermessung LV95: Choix des emplacements et matérialisation des points (1989–1992)	D. Gutknecht B. Vogel W. Santschi	1995
95-39	Neue Landesvermessung LV95: Zusammenstellung der Anschlüsse an die LV03 und das LN02	B. Vogel	1997
97-20	LV95: Auswertung der GPS-Messungen 1988–94: Interne Dokumentation	A. Wiget Th. Signer B. Vogel U. Wild	01.2003
02-11	LV95 / LHN95: GPS-Auswertung der Messkampagnen der Jahre 2001 u. 2002	E. Brockmann	06.2003
	Lokale, regionale und kantonale Verdichtungen des Landesnetzes LV95		
90-02	BAHN 2000: Basel–Olten, Wisenberg-Tunnel. Teil 1: Grundlagenvermessung mit GPS	A. Wiget D. Schneider	1990
89-04	BAHN 2000: Basel–Olten, Wisenberg-Tunnel. Teil 2: Ausgleichung des oberirdischen Tunnelnetzes mit verfeinerten Modellen und Gesamtausgleichung mit GPS	D. Schneider A. Wiget	1989
91-01	BAHN 2000: NBS Zürich Flughafen–Winterthur, Brüttener-Tunnel. Grundlagenvermessung 1990 mit GPS. Durchführung der GPS-Messkampagne und die Auswertung der Messungen	D. Schneider	1991
91-03	BAHN 2000: MuttENZ–Olten, Adler-Tunnel. Grundlagenvermessung mit GPS. Technischer Bericht IV über die Rahmenbedingungen für die Vermessung mit GPS	A. Wiget	1991
95-14	BAHN 2000: Mattstetten–Rothrist: GPS-Grundlagennetz 1994	T. Signer W. Santschi A. Wiget	06.1995
96-31	Verdichtung LV95 Kanton Zürich: 16.–19. September 1996	Th. Signer	02.1997
96-32	Verdichtung LV95 SG / TG 1996: Messungen, Auswertung und Ergebnisse	Th. Signer W. Santschi	03.1997



96-33	Verdichtung LV95 Laufental: 7.–8. Mai 1996	D. Gutknecht Th. Signer	03.1997
96-35	Verdichtung LV95 Kanton Schwyz: 9.–12. September 1996	Th. Signer	04.1997
97-29	LV95: Verdichtung Seeland: GPS-Messungen vom 9.–12. Juni 1997	D. Gutknecht Th. Signer	11.1997
97-37	LV95: Verdichtung AG / ZH 1997: GPS-Messungen vom 1.–5. September 1997	Th. Signer	11.1997
99-28	Kanton Luzern: Verdichtung LV95 Seetal: Auswertung der GPS-Messungen vom 7.–8. Juni 1999	W. Santschi F. Volluz	09.1999
00-04	LV95: Verdichtung GPS-Netzes LV95 in den Kantonen AI, BE, GL, LU, NW, OW, TG, UR, SG und dem FL: Rekognoszierung, Messung und Auswertung 1998–1999	W. Santschi D. Gutknecht	10.2004
00-39	LV95: Verdichtung des GPS-Netzes in den Kantonen Graubünden und Tessin: Rekognoszierung, Messung und Auswertung	W. Santschi E. Brockmann	06.2003
01-30	LV95: Verdichtung des GPS-Netzes in den Kantonen Freiburg, Waadt und Wallis: Rekognoszierung, Messung und Auswertung 2001	W. Santschi	10.2004
04-34	Lagefixpunkte Kanton LU: Berechnung der Transformations- und Kontrollpunkte (LFP2) im Netz 200	W. Santschi	10.2004
04-50	LV95: Verdichtung GPS-Netz LV95 im Kanton SH: Rekognoszierung, Messung und Auswertung 2004	W. Santschi	08.2005
	Neotektonik Nordschweiz		
87-01	GPS-Netz Nordschweiz, Projektentwurf	D. Schneider	1987
90-03	GPS-Netz «Neotektonik» 1988	A. Wiget D. Schneider	1990
92-05	GPS-Netz Neotektonik Nordschweiz: Konzept und Vorschlag für die Messkampagne 1993	D. Schneider	1992
95-02	GPS-Netz Neotektonik Nordschweiz: Konzept und Messprogramm 1995	D. Schneider A. Wiget	01.1995
96-05	GPS-Netz Neotektonik Nordschweiz: Messkampagne 1995 und Deformations-Grobanalyse 1988–1995	A. Wiget D. Schneider E. Gubler	06.1996
04-40	GPS-Netz NEOTEKTONIK Nordschweiz 2004: Messkampagne 2004 im Auftrag der Nagra; kombiniert mit der Messkampagne CHTRF2004 im GPS-Landesnetz LV95	A. Wiget A. Schlatter E. Brockmann D. Ineichen	01.2006
05-31	GPS-Netz NEOTEKTONIK Nordschweiz 2004: Kurzbericht zu den vorläufigen Ergebnissen der Messkampagne 2004 im Auftrag der NAGRA; kombiniert mit der Messkampagne CHTRF2004 im GPS Landesnetz LV95	A. Wiget	05.2005
07-03	GPS-Netz NEOTEKTONIK Nordschweiz 2004: Messkampagne im Auftrag der Nagra und Deformationsanalyse 1988–1995–2004	A. Wiget A. Schlatter E. Brockmann D. Ineichen U. Marti R. Egli	04.2007



	BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel		
93-02	Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel: Grundlagenvermessung für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels: Zielsetzung, Projekt- und Terminvorschlag	D. Schneider	1993
94-01	Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel: Grob-Präanalyse des Basistunnels Frutigen–Steg–Mundbach	U. Arnold D. Schneider A. Wiget	1994
94-02	Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel: Präanalyse Sondierstollen (Sondierstollen Frutigen–Kandersteg und Fensterstollen Mitholz)	U. Arnold D. Schneider A. Wiget	1994
94-03	Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel: Grundlagenvermessung für die Absteckung des Lötschberg-Basistunnels: Sondierstollen Frutigen–Mitholz und Zwangspunkte Wallis	D. Schneider A. Wiget	1994
94-04	Vorprojekt AlpTransit–Gotthard (NEAT), Grundlagenvermessung für den Gotthard-Basistunnel: Koordination mit der Landesvermessung (LV95 und Landesnivellement)	D. Schneider B. Mattli	1994
94-05	Projekt AlpTransit (NEAT), Lötschberg-Basistunnel: Grundlagenvermessung 1. Etappe: GPS-Gesamtnetz, Lage- und Höhennetze für den Sondierstollen	A. Wiget	06.1994
97-31	BLS-AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel: Grundlagenvermessung 1997: GPS-Grundlagennetz (LV95) und Anschlüsse ans Landesnivellement (LHN95)	A. Wiget C. Valiquier	03.1999
00-12	AlpTransit Lötschberg-Basistunnel: Grundlagenvermessung für die Tunneldurchschläge auf der Basis der Landesvermessung LV95; Beitrag zum XIII. Kurs für Ingenieurvermessung, München 13.–17. März 2000	A. Schlatter U. Marti A. Wiget H.-U. Riesen	03.2000
01-12	AlpTransit Lötschberg-Basistunnel: Grundlagennetz-Ergänzung 2001 Portal Ferden (Goppenstein)	A. Wiget	05.2001
07-09	BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel: Die Grundlagenvermessung und weitere Beiträge des Bundesamtes für Landestopografie zur Vermessung des Lötschberg-Basistunnel. Dieser Report enthält eine Liste aller Technischen Berichte und swisstopo Reports zum BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel sowie eine Liste aller Fachpublikationen. Insgesamt wurden folgende Berichte verfasst: - 5 Konzeptstudien und Berechnungen von Präanalysen, - 11 Berichte zum GPS-Grundlagennetz und zu Netzerweiterungen, - 7 Berichte zum Höhengrundlagennetz und zu RCM-Analysen, - 16 Berichte mit Berechnungen der orthometrischen Höhen.	A. Wiget	08.2007
	AlpTransit Gotthard-Basistunnel		
92-02	SBB: Vorprojekt AlpTransit (NEAT): Grundlagenvermessung für die Absteckung des Gotthard-Basistunnels mit GPS	D. Schneider A. Wiget	1992
94-04	Vorprojekt AlpTransit - Gotthard (NEAT), Grundlagenvermessung für den Gotthard-Basistunnel: Koordination mit der Landesvermessung (LV95 und Landesnivellement)	D. Schneider B. Mattli	1994



95-29	AlpTransit: Gotthard-Basistunnel: Grundlagenvermessung mit GPS: Verdichtung von LV95. Kurzbericht mit prov. Koordinaten	U. Wild W. Santschi	1995
96-09	AlpTransit: Gotthard-Basistunnel: (Nachtrag zum TB 95-29) Grundlagenvermessung mit GPS: Verdichtung von LV95. Definitive Resultate in den Bezugsrahmen LV95 und CHTRF95	U. Wild A. Wiget	05.1996
97-10	Transformation raumbezogener Daten von LV03 auf LV95 im Kanton Uri (Reussebene Altdorf–Amsteg): Arbeit in Koordination mit dem Projekt AlpTransit	Th. Signer F. Bräker U. Gasser P. Patocchi	04.1997
98-19	LV95: Transformation raumbezogener Daten von LV03 auf LV95 im Kanton Tessin (Bahnachse Biasca–Chiasso): Arbeit in Koordination mit dem Projekt AlpTransit	Th. Signer	03.1998
00-13	AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Ergebnisse der kinematischen Analyse der Landesnivellements im Gotthardgebiet und grossräumige Überwachung des Projektgebiets mit Hilfe von Präzisionsnivellements und mit GPS-Permanentnetzen	D. Schneider A. Schlatter Th. Signer U. Wild	03.2000
	CHTRF-Kampagnen		
97-21	LV95: Konzept CHTRF98 (Swiss Terrestrial Reference Frame 1998). Wiederholungs- und Permanentmessungen im GPS-Landesnetz:	D. Schneider U. Marti A. Wiget U. Wild	07.2002
98-15	LV95-CHTRF98: GPS-Messungen 1998: Messkampagne vom 9.08.–25.09.1998 in «Swiss Terrestrial Reference Frame 1998»	A. Wiget	05.2004
98-16	LV95-CHTRF98: GPS-Messungen 1998: Auswertung der Messungen und Beurteilung der Resultate	E. Brockmann	8.2003
03-25	LV95 / CHTRF2004 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2004) Teil 1: Konzept für die Wiederholungs- und Permanentmessungen im GPS-Landesnetz LV95	E. Brockmann A. Schlatter A. Wiget	03.2004
04-06	LV95 / CHTRF2004 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2004) Teil 2: Messkampagnen vom April–September 2004 im GPS-Landesnetz LV95	A. Schlatter A. Wiget	04.2005
05-19	EUREF'05: CHTRF2004 Results of the 3rd observation of the Swiss GPS Reference Network LV95 and status of the Swiss Combined Geodetic Network CH-CGN. (Paper presented at the EUREF Symposium, Vienna, Austria, 1–4 June 2005)	E. Brockmann D. Ineichen U. Marti A. Schlatter	12.2005
10-24	LV95 / CHTRF2010 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2010) Teil 1: Messkonzept und Messkampagnen vom April–Oktober 2010 im GNSS-Landesnetz LV95	A. Schlatter	06.2011
10-25	LV95 / CHTRF2010 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2010) Teil 2: Auswertung der GPS-Messungen 2010 und Resultate der Gesamtausgleichung 1988–2010	E. Brockmann	06.2011
16-08	LV95 / CHTRF2016 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2016) Teil 1: Messkonzept und Messkampagnen vom April–Oktober 2016 im GNSS-Landesnetz LV95	J. Carrel S. Beckel	06.2017
16-19	LV95 / CHTRF2016 (Swiss Terrestrial Reference Frame 2016) Teil 2: Auswertung der GNSS-Messungen 2016 und Resultate der Gesamtausgleichung	E. Brockmann	07.2018



	Unterhaltskonzept		
01-31	LV95: Unterhalt GPS-Netz 2001: Neubestimmung der zerstörten Punkte «Aeschi» und «Schauenberg»	B. Vogel E. Brockmann	07.2002
02-01	Landesvermessung der Schweiz: Unterhaltskonzept der geodätischen Netze	W. Santschi B. Vogel Th. Signer B. Mattli D. Gutknecht	07.2002
09-14	Nachführungskonzept für die geodätische Landesvermessung (Unterhaltskonzept)	Geodäsie	11.2010
09-14f	Plan de mise à jour de la mensuration nationale géodésique	Geodäsie	05.2011
18-05	Konzept LV95-Rückversicherungen: Versicherung und Einmessung von Rückversicherungen der LV95-Punkte und AGNES-Stationen	St. Beckel J. Carrel A. Schlatter	02.2018

2.3.5 Landesschwerenetz LSN2004

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
04-08	Landesschwerenetz LSN 2004 Konzept für eine neue gravimetrische Landesvermessung der Schweiz	U. Marti D. Schneider	02.2005
04-10	LSN2004 (CH-CGN): Landesschwerenetz 2004 Absolute und relative Schweremessungen auf dem Fundamentalpunkt Zimmerwald 2004–2005 und Verbindung mit der Schwerestation metas	U. Marti Ph. Richard PV. Radogna	09.2005
05-14	LSN2004: Landesschwerenetz 2004, Station Brig Erneuerung und Neumessung einer absoluten Schwerestation in Brig 2005, absolute Schweremessungen vom 6.–7. Juli 2005 und Anschluss ans LHN	U. Marti Ph. Richard	07.2006
06-07	LSN2004 (CH-CGN): Landesschwerenetz 2004 Absolute und relative Schweremessungen auf dem Fundamentalpunkt Zimmerwald 2006, 2007 und Verbindung mit der Schwerestation METAS	U. Marti	06.2012
07-11	Landesschwerenetz (LSN2004): Einrichten der absoluten Schwerestation Basel und Absolutmessungen 2006	U. Marti Ph. Richard	08.2007
10-12	Absolute Schweremessungen 2007 bis 2010: Messungen für das LSN2004 auf den Stationen Andermatt, Zerne, Lausanne, Zürich und Monte Ceneri	U. Marti H. Baumann	09.2010
10-13	Absolute Schweremessungen in Zimmerwald und in Wabern bis 2010	U. Marti H. Baumann	02.2013
17-04	Gravimeter Eichstrecke Interlaken–Jungfrauoch. Arbeiten in den Jahren 2010–2016	U. Marti	06.2017
	AlpTransit Gotthard-Basistunnel		
01-36	AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Schwerefeldstudie	U. Marti	01.2002
05-34	Astrogeodätische und gravimetrische Zusatzmessungen	A. Wiget	10.2005



	für den Gotthard-Basistunnel. Vergleiche zwischen astrogeodätischen und gravimetrischen Messungen vom Sommer 2005 mit modellbasierten Werten	U. Marti A. Schlatter M. Ganz	
--	---	-------------------------------------	--

Informationen und Details zu Schweremessungen und zum Schweregrundnetz können auch den folgenden Publikationen entnommen werden:

- Hunziker E. (1959): Gravimetermessungen in den Jahren 1953 bis 1957. *Astronomisch-Geodätische Arbeiten in der Schweiz*, Band 25. Schweizerische Geodätische Kommission, 1959.
- Fischer W. (1983): Das Nationale Schwerenet der Schweiz (Swiss National Gravity Net, SNGN). Teil 1: Messungen mit LaCoste-Romberg Gravimetern. *IGP-Bericht* Nr. 68. ETH Zürich.
- Arnet F., E. Klingelé (1997): SG95: Das neue Schweregrundnetz der Schweiz. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 54. Schweizerische Geodätische Kommission, 1997.

2.3.6 Landeshöhenetz LHN95

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
97-02	Landeshöhenetz 1995 (LHN95): Anleitung zur Erfassung der Messdaten	R. Näf	02.1997
97-34	The new Swiss National Height System LHN95: Paper presented at the IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, September 1997	U. Marti D. Schneider	09.1997
98-03	Pilotstudie LHN95-Verdichtung: Machbarkeitstests 1998 in Zusammenarbeit mit dem KVA-BE im LFP2-Netz Emmental und auf der Sekundärlinie des LN Susten	A. Schlatter E. Brockmann K. Wysser U. Marti D. Schneider	12.1998
98-11	Landeshöhenetz der Schweiz LHN95 Verzeichnis der Linien des Landesnivellements 1903–1997	U. Bruderer B. Mattli	04.1998
98-18	RNA95: Réseau national altimétrique Suisse: Situation générale du réseau. Proposition d'une présentation graphique (DAO)	P. Kummer	03.1998
98-26	Neues Landeshöhenetz der Schweiz LHN95 Provisorische kinematische Ausgleichung 1998 zur Festlegung der orthometrischen Höhe des Fundamentalpunktes Zimmerwald	A. Schlatter U. Marti	10.2000
99-22	LN02 / LHN95: Anschlussmessung Repère Pierre du Niton 1998 Ergänzungen zum Faszikel 150 der Nivellementlinie Nyon–Genève–Moillesulaz	A. Schlatter E. Brockmann C. Valiquier A. Wiget	10.2000
99-37	Landesnivellement LHN95: Neotektonische Untersuchungen im Lötschberg-Scheiteltunnel nach Abschluss der Tunnelmessungen 1999	A. Schlatter C. Valiquier	12.1999
01-32	LHN95: Übergang zwischen den Höhensystemen LN02 und LHN95	U. Marti	01.2002
02-33	Landeshöhenetz LHN95 Die Anschlüsse des GPS-Netzes LV95 und der AGNES-Stationen an das Landeshöhenetz (LHN95 und LN02)	A. Schlatter B. Mattli B. Vogel	06.2003
02-41	Landeshöhenetz: Planung der Neumessungen 2004–2007	A. Schlatter B. Mattli	10.2002



03-10	Projekt LHN95: Der Übergang zwischen den Höhenrahmen LN02 und LHN95. Anpassungen und weitere Testberechnungen	U. Marti	06.2003
03-14	EUVN-DA: Densification action for the European Vertical Reference System: Concept and proposed point densification	U. Marti A. Schlatter	05.2003
03-37	Gravimetrie für das Landeshöhennetz: Mess- und Auswerteverfahren Resultate der Messungen 2004	A. Schlatter U. Marti B. Mattli	02.2005
Neotektonik Nordschweiz			
92-03	Neotektonische Untersuchungen der NAGRA im Hauensteingebiet: Nivellements-Messungen 1990–91 und kinematische Ausgleichung der relativen Höhenänderungen 1911–1991	D. Schneider B. Mattli E. Gubler	1992
98-10	Neotektonische Untersuchungen in der Nordostschweiz: Kinematische Ausgleichung der Landesnivellementlinien und Übersicht über die Ergebnisse der Geodätischen Messungen	A. Schlatter	04.1999
BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel			
95-28	AlpTransit: Lötschberg-Basistunnel: RCM-Analyse Goppenstein–Steg der Landesnivellements 1916-25-48-83	E. Gubler D. Schneider C. Valiquier	12.1995
97-31	BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel: Grundlagenvermessung 1997. GPS-Grundlagennetz (LV95) und Anschlüsse ans Landesnivellement (LHN95)	A. Wiget C. Valiquier	03.1999
07-09	BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel: Die Grundlagenvermessung und weitere Beiträge des Bundesamtes für Landestopografie zur Vermessung des Lötschberg-Basistunnel. Dieser Report enthält eine Liste aller Technischen Berichte und <i>swisstopo Reports</i> zum BLS-AlpTransit Lötschberg-Basistunnel sowie eine Liste aller Fachpublikationen. Zu den Höhengrundlagen wurden verfasst: - 7 Berichte zum Höhengrundlagennetz und zu RCM-Analysen, - 16 Berichte mit Berechnungen der orthometrischen Höhen.	A. Wiget	08.2007
AlpTransit Gotthard-Basistunnel			
95-22	AlpTransit: Gotthard-Basistunnel: Höhengrundlagennetz auf der Basis des Landesnivellements: Vorschlag für Ergänzungsmessungen sowie eine strenge kinematische Neuausgleichung der Landesnivellementslinien im Projektierungsgebiet	D. Schneider R. Haag	12.1995
96-21	AlpTransit: Gotthard-Basistunnel: Höhengrundlagennetz im Rahmen von LHN95, Ergänzungsmessungen 1996 und Berechnung der Gebrauchshöhen im Bezugsrahmen LN02	B. Mattli A. Schlatter	05.1997
97-08	Prov. Orthometrische Höhen für AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Ergänzungen im neuen Landeshöhennetz 1995 (LHN95) als Grundlage für das Werknetz vom AlpTransit. Kinematische Ausgleichung und Berechnung provisorischer orthometrischer Höhen LHN95	A. Schlatter U. Marti D. Schneider	05.1998
97-15	Nivellements im Gotthard-Strassentunnel für AlpTransit: Präzisionsnivellement im Gotthard-Strassentunnel (A2).	A. Schlatter B. Mattli	06.1999



	Erfassung der Messungen 1980 und Auswertung der «Beobachteten Höhen» 1980 / 1997 als Ergänzung im neuen Landeshöhenetz 1995 (LHN95) und als Grundlage für das Werknetz von AlpTransit		
97-35	AlpTransit: Gotthard-Basistunnel Kinematische Neuausgleichung der AlpTransit-Schleifen. Provisorische Berechnung 1997 der Differenzen LHN95–LN02 im Projektierungsgebiet (Zwischenbericht)	A. Schlatter	10.1997
97-40	Neues Landeshöhenetz LHN95: Deformations-Analyse Gotthard Untersuchung der Senkungserscheinungen im Bereich des Gotthard-Strassentunnels	A. Schlatter E. Gubler B. Mattli D. Schneider	02.1998
00-13	AlpTransit Gotthard-Basistunnel: Ergebnisse der kinematischen Analyse der Landesnivellements im Gotthardgebiet und grossräumige Überwachung des Projektgebiets mit Hilfe von Präzisionsnivellements und mit GPS-Permanentnetzen	D. Schneider A. Schlatter Th. Signer U. Wild	03.2000

Weitere Publikationen mit Bezug zum Landeshöhenetz LHN95 sind insbesondere auch:

- Schlatter, A., U. Marti (2005): Höhentransformation zwischen LHN95 und den Gebrauchshöhen LN02. In: *Geomatik Schweiz* 103 (2005)8, 450–453.
- Schlatter A. (2007): Das neue Landeshöhenetz der Schweiz LHN95. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 72. SGK 2007.
- Schlatter, A., U. Marti (2007): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95. Teil 12: Landeshöhenetz LHN95. *Swisstopo-Doku* Nr. 20. Bundesamt für Landestopografie.
- Vogel, B., M. Burkard, M. Kistler, U. Marti, J. Ray, M. Scherrer, A. Schlatter, A. Wiget (2009): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95. Teil 13: Einführung des Bezugsrahmens LV95 in die Nationale Geodateninfrastruktur. *swisstopo Doku* Nr. 21. Bundesamt für Landestopografie.
- Schlatter, A., U. Marti, A. Wiget (2016): AlpTransit-Gotthard-Basistunnel: Aspekte zu den Themen Schwerefeld, Höhe und Geodynamik. *AVN* 123 (2016) 7.

2.3.7 Kombiniertes Geodätisches Netz CH-CGN / ECGN

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
03-13	«CH-CGN-1»: Swiss contribution to the European Combined Geodetic Network (ECGN). Proposal submitted in response to the 1st Call for Participation to the IAG Subcommission for Europe (EUREF)	D. Schneider W. Gurtner U. Marti E. Brockmann A. Wiget	05.2003
04-19	EUREF: «CH-CGN-1»: Swiss Contribution to the European Combined Geodetic Network (ECGN) Intermediate Report May 2004 submitted to the IAG Subcommission for Europe (EUREF)	D. Schneider W. Gurtner U. Marti E. Brockmann Ph. Richard A. Wiget	05.2004

2.3.8 Geoidmodelle der Schweiz

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
98-25	Das Geoid der Schweiz 1998: Technische Ergänzungen zur Neuberechnung des Geoids der	U. Marti	08.1998



	Schweiz		
02-16	GPS-Geoid 2003 (CHGeo2003): Konzertierte Aktion für eine gezielte Verbesserung des Geoidmodells im Rahmen der neuen Landesvermessung LV95	D. Schneider E. Brockmann U. Marti A. Schlatter	08.2002
03-30	CHGeo2003: Planung und Auswertung der GPS-Messungen	E. Brockmann	12.2003
03-32	CHGeo2003: GPS/Nivellement Rekognoszierung, Versicherung, Nivellement-Anschlussmessungen und Punktdokumentation	A. Schlatter B. Mattli M. Kistler	01.2005
03-33	CHGeo2003: Astrogeodätische Messungen mit digitalen Zenitkameras vom 7.–29. Oktober 2003	U. Marti Ch. Hirt A. Müller B. Bürki	11.2004

Informationen und Details zu den Geoidmodellen der Schweiz können auch den SGK-Bänden Nr. 41, 43 und 56 (vgl. 2.1.4) sowie den folgenden Publikationen entnommen werden:

- Elmiger A. (1969): Studien über Berechnungen von Lotabweichungen aus Massen, Interpolation von Lotabweichungen und Geoidbestimmung in der Schweiz. *Mitteilungen des IGP der ETHZ* Nr. 12. Zürich, 1969.
- Gurtner W. (1978): Das Geoid der Schweiz. *Mitteilungen des IGP der ETHZ* Nr. 20. Zürich, Februar 1978.
- Marti U. (2002a): Aufbau der neuen Landesvermessung LV95. Teil 10: Das Geoid der Schweiz 1998 «CHGeo98». *swisstopo-Doku* Nr. 16. Bundesamt für Landestopografie, Wabern, 2002.
- Olivier R., B. Dumont, E. Klingelé (2010): L'atlas gravimétrique de la Suisse. *Géophysique N.43. Contribution à la géologie de la Suisse*. ISSN 0253-1186. Schweizerische Geophysikalische Kommission, 2010.

2.3.9 Kinematisches Modell CHKM95 (Projekte Swiss4D/Swiss4D-II)

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
04-36	Swiss4D: Geodynamik in der Schweiz 1. Zwischenbericht zum FEP mit dem Geodäsie und Geodynamik Labor (GGL) der ETH Zürich	M. Kistler A. Geiger J. Verdun	11.2004
04-39	Swiss4D: Geodynamik in der Schweiz 2. Zwischenbericht zum FEP mit dem Geodäsie und Geodynamik Labor (GGL) der ETH Zürich	R. Egli	1020.04
04-47	Swiss4D: Geodynamik in der Schweiz Schlussbericht zum FEP mit dem Geodäsie und Geodynamik Labor (GGL) der ETH Zürich	R. Egli	11.2004
05-46	Swiss4D: Geodynamik in der Schweiz Schlussbericht des Projekts P0024	A. Wiget	12.2006
13-08	Swiss4D-II: Schlussbericht des Projekts P0113	U. Marti A. Villiger	07.2013

Weitere Informationen zu kinematischen Auswertungen finden sich u.a. in *swisstopo Reports* zu CHTRF (vgl. Kapitel 2.3.4 CHTRF-Kampagnen) sowie in Publikationen zum Thema Geodynamik (vgl. Kapitel 2.1.3), insbesondere:



- Wiget A., E. Brockmann, A. Schlatter, A. Geiger, O. Heller and R. Egli (2005): The project Swiss4D: A kinematic model of Switzerland derived from geodetic measurements; a status report. *3rd Swiss Geoscience Meeting*, Zürich, 19. November 2005.
- Egli R., A. Geiger, A. Wiget, H.-G. Kahle (2007): A modified least-squares collocation method for the determination of crustal deformation: first results in the Swiss Alps. *Geophysical Journal International* (2007) 168, p. 1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03138.x>.
- Wiget A., U. Marti, R. Egli, A. Geiger, O. Heller (2007): Modelling the Kinematics of the Deformation of the Swiss Geodetic Reference Network: Project Swiss4D. Poster presented at the *IUGG XXIV General Assembly*, Perugia, Italy, 2–13 July 2007.

2.3.10 Dokumentation, Software, Fixpunktdatenservice FPDS, Transformation und Webdienste

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
02-36	Projekt FP-Datenservice (FPDS): Umsetzungskonzept und Datenmodell (Projekt 8109)	P. Kummer H.-P. Christ	12.2002
03-31	GRIPS (Geodätische Referenzdaten als Internet-Produkte und Services): hermes Projektantrag	U. Wild	10.2003
04-15	FPDS: Web und LBS Erweiterung des FPDS durch Web-Dienste und Location Based Services (LBS)	U. Wild D. Andrey	12.2004
04-28a	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Dokumentation und Pflichtenheft für die SW-Entwicklung der Versionen 0.9 und 1.0	D. Andrey H.-P. Christ U. Wild	08.2005
04-28b	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Dokumentation und Pflichtenheft für die SW-Entwicklung der Version 1.1	D. Andrey U. Wild A. Schlatter B. Mattli U. Marti	08.2005
04-37	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Planung der Entwicklungs- und Abschlussarbeiten sowie der Inbetriebnahme 2004–2005	U. Wild D. Andrey M. Kistler	06.2005
04-55	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Projektschlussbericht 1. Teil	P. Kummer	10.2004
05-05	Projekt GRIPS: Geodätische Referenzdaten als Internet-Produkte und -Services (P0073): Konzeptbericht (Hermes)	A. Wiget M. Kistler E. Brockmann U. Marti B. Vogel U. Wild	07.2006
05-07	LBS-Prototyp für den Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Entwicklungszusammenarbeit mit der Hochschule für Technik und Informatik (HTI) Biel und mit der FHBB Murtens	U. Wild D. Andrey Pascal Gafner Beat Dietsch	08.2008
05-24	Entwicklung einer Transformations-Routine für FINELTRA und HTRANS und deren Integration in GPSNet: Spezifikation, Realisierung, Tests	S. Grünig	12.2005
06-08	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): (P0022-01) Projektschlussbericht 2. Teil	U. Wild	05.2009



07-04	LSKS 2007: Untersuchung zur Verwendbarkeit der Dreiecksvermaschung Stufe AV (CHENyx07) in Form eines regelmässigen Gitters	U. Marti	05.2007
07-20	Koordinatenursprung «alte Sternwarte Bern»: Bestimmung der Koordinaten des geodätischen Denkmals in LV03 und LV95	C. Rösli Th. Wüthrich A. Schlatter	03.2008
08-07	Lokale Einpassung LV95 → LV03 mit GNSS Optimaler Algorithmus für Gebiete mit unzureichender Genauigkeit der Dreiecksvermaschung	Th. Wüthrich B. Vogel	03.2009
08-18	Transformation von Rasterdaten Wechsel des Bezugsrahmens von LV95 auf LV03 von Rasterdaten. Beispiel SWISSIMAGE	U. Marti	06.2008
08-20	Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 Erzeugung einer NTV2-Datei als Näherungslösung für den Bezugsrahmenwechsel	U. Marti	06.2008
09-07	REFRAME .NET / COM library Entwicklerhandbuch	J. Ray	02.2009 04.2016
09-22	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Erneuerung, Vorstudie	M. Burkard	01.2011
09-32	Bezugsrahmenwechsel mit SwissRailTra95 Review des Überführungskonzeptes der Schweizerischen Bundesbahnen SBB	M. Kistler U. Marti	06.2017
10-06	Minimale Geodatenmodelle der Geodäsie Beschreibung der (minimalen) Geodatenmodelle für die Georeferenzdaten des Bereiches Geodäsie	A. Wiget E. Brockmann M. Kistler U. Marti U. Wild	08.2012
10-06f	Modèles de géodonnées de la Géodésie Description des modèles de géodonnées (minimaux) applicables aux géodonnées de référence relevant du domaine Géodésie	A. Wiget E. Brockmann M. Kistler U. Marti U. Wild	08.2012
10-19	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Erneuerung der Import- und Export-Schnittstellen, Pflichtenheft	M. Burkard	03.2011
11-14	Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95: Grundlagen für ein Kommunikationskonzept	A. Wiget	12.2011
11-14f	Changement de cadre de référence MN03 → MN95: Bases d'un concept de communication	A. Wiget	04.2012
13-04	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Entwicklung der neuen Interfaces Export und Import	M. Burkard	04.2013
13-06	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Entwicklung des neuen Interfaces Bezugsrahmenwechsel LV03 ⇔ LV95	M. Burkard	05.2013
14-12	Fixpunkt-Datenservice (FPDS): Neuer Referenzdatensatz für den Interlis-Checker der V+D – Tool fpdfs2CheckCH	M. Burkard	07.2014



15-12	Software Operating AWS: Betrieb Transformations-Dienste und Lizenzserver auf der Amazon Web Services Umgebung	C. Baumann J. Ray	08.2015
15-13	REFRAME .NET library for Swipos: Developer manual	J. Ray	07.2015
16-03	Geodetic REST Web services (REFRAME)	J. Ray	04.2016

2.3.11 Qualitätskontrolle

TB/ Report	Titel	Autoren	Datum
02-40	QMS-géodésie: direction et soutien. Rapport final du projet QMS-GEO	P. Kummer	09.2002
03-06	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Indikatoren, Standards und Messgrössen für die Produkte der Landesvermessung 2004–2007	D. Schneider E. Brockmann B. Vogel, A. Wiget U. Wild	12.2005
07-17	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Erhebung und Auswertung der Messgrössen zur Beurteilung der Zielerreichung am Ende der Leistungsauftragsperiode 2004–2007	A. Wiget E. Brockmann B. Vogel U. Wild	12.2008
10-11	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Indikatoren, Standards und Messgrössen für die Produkte der geodätischen Landesvermessung (ab dem Leistungsauftrag 2008–2011ff)	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann D. Ineichen M. Kistler U. Marti A. Schlatter B. Vogel U. Wild	11.2010
10-11f	Normes de qualité de la mensuration nationale: Indicateurs, normes et grandeurs de mesure applicables aux produits de la mensuration nationale géodésique (du mandat de prestations 2008–2011ff)	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann D. Ineichen M. Kistler U. Marti A. Schlatter B. Vogel U. Wild	11.2010
11-03	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Erhebung und Auswertung der Messgrössen zur Beurteilung der Zielerreichung am Ende der Leistungsauftragsperiode 2008–2011	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann L. Kislig U. Marti A. Schlatter B. Vogel U. Wild	07.2011



11-17	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Erhebung und Auswertung der Messgrössen zur Beurteilung der Zielerreichung im Jahr 2011	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann L. Kislig U. Marti A. Schlatter B. Vogel U. Wild	04.2012
12-17	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Erhebung und Auswertung der Messgrössen zur Beurteilung der Zielerreichung im Jahr 2012	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann L. Kislig U. Marti A. Schlatter B. Vogel U. Wild	11.2012
13-13	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Erhebung und Auswertung der Messgrössen zur Beurteilung der Zielerreichung im Jahr 2013	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann L. Kislig U. Marti A. Schlatter B. Vogel U. Wild	11.2013
14-18	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Erhebung und Auswertung der Messgrössen zur Beurteilung der Zielerreichung im Jahr 2014	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann L. Kislig M. Kistler U. Marti A. Schlatter U. Wild	12.2014
15-16	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Erhebung und Auswertung der Messgrössen zur Beurteilung der Zielerreichung im Jahr 2015	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann L. Kislig M. Kistler U. Marti A. Schlatter U. Wild	12.2015
16-16	Qualitätsstandards der Landesvermessung: Erhebung und Auswertung der Messgrössen zur Beurteilung der Zielerreichung im Jahr 2016	A. Wiget D. Andrey E. Brockmann L. Kislig M. Kistler U. Marti A. Schlatter U. Wild	05.2017



2.4 Software

Die von swisstopo primär für den Eigengebrauch entwickelte geodätische Software wird Interessierten kostenlos abgegeben:

<https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/applications/geosoftware/geosuite.html>

Zudem werden auch verschiedene Transformations- und Rechendienste online angeboten:

<https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/calculation-services.html>