



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

armasuisse

Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'

**Bericht 21
2009**

Bruno Vogel
Michael Burkard
Matthias Kistler
Urs Marti
Jérôme Ray
Markus Scherrer
Andreas Schlatter
Adrian Wiget

**Teil 13:
Einführung des Bezugsrahmens 'LV95'
in die Nationale Geodateninfrastruktur**

Ausgabe 2009

© 2009 **swisstopo**
Bundesamt für Landestopografie
Office fédéral de topographie
Ufficio federale di topografia
Uffizi federal da topografia
Federal Office of Topography
Seftigenstrasse 264
3084 Wabern

Redaktion: A. Wiget
Seftigenstrasse 264
CH-3084 Wabern
Tel: +41 31 963 24 69
Fax: +41 31 963 24 59
E-mail: adrian.wiget@swisstopo.ch
Auflage: 450 Exemplare

ISBN 978-3-302-10003-6

swisstopo Doku ist die Nachfolgeserie der “Reihe Berichte aus der L+T” in welcher über die wichtigen Arbeiten aus den Bereichen von swisstopo berichtet wird.

swisstopo Doku est la suite de la série “Berichte aus der L+T”, qui décrivent les projets et activités les plus importants de swisstopo.

swisstopo Doku is the follow-up of the series “Berichte aus der L+T” in which important projects and activities of swisstopo are described.

Inhaltsverzeichnis:

Vorwort	1
Zusammenfassung	3
1 Einleitung	7
2 Ausgangslage	8
2.1 Konzept LV95	8
2.2 Diagnoseausgleichung Triangulation 1. / 2. Ordnung	9
2.3 Grundsätze beim Bezugsrahmenwechsel für die amtliche Vermessung	10
2.4 Landesvermessungswerk 1995	11
3 Grundlagen	12
3.1 Technische Grundlagen	12
3.2 Rechtliche Grundlagen	14
4 Strategie von swisstopo	16
4.1 Strategie im Rahmen der NGDI	16
4.2 Strategie der amtlichen Vermessung	16
5 Vorbereitung des Bezugsrahmenwechsels LV03 → LV95	18
5.1 Organisation	18
5.2 Werkzeuge	24
5.3 Testgebiete	26
5.4 Besonderheiten in der Dreiecksvermaschung	29
6 Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95	33
6.1 Realisierungsvarianten in Abhängigkeit von den Genauigkeitsanforderungen	33
6.2 Dreiecksvermaschung für FINELTRA auf Stufe Landesvermessung	34
6.3 Dreiecksvermaschung für FINELTRA auf Stufe amtliche Vermessung	35
6.4 Nationale Dreiecksvermaschung CHENyx06	49
6.5 Positionierungsdienst swipos®	52
6.6 Gitterbasierte Interpolationsverfahren / Näherungslösungen	53
7 Transformation von Rasterdaten	56
7.1 Genereller Offset	56
7.2 Ähnlichkeitstransformation	56
7.3 Rückinterpolation	57
7.4 Transformation über Passpunkte, NTv2	57
7.5 Transformation eines Raster-Mosaiks	57
8 Behandlung der Höhen	59
8.1 Zusammenhang zwischen den Höhen LHN95 und LN02	59
8.2 Ausgangslage	60
8.3 Die Modellierung des Überganges LHN95 ↔ LN02	61
8.4 Die Transformationssoftware HTRANS als Bestandteil von REFRAME	64
8.5 Genauigkeitsuntersuchungen mit bestehenden Daten	65
8.6 Konsequenzen für die AV, Ausblick und Schlussbemerkungen	66
9 Transformationssoftware REFRAME	67
9.1 Client-Lösung und Geodienst	67
9.2 Programmbibliothek	69
10 Internet-Portal zum Bezugsrahmenwechsel	70

11	Bedeutung der Transformationsgrundlage LV03 ⇔ LV95 im Kontext einer modernen Landesvermessung / Nationalen Geodateninfrastruktur	72
12	Nutzen des Bezugsrahmenwechsels	74
13	Schlussbetrachtungen	77
14	Ausblick	79
	Literaturverzeichnis	81
	Abkürzungsverzeichnis	85

Vorwort

Die Landesvermessung stellt die Georeferenzdaten des Bundes als geometrische Grundlage sämtlicher Geobasisdaten der Nationalen Geodateninfrastruktur (NGDI) bereit. Ihre Aufgabe umfasst insbesondere die Definition der geodätischen Bezugssysteme und das Erstellen, Nachführen und Verwalten der Bezugsrahmen. Dabei hat sie einen starken Bezug zur amtlichen Vermessung, welche darauf aufbauend u.a. die Verfügbarkeit der eigentümergebundenen Georeferenzdaten sicherstellt.

1988 hat die damalige Abteilung Geodäsie des Bundesamtes für Landestopografie das Projekt „GPS-Landesnetz“ gestartet, welches 1990 in „Landesvermessung 1995 (LV95)“ umbenannt worden ist. Ausgelöst wurde der Aufbau einer neuen Landesvermessung durch die satellitengestützten Messmethoden, insbesondere natürlich GPS, dank welchen landesweit Koordinaten im Subzentimeter-Bereich bestimmt werden konnten. Damit konnten die bestehenden Triangulationsnetze überprüft, verbessert und teilweise auch ersetzt werden. Die neuen Methoden haben somit ihrerseits direkt zur Schaffung neuer geodätischer Grundlagen beigetragen. Dass zwischen den GPS-Messpunkten keine Sichtverbindung mehr notwendig war, brachte nebst der stark erhöhten Genauigkeit einen weiteren Vorteil. Die Fixpunkte mussten nicht mehr auf den Bergen gesetzt werden, sondern konnten in der Nähe der Agglomerationen gewählt werden, wo die erhöhten Genauigkeiten unmittelbar zum Tragen kamen. Dies hatte zur Folge, dass mit dem „GPS-Landesnetz“ als wichtigster Komponente des „Landesvermessungswerkes LV95“ in relativ kurzer Zeit eine komplett neue, in Kombination mit dem Landesnivellement und dem neu gerechneten Geoid sogar dreidimensionale Grundlage für die Landesvermessung geschaffen werden konnte.

Die Verbesserung der geodätischen Grundlagen wurde anlässlich der Konzeptarbeit Ende der 1980er Jahre aber nicht als Selbstzweck gesehen, sondern von Anfang an im Zusammenhang mit den darauf aufbauenden Anwendungen und den Nutzern betrachtet. Man war sich in der Projektleitung bewusst, dass die Verbesserung des Fundamentes der Vermessung zwar grundsätzlich wünschenswert, ja letztlich notwendig sein werde, dass dies aber zumindest während einer Übergangsphase auch grosse Auswirkungen und Anpassungsarbeiten zur Folge haben werde. Im Wissen um die Bedeutung der amtlichen Vermessung (AV) als Hauptträger der Detailvermessung in der Schweiz wurde die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D), damals noch beim Bundesamt für Raumplanung angesiedelt, bereits früh informiert und situationsgerecht in die Umsetzung einbezogen. 1993 wurde von der V+D die Arbeitsgruppe „AV/LV95“ initiiert und 1996, nach dem Grundsatzentscheid für eine Umstellung auf LV95, die gemeinsame Arbeitsgruppe „RD/LV95“ geschaffen. Im Jahr 2000, als die V+D bereits in das Bundesamt für Landestopografie swisstopo integriert war, bildete die Geschäftsleitung swisstopo das Kompetenzzentrum „CC RD/LV95“ unter Beizug der Kantone, der Geometer und der Software-Hersteller.

Anfänglich gab es zwar noch Unsicherheiten betreffend die Zuständigkeiten: „Was darf der Bund in eigener Kompetenz?“ Letztlich haben aber das neu geschaffene Bundesgesetz über Geoinformation (GeoIG) und die zugehörigen Verordnungen über Geoinformation (GeoIV) resp. über die Landesvermessung (LVV) Klarheit sowohl bezüglich der Zuständigkeiten als auch bezüglich der zeitlichen Umsetzung gebracht.

Im Vordergrund der Diskussionen standen die technischen Fragen des Aufbaus der neuen Landesvermessung sowie der Umstellung auf LV95. Einig war man sich weitgehend, dass diese Umstellung bedarfsgerecht sowie technisch und volkswirtschaftlich sinnvoll und tragbar realisiert werden muss. Deshalb wurde beschlossen, den Bezugsrahmenwechsel nur für die Lage, nicht aber für die Höhe zu vollziehen. Dass dieser im Übrigen als „Rahmenwechsel“ und nicht als „Systemwechsel“ bezeichnet wird, deutet darauf hin, dass im Wesentlichen nur der Bezugsrahmen von LV03 auf LV95 umgestellt wird. Die Bezugssysteme CH1903 und CH1903+ sind praktisch identisch. Mit der neuen Bezeichnung „CH1903+“ wird lediglich auf eine neue Festlegung des Fundamentalpunktes (realer Punkt in Zimmerwald an Stelle des heute nur noch

ideellen Punktes bei der alten Sternwarte in Bern) hingewiesen. Diese Systemänderung wurde denn auch so gewählt, dass sie für alle Anwendungen in der AV nicht bemerkbar ist.

Der vorliegende Teil 13 der Bericht-Serie zum Aufbau der neuen Landesvermessung LV95 ist der Einführung des neuen Bezugsrahmens LV95 in der Praxis, in der NGDI im Allgemeinen und in der AV im Besonderen gewidmet. Nach der Schilderung der (geschichtlichen) Hintergründe, der Rahmenbedingungen und der Motive werden insbesondere die von swisstopo bereitgestellten Werkzeuge, Hilfs- und Publikationsmittel beschrieben.

Ich danke allen Personen, welche direkt oder im Hintergrund zu den Grundlagen und dem guten Gelingen des Bezugsrahmenwechsels beigetragen haben oder dies noch tun werden. Herrn Bruno Vogel danke ich für die Leitung und Koordination der Abfassung dieses Berichtes und allen Mitautoren für Ihre Beiträge in Form von Texten, für das Entwickeln von Methoden oder das Erstellen von Werkzeugen. Besonders erwähnen und danken möchte ich den Mitgliedern des „CC RD LV95“ und dessen Geschäftsstelle (GS) wie auch jenen der vorangegangenen Arbeitsgruppen, den beteiligten Mitarbeitenden der Vermessungsdirektion und den Vertretern der Kantone, welche beim Aufbau der nationalen Dreiecksvermaschung und des Datensatzes CHENyx06 einen massgeblichen Teil der Konzept- und Messarbeit geleistet und damit einen äusserst wichtigen Teil der Transformationsgrundlagen geliefert haben. Bei Prof. Dr. A. Carosio und seinen Mitarbeitern vom IGP der ETH Zürich danke ich für die Bereitstellung der theoretischen und softwaretechnischen Grundlagen für die Transformation mit FINELTRA. Mein Dank geht natürlich auch an die Mitarbeitenden des Prozesses „Geodätische Fixpunkte“ (GF) für die Grundlagenarbeit und Koordination beim Aufbau der Dreiecksvermaschung und an das Team des Prozesses „Geodätische Entwicklungen und Aufträge“ (GE) für die umfangreichen Modell- und Softwareentwicklungen bis hin zur Realisierung der Geodienste im Internet, wo wiederum Kolleginnen und Kollegen der Informatik, des GIS-Zentrums und des Webdienstes von swisstopo beteiligt waren.

Wabern, im September 2009

Adrian A. Wiget
Leiter Bereich Geodäsie

Zusammenfassung

Die Möglichkeit, mittels Satellitenvermessung im geodätischen Bezugsrahmen LV95 über die ganze Schweiz Positionen mit hoher Genauigkeit im Zentimeterbereich bestimmen zu können, ohne in unmittelbarer Nähe auf Anschlusspunkte angewiesen zu sein, erleichtert das Vermessungswesen in hohem Masse und bringt entsprechende wirtschaftliche Vorteile. Doch dies kann nicht losgelöst von den bestehenden und zu einem grossen Teil rechtsverbindlichen Vermessungsgrundlagen erfolgen. In verschiedenen Arbeitsgruppen (siehe Kap. 5.1) wurden für den dafür unumgänglichen Bezugsrahmenwechsel die Ziele, die Grundsätze, die Umsetzungsstrategie, die technischen Werkzeuge, die Finanzierung, die Organisation etc. formuliert und erarbeitet.

Dieses swisstopo Doku Nr. 21 widmet sich der Thematik des Bezugsrahmenwechsels, der Einführung des neuen Bezugsrahmens LV95 in der Praxis und dokumentiert die wichtigsten Ergebnisse. Nach der Schilderung der (geschichtlichen) Hintergründe, der Rahmenbedingungen und der Motive werden insbesondere die von swisstopo bereitgestellten Werkzeuge und Datensätze sowie deren Publikationsmittel vorgestellt, die in der nationalen Geodateninfrastruktur (NGDI), in der amtlichen Vermessung (AV) und im Vermessungswesen überhaupt zum Tragen kommen.

Das „Herzstück“ für die Transformation der Daten von LV03 in LV95 ist die Software FINELTRA mit dem zugehörigen Datensatz CHENyx06. Dieses von der ETHZ entwickelte Tool mit der durch die Kantone und swisstopo erarbeiteten Dreiecksvermaschung ermöglicht eine Transformationsgenauigkeit von wenigen Zentimetern über die ganze Schweiz, exklusiv weniger Problemzonen, die eine besondere Bearbeitung erfordern. Für Daten mit geringeren Genauigkeitsanforderungen werden entsprechend vereinfachte Transformationen eingesetzt. Eine besondere Aufmerksamkeit erhält dabei auch die Transformation von Rasterdaten, wofür ebenfalls spezielle Tools erarbeitet werden konnten. Im Softwarepaket REFRAME von swisstopo werden alle relevanten Anwendungen für den Bezugsrahmenwechsel unter einer übersichtlichen Benutzeroberfläche vereint. REFRAME steht den Benutzern auch als Web-Applikation online über das Webportal von swisstopo zur Verfügung.

Die offiziellen Höhen der AV bleiben laut Beschluss der Geschäftsleitung von swisstopo vom Juni 2002 weiterhin im Bezugsrahmen LN02 als so genannte Gebrauchshöhen bestehen und bilden damit auch die Referenzhöhen für die meisten Anwendungen in der Schweiz. Sie tangieren deshalb den Bezugsrahmenwechsel auf LV95 resp. auf den neuen Höhenbezugsrahmen des Landeshöhennetzes LHN95 nicht direkt. Für die genaue Höhenbestimmung mit GNSS ist dennoch das LHN95 zusammen mit der Berücksichtigung des Geoids CHGeo2004 nicht wegzudenken. Für den korrekten Höhenübergang zwischen LN02 und LHN95 wurde die Transformationssoftware HTRANS entwickelt, welche ebenfalls unter der Benutzerschale REFRAME angeboten wird.

Mit der Inkrafttretung des neuen Geoinformationsgesetzes GeolG auf den 1. Juli 2008 und mit den dazu gehörenden Verordnungen sind auch die gesetzlichen Grundlagen gegeben. Darin wird verbindlich festgelegt, dass die Umstellung auf LV95 für die Referenzdaten (inkl. Daten der AV) bis 2016 und für die übrigen Geobasisdaten des Bundesrechts bis 2020 zu erfolgen hat.

Résumé

La possibilité de se positionner dans le cadre de référence MN95 à l'aide des satellites, avec une haute précision (au cm près) sur l'ensemble de la Suisse, sans devoir se rattacher à des points fixes voisins, facilite considérablement les travaux de mensuration et apporte certains avantages économiques. Cela ne peut se faire sans tenir compte des mensurations existantes dont la plus grande partie ont une valeur légale. Plusieurs groupes de travail (voir chap. 5.1) ont élaboré les bases, la stratégie de changement, les buts, les outils techniques, le financement et l'organisation nécessaires à un inévitable changement de cadre de référence.

Ce Docu n° 21 est entièrement consacré au thème du changement de cadre de référence, à l'introduction pratique du nouveau cadre de référence MN95, et décrit les résultats importants. Un exposé des motifs (historiques), des conditions cadre et des motivations sera suivi de la présentation des outils mis à disposition spécialement par swisstopo, avec les moyens de publication touchés par l'infrastructure nationale des géodonnées (INGD), la mensuration officielle (MO) et les mensurations en général.

La pièce maîtresse de la transformation des données de MN03 vers MN95 est le logiciel FINELTRA avec le jeu de données CHENyx06. Cet outil a été développé par l'ETHZ avec les maillages de triangles élaborés par les cantons et swisstopo. Il permet une précision de transformation centimétrique pour toute la Suisse, hormis quelques zones à problème devant encore être soumises à un traitement spécial. Des transformations simplifiées sont appliquées pour des données de moindre précision. La transformation des données raster a fait l'objet d'une attention particulière en développant quelques outils de transformation spécifiques. Le logiciel REFRAME de swisstopo réunit toutes les applications pour le changement de cadre de référence dans une interface conviviale. REFRAME est aussi disponible comme application en ligne sur le site Internet de swisstopo.

La direction de swisstopo a décidé en juin 2002 de laisser les altitudes officielles de la MO dans le référentiel NF02, les altitudes usuelles restent donc la référence de pratiquement tous les besoins en Suisse. Elles ne sont pas touchées directement par le changement de cadre de référence MN95 ni par le nouveau cadre de référence altimétrique RAN95. On ne pourra toutefois pas ignorer RAN95 (avec le géoïde CHGeo2004) pour les déterminations altimétriques précises à l'aide de GNSS. Pour en tenir compte, le programme de transformation HTRANS est également à disposition sous REFRAME.

Les bases juridiques sont données par l'introduction de la nouvelle loi sur la géoinformation le 1er juillet 2008, ainsi que les ordonnances qui accompagnent la loi. Ces lois et ordonnances précisent formellement que le passage à MN95 des données de la MO doit être achevé en 2016, en 2020 pour les autres géodonnées de base relevant du droit fédéral.

Sommario

La possibilità di posizionarsi nel quadro di riferimento geodetico MN95, tramite l'aiuto dei satelliti, con un alto grado di precisione (pressoché al cm) sull'insieme della Svizzera senza doversi congiungere a dei punti fissi vicini, facilita in modo considerevole i lavori di misurazione e apporta alcuni vantaggi economici. Tuttavia ciò non può avvenire senza tenere conto delle misurazioni di base aventi in parte anche un valore giuridico. Diversi gruppi di lavoro (v. Cap. 5.1) hanno formulato ed elaborato le basi, la strategia d'attuazione, gli strumenti tecnici, il finanziamento, l'organizzazione, ecc. necessari per l'attuazione di un cambiamento del quadro di riferimento.

La presente pubblicazione Doku Nr. 21 è consacrata alla tematica del cambiamento del quadro di riferimento, così come all'introduzione del nuovo quadro di riferimento MN95 nella pratica e documenta i risultati più importanti. L'illustrazione di alcuni aspetti (storici), delle condizioni quadro e delle motivazioni, sono seguiti dalla presentazione degli strumenti e dei set di dati messi a disposizione da swisstopo, così come da una panoramica sui mezzi di pubblicazione offerti dall'infrastruttura nazionale dei geodati (INGD), dalla misurazione ufficiale (MU) e dalla misurazione in generale.

Il pezzo forte della trasformazione dei dati da MN03 a MN95 è il software FINELTRA con il set di dati "CHENyx06". Questo strumento, sviluppato dall'ETHZ con la magliatura triangolare elaborata dai Cantoni e da swisstopo, permette una precisione di trasformazione del grado di alcuni cm in tutta la Svizzera, ad eccezione di alcune zone problematiche che necessitano un'elaborazione specifica. Per i dati che richiedono un grado di precisione inferiore vengono applicate delle trasformazioni semplificate. Un'attenzione particolare è anche data alla trasformazione dei dati raster, per i quali sono a loro volta stati elaborati degli strumenti specifici. Nel pacchetto software REFRAME di swisstopo, sono state raggruppate su un'interfaccia di facile uso, tutte le applicazioni importanti per il cambio del quadro di riferimento. REFRAME è anche utilizzabile quale applicazione WEB sul portale Internet di swisstopo.

La direzione di swisstopo ha deciso nel giugno 2002 di lasciare le altezze ufficiali della MU nel quadro di riferimento LF02, le cosiddette altezze usuali restano quindi le altezze di riferimento per le maggiori applicazioni in Svizzera. Esse non sono toccate direttamente dal cambio del quadro di riferimento MN95 e nemmeno dal nuovo quadro di riferimento altimetrico RAN95. In alcuni casi non sarà però possibile ignorare RAN95 (con il geoide CHGeo2004) per le determinazioni altimetriche precise con l'aiuto di GNSS. Per una corretta trasformazione altimetrica tra LF02 e RAN95 è stato creato il software HTRANS, il quale è a sua volta disponibile nel pacchetto REFRAME.

Le basi giuridiche sono state date dall'entrata in vigore il 1^o luglio 2008 della nuova legge sulla geoinformazione e dalle relative ordinanze. Questa legge e le ordinanze precisano formalmente che il passaggio a MN95 dei dati di riferimento della MU dovrà essere conclusa entro il 2016, mentre per tutti gli altri geodati di base di diritto federale entro il 2020.

Abstract

Being able to use satellite-based surveying to determine the position of any point in Switzerland to the centimeter in the geodetic reference frame LV95 instead of having to depend on neighboring connecting points results in substantial economic benefits and makes surveying much easier and faster. This process, however, cannot be detached from the existing and – to a large part – still legally binding surveying documents and principles. The aims, basic theories, transformation strategy, technical tools, financial aspects, organization, etc. for this inevitable transition to the new reference frame were formulated and developed in various working groups (see Chap. 5.1).

Volume 21 of the swisstopo series *Doku* is dedicated to the introduction of the reference frame LV95 in practice and documents the most important results. Following a summary of the historical background, the general requirements and the motives, this publication will describe in particular the tools and data sets by swisstopo which will influence the national spatial data infrastructure (NSDI), the cadastral survey (AV) and surveying in general, and how these will be published, distributed and made available to consumers and the general public.

The software program FINELTRA and its corresponding data set CHENyx06 are the core of the data transformation from LV03 to LV95. This tool, developed by the Federal Institute of Technology in Zurich, uses the triangular transformation network set up by the Cantons and swisstopo to transform coordinates across all of Switzerland at an accuracy of a few centimeters. A few exceptional areas requiring individual consideration are unavoidable. Simplified transformations are applied to data with reduced accuracy demands. The transformation of raster data demands particular attention and requires special tools. The software package REFRAME, developed by swisstopo, combines all of the relevant applications for the transition of the reference frame in a clearly designed user interface. REFRAME is also available as an online web application on the swisstopo web portal.

In compliance with a decision by the swisstopo corporate management in June 2002, the official heights in cadastral surveying being the reference heights for most applications in Switzerland will remain in the old vertical reference frame LN02. They do not have a direct effect on the transition to the new reference frame LV95 or the new vertical reference frame LHN95. For accurate height determinations with GNSS, however, the LHN95 in combination with the geoid CHGeo2004 cannot be ignored. For the correct transition between LN02 and LHN95, swisstopo developed the program HTRANS which is also available as part of the REFRAME package.

The legal foundations are stated in the new Geoinformation Act (GeolG) and the respective ordinances which came into effect on July 1, 2008. Therein it is required that the transition to the reference frame LV95 shall be completed by 2016 for reference data (including cadastral surveying data) and by 2020 for the remaining official geodata under federal legislation.

1 Einleitung

Die Landesvermessung darf nie aus geodätischer Sicht alleine im Vordergrund stehen. Sie liefert im Rahmen der nationalen Geodateninfrastruktur NGDI die so genannten Georeferenzdaten, welche als Grundlage für sämtliche Geobasisdaten und Geodaten im weitesten Sinne dienen. Damit hat sie auch einen starken Bezug zu der amtlichen Vermessung. Schliesslich geht es doch bei allen Anwendungen mit Geodaten darum, dass die Informationen allgemein verständlich auf einer möglichst einheitlichen Basis aufgebaut werden und die Daten mit Raumbezug geografisch (global und lokal) richtig zugeordnet werden können. Mit der neuen Landesvermessung LV95 wurde bezweckt, eine zeitgerechte, den modernen Messmethoden angepasste Grundlage zu bilden, welche die heute noch offizielle, über hundertjährige Landesvermessung von 1903 (LV03) ablösen soll. Nähere Angaben zu diesem umfangreichen und vor allem Geodäsie spezifischen Projekt sind den vorliegenden und noch geplanten Teilen der swisstopo Doku Serie unter dem Titel „Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz ‚LV95‘ “ zu entnehmen (siehe Übersichtstabelle auf der letzten Seite dieser Ausgabe).

Der vorliegende Teil 13 ist gänzlich der Thematik des Wechsels des bestehenden Bezugsrahmens LV03 zum neuen Bezugsrahmen LV95 für die NGDI, insbesondere die amtliche Vermessung und der davon abgeleiteten Produkte gewidmet. Man war sich von Anfang an bewusst, dass die Einführung eines neuen Referenzsystems resp. -rahmens auch eine grosse Auswirkung haben wird auf die Nutzung und Verwaltung sämtlicher Geodaten, die bislang noch alle auf den ursprünglichen Grundlagen der LV03 basieren. In enger Zusammenarbeit mit den Verantwortlichen der amtlichen Vermessung sowie mit Vertretern der Hochschulen und Fachverbände wurde diese neue Ausgangslage analysiert. Es wurden Lösungsvorschläge erarbeitet und versucht abzuschätzen, welche Konsequenzen der Bezugsrahmenwechsel für die Daten der amtlichen Vermessung haben wird. Die während der letzten 15 Jahre in verschiedenen Arbeitsgruppen erarbeiteten Konzepte, Werkzeuge und Resultate sollen in diesem Bericht zusammenfassend dargestellt werden.

2 Ausgangslage

Mit dem Beschluss des Bundesamtes für Landestopografie im Jahre 1988 das Projekt LV95 zu starten, ergab sich auch für die amtliche Vermessung eine grundlegende neue Ausgangslage. Vor allem die in den 60-er Jahren des 20. Jahrhunderts aufgekommenen elektronischen Distanzmessungen brachten eine markante Qualitätssteigerung in der Messtechnik. Dank dieser Mittel und des Einsatzes von modernen Berechnungsverfahren wurden immer mehr Zwänge in den bestehenden Triangulationsnetzen entdeckt, die an einigen Stellen mehrere Dezimeter auf Entfernungen von wenigen Kilometern erreichten und zu teilweise umfangreichen und teuren Erneuerungsarbeiten zwangen. Mit der nochmaligen Genauigkeits- und Effizienzsteigerung bei den Satelliten gestützten Vermessungsmethoden ab den 80-er Jahren stellte sich die Frage, in wie weit solche präzisen Messmethoden noch in die überalterten Vermessungsgrundlagen (Triangulations- und Polygonnetze) eingezwängt und systematisch verfälscht werden sollen. Das Potential der damaligen GPS-Methode wurde durch swisstopo genutzt, um die bekannten Mängel in der über hundert jährigen Landesvermessung noch genauer zu lokalisieren und parallel dazu eine neue zwangsfreie Vermessungsgrundlage über die ganze Schweiz aufzubauen. Die Eidgenössische Vermessungsdirektion (V+D) wurde von Anfang an laufend über die Pläne informiert. Man schien sich aber in den Kreisen der amtlichen Vermessung noch wenig für diese neuen Entwicklungen zu interessieren, da damals die Bedeutung von GPS für die allgemeine Vermessungspraxis noch nicht offensichtlich war. Dies sollte sich aber schon bald grundlegend ändern.

2.1 Konzept LV95

Die Vorgeschichte, das Konzept von LV95, die Projektorganisation und Planung sind im 1. Teil der Bericht-Serie zum Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95' [Schneider et al. 1995a] detailliert beschrieben. Deshalb wird hier nur eine grobe Zusammenfassung wiedergegeben.

Eine Arbeitsgruppe bestehend aus dem Kader der Abteilung Geodäsie und unter der Leitung von Adrian Wiget wurde mit der Realisierung dieses herausfordernden Projektes beauftragt. Die Arbeitsgruppe bildete fünf Ausschüsse, nämlich „Referenzsysteme“, „Verdichtung“, „Höhensysteme“, „GPS-Methoden“ und „Koordination“. Nachdem die Ergebnisse der ersten Versuche und Testmessungen mit GPS das grosse Potential der neuen Messmethode deutlich gemacht hatten, wurde das Konzept für eine neue Landesvermessung 1995 ‚LV95‘ mit einem GPS-Landesnetz als Hauptstütze und einer optimalen Verbindung zu den globalen, internationalen Bezugssystemen erarbeitet. Die Projektplanung sah ein etappenweises Vorgehen und die Fertigstellung des neuen GPS-Landesnetzes im Laufe des Jahres 1995 vor. In einer nachfolgenden Phase sollte schliesslich auch ein neues Höhengrundlagennetz realisiert werden. Dank diesem gestapelten Vorgehen schien es möglich, das grosse Vorhaben mit dem vorhandenen Personal und den begrenzten finanziellen Mitteln innert nützlicher Frist realisieren zu können. Die Zielsetzungen und Anforderungen an eine zeitgemässe Landesvermessung wurden wie folgt formuliert:

- Bezug der lokalen (nationalen) zu den globalen (internationalen) geodätischen Referenzsystemen durch Anschlussmessungen der Landesnetze an die globalen Bezugsrahmen
- Ausbau der bestehenden Satellitenstation Zimmerwald des Astronomischen Institutes der Universität Bern (AIUB) zur geodätischen Fundamentalstation der Schweiz
- Erfassung der Bewegungen der obersten Erdkruste in Raum und Zeit durch die wiederholte 3D-Vermessung geeigneter, geodätischer Punktfelder mit höchster Präzision
- Bestimmung der 3D-Koordinaten des GPS-Landesnetzes mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit sowie der Kovarianz des Koordinatensatzes und eines zugehörigen Geschwindigkeitsfeldes

- Bestimmung von astrogeodätischen (Lotabweichungen) und gravimetrischen (Schweremessungen) Daten auf den Punkten des GPS-Landesnetzes, ausgewählten Punkten des Landesnivellements und Punkten von besonderer Bedeutung
- Potentialtheoretisch strenges Höhenetz (orthometrisches und/oder Normalhöhen-system) in Raum und Zeit, realisiert durch wiederholte Nivellements- und Schweremessungen, strenge Reduktion und Einbezug von kinematischen Betrachtungen
- Genaues Geoidmodell, welches die Verknüpfung des 3D-Netzes (GPS) mit dem Landeshöhenetz (Nivellement) erlaubt
- Verbindung zwischen dem neuen GPS-Landesnetz und den Netzen der bestehenden Landesvermessung (Triangulation in LV03 und Landesnivellement in LN02) zur Analyse und Entzerrung der Klaffungen in den alten Netzanlagen
- Optimale Anschlussmöglichkeiten des Landesnetzes für Verdichtungsnetze der amtlichen Vermessung und für Grundlagentnetze grosser Ingenieurprojekte

Die beiden letztgenannten Zielsetzungen betreffen vor allem die Thematik dieses Berichtes. Damit der neue Bezugsrahmen LV95 bei allen Vermessungen in der Schweiz und insbesondere in der amtlichen Vermessung verwendet werden kann, muss eine einfache Möglichkeit zur Umwandlung der Koordinaten vom Bezugsrahmen LV03 in den Bezugsrahmen LV95 (und vorläufig auch umgekehrt) angeboten werden können. Dazu sollte in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich (IGP) eine Transformationsmethode und die entsprechende Software bereitgestellt werden.

Der Ausbau und die Weiterentwicklung der GPS-Technologie mit dem Aufkommen noch besserer GPS-Auswertemethoden und Telekommunikationsmittel während des Projektablaufes von LV95 hatten zur Folge, dass neben den klassischen, hierarchisch abgestuften Grundlagentnetzen auch andere Wege der Bereitstellung von geodätischen Bezugsrahmen machbar wurden. Mit den permanent betriebenen, unter sich vernetzten GPS-Stationen, deren Daten offline (klassische postprocessing GPS-Auswertung) oder online (Real-time Kinematic, RTK) angeboten werden, können dem Benutzer unterdessen geodätische Grundlagen in ebenbürtiger Form zur Verfügung gestellt werden. Auch in der Schweiz wurde deshalb die Bedeutung dieser permanent betriebenen GPS-Netze erkannt und mit dem „automatischen GPS Netz der Schweiz“, dem so genannten AGNES eine entsprechende Basis geschaffen [Wild et al. 2006]. Der mit AGNES direkt in Verbindung stehende Positionierungsdienst der Schweiz unter der Bezeichnung „swipos[®]“ gehört daher genau so in die Palette der neuen Landesvermessung LV95.

2.2 Diagnoseausgleichung Triangulation 1. / 2. Ordnung

Mit der Diagnoseausgleichung der Triangulation 1./2. Ordnung wurden grundsätzlich zwei Ziele verfolgt, nämlich

- die **Analyse der Verzerrungen in der Landestriangulation** durch eine freie Gesamtausgleichung der aus den ursprünglichen Mess- und Berechnungsbüchern neu erfassten Messungen. Diese Arbeit bezweckte einerseits die Bereinigung der zum Teil schon früher bekannten Unstimmigkeiten und andererseits die Elimination von Mess- und Identifikationsfehlern in den Originalberechnungen. Diese Arbeiten wurden als **DIA93** bezeichnet und im Teil 4 der LV95-Serie zusammenfassend dokumentiert [Chablais et al. 1995].
- die **Bereitstellung der Koordinaten** sämtlicher Triangulationspunkte 1./2. Ordnung der Schweiz auch **im Bezugsrahmen LV95**. Dafür mussten direkte Beziehungen zwischen den bestehenden Punkten in LV03 und den neuen GPS-Punkten in LV95 gemessen werden. Insgesamt wurden so 125 von den 240 Triangulationspunkten 1./2. Ordnung ans GPS-Landesnetz angeschlossen. Diese Anschlussmessungen erfolgten zum Teil mit GPS, zum Teil GPS/trigonometrisch gemischt und zum Teil rein klassisch mit der trigonometrischen

Methode. Dank des Einbezugs der GPS-Messungen, welche den Anschluss an das GPS-Landesnetz LV95 herstellen, ist das als **DIA95** bezeichnete Netz wesentlich robuster als das Netz DIA93. Dies ermöglichte nochmals eine verfeinerte Analyse der alten klassischen Messungen, und durch die Kombination von klassischen mit GPS-Messungen eine unabhängige Kontrolle auch im Hinblick auf allfällige Systematiken. Mit der DIA95 liegt daher ein verbesserter Datensatz für die Beurteilung der Verzerrungen in LV03 vor. Dieser Datensatz liefert daher eine vorläufig recht gute Grundlage für die Festlegung des Transformationsverfahrens zwischen LV03 und LV95, zumindest auf der Stufe der Landesvermessung. Nähere Angaben dazu sind im Teil 8 der LV95-Serie zu finden [Signer et al. 2001].

2.3 Grundsätze beim Bezugsrahmenwechsel für die amtliche Vermessung

Mit den neuen Bezugsrahmen LV95 für die Lagekoordinaten und LHN95 für die Höhen stehen jetzt Vermessungsgrundlagen zur Verfügung, die über die ganze Schweiz Positionsbestimmungen mit hoher Genauigkeit im Zentimeterbereich erlauben, ohne dass in unmittelbarer Nähe Anschlusspunkte zur Verfügung stehen müssen. Dies unterstreicht die ohnehin schon bekannten wirtschaftlichen Vorteile der Satellitenvermessungsmethoden. In verschiedenen Arbeitsgruppen (siehe Kapitel 5.1) wurden fortlaufend die Grundsätze, die Umsetzungsstrategie, die Ziele, die Finanzierung, die Organisation etc. formuliert und dem neusten Stand wieder angepasst. Die wesentlichen und grundlegenden Merkmale sind hier kurz zusammengefasst:

Grundsätze
Es besteht grundsätzlich nur ein offizieller Bezugsrahmen für die amtliche Vermessung. In einer Übergangsphase müssen die Daten aber in beiden Bezugsrahmen LV03 und LV95 für die Kunden bereitgestellt werden können.
Der Höhenbezugsrahmen LN02 soll beibehalten werden.
Die Koordinaten im LV95-Rahmen sind starr und dürfen nur in eindeutigen Fällen verändert werden. Kinematische Aspekte werden nicht berücksichtigt.
Die Koordinaten der beiden Bezugsrahmen müssen sich klar und eindeutig unterscheiden (d.h. für den Koordinatenursprung in LV95: E = 2'600'000 m und N = 1'200'000 m resp. in LV03: y = 600'000 m und x = 200'000 m).
Die amtliche Vermessung soll mittelfristig auf den neuen Bezugsrahmen LV95 umgestellt werden.
Der Zeitplan gliedert sich in eine Vorbereitungsphase und in eine Umsetzungsphase.
Das Ziel der Vorbereitung ist die Herstellung einer stabilen Beziehung zwischen LV03 und LV95. Als Transformationsmethode wird die affine Transformation über finite Elemente als geeignet betrachtet. Diese wird mit der Software FINELTRA und der dazugehörigen Dreiecksvermaschung, dem offiziellen Transformationsdatensatz CHENyx06 realisiert.
Das Hauptnetz LV95 (ehemals GPS-Landesnetz) wird für die Bedürfnisse der amtlichen Vermessung und für grössere Projekte der Ingenieurvermessung verdichtet. Diese Haupt- und Verdichtungspunkte werden als LV95-Punkte bezeichnet und sind Punkte der Landesvermessung.

- Die weiteren Transformationsstützpunkte zur Verfeinerung der **Dreiecksvermaschung** für den FINELTRA Datensatz **CHENyx06** werden durch die Kantone selber definiert und an das LV95-Netz angeschlossen.
- Die **Koordination** unter den Kantonen und die Verwaltung des offiziellen Datensatzes der Dreiecksvermaschung erfolgt zentral über swisstopo.

Tab. 2-1: Grundsätze beim Bezugsrahmenwechsel für die amtliche Vermessung

2.4 Landesvermessungswerk 1995

Seit dem Beginn des Projektes LV95 sind bereits über 20 Jahre verstrichen. Inzwischen hat sich auch das Fachgebiet der Geodäsie und Landesvermessung sehr stark verändert. Die ursprüngliche Aufgabe bestand in der Erneuerung der theoretischen Grundlagen und in der Realisierung der zugehörigen Bezugsrahmen LV95, CHTRF95, CHTRFyy, LHN95, etc. Die Satelliten-Positionierung erfuhr inzwischen ganz neue Entwicklungen im Hinblick auf Echtzeitmessverfahren, was dann auch zur Bereitstellung eines permanent betriebenen GNSS-Netzes mit einem Angebot weiterer vielseitiger Dienstleistungen führte und den Betrieb eines nationalen Positionierungsdienstes zur Folge hatte. Aus dem ursprünglichen Projekt LV95 wurde eine kontinuierliche Weiterentwicklung, deren Produkte als Gesamtheit der geodätischen Arbeiten fortan unter dem neuen Begriff Landesvermessungswerk 1995, „LVW95“ behandelt werden sollen [Schneider 2006].

Zusammenfassend gibt folgende Grafik einen Überblick der bis heute darin integrierten Begriffe:

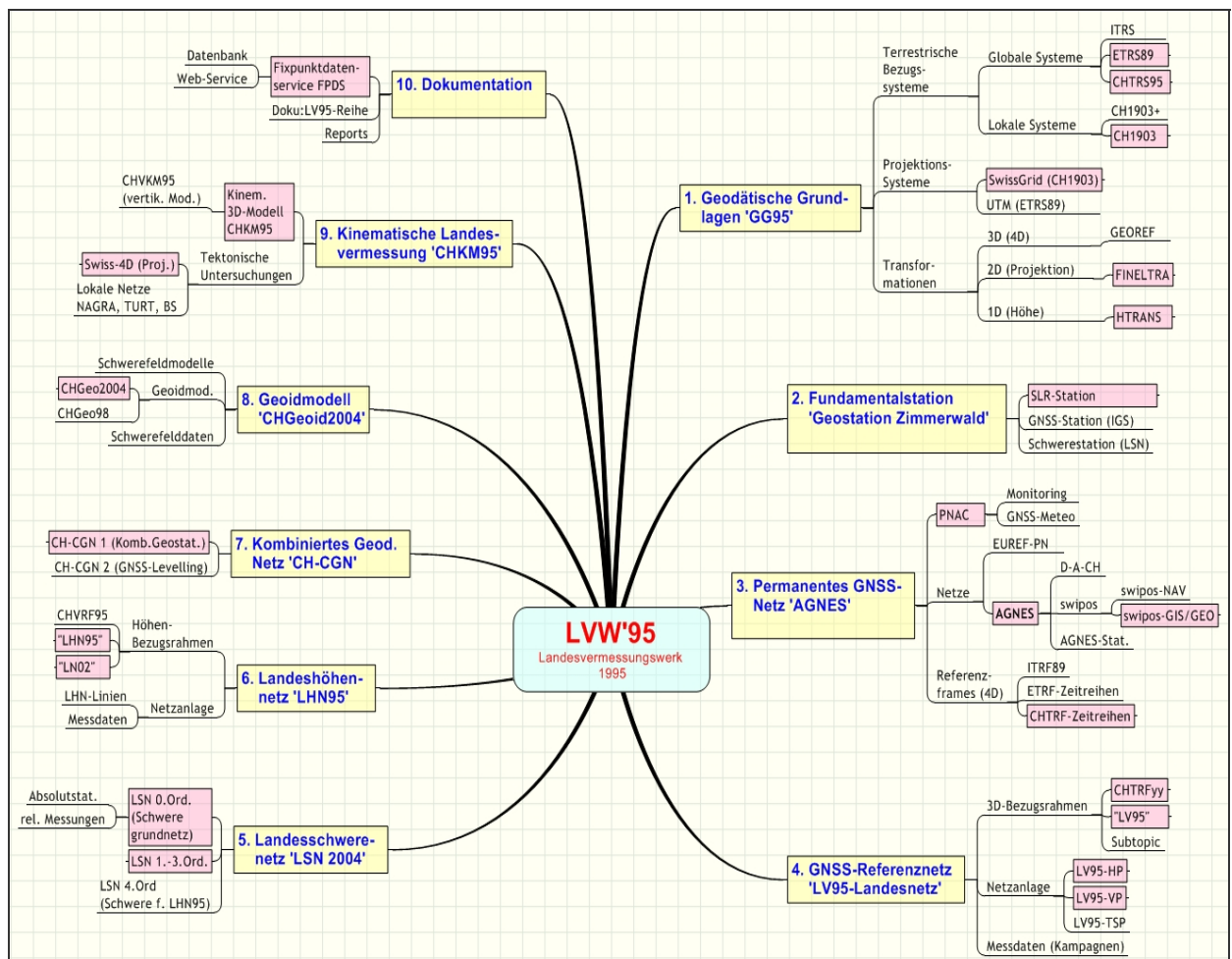


Abb. 2-1: Übersicht über das Landesvermessungswerk 1995

3 Grundlagen

3.1 Technische Grundlagen

Im Teil 3 der LV95-Serie [Schneider et al. 1995b] sind die terrestrischen Bezugssysteme und Bezugsrahmen und deren Zusammenhänge ausführlich beschrieben. Hier werden nur diejenigen Begriffe erklärt, welche im Zusammenhang mit dem Bezugsrahmenwechsel von Bedeutung sind.

3.1.1 Bezugssysteme

Der Begriff Bezugssystem (Reference System) bezeichnet die theoretische Definition eines Koordinatensystems im Raum.

Das **CHTRS95** (Swiss Terrestrial Reference System 1995) ist das neue, global gelagerte Bezugssystem der Schweizerischen Landesvermessung LV95, welches zum Zeitpunkt $t_0 = 1993.0$ exakt mit ETRS89 identisch ist. Das System umfasst die Definition des Bezugsellipsoides (GRS80), mit Lagerung (Position und Orientierung) in Z_0 (Geostation Zimmerwald) und deren zeitlicher Änderung. Zu CHTRS95 wird die Universal Transverse Mercator Projection (UTM) verwendet. CHTRS95 legt auch ein neues, potentialtheoretisch strenges, orthometrisches Höhensystem fest, welches als Ausgangshorizont die Höhe von Z_0 mit dem orthometrischen Höhenwert: $H_0 = 897.8027$ m (abgeleitet von UELN95/98) verwendet.

Das **CH1903** (Bezugssystem der alten Landesvermessung 1903) ist das alte, in der amtlichen Vermessung noch heute gültige Bezugssystem, welches 1903 festgelegt und eingeführt wurde. Das System umfasst die Definition eines Bezugsellipsoides (Bessel 1841), mit Lagerung (Position und Orientierung) im alten Fundamentalpunkt (alte Sternwarte Bern), die Transformation in CHTRS95 sowie die Schweizerische winkeltreue schiefachsige Zylinderprojektion (Swiss Grid). Ein Jahr vor CH1903 wurde auch das Gebrauchshöhensystem **LN02** festgelegt, welches als Ausgangshorizont die Höhe des „Repère Pierre du Niton“ im Hafen von Genf mit dem Höhenwert 373.6 m verwendet.

Das **CH1903+** (Bezugssystem der neuen Landesvermessung 1995) ist das neue, lokal gelagerte Bezugssystem der Schweizerischen Landesvermessung LV95, welches zukünftig als Grundlage für die amtliche Vermessung eingeführt wird. CH1903+ verwendet die gleichen Ellipsoiddimensionen (Bessel 1841) wie CH1903. Die räumlichen Koordinatenachsen X, Y, Z werden direkt von CHTRS95 durch 3 Translationen abgeleitet. Das Kartenprojektionssystem (Swiss Grid) ist identisch zu CH1903. Als Ausgangspunkt für die Höhen dient der neue Fundamentalpunkt Z_0 der Geostation Zimmerwald, dessen orthometrische Höhe $H_0 = 897.9063$ m so gewählt wurde, dass die Höhe des „Repère Pierre du Niton“ im Hafen von Genf genähert die orthometrische Höhe 373.6 m erhält, entsprechend dem Wert im LN02.

3.1.2 Bezugsrahmen

Jedem Bezugssystem muss ein Bezugsrahmen (Referenz Frame) zugeteilt sein. Darunter versteht man die Realisierung und Nutzbarmachung des Systems in Form von Koordinatensätzen realer Punkte. Diese Koordinatensätze resultieren aus der Ausgleichung geodätischer Beobachtungen. Damit ist auch schon gesagt, dass mit jeder Neubestimmung der Koordinatensätze ein neuer Bezugsrahmen realisiert wird.

CHTRF95 (Swiss Terrestrial Reference Frame 1995) im CHTRS95 ist ein dreidimensionaler Bezugsrahmen, der auf dem flächendeckenden GPS-Landesnetz mit 104 Haupt- und 103 Verdichtungspunkten und dem permanenten GNSS-Netz AGNES (31 automatische Stationen) basiert. Der hochgenaue Bezugsrahmen erfüllt alle Anforderungen bezüglich der absoluten Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Koordinatensätze im Zentimeterbereich. CHTRF95 ist gemäss Festlegung im zeitabhängigen System CHTRS95 der Datensatz, welcher sich auf den Zeitpunkt $t_0 = 1993.0$ (01.01.1993) bezieht.

LV03 (Landesvermessung 1903) im Bezugssystem CH1903 basiert auf dem hierarchisch in drei Stufen aufgebauten Triangulationsnetzen 1. bis 3. Ordnung und wurde hauptsächlich mit reinen Winkel- und Richtungsmessungen bestimmt. Insgesamt stehen ca. 3000 so genannte Lagefixpunkte der Kategorie 1 (LFP1) zur Verfügung, welche eine relative Nachbargenauigkeit von ca. 3 bis 5 cm aufweisen. LV03 ist noch heute die offizielle Grundlage für die meisten Vermessungen in der Schweiz. Der Fundamentalpunkt dieses Fixpunktnetzes ist die alte Sternwarte in Bern mit den Landeskoordinaten $y = 600'000$ m / $x = 200'000$ m.

LV95 (neue Landesvermessung 1995) im erneuerten schweizerischen Bezugssystem CH1903+ ist der dreidimensionale Bezugsrahmen, der auf den gleichen Netzpunkten wie CHTRF95 basiert. Er dient als Basis für moderne Vermessungsanwendungen und zukünftig für alle Geobasisdaten des Bundesrechts, insbesondere für die amtliche Vermessung. Der Koordinatenursprung (Nullpunkt mit *false easting* und *false northing* Werten) dieses Fixpunktnetzes ist wie bei LV03 die alte Sternwarte in Bern, neu aber mit den Landeskoordinaten $E = 2'600'000$ m / $N = 1'200'000$ m.

Das Schweizerische Landesnivellementsnetz **LN02** ist die Ausgangsbasis der meisten Höhenbestimmungen für die Karten und Vermessungen in der Schweiz. Es besteht aus insgesamt 18 Hauptschleifen und zusätzlichen Nebenlinien mit ca. 8000 Nivellementsfixpunkten. Die Höhen dieser Punkte sind und bleiben vorläufig die offiziellen Gebrauchshöhen der Schweiz (d.h. ohne Schwerereduktion). Als Ausgangspunkt der Höhenmessung dient der „Repère Pierre du Niton“ in Genf mit einer festgelegten Höhe von 373.6 m.

LHN95 (Landeshöhennetz 1995) im erneuerten schweizerischen Bezugssystem CH1903+ ist ein potentialtheoretisch strenger Höhenbezugsrahmen der neuen Landesvermessung LV95. Er basiert auf den Daten des Landesnivellements (von 1902 bis heute) unter Einbezug der Schweredaten und unter Berücksichtigung von ellipsoidischen Höhendifferenzen aus dem GPS-Landesnetz und von Geoidundulationen aus dem Geoidmodell CHGeo2004. LHN95-Höhen werden hauptsächlich als orthometrische Höhen ausgewiesen. Als Ausgangshorizont wird die orthometrische Höhe des Fundamentalpunktes in Zimmerwald verwendet. LHN95 wird in nächster Zeit in der amtlichen Vermessung nicht verwendet. Zur korrekten Berechnung von Höhen mit GNSS ist LHN95 aber unabdingbar (siehe Kapitel 8).

3.1.3 Zusammenhänge

Beim Bezugsrahmenwechsel LV03 ⇔ LV95 für die amtliche Vermessung sind primär nur die Bezugsrahmen LV03 und LV95 im Spiel. Für die Höhen bleibt ja der bisherige Höhenbezugsrahmen LN02 beibehalten. Trotzdem soll folgende Grafik einen Überblick verschaffen, welche Bezugsrahmen bei der Verwendung der GNSS-Methode eine Rolle spielen. Schliesslich gewinnt die Satelliten basierte Messmethode einen immer wichtigeren Einfluss auch in der amtlichen Vermessung. Insbesondere muss bei der Höhenbestimmung auf das richtige Vorgehen geachtet werden.

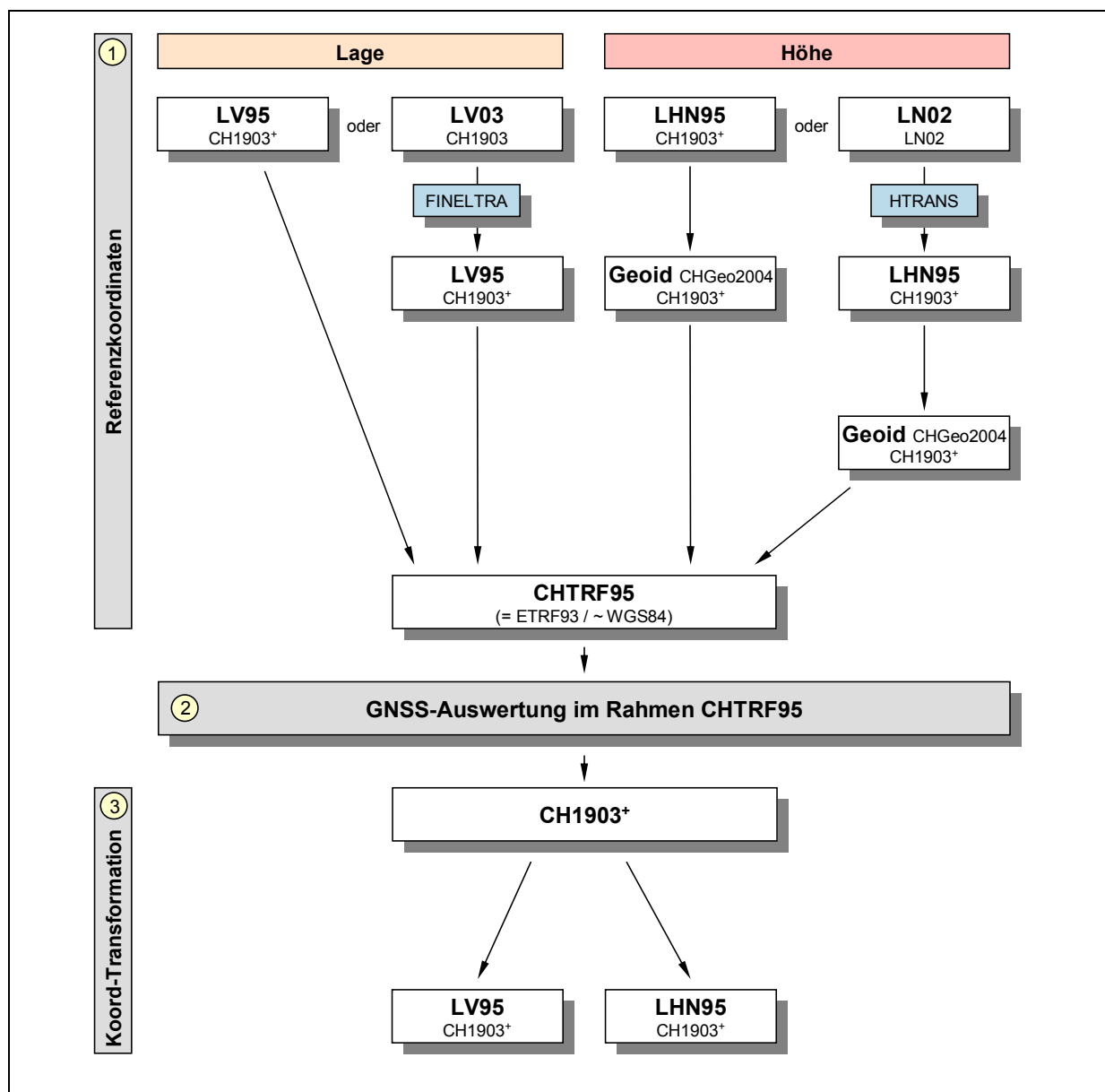


Abb. 3-1: Zusammenhänge unter den verschiedenen Bezugsrahmen
 ① bis ③: Berechnungsabläufe bei der GNSS-Auswertung

3.2 Rechtliche Grundlagen

Das Bundesamt für Landestopografie swisstopo ist in der Schweiz unter anderem für die Erstellung der geodätischen Grundlagen und für den Aufbau, die Erhaltung und Nachführung der geodätischen Netze der Landesvermessung zuständig. Dies gilt auch für das Schritthalten mit den technologischen Entwicklungen der geodätischen Messtechnik. Die amtliche Vermessung untersteht der Oberaufsicht durch die Eidgenössische Vermessungsdirektion, die seit dem 1.1.1999 ebenfalls dem Bundesamt für Landestopografie swisstopo zugeteilt ist.

3.2.1 alte Grundlagen

Bis zur Einführung des neuen Geoinformationsgesetzes GeoIG per 1. Juli 2008 war es ziemlich unübersichtlich, um sich in den zahlreichen Gesetzesbestimmungen und Verordnungen zurecht zu finden. Die wichtigsten Erlasse dazu seien hier kurz und sicher unvollständig zusammengefasst:

Stufe Bund:

- Zivilgesetzbuch ZGB Art. 942 und 950
- Bundesgesetz über die Erstellung neuer Landeskarten vom 21. Juni 1935
- Verordnung über die Obliegenheiten der Eidg. Landestopographie vom 10. Mai 1972
- Bundesbeschluss über die Abgeltung der amtlichen Vermessung vom 20. März 1992
- Verordnung über die amtliche Vermessung (VAV) vom 18. November 1992
- Technische Verordnung über die amtliche Vermessung (TVAV) vom 10. Juni 1994
- Geschäftsordnung des Bundesamtes für Landestopografie
- div. Vorschriften (Instruktionen und Weisungen) für die Nachführung der bestehenden Vermessungswerke

Stufe Kanton:

- Kantonale, den Bundesvorschriften angepasste Gesetze und Verordnungen

3.2.2 Neues GeolG und Verordnungen

Mit der Einführung des neuen **Artikels 75a der Bundesverfassung** ab dem 1. Januar 2008 ist die Vermessung klar und eindeutig auch in unserer Verfassung verankert: „Die Landesvermessung ist Sache des Bundes“. Das am 1. Juli 2008 in Kraft getretene Geoinformationsgesetz GeolG stützt sich auf diese Verfassungsgrundlage ab.

Das **Bundesgesetz über Geoinformation** (Geoinformationsgesetz, GeolG) ist abgestimmt auf die vom Bundesrat im Juni 2001 beschlossene Strategie für Geoinformation beim Bund und das dazu gehörende Umsetzungskonzept. Es regelt die Grundsätze und allgemeinen Bestimmungen für alle Geobasisdaten, die in der Bundesgesetzgebung definiert sind. In den Bereichen Landesvermessung, Landesgeologie und amtliche Vermessung erfüllt es gleichzeitig die Funktion eines Fachgesetzes.

Diverse **Verordnungen** zum GeolG konkretisieren dessen allgemeinen Teil. Im Zusammenhang mit dem Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95 sind folgende Verordnungen von Bedeutung:

<i>GeolV</i>	Verordnung über Geoinformation
<i>GeolV-swisstopo</i>	Verordnung des Bundesamtes für Landestopografie über Geoinformation
<i>LVV</i>	Verordnung über die Landesvermessung
<i>LVV-VBS</i>	Verordnung des VBS über die Landesvermessung
<i>VAV</i>	Verordnung über die amtliche Vermessung
<i>TVAV</i>	Technische Verordnung über die amtliche Vermessung

Konkrete Auswirkungen für den Bezugsrahmenwechsel haben insbesondere Art. 5, Abs. 2 des GeolG und Art. 4 bis 7 resp. Art. 53, Abs. 2 der GeolV. Dort werden als amtlicher Lagebezug der Geobasisdaten das Lagebezugssystem CH1903 mit dem Lagebezugsrahmen LV03 und das Lagebezugssystem CH1903+ mit dem Lagebezugsrahmen LV95 definiert. Für den Wechsel des Lagebezugssystems und -rahmens von CH1903/LV03 zu CH1903+/LV95 werden die Übergangsfristen festgelegt. Die Definitionen der lokal gelagerten geodätischen Bezugssysteme CH1903 und CH1903+ sind in der GeolV-swisstopo festgelegt. Der amtliche Höhenbezugsrahmen der Geobasisdaten richtet sich wie bisher nach dem Landesnivellement 1902 (LN02).

Damit ist die gesetzliche Grundlage vorhanden, auf die im Kapitel 5.8 des Schlussberichtes „Konsequenzen der neuen Landesvermessung 95 für die amtliche Vermessung“ der ersten eingesetzten Arbeitsgruppe „Amtliche Vermessung / Landesvermessung 95 (AV/LV95)“ hingewiesen wurde.

4 Strategie von swisstopo

4.1 Strategie im Rahmen der NGDI

Auf Antrag der interdepartementalen Geoinformation & GIS-Koordinationsgruppe des Bundes (GKG) formulierte der Bundesrat 2001 die Strategie für Geoinformation beim Bund. Darin wurde der Aufbau der NGDI und die Bereitstellung der Geoinformationen als zentrales Element der nationalen Infrastruktur anerkannt, vergleichbar mit dem Verkehrs- oder Kommunikationsnetz. Das Potential von Geoinformation manifestiert sich, unterstützt durch die heute eingesetzten Mittel zur elektronischen Datenhaltung, -verarbeitung und -verbreitung, durch eine enorme Leistungsfähigkeit, einen langfristig angelegten Informationswert und fast beliebige Kombinationsmöglichkeiten.

Zudem wurde auf ihren Stellenwert als ein Wirtschaftsfaktor mit zunehmender Bedeutung hingewiesen. Transparente und nachvollziehbare Entscheidungen in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft sind ohne diese Informationen heute nicht mehr denkbar. Die Verfügbarkeit von Geoinformation ist eine wesentliche Voraussetzung für eine gut funktionierende direkte Demokratie und die Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger an den wichtigen politischen Entscheiden und gesellschaftlichen Entwicklungen eines modernen Staatswesens.

Die Strategie der Bundesverwaltung für Geoinformation wurde daher wie folgt festgelegt:

- Der leichte und kostengünstige Zugang zu grundlegenden Geoinformationen für alle bildet das zentrale Anliegen der Strategie.
- Die Gewährleistung der Grundversorgung mit Geoinformationen in enger Zusammenarbeit und Absprache mit den Kantonen hat der Bund als wichtige hoheitliche Aufgabe wahrzunehmen.
- Der Schutz von Personendaten, die Datensicherheit und die Wahrung des geistigen Eigentums sind angemessen zu berücksichtigen.
- Verbindliche Standards für die Dokumentation (Metadaten), die Modellierung sowie den Datenaustausch (Bezugsmechanismus und Datenformate) sind zu definieren.

Um diese Ziele zu erreichen, baut der Bund eine nationale geografische Dateninfrastruktur auf, sorgt für eine kohärente und transparente Vertriebs- und Preispolitik für die ganze Bundesverwaltung und fördert die Aus- und Weiterbildung im Bereich der Geomatik, wobei die Zusammenarbeit und Koordination mit den Kantonen gesucht wird.

Koordiniert wird der Aufbau der NGDI beim Bund durch den Bereich KOGIS (Koordination, Geo-Information und Services) im Bundesamt für Landestopografie swisstopo. KOGIS hat denn auch ein Umsetzungskonzept zur Strategie für Geoinformation beim Bund verfasst [<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/docu/pub/kogis.html>].

Mit der modernen Definition des einheitlichen geodätischen Bezugssystems und dem Bereitstellen der grundlegenden Referenzdaten (u.a. Fixpunkte und GNSS-Permanentstationen als geodätischen Bezugsrahmen) und Geodienste in zeitgemässer Form (z.B. Web-Services und Positionierungsdienste) realisiert swisstopo auch einen Teil dieses Umsetzungskonzeptes.

4.2 Strategie der amtlichen Vermessung

Mit den Transformationsgrundlagen (FINELTRA, „Dreiecksvermaschung“) haben die Landesvermessung und die amtliche Vermessung die Voraussetzung geschaffen, Geoinformationen in den beiden Bezugsrahmen LV03 und LV95 bereitzustellen. Die offiziellen Abgabestellen müssen jederzeit die Datenausgabe für die Kundschaft der AV sowohl im neuen wie auch im alten Bezugsrahmen sicherstellen.

Das langfristige Ziel der AV besteht darin, ihre Daten so aufzubereiten oder zu erheben, dass sie in LV95 vorliegen, weitgehend von Verzerrungen und Widersprüchen befreit d.h.

homogenisiert sind bzw. es noch werden und somit auf lokale Einpassungen verzichtet werden kann. Das Erreichen dieses Zieles ist eng verknüpft mit dem Fortschreiten der AV-Arbeiten und stark abhängig von öffentlichen Geldern.

Eine flächendeckende spannungsarme AV kann in die zwei Verfahrensschritte aufgeteilt werden, wie sie im Überführungskonzept der V+D [swisstopo, 2007] bereits näher beschrieben wurden.

Bezugsrahmenwechsel

Alle digital vorliegenden Daten der AV werden mit den erarbeiteten Transformationsgrundlagen in den Bezugsrahmen LV95 überführt.

LV95 wird als rechtlich gültiger Bezugsrahmen für die AV eingeführt. Nach der Überführung der AV in den Bezugsrahmen LV95 wird die originäre Datenhaltung im Bezugsrahmen LV95 stattfinden. Dies bedeutet, dass sämtliche AV-Arbeiten (z.B. laufende und periodische Nachführung) ausschliesslich im neuen Bezugsrahmen durchgeführt werden müssen. Der Bezugsrahmenwechsel ist bis 2016 abzuschliessen. Die Kantone können selbstverständlich ihre Umstellung auch früher vornehmen und somit rascher von den Vorteilen des neuen Bezugsrahmens profitieren. Dazu bedarf es der Aufnahme der Arbeiten in die ordentlichen Programmvereinbarungen zwischen Bund und Kantonen.

Befreiung von Verzerrungen und Widersprüchen

Die Daten der bestehenden AV im Qualitätsstandard AV93 werden lokal auf geometrische Widersprüche und Verzerrungen überprüft und falls notwendig entzerrt. Als Grundlage für die Durchführung aller diesbezüglichen Arbeiten dienen das oben erwähnte Überführungskonzept sowie der Leitfaden für die Anwendung geometrischer Transformationsmethoden in der AV [swisstopo 2008b]. Die Entzerrung bestehender AV93-Operate kann in einem vom Bezugsrahmenwechsel getrennten Arbeitsgang erfolgen und sofort in Angriff genommen werden. Wirtschaftlich ist eine Kombination dieser Arbeiten mit anderen Arbeiten (z.B. der Homogenisierung oder der periodischen Nachführung).

Unabhängig dieser beiden Verfahrensschritte müssen sämtliche Arbeiten im Fixpunktbereich im Bezugsrahmen LV95 gemessen und berechnet werden. Nach Abschluss solcher Arbeiten können die definitiven Koordinaten mittels CHENyx06 nötigenfalls in den Bezugsrahmen LV03 transformiert werden.

5 Vorbereitung des Bezugsrahmenwechsels LV03 → LV95

5.1 Organisation

Mit dem Startschuss der 1. Sitzung der Arbeitsgruppe „AV/LV95“ am 13. Sept. 1993 begann eine intensive Arbeit, die das Ziel verfolgte, in der amtlichen Vermessung den Bezugsrahmenwechsel von LV03 auf LV95 vorzubereiten. Was zu Beginn mit grosser Euphorie auf der einen Seite und mit echter Skepsis auf der andern Seite in Angriff genommen wurde, brachte schliesslich eine 15 Jahre dauernde Grundsatzdiskussion und Vorbereitungsphase. Mit dem Schlussbericht des CC RD/LV95 war der Auftrag erfüllt, die Grundlagen für den Bezugsrahmenwechsel zur Verfügung zu stellen. Es würde den Rahmen dieses Berichtes deutlich sprengen, hier auf Einzelheiten der Arbeiten in den verschiedenen Arbeitsgruppen einzugehen. Die folgenden Kapitel fassen die Ergebnisse, die in den jeweiligen Abschlussberichten detailliert nachzulesen sind, summarisch zusammen.

5.1.1 Projektübersicht

Übersicht über den zeitlichen Ablauf und den Einsatz der verschiedenen Arbeitsgruppen (AGr)

Aktionen / Phasen	1993	94	95	96	97	98	99	2000	01	02	03	04	05	06	07	08
AGr AV/LV95																
- Zielsetzung																
- Entwicklung FINELTRA																
- Testgemeinden TI																
- Test Zug																
- Info-Veranstaltungen AV/ Datenbenutzer																
- Vernehmlassung AV/ Datenbenutzer																
- Schlussbericht																
AGr RD/LV95																
- Projektorganisation																
- Teilprojekt „AV“																
- Teilprojekt „Benutzer“																
- Schlussbericht																
CC RDLV95																
- Weisungen zur Δ- Vermaschung																
- Testgebiet BL/BS																
- Studie Rasterdaten (FHNW)																
- Tests / Richtlinien Kanton VS																
- Testgebiet Bruchzone GE/VD																
- Entscheid: LN02 beibehalten																
- techn. Hinweise zur Δ-Verm.																
- Erfa-Tagungen mit Kantonen																
- Konzept zur Überführung der AV																
- Schlussbericht																
- Geschäftsstelle RD/LV95																

Tab. 5-1: zeitlicher Ablauf der Arbeiten in den verschiedenen Arbeitsgruppen

5.1.2 Arbeitsgruppen

5.1.2.1 „AV/LV95“

L+T und V+D waren sich einig, dass unter möglichst allen Beteiligten eine Grundsatzdiskussion zum Bezugsrahmenwechsel geführt werden muss. Im September 1993 wurde deshalb durch die V+D die Arbeitsgruppe „AV/LV95“ ins Leben gerufen. Diese hatte den Auftrag, die Auswirkungen von LV95 auf die amtliche Vermessung zu untersuchen, Entscheidungsgrundlagen für eine allfällige Umstellung von LV03 auf LV95 zu liefern und die Werkzeuge für die Transformation vorzubereiten.

Im Oktober 1995 lag ein bereinigter Bericht zweisprachig vor. Dieser wurde im November 1995 in eine breit angelegte Vernehmlassung geschickt. Bereits vor und während der Vernehmlassungsfrist wurden verschiedene Informationsveranstaltungen durchgeführt, um die Erkenntnisse aus dem Bericht den Vermessungsfachleuten zu unterbreiten. Aus der Vernehmlassung, bei welcher 80 Adressaten angeschrieben worden waren, kamen 38 Stellungnahmen zurück, welche im Prinzip positiv auf eine Umstellung reagierten. Die Resultate waren etwa die Folgenden:

- Es ist in Richtung einer Umstellung auf LV95 zu handeln;
- Die zentralen Probleme für eine Umstellung sind die *Information*, die *rechtlichen Grundlagen*, die *Finanzen*, die *Kostentragung*, die *Fristen* und der *Einbezug der Benutzer*;
- Die vorgeschlagenen Realisierungsetappen sind brauchbar;
- Die technische Methode der Transformation mit finiten Elementen (FINELTRA, Dreiecksvermaschung) ist brauchbar;
- Die Umstellungskosten werden unterschätzt;
- Die Regelung der Finanzierung ist ungenügend.

Die Ergebnisse aus der weit abgestützten Vernehmlassung konnten in den Schlussbericht „Konsequenzen der neuen Landesvermessung 95 für die amtliche Vermessung“ [Ammann et al. 1996] ebenfalls noch aufgenommen werden. Der Bericht bekam den Stellenwert eines Vorprojektes, auf welchem das neue Projekt RD/LV95 aufgebaut werden soll. Mit der Veröffentlichung des Berichtes im August 1996 war die erste Etappe quasi abgeschlossen, die Arbeitsgruppe wurde in dieser Zusammenstellung aufgelöst.

Für die Austestung der bisher erarbeiteten Werkzeuge/Mittel (FINELTRA, Dreiecksvermaschung, alte und erneuerte Datensätze in der Stadt Zug) und gestützt auf die Ergebnisse eines Hearings vom März 1995 mit Vertretern des Bundes, der Kantone, der SBB, den PTT und den IT-Firmen wurde eine Untergruppe von „AV/LV95“ beauftragt, mit dem Pilotprojekt „Zug“ die Tauglichkeit für eine Umstellung auf LV95 zu untersuchen. Als Ergebnisse, die im Bericht „Transformation zwischen den Bezugsrahmen LV03 und LV95, Projekt „Transformation mit finiten Elementen“ – Test Zug“ [Carosio et al. 1997] detailliert dokumentiert wurden, kann Folgendes zusammengefasst werden:

- Die Resultate bestätigen die Ergebnisse eines ähnlichen Tests im Kanton Tessin, der durch die ETHZ durchgeführt wurde;
- Ohne zusätzliche Verdichtung der Transformationsstützpunkte sind die Umstellungsergebnisse ungenügend;
- Für qualitativ gute homogene Daten genügen ein bis zwei lokale Transformationsstützpunkte;
- Die relative Qualität der AV (Nachbargenauigkeit) wird durch die Überführung auf LV95 nur unwesentlich verbessert, wohl aber die absolute, welche massgebend ist für einen optimalen Einsatz der neuen technischen Messmethoden.

5.1.2.2 „RD/LV95“

Aufgrund der Erkenntnisse, der Ergebnisse der Vernehmlassung und den Empfehlungen der Arbeitsgruppe „AV/LV95“ wurde am 6. Mai 1996 durch die V+D und die L+T zusammen der Grundsatzentscheid für eine Umstellung auf LV95 gefällt. Daraus resultierten der neue Projektauftrag und die neue Projektorganisation der AGr „RD/LV95“ (Raum bezogene Daten/Landesvermessung 1995).

In diesem neuen, am 29. Oktober 1996 durch die V+D initiierten Projekt wurde verlangt, die finanziellen, organisatorischen, rechtlichen und zeitlichen Aspekte detaillierter unter die Lupe zu nehmen. Als Informationsbasis dienten insbesondere der Schlussbericht der AGr „AV/LV95“ und das Pilotprojekt „Zug“. Das Projekt wurde bezüglich Teilnehmer und Struktur so gestaltet, dass eine Kontinuität gewährleistet war und dass die Seite der Benutzer hinreichend vertreten war. So wurden in zwei *Teilprojektteams* (TPT) Vorschläge bezüglich Finanzierung, Organisation und Zeitplan für die *Daten der AV* einerseits und für die *Daten der Benutzer* andererseits erarbeitet. Im Bericht „Konsequenzen der neuen Landesvermessung LV95 für die Raum bezogenen Daten (RD/LV95)“ [V+D 1998] sind die Ergebnisse beider TPT umfassend dargelegt.

Die Projektteams schätzten bei einer zentral gesteuerten Gesamtumstellung der Raum bezogenen Daten über die ganze Schweiz und für sämtliche Benutzerkreise innert nützlicher Frist einen Totalaufwand von Fr. 150 Mio., den die Projektkoordination im momentanen, finanzknappen politischen Umfeld allerdings als nicht realisierbar betrachtete. Eine alternative „Nullvariante“ mit vollständigem Verzicht auf eine Gesamtumstellung war jedoch auch nicht zu empfehlen. So wurde als Kompromiss die Variante „Basisdienstleistungen“ vorgeschlagen. Diese betrifft vorläufig nur die Daten der AV und beinhaltet lediglich die generelle Bereitstellung der technischen Grundlagen für eine Umstellung. Die Kostenschätzung dieser abgespeckten Variante betrug Fr. 3.6 Mio. Im Bezug auf die Organisation war man sich einig, dass sich nur eine zentrale Instanz mit technischen und finanziellen Kompetenzen am effizientesten eignen werde. Dazu braucht es einen Konsens aller Beteiligten sowie zusätzliche personelle und finanzielle Ressourcen.

Dies war die Ausgangslage für eine neue Projektorganisation, die zum Ziel haben musste,

- die gewählte Variante umzusetzen,
- die organisatorischen und finanziellen Voraussetzungen für den künftigen Bezugsrahmenwechsel zu schaffen,
- die erforderlichen Instrumente für eine punktuelle Transformation bereit zu stellen,
- die noch anstehenden technischen Probleme zu lösen und
- allgemeine Richtlinien zu erarbeiten.

5.1.2.3 „CC RD/LV95“

Das Projekt CC RD/LV95 wurde mit dem Geschäftsleitungsbeschluss von swisstopo vom 22. Februar 2000 gestartet, um die Verfügbarkeit von Geodaten wahlweise sowohl im Bezugsrahmen LV03 wie auch im Bezugsrahmen LV95 sicherzustellen. Es sollte eine langfristige Überführung sämtlicher Raum bezogener Daten geprüft und vorbereitet werden. Ebenfalls Gegenstand des Projektes war die Frage, ob eine Umstellung des Höhenbezugsrahmens von LN02 auf LHN95 sinnvoll und machbar wäre. Die Aufgaben umfassten:

- Planung und Realisierung der definitiven Transformationsgrundlagen (Dreiecksvermaschung Stufe AV) in Zusammenarbeit mit den Kantonen;
- Nachweis der Machbarkeit der Transformation zwischen LV03 und LV95 und der wahlweisen Datenausgabe in beiden Bezugsrahmen;
- Erstellung und Prüfung der technischen Hilfsmittel, insbesondere von Software, und Definition der Spezifikationen;

- Unterstützung der Systemhersteller und Anerkennung der Programme;
- Schaffung resp. Überprüfung entsprechender Rechtsgrundlagen;
- Erarbeitung einer Überführungsstrategie einschliesslich eines Termin- und Finanzplanes;
- Unterstützung und Beratung der Kantone;
- Erstellung eines Informations- und Kommunikationskonzeptes;
- Planung und Durchführung von Informations- und Ausbildungsveranstaltungen.

Nicht Aufgabe dieses Projektes hingegen war:

- über Massnahmen zur Verbesserung der bestehenden Qualität der Daten der AV zu entscheiden bzw. diese zu leiten oder zu koordinieren;
- Daten zu harmonisieren, Diskrepanzen infolge verschiedener LV03-Bestimmungen zu bereinigen (z.B. Hoheitsgrenzen).

Das Kompetenzzentrum (CC) setzte sich aus zwei Vertretern der Kantone und je einem Vertreter der frei erwerbenden Geometer (IGS), der Systemhersteller sowie den swisstopo Bereichen Geodäsie und Vermessungsdirektion zusammen. Es unterstand einer Projektoberleitung (POL) durch die Geschäftsleitung von swisstopo. Das CC RD/LV95 war befugt, Experten bei zu ziehen und externe Studienaufträge oder Pilotprojekte in Auftrag zu geben. Es verfügte auch über die Möglichkeit, Teilprojekt- oder Arbeitsgruppen einzusetzen.

Dem Kompetenzzentrum wurde die Geschäftsstelle (GS) RD/LV95 zugeordnet (siehe auch Kap. 6.3.5.4), die durch den Prozess „Geodätische Fixpunkte“ (GF) des swisstopo Bereiches Geodäsie geführt wurde. Der GS RD/LV95 oblag die operative Leitung über die Bereitstellung der technischen Grundlagen zum Bezugsrahmenwechsel sowie die Koordination und Verifikation der Arbeiten durch die Kantone. Der Leiter der Geschäftsstelle war ebenfalls Mitglied des Kompetenzzentrums. Die operative Leitung umfasste insbesondere:

- Offizielle Ansprechstelle gegen aussen
- Erarbeitung der technischen Richtlinien für die Erstellung der Dreiecksvermaschung zusammen mit dem CC RD/LV95
- Fachliche Betreuung der Kantone bei der Erarbeitung der Dreiecksvermaschung
- Organisation von Erfahrungsaustausch-Tagungen für die Fixpunkt-Verantwortlichen der Kantone
- Erarbeitung des Verifikationsverfahrens / Entwicklung einer GIS-Fachschale zur Überprüfung der Qualität der Dreiecksvermaschung
- Verifikation und Genehmigung der Arbeiten durch die Kantone
- Auswertung und Aufbereitung von Kennzahlen der kantonalen Dreiecksvermaschungen
- Synthese der kant. Dreiecksvermaschungen
- Zentrale Verwaltung der Basisinformationen (Definition der Dreiecksvermaschung inkl. der Koordinaten der Transformationsstützpunkte (TSP)) und allfälliger Mutationen
- Spezifikation der Anforderungen an eine Software, an Geodienste sowie an das Internetportal zum Bezugsrahmenwechsel LV03 ↔ LV95

Das Projekt CC RD/LV95 wurde mit der Genehmigung des Schlussberichtes vom 4. April 2008 [swisstopo 2008a] durch die Geschäftsleitung von swisstopo am 13. April 2008 offiziell abgeschlossen. Die Resultate und die Folgerungen aus der umfassenden Arbeit aller Beteiligten, sowohl im CC RD/LV95 wie auch in der Geschäftsstelle und in allen kantonalen Vermessungsfachstellen sind Hauptbestandteil dieses Doku Nr. 21. Somit kann hier summarisch auf die folgenden Kapitel verwiesen werden.

Der eigentliche Bezugsrahmenwechsel ist damit aber nicht vollzogen. In einem weiteren

Nachfolgeprojekt „Überführung AV → LV95“, das durch swisstopo im Mai 2008 initialisiert wurde, muss nun die Überführung der AV-Daten in den neuen Lagebezugsrahmen LV95 gesteuert und begleitet werden.

Schliesslich hat swisstopo im Rahmen des Programms e-geo.ch die Aktion 09-02 „Breite Sensibilisierung zum Thema Bezugsrahmenwechsel“ lanciert. Sie soll helfen, den Kontakt zu den Partnern von e-geo.ch in dieser Sache zu erleichtern und gemeinsam eine gute Basis zu schaffen. Schwerpunkt dieses Projektes ist ein Kommunikationskonzept und dessen Umsetzung, um frühzeitig und bedarfsgerecht auf das Thema hinzuweisen und sensibilisieren, über gemachte Erfahrungen zu berichten sowie kompetente Beratung und Unterstützung anzubieten.

5.1.3 Beteiligte Institutionen und Personen

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick aller direkt Beteiligten in den verschiedenen Arbeits- und Untergruppen:

Arbeitsgruppen	Funktion	Personen	Institutionen
AGr AV/LV95 (1993-1996)	Leitung	Ammann Richard	V+D
	Mitglieder	Carosio Alessandro Dupraz Hubert † Durussel Raymond Jolidon André Just Christian Schneider Dieter Ulrich Werner Vogel Bruno	ETHZ EPFL IGS KKVA V+D Geodäsie STV Geodäsie
Untergruppe Projekt „Zug“	Mitglieder	Carosio Alessandro Durussel Raymond Just Christian Naepflin Godi Vogel Bruno	ETHZ IGS V+D KVA Zug Geodäsie
AGr RD/LV95 (1996-1999)			
Projektausschuss	Leitung	Leupin Marco	V+D
	Mitglieder	Gubler Erich Messmer Werner Franken Peter	Geodäsie KKVA GISWISS
Projektkoordination	Leitung	Amstein Jean-Philippe	V+D
	Mitglieder	Durussel Raymond Mumenthaler François Mäder H. Menzi Ruedi de Quervain Christoph	IGS GISWISS Ökonomie Kommunikation Recht
Teilprojektteam „AV“	Leitung	Durussel Raymond	IGS
	Mitglieder	Just Christian Signer Thomas † Robadey Maurice Wicki Fridolin Baumgartner Urs Carosio Alessandro	V+D Geodäsie KKVA KKVA Städte ETHZ

Arbeitsgruppen	Funktion	Personen	Institutionen
Teilprojektteam „Benutzer“	Leitung	Mumenthaler François	GISWISS
	Mitglieder	von Däniken Peter Heggli Sigi Jelk Yves Junet Marc	Kanton SO Kanton SG Stadt Fribourg Stadt Genf
CC RD/LV95 (2000-2008)	Projektoberleitung	Amstein Jean-Philippe (bis 30.9.04) Wicki Fridolin (ab 1.10.04) Schneider Dieter (bis 30.04.06) Wiget Adrian (ab 1.05.06)	GL swisstopo
	Leitung	Wicki Fridolin (bis Sept. 2005) Scherrer Markus (ab Okt. 2005)	V+D V+D
	Mitglieder	Ammann Richard Messmer Werner (bis Jan. 2005) Oswald Walter (ab Febr. 2005) Durussel Raymond Thalmann Hugo Signer Thomas † (bis Sept. 2002) Santschi Werner (ab Jan. 03 - Jun. 06) Kistler Matthias (ab Jan. 2007)	KKVA KKVA KKVA IGS a/m/t SW Service AG Geodäsie Geodäsie Geodäsie
Geschäftsstelle RD/LV95		Signer Thomas † (bis Sept. 2002) Santschi Werner (ab Jan. 03 - Dez. 04) Kistler Matthias (ab Jan. 05 - Dez. 06) Burkard Michael (ab Jan. 2007)	Geodäsie (Proz. GF)

Tab. 5-2: Übersicht über die beteiligten Mitglieder in den verschiedenen Arbeitsgruppen

5.1.4 Erfahrungsaustausch-Tagungen mit den Kantonen

Im Zusammenhang mit der Verifikation der Fixpunkte der Kategorie 2 führte der Prozess Geodätische Fixpunkte schon seit längerer Zeit mit den Kollegen und Kolleginnen der kantonalen Vermessungsfachstellen regelmässig Erfahrungsaustausch-Tagungen durch. Diese Plattform bot deshalb eine optimale Gelegenheit, die Informationen und gegenseitigen Bedürfnisse betreffend den Bezugsrahmenwechsel direkt unter den Beteiligten auszutauschen. Um wirklich praktische Erfahrungen austauschen und die erarbeiteten Resultate praxisnahe präsentieren zu können, wurden die Kantone jeweils in kleinere Gruppen aufgeteilt und die Tagungen pro Durchführungsjahr dezentral in den entsprechenden Landesteilen durchgeführt. Im Durchschnitt waren pro Tagungsort ca. 6 bis 7 Kantone vertreten. Die Tagungen waren meist sehr gut besucht und wurden von den Teilnehmenden als ideale Form von Weiterbildung, Gedankenaustausch und Förderung der kantonsübergreifenden Kontakte betrachtet. Die folgende Tabelle zeigt die durchgeführten Erfa-Tagungen mit einem groben Überblick über die dort behandelten Themen zum Bezugsrahmenwechsel.

Jahr	Tagungsorte	Themen zum Bezugsrahmenwechsel
1996	Chur, Fribourg, Luzern, Solothurn, Zürich	Präsentation der Resultate aus der AgR „AV/LV95“: Tests, Berichte, FINELTRA
1999	Altdorf, Luzern, Neuchâtel, Olten, St. Gallen,	Stand der Arbeiten durch die AGR RD/LV95; Hinweise für die Zukunft; Diskussion über die Nummerierung bezgl. Dreiecksvermaschung; Präsentation der kantonalen FP-Konzepte
2001	Genf, Luzern, St. Gallen, Zürich	Detaillierte Information über das Projekt CC RD/LV95; kantonale Fixpunkt-konzepte; Organisation, Vorgehen und Kriterien zur Dreiecksvermaschung; Informationen zu LHN95
2003	Airolo, Fribourg, Luzern, Olten, St. Gallen	Zwischenberichte der Kantone zur Dreiecksvermaschung; Auslegung der Weisungen zur Dreiecksvermaschung; Instruktionen zum Thema Entzerrungen; Toleranzen bei den Transformationsstützpunkten (TSP) und Kontrollpunkten (KP); Weiterentwicklungen in FINELTRA
2004	Olten, Schwyz, Yverdon-les-Bains, Zürich	Vorstellung des Arbeitsfortschrittes bei den Dreiecksvermaschungen in den Kantonen; Verifikation und Verwaltung der Dreiecksvermaschung durch swisstopo: Akten-, Datenabgabe, Überarbeitung der FP-Richtlinien, Anweisung an die Geometer, Merkblatt Höhenbestimmung mit GPS in der AV
2005	Neuchâtel, Olten, St. Gallen, Zug	Überblick über den Stand der Arbeiten und die Erfahrung in den Kantonen; Koordination der Dreiecksvermaschung an den Kantons-grenzen; einheitliche Verwaltung der FINELTRA dat-Files, Umsetzung von LV95 in der Parzellarvermessung; Vorstellung der GIS-Werkzeuge (FINELTRA2ArcGIS) zur Erarbeitung und Analyse der Dreiecksvermaschung
2006	Flüelen, Genf, Solothurn, Zürich	Präsentation der Resultate der kantonalen Dreiecksvermaschungen anhand von FINELTRA2ArcGIS, Abgleich entlang der Kantons-grenzen; Umstellung auf LV95 (Strategie der AV, gesetzliche Grundlagen, Zeithorizont, globale / lokale Entzerrungen, Konzept, Finanzierung)
2007	Basel, Delémont, Frauenfeld, Luzern	Präsentation von CHENyx06, bereinigtes Überführungskonzept für die AV, Internet-Portal Bezugsrahmenwechsel mit dem Softwarepaket REFRAME

Tab. 5-3: Übersicht über die Erfahrungsaustausch-Tagungen

Neben den Erfa-Tagungen, an denen die Diskussion in der Regel unter den Sachbearbeitern, den Verifikatoren und den Vertretern des CC RD/LV95 detailliert geführt werden konnte, wurden auch regelmässig an den Veranstaltungen der KKVA Referate über den Stand der Arbeiten und über die Erwartungen an die Kantone abgehalten.

5.2 Werkzeuge

5.2.1 GIS Fachschale zur interaktiven Generierung von Dreiecksvermaschungs-Definitionen

Das Vermessungsamt des Kantons Aargau hat eine Erweiterung für ArcView (Version 3.2.1) entwickelt, welche die interaktive Definition der Dreiecksvermaschung sowie den Export der Dreiecksdaten in das vordefinierte FINELTRA-Format ermöglicht [AGIS 2001]. Als Eingabe benötigt die Software eine Ebene „Fixpunkte“ mit LV03- und LV95-Koordinaten. Die Dreiecksdefinition erfolgt über die graphische Auswahl bestehender Fixpunkte. Die Software verfügt auch über einen Plausibilitätstest, der fehlerhafte Dreiecksdefinitionen (z.B. die Überlagerung von mehreren Dreiecken) erkennt. Zur Korrektur erkannter Fehler werden Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. Der Output besteht in Form eines vollständigen FINELTRA-Inputfiles (ASCII-File). Die Informationen, die beim Export (Output) übergeben werden, können innerhalb der Applikation benutzerfreundlich in einem Dialog definiert werden.

5.2.2 GIS-Fachschale zur Dokumentation und Analyse der kantonalen Dreiecksvermaschungen

In Zusammenarbeit mit dem GIS-Zentrum von swisstopo hat die GS RD/LV95 eine Fachschale für ArcGIS (Version 9.1) entwickelt, mit der die kantonalen Dreiecksvermaschungen, die Verzerrungsparameter der Affintransformation sowie die Restklassen an den Kontrollpunkten visualisiert und analysiert werden können. Zu diesem Zweck werden die Dreiecksvermaschungs-Datei (*.dat), das FINELTRA-Protokoll (*.prn) sowie die Tabelle mit den Verzerrungsparametern (*.txt) in eine Datenbank eingelesen. Als Basisdaten für die Analyse dienen unter anderem alle LFP1 und LFP2 aus dem FPDS, der Stand der amtlichen Vermessung aus AMO, die Dreiecksvermaschung Stufe Landesvermessung (FINELTRA-LV), die Siedlungsgebiete aus VECTOR 25 und verschiedene mehr.

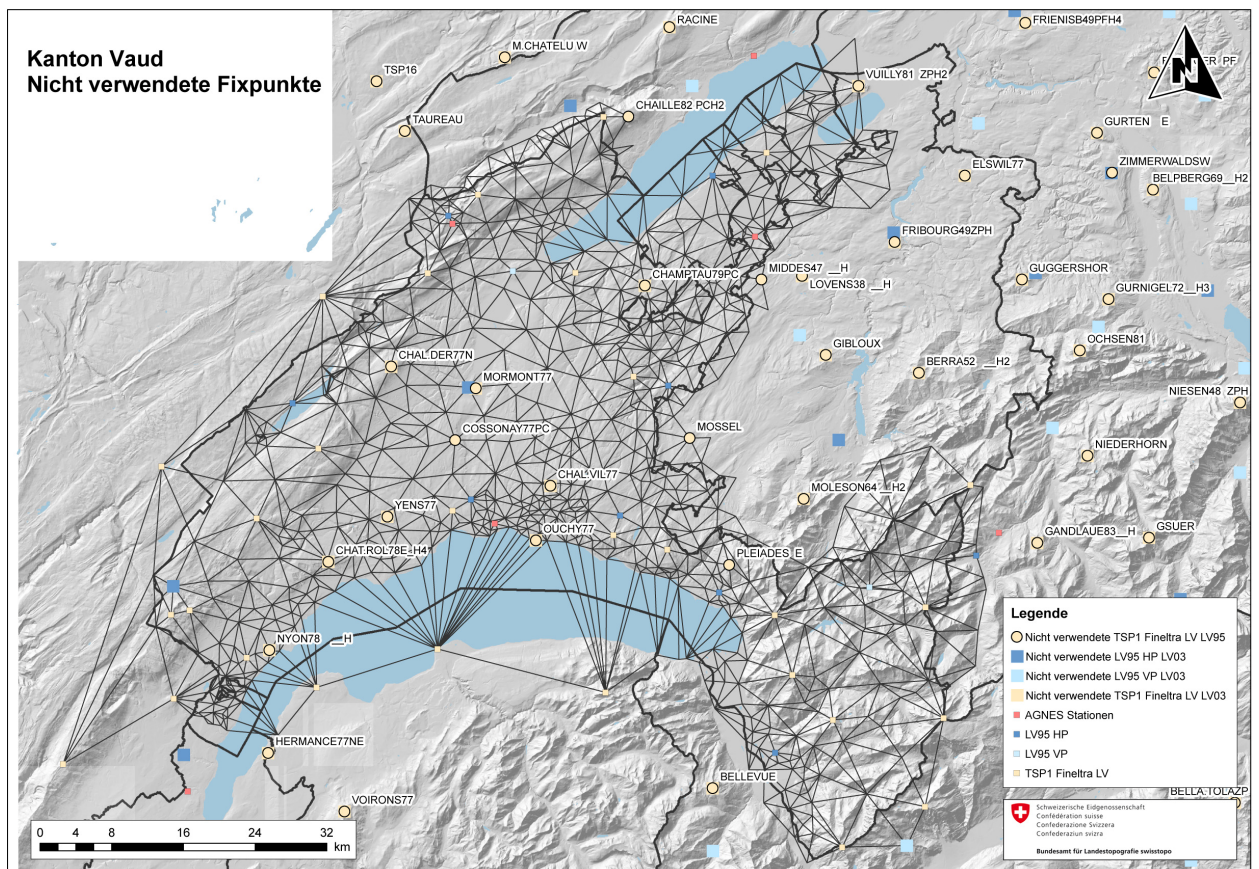


Abb. 5-1: Analysemöglichkeiten mit FINELTRA2ArcGIS: nicht verwendete LFP1 (AGNES-Stationen, LV95-Punkte, TSP1 und LFP1) in der ersten Version der Dreiecksvermaschung des Kantons Waadt

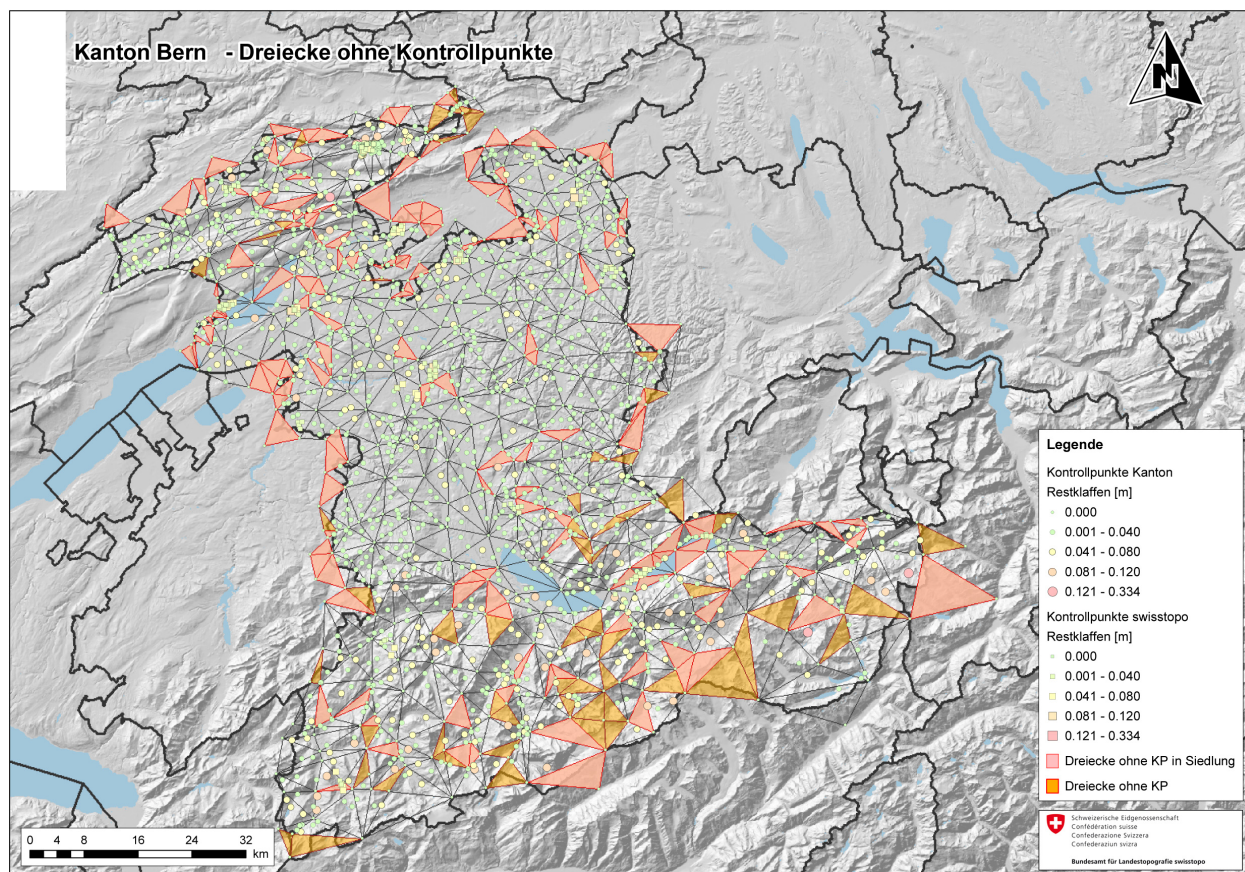


Abb. 5-2: Analysemöglichkeiten mit FINELTRA2ArcGIS: Dreiecke ohne Kontrollpunkte im Kanton Bern, unterschieden nach Bauzone und Landwirtschaftsgebiet

Die weiteren Analyse- und Visualisierungsmöglichkeiten sind im Kapitel 6.3.3 „Qualitätsnachweis anhand von Kontrollpunkten“ sowie in der „Anleitung/Arbeitsablauf zu FINELTRA2ArcGIS“ [Kistler 2006] und in den Unterlagen vom swisstopo Kolloquium vom 26. Januar 2007 [Kistler et al. 2007] zusammengestellt.

5.3 Testgebiete

5.3.1 Tessin

Im Rahmen des Diplom-Vermessungskurses 1994 der ETH-Zürich im Gebiet des Sotto-Ceneris unter der Leitung von Prof. Dr. A. Carosio wurden in den zwei Tessiner Gemeinden „Lugaggia“ und „Ponte Capriasca“ die ersten praktischen Arbeiten zum Test der Einsatzfähigkeit des Programmes FINELTRA durchgeführt. Die Resultate sind in [Tognacca 1995] übersichtlich zusammengefasst. Darin werden besonders die Transformationsverfahren betrachtet, die eingesetzt werden können, und die erforderliche Anzahl Fixpunkte, die als Transformationsstützpunkte (TSP) auch im neuen Bezugsrahmen LV95 bestimmt werden müssen. Letztere haben einen starken Einfluss auf die Qualität der Transformation und auf den Kostenrahmen.

Beim Testgebiet von „Lugaggia“ handelt es sich um ein vollnumerisches Vermessungslos, das erst vor wenigen Jahren vermessen wurde und über zuverlässige Koordinaten und einwandfreie Kennzeichnungen der Fixpunkte verfügt. Den Untersuchungen im Gebiet „Ponte Capriasca“ liegt eine alte halbgrafische Vermessung zugrunde, die qualitativ wesentlich schlechter einzustufen ist.

Anhand von je 5 Varianten (A-E) wurden die Transformationsprogramme TRANSINT (Interpolation) und FINELTRA verglichen, die optimale Verdichtung der bisher vorhandenen Dreiecksvermaschung (Landesvermessung Triangulation 1./2. Ordnung) abgeschätzt und die

Eignung in qualitativ unterschiedlichen Vermessungslosen betrachtet.

Die Unterschiede zwischen den zwei **Transformationsmethoden** waren allgemein betrachtet sehr klein und lieferten praktisch gleichwertige Resultate. Die grossen Vorteile von FINELTRA (affine Transformation mit finiten Elementen) gegenüber TRANSINT (Ähnlichkeitstransformation oder affine Transformation mit robuster Ausgleichung und Interpolation nach dem arithmetischen Mittel) sind organisatorischer und administrativer Art. Im Falle einer Verdichtung des Stützpunktnetzes in einem Dreieck ergeben sich mit FINELTRA keine Auswirkungen auf die Punkte in den umliegenden Dreiecken, was bei TRANSINT nicht eintreffen würde.

Beim Vergleich der **Verdichtungsvarianten** A bis E, also einer sukzessiven Verdichtung der Stützpunkte vom Triangulationsnetz 1./2. Ordnung (= Variante A mit zwei Dreiecken) bis zu allen überhaupt gemessenen Stützpunkten (= Variante E mit 14 Dreiecken) konnte wie erwartet eine Tendenz beobachtet werden, die bei den kleinsten Dreiecken (Variante E) auch die kleinsten Abweichungen zwischen den effektiv gemessenen und den transformierten Koordinaten ergab. Aus diesen Resultaten versuchte man Kenngrössen abzuleiten, die für die Wahl der Dreiecke von Bedeutung sein können. Es waren dies:

Kenngrösse	Max. Richtwerte
• Distanz des Schwerpunktes des jeweiligen Operates zum nächsten Transformations-Stützpunkt	< 2 km
• Mittlere Distanz des Schwerpunktes zu den drei Stützpunkten	< 8-9 km
• Flächeninhalt des Dreieckes	< 80 km ²
• Mittlere Seitenlänge des Dreieckes	< 17 km

Tab. 5-4: Kenngrössen zur Abschätzung der Dreieckswahl

Beim Vergleich der zwei **Operats-Typen** „Lugaggia“ und „Ponte Capriasca“ zeigte sich klar und auch wie erwartet, dass das Gebiet mit vollnumerischer Vermessung in jeder Variante besser abschloss als das halbgrafische Operat. Je nach Qualitätsanforderungen an die Koordinaten können die Transformationen durchaus auch im alten, halbgrafischen Operat als brauchbar betrachtet werden. Setzt man zum Beispiel eine Grenze von 5 cm für die mittleren Abweichungen zwischen gemessenen und transformierten Koordinaten, sind in beiden Operaten dieselben Verdichtungsvarianten anwendbar. Falls diese Grenze auf 3 cm verkleinert wird, sind verschiedene Varianten, die im vollnumerischen Operat brauchbare Resultate liefern, im halbgrafischen Gebiet nicht mehr brauchbar. Es ist also für die Verdichtung der Dreiecksvermaschung entscheidend, welchen Standard das betroffene Vermessungsoperat ausweist und welche Toleranzstufen der AV zum Tragen kommen.

In diesem ersten Testgebiet konnten schon sehr wertvolle und hilfreiche Erkenntnisse gewonnen werden, welche für die nachfolgenden Untersuchungen zugezogen wurden. Zusammenfassend kann vermerkt werden, dass sich ohne Verdichtung der Dreiecksvermaschung auf Stufe Landesvermessung (Triangulation 1./2. Ordnung, FINELTRA-LV) transformierte Koordinaten von 20 bis 30 Zentimetern herleiten lassen. Mit einer relativ geringen Verdichtung von 1 bis 2 Punkten pro Masche lässt sich in vielen Fällen die Abweichung der transformierten Koordinaten auf 2 bis 5 Zentimeter reduzieren.

5.3.2 Zug

In der Stadt Zug stand zur gleichen Zeit (1995/96) ein Vermessungswerk zur Verfügung, das dank der laufenden Katastererneuerung wertvolle Daten für einen grösser angelegten Test bereitstellen konnte. Die Originaldaten stammen aus den 30-er Jahren, die Erneuerung des LFP2-Netzes war 1995 abgeschlossen und innerhalb des Testlozes stand auch das erneuerte LFP3-Netz zur Verfügung. Die Ebene Liegenschaften und viele Gebäude waren ebenfalls in numerischer Form vorhanden. Mit dem „Test Zug“ wurden die beiden Transformationswerkzeuge FINELTRA und TRANSINT mit verschiedenen Passpunktkombinationen verglichen und es wurden auch die Auswirkungen auf die geometrischen Eigenschaften nach einer Transformation untersucht. Die Resultate sind sehr aussagekräftig, zum grössten Teil auch heute noch zutreffend und können im Bericht „Projekt Transformation mit finiten Elementen - Test Zug“ [Carosio et al. 1997] der Untergruppe aus der AGr AV/LV95 detailliert eingesehen werden. Die nachfolgende Zusammenfassung aus diesem Bericht wiedergibt die wichtigsten Ergebnisse:

• Ohne lokale Verdichtung durch Ergänzungspunkte ist die Umstellung in LV95 durch weit entfernte Triangulationspunkte höherer Ordnung mangelhaft.
• Für homogene Daten von guter Qualität ist eine „absolute“ Umstellung mit einem Minimum an zusätzlichen lokalen Passpunkten möglich.
• Die Qualität eines transformierten Operates in LV95 ist abhängig von der Originalqualität in LV03.
• Die alten Originalkoordinaten lassen sich (ohne Qualitätsverbesserung) umwandeln. Mit Erneuerungsmassnahmen kann ihre Integration beträchtlich, jedoch nicht vollständig bezüglich den Anforderungen der AV93 verbessert werden.
• TRANSINT eignet sich gut, um lokale Erneuerungen in LV03 durchzuführen.
• FINELTRA eignet sich gut für eine Umstellung LV03 ⇔ LV95
• Die geometrischen Eigenschaften (Länge, Richtung, Massstab und Fläche) der Objekte der AV (Parzellen und Gebäude) variieren als Folge von FINELTRA und TRANSINT, aber in einem völlig akzeptablen Rahmen.
• Grosse geometrische Figuren erleiden tolerierbare Verzerrungen.
• Eine Umstellung nach einer Neubestimmung der lokalen Passpunkte vermindert die Verzerrungen beträchtlich, d.h. sie sind vernachlässigbar.

Tab. 5-5: Ergebnisse aus dem „Test Zug“

Diese Resultate bestätigten und ergänzten also die Ergebnisse im Tessin. Darauf basierend wurden verschiedene, für die Umstellung zu verwendende Strategien und Szenarien erarbeitet, und es wurde ein Inhaltsraster für zukünftige Richtlinien vorgeschlagen. Auch konnten schon wesentliche Hinweise auf die operative Anwendung von FINELTRA gegeben werden.

5.4 Besonderheiten in der Dreiecksvermaschung

5.4.1 Bruchzone GE/VD

Zwischen den Kantonen Genf und Waadt ist im Bezugsrahmen LV03 eine Koordinatendifferenz von rund 30 cm gegeben, die sich über das gesamte Kantonsgebiet erstreckt. Diese Differenz, die in Form von Überlappungen und Lücken entlang der Kantonsgrenze bemerkbar ist, hat folgende Ursache:

- Bei der Revision der Triangulation 1. und 2. Ordnung von 1977 wurden die Koordinaten des LFP1 „La Dôle“ um ca. 30 cm geändert. Darauf basierend erfolgte im Kanton Waadt die Parzellarvermessung nach der Überarbeitung der Triangulation 3. und 4. Ordnung.
- Im Gegensatz dazu wurde (bis heute) die Triangulation des Kantons Genf nie angepasst. Die Differenz von etwa 30 cm in LV03 wirkt sich über den gesamten Kanton Genf aus. Infolge dessen existieren entlang der Kantonsgrenze Koordinatendifferenzen in LV03 mit Extremwerten an Lücken oder Überlappungen zwischen 23 cm und 37 cm.

Im CC RD/LV95 wurde diese Problematik intensiv behandelt. Entlang der Kantonsgrenze wurde nach einer praktikablen Lösung gesucht, die den pragmatischen Bezugsrahmenwechsel nach LV95 ermöglicht. Folgende Lösungsansätze wurden diskutiert:

- Eliminierung der Abweichungen von 30 cm über das gesamte Genfer Kantonsgebiet vor der Überführung nach LV95;
- Entwicklung einer Programmroutine, welche die Genfer Daten erkennt und diese um 30 cm in LV03 korrigiert;
- Entwicklung einer speziellen FINELTRA-Vermaschung für den Kanton Genf, die bei den Transformationsstützpunkten (TSP) die LV03- Koordinaten des Kantons Genf beinhaltet.

Der Nachteil der ersten Lösung liegt einerseits bei der aufwendigen Operation und andererseits bei den Konsequenzen für sämtliche Benutzer. Bei der zweiten und dritten Lösung liegt der Nachteil in der speziellen Handhabung für die Daten von Genf. Diese drei Lösungsansätze wurden aufgrund der erheblichen Nachteile vom CC wieder verworfen. Stattdessen entstand folgende Lösung, die in der FINELTRA-Vermaschung umgesetzt wurde:

- Die Koordinaten von Waadt wurden sowohl in LV03 als auch in LV95 unverändert übernommen. Sämtliche Kantonsgrenzpunkte wurden als TSP gewählt.
- Im Kanton Genf wurden die teilweise bis zu 37 cm breiten Überlappungen zu Waadt, die in LV03 bestehen, mit einer Transformation eliminiert. Um Überschneidungen gänzlich zu vermeiden, musste dabei eine Pufferzone von 3 cm berücksichtigt werden. Daraus resultierte eine Lücke (sog. „Niemandland“) zwischen den Kantonsgrenzen von Waadt und Genf (siehe Abb. 5-3). Die transformierten Grenzpunkte, welche sich in LV03 rund 3 cm von den Kantonsgrenzpunkten von Waadt entfernt befinden, werden in der FINELTRA-Dreiecksvermaschung als TSP verwendet.

Die detaillierten Erläuterungen zur Lösung sind im Dokument des CC RD/LV95 [swisstopo 2002] und im Verifikationsbericht VD/GE [swisstopo 2004b] beschrieben.

Die Vermaschung innerhalb des Niemandlandes lehnte das CC seinerzeit ab, weil die Deformationen in diesem Bereich sehr gross sind. Im Zusammenhang mit der Fertigstellung der nationalen Dreiecksvermaschung wurde das Thema aber von den Verifikatoren der Geodäsie nochmals aufgegriffen. In Rücksprache mit R. Durussel wurde entschieden, das Niemandland ebenfalls zu vermaschen und in den Transformationsdatensatz zu integrieren. Damit konnte gewährleistet werden, dass die Transformation mit der offiziellen FINELTRA-Dreiecksvermaschung flächendeckend für die gesamte Schweiz definiert ist. Die Vermaschung des Niemandlandes erfolgte durch die Geodäsie im Dezember 2006. Die Arbeiten wurden von R. Durussel begleitet.

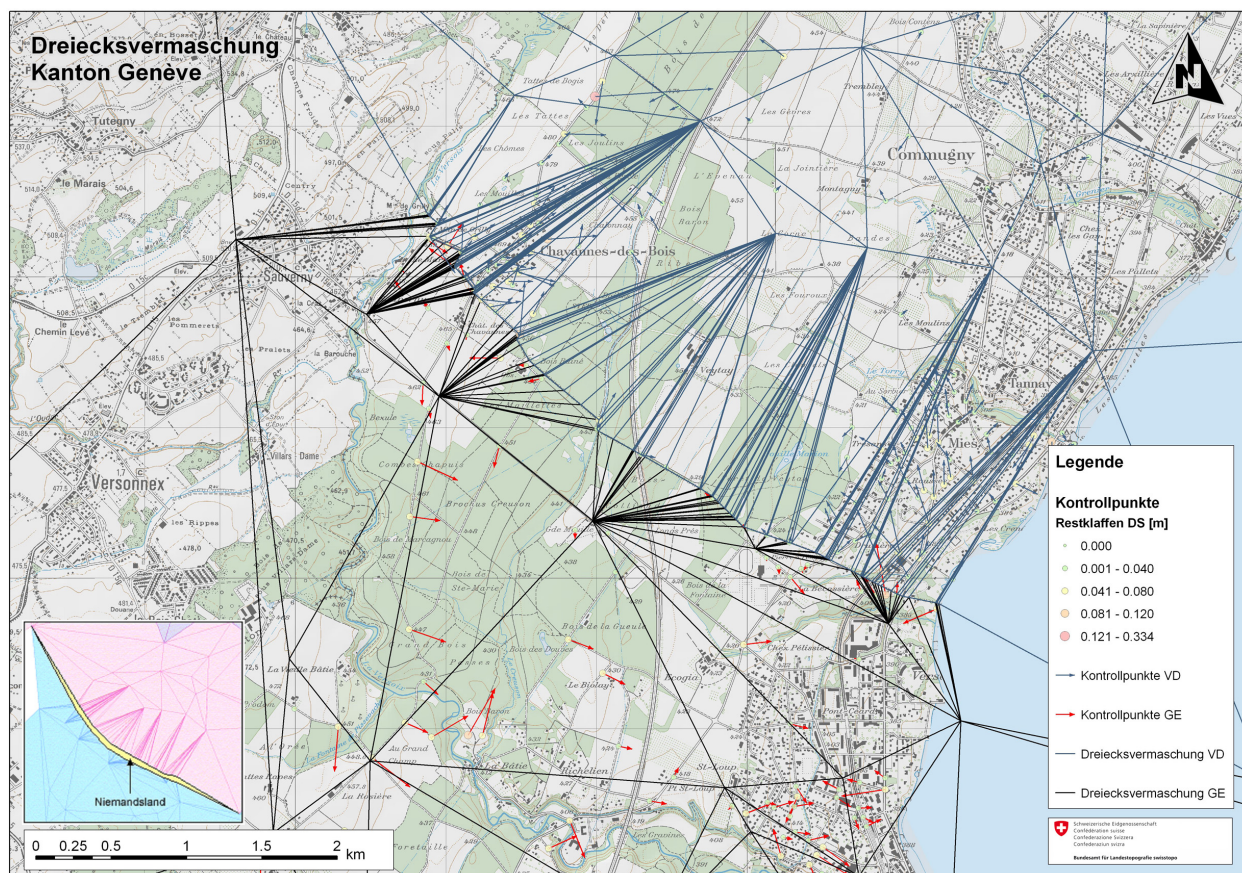


Abb. 5-3: Bruchzone GE/VD mit dem „Niemandsland“, der Dreiecksvermaschung und den Kontrollpunkten

Bei Anwendungen mit Genauigkeitsanforderungen von einigen Zentimetern bis zum Dezimeter sind für die Transformation entlang der Bruchzone aufgrund der gewählten Lösung folgende Besonderheiten zu berücksichtigen:

- Auf der Seite von Waadt ist die Transformation bezüglich der Genauigkeit ohne spezielle Einschränkung möglich. Die Transformationsgenauigkeit kann mit Hilfe der empirisch hergeleiteten Genauigkeitskarte abgeschätzt werden.
- Innerhalb des Niemandslandes ist die Transformation nicht repräsentativ. Dadurch werden in diesem Bereich allfällige Objekte mit einem bis zu 10-fachen Deformationsfaktor transformiert (10 Millionen ppm). Diese grossen Verzerrungen sind ausserdem dafür verantwortlich, dass bei Berechnungen mit alten Software-Versionen von FINELTRA unter Umständen Schwierigkeiten auftreten können.
- Ein Streifen mit einer Breite von etwa 40 cm entlang der Kantonsgrenze auf Genfer Seite kann mit den LV03-Koordinaten von Genf nicht nach LV95 transformiert werden. Die umgekehrte Transformation kann nur LV03-Koordinaten des Kantons Waadt ergeben. Allfällige Punkte, die sich auf der Seite von Genf bis etwa 40 cm von der Kantonsgrenze entfernt befinden, können zwischen LV03 und LV95 nicht direkt mit FINELTRA hin- und zurücktransformiert werden, sie sind somit manuell zu berechnen.
- Die Transformation von geometrischen Elementen, welche sich über die Kantonsgrenze erstrecken, erfordert aufgrund der starken Verzerrungen eine individuelle Handhabung.

Damit den Anwendern verdeutlicht wird, dass die Transformation innerhalb des Niemandlandes eine nichtrepräsentative Lösung liefert, wurden im Niemandland virtuelle Kontrollpunkte mit Restklaffen von grösser als 12 cm eingeführt. Auf der erzeugten Genauigkeitskarte (siehe Kapitel 6.3.3) wird die Bruchzone deshalb als kritisches Gebiet ausgewiesen.

Der Kanton Waadt hat seine Dreiecke, die an der Kantonsgrenze liegen, diversen Tests unterzogen. So wurden unter Anderem auch Tests bezüglich der Deformation von geometrischen Objekten durchgeführt. In der nachfolgenden Tabelle werden die wesentlichen Ergebnisse der Tests zusammengefasst.

Test	Resultat	Bemerkung
Abweichung aus einer Geraden	max. Abweichung = 3 mm	Orientierung der Geraden: Nord-West, Süd-Ost
Abweichung aus einer Geraden	max. Abweichung = 1 mm	Orientierung der Geraden: Süd-West, Nord-Ost
Flächendifferenz (Parzellen)	max. Massstab = 103.5 ppm	Differenz zwischen der Fläche in LV03 und LV95
Flächendifferenz (Gebäude)	max. Massstab = 110.7 ppm	Differenz zwischen der Fläche in LV03 und LV95
Winkelverzerrung (Gebäude)	max. Verzerrung = 3.7 mgon	

Tab. 5-6: Zusammenstellung der Tests an geometrischen Elementen

Ähnliche Tests für die angrenzenden Dreiecke des Kantons Genf fehlen. Es wurde insbesondere noch nicht untersucht, wie gross typischerweise die Abweichungen, Flächen- und Winkelverzerrungen für Objekte sind, die sich über die Kantonsgrenze hinweg erstrecken. Solche Erfahrungswerte fehlen noch gänzlich, manuelle Eingriffe werden hier aber unvermeidlich sein.

5.4.2 Kanton Basel-Stadt

Im Kanton Basel-Stadt ist das Stadtzentrum - als eines der wenigen Gebiete in der Schweiz - als Toleranzstufe TS 1 ausgeschieden. Dies veranlasste das kantonale Vermessungsamt in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW eine umfassende Diagnoseausgleichung für das Kantonsgebiet durchzuführen [Schütz et al. 2002 sowie Brühlmann 2004]. Basierend auf den Erkenntnissen aus diesen beiden Diplomarbeiten und aufgrund der Zwänge an der Kantonsgrenze [Hägler et al. 2003 sowie Meier et al. 2003] hat das kantonale Vermessungsamt schliesslich entschieden, die Geobasisdaten von Basel-Stadt flächendeckend mittels einer Interpolation nach LV95 überzuführen, respektive zu entzerren. Vergleiche dazu auch die Stellungnahme der GS CC/RD LV95 vom 24. Oktober 2005.

Eine flächendeckende Interpolation stellt in der Schweiz eine Ausnahme dar und ist für andere Kantone nicht zu empfehlen, setzt diese doch neben umfassenden finanziellen Mitteln auch voraus, dass alle Geobasisdaten (und nicht nur die AV-Daten) mit dem gleichen Algorithmus und den gleichen Passpunkten entzerrt werden. Letzteres kann das kantonale Vermessungsamt Basel-Stadt relativ einfach sicherstellen, in dem es auch für das kantonale GIS-Zentrum verantwortlich zeichnet.

5.4.3 Kanton Wallis

Die Dreiecksvermaschung im Kanton Wallis hat im Vergleich zu den Kantonen etwas inhomogene Dreiecksformen. Dies kommt daher, dass die erste Version mittels einer Software synthetisch, das heisst automatisch und ohne Berücksichtigung der Geschichte der Vermessungswerke erstellt wurde. Mit den weiteren Versionen wurde diese dann umgearbeitet, was aber blieb, waren die inhomogenen Dreiecksformen, die auf die unregelmässige Verteilung der Stützpunkte zurückzuführen sind.

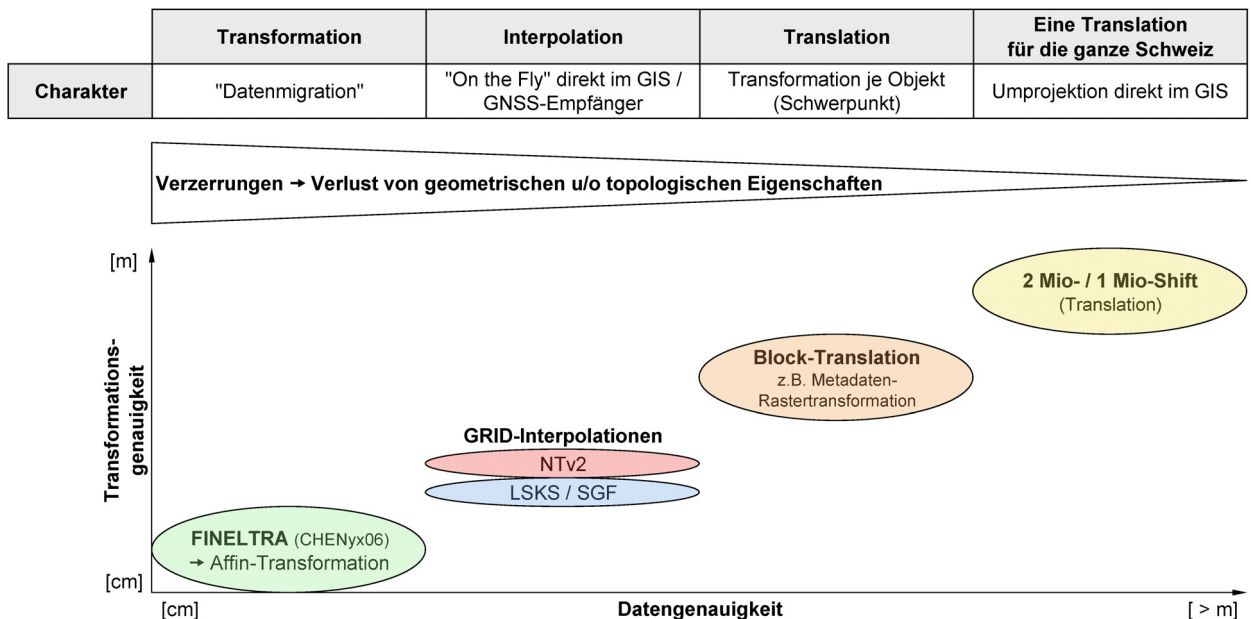
5.4.4 Rafzer Feld / Schaffhausen

Im Verifikationsdossier des Kantons Zürich sieht man schön die Bruchzone zwischen den Kantonen Zürich und Schaffhausen. Diese wurde ähnlich wie entlang der Kantonsgrenze zwischen Genf und Waadt mittels schmalen virtuellen Dreiecken modelliert. Die Ursache dazu ist auf die Entstehungsgeschichte der Triangulation 3. und 4. Ordnung von SH zurückzuführen. Da die geodätischen Grundlagen für SH den Anforderungen nicht genügten, wurde zwischen 1988 - 1990 die Triangulation im Kanton SH revidiert. Dazu wurden GPS-Messungen von swisstopo verwendet. Aufgrund der gewählten Passpunkte war die ursprünglich vorhandene Verdrehung in der Triangulation auch im revidierten Netz enthalten. Die Details sind im Operatsband „Neues LFP1 Netz im Kanton Schaffhausen, 1988 – 1990“ ersichtlich [swisstopo 1992].

6 Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95

6.1 Realisierungsvarianten in Abhängigkeit von den Genauigkeitsanforderungen

Der Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95 kann auf verschiedene Arten realisiert werden. Dabei bestimmen die Anforderungen an die Genauigkeit der Geodaten und daraus abgeleitet die Transformationsgenauigkeit das Verfahren. Als Grundsatz gilt, dass je genauer der Algorithmus ist, desto besser können Verzerrungen in LV03 eliminiert werden, was aber einen Verlust von geometrischen und / oder topologischen Eigenschaften zur Folge haben kann. Der Anwender sollte also aus einer Palette von Verfahren das für seinen Datensatz optimale auswählen. In Abb. 6-1 sind die verschiedenen Methoden, Anwendungen und Werkzeuge zusammengestellt:



Anwendung	amtliche Vermessung	GIS-Datensätze genauer 1 dm	GIS-Datensätze im dm-Bereich	GIS-Datensätze im m-Bereich
	"genaue" GIS-Datensätze	GNSS-Empfänger	Rasterdaten mit Pixelgrösse im dm-Bereich	Rasterdaten mit Pixelgrösse im m-Bereich
Tools	REFRAME FINELTRA-Datenviewer	swipos-GIS/GEO® FINELTRA-Datenviewer	REFRAME (in Vorbereitung)	Projection Engine im GIS-System

Abb. 6-1: Realisierungsvarianten für den Bezugsrahmenwechsel in Abhängigkeit von der Datengenauigkeit und mit Andeutung der Verzerrungen

Bezogen auf die wichtigsten Geobasisdaten von swisstopo kommen folgende Verfahren zur Anwendung:

- Die *Daten der amtlichen Vermessung* werden wahrscheinlich ausnahmslos - abgesehen von den Gebieten, in welchen eine lokale Entzerrung (Interpolation) erforderlich sein wird - mit FINELTRA und damit mit dem genauesten Algorithmus transformiert.
- Die *Gitter basierten Interpolationsverfahren* kommen neben den *GIS-Systemen* insbesondere auch auf *GNSS-Empfängern* bei Echtzeit-Positionierungsmethoden zur Anwendung, wobei der Genauigkeitsverlust im Vergleich zu FINELTRA für die meisten Gebiete der Schweiz vernachlässigbar ist (siehe Kapitel 6.6).
- Die *Block-Translation* kommt bei den Orthofotos von SWISSIMAGE (*Rasterdaten*) zur Anwendung (siehe Kapitel 7).
- Die *Vektordaten* VECTOR25 werden mit einer einfachen *2 Mio. m / 1 Mio. m - Translation*

nach LV95 überführt.

Zu beachten gilt es weiter, dass der FINELTRA-Ansatz proprietär ist, während dem die Gitterbasierte Interpolation, aufbauend auf dem NTV2-Format, sowie die 2 Mio. m / 1 Mio. m - Translation von den meisten GIS-Systemen standardmässig unterstützt wird. Bei den Rasterdaten kann mit der Block-Translation ein Re-Sampling des Bildes und ein damit verbundener möglicher Qualitätsverlust umgangen werden.

6.2 Dreiecksvermaschung für FINELTRA auf Stufe Landesvermessung

In der LV95-Serie „Berichte aus der L+T“, Teil 4 [Chablais et al. 1995], Teil 8 [Signer et al. 2001] und Teil 9 [Signer et al. 1999] sind die Arbeiten und Analysen zur Entzerrung der bestehenden Landestriangulation 1. / 2. Ordnung ausführlich dokumentiert. Diese Untersuchungen bilden die Grundlage für die Dreiecksvermaschung über die ganze Schweiz auf der Stufe der Landesvermessung. Die nachfolgende Grafik zeigt die Verzerrungen auf den entsprechenden Transformationsstützpunkten.

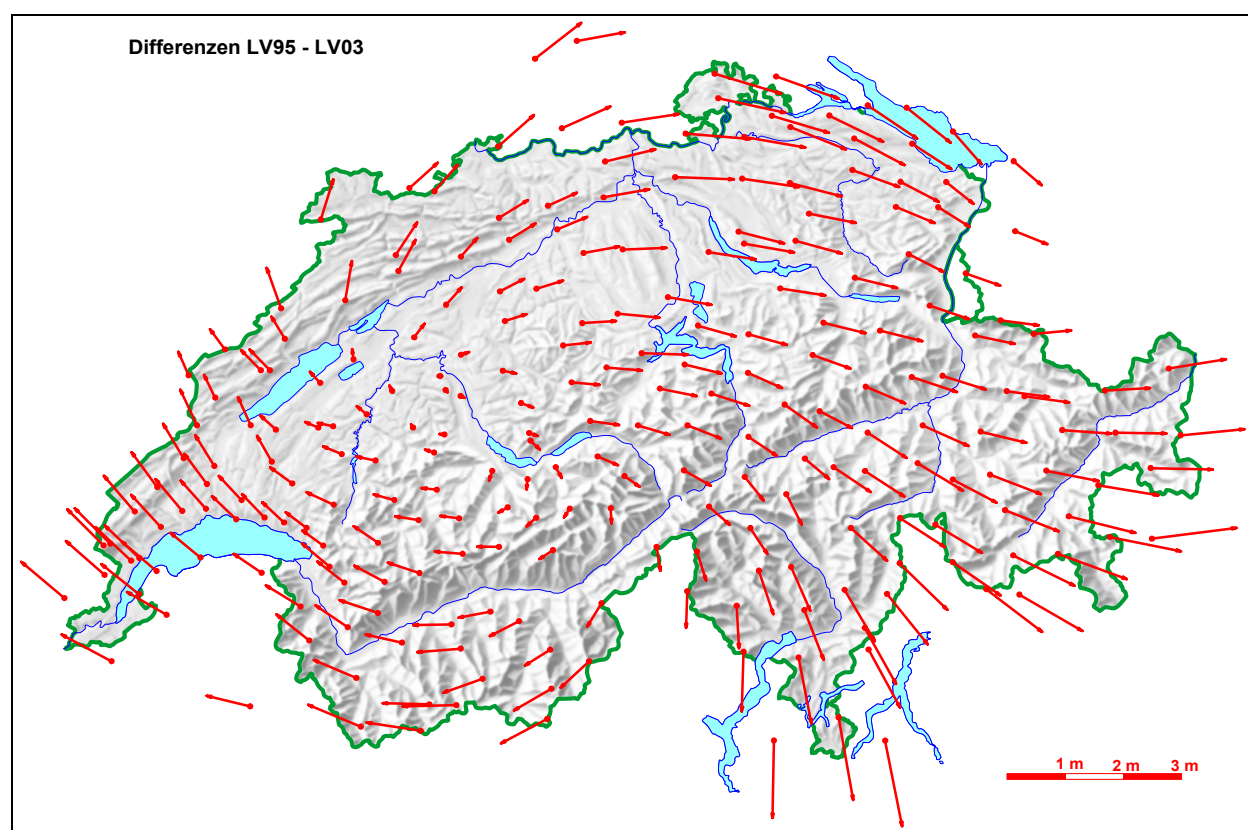


Abb. 6-2: Bild der Differenzvektoren LV95 – LV03 über die ganze Schweiz

Die zu erwartende Genauigkeit der Transformation mit FINELTRA-LV entspricht der ursprünglichen Qualität der Nachbargenauigkeit im Triangulationsnetz 1./ 2. Ordnung. Diese konnte mit Hilfe der Diagnoseausgleichung 1./2. Ordnung und den Anschlussmessungen an die LV95-Punkte recht gut abgeschätzt werden. Im Mittelland waren demzufolge Werte von einigen Zentimetern, in den Bergen solche von wenigen Dezimetern zu erwarten. Es war also von Anfang an klar, dass diese Dreiecksvermaschung für die Bedürfnisse der AV nicht genügen würde und eine entsprechende Verdichtung auf Stufe der AV notwendig war (siehe nächstes Kapitel). Als Näherungslösung im Dezimeterbereich konnte dieser Datensatz trotzdem schon für viele Zwecke im GIS-Bereich oder bei Datenerhebungen mit geringeren Genauigkeitsanforderungen verwendet werden. Beispielsweise wurde diese Möglichkeit des genäherten Bezugsrahmenwechsels schon früh im Positionierungsdienst swipos-GIS/GEO als Option online angeboten.

6.3 Dreiecksvermaschung für FINELTRA auf Stufe amtliche Vermessung

Mit dem Entscheid, den Bezugsrahmen LV95 langfristig als offiziellen Rahmen in der amtlichen Vermessung einzuführen, musste eine Grundlage geschaffen werden, mit welcher die Daten zwischen den beiden Rahmen LV03 und LV95 transformiert werden können. Des Weiteren wurde entschieden, dass die Transformationsgrundlage auf einer nationalen Dreiecksdefinition für FINELTRA beruht. Diese Dreiecksvermaschung, die für jedes Dreieck eine finite Affintransformation definiert, ist in der amtlichen Vermessung als strenge (exakte) Lösung zu betrachten. Da die Geobasisdaten der amtlichen Vermessung im Vergleich zur Landesvermessung zusätzliche Verzerrungen aufweisen, können mit der Vermaschung auf Stufe Landesvermessung (siehe vorangehendes Kapitel) die Genauigkeitsanforderungen der TVAV nicht eingehalten werden. Aus diesem Grund war es notwendig, diese Vermaschung zu verfeinern. Nur so konnte erreicht werden, dass die systematischen lokalen Verzerrungen, die in LV03 bestehen, mittels FINELTRA berücksichtigt werden können.

Die Dreiecksvermaschung für die NGDI wurde durch die Kantone in Zusammenarbeit mit swisstopo erarbeitet. Die Geodäsie (Prozess GF) koordinierte, verifizierte die Arbeiten und setzte anschliessend die einzelnen Kantonsdateien zu einer nationalen Vermaschung zusammen. Der auf diese Weise gebildete FINELTRA- Datensatz wird CHENyx06 genannt.

Zur Unterstützung der Kantone bei der Erarbeitung von CHENyx06 wurden von der Geodäsie zusammen mit dem CC RD/LV95 folgende Empfehlungen und Weisungen verfasst:

- Weisungen betreffend die Erstellung der kantonalen Dreiecksvermaschung [swisstopo 2000]
- Technische Hinweise zur Erstellung der Dreiecksvermaschung mit Checkliste und einer Vorlage für die Auswertung der Verteilung der Restklassen [swisstopo 2004c]
- Empfehlungen bezüglich den Qualitätsanforderungen bei der Erstellung der Dreiecksvermaschung durch die Kantone [swisstopo 2004d]

6.3.1 Transformationsstützpunkte

Als Stützpunkte für die Dreiecksdefinition wurden folgende Punkttypen verwendet:

- LFP1 (Haupt- und Verdichtungspunkte des LV95-Netzes, AGNES-Stationen, Triangulationspunkte 1. bis 3. Ordnung) → sog. TSP1
- LFP2 → sog. TSP2
- LFP3, Grenzpunkte und virtuelle Punkte

Virtuelle TSP sind Punkte, die nicht materialisiert sind, sondern nur rein „imaginär“ zur Definition der Dreiecksvermaschung existieren. Es sind dies vorwiegend Punkte, die entweder aus reellen Punkten abgeleitet wurden, die nicht direkt zugänglich sind oder die sich am Rande der Vermaschung ausserhalb der Schweiz befinden. Von den Transformationsstützpunkten (TSP) mussten die LV95- Koordinaten bestimmt werden.

6.3.2 Hierarchiestufen bei den Transformationsstützpunkten

Den Kantonen war grundsätzlich freigestellt, welche Punkte sie als Transformationsstützpunkte (TSP) übernehmen wollten. In den „Weisungen betreffend die Erstellung der kantonalen Dreiecksvermaschung“ [swisstopo 2000] wurde von der Geodäsie definiert, nach welchen Kriterien die Auswahl der TSP vorzunehmen ist.

Im Zusammenhang mit der Bestimmung der Koordinaten in LV95 waren die LFP1 den anderen TSP hierarchisch übergeordnet. So wurde in den „Technischen Hinweisen zur Erstellung der Dreiecksvermaschung“ [swisstopo 2004c] festgehalten, dass die LFP1 als Festpunkte in die Ausgleichung zu integrieren sind. Koordinatenänderungen bei den LFP1 (sowohl im Rahmen LV03 als auch im Rahmen LV95) durften die Kantone nur nach erfolgter Rücksprache mit der Geodäsie vornehmen.

6.3.3 Qualitätsnachweis anhand von Kontrollpunkten

Der FINELTRA-Algorithmus berechnet für jedes Dreieck aus den Transformationsstützpunkten individuelle Transformationsparameter. Mit drei verfügbaren Passpunkten je Element ist die Affintransformation in diesem Fall nicht überbestimmt, so dass sich analytisch kein Schätzwert für die Güte des Transformationsmodells (Varianzfaktor σ_0^2), bzw. für die mittlere Klaffung eines Punktes (analog dem Helmertschen-Punktfehler) berechnen lässt. Dies z.B. im Unterschied zur bilinearen Interpolation mit dem Format NTV2 (siehe Kapitel 6.6.2), wo für jeden Stützpunkt eine Genauigkeit berechnet und direkt mit dem Entzerrungsgitter mitgeliefert werden kann. Für den Nachweis der Qualität der Dreiecksvermaschung, bzw. der Transformation bot sich daher ein empirischer Ansatz anhand von Kontrollpunkten an.

Insgesamt wurden Schweiz weit rund 45'000 dieser so genannten Kontrollpunkte gemessen, wobei die mit der Dreiecksvermaschung transformierten Koordinaten mit den gemessenen Werten verglichen und Differenzvektoren (Restklaffen) gebildet wurden.

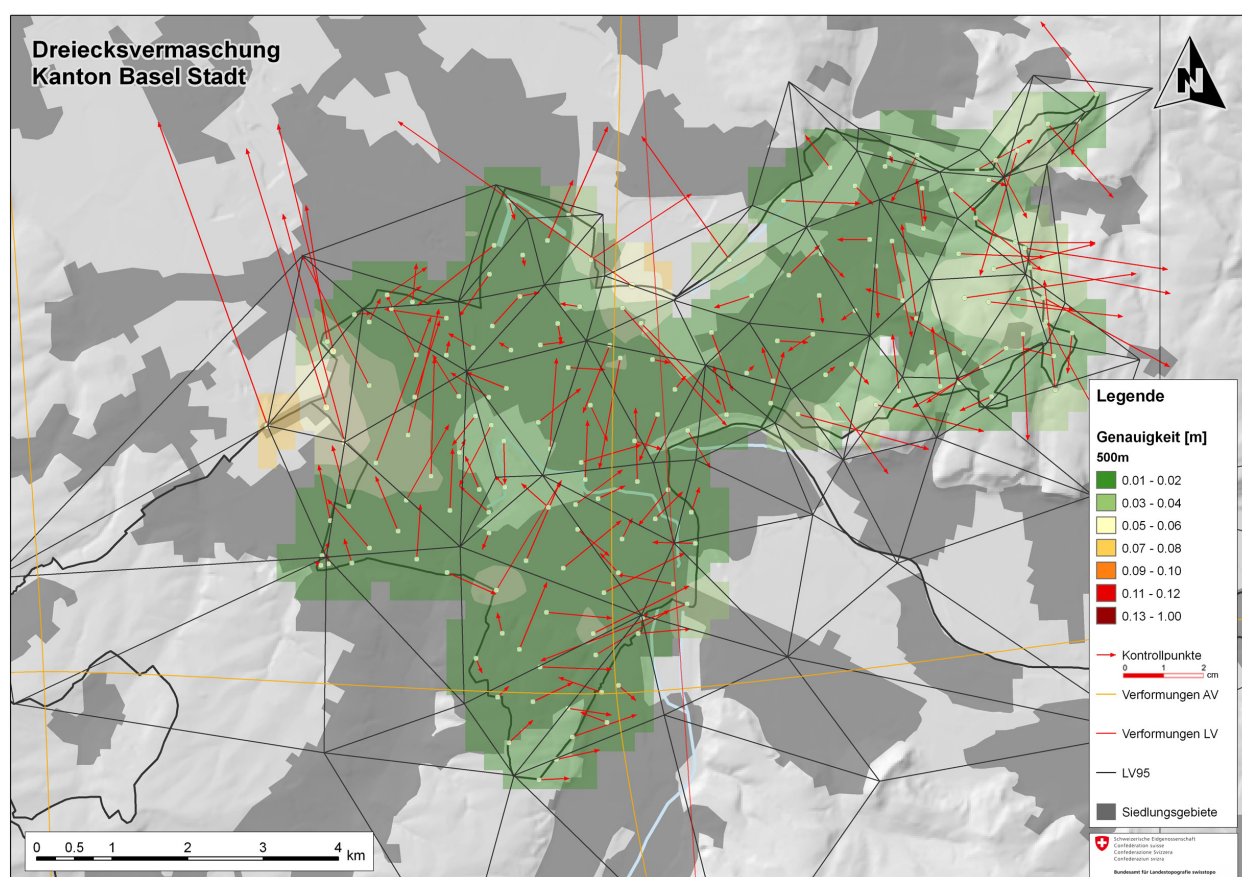


Abb. 6-3: Aufgenommene Kontrollpunkte im Kanton Basel-Stadt. Die Restklaffen sind im Allgemeinen sehr klein. Ausser ganz im Westen und Osten zeigen die Vektoren, welche gleichmässig über das Kantonsgebiet verteilt sind, keine systematischen Anteile mehr.

Die Kontrollpunkte wurden von den kantonalen Vermessungsfachstellen ausgewählt, wobei möglichst repräsentative Punkte (LFP2, LFP3 und Grenzpunkte) gemessen werden sollten. Die Kantone haben diese Aufgabe unterschiedlich gelöst, was einerseits die Anzahl der erhobenen Kontrollpunkte (siehe Dichtekarte in Abbildung 6-5) und andererseits die Punktkategorie (nur kantonale Fixpunkte LFP2 oder auch Punkte auf Gemeindeebene wie LFP3 und Grenzpunkte) betrifft. So haben z.B. die Kantone Zug, Genf, Basel-Stadt und Basel-Land oder auch Neuenburg sehr viele LFP3 und Grenzpunkte als Kontrollpunkte verwendet, währenddem z.B. die Kantone Graubünden, Thurgau, Solothurn oder Luzern praktisch ausschliesslich LFP2 verwendet haben. Ersteres bedeutet, dass die Qualität der Dreiecksvermaschung bis auf Stufe

Parzellarvermessung (LFP3 und GP) überprüft werden konnte, letzteres nur bis auf Stufe kantonale Fixpunkte (LFP2). In der nachfolgenden Abbildung 6-4 sind die beiden Fälle symbolisch dargestellt:

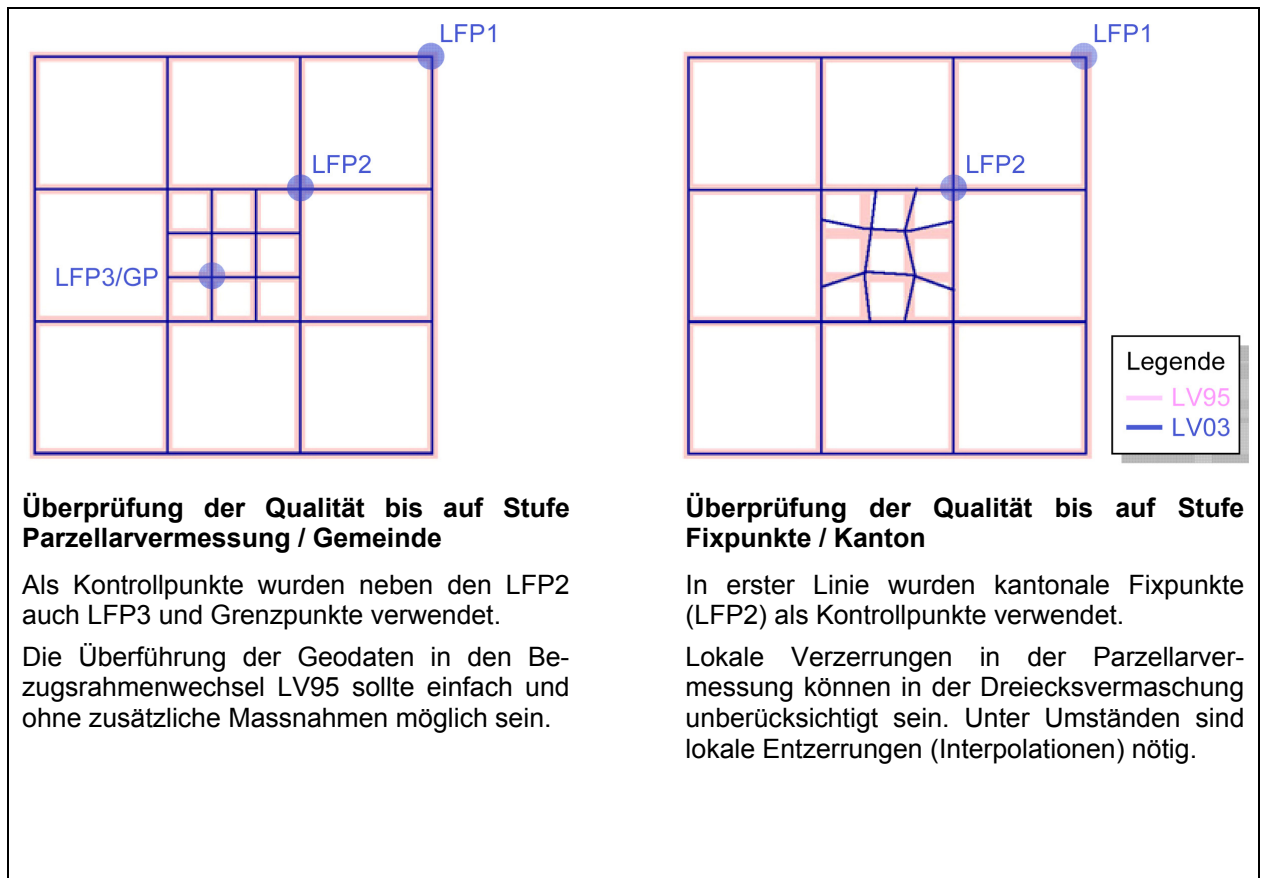


Abb. 6-4: Bedeutung der Auswahl der Kontrollpunkte für den Qualitätsnachweis der Dreiecksvermaschung

Entsprechend unterschiedlich ist die Qualität der kantonalen Dreiecksvermaschungen einzuschätzen, was die Abbildung von lokalen inhomogenen Verzerrungen in der Parzellarvermessung anbelangt. Dies hatte swisstopo unter anderem auch veranlasst, in einzelnen Kantonen zusätzliche Kontrollpunkte, vorwiegend LFP3 oder Grenzpunkte, erheben zu lassen.

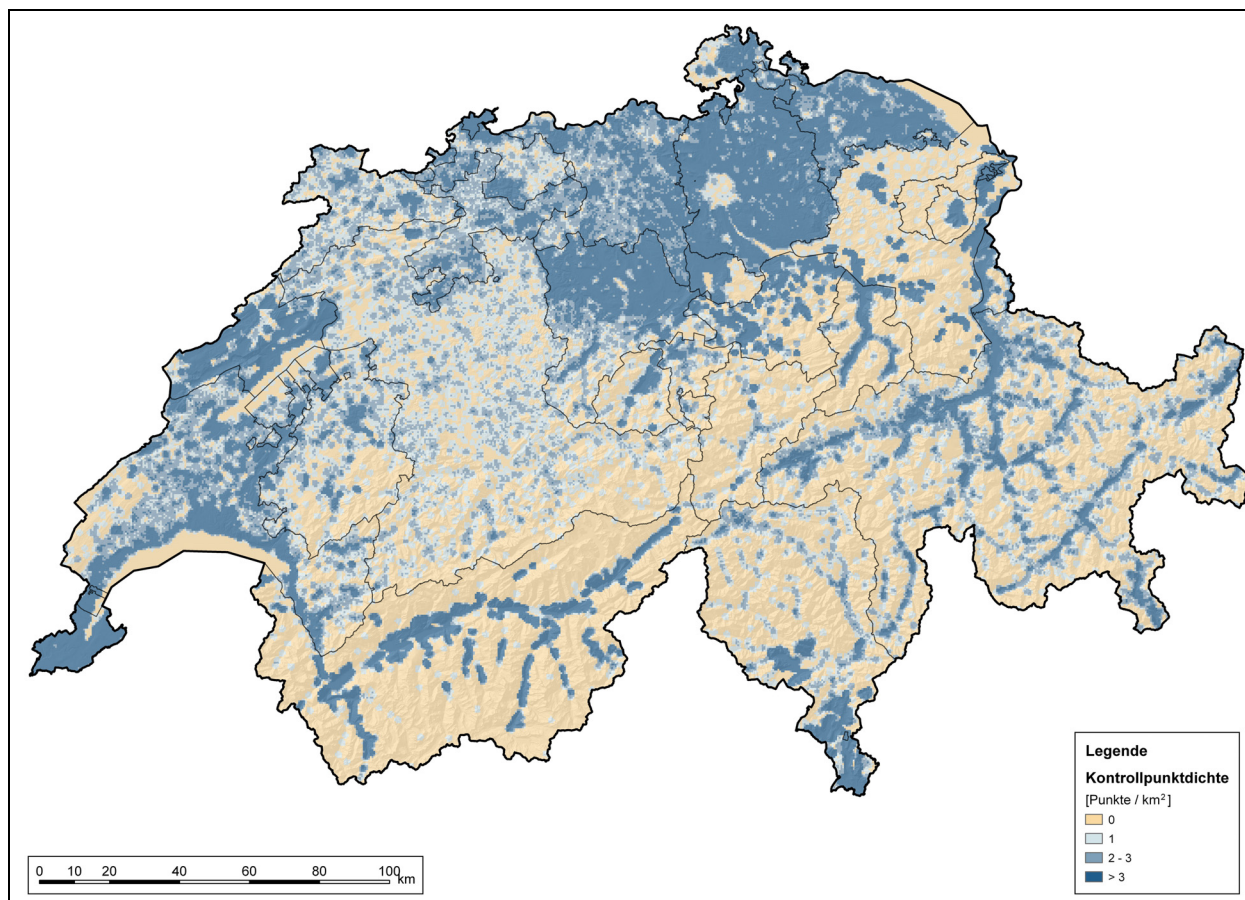


Abb. 6-5: Kontrollpunkte-Dichte über die ganze Schweiz: Je höher die Dichte an Kontrollpunkten, desto breiter abgestützt ist die Angabe zur empirischen Genauigkeit der Transformation LV03 ↔ LV95 (siehe Genauigkeitskarte in Abbildung 6-7). In den orangenen Gebieten konnten keine Kontrollpunkte erhoben werden. Damit kann in diesen Regionen auch keine Aussage zur empirischen Genauigkeit gemacht werden.

Gemäss den „Empfehlungen bezüglich den Qualitätsanforderungen bei der Erstellung der Dreiecksvermaschung durch die Kantone“ [swisstopo 2004d] mussten die Restklaffen in Abhängigkeit von der Toleranzstufe eine vorgegebene Verteilung erfüllen und durften einen bestimmten Toleranzwert nicht überschreiten (siehe Kapitel 6.6). Die Restklaffen, die ausserhalb der Toleranz lagen, mussten von den Kantonen genauer analysiert werden. Falls die Restklaffen auf eine systematische Verzerrung hinwiesen, hatte dies in einem iterativen Prozess die Verbesserung der Dreiecksvermaschung (Wahl eines repräsentativeren TSP oder Verdichtung) zur Folge. Zur Beurteilung der Restklaffen erstellten die Kantone je ein Histogramm für die Bauzonen (Toleranzstufen TS 1 und 2) sowie für die übrigen Gebiete (TS 3 - 5) mit einer von der Geodäsie vorgegebenen Klassifizierung (vgl. Abbildung 6-6). Die Klassifizierung richtete sich dabei nach der Grösse der Restklaffen. Die Beurteilung der Restklaffen war Bestandteil der Verifikation (siehe Kapitel 6.3.5.1 „Verifikation der kantonalen Dreiecksvermaschungen“).

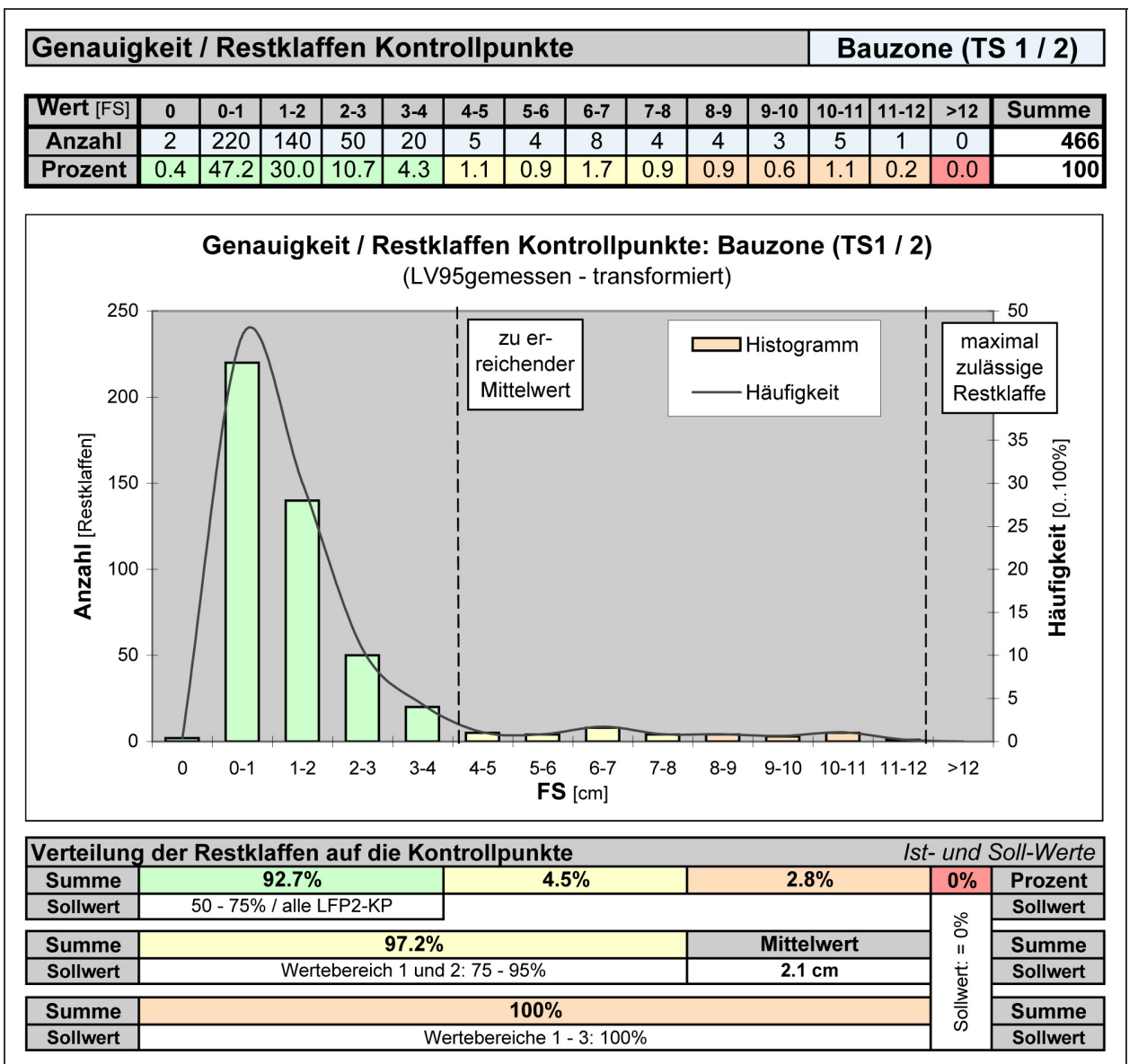


Abb. 6-6: Histogramm mit den Restklaffen der Kontrollpunkte zur Überprüfung der Qualität der Dreiecksvermaschung

Gestützt auf die erhobenen Kontrollpunkte wurde von der Geodäsie eine Genauigkeitskarte für die gesamte Schweiz erzeugt. Mit Hilfe der Restklaffen wurde in einem GIS eine Interpolation berechnet. Als Interpolationsverfahren kam dasjenige des „gewichteten Mittels“ zur Anwendung, wobei für das ganze Gebiet der Schweiz Zellen von 500 m x 500 m Grösse gebildet wurden. Für jede Zelle wurde aus den fünf umliegenden Punkten ein Mittelwert für die Genauigkeit berechnet. Das Gewicht des einzelnen Punktes nahm mit dem Abstand zur Zellmitte quadratisch ($1/\text{Distanz}^2$) ab. Zudem wurden nur Punkte berücksichtigt, welche sich bis maximal 1.5 km von der Zellmitte entfernt befanden. Die Qualität dieses Interpolationsverfahrens hängt einerseits von der Verteilung und Messgenauigkeit der Kontrollpunkte, andererseits aber auch von der möglichst repräsentativen Auswahl solcher Punkte ab. Zur einheitlichen Darstellung der interpolierten Genauigkeiten wurden Klassen mit unterschiedlichem Genauigkeitsbereich definiert (siehe Transformationsgenauigkeit in der nachfolgenden Abbildung 6-7), wobei der Betrag des Restklaffenvektors (so genanntes FS / 1D) aufgetragen wurde. Möchte man hingegen die 2D-Transformationsgenauigkeit (Helmertscher mittlerer Punktfehler) berechnen, so müssen die angegebenen Werte dementsprechend noch mit Wurzel 2 multipliziert werden.

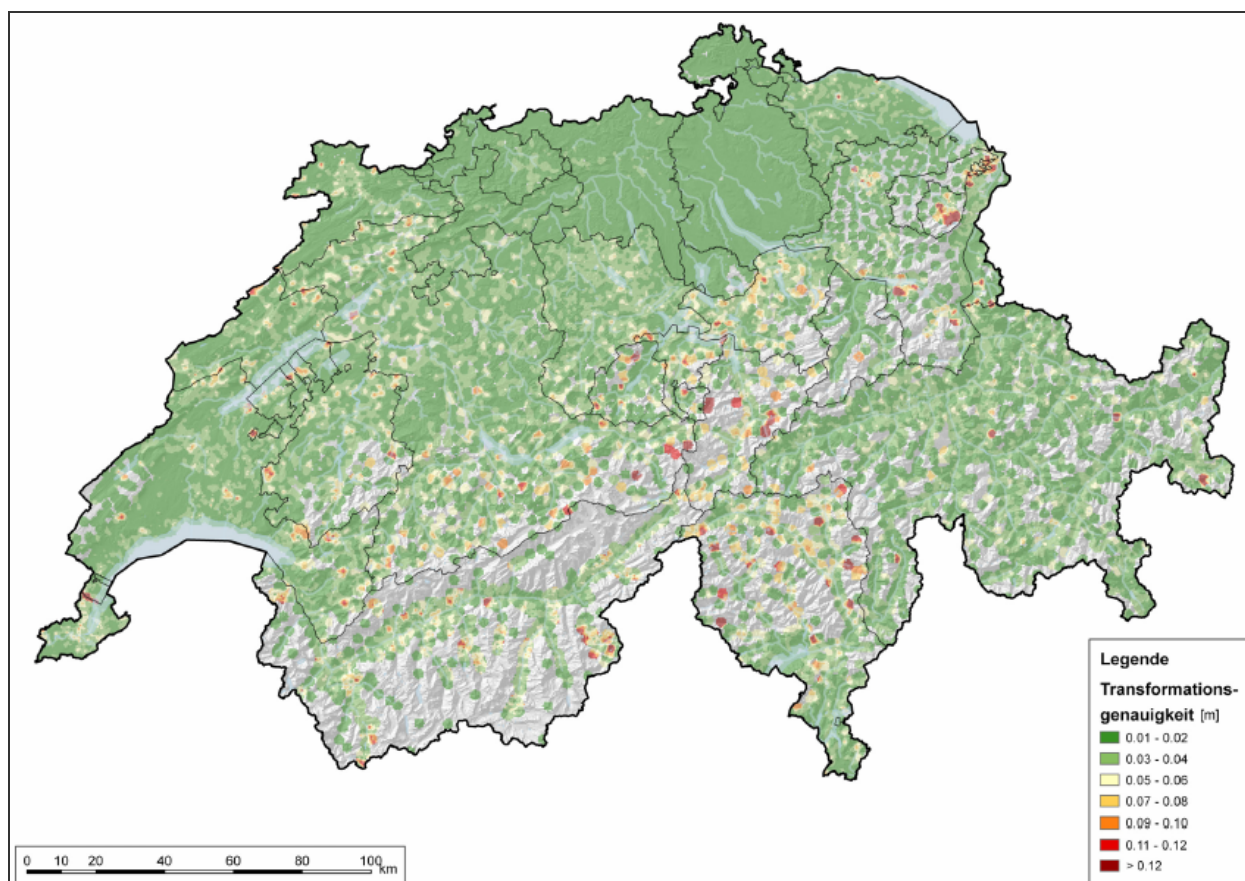


Abb. 6-7: Transformationsgenauigkeit (FS / 1D), abgeleitet aus den Kontrollpunkten

Mit Hilfe der Genauigkeitskarte können folgende bedeutenden Informationen gewonnen werden:

- Es kann abgeschätzt werden, mit welcher Genauigkeit der Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95 und damit indirekt auch der Anschluss an internationale Bezugssysteme wie zum Beispiel WGS84 oder ETRS89 (inkl. Datenaustausch mit den Nachbarländern) mittels Transformation vollzogen werden kann.
- Für Nutzer des Positionierungsdienstes swipos® mit Realtime-FINELTRA gibt die empirische Genauigkeitskarte Hinweise, wo bei GNSS-Messungen auch im heute gültigen Bezugsrahmen LV03 Zentimeter-Genauigkeit erreicht werden kann, ohne dass eine lokale Einpassung erforderlich werden sollte.
- Im Hinblick auf die Umstellung auf LV95 können die Gebiete ausgeschieden werden, in welchen mit CHENyx06 die Genauigkeitsanforderungen gemäss TVAV nicht eingehalten werden können und deshalb lokale Entzerrungen (Interpolationen) erforderlich sein werden.

Damit diese Informationen für sämtliche Anwender zugänglich gemacht werden konnten, wird die Genauigkeitskarte über das offizielle Internet-Portal zum Bezugsrahmenwechsel publiziert. Zu diesem Zweck wurde eigens ein interaktiver Datenviewer entwickelt (siehe Kapitel 10). Es ist vorgesehen, die Karten bis 2016, respektive 2020 - entsprechend dem Voranschreiten der lokalen Entzerrungen in der amtlichen Vermessung - periodisch zu aktualisieren.

6.3.4 Kantonale Dreiecksvermaschungen

Der nationale FINELTRA-Datensatz wurde aus den einzelnen kantonalen Lösungen gebildet. Die Kantone definierten selbständig ihre Dreiecksvermaschung und lieferten diese an die Geodäsie zur Verifikation. Im Bereich der Kantonsgrenzen arbeiteten die Kantone zusammen und stimmten die kantonalen Dreiecksvermaschungen aufeinander ab. Dadurch konnte der Bereinigungsaufwand bei der Bildung der nationalen Dreiecksvermaschung optimiert werden. Teilweise erarbeiteten die Kantone auch gemeinsame Dreiecksdefinitionen. Eine solche Kooperation war bei den Kantonen Appenzell-Innerrhoden, -Ausser rhoden und St. Gallen sowie bei den Kantonen Nid- und Obwalden zu finden.

Die Geodäsie und die V+D begleiteten die Arbeiten. Als Weisungen und Unterlagen wurden die in Kapitel 6.3 erwähnten Dokumente bereitgestellt [swisstopo 2000, 2004c, 2004d].

Die Arbeiten zu den kantonalen Dreiecksvermaschungen begannen im Jahr 1999 und konnten dank des grossen Einsatzes der kantonalen Vermessungsfachstellen Ende 2006 abgeschlossen werden.

6.3.5 Verifikation / Qualitätskontrolle

Die Kontrollen zur nationalen Dreiecksvermaschung fanden zweistufig statt. Zunächst wurden die kantonalen Definitionen einzeln geprüft. Bei dieser Kontrolle ging es im Wesentlichen um die Transformationsgenauigkeit und die Verzerrungen. In einem zweiten Schritt wurden die einzelnen kantonalen Datensätze zu einem gesamtschweizerischen, konsistenten Datensatz zusammengefügt. Dabei ging es vor Allem darum, die Schnittstellen an den Kantonsgrenzen abzugleichen und zu koordinieren, um so noch vorhandene Widersprüche und Fehler zu eliminieren.

6.3.5.1 Verifikation der kantonalen Dreiecksvermaschungen

Die technische Verifikation der kantonalen Dreiecksvermaschungen wurde vom Bereich Geodäsie (Prozess GF) durchgeführt. Zu Beginn der Arbeiten meldeten die Kantone die Dreiecksvermaschung als Projekt an. Damit verbunden war meist auch die Anpassung des kantonalen Fixpunktkonzepts. Nach der erteilten Genehmigung durch die Geodäsie/V+D durften die Kantone mit der Umsetzung beginnen. Bei den meisten Kantonen lief die Verifikation nach folgendem Schema ab:

- Begutachtung und Genehmigung des Projektes und des Konzepts
- Verifikation der Koordinatenbestimmung in LV95 für die Transformationsstützpunkte (TSP) und die Kontrollpunkte
- Verifikation der kantonalen Dreiecksvermaschung: Gegebenfalls resultierte daraus eine Nachbesserung der Dreiecksdefinition oder die Behebung weiterer Mängel.
- Schlussverifikation zur Mängelbehebung

Teilweise wurde die Koordinatenbestimmung in LV95 und die Erstellung der Dreiecksvermaschung in einem Schritt verifiziert.

Die Verifikation der GPS-Messungen in LV95 erfolgte nach den Vorgaben gemäss TVAV und den „Richtlinien zur Bestimmung von Fixpunkten in der AV“ [swisstopo 2005]. Die Erstellung der Dreiecksvermaschung geschah nach den Grundsätzen in den spezifischen Weisungen und Richtlinien, nach denen die Arbeiten auch überprüft wurden (siehe Kapitel 6.3.4). Dabei wurden die Gebiete unterschieden, in denen der Qualitätsstandard AV93 bereits verfügbar war und solche, wo keine AV-Daten existierten oder diese nur in anderen Qualitätsstandards zur Verfügung standen. Des Weiteren beurteilte die Geodäsie die kantonalen Lösungen nach folgenden Kriterien:

- Flächenverzerrung (Dilatation) der Dreiecke
- Rotation der Dreiecke
- Differenz der Massstabsfaktoren zu den benachbarten Dreiecken
- Richtungsverzerrung (Scherung) der Dreiecke
- Grösse, Verteilung und Systematik der Restklaffen bei den Kontrollpunkten
- Grösse der Dreiecke

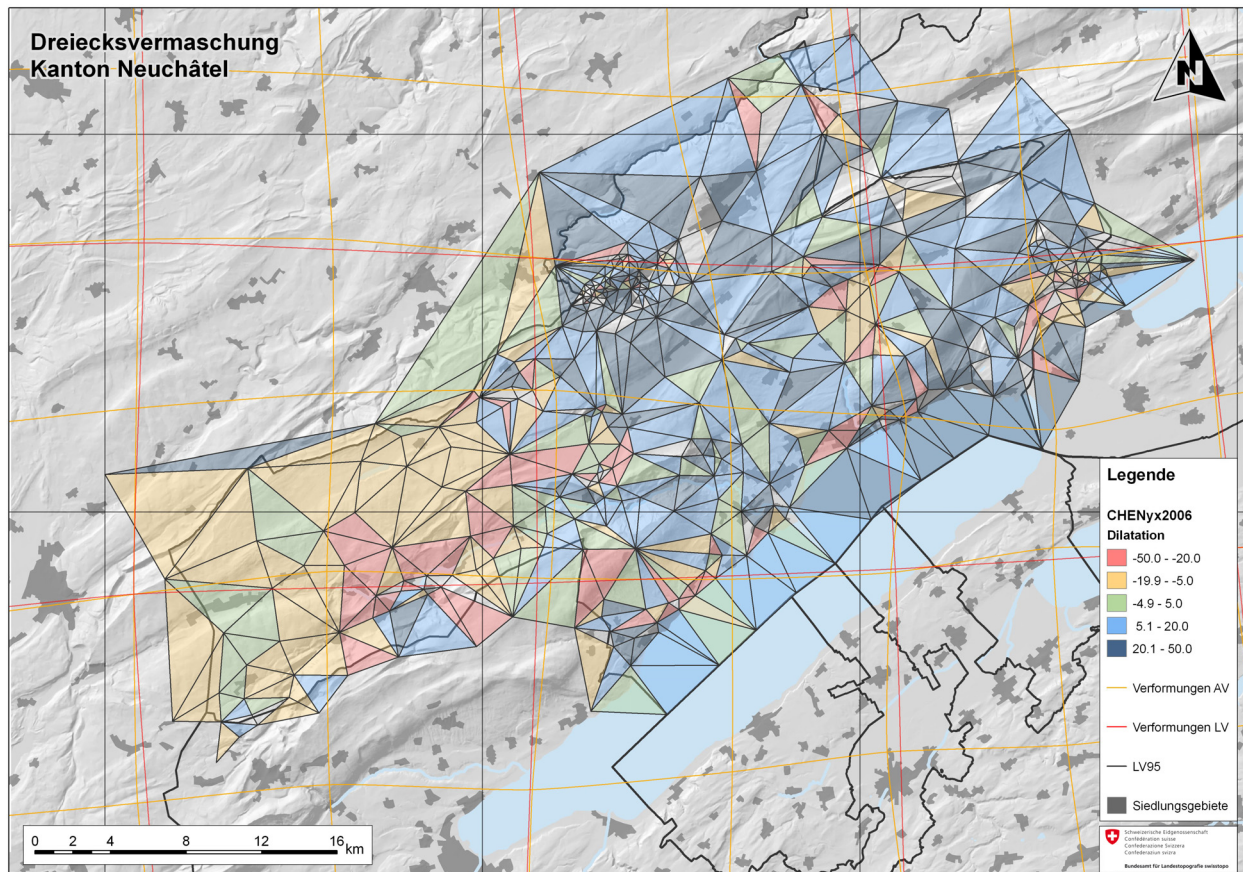


Abb. 6-8: Dreiecksvermaschung des Kantons Neuchâtel mit dem Verzerrungsparameter „Dilatation“, welcher eine Ausdehnung oder Stauchung des Dreiecks durch die Transformation LV03 → LV95 angibt. Die westlichen Kantonsteile zeigen eher Kompressionen, währenddem der Osten eine Extension erfährt. Das rote Koordinatengitter zeigt die Verzerrungen von LV03 auf Stufe Landesvermessung an, das orange die detaillierteren Verformungen auf Stufe amtliche Vermessung und das schwarze den neuen praktisch fehlerfreien Bezugsrahmen LV95. Gut erkennbar ist auch die Verdichtung der Dreiecksvermaschung bei Le Landeron / La Neuveville sowie bei Le Locle.

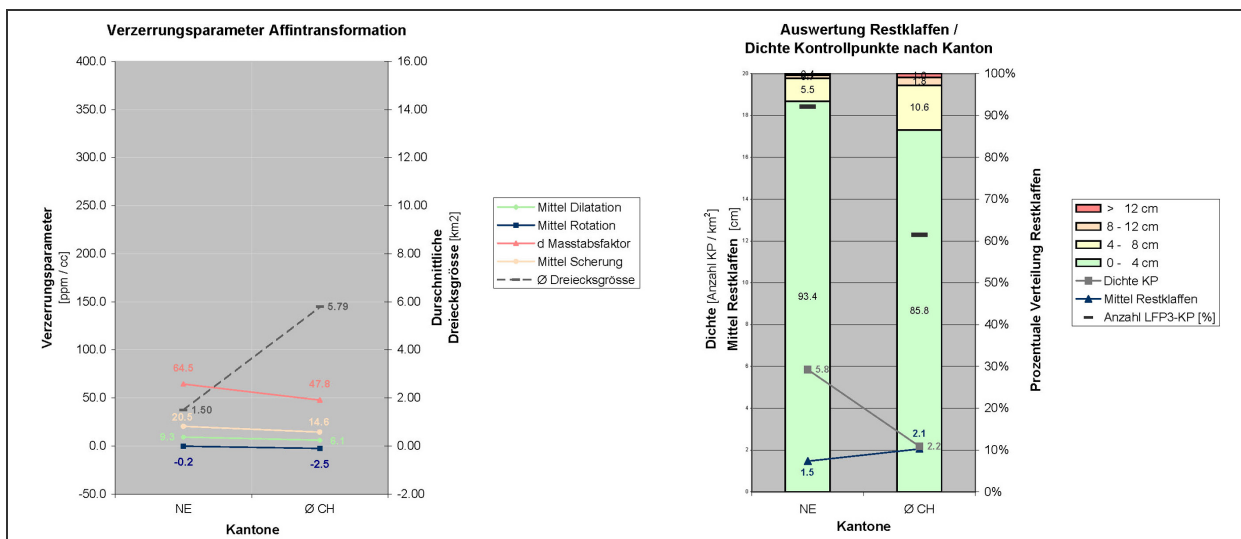


Abb. 6-9: Verzerrungsparameter und Verteilung der Restklaffen für den Kanton Neuchâtel [NE] im Vergleich zu den Durchschnittswerten der Schweiz [Ø CH].

Besonderes Augenmerk richtete die Verifikation auf die Analyse der Restklaffen, da vor allem diese zur Abschätzung der Transformationsgenauigkeit verwendet wurden. In diesem Zusammenhang wurde die bereits erwähnte Genauigkeitskarte erzeugt, die für die Anwender hilfreiche Hinweise liefert. Nähere Einzelheiten dazu wurden im Kapitel 6.3.3 erläutert.

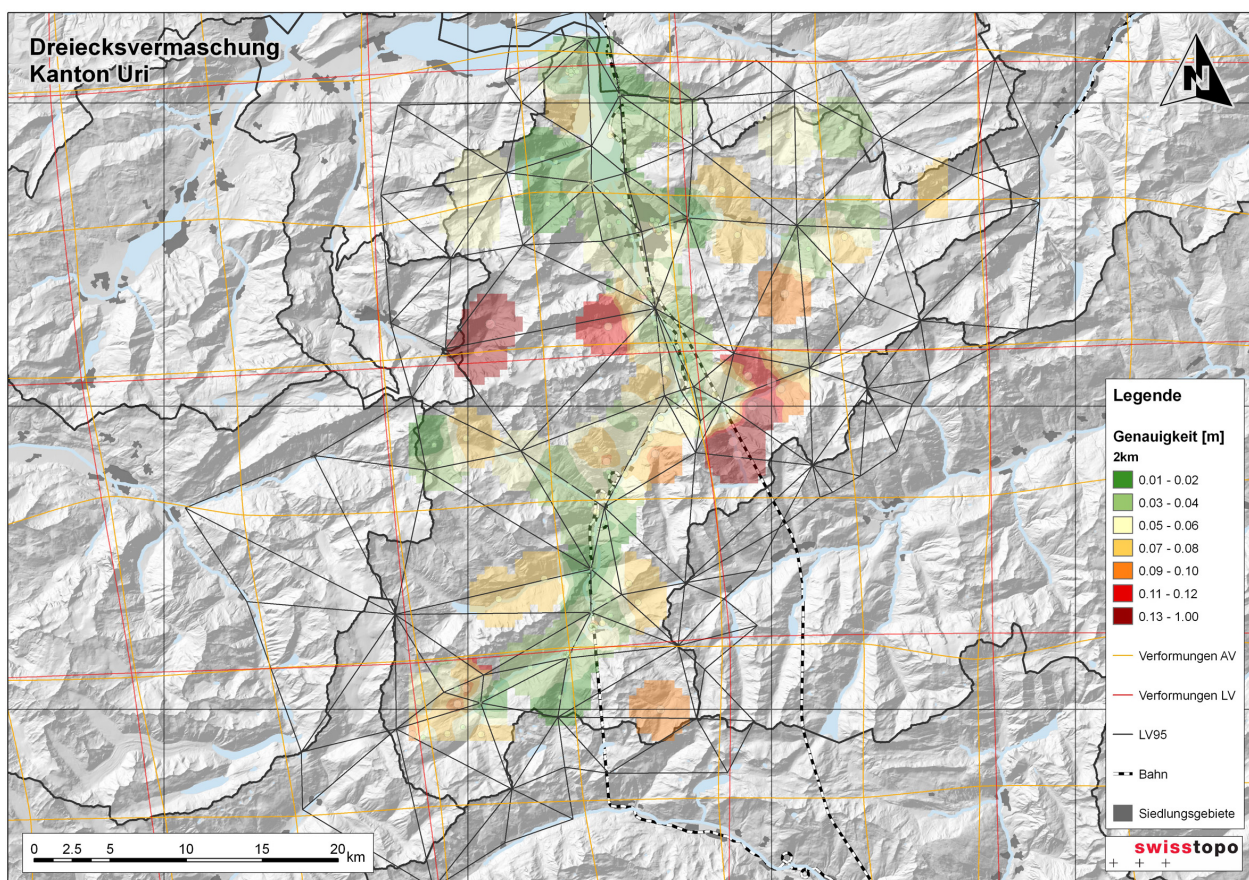


Abb. 6-10: Dreiecksvermaschung des Kantons Uri mit den Kontrollpunkten und daraus abgeleitet die Genauigkeitskarte. Gut erkennbar ist, dass die Dreieckseiten entlang der Täler gelegt und viele Kontrollpunkte (mit kleinen Restklaffen) im Siedlungsgebiet erhoben wurden. Im Berggebiet gibt es hingegen kaum Kontrollpunkte (und entsprechend grosse Restklaffen oder gar keine Aussagen).

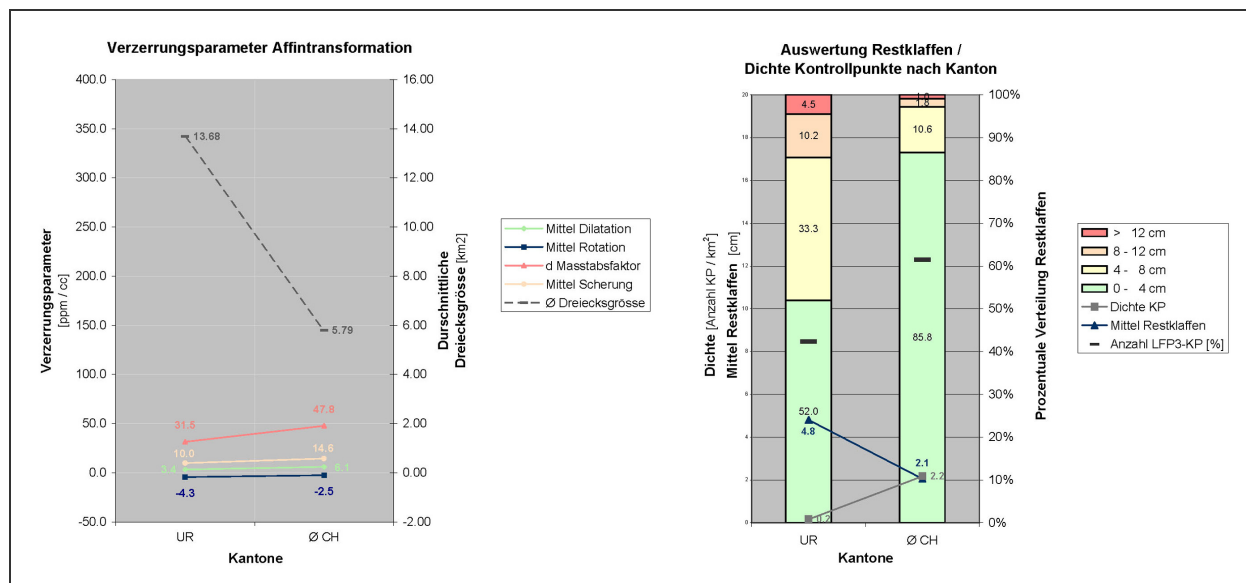


Abb. 6-11: Verzerrungsparameter und Verteilung der Restklaffen für den Kanton Uri [UR] im Vergleich zu den Durchschnittswerten der Schweiz [ØCH]: Der Bergkanton hat im Vergleich zu den anderen Kantonen die grössten Dreiecke und erreicht einen relativ hohen Wert der mittleren Restklaffen von 4.8 cm. Im Vergleich zu den anderen Kantonen ist die Kontrollpunktdichte sehr niedrig. Dafür sind 42% der Kontrollpunkte entweder LFP3 oder Grenzpunkte. Die Dreiecksvermaschung des Kantons Uri war - unter anderem wegen dem Bau des Gotthard Basistunnels - die erste, welche fertig gestellt wurde.

Die Verzerrungsparameter der Affintransformation, die aus der Berechnung in FINELTRA stammen, konnten mit Hilfe des speziell für die Verifikation entwickelten Tools FINELTRA2ArcGIS nach ArcGIS überführt werden, wo diese dann für Analysen und deren grafischen Darstellung zur Verfügung standen (siehe Kapitel 6.3.5.3). So wurden für jede kantonale Lösung folgende Planunterlagen erstellt, welche die geografische Verteilung der Ergebnisse veranschaulichen:

- Vektorenplot für die TSP und die Kontrollpunkte, inklusive Abgleich mit den TSP1 wie AGNES-Stationen, LV95-Punkte oder LFP1
- Dreiecke, die keine Kontrollpunkte enthalten
- Dichte der Kontrollpunkte
- Absoluter Betrag der Restklaffen
- Interpolierte Genauigkeitskarte aus den Restklaffen der Kontrollpunkte
- Verzerrungselemente der Dreiecke (Dilatation, Differenz der Masstabsfaktoren), welche die Toleranzvorgaben gemäss den Weisungen und Richtlinien überschreiten
- LFP1, die nicht als TSP verwendet werden

Diese Pläne wurden den Kantonen zusammen mit dem Verifikationsbericht ausgehändigt. Darin enthalten war ausserdem die statistische Auswertung zu den oben aufgeführten Kriterien (siehe nachfolgendes Beispiel für die Dilatationen der Dreiecke im Kanton Basel-Land). Die Planunterlagen und statistischen Auswertungen sind bei der Geodäsie in Papier- und digitaler Form archiviert.

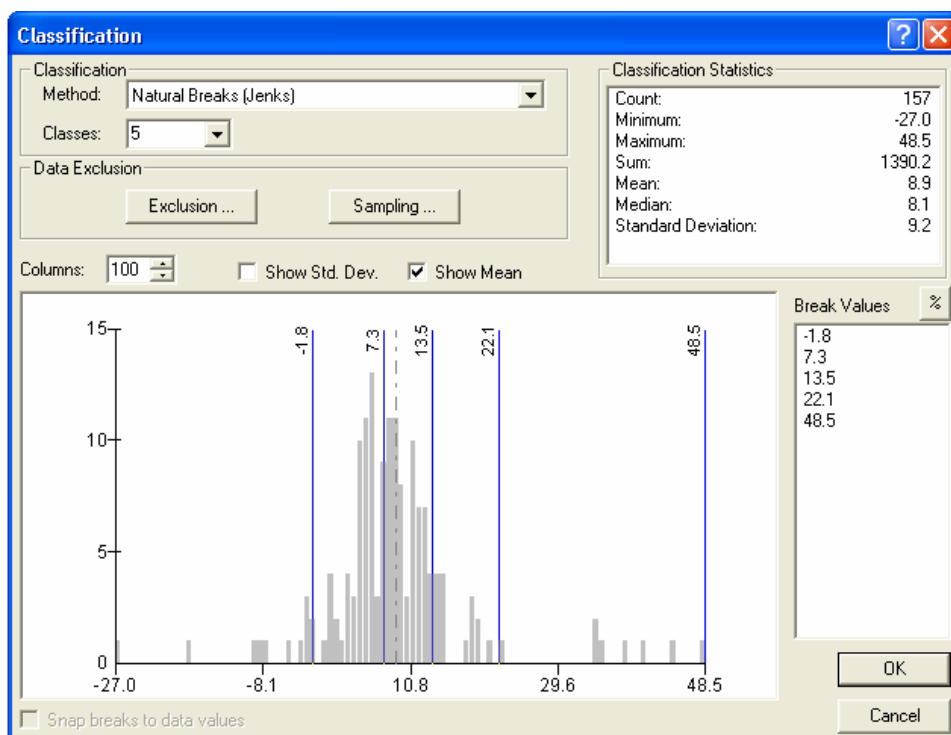


Abb. 6-12: Statistische Auswertung, Beispiel für die Dilatationen der Dreiecke im Kanton BL

Die Kennzahlen zu den einzelnen kantonalen Dreiecksvermaschungen wurden in einer separaten Statistik der Geodäsie zusammengefasst.

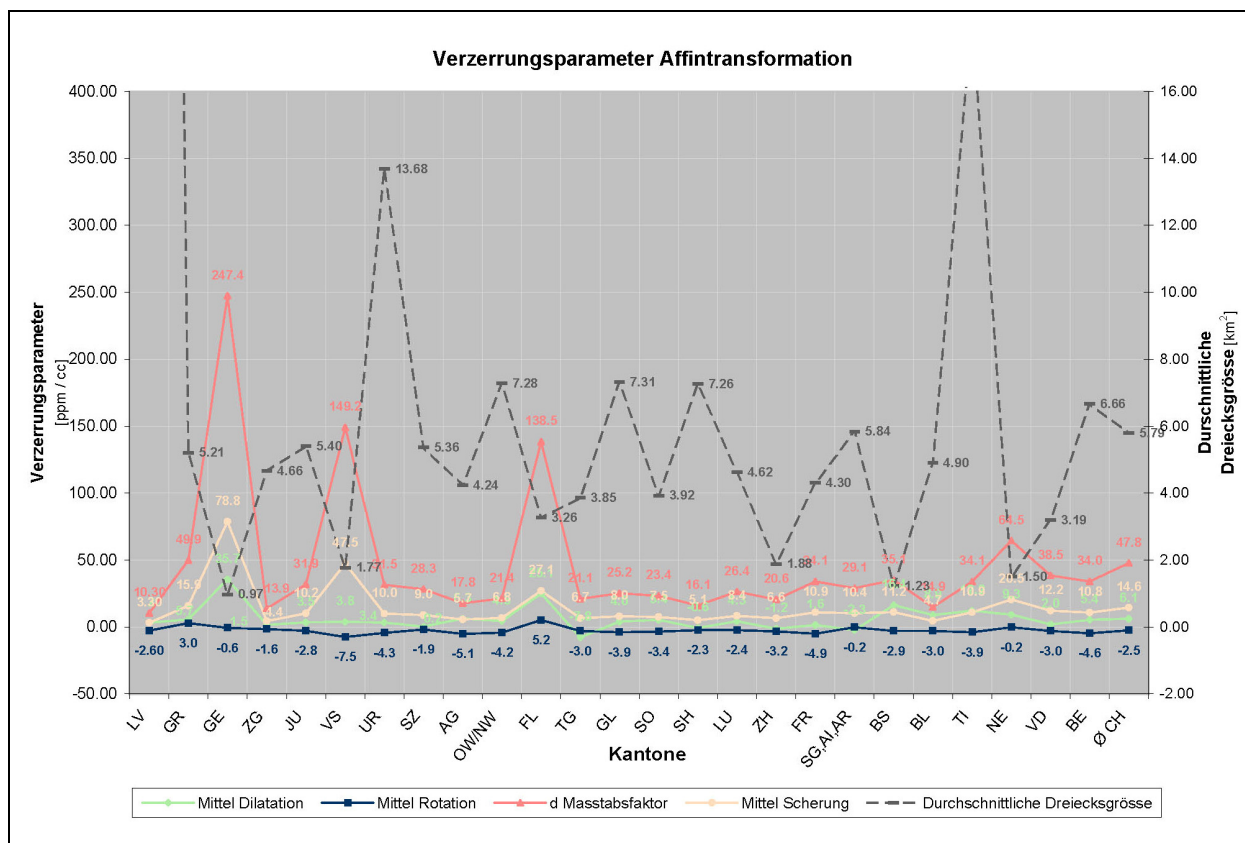


Abb. 6-13: Verzerrungsparameter der Affintransformation sowie durchschnittliche Dreiecksgrösse, nach Kantonen gegliedert.

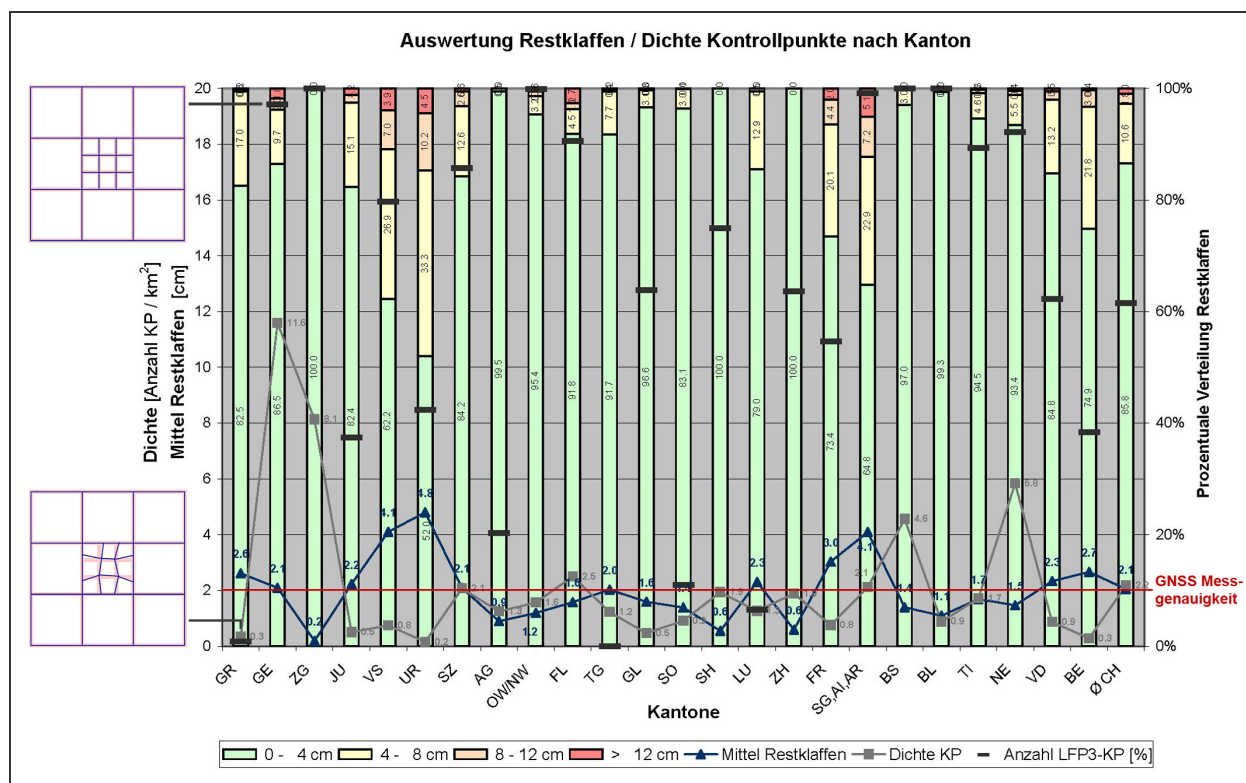


Abb. 6-14: Verteilung der Restklassen mit Mittelwert, Kontrollpunkt-Dichte sowie Anteil an LFP3 und Grenzpunkten bei den Kontrollpunkten, aufgelistet nach Kanton sowie im Durchschnitt für die Schweiz. Links in der Grafik ist symbolisch angedeutet, wie sich ein hoher oder tiefer Anteil an LFP3 oder Grenzpunkten bei den Kontrollpunkten auf die vorhandenen Restverzerrungen auswirken kann.

Die Statistik in Abbildung 6-14 verdeutlicht, dass sämtliche kantonalen Lösungen eine ausgezeichnete Qualität aufweisen. Was die durchschnittliche Dreiecksgrösse und die Verzerrungsparameter betrifft, sind zwischen den einzelnen Kantonen teilweise grössere Unterschiede feststellbar. Punkto Transformationsgenauigkeit erfüllen jedoch alle Kantone die Anforderungen der amtlichen Vermessung bei weitem. Die aus den Restklassen berechnete Genauigkeit beträgt im gesamtschweizerischen Durchschnitt rund 2 cm (roter Balken), was auch in etwa der mit GNSS zu erreichenden Messgenauigkeit (RTK-VRS) entspricht. Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass 61.5% der verwendeten Kontrollpunkte LFP3 sind (kleiner schwarzer Balken), d.h. die empirisch hergeleitete Genauigkeit ist für die amtliche Vermessung in den meisten Gebieten wirklich repräsentativ.

Trotz dieses beachtlichen Resultates gibt es aber auch Regionen, in denen die Angaben mit einer gewissen Vorsicht zu betrachten ist. Es sind dies vor allem Gebiete, wo

- die Transformationsstützpunkte zwar lokal eine gute Übereinstimmung aufgewiesen haben, diese aber nicht repräsentativ für die ganze Umgebung wiedergeben
- die verwendeten LFP3 nicht aus revidierten oder erneuerten Operaten stammen
- die Transformationsstützpunkte nicht homogen verteilt wurden
- die Dichte der Kontrollpunkte gering ist
- das Fixpunktnetz, das der aktuellen AV zu Grunde liegt, vor einer FP-Revision als Basis benutzt wurde.

6.3.5.2 Schlusskontrollen zur nationalen Dreiecksvermaschung

Beim Zusammensetzen der einzelnen kantonalen Lösungen zur nationalen Dreiecksvermaschung CHENyx06 erfolgten verschiedene Konsistenztests. Geprüft wurden entlang der Kantonsgrenzen insbesondere die Koordinaten und die Punktnummern der Transformationsstützpunkte (TSP) sowie die Bezeichnung der Dreiecke. Den vollständigen Datensatz CHENyx06 unterzog man folgenden Schlusskontrollen:

- Die Dreiecksdefinition wurde in eine Access- Datenbank importiert, in der verschiedene Tests durchgeführt worden sind:
 - Test, ob die Nummer für jeden TSP eindeutig ist.
 - Test, ob die Nummer eines jeden Dreiecks eindeutig ist.
 - Test, ob die Dreiecksdefinition für jedes Dreieck eindeutig ist.
 - Test, ob die Koordinaten der TSP im Rahmen LV03 und LV95 eindeutig sind.
 - Test, ob derselbe TSP bei einem Dreieck höchstens einmal zugeordnet ist.
 - Test, ob alle Dreiecke bekannte TSP verwenden.
- Diverse logische und semantische Tests in Excel:
 - Überprüfung der korrekten Zeichenlänge für die TSP- Nr. und die Dreiecks- Nr.
 - Kontrolle, ob alle TSP mindestens in einem Dreieck enthalten sind.
- TSP1: Abgleich der Koordinaten in LV03 und LV95 mit den Daten der Geodäsie
- TSP2: Abgleich der Koordinaten in LV03 mit der Datenbank des Fixpunkt-Datenservice (FPDS).

Zahlreiche Widersprüche wurden auf diese Weise entdeckt und konnten bereinigt werden. Die Schlusskontrollen erfolgten im Februar/März 2007. Da zu diesem Zeitpunkt der Datenbestand im FPDS noch nicht vollständig war, können eventuelle Widersprüche zu den kantonalen TSP jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Aus den Tests in Access resultierte das in der nachfolgenden Abbildung 6-15 dargestellte Datenmodell. Mit diesem Datenmodell wäre es möglich, sämtliche Modifikationen an der Dreiecksdefinition zu verwalten und mit einem entsprechenden Makro automatisch das Datenfile für FINELTRA zu erzeugen. Eine Weiterentwicklung in diese Richtung fand aber bislang noch nicht statt.

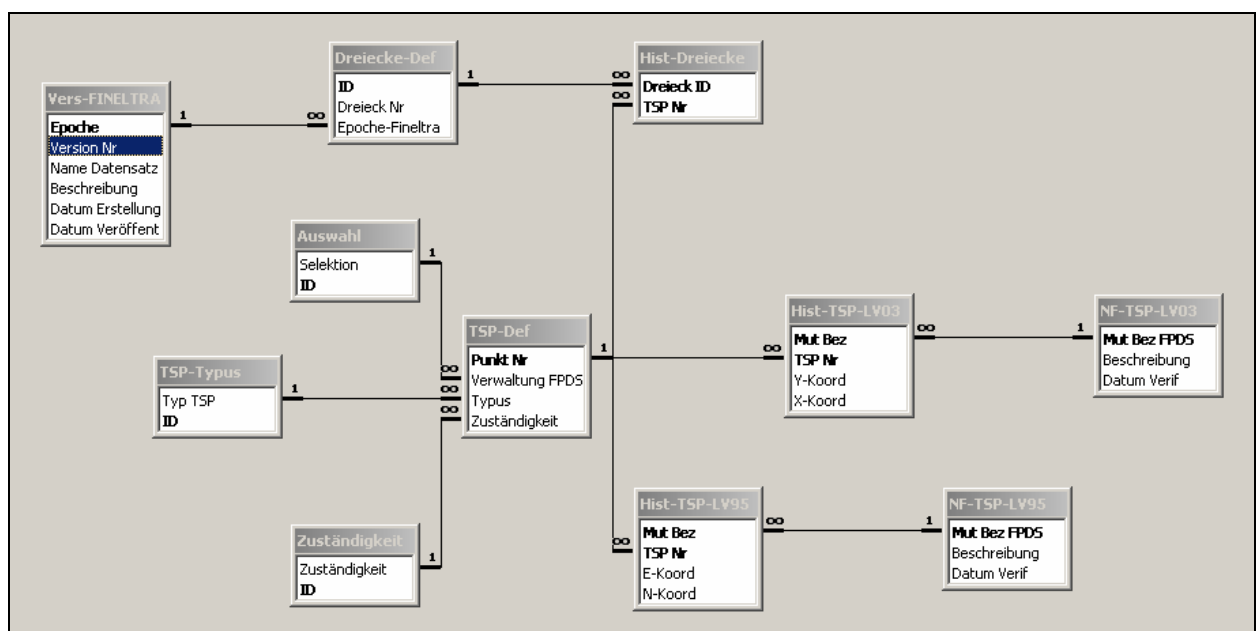


Abb. 6-15: Datenmodell für die Verwaltung der Dreiecksdefinition im Hinblick auf Modifikationen

6.3.5.3 Werkzeuge

Für die Verifikation der kantonalen Dreiecksvermaschungen wurde in Zusammenarbeit mit dem GIS-Zentrum von swisstopo die bereits erwähnte Fachschale für ArcGIS entwickelt (Abbildung 6-16). Die Entwicklungsarbeiten fanden im Jahr 2005 statt und wurden auf der Basis von C# / ArcObjects durchgeführt. In Form einer DLL, die in ArcGIS eingebunden werden kann, entstand so das Tool FINELTRA2ArcGIS, mit welchem die Daten aus den FINELTRA-Dateien *.dat (Datenfile) und *.prn (Berechnungsfile) gelesen und in eine bestehende Datenbank importiert werden konnten. In ArcGIS war es dann möglich, die Daten zu analysieren und grafisch darzustellen. Daraus resultierten die zahlreichen Planunterlagen und statistischen Auswertungen, die bei der Verifikation erstellt wurden (siehe vorangehende Kapitel). Das Werkzeug wurde den Kantonen zur Verfügung gestellt, um sie bei der Analyse und Verbesserung der Dreiecksvermaschungen sowie bei der Feststellung von Verzerrungen und Fehlern in der Parzellarvermessung zu unterstützen.

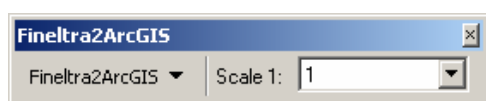


Abb. 6-16: Symbolleiste FINELTRA2ArcGIS

Im Zusammenhang mit den Schlusskontrollen wurden zahlreiche Excel-Tabellen entwickelt, in denen die Koordinaten der TSP sowie die Dreiecksdefinitionen verglichen und allfällige Widersprüche detektiert wurden.

Vom Vermessungsamt des Kantons Aargau wurde im Übrigen für ArcView (Version 3.2.1) ein weiteres Tool entwickelt, das automatisch das dat-File für FINELTRA erzeugt. Die in ArcView definierten Dreiecke werden von diesem Werkzeug interpretiert und in das entsprechende Format von FINELTRA überführt. Dadurch konnte das manuelle Bearbeiten bzw. Anpassen der FINELTRA-Dreiecksdefinition wesentlich vereinfacht werden.

6.3.5.4 Organisation

Die Verifikation der kantonalen Dreiecksvermaschungen fand kantonsweise statt. Die technische Verifikation oblag der Geodäsie, während dessen die V+D die administrative Projektabwicklung betreute. Diese Aufgabenteilung basiert auf einem SLA (Service Level Agreement) zwischen der V+D und der Geodäsie. Die Geodäsie setzte zu diesem Zweck drei Verifikatoren ein, die sich die Kantone untereinander aufteilten. Für jeden Kanton war somit ein bestimmter Verifikator zuständig. Im Regelfall wurde die Kantonszuteilung gemäss der Verifikationszuordnung für die FP2 Operate übernommen. Aufgrund von Personalmutationen erfolgte die Zuordnung mehrmals neu. Es wurde jedoch darauf geachtet, dass gesamthaft eine möglichst optimale Kontinuität bei der Betreuung der Kantone eingehalten werden konnte. Der Teilprozessleiter, der für die Verifikation verantwortlich ist, führte regelmässig Besprechungen mit den anderen Verifikatoren durch, bei denen die Probleme diskutiert wurden. Probleme, die nicht durch das Team der Verifikatoren gelöst werden konnten und einen strategischen Entscheid erforderten, wurden durch die Geschäftsstelle (GS) RD/LV95 an das CC RD/LV95 weitergeleitet (siehe Kap. 5.1.2.3).

Die GS RD/LV95, welche die technische und praktische Umsetzung des Bezugsrahmenwechsels koordinierte, war durch ein Mitglied im CC RD/LV95 vertreten, um die Interessen der Geodäsie in diesem Gremium einzubringen. Die GS wurde von einem Verifikator aus dem Bereich Geodäsie betreut. Damit war gewährleistet, dass die Dreiecksvermaschung über die ganze Schweiz inklusive dem Fürstentum Liechtenstein zu einem einheitlichen Datensatz aufgebaut wurde. Nach Fertigstellung der nationalen Dreiecksvermaschung übernahm die GS die Aufsicht über die Verteilung und den Unterhalt der nationalen Dreiecksvermaschung. Nach der formellen Auflösung des CC RD/LV95 ging diese Aufgabe direkt an den Prozess „Geodätische Fixpunkte“ des Bereiches Geodäsie über.

6.4 Nationale Dreiecksvermaschung CHENyx06

6.4.1 Erstellung und Datensätze

Die einzelnen Dreiecksvermaschungen, die von den Kantonen erstellt worden sind, wurden durch die GS RD/LV95 (Geodäsie, Prozess GF) verifiziert und zu einem nationalen Datensatz zusammengesetzt. Widersprüche an den Kantonsgrenzen wurden in Rücksprache mit den Kantonen bereinigt. Die Einzelheiten dazu sind in den vorangehenden Kapiteln 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. Abb. 6-17). Die LV95-Koordinaten für diese virtuellen TSP wurden so gewählt, dass keine Verzerrungen mehr zwischen LV03 und LV95 vorhanden sind; d.h. die Koordinaten unterscheiden sich nur noch durch eine Translation von +2 Mio. m bzw. +1 Mio. m. Folgende Überlegungen haben zu diesem Entscheid geführt:

- Wo in FINELTRA keine Dreiecksvermaschung definiert ist, wird nur eine einfache Translation von +2 Mio. m / +1 Mio. m. durchgeführt.
- Die Verzerrungen in LV03 werden zu diesen virtuellen TSP kontinuierlich verkleinert bis sie gänzlich verschwinden. Da die virtuellen TSP weit im Ausland liegen und demzufolge grosse Dreiecke bilden, werden die Verzerrungen langsam abgebaut.

Im Bereich der Kantonsgrenze zwischen Genf und Waadt musste die Dreiecksvermaschung ebenfalls noch erweitert werden. Nähere Angaben diesbezüglich sowie die Besonderheiten zur Kantonsgrenze sind im Kapitel 5.4.1 Bruchzone GE/VD beschrieben.

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).

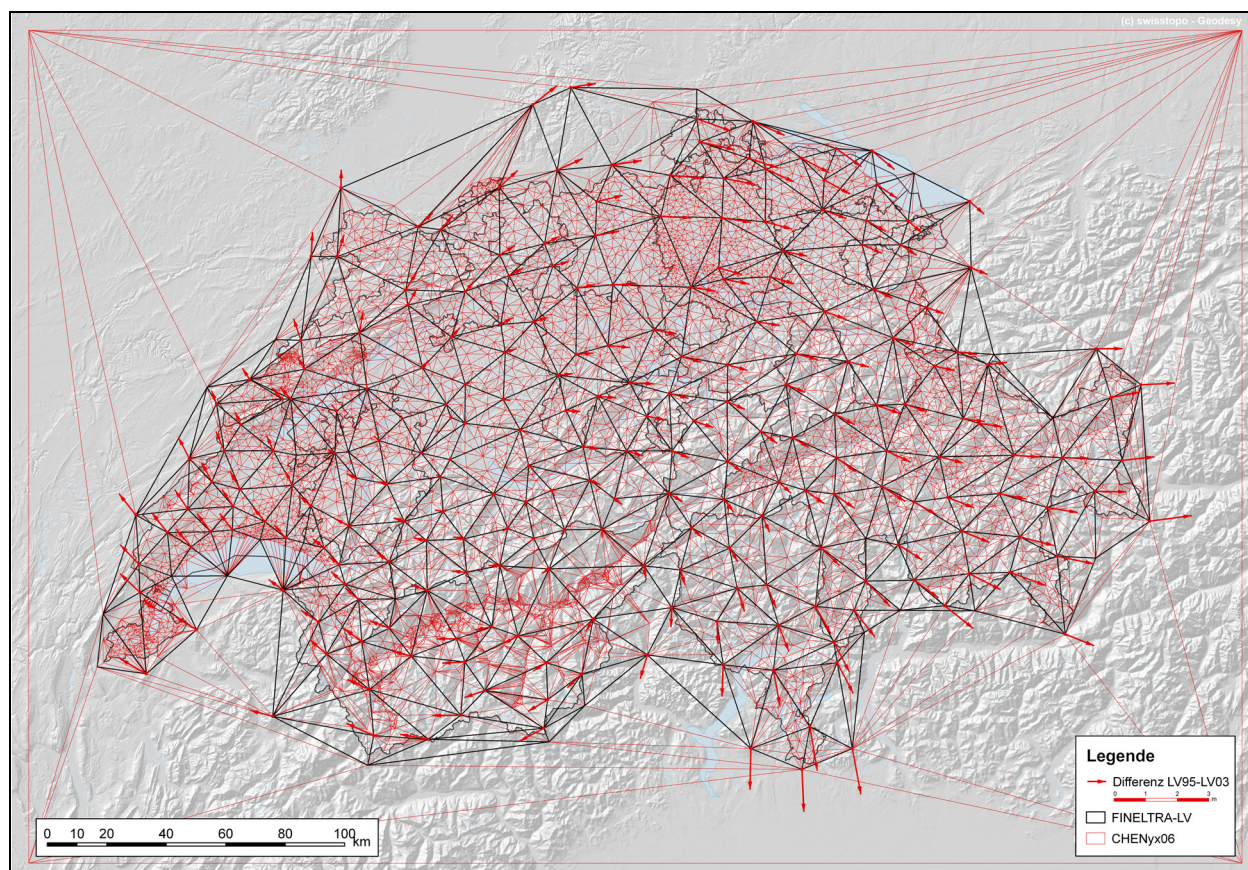


Abb. 6-17: Die Dreiecksvermaschung auf Stufe Landesvermessung ist in schwarz erkennbar (FINELTRA-LV). Diese wurde in den Neunziger Jahren fertig gestellt und ermöglichte,

Geodaten von LV03 nach LV95 und umgekehrt mit einer Genauigkeit von ungefähr einem dm zu transformieren. In den letzten Jahren wurde diese Dreiecksvermaschung durch die Kantone systematisch verdichtet (rote Dreiecke) und durch swisstopo zu einem Datensatz mit der Bezeichnung CHENyx06 vereint.

Die durchschnittliche Transformationsgenauigkeit von CHENyx06 liegt bei rund 3 cm. Diese Genauigkeit konnte empirisch mit Hilfe von Kontrollpunkten hergeleitet werden (siehe Kapitel 6.3.3 und 6.3.5.1).

Zu CHENyx06 wurden für die Anwender zwei Datensätze geschaffen, die Binärdatei und die DLL. Die Binärdatei beinhaltet die Definition des FINELTRA-Datenfiles in binärer Form. Diese ist ab der FINELTRA-Version 2002.3 als Dreiecksdefinition in der Software FINELTRA verwendbar. Zu Programmierzwecken wurde eine eigenständige Dynamic Link Library (DLL) entwickelt, die im Quellcode als Programmroutine zur Koordinatentransformation zwischen LV03 und LV95 eingebaut werden kann. Die DLL basiert auf dem Microsoft.NET Framework. Sowohl die Binärdatei als auch die DLL sind über das offizielle Webportal zum Bezugsrahmenwechsel beziehbar (siehe Kapitel 10). Damit Änderungen in der nationalen Dreiecksvermaschung den Anwendern zugestellt werden können, müssen diese sich beim Datenbezug zunächst registrieren lassen. Die Datensätze stehen den Anwendern mit der Fertigstellung des Webportals seit Mai 2007 zur Verfügung. Die Verfügbarkeit von CHENyx06 wurde ausserdem in einem offiziellen Schreiben durch swisstopo am 2. Mai 2007 den kantonalen Vermessungsämtern, den Berufsverbänden und den Hochschulen kommuniziert. In diesem Schreiben wurde insbesondere darauf hingewiesen, dass die Wartung und der Vertrieb von CHENyx06 einzig dem Bereich Geodäsie von swisstopo obliegen.

6.4.2 Verzerrungsanalyse auf der Stufe der amtlichen Vermessung

In Anlehnung an die Diagnoseausgleichung aus dem Jahre 1995 (siehe Kapitel 2.2) wurde mit dem Datensatz CHENyx06 eine ähnliche Analyse durchgeführt. Nach der Fertigstellung von CHENyx06 im Februar 2007 konnten die lokalen Verzerrungen der amtlichen Vermessung berechnet und dargestellt werden. Die Transformationsstützpunkte (TSP) mit den Koordinaten in LV03 und LV95 wurden in das Programm „MapAnalyst“ integriert, das anhand der Differenzvektoren ein Deformationsgitter für die Verzerrungen im Bezugsrahmen LV03 berechnete.

„MapAnalyst“ ist eine Software, die am Institut für Kartographie der ETH Zürich entwickelt worden ist. Auf diese Weise konnten die Verzerrungen zum ersten Mal bis auf Stufe amtliche Vermessung / Gemeinde in Form eines deformierten Rasters visualisiert werden (siehe Abbildung 6-18).

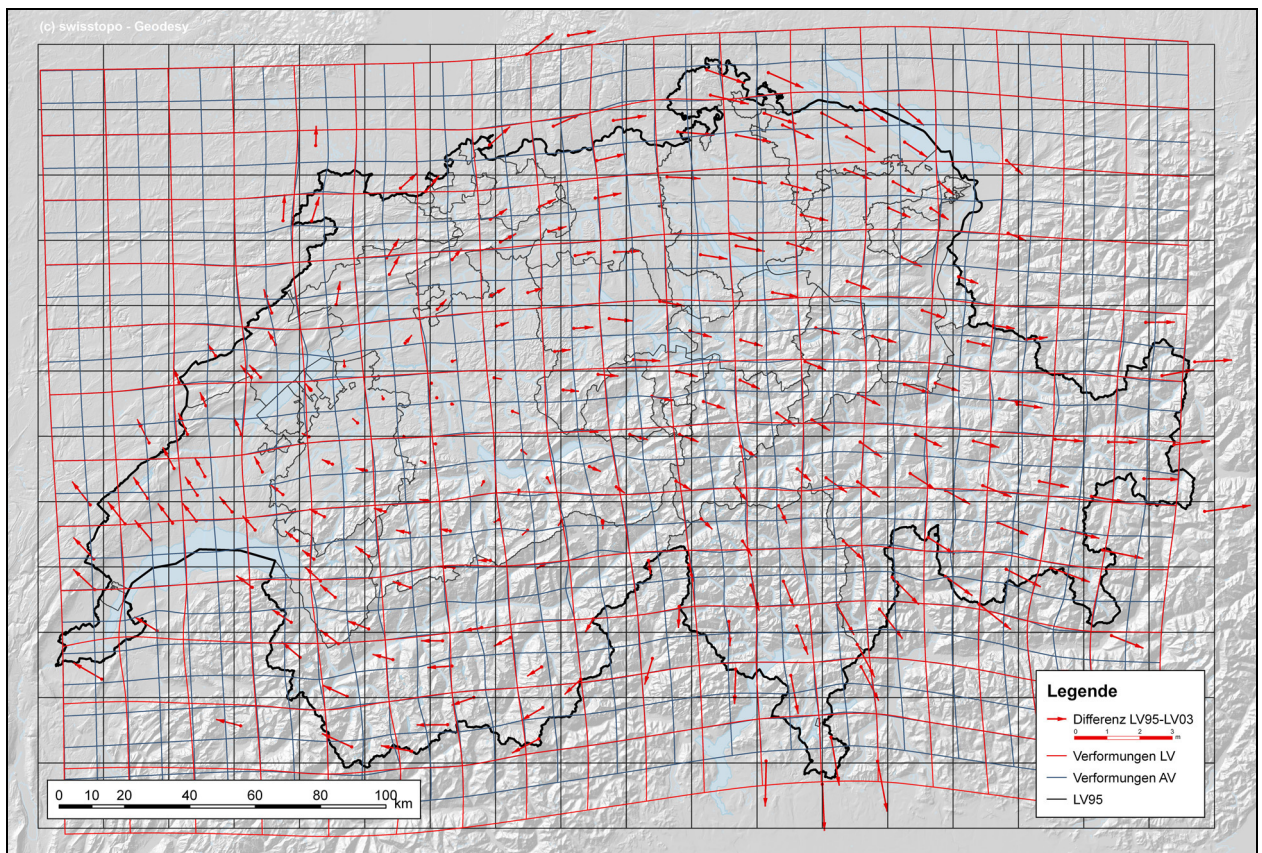


Abb. 6-18: Verzerrungen des aktuell verwendeten Bezugsrahmens von 1903 im Vergleich zum neuen, praktisch fehlerfreien Bezugsrahmen von 1995 (LV95 = schwarzes Gitter): LV03 = **rotes Gitter** mit den Deformationen aus der Landesvermessung LV sowie das **blaue Gitter**, welches zusätzlich auch noch die lokalen Verzerrungen aus der amtlichen Vermessungen beinhaltet. Die roten Pfeile zeigen von LV03 (**rot**) nach LV95 (schwarz) und damit die Richtung und den Betrag der örtlichen Entzerrung.

6.4.3 Konsequenzen von CHENyx06 in der amtlichen Vermessung

Mit der Realisierung von CHENyx06 sind Konsequenzen bei Arbeiten im Fixpunktbereich zu berücksichtigen. Diese wurden in den „Richtlinien zur Bestimmung von Fixpunkten der amtlichen Vermessung“ vom November 2005 [swisstopo 2005] verankert. Auch in der Nachführung mittels GNSS-Technologie dürfen gewisse Gegebenheiten nicht ausser Acht gelassen werden. In der nachfolgenden Tabelle 6-1 werden die wichtigsten Aspekte zusammengefasst:

Die Transformationsstützpunkte (TSP) definieren den Übergang zum spannungsarmen Referenzrahmen LV95. Damit die Fixpunktnetze völlig unabhängig von lokalen Verzerrungen in LV03 bestimmt und ausgewertet werden können, sind deshalb die Fixpunkte ausschliesslich auf die TSP zu lagern und grundsätzlich in LV95 auszugleichen. Die offiziellen Koordinaten in LV03 sind anschliessend mittels CHENyx06 zu bestimmen.
- Bei den LFP2 gibt es neuerdings faktisch drei Unterkategorien mit unterschiedlichen Genauigkeiten in LV95: - LFP2, die als TSP verwendet werden (TSP2) → Diese Punkte besitzen in LV95 zuverlässige Koordinaten, da sie kontrolliert aufgenommen und ausgeglichen wurden. - LFP2, die als Kontrollpunkte für den Nachweis der Transformationsgenauigkeit dienen → Von diesen Punkten wurde zumindest eine Messung in LV95 gemacht. Bei unkontrollierten Aufnahmen sind die Koordinaten als nicht zuverlässig zu betrachten. Gewöhnlich sollten die Differenzen jedoch innerhalb der zulässigen Toleranz liegen. - LFP2, die mittels CHENyx06 nach LV95 transformiert wurden → Die Koordinaten wurden nur anhand der Differenzvektoren der zugehörigen TSP gebildet. Da Messungen in LV95 gänzlich fehlen, ist in diesem Gebiet keine Aussage über die lokalen Verzerrungen in LV03 möglich. Die transformierten Koordinaten könnten deshalb nicht den Anforderungen als Anschlusspunkte für die amtliche Vermessung genügen.
Aufgrund der oben beschriebenen Merkmale geht hervor, dass Kontrollpunkte und transformierte LFP2 nur als Lagerungspunkte in der Netzausgleichung zu verwenden sind, falls sie auf das LV95-Netz keine signifikanten Spannungen ausüben.
In der Nachführung der amtlichen Vermessung muss zwingend eine lokale Einpassung vorgenommen werden oder zumindest der Nachweis erbracht werden, dass darauf verzichtet werden kann [KKVA 2009]. Für eine erste grobe Abschätzung steht der FINELTRA-Datenviewer zur Verfügung (siehe Kapitel 10).
Das Verfahren der lokalen Einpassung / Interpolation soll nur noch in Gebieten mit grossen lokalen Verzerrungen angewendet werden, wo die Transformation mit CHENyx06 nicht genügt und damit die Genauigkeitsanforderungen gemäss TVAV nicht eingehalten werden können.

Tab. 6-1: Konsequenzen für die amtliche Vermessung

6.5 Positionierungsdienst swipos®

Die Dreiecksvermaschung CHENyx06 wurde Anfang Mai 2007 auch in den Positionierungsdienst swipos® integriert und löste damit den Datensatz FINELTRA-LV mit einer Transformationsgenauigkeit von 1 - 2 dm ab. Den Benutzern von swipos® stehen wie bisher die Dienste in den verschiedenen Bezugsrahmen

LV95 / LHN95
 LV03 / LN02
 LV95 / LN02

zur Verfügung (siehe swipos-News 04/2006 und 01/2007), allerdings in LV03 nun mit einer wesentlichen höheren Genauigkeit. Für viele Anwendungen mit Genauigkeitsanforderungen von einigen Zentimetern bis Dezimetern kann jetzt auf eine lokale Einpassung und damit auf eine lokale Referenzstation, welche auf einem bekannten Punkt in unmittelbarer Nähe

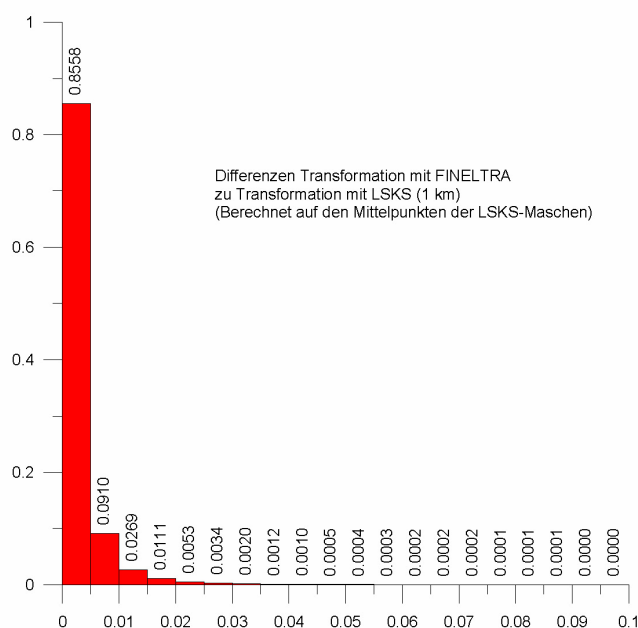
aufgebaut werden muss, verzichtet werden. Voraussetzung dazu ist, dass der Dienst LV03 / LN02 von swipos® verwendet wird, oder dass diese Korrektur nachträglich selber über den REFRAME-Geodienst angebracht wird. Für Anwendungen mit hohen Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen gelten bezüglich der lokalen Einpassung besondere Empfehlungen. Beispielsweise wird für die Nachführung der amtlichen Vermessung weiterhin ein Nachweis verlangt, dass die Genauigkeitsanforderungen gemäss TVAV eingehalten werden, wenn auf eine lokale Einpassung verzichtet wird.

6.6 Gitter basierte Interpolationsverfahren / Näherungslösungen

Der FINELTRA-Algorithmus mit der lokalen affinen Transformation für den Bezugsrahmenwechsel wurde für die Schweiz als offizielle Methode eingeführt und auch von einigen anderen Ländern (z.B. Finnland) übernommen. Sie ist aber bei weitem nicht die einzig mögliche Lösung und entspricht deshalb auch keinem international anerkannten Standardverfahren. Andere Länder arbeiten mit lokalen Ähnlichkeitstransformationen (z.B. Deutschland, Österreich) oder anderen Interpolationsverfahren (z.B. Kollokation) der Koordinatenunterschiede. Als eine mögliche Lösung zur Standardisierung all dieser Methoden für GNSS- und GIS-Anwendungen hat sich ein Verfahren durchgesetzt, bei welchem die Koordinatenunterschiede in einem regelmässigen Gitter abgespeichert werden und daraus die Transformation eines beliebigen Punktes nach einem einfachen Interpolationsverfahren (z.B. bilinear, biquadratisch, spline) berechnet wird. Diese Methode ergibt natürlich nicht streng dieselben Resultate wie FINELTRA und ist deshalb zumindest in der Schweiz als Näherungsverfahren zu bezeichnen.

6.6.1 LSKS- und SGF-Gitter

Für die Realtime-Anwendungen (RTK) von GNSS-Rovern wurde die Näherungslösung zur Koordinatenumrechnung zwischen LV03 und LV95 in Form eines Gitters im Projektionssystem mit einer Rasterweite von 1 km x 1 km generiert. Dabei wurden für jeden Gitterpunkt in LV03 die LV95-Koordinaten mit CHENyx06 berechnet und die Differenzen in Nord-Süd- und West-Ost-Richtung abgespeichert. Die Transformation eines beliebigen Punktes wird dann aus den neun nächstgelegenen Rasterpunkten mittels der biquadratischen Interpolationsmethode berechnet. Dieses Verfahren ist in den meisten Fällen eine sehr gute Näherung für FINELTRA und ergibt sogar die exakt gleichen Resultate, falls alle neun verwendeten Rasterpunkte in demselben Vermaschungsdreieck liegen. Eine Untersuchung hat folgende Verteilung der Differenzen zwischen FINELTRA und dem Gitter ergeben:



Verteilung der Differenzen:

94.7% < 1 cm

98.5% < 2 cm

99.7% < 4 cm

0.3% > 4 cm

(Abgeleitet aus einem regelmässigen Gitter)

Abb. 6-19: Verteilung der Differenzen zwischen FINELTRA und dem 1 km - Gitter

In der Regel funktioniert also die Gittertransformation sehr gut. Einzig bei sehr lokalen, inhomogenen Verzerrungen in LV03 sind Einschränkungen bei der Handhabung des Datensatzes zu erwarten. Insbesondere gibt es in der Schweiz fünf bekannte Problemzonen, in denen eine lokale Anpassung zwingend ist (vgl. auch Abb. 6-20):

- Haupttäler des Kantons Wallis
- Stadtgebiet Genf
- Kantonsgrenze Waadt – Genf
- St. Imier
- Deutsches Gebiet zwischen Rafzer Feld und Klettgau

In diesen Gebieten sind die lokalen Verzerrungen in LV03 zu gross, um mit einem 1 km - Gitter genügend genau approximiert zu werden. Es verbleiben Interpolationsfehler von bis zu 40 cm. Auch eine Reduzierung der Maschenweite des Gitters würde die Situation nur unwesentlich verbessern.

Die Firma Leica Geosystems unterstützt für die Gitterinterpolation in den GNSS-Empfängern und der Auswertesoftware eine Option, die sich *länderspezifisches Koordinatensystem* (LSKS) nennt (oder englisch CSCS - country specific coordinate system). Der generierte Datensatz zu LSKS wird bei Leica unter dem Produktnamen GF-FINELTRA-GIS (Grid-File FINELTRA) geführt. Bei Trimble wird dieselbe Lösung als *Shift Grid File* (SGF) bezeichnet und beinhaltet exakt dieselben Transformationsdaten - allerdings in einem anderen Binärformat.

Die Anwendbarkeit sowie die spezifischen Eigenschaften zum generierten Datensatz sind sowohl für Leica als auch für Trimble jeweils in einem separaten Merkblatt beschrieben. Die vollständige Dokumentation der Tests ist im Technischen Bericht der L+T Nr. 01-28 [Marti 2001] resp. im swisstopo Report 07-04 [Marti 2007] beschrieben.

6.6.2 NTV2-Gitter

Für GIS-Applikationen hat sich die Abspeicherung der Koordinatendifferenzen in einem regelmässigen Gitter im NTV2-Format (National Transform, version 2) als Quasi-Standard stark verbreitet. Dieses Format wurde vom Geodetic Survey, Canada entwickelt und wurde von vielen Ländern übernommen (z.B. Australien, Frankreich, Deutschland, Südafrika).

Im Gegensatz zu LSKS oder SGF arbeitet das NTV2-Format direkt mit ellipsoidischen Koordinatendifferenzen (Länge und Breite) und nicht mit Projektionskoordinaten. Die Koordinatendifferenzen für zwei Bezugsrahmen werden also in Bogensekunden in West-Ost- und Süd-Nord-Richtung angegeben. Zudem wäre es auch möglich für jede Koordinatendifferenz eine Genauigkeit anzugeben. Für die Gitterinterpolation ist es in NTV2 nicht möglich eine spezielle Methode anzugeben. In den meisten GIS-Applikationen wird jedoch immer die bilineare Interpolation verwendet.

Für die Schweiz wurde eine NTV2-Datei mit einer Auflösung von 30" x 30" erstellt, was grob der Auflösung von 1 km in der Projektion entspricht. Der Perimeter wurde so gewählt, dass das gesamte TLM (Topografisches Landschaftsmodell) der Schweiz darin enthalten ist.

Die Unterschiede zwischen einer Transformation mit FINELTRA und derjenigen mit NTV2 entsprechen ziemlich genau denjenigen, welche auch mit LSKS/SGF auftreten, liegen also im grössten Teil der Schweiz im cm-Bereich. Auch die wenigen Problemzonen bleiben dieselben.

Eine vollständige Beschreibung des NTV2-Formats und das exakte Vorgehen bei der Bildung der schweizerischen Datei sind im swisstopo Report 08-20 [Marti 2008b] beschrieben. Das NTV2-Gitter der Schweiz wird den Benutzern gratis über die swisstopo-Website angeboten.

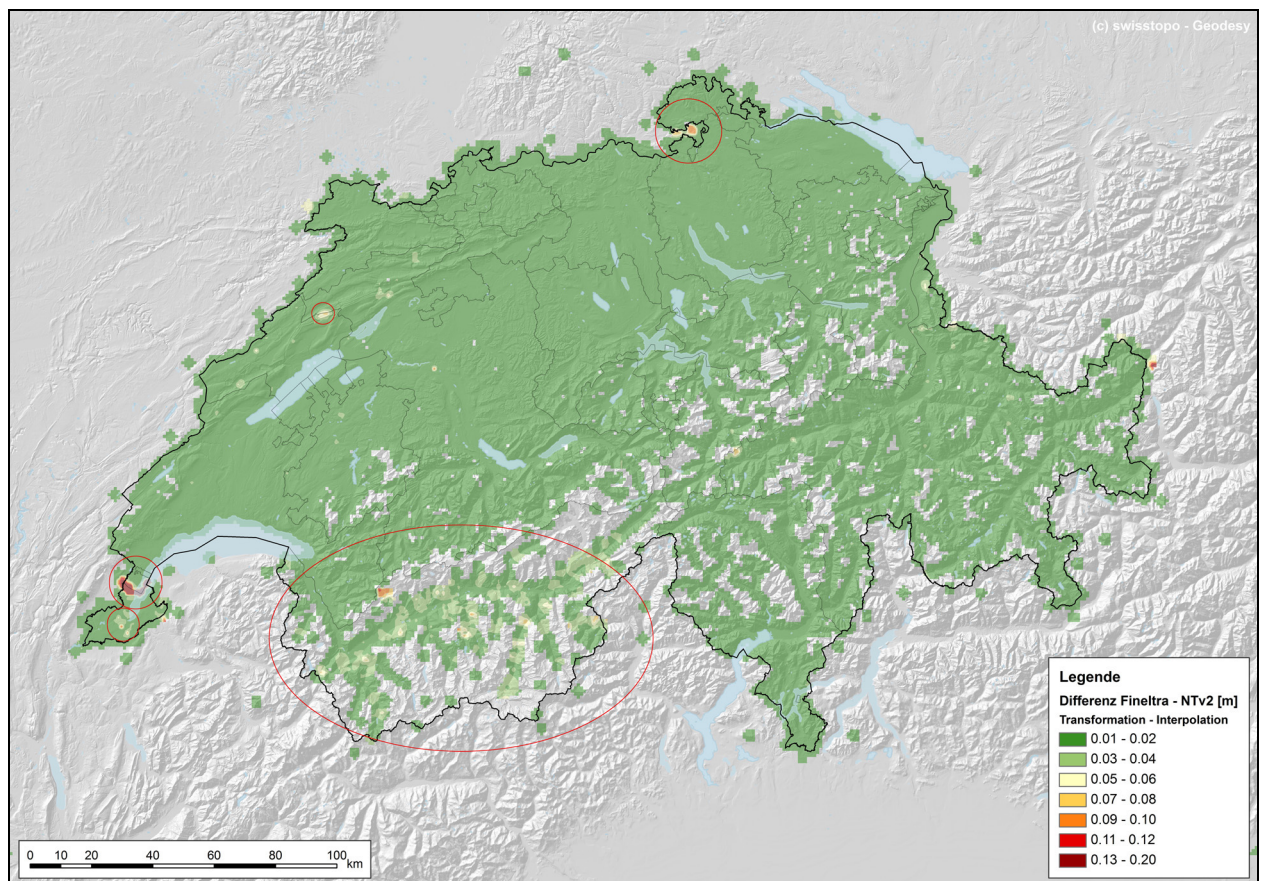


Abb. 6-20: Differenzen zwischen der FINELTRA-Transformation und der NTV2-Interpolation

7 Transformation von Rasterdaten

Der FINELTRA-Algorithmus ist insbesondere für die Transformation von Punkt- und Vektordaten geeignet. Bei der Transformation von Rasterdaten (vor allem Bitmaps, aber auch z.B. digitale Geländemodelle) ergeben sich einige zusätzliche Probleme, welche im folgenden Abschnitt kurz aufgezeigt werden sollen.

Die Georeferenzierung von Rasterdaten ist üblicherweise über Metadaten (im Header einer Datei oder in zusätzlichen Dateien) realisiert. Dort sind im Minimum die Koordinaten einer Bildecke, die Grösse eines Pixels (einer Zelle) und die Orientierung der Achsen angegeben. Oft sind zusätzlich noch die Bilddimensionen angegeben. In vielen Fällen genügt es bei einem Bezugsrahmenwechsel, diese Metainformationen zu transformieren und die eigentliche Bilddatei (Rasterdatei) unverändert zu lassen. Dies ist insbesondere bei geringen Genauigkeitsanforderungen der Fall, aber auch bei sehr kleiner geografischer Ausdehnung des zu transformierenden Gebietes. Probleme treten dort auf, wo das Bild durch die Transformation verdreht wird oder einer starken Massstabsänderung oder Verzerrung unterworfen wird. In anderen Fällen kann es nötig sein, dass jedes einzelne Pixel (jeder Rasterwert) einzeln transformiert werden muss. Je nach geforderter Transformationsgenauigkeit oder Ansprüchen an die Bildqualität müssen deshalb unterschiedliche Methoden für die Transformation der Rasterdaten angewendet werden.

7.1 Genereller Offset

Für sehr viele Bilddaten genügt es, nur einen einzelnen Punkt zu transformieren und danach die berechnete Verschiebung auf das ganze Bild anzuwenden. Dies entspricht einer Translation des ganzen Bildes, welches selber nicht verändert wird. Es ändern sich nur die Angaben in den Meta-Informationen, wobei die Orientierung und der Massstab unverändert belassen werden. Diese Methode eignet sich für lokal begrenzte Bilder oder für Datensätze mit geringen Ansprüchen an die Transformationsgenauigkeit. Die Bildqualität bleibt bei dieser Transformationsmethode erhalten, da keine Drehungen und Massstabsveränderungen auftreten.

Für den Referenzrahmenwechsel von LV03 auf LV95 oder umgekehrt kann diese Methode auf sehr viele Datensätze von swisstopo mit geringen Ansprüchen an die Lagegenauigkeit angewendet werden, wobei es oft sogar genügt, einen generellen Offset über die ganze Schweiz von 2 Mio. m / 1 Mio. m anzuwenden. Dies ist gültig für alle Pixelkarten, Satellitenbilder, Luftbilder / Orthofotos mit einer Auflösung von schlechter als 2 Meter, aber zum Beispiel auch für DHM25 oder das Geoidmodell. Für lokal begrenzte Daten mit einer hohen Auflösung und einer hohen Lagegenauigkeit (z.B. ein einzelnes Orthofoto) kann die Bestimmung eines lokalen Transformationsvektors sinnvoll sein.

7.2 Ähnlichkeitstransformation

Bei dieser Methode wird das Bild nicht nur verschoben, sondern auch gedreht und skaliert. Dies ist ebenfalls durch eine reine Transformation der Metadaten möglich. Als Erweiterung könnte aus den Bilddimensionen ein gegenüber den Metadaten leicht verbesserter Transformations-Datensatz berechnet werden.

Eine konkrete Anwendung dieser Methode bei swisstopo ist zurzeit nicht ersichtlich. Sie könnte aber aktuell werden, wenn Daten in UTM oder einer anderen Projektion ausgeliefert werden müssen.

Ein Nachteil der Methode ist, dass durch die Drehung und Skalierung (Re-Sampling) eigentlich jedes einzelne Pixel transformiert wird und dadurch die Bildqualität verschlechtert werden kann.

7.3 Rückinterpolation

Diese Methode wurde in einer Studie der FHNW [Nebiker et al. 2002] ausführlich beschrieben. Dabei wird jedes einzelne Pixel (Gitterwert) zunächst vom Zielsystem ins Ausgangssystem mit der exakten Formel (Projektion, Verzerrungsmodell) zurück transformiert und ihm danach dort aus den umliegenden Pixeln (Gitterwerten) ein Wert (Höhe, Farbe, Grauwert, ...) zugeordnet.

Diese Methode ist sicherlich die genaueste, aber auch die bei Weitem aufwändigste. Alle lokalen Verzerrungen können damit abgebildet werden. Allerdings kann die Bildqualität mit dieser Methode wegen des nötigen Re-Samplings in einigen Fällen verschlechtert werden.

Bei swisstopo wurde diese Methode bei der Transformation des DHM25 in ein geografisches Gitter mit 1-Sekunden-Interval (ETRS89) angewendet oder auch bei der Transformation von ausländischen Höhenmodellen ins Schweizerische Projektionssystem. Die Methode könnte auch zum Einsatz kommen, falls swisstopo hoch auflösende Datensätze in einem anderen Projektionssystem (z.B. UTM) erzeugen möchte.

7.4 Transformation über Passpunkte, NTV2

Viele CAD- und GIS-Systeme erlauben die Transformation von Bilddaten über die Eingabe von einigen Passpunkten, deren Koordinaten in beiden Systemen bekannt sind. Als Passpunkte können z.B. die 4 Bildecken gewählt werden oder aber beliebige Punkte verwendet werden. Die Interpolationsmethode kann in den meisten CAD- und GIS-Systemen gewählt werden. Bei swisstopo kommt diese Methode z.B. im Bereich Kartografie für die Transformation von ausländischen Pixelkarten ins Schweizerische Projektionssystem zum Einsatz.

Als Spezialfall dieser Methode kann ein NTV2-Gitter (siehe Kapitel 6.6.2) betrachtet werden, bei welchem die 'Passpunkte' in einem regelmässigen Gitter vorliegen. Dies wird bereits von vielen GIS-Herstellern unterstützt. Natürlich treten auch bei der Transformation mit Passpunkten oder einem NTV2-Gitter Re-Sampling-Effekte auf.

7.5 Transformation eines Raster-Mosaiks

Bei der Transformation von Datensätzen, welche aus einzelnen Bildern bestehen, welche ein zusammenhängendes Mosaik bilden (z.B. Swissimage) treten noch einige zusätzliche Probleme auf: Man möchte auch im Zielsystem wieder ein zusammenhängendes Bild ohne Überlappungen und Lücken haben und man will in der Regel auch wieder den regelmässigen 'Blattschnitt' des Startsystems erreichen. Deshalb genügt in diesem Fall eine einfache Transformation (Translation) der Metadaten nicht mehr. Man muss also entweder eine strengere Methode, wie z.B. die Rückinterpolation oder die NTV2-Transformation wählen und die eventuellen Nachteile eines Re-Samplings in Kauf nehmen oder man muss die einfache Translationsmethode noch etwas erweitern. Dies wurde für die Transformation von Swissimage gemacht. Die Grundüberlegungen werden hier kurz vorgestellt:

Swissimage (Level 2) hat eine Bildauflösung (Pixelgrösse) und Genauigkeit von 25 cm. Deshalb würde eine Transformation des Datensatzes mit einem globalen Offset von 2 Mio. m / 1 Mio. m eine Verschlechterung der Lagegenauigkeit bedeuten und wurde deshalb verworfen. Andererseits führt die individuelle Transformation der Einzelbilder zu den erwähnten Lücken und Überlappungen an den Kachelrändern. Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass diese Probleme nirgends den Betrag von einer Pixelgrösse überschreiten. Deshalb wurde entschieden, dass die Lücken durch Verdoppelung einzelner Pixelnien gefüllt werden. Dies ist in der transformierten Datei kaum zu erkennen. Im Fall von Überlappungen verschwindet eine einzelne Pixelreihe - auch dies bleibt ohne merkbare Beeinträchtigung der Bildqualität.

Die regelmässige Ausrichtung der Kacheln im Zielsystem wird dadurch erreicht, dass die Metadaten anders transformiert werden als die eigentlichen Bilddaten und nur ein Offset von 2 Mio. m / 1 Mio. m angebracht wird. Das ergibt als Zusammenfassung das folgende Verfahren für den Bezugsrahmenwechsel von Swissimage:

- Die Metadaten werden mit einem globalen Offset von 2 Mio. m / 1 Mio. m transformiert
- Das Zentrum jeder LV03-Kachel wird streng in LV95 transformiert. Die Koordinatenunterschiede werden auf 25 cm (1 Pixel) gerundet.
- Danach wird der in LV03 benötigte Ausschnitt aus dem LV95-Datensatz ausgeschnitten und zusammenkopiert (aus 1, 2 oder 4 Kacheln).
- Das ergibt Kacheln, welche keine doppelten Pixelreihen enthalten. Nur in der Zusammensetzung mit Nachbarkacheln ergeben sich doppelte Pixelreihen oder es verschwinden einzelne Pixelreihen.

Es sei hier betont, dass dieses Verfahren nur für den Bezugsrahmenwechsel von LV03 nach LV95 untersucht wurde, wo nur relativ kleine Verzerrungen auftreten. Bei einer anderen Transformation (z.B. nach UTM) müssen insbesondere wegen der grossen Verdrehungen andere Methoden gewählt werden, welche kaum ohne Re-Sampling auskommen (z.B. Rücktransformation oder NTv2-Gitter).

Die vollständige Dokumentation zur Transformation von Rasterdaten am Beispiel von Swisimage ist im swisstopo-Report 08-18 [Marti 2008a] zu finden.

8 Behandlung der Höhen

Als Bestandteil der neuen Landesvermessung LV95 und als Ergänzung der bisherigen Gebrauchshöhen LN02 hat swisstopo das neue Landeshöhennetz LHN95 in der geodätischen Landesvermessung eingeführt. Das Konzept und die Realisierung von LHN95 ist im swisstopo Doku Nr. 20 [Schlatter und Marti 2007] sowie in [Schlatter 2006] dokumentiert. Diesen beiden Berichten sind auch ausführliche Angaben zu den Höhensystemen und -arten, zur Entstehung der Gebrauchshöhen LN02 und zur Realisierung des Übergangs zwischen den in der Schweiz verwendeten Höhenrahmen LHN95 und LN02 zu entnehmen. Das vorliegende Kapitel beinhaltet nur die wesentlichen Aspekte, welche die Höhenbestimmung für die amtliche Vermessung betreffen.

8.1 Zusammenhang zwischen den Höhen LHN95 und LN02

Die LHN95-Höhen sind als orthometrische Höhen definiert und entsprechen somit der Länge der Lotlinien der Punkte über dem Geoid. Zwischen den orthometrischen Höhen H , den ellipsoidischen Höhen h und den Undulationen N besteht die einfache Beziehung $H_{\text{orth}} = h_{\text{ell}} - N$ (siehe Abbildung 8-1). Korrigiert man also ellipsoidische Höhen um die Geoidundulationen, so resultieren orthometrische Höhen. Die ellipsoidischen Höhen LV95, das Geoidmodell CHGeo2004 und die orthometrischen Höhen LHN95 sind deshalb als untrennbare Einheiten des Bezugssystems CH1903+ zu betrachten (siehe Kapitel 3.1.1).

Mit GNSS-Systemen und dem entsprechenden Geoidmodell (CHGeo2004) können LHN95-Höhen direkt und streng aus den gemessenen ellipsoidischen Höhen berechnet werden. Deren Qualität setzt sich im Wesentlichen nur aus der Genauigkeit der GNSS-Messungen und des Geoidmodells zusammen. Diese einfache und absolute Höhenbestimmung mittels satelliten-geodätischer Methoden ist der grosse Vorteil des neuen Landeshöhennetzes LHN95 für die Benutzer.

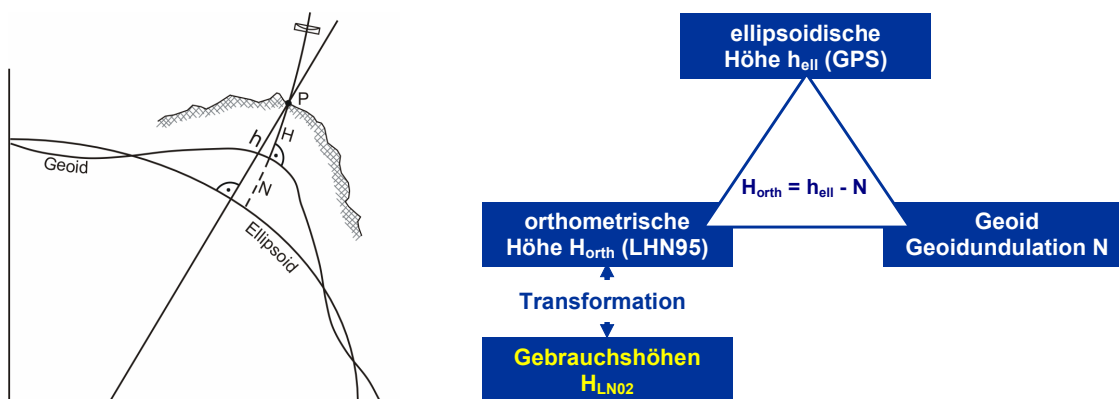


Abb. 8-1: Zusammenhang zwischen ellipsoidischen Höhen, den orthometrischen Höhen LHN95, dem Geoidmodell und den Gebrauchshöhen LN02.

Nahezu alle in der Schweiz verwendeten Höheninformationen in Karten, Plänen und Datenbeständen der amtlichen Vermessung etc. sind Gebrauchshöhen resp. Höhen im Referenzrahmen LN02. Diese Höhen sind nicht orthometrisch. Sie sind entstanden, indem die reinen Landesnivellementmessungen (ab Anfang des 20. Jahrhunderts bis zum heutigen Zeitpunkt) im Wesentlichen in die Höhen des Nivellement de Précision der Schweizerischen Geodätischen Kommission (1864 - 1891) eingezwängt wurden. Die Bezeichnung 'LN02' hat sich ergeben, weil die Ausgangshöhe (Repère Pierre du Niton im Hafenbecken von Genève) im Jahre 1902 mit dem Wert 373.6 m definiert wurde. Schwererereduktionen, wie sie bspw. unsere Nachbarländer Frankreich und Deutschland für die Berechnung von strengen Höhen kennen, wurden für die offiziellen Höhen in der Schweiz nie berücksichtigt. Kantonale und kommunale Höhenfixpunktnetze (HFP2 und HFP3), die Triangulation IV. Ordnung (LFP2) und die Fixpunkte

für die Parzellarvermessungen (LFP3) bilden seit Beginn des 20. Jahrhunderts die Verdichtung des Gebrauchshöhenrahmens LN02 für die amtliche Vermessung (AV) und weitere Werke mit Höhenbezug (Leitungskataster, Nutzungspläne etc.).

Abbildung 8-2 zeigt die Differenzen zwischen LHN95 und LN02 entlang dem Landeshöhennetz (LHN) und einigen wenigen kantonalen Ergänzungslinien. Grob zusammengefasst liegen diese Differenzen zwischen -20 cm und +40 cm, in der nördlichen Schweiz eher negativ, in den Alpen vorwiegend positiv. Eine genauere Betrachtung der Abbildung 8-2 legt offen, dass die Differenzen neben einem *lageabhängigen* Anteil auch eine *höhenabhängige* Komponente aufweisen (siehe z.B. Sustenpass-Linie). Die Differenzen zwischen LHN95 und LN02 setzen sich aus drei grundsätzlich verschiedenen Teilen zusammen:

- den Verzerrungen (Zwängen) in den Gebrauchshöhen LN02
- dem Einfluss der vertikalen Bewegungen (rezente Alpenhebung)
- einem systematischen Anteil aufgrund des Einflusses des Schwerefeldes

Eine Analyse der einzelnen Anteile ist im swisstopo Doku Nr.20 [Schlatter und Marti 2007] ersichtlich.

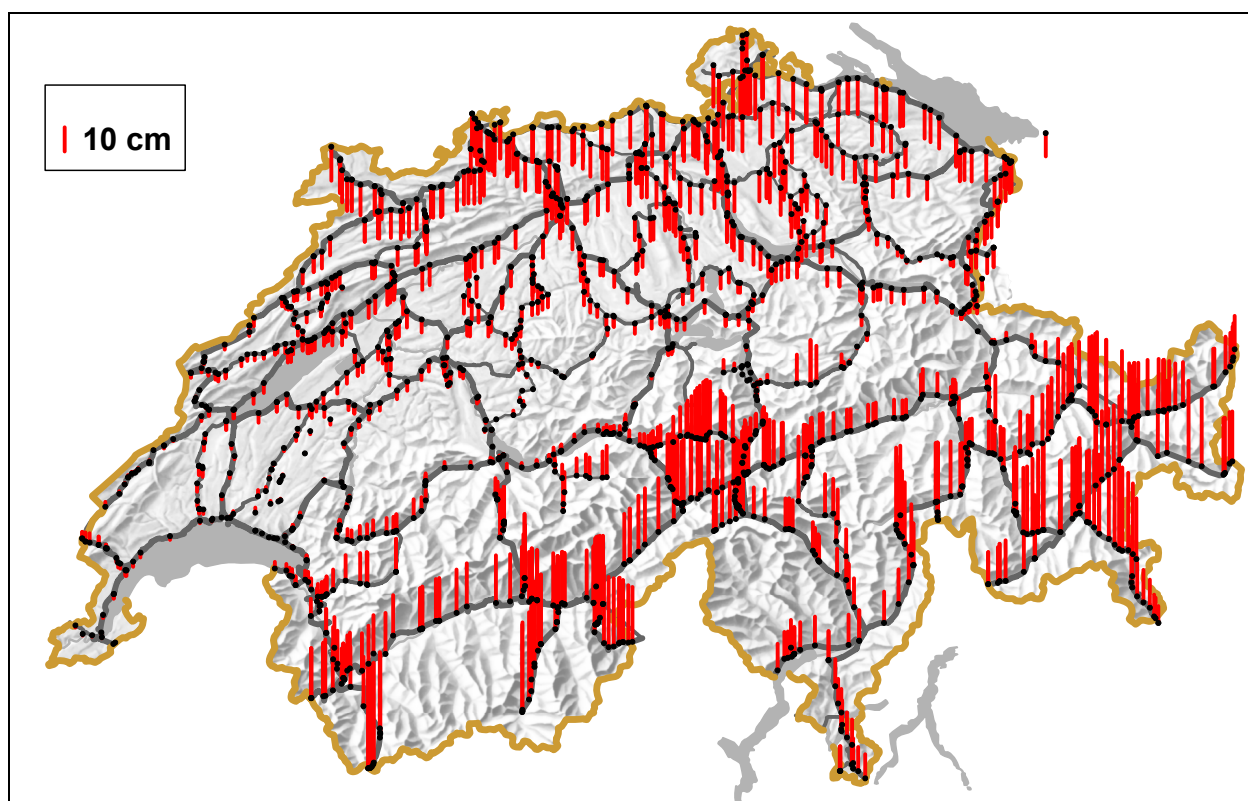


Abb. 8-2: Die Differenzen zwischen den orthometrischen Höhen LHN95 und den Gebrauchshöhen LN02

8.2 Ausgangslage

Die ursprüngliche Idee des Projektes LV95 war, die LHN95-Höhen als Ersatz von LN02 in der AV einzuführen. Trotz des gewichtigen Vorteils des neuen Landeshöhennetzes LHN95 (Höhenbestimmung mit GNSS) hat die Geschäftsleitung von swisstopo im Juni 2002 entschieden, dass LN02 das Höhenbezugssystem für die amtliche Vermessung bleibt und auf einen Wechsel auf LHN95 verzichtet wird. Dieser Beschluss folgte dem Antrag des CC RD/LV95, welcher aufgrund von Besprechungen und im Rahmen eines Hearings mit diversen Benützern der Daten der AV und dem Bereich Geodäsie gestellt wurde. Der Entscheid wurde im Kreisschreiben Nr. 2002/04 der Eidgenössischen Vermessungsdirektion (V+D) den kantonalen Aufsichtsbehörden detailliert dargelegt und in einem Artikel in der Zeitschrift

'Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik' [Wicki et al. 2002] der breiten Öffentlichkeit bekannt gegeben.

Die Mehrheit der in den Entscheid einbezogenen Fachleute war der Meinung, dass absolute Höhenangaben in der Praxis von untergeordneter Bedeutung und die Inhomogenitäten im heutigen Höhenbezugsrahmen LN02, im Gegensatz zur Lage, weniger störend seien. Demgegenüber wird die relative Nachbargenauigkeit zwischen den Höhenpunkten als umso wichtiger betrachtet. Diese werde durch die Höhenbestimmung mit GPS (noch) nicht erreicht.

Als weitere Gründe wurden durch das CC RD/LV95 angefügt:

- Die Verwechslungsgefahr (zwischen LHN95 und LN02) und damit die Gefahr von Fehlern mit kostspieligen Konsequenzen ist sehr hoch, weil die Differenzen zwischen LN02 und LHN95 kaum erkennbar sind¹.
- Eine Grosszahl der digitalen Höhendaten sind heute noch nicht bereit für die Transformation, da die dazugehörigen Lagekoordinaten fehlen.
- Viele Höhenkoten werden als Zeitreihen verwendet, ein Wechsel würde zu einem Sprung führen.
- Die Standards zur Einführung eines europäischen Höhensystems sind zurzeit zuwenig gesichert und akzeptiert, sodass Anpassungen nicht ausgeschlossen werden können.
- Die Diskussion und Vorbereitung betreffend der Lage (Einführung von LV95) ist wesentlich weiter fortgeschritten als bei der Höhe. Eine Verknüpfung von Lage und Höhe könnte sich nachteilig für die bereits beschlossene Umsetzung in der Lage auswirken.

Dieser Entscheid hat nun zur Folge, dass sämtliche bestehenden Höhen in der Schweiz vom Systemwechsel auf LV95 nicht tangiert sind. Er hat nun aber auch zur Konsequenz, dass bei der Verwendung von GNSS für die Gebrauchshöhenbestimmung die ursprüngliche Genauigkeit des Systems und die einfache Methode eingeschränkt werden.

Unabhängig vom negativen Entscheid zu LHN95 in der AV war swisstopo gefordert, eine Transformation zu entwickeln, welche sowohl online (in GNSS-Empfängern resp. Korrekturdiensten) wie auch im Postprocessing eingesetzt werden kann.

8.3 Die Modellierung des Überganges LHN95 ⇌ LN02

8.3.1 Grunddatensatz

Die Grunddaten, welche für die Analyse der Höhenrahmen LHN95 und LN02 zur Verfügung standen, stammen in erster Linie aus der kinematischen Gesamtausgleichung des Landesnivellements (1073 wiederholt und 334 einfach gemessenen HFP1 entlang dem LHN). In dieser Ausgleichung sind folgende HFP2-Linien integriert, welche swisstopo damals zur Verfügung standen:

- Gsteigwiler–Zweilütschinen–Grindelwald/Stechelberg (Kanton Bern): Messung 1989
- Signau–Oberei–Steffisburg (Kanton Bern): Messung 1998
- Dagmarsellen–Willisau–Wollhusen (Kanton Luzern): Messung 2001
- Flamatt–Laupen–Kerzers (Kanton Bern): Messung 2002
- Bedretto (Kanton Tessin): Messung 2003
- Burgdorf–Solothurn (Kantone Bern und Solothurn): Messung 2003
- Schaffhausen–Merishausen–Bargen (Kanton Schaffhausen): Messung 2004

Aufgrund eines Aufrufes des CC RD/LV95 an die kantonalen Vermessungsämter konnten nur wenige zusätzliche Linien eingebunden werden:

¹ Die elegante Art, die neuen Lagekoordinaten (LV95) von den alten durch die Definition neuer 'false northing' und 'false easting' Werte zu unterscheiden, ist für die Höhe aus praktischen Gründen nicht möglich.

- Altdorf–Isenthal (Kanton Uri): Messung 1985/86
- Zürcher Oberland: mehrere Linien zwischen Rapperswil und Winterthur: Messung 1990
- Ramsei–Huttwil–Langenthal (Kanton Bern): Messung 2001/04

Insgesamt standen 1'431 Punkte für die Analyse der Unterschiede und als Grunddatensatz für eine Transformation zur Verfügung (siehe Punkte in Abbildung 8-2)

8.3.2 Analyse der Differenzen zwischen LHN95 und LN02

Die Unterschiede zwischen LHN95 und LN02 lassen sich auf die drei wesentlichen Ursachen *Netzzwänge in LN02*, *vernachlässigte "Alpenhebung" in LN02* und *Unterschied der Höhenarten (orthometrische Höhen / reine Nivellementhöhen)* reduzieren. Wie im swisstopo Doku Nr. 20 [Schlatter et al. 2007] gezeigt, lassen sich die ersten beiden Einflüsse (Verzerrungen und Vertikalbewegungen) nicht direkt separieren. Der Unterschied zwischen den *Höhenarten* ist geprägt durch eine höhenabhängige Komponente (s. Abbildung 8-3). Diese Einflüsse auseinander zu halten, gelingt nur mit Hilfe der Normalhöhen. Man kann so die Differenz LHN95 - LN02 folgendermassen aufteilen:

$$H_{LHN95} - H_{LN02} = (H_{Norm} - H_{LN02}) + (H_{LHN95} - H_{Norm}) = f(y, x) + g(y, x, H)$$

Die nachfolgenden Abbildungen 8-3 und 8-4 zeigen die separierten Anteile:

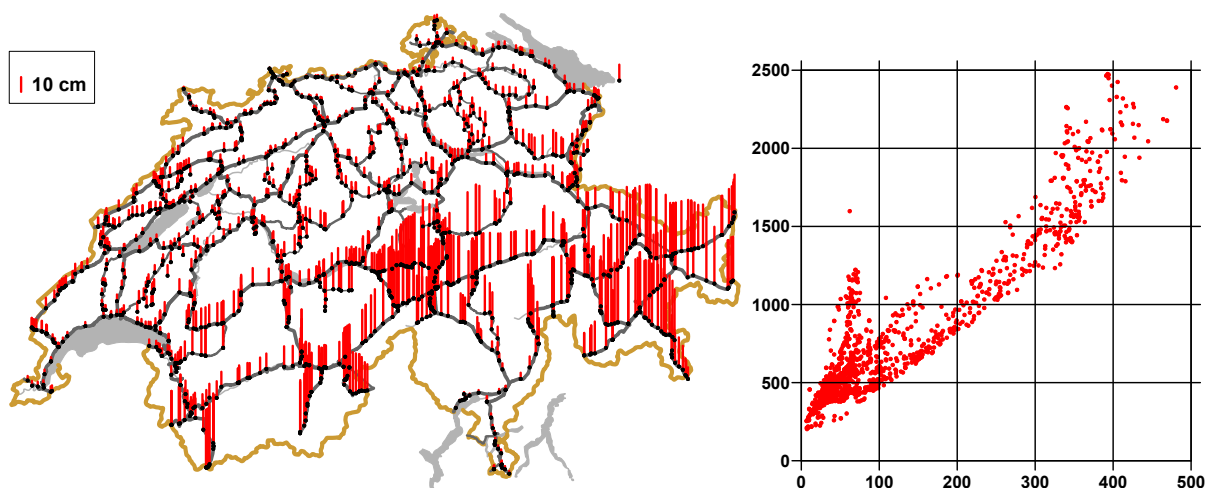


Abb. 8-3: Unterschied zwischen den orthometrischen Höhen und den Normalhöhen LHN95 ($H_{LHN95} - H_{Norm}$): rechts Höhen [m] gegenüber Differenzen [mm]

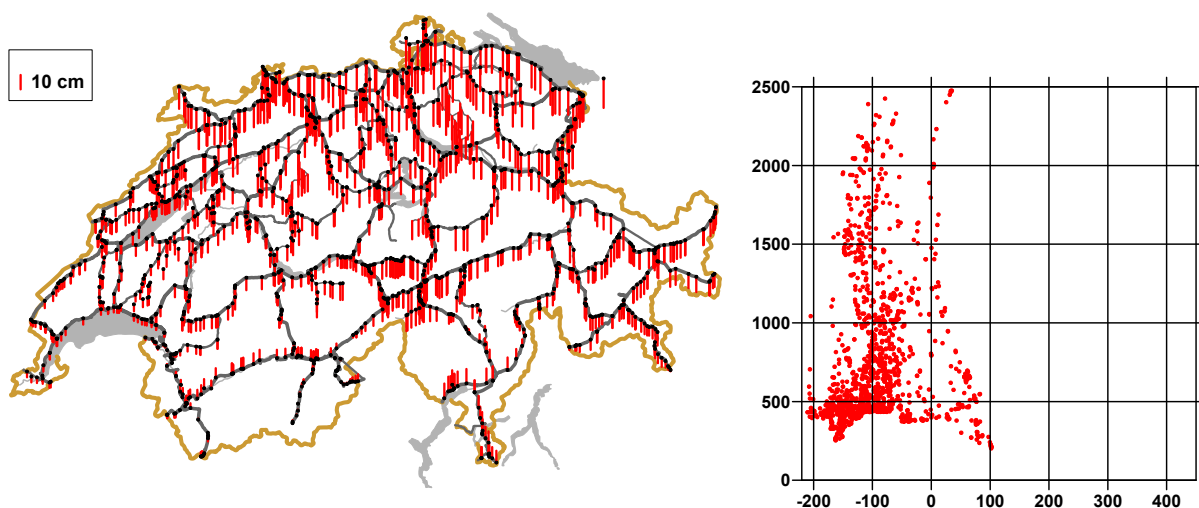


Abb. 8-4: Unterschied zwischen den Normalhöhen LHN95 und den Gebrauchshöhen LN02
 $(H_{Norm} - H_{LN02})$: rechts Höhen [m] gegenüber Differenzen [mm]

Die Differenzen lassen sich durch einen Anteil f , welcher nur von der Lage des Punktes abhängig ist und durch einen Anteil g , welcher von der Lage *und* der Höhe abhängig ist, genügend gut modellieren.

8.3.3 Realisierung der Transformation

Eine Transformation sollte für die Benutzer einfach gestaltet sein, damit sie schnell und ohne ergänzende Messungen angewendet werden kann. Der pragmatische Ansatz besteht darin, die separierten Anteile mit lageabhängigen Interpolationsflächen und einer einfachen Funktion für die Höhenabhängigkeit abzubilden.

Aus dem vorhandenen Datensatz lässt sich für den lageabhängigen Anteil (Normalhöhe - LN02) die Funktion $f(y, x)$ in Form eines regelmässigen 1-km-Gitters rechnen.

Der Unterschied zwischen orthometrischer- und Normalhöhe hängt direkt von der Differenz zwischen mittlerer Normalschwere $\bar{g}_{norm}$ und der effektiven mittleren Schwere entlang der Lotlinie $\bar{g}$ ab. Er wächst linear mit der Meereshöhe:

$$H - H^N = H \cdot \frac{\bar{g} - \bar{g}_{norm}}{\bar{g}_{norm}}$$

Da die Berechnung der mittleren Schwere entlang der Lotlinie nach wie vor sehr aufwändig ist, behilft man sich der sog. Bouguer-Anomalien Δg_{Boug} , welche in der Regel eine sehr gute Näherung bilden:

$$(H - H^N)[mm] \cong -\Delta g_{Boug}[mgal] \cdot H[km]$$

Der verbleibende Rest zwischen strenger und genäherter Methode wird aufgrund der Korrekturen auf den Stützpunkten als zusätzlicher lageabhängiger Anteil $f_{rest}(y, x)$ modelliert. Im Mittelland und im Jura sind diese Korrekturen praktisch 0. In den Alpen sind die Restresiduen meist kleiner als 5 cm. Eine Ausnahme bildet das Mattertal mit Abweichungen von etwas mehr als 10 cm.

Zusammengefasst sieht die vollständige Transformation mit den insgesamt drei Interpolationsflächen nun folgendermassen aus:

$$H_{LHN95} = H_{LN02} + f_{Norm-LN02}(y, x) + f_{rest}(y, x) - \Delta g_{Boug}(y, x) \cdot H$$

Die Abbildung 8-5 zeigt die so gerechneten Unterschiede als Fläche über die gesamte Schweiz.

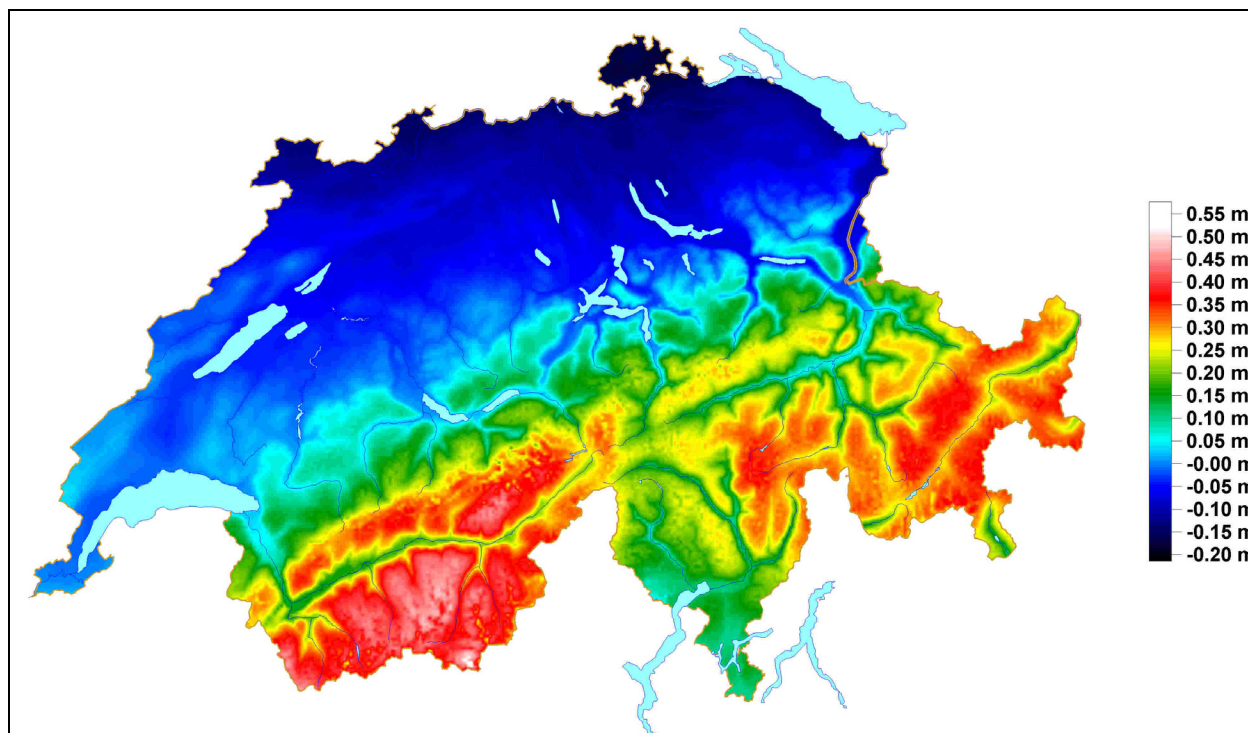


Abb. 8-5: Übersicht über die Gesamtdifferenz zwischen LHN95 und LN02

Weitere Details beispielsweise zur Transformation mit nur einer Übergangsfläche (in Kombination mit den Geoidundulationen) und zur exakten Abbildung der Stützpunkte können dem swisstopo Doku Nr. 20 [Schlatter und Marti 2007] entnommen werden.

8.4 Die Transformationssoftware HTRANS als Bestandteil von REFRAME

Ein praktikables Programm zur Transformation zwischen den beiden Höhenrahmen LHN95 und LN02 muss die beiden Anwendungen erfüllen können:

1. Transformation von Koordinatensätzen zwischen den beiden Höhenrahmen
2. Transformation von GNSS-Messungen von LHN95 in LN02

Ersteres wird verwendet, um bestehende Datensätze (Punktlisten, Koordinatenfiles) zwischen den Höhenrahmen zu transformieren.

Die zweite Aufgabe mag auf den ersten Blick weniger offensichtlich sein. Wer aber mit GNSS möglichst exakte und lokal angepasste Werte im Gebrauchshöhenrahmen LN02 bestimmen möchte, muss seine präzisen, geoidmodell-korrigierten GNSS-Höhen (näherungsweise) in LN02 transformieren, um sie danach mit einem geeigneten Ausgleichsprogramm lokal angepasst auszuwerten. Dies ist die klassische Anwendung einer GNSS basierten Fixpunkt-Höhenbestimmung für die amtliche Vermessung.

Unter dem Namen HTRANS existiert bei swisstopo ein Programm, welches diese Anforderungen erfüllt. Das Programm wurde zudem erweitert, damit alle Umrechnungsvarianten bezüglich den ellipsoidischen Höhen im Referenzrahmen LV95 durchgeführt werden können. In HTRANS ist also auch die Berechnung der Geoidundulationen CHGeo2004 integriert. Da noch viele Daten (Messungen, Koordinatenlisten) in den sog. provisorisch orthometrischen Höhen bezüglich des alten Geoidmodells CHGeo98 vorliegen, wird auch diese Umrechnungsvariante angeboten.

Die HTRANS-Routinen sind Teil des Programmpakets REFRAME, welches die relevanten Lage- und Höhen Transformationen für die amtliche Vermessung abdeckt (siehe Kapitel 9). Zudem bietet swipos-GIS/GEO (GNSS-Positionierungsdienst der swisstopo) wahlweise einen

Real-Time HTRANS-Dienst für die automatische Bestimmung von LN02-Höhen an.

8.5 Genauigkeitsuntersuchungen mit bestehenden Daten

Detaillierte Testberechnungen und Genauigkeitsuntersuchungen sind im swisstopo Doku Nr. 20 [Schlatter und Marti 2007] aufgeführt. Nachfolgend werden exemplarisch die Studien an den Punkten des GPS-Landesnetzes LV95 gezeigt. Die Höhen dieser Punkte liegen in unterschiedlicher, jedoch äusserst repräsentativer Qualität vor.

Gut die Hälfte der rund 220 Punkte ist direkt an das LHN angeschlossen. Hier existieren präzise und kontrollierte Höhen in LHN95 und LN02, und die Konsistenz mit dem Geoidmodell CHGeo2004 ist gegeben. Diese Punkte sind gleichzeitig auch Teil der 1'431 Transformationsstützpunkte für HTRANS. Sämtliche Punkte weisen durch die mehrfache GPS-Höhenbestimmung eine ellipsoidische LV95-Höhe in einem Genauigkeitsbereich von ca. $\pm 1 - 1.5$ cm vor.

Die LN02-Höhen der Punkte ohne Bezug zum LHN wurden durch lokalen Anschluss an die nächstliegenden LFP2 mit trigonometrischen oder GPS-Messungen bestimmt. Diese Höhen sind dadurch von sehr unterschiedlicher Qualität; sie repräsentieren aber den lokalen Horizont der vorhandenen Gebrauchshöhen zwischen und ausserhalb der LHN-Linien.

Um die Transformationsgenauigkeit zu testen, werden die ellipsoidischen Höhen der LV95-Punkte mit HTRANS in LN02 transformiert und mit den bestehenden Gebrauchshöhen verglichen.

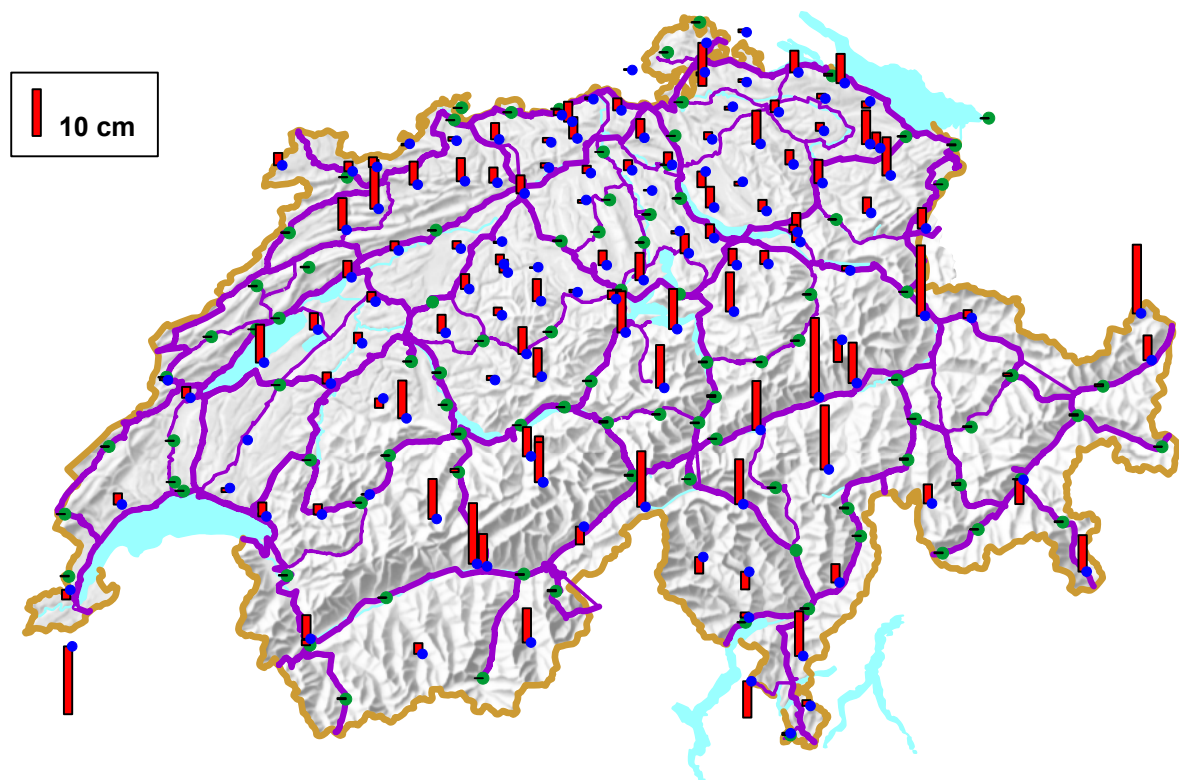


Abb. 8-6: Differenzen zwischen bestehenden und mit HTRANS transformierten Gebrauchshöhen LN02 auf den LV95-Punkten und den AGNES-Stationen; grüne Punkte: Transformationsstützpunkte; blaue Punkte: kein Anschluss ans LHN

Bei den Stützpunkten (grüne Punkte) liegt der Unterschied im Millimeterbereich. Die restlichen Punkte (blau) zeigen ein sehr heterogenes Bild. Die Differenzen sind im Mittelland meist unter 3 cm. Im Alpenraum zeigen sich aber Differenzen bis zu 15 cm.

Man kann aus diesen Testresultaten folgendes Fazit ziehen:

- Die Abweichungen neben den LHN-Linien liegen in einem Bereich von ± 10 cm. Trotz mehrheitlich positiven Differenzen zwischen tatsächlicher und transformierter LN02-Höhe ist die Verteilung mehr oder weniger zufällig. Sie repräsentiert im Wesentlichen die Genauigkeit der Gebrauchshöhen der LFP, welche nicht direkt ans LHN angeschlossen sind und zeigt somit auch, welche absolute Transformationsgenauigkeit hier erwartet werden darf. Im Mittelland liegt sie etwa bei ± 3 cm, im Alpenraum bei ± 5 cm.
- Der Ursprung dieser Differenzen ist nur am Rande in der Transformationsmethode zu suchen; die Ursache liegt mehrheitlich in der beschränkten Genauigkeit des Höhenrahmens LN02 neben den LHN-Linien. Mit einer Transformation darf hier keine Wunderlösung erwartet werden, sie kann nie bessere Resultate liefern als die Qualität der bestehenden Daten.

8.6 Konsequenzen für die AV, Ausblick und Schlussbemerkungen

Da LN02 beibehalten wird, bleibt die Höhengrundlage der amtlichen Vermessung praktisch unverändert. Welche Konsequenzen dies für die GNSS-Benutzer hat, wurde im swisstopo Doku Nr. 20 [Schlatte und Marti 2007] am Beispiel Wallis exemplarisch aufgezeigt. Wesentlich ist dabei, dass die Höhenauswertung von grossräumigen Fixpunktnetzen korrekt bearbeitet wird (Geoidmodell/HTRANS). Dies beinhaltet auch eine sorgfältige Wahl der notwendigen Anschlusspunkte. Die Richtlinien zur Bestimmung von Fixpunkten der AV vom November 2005 [swisstopo 2005] sowie das Merkblatt für Höhenbestimmungen mit GPS in der AV [swisstopo 2004a] liefern dazu eine wichtige Hilfestellung.

Im Gegensatz zu CHENyx06 ist HTRANS kein strenger Transformationsdatensatz. Nach wie vor werden die Linien des Landeshöhennetzes periodisch erneuert. Seit der Festlegung von HTRANS im Jahre 2004 liegen zudem Netzerweiterungen und neue kantonale Messungen vor, welche zu einer lokalen Qualitätssteigerung beitragen können. swisstopo behält sich das Recht vor, sowohl das Geoidmodell wie auch HTRANS zu verbessern.

Weniger offensichtlich ist die unangenehme Tatsache, dass LN02 durch GNSS-Messungen kaum verbessert werden kann. Im Gegensatz zur Lage besteht zwischen den *Höhensystemen*, welchen die Bezugsrahmen LHN95 und LN02 zugrunde liegen, weder ein mathematischer noch ein streng physikalischer Zusammenhang (es sei denn, man betrachte HTRANS als eine strenge Bezugsfläche). Zudem gilt zu berücksichtigen, ob bereits umfangreiche und an die Fixpunkte der AV angeschlossene Höhendaten vorliegen, bevor grössere Änderungen vorgenommen werden.

Die Qualität der bestehenden LN02-Höhen wird oft falsch eingeschätzt. Entlang den Linien des Landeshöhennetzes (sofern daran angeschlossen wurde) und gleichwertigen kantonalen Nivellements dürfte diese sehr hoch sein. Deren HFP decken einen Grossteil des überbauten Gebietes in der Schweiz ab. Zwischen diesen Maschen erfolgte die Verdichtung einzig durch die LFP2-Netze. Vor allem im Alpenraum muss die Qualität aufgrund des Alters der Messungen, der Lagerung und der Punktstabilität als zweifelhaft angenommen werden. Nebst den zufälligen Fehlern der GNSS-Messungen, des Geoidmodells und der Transformationsmethode HTRANS ist dies bei grossen Abweichungen ein nicht zu unterschätzender Faktor.

9 Transformationssoftware REFRAME

9.1 Client-Lösung und Geodienst

Um die Geodatenproduzenten beim Bezugsrahmenwechsel bestmöglich zu unterstützen, hat swisstopo die Software REFRAME mit allen für die Schweiz relevanten Transformationen entwickelt. REFRAME vereinigt die bisherigen geodätischen Programme FINELTRA, CHGEO, HTRANS, GPSREF und TRANSILI und erweitert diese um neue Funktionalitäten: So stehen z.B. auch Werkzeuge zur Verfügung, mit denen LTOP Koordinaten- in Mess-Dateien oder umgekehrt umgeformt werden können. GPS-Rohdaten (NMEA) oder Textdateien in Schweizer Landeskoordinaten können weiter ins KML-Format für Google Earth / Maps (Bezugsrahmen WGS84) oder auch für die Swiss Map umgewandelt werden, z.B. für die Dokumentation der Routenwahl einer Ski- oder Bergtour.

REFRAME ist erhältlich als Client-Version, als Webdienst und kann zudem auch im Batch-Modus betrieben werden.

Unterstützt werden zurzeit die Quasi-Standard Formate LTOP (KOO und MES), Autocad DXF, ESRI Shapefile, Interlis 1, Adalin sowie Text mit Separator (z.B. Excel csv). Eine Metadaten-Rastertransformation für die Formate GeoTIFF, ECW sowie ESRI World file (TFW, JPW, usw.) wurde Ende 2008 in die Client Version implementiert.

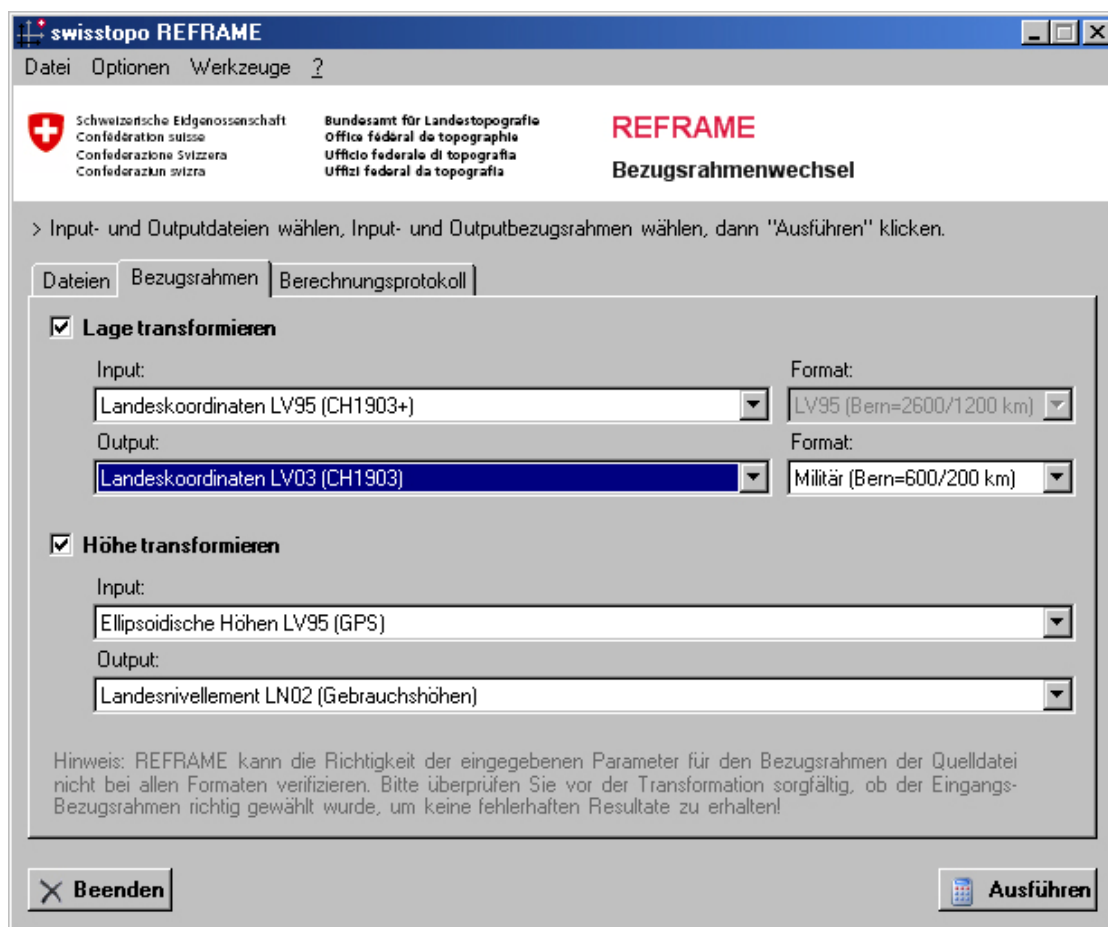


Abb. 9-1: Benutzeroberfläche der neuen Transformationssoftware REFRAME, mit welcher neben der Transformation LV03 $\leftrightarrow$ LV95 auch die Geoidundulationen (CHGeo98 und 2004) und die Differenz LN02 $\leftrightarrow$ LHN95 (HTRANS) berechnet werden können. Zudem können die Schweizer Landeskoordinaten in globale Bezugssysteme wie ETRS89 oder auch in WGS84 umgerechnet werden.

swisstopo: REFRAME - Windows Internet Explorer

http://www.swisstopo.ch/de/online/calculation/reframe/index

Startseite | Kontakt | geocat | Geodatenportal | Übersicht | Suche

Deutsch | Français | English

+ Aktuell

+ Über uns

+ Grundlagen

+ Produkte

+ Dienstleistungen

+ Downloads

- Online-Dienste

- Rechendienste

REFRAME

KML-Generierung

NAVREF

+ GNSS-Systemstatus

RINEX-Download

+ Links

toposhop

→ Amtliche Vermessung

→ KOGIS

→ e-geo.ch

REFRAME

Mit REFRAME können Sie Koordinatentransformationen in Lage und / oder Höhe durchführen. [Hilfe](#)

1. Koordinatenfile wählen:

Einschränkung: Nur Dateien bis maximal 5 Mb werden verarbeitet!

2. Wollen Sie eine Lagetransformation, eine Höhentransformation oder beides durchführen?

☐ Lagetransformation

☐ Höhentransformation

3. Wählen Sie das Ausgangs- und Zielsystem der Lagetransformation.

Ausgangssystem	Format	Zielsystem	Format
☐ Landeskoordinaten LV03 (CH1903)	☐ Militär (Bern=600/200 km)	☐ Landeskoordinaten LV03 (CH1903)	☐ Militär (Bern=600/200 km)
	☐ Zivil (Bern=0/0 km)		☐ Zivil (Bern=0/0 km)
☐ Landeskoordinaten LV95 (CH1903+)	(Bern=2600/1200 km)	☐ Landeskoordinaten LV95 (CH1903+)	(Bern=2600/1200 km)
☐ Globale Koordinaten	☐ X/Y/Z [m] (\$\$3D)	☐ Globale Koordinaten	☐ X/Y/Z [m] (\$\$3D)
☐ ETRF93 / CHTRF95 (ETRS89 / CHTRS95 / ~WGS84)	☐ L/B/H [° ' "] (\$\$EL)	☐ ETRF93 / CHTRF95 (ETRS89 / CHTRS95 / ~WGS84)	☐ L/B/H [° ' "] (\$\$EL)
	☐ L/B/H [° ' "] (\$\$EM)		☐ L/B/H [° ' "] (\$\$EM)
	☐ L/B/H [° ' "] (\$\$ED)		☐ L/B/H [° ' "] (\$\$ED)
	☐ L/B/H [gon] (\$\$EN)		☐ L/B/H [gon] (\$\$EN)

4. Wählen Sie das Ausgangs- und Zielsystem der Höhentransformation.

Ausgangssystem	Zielsystem
☐ Landesnivelllement LN02 (Gebrauchshöhen)	☐ Landesnivelllement LN02 (Gebrauchshöhen)
☐ Ellipsoidische Höhen (GPS) LV95	☐ Ellipsoidische Höhen (GPS) LV95
☐ Landeshöhennetz LHN95 (Orthometrische Höhen, CHGeo2004)	☐ Landeshöhennetz LHN95 (Orthometrische Höhen, CHGeo2004)
☐ Prov. orthometrische Höhen CHGeo98	☐ Prov. orthometrische Höhen CHGeo98

5. Berechnung durchführen oder Formular zurücksetzen

Hinweis: REFRAME kann die Korrektheit der eingegebenen Parameter für die Quelldatei nicht in jedem Fall überprüfen (LV03, geografische Koordinaten, einige Fileformate). Die Korrektheit muss also vor der Transformation sicher gestellt werden, um keine fehlerhaften Resultate zu erhalten.

Privacy Disclaimer

Lokales Intranet 100%

Abb. 9-2: Benutzeroberfläche des Internet Transformationsdienstes REFRAME

Die Transformationssoftware läuft unter MS Windows und mit der Emulator Software MONO auch auf Mac OS X, Linux oder Solaris. REFRAME wird zum Selbstkostenpreis abgegeben, die Benutzung als Geodienst über Internet ist gratis.

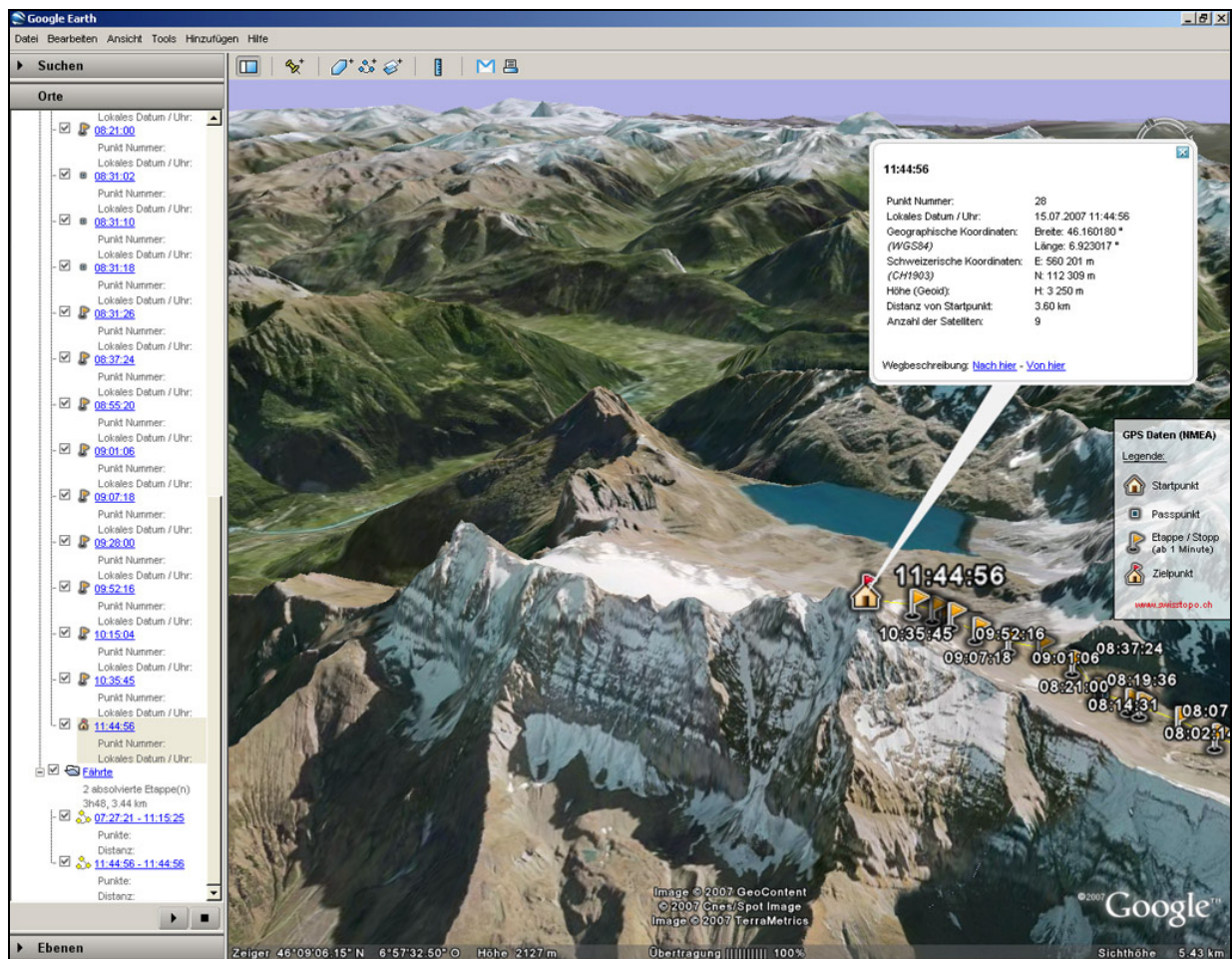


Abb. 9-3: Visualisierung einer Bergtour mit dem REFRAME-Geodienst KML-GENERIERUNG und Google Earth

9.2 Programmbibliothek

swisstopo stellt eine Programmbibliothek für Softwareentwickler gratis zur Verfügung. Sie erlaubt alle Umwandlungen von Koordinaten und Höhen, welche in der Schweiz relevant sind:

- GPSREF (ETRF93 ↔ LV95)
- FINELTRA (LV95 ↔ LV 03)
- CHGEO2004 (ellipsoidische Höhen ↔ LHN95)
→ setzt den Geoid-Basisdatensatz voraus, welcher bei swisstopo erworben werden kann
- HTRANS (LHN95 ↔ LN02)

Die Programmbibliothek „REFRAME DLL“ kann leicht in bereits existierende Anwendungen (.NET, C++, Visual Basic) oder bestehende Makros integriert werden (z.B. VBA) und kann auf der swisstopo Internetseite herunter geladen werden.

10 Internet-Portal zum Bezugsrahmenwechsel

Unter www.swisstopo.ch/lv95 und www.swisstopo.ch/mn95 hat swisstopo ein Internet-Portal zum Bezugsrahmenwechsel aufgeschaltet. Darauf sind verschiedene Informationen zum neuen Bezugsrahmen LV95 zu finden, und es kann der offizielle Datensatz für die Transformation LV03 ↔ LV95 bezogen werden. Software-Entwickler können weiter eine Programmbibliothek (DLL) mit dem FINELTRA-Algorithmus und der Dreiecksvermaschung CHENyx06 zur Integration in GIS-Fachschalen oder Fachapplikationen bestellen.

Zudem steht REFRAME in vollem Funktionsumfang zusammen mit dem Werkzeug KML-Generierung als Geodienst unentgeltlich zur Verfügung. Aus Performancegründen können im Internet Dateien nur bis zu einer Grösse von 5MByte transformiert werden. Benutzer von Positionierungsdiensten wie z.B. swipos® oder andere Interessierte können ausserdem die Genauigkeit der Transformation für alle Regionen der Schweiz mit dem FINELTRA-Datenviewer visualisieren sowie die Punktprotokolle der Transformationsstützpunkte abrufen.

The screenshot shows the 'swisstopo: Bezugsrahmenwechsel LV03 - LV95' page in a Windows Internet Explorer browser. The page header includes the Swiss Federal Government logo and the title 'Bundesamt für Landestopografie swisstopo'. The navigation menu on the left lists various topics, with 'Bezugsrahmenwechsel' highlighted. The main content area is titled 'Bezugsrahmenwechsel LV03 - LV95' and contains four sub-sections: 'Allgemeine Informationen', 'CHENyx06 / Downloads', 'Online-Dienste / REFRAME', and 'FINELTRA-Datenviewer'. Each sub-section provides detailed information and links related to the coordinate system transition.

Abb. 10-1: Einstiegsseite des Internetportals zum Bezugsrahmenwechsel mit folgenden vier Themenbereichen:

- Allgemeine Informationen
- Downloadbereich → CHENyx06 und DLL
- Online Transformationsdienste / REFRAME
- FINELTRA-Datenviewer

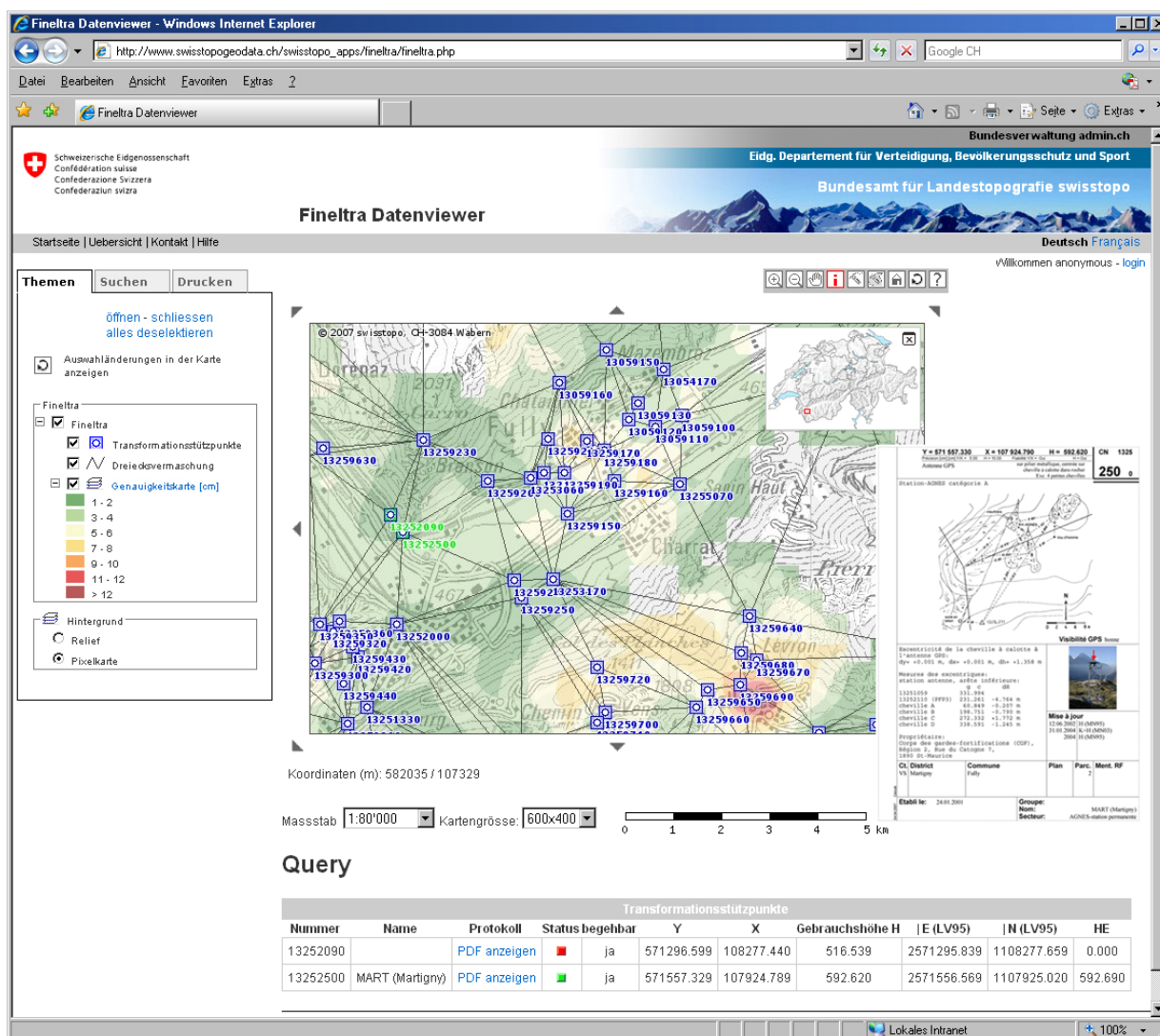


Abb. 10-2: FINELTRA-Datenviewer mit der Dreiecksvermaschung, den Stützpunkten sowie der empirischen Transformationsgenauigkeit in der Region Martigny. Über den Fixpunkt-Datenservice kann direkt auf die Punktprotokolle zugegriffen werden.

11 Bedeutung der Transformationsgrundlage LV03 ⇔ LV95 im Kontext einer modernen Landesvermessung / Nationalen Geodateninfrastruktur

Mit der Fertigstellung der Dreiecksvermaschung CHENyx06 ist der Bezugsrahmen LV03 zum ersten Mal seit seiner Realisierung im Jahre 1903 nicht mehr nur *relativ* definiert, sondern - implizit - für die ganze Schweiz *absolut* über eine hochgenaue, strenge Transformation mit Bezug zu den globalen Referenzsystemen und damit auch zu denjenigen der Nachbarländer festgelegt. LV03 ist also nicht mehr nur kleinräumig über einzelne Vermessungspunkte definiert (d.h. so weit, wie man mit einem Tachymeter im entsprechenden Gebiet an Anschlusspunkte anschliessen konnte), sondern eindeutig für die ganze Fläche der Schweiz.

In der Praxis bedeutet dies eine Vielzahl von Vorteilen, indem zum Beispiel der Datenaustausch mit den Nachbarländern wesentlich vereinfacht wird oder mit einem Positionierungsdienst wie swipos® effizienter ohne so genannte lokale Einpassung gearbeitet werden kann. Auch kann die Landesgrenze der Schweiz zum ersten Mal in ihrer Geschichte Koordinaten basiert (im europäischen Bezugsrahmen ETRF93) festgelegt werden und nicht mehr nur beschreibend in Annex-Dokumenten zu den entsprechenden Staatsverträgen wie bisher.

Die Erarbeitung dieser Transformationsgrundlage war die Grundvoraussetzung dazu, dass die Schweiz ihren neuen (absoluten) Bezugsrahmen LV95 in den nächsten Jahren einführen kann, wie dies in anderen europäischen Staaten erfolgt. Damit verfügt sie über ein modernes „Fundament“ für die Nationale Geodateninfrastruktur. In der Geoinformationsverordnung ist festgelegt, dass in den nächsten Jahren alle Geobasisdaten sukzessive auf LV95 umgestellt werden. Dabei gilt es im Hinblick auf einen optimalen volkswirtschaftlichen Nutzen einige Punkte zu beachten:

- Für die Überführung von Geobasisdaten nach LV95 ist der **adäquate Algorithmus** in Abhängigkeit von den Genauigkeitsanforderungen und der Gebietsausdehnung auszuwählen (siehe Kapitel 6.1).
- Die **Übergangszeit mit zwei Bezugsrahmen** sollte schweizweit möglichst kurz gehalten werden, da sonst alle Geobasisdaten in der Datenbank in LV03 und LV95 vorgehalten, bzw. immer wieder Daten hin- und her transformiert werden müssten, was hohe Kosten verursacht. Auch müssten sonst bei den Positionierungsdiensten wie swipos® oder den Visualisierungsdiensten wie Fixpunkt-Datenservice für lange Zeit zwei Bezugsrahmen angeboten werden, was für die Nutzer kompliziert ist und zu Verwechslungen führen kann. Aus diesem Grund müssen die Koordinaten immer eindeutig einem Bezugsrahmen zugeordnet sein und entsprechend klar bezeichnet werden.
- Nach Abschluss aller Vorarbeiten sollte der eigentliche **Bezugsrahmenwechsel** möglichst bald, für alle Geodaten gleichzeitig und in möglichst kurzer Zeit erfolgen. Es ist sorgfältig zu prüfen, ob dies allenfalls zusammen mit anderen Arbeiten, z.B. einer Datenmodell-Änderung, kombiniert werden kann. Zudem gilt es zu berücksichtigen, dass je länger gewartet wird, desto mehr Daten transformiert werden müssen, da die Datenbestände laufend zunehmen.
- **Neu zu erfassende Geobasisdaten** sollen wenn möglich direkt in LV95 aufbereitet werden.

Die nachfolgenden Aspekte gelten insbesondere für Geobasisdaten mit hohen Genauigkeitsanforderungen:

- Für die **Überführung der Geodaten** vom alten Bezugsrahmen LV03 zum neuen LV95 sollte wenn immer möglich die offizielle Transformationsgrundlage CHENyx06 verwendet werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass sowohl die Referenzdaten der amtlichen Vermessung wie auch alle anderen Geobasisdaten konsistent nach LV95 überführt werden. Damit ist die Widerspruchsfreiheit zwischen den einzelnen Datensätzen gewährleistet.

Interpolationen oder sogenannten *lokale Einpassungen* sollen nur in Ausnahmefällen und in klar ausgeschiedenen Gebieten durchgeführt werden, in denen aufgrund inhomogener Verzerrungen die Überführung nach LV95 sonst nicht mit genügender Genauigkeit erreicht werden kann. Diese Gebiete sollten in Zusammenarbeit mit den Organen der amtlichen Vermessung baldmöglichst und schweizweit ausgeschieden werden und beispielsweise über FINELTRA-Datenviewer publiziert werden. Denn in solchen Gebieten eignen sich die Daten der amtlichen Vermessung, bis sie entzerrt sind, *nur bedingt* als Referenzdaten für neu zu erhebende Geobasisdaten. Es muss sichergestellt werden können, dass die darauf aufbauenden Datenbestände später mittels der gleichen Interpolation wie die AV-Daten nach LV95 überführt werden.

- Bei der **Nachführung von Geodaten** kann aufgrund der vorhandenen Verzerrungen nicht immer sowohl die *Nachbargenauigkeit in LV03* erhalten wie auch gleichzeitig der Anspruch nach *absoluter Genauigkeit in LV95* erfüllt werden. Dabei gilt es zu unterscheiden, ob die vorgegebenen Toleranzen noch eingehalten werden können oder nicht. Falls nein, dann muss auf jeden Fall lokal eingepasst werden und das Gebiet für eine spätere Entzerrung ausgeschieden werden. Falls ja, dann gilt es für die zuständigen Instanzen vor Ort sorgfältig zu beurteilen, ob der Erhalt der Nachbargenauigkeit (z.B. in der Ebene Liegenschaften in der amtlichen Vermessung) wirklich unerlässlich ist oder ob die Toleranzen nicht zugunsten der Absolutgenauigkeit in LV95 ausgeschöpft werden sollten. Denn überall wo in LV03 lokal eingepasst wird, kann zwar die Nachbargenauigkeit erhalten werden, dafür wird entgegen dem Hierarchieprinzip² ein Fehler in LV95 eingebracht. Der schlechteste Fall wäre schliesslich, wenn auch nach dem Bezugsrahmenwechsel LV03 → LV95 aufgrund unsachgemässer Anwendung der lokalen Einpassung in vielen Gebieten weiterhin lokal gearbeitet werden müsste und damit die Vorteile von LV95 nicht genutzt werden könnten.

² Unter dem Hierarchieprinzip wird verstanden, dass Geodaten im offiziellen Bezugsrahmen der Schweiz erhoben werden und die Anforderungen an die Genauigkeit immer in Bezug zu den Vermessungspunkten der nächst höheren Rangordnung (sogenannte Anschlusspunkte der Gemeinden, Kantone und des Bundes) gelten. Sind Absolutgenauigkeiten definiert, beziehen sich diese immer auf die Landesvermessung.

12 Nutzen des Bezugsrahmenwechsels

Die Definition eines geodätischen Bezugssystems und der zugehörigen Bezugsrahmen ist für einen Staat von enormer Bedeutung, wird doch dadurch die geometrische Grundlage für alle georeferenzierten Daten über sein ganzes Hoheitsgebiet definiert. So ist es auch bemerkenswert, dass die heute gültigen Geobasisdaten und der grösste Teil der davon abgeleiteten Produkte noch immer auf der über 100 Jahre alten Landesvermessung von 1903 (LV03) beruhen. Dass aber mit neuen Technologien wie beispielsweise der Einführung von elektronischen Distanzmessungen in den 60-er Jahren des letzten Jahrhunderts erste Schwachstellen entdeckt wurden, kann bei der immer rasanteren technologischen Entwicklung nicht erstaunen. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts war es dann die Satellitenvermessung, die sich in der Vermessungsbranche und vor allem in der Navigation rigoros durchsetzte. Parallel dazu standen durch die Informatik auch gänzlich andere Werkzeuge für anspruchsvolle Berechnungen zur Verfügung, wie sie bei Anwendungen in der Landesvermessung aber auch in der Navigation benötigt werden.

Die Ablösung des Bezugsrahmens LV03 durch einen neuen, den heutigen Bedürfnissen genügenden, zeitgerechten Bezugsrahmen war vor allem für die geodätische Landesvermessung unumgänglich. Die Entstehung, das Konzept, die Planung, die Realisierung und die bisherigen Resultate sind in der Berichtserie zum Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz „LV95“ ausführlich begründet und beschrieben.

In allen Diskussionen innerhalb der verschiedenen Gremien und Arbeitsgruppen war man sich einig, dass im Hinblick auf die Arbeitsweise mit modernen Messmethoden, die auf einer genauen und von früheren Mängeln befreiten, sogenannten zwangsfreien Vermessungsgrundlage basieren, ein sehr grosser Nutzen erreicht werden kann. Gleichzeitig war man sich auch bewusst, dass es nicht so einfach werde, die bestehenden, in LV03 vorliegenden Daten zu modifizieren und die betroffenen Datenbetreiber davon zu überzeugen. Es ist deshalb auch äusserst schwierig, diesen Nutzen konkret in Mengen- und Kostenangaben zu quantifizieren. Schliesslich wird man den effektiven Nutzen erst messen können, wenn auch flächendeckend auf dem neuen Bezugsrahmen LV95 gearbeitet wird.

Nachfolgend sollen einige Aspekte des aus heutiger Sicht abzuschätzenden Nutzens des Bezugsrahmenwechsels aufgezählt werden.

- Das Grundlagenetz der Landestriangulation 1.bis 3. Ordnung von 1903 sowie die Definition des Landesnivellements von 1902 genügen den Anforderungen an eine moderne, international vernetzte Landesvermessung nicht mehr. Der spürbare Nutzen des neuen Landesvermessungswerkes LVW95 widerspiegelt sich vor allem in folgenden Punkten:
 - klar definierte Schnittstellen zu globalen Bezugssystemen und -rahmen
 - genauere Koordinatentransformationen mit Nachbarländern
 - potentialtheoretisch strenges Höhensystem
 - permanente Überwachungsmöglichkeiten der Referenzstationen
 - Angebot von präzisen Positionierungsdiensten
 - hohe Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Referenzpunkte (zentimeterbereich)
 - Befreiung von Verzerrungen und Widersprüchen
 - sichere, stabile Standorte der Referenzpunkte mit erleichterter Zugänglichkeit
 - Reduktion der Punktdichte und homogene Punktverteilung
 - Reduktion von Unterhaltskosten
- Die Verknüpfung unserer Daten mit globalen Bezugssystemen oder mit solchen unserer Nachbarländer wird vereinfacht. Vorteilhaft hat dies vor allem bei der Bearbeitung von grenzüberschreitenden Projekten wie GIS-Landesgrenze, europäisches Eisenbahn- und Strassennetz, Bodenseeportal, ... oder auch von Grossprojekten wie Alptransit, Grundlagenbeschaffung für Tunnelbauten, Ausbau von Elektrizitätswerken, NAGRA etc. ...

- Moderne Messmethoden können effizient und einfach eingesetzt werden. Diverse Berechnungen werden rationalisiert oder sogar überflüssig.
- Mit dem Automatischen GNSS Netz der Schweiz AGNES und dem damit eng verbundenen Positionierungsdienst swipos® kann der Nutzen einer modernen Landesvermessung besonders hervorgehoben werden. Das Verlangen der Datenbetreiber besteht u.a. auch in der effizienten Datenerhebung und in der Vereinfachung der Navigation. Mit dem Echtzeit Positionierungsdienst kann ein solcher Bedarf auf äusserst effiziente Art abgedeckt werden. swipos® ist flächendeckend und kontinuierlich verfügbar. Über die AGNES-Stationen und über ein Monitoring wird dieser Geodienst laufend überwacht und ist dementsprechend genau, zuverlässig und rationell. Diese Form von Echtzeit-Positionierungsbestimmung ist nicht nur bei der klassischen Datenerhebung ein willkommener Fortschritt, für Monitoring-Geodienste wie permanente Bauwerksüberwachungen oder Geländeverschiebungen wird auch diese Methode zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die dazu verwendeten Grundlagen basieren alle auf dem Bezugsrahmen LV95.
- Die Integration Raum bezogener Daten verschiedenster Herkunft wird infolge der einheitlichen und „absoluten“ (d.h. von lokaler Einpassung befreiten) Referenzierung vereinfacht. In Gebieten mit flächenartig homogenen Fixpunktnetzen können beispielsweise Punktbestimmungen und Rekonstruktionen auf beliebige, weiter entfernte Fixpunkte bezogen werden, ohne dass die relative Genauigkeit beeinträchtigt wird. Dieser Aspekt erhält mit der geplanten Integration verschiedener Datensätze in die Nationale Geodaten-Infrastruktur (NGDI) eine besondere Bedeutung (siehe Kapitel11).
- Mit FINELTRA und dem nationalen Transformationsdatensatz CHENyx06 steht ein Werkzeug zur Verfügung, das die Umrechnung von LV03 auf LV95 und umgekehrt flächendeckend und uneindeutig gewährleistet. Damit können georeferenzierte Daten jederzeit auf einfache Art von dem einen zum andern Bezugsrahmen umgerechnet und ausgetauscht werden. Mit CHENyx06 und den davon abgeleiteten Nebenprodukten wie Tools zu LSKS, SGF; DLL, NTV2 usw., und mit diversen Lösungsansätzen zur Behandlung der Rasterdaten ist es heute schon möglich, alle Arten von digitalen Daten für den Bezugsrahmenwechsel zu bearbeiten. Damit kann dieser Prozess bis zur gesetzlich vorgegebenen Frist von 2020 kontinuierlich stattfinden. Die Vorgaben aus der Strategie der amtlichen Vermessung können somit erfüllt werden. Zudem steht mit CHENyx06 ein offizieller, homogener Datensatz bereit, der für alle Anwendungen im Vermessungs-, GIS- und Navigationsbereich Gültigkeit hat und einheitliche Lösungen in LV95 ermöglicht.
- Zwangsfreie oder zumindest zwangsarme Anschlusspunktfelder erleichtern wesentlich die Nachführungsarbeiten von sämtlichen Ebenen der amtliche Vermessung, was mögliche Fehlerquellen erheblich vermindern und entsprechend Kosten bei der Erstellung, der Nachführung und dem Unterhalt von Vermessungsoperaten einsparen wird.
- Allgemeine Benützer der Vermessungswerke wie swisscom, SBB, Elektrizitätswerke, Bauwesen, Raumplanung, Leitungskataster u.v.m. sind sich in der Regel nicht bewusst, in welchem Referenzrahmen sie eigentlich arbeiten, sie werden aber immer die günstigste Methode der Datenerhebung anstreben. Die Integration dieser Daten in die amtliche Vermessung wird enorm erleichtert, wenn für alle der gleiche, einheitliche und spannungsfreie Bezugsrahmen zugrunde liegt.
- Durch die Wahl von stabilen, geologisch begutachteten und überwachten Standorten der Referenzstationen (AGNES) wie auch der übrigen Referenzpunkte (LV95-Punkte) eignen sich diese Punkte für tektonische Untersuchungen und andere wissenschaftliche Interessen. Aus den durch swisstopo in regelmässigen Abständen durchgeführten Wiederholungsmessungen wie auch aus den Resultaten der permanent betriebenen AGNES-Stationen kann schliesslich ein in sich konsistentes kinematisches Modell der Schweiz gebildet werden.

Obwohl der Nutzen des zu favorisierenden Bezugsrahmenwechsels auf LV95 vielleicht noch nicht für alle Datenbetreiber in gleicher Weise eingesehen wird, wird mittelfristig die nach GeoIG und GeoIV eingeleitete Überführung der Daten der amtlichen Vermessung in LV95 vermutlich dazu führen, dass der alte Bezugsrahmen LV03 an Bedeutung verlieren wird. Dadurch werden auch die übrigen Benutzer allmählich dazu motiviert werden, ihre Daten im neuen Bezugsrahmen LV95 zu referenzieren.

13 Schlussbetrachtungen

Mit der neuen Landesvermessung LV95 und dem dazugehörigen Datensatz CHENyx06, über den jetzt ein sehr genauer Bezug zur bisherigen Landesvermessung LV03 hergestellt ist, wurde eine für die Schweiz sicher historische Phase in der schweizerischen Landesvermessung und der amtlichen Vermessung erreicht. Zwar ist der neue Bezugsrahmen LV95 noch immer nicht die offizielle Vermessungsgrundlage, aber die technische und rechtliche Vorbereitungsphase darf bereits als abgeschlossen betrachtet werden.

An dieser langjährigen und intensiven Arbeit waren die verschiedensten Fachleute aller Stufen der Geomatik beteiligt, die zusammen ein nachhaltiges und breit abgestütztes Werk von grosser Bedeutung geschaffen haben. In dieser Zeit konnten auch wertvolle Erfahrungen gesammelt werden, die in die noch offenen Punkte einfließen können. Insbesondere waren es beim Aufbau von CHENyx06 die kantonalen Vermessungsfachstellen, die zur hervorragenden Qualität dieses Bezugsrahmenwechsels beigetragen haben. Damit ist zumindest für die amtliche Vermessung ein wichtiges Werkzeug vorhanden. Da aber die Geobasisdaten zum grössten Teil auf den Daten der AV basieren, wird sich diese Qualität auch auf alle übrigen Daten auswirken, was ja ein ursprüngliches Ziel im LV95-Konzept war.

Nicht zu vergessen sind dabei die ebenso wichtigen Beiträge der Hoch- und Fachhochschulen, die mit ihrer fachlichen Beratung einerseits, aber auch mit zahlreichen und sehr aussagekräftigen Arbeiten in Form von Diplomarbeiten oder anderen Untersuchungen in Testgebieten wertvolle Erfahrungen machen und Hinweise abgeben konnten. Gerade durch den Einbezug der Schulen konnte vor allem auch der Nachwuchs sensibilisiert werden für den kommenden Bezugsrahmenwechsel. CHENyx06 darf daher auch aus dieser Sicht als ein Musterbeispiel einer konstruktiven Zusammenarbeit betrachtet werden.

Neben den technischen Aspekten dürfen die gesetzlichen Grundlagen, die mit dem Inkrafttreten des neuen Gesetzes für Geoinformation GeolG geschaffen wurden, nicht vergessen werden. Auch hier wurde in nützlicher Frist unter der Projektleitung von swisstopo und durch die verschiedenen paritätischen Arbeitsgruppen eine enorme Arbeit geleistet, die als ein „Jahrhundertwerk“ angesehen werden darf. Das rechtliche Fundament für eine den heutigen Ansprüchen genügende und aus heutiger Sicht auch nachhaltige Dateninfrastruktur ist damit geschaffen.

Was nicht ganz den ursprünglichen Zielsetzungen von LV95 entspricht, ist die Beibehaltung des „alten“ Höhenbezugsrahmens LN02 anstelle des neuen LHN95. Auch diese Frage wurde in breiten Kreisen tiefgründig analysiert. Die Mehrheit der Entscheidungsträger befürchtete jedoch eine zu grosse Gefahr von Verwechslungen bei einer unüberblickbaren Datenmenge. Die Geschäftsleitung von swisstopo hat deshalb nach genau 100 Jahren am 30. April 2002 den Höhenbezugsrahmen LN02 als den weiterhin geltenden erklärt. LHN95 steht aber für die Anwendungen der geodätischen Landesvermessung als wichtige Grundlage zur Verfügung. Nachteilig wirkt sich nun beim Erhalt von LN02 als offiziellen Höhenbezugsrahmen aus, dass bei den in sich genauen und konsistenten, dreidimensionalen Punktbestimmungsmethoden, wie beispielsweise die Satellitenvermessung dies ermöglicht, mittels der Näherungstransformation von HTRANS nur genäherte Höhen resultieren, welche bei genaueren Anforderungen jedes Mal lokal angepasst werden müssen.

Selbstverständlich ist der Zugang zum Thema Bezugsrahmenwechsel über die Webportale swisstopo.ch und cadastre.ch gewährleistet. Teilweise bieten auch die kantonalen Vermessungsfachstellen Webseiten darüber an. Die Informationen, Dienste und Erklärungen dazu sind somit allen Betroffenen und Interessierten kostenlos zugänglich. Dank dieser Dienstleistung über das Internet darf man sich ebenfalls einen gewissen Informationsfluss erhoffen, dieser ist aber bei weitem nicht genügend. Die grosse Masse der Geodatenbenützer ist sich nämlich der Problematik eines Bezugsrahmenwechsels gar noch nicht bewusst oder möchten sich nicht damit befassen müssen. Hier gibt es demzufolge noch einen grossen Nachholbedarf. Zumindest müssen in nächster Zeit alle Fachleute der Geomatik wie auch die

GIS-Betreiber via gezielter Informationskampagnen sensibilisiert und über die Folgen aufgeklärt werden. Der gleichzeitige Effort einer breit angelegten Überzeugungsarbeit darf dabei nicht unterschätzt werden.

Obwohl mit FINELTRA und CHENyx06 ein grosser Schritt in Richtung LV95 als offiziellen Bezugsrahmen gemacht wurde, sind heute noch einige Ziele nicht erreicht. Im nächsten Kapitel wird auf die noch offenen Punkte und das weitere Vorgehen kurz eingegangen. Das Fernziel wird erst erreicht sein, wenn alle Geobasisdaten in LV95 überführt sind. Die Werkzeuge dafür stehen ab jetzt bereit. In dieser Beziehung darf also der erste, aber nicht unwesentliche Schritt als abgeschlossen erklärt werden.

14 Ausblick

Nach Art. 53, Absatz 2 der Geoinformationsverordnung GeoIV müssen die Referenzdaten bis 31. Dezember 2016 und die Geobasisdaten des Bundesrechts bis zum 31. Dezember 2020 auf CH1903+/LV95 umgestellt sein. Dieses Ziel scheint heute noch weit weg und entsprechend realisierbar zu sein. Trotzdem muss schon heute mit grosser Intensität darauf hingearbeitet werden, denn für die allgemeinen Benützer von Geodaten ist der neue Bezugsrahmen LV95 heute, d.h. 7 resp. 11 Jahre vorher in der Regel noch kein Thema.

Wie im vorherigen Kapitel bereits erwähnt muss sicher ein umfassendes Informations- und Kommunikationskonzept erarbeitet werden. Gleichzeitig ist es ratsam, anhand von weiteren geeigneten Pilotprojekten oder aufgrund von Gebieten, wo LV95 bereits eingeführt wurde (z. B. Kanton VS) das konkrete Vorgehen bei der Umsetzung zu überdenken. Auch die Schulung des betroffenen Personals darf nicht in Vergessenheit geraten. Dafür wurde die V+D durch die Geschäftsleitung von swisstopo beauftragt, unter dem Einbezug der Bereiche Geodäsie und KOGIS ein Folgeprojekt zur „Überführung der AV in den Bezugsrahmen LV95“ auszuarbeiten. Davon werden aber erst die Daten der AV konkret abgedeckt. Andere Bundesstellen, kantonale GIS-Fachstellen und weitere grosse Geodatenproduzenten müssen ebenso involviert und unterstützt werden. Für diese Belange wurde deshalb eine e-geo.ch Aktion gestartet und ein swisstopo-Projekt initiiert.

Ähnlich wie auf Bundesstufe müssen auch auf der **kantonalen Ebene** organisatorische und rechtliche Grundlagen erarbeitet werden. Das gleiche gilt bei den Kommunikations- und Informationskonzepten. Dies wiederum bedingt von Bundesseite finanzielle Unterstützung und Mithilfe bei der Information und bei der Rechtssetzung. Insbesondere darf die politische Seite nicht unterschätzt werden, denn ein Bezugsrahmenwechsel bedarf unter anderem eines kantonalen Regierungsratsbeschlusses oder gar einer Anpassung der kantonalen Verordnungen, was weitere Überzeugungskraft und Aufklärungsarbeit bedeutet.

Die Anzahl der zu transformierenden Daten ist immens und wird immer grösser. Die Daten werden in einer Vielzahl von Verwaltungen, Betrieben, Büros und Branchen verwaltet und nachgeführt. Dies bringt den GIS-Koordinationsstellen eine neue und nicht zu unterschätzende Herausforderung. Entsprechend müssen Weisungen und Richtlinien erarbeitet werden.

Der Bezugsrahmenwechsel scheint aus heutiger Sicht der richtige und vernünftige Weg zu sein für die Zukunft. Bis zur Umsetzung des Bezugsrahmenwechsels 2016/2020 sind jedoch weitere und immer rasantere, technologische Sprünge zu erwarten. So sind folgende Punkte, die auch die Verwaltung von Geodaten beeinflussen können, sicher nicht ausser Acht zu lassen:

- Online-Anwendungen und Telekommunikation
- Fortschritte im Navigationsbereich
- Entwicklung der Satellitengeodäsie
- Ausbau von Web-Services
- Vermehrter Einsatz von 3D-Messmethoden und 3D-Datensätzen
- Laserscanning
- Zukunft der Höhennetze und Schwerenetzbestimmungen (z.B. Geoid, GPS-Levelling)
- Geodynamik und kinematische Aspekte (weitere Messepochen CHTRFyy)
- Problematik der lokalen Entzerrungen in der AV
- usw.

Die Entwicklung ist nicht aufzuhalten. Und so wird man auch nicht sagen können, wir seien am Ziel angelangt. Eine entscheidende Etappe in dieser Phase des Bezugsrahmenwechsels konnte aber abgeschlossen werden. Die technischen Grundlagen liegen bereit. So sind wir auch überzeugt, dass wir im Hinblick auf eine neuzeitliche und nachhaltige Grundlage für die Geobasisdaten im Rahmen der NGDI den richtigen Weg eingeschlagen haben und damit weiteren Zielen mit Zuversicht entgegenblicken können.

Literaturverzeichnis

verwendete Abkürzungen:

IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich. (nicht zu verwechseln mit dem International Geodynamics Project)
KVA	Kantonales Vermessungsamt
L+T	Bundesamt für Landestopografie (Publikationen vor 2002)
SGK	Schweizerische Geodätische Kommission
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie (Publikationen ab 2002)
VPK	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik (schweizerische Fachzeitschrift; heute ‚Geomatik Schweiz‘)
V+D	Eidgenössische Vermessungsdirektion

- AGIS (2001): Benutzer-Handbuch LV95-Dreiecksvermaschung. *ArcView Erweiterung der Fachstelle AGIS, Kanton Aargau; GeoWerkstatt Stefan Kiener, Bern, Dezember 2001.*
- Ammann R, Carosio A., Dupraz H., Durussel R., Jolidon A., Just Ch., Schneider D., Ulrich W. und Vogel B. (1996): Konsequenzen der Landesvermessung 95 für die amtliche Vermessung. *Schlussbericht der Arbeitsgruppe AV/LV95 vom August 1996, Eidg. Vermessungsdirektion / Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Brühlmann Ph. (2004): Nichtparametrische Regression und Schollendetektierung. *Diplomarbeit an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), Muttenz*
- Carosio A., Durussel R., Just Ch., Naepflin G. und Vogel B. (1997): Transformation zwischen den Bezugsrahmen LV03 und LV95, Projekt „Transformation mit finiten Elementen – Test Zug“. *Bericht der Untergruppe AV/LV95 vom Febr. 1997, V+D, L+T, KVAZG und IGP-ETHZ*
- Chablais H., Signer Th., Vogel B. (1995): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 4: Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA93'. *Berichte aus der L+T Nr. 9, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Hägler H., Egli P. und Aebi U. (2003): Pilotprojekt für die Transformation von Datensätzen aus dem Bezugsrahmen LV03 in den Bezugsrahmen LV95. *Technischer Bericht BL, Vermessungs- und Meliorationsamt BL, Liestal*
- Kistler M. (2006): Generierung der schweizweiten Dreiecksvermaschung Stufe AV. *Workflow zum Tool FINELTRA2ARCGIS vom 19. 4. 2006, Geschäftsstelle RD/LV95, swisstopo, Wabern.*
- Kistler M, Papafitsorou A. und Burkard M. (2007): Nationale Dreiecksvermaschung CHENyx06, *Vortrag anlässlich des swisstopo Kolloquiums vom 26. 1. 2007 in Wabern.*
- Kistler M., Ray J (2007): Neue Koordinaten für die Schweiz: Fertigstellung der nationalen Dreiecksvermaschung, neue Transformationssoftware REFRAME und Eröffnung des Internet-Portals "Bezugsrahmenwechsel". *Geomatik Schweiz 9/2007.*
- KKVA (2009): Einsatz von GNSS bei der Bestimmung von Detailpunkten in der amtlichen Vermessung. *Richtlinie der Konferenz der kantonalen Vermessungsämter (KKVA) vom 3.06.2009.*

- Marti U. (2001): Länderspezifisches Koordinatensystem LSKS: Untersuchungen zur Modellierung der Verzerrungen der Landesvermessung LV03 und Vergleich mit FINELTRA. *Technischer Bericht Nr. 01-28, 2001, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Marti U., Schlatter A. (2002): Höhenreferenzsysteme und -rahmen. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 1/2002.*
- Marti U., Schlatter A. (2002): Neues Landeshöhenetz der Schweiz. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 1/2002.*
- Marti U. (2002): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 10: Das Geoid der Schweiz 1998 „CHGEO98“. *swisstopo Doku Nr. 16, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Marti U. (2007): LSKS 2007: Untersuchung zur Verwendbarkeit der Dreiecksvermaschung Stufe AV (CHENyx06) in Form eines regelmässigen Gitters. *swisstopo Report Nr. 07-04, Mai 2007, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Marti U. (2008a): Transformation von Rasterdaten: Wechsel des Bezugsrahmens von LV95 auf LV03 bei Rasterdaten. *swisstopo Report Nr. 08-18, Juli 2008, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Marti U. (2008b): Bezugsrahmenwechsel LV03 – LV95: Erzeugung einer NTv2-Datei als Näherungslösung für den Bezugsrahmenwechsel. *swisstopo Report Nr. 08-20, Juli 2008, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Meier W., Bader A., Kunz O., Liechti H.U. und Rolli S. (2003): Pilotprojekt für die Transformation von Datensätzen aus dem Bezugsrahmen LV03 in den Bezugsrahmen LV95. *Technischer Bericht BS, Grundbuch- und Vermessungsamt BS, Basel.*
- Nebiker St., Sievers B. und Bleisch S. (2002): Transformation von Rasterdaten mit finiten Elementen. *Studienauftrag des CC RD/LV95, Fachhochschule beider Basel (FHBB), 14. 5. 2002, MuttENZ Schneider D. (2006): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Entwicklung, Stand und Ausblick. Vortrag anlässlich des swisstopo Kolloquiums vom 3. 3. 2006 in Wabern.*
- Santschi W., B. Vogel, Th. Signer und D. Gutknecht (1998): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 5: GPS Landesnetz: Netzanlage, Materialisierung, Dokumentation und Nachführung. *Berichte aus der L+T Nr. 11, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Schlatter A. (2006): Das neue Landeshöhenetz der Schweiz LHN95. *Diss. ETH Nr. 16840, Zürich.*
- Schlatter A. und Marti U. (2007): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 12: Landeshöhenetz 'LHN95': Konzept, Referenzsystem, kinematische Gesamtausgleichung und Bezug zum Landesnivellement 'LN02'. *swisstopo Doku Nr. 20, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Schneider D., E. Gubler und A. Wiget (1995a): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 1: Vorgeschichte, Konzept, Projektorganisation und Planung. *Berichte aus der L+T Nr. 6, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Schneider D., E. Gubler, U. Marti und W. Gurtner (1995b, Ausgabe 2001): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 3: Terrestrische Bezugsysteme und Bezugsrahmen. *Berichte aus der L+T Nr. 8, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Schneider D. (2006): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Entwicklung, Stand und Ausblick. *Vortrag anlässlich des swisstopo Kolloquiums vom 3.03. 2006 in Wabern.*

- Signer Th. und Vogel B. (1999): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 9: GPS Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung, Transformation 'LV95 $\Leftrightarrow$ LV03'. *Berichte aus der L+T Nr. 15, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- Signer Th. und Vogel B. (2001): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 8: Gesamtausgleichung des GPS-Landesnetzes mit dem Diagnosenetz der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA95'. *Berichte aus der L+T Nr. 14, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Signer Th. (2002): Landesvermessung LV95: Übersicht und Stand des Projektes. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 1/2002.*
- swisstopo (1992): Neues LFP1 Netz im Kanton Schaffhausen, 1988 – 1990. *Operatsband zur Triangulationserneuerung 3. Ordnung im Kanton SH, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2000): Weisungen betreffend die Erstellung der kantonalen Dreiecksvermaschung. *Publikation für die AV, Dezember 2000, CC RD/LV95, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2002): Résolution du problème de l'écart à la frontière vaudoise-genevoise. *Lösungsvorschlag des CC RD/LV95 vom 27. Febr. 2002, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2004a): Merkblatt für Höhenbestimmungen mit GPS in der amtlichen Vermessung. *Publikation für die AV vom 18. 2. 2004, CC RD/LV95, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2004b): Transformation MN03 $\Leftrightarrow$ MN95 de la frontière Vaud – Genève: Test de la solution retenue – Vérification, *Verifikationsbericht Waadt / Genf vom 19. Mai 2004, CC RD/LV95, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2004c): Technische Hinweise zur Erstellung der Dreiecksvermaschung. *Publikation für die AV, Juni 2004, CC RD/LV95, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2004d): Empfehlungen bezüglich den Qualitätsanforderungen bei der Erstellung der Dreiecksvermaschung durch die Kantone. *Publikation für die AV, April 2004, CC RD/LV95, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2005): Richtlinien zur Bestimmung von Fixpunkten der amtlichen Vermessung. *November 2005, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2007): Überführung der amtlichen Vermessung in den Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (LV95). *Konzept der Eidg. Vermessungsdirektion vom 8. Juni 2007, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- swisstopo (2008a): Projektschlussbericht zum CC RD/LV95 vom 4.4.2008, *Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- swisstopo (2008b): Leitfaden für die Anwendung geometrischer Transformationsmethoden in der amtlichen Vermessung. *Eidg. Vermessungsdirektion vom 1.11.2008, Bundesamt für Landestopografie, Wabern*
- Tognacca Ch. (1995): Auswirkungen der LV95 auf die amtliche Vermessung. *Erste praktische Untersuchungen, Bericht 251 des IGP an der ETH, Zürich*
- V+D (1998): Konsequenzen der neuen Landesvermessung LV95 für die Raum bezogenen Daten (RD/LV95): Detailprojekt. *Bericht verabschiedet durch den Projektausschuss vom 31.3.1998*

- Vogel B., Wiget A., Signer Th., D. Gutknecht und W. Santschi (1997): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 6: GPS-Landesnetz: GPS-Messungen 1988-94. *Berichte aus der L+T Nr. 12, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Wicki F. (2002): Landesvermessung LV95: Konsequenzen für die amtliche Vermessung und weitere raumbezogene Daten. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 1/2002.*
- Wicki F., Th. Signer, W. Messmer, R. Ammann, R. Durussel und H. Thalmann (2002): Das Höhensystem für die amtliche Vermessung und weitere Raum bezogene Daten. *Vermessung - Photogrammetrie - Kulturtechnik 8/2002.*
- Wiget A., Th. Signer, B. Vogel und U. Wild (2003): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988-94; Bezugsrahmen 'CHTRF95' und 'LV95'. *Swisstopo Doku Nr. 13, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Wiget A., A. Schlatter, E. Brockmann und D. Ineichen (2005): GPS-Netz NEOTEKTONIK Nordschweiz 2004: Messkampagne 2004 im Auftrag der Nagra kombiniert mit der Messkampagne CHTRF2004 im GPS-Landesnetz LV95. *swisstopo Report 04-40 ©. Revidierte Fassung: swisstopo Report 07-03 ©.*
- Wild U. und W. Gurtner (1995): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS-Permanentbetrieb. *Berichte aus der L+T Nr. 7, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Wild U., S. Grünig und R. Hug (2006): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 11: Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Stationsnetz und Positionierungsdienste. *Swisstopo Doku Nr. 19, Bundesamt für Landestopografie, Wabern.*
- Zölly H. (1948): Geschichte der Geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessung in der Schweiz. *Abteilung für Landestopographie des Eidgenössischen Militärdepartements, Wabern.*

Abkürzungsverzeichnis

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AGNES	Automatisches GNSS-Netz Schweiz
AMO	Administration de la Mensuration Officielle
AV	amtliche Vermessung
AV/LV95	Arbeitsgruppe, die sich von 1993 bis 1996 mit den Auswirkungen der AV auf einen Bezugsrahmenwechsel LV03 ⇔ LV95 befasste
BWG	Bundesamt für Wasser und Geologie (ab Ende 2005 neu: BAFU, Bundesamt für Umwelt)
CC RD/LV95	Kompetenzzentrum RD/LV95: Projektgruppe, die die Machbarkeit des Bezugsrahmenwechsels vorbereiten musste, damit die Geodaten in beiden Bezugsrahmen für die AV verfügbar werden (2000-08)
CHENyx06	Nationaler Transformationsdatensatz zu FINELTRA für den Bezugsrahmenwechsel LV03 ⇔ LV95
CHGeo98	Geoidmodell der Schweiz 1998 (erstes „Marti“-Geoid). Im Jahre 2005 abgelöst durch das Geoidmodell CHGeo2004
CHGeo2004	Neues Geoidmodell der Schweiz CHGeo2004 (zweites „Marti“-Geoid). Bildet zusammen mit den Höhen LHN95 und den ellipsoidischen Höhen LV95 den konsistenten Höhenrahmen der neuen Landesvermessung LV95.
CHTRFyy	Swiss Terrestrial Reference Frame: Global gelagerter Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (3D-Rahmen der Epoche/des Jahres yy)
CHTRF95	Swiss Terrestrial Reference Frame 1995 Realisierung des → CHTRS95 zur Epoche 1993.0
CHTRF04	Swiss Terrestrial Reference Frame 2004 Bezugsrahmen aus der Gesamtausgleichung aller GPS-Messungen von 1988 – 2004 im GPS-LV95-Netz der Schweiz. Grundlage für die ellipsoidischen Höhen der neuen Landesvermessung LV95 und dem konsistenten Höhenrahmen LHN95.
CHTRS95	Swiss Terrestrial Reference System 1995: Globales Bezugssystem der Landesvermessung 1995; stimmt zum Zeitpunkt 1993.0 mit ETRS89 überein
CHVRFyy	Swiss Vertical Reference Frame: Global gelagerter Höhenbezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (Höhenrahmen des Jahres yy)
CH1903	Bezugssystem der alten Landesvermessung 1903: Altes, in der AV noch offizielles Bezugssystem, welches 1903 festgelegt wurde.
CH1903+	Bezugssystem der neuen Landesvermessung 1995: Neues lokal gelagertes Bezugssystem der Landesvermessung 1995, welches zukünftig als Grundlage für die NGDI im Allgemeinen und die AV im Besonderen eingeführt wird. Es verwendet die gleichen Ellipsoiddimensionen (Bessel 1841) und das gleiche Kartenprojektionssystem wie CH1903.
DLL	Dynamic Link Library (dynamische Bibliothek) Programmbestandteile, welche aus übergeordneten Programmen aufgerufen werden können und bei Bedarf in den Hauptspeicher des Computers geladen werden.
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich
ETRFyy	European Terrestrial Reference Frame (Rahmen des Jahres yy)
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989

EUREF	IAG Subcommission for Continental Networks for Europe
EUVN	European Vertical Network
EVS2000	European Vertical System 2000
FINELTRA	Software für die Transformation über finite Elemente
FPDS	Fixpunkt-Datenservice (Geodienst von swisstopo/Geodäsie)
GeolG	Bundesgesetz über Geoinformation
GGL-ETHZ	Geodäsie und Geodynamik Labor am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich
GLG-Netz	Kombiniertes Höhennetz (<u>G</u> PS, <u>L</u> evelling, <u>G</u> eoid)
GLONASS	GLObalnaya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (russisches Satellitennavigationssystem)
GNSS	Global Navigation Satellite System: Sammelbegriff für die existierenden (GPS, GLONASS) und zukünftigen (GALILEO) Satelliten basierten Radionavigationssysteme
GPS	Global Positioning System (amerikanisches Satellitennavigationssystem)
GRS80	Geodetic Reference System 1980
GS RD/LV95	Geschäftsstelle des CC RD/LV95
HFP	Höhenfixpunkt; HFP1 = 1.Ordnung, HFP2 = 2. Ordnung etc.
HTRANS	Software für die Transformation von orthometrischen Höhen (LHN95) in Gebrauchshöhen (LN02) und umgekehrt
IGP-ETHZ	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
ITRFyy	International Terrestrial Reference Frame (Rahmen des Jahres yy)
ITRS	International Terrestrial Reference System
KP	Kontrollpunkt zur Beurteilung der Qualität der Dreiecksvermaschung
LFP	Lagefixpunkt der amtlichen Vermessung (gemäss TVAV)
LFP1-3	LFP 1.-3. Ordnung. 1. Ordnung: Punkte der Landesvermessung; 3. Ordnung: kommunale Lagefixpunkte.
LHN	Landeshöhennetz, allgemeine Bezeichnung für den mit Fixpunkten realisierten Höhenrahmen. Dieser Begriff löst zunehmend die Bezeichnung Landesnivellement (LN) ab, da ein moderner Höhenrahmen nicht einzig durch Nivellementmessungen festgelegt ist.
LHN95	Lokal gelagerter, konsistenter Höhenbezugsrahmen der Landesvermessung 1995. Unter dem Titel: <i>Neues Landeshöhennetz der Schweiz</i> ‚LHN95‘ auch als Abkürzung der Projektbezeichnung für die Erstellung des neuen Höhenbezugsrahmens verwendet (analog der Bezeichnung LV95)
LK	Landeskarte (offizielle Landeskarten der Schweiz)
LN	Landesnivellement, neu eher Landeshöhennetz (s. LHN)
LN02	Landesnivellement/Landeshöhennetz 1902 (Bezeichnung für das Höhensystem und den Referenzrahmen der Gebrauchshöhen in der Schweiz)
LTOP	Netzausgleichungssoftware von swisstopo für klassische und GPS-Messungen (s. [Gubler 2002])
LSKS	Landesspezifisches Koordinatensystem (Grid der Firma Leica)
LV03	Lagebezugsrahmen 1903 der Landesvermessung der Schweiz: Realisierung des Bezugssystems CH1903
LV95	Lokal gelagerter 3D-Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995: Realisierung des Bezugssystems CH1903+ ; unter dem Titel: <i>Neue Landesvermessung der Schweiz</i> ‚LV95‘ auch als Abkürzung der Projektbezeichnung der Landesvermessung 1995 verwendet

L+T	Bundesamt für Landestopographie (bis 2002)
NdP	Nivellement de Précision 1864 – 1891 der SGK ; erstes Präzisionsnivellement der Schweiz
NTv2	National Transform, Version 2: Von vielen GIS-Systemen unterstütztes Standardformat des Canadian Geodetic Survey für die Abspeicherung von Koordinatendifferenzen zwischen zwei Bezugsrahmen in Form eines regelmässigen Gitters
ppm	Parts per million
RCM	Recent Crustal Movements
RD	Räumliche Daten
RD/LV95	Projektgruppe, die sich von 1996 bis 1998 vor allem mit den finanziellen, organisatorischen, rechtlichen und zeitlichen Aspekten des Bezugsrahmenwechsels LV03 ↔ LV95 befasste
REFRAME	Softwarepaket von swisstopo für die Transformationsberechnungen
RPN	Repère Pierre du Niton (alter Fundamentalpunkt der Höhen LN02)
RTK	Real Time Kinematic: GNSS-Messmethode auf der Basis der differentiellen Auswertung von Trägerphasenmessungen in Echtzeit mit cm-Genauigkeit
SGF	Shift Grid File (Gitterverschiebungsdatei der Firma Trimble)
SGK	Schweizerische Geodätische Kommission (Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, heute Akademie der Naturwissenschaften)
swipos [®]	Swiss Positioning Service: DGPS-Positionierungsdienst von swisstopo auf der Basis von AGNES
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie (ab 2002)
TSP	Transformationsstützpunkt
TVAV	Technische Verordnung der amtlichen Vermessung. Regelt u. a. die Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen für die Fixpunkte der AV
VRS	Virtual Reference Station: Verfahren zur Interpolation von Messungen aus den Daten eines GNSS-Referenzstationsnetzes für den aktuellen Standort des Benutzers
WGS84	World Geodetic System 1984
Z ₀	Neuer Fundamentalpunkt Zimmerwald (Geostation/Sternwarte des Astronomischen Instituts der Universität Bern)

Berichte-Reihe zur neuen Landesvermessung LV95

Berichte aus der der L+T (bis 2002) / swisstopo-Doku		LV95-Reihe
Nr.	Titel (Autoren)	Ausgabe
6	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 1: Vorgeschichte, Entstehung des Projekts, Konzept und Planung (D. Schneider, E. Gubler und A. Wiget)	1996
7	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS-Permanentbetrieb (U. Wild und W. Gurtner)	1995
8	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen (D. Schneider, E. Gubler, U. Marti und W. Gurtner)	2001
8 f	Conception de la nouvelle Mensuration Nationale Suisse 'MN95': Part 3: Système et cadre de référence (D. Schneider, E. Gubler, U. Marti und W. Gurtner, Traduction par H. Dupraz)	2001
9	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 4: Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA93' (H. Chablais, Th. Signer und B. Vogel)	1995
11	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 5: GPS-Landesnetz: Netzanlage, Materialisierung, Dokumentation und Nachführung (W. Santschi, B. Vogel, Th. Signer und D. Gutknecht)	1998
12	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 6: GPS-Landesnetz: GPS-Messungen 1988-94 (B. Vogel, A. Wiget, Th. Signer, D. Gutknecht und W. Santschi)	1997
13	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988-94; Bezugsrahmen 'CHTRF95' und 'LV95' (A. Wiget, U. Wild, Th. Signer und B. Vogel)	2003
14	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 8: Gesamtausgleichungen des GPS-Landesnetzes mit dem Diagnosenetz der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA95' (Th. Signer und B. Vogel)	2001
15	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 9: GPS-Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung. Transformation 'LV95 <-> LV03' (Th. Signer und B. Vogel)	1999
16	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 10: Das Geoid der Schweiz 1998 (U. Marti)	2003
19	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 11: Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Stationsnetz und Positionierungsdienste (U. Wild, S. Grünig und R. Hug)	2006
20	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 12: Landeshöhennetz 'LHN95': Konzept, Referenzsystem, kinematische Gesamtausgleichung und Bezug zum Landesnivellement 'LN02' (A. Schlatter und U. Marti)	2007
21	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 13: Einführung des Bezugsrahmens 'LV95' in die Nationale Geodateninfrastruktur (B. Vogel, M. Burkard, M. Kistler, U. Marti, J. Ray, M. Scherrer, A. Schlatter und A. Wiget)	2009