

Bericht 15

März 1999

Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'

Teil 9

**GPS-Landesnetz:
Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung,
Transformation 'LV95 ⇔ LV03'**

Thomas Signer und Bruno Vogel

Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'

Teil 9

**GPS-Landesnetz:
Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung,
Transformation 'LV95 ⇔ LV03'**

© 1999
Bundesamt für Landestopographie
Office fédéral de topographie
Ufficio federale di topografia
Uffizi federal da topografia
Federal Office of Topography

Redaktion: A. Wiget
Th. Signer
B. Vogel
Ch. Studer
Auflage 500 Exemplare
Druck: EDMZ

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Verdichtung des GPS - Landesnetzes LV95	1
2.1	Konzept der Verdichtung	1
2.1.1	Wahl der Punktstandorte	1
2.1.2	Kennzeichnung der Punkte	2
2.1.3	Messungen	2
2.1.4	Auswertungen	3
2.2	Heutiger Stand	4
3	Koordinaten im Bezugsrahmen LV03	5
4	Die Transformation LV95 ⇔ LV03	5
4.1	Allgemeine Anforderungen an die Transformation	5
4.2	Das Programm FINELTRA	5
4.3	Bereitstellung der Grundlagen für die Transformation mit FINELTRA (Stufe LV)	6
4.3.1	Diagnoseausgleichung 1995 der Triangulation 1. und 2. Ordnung (DIA95)	6
4.3.2	Analyse der Verzerrungen im Triangulationsnetz 1. und 2. Ordnung	8
4.3.3	Aufbau der Dreiecksvermaschung von FINELTRA	8
4.4	Die definitive Dreiecksvermaschung von FINELTRA (Stufe LV)	11
4.5	Testberechnung mit der definitiven Dreiecksvermaschung Stufe LV	12
4.6	Verdichtung der Dreiecksvermaschung	13
5	Die Transformation LHN95 ⇔ LN02	16
6	Entwicklungstendenzen in der Landesvermessung	16
6.1	Pilotstudie LHN95-Verdichtung	16
6.2	Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES / swipos)	16

Abkürzungen und Begriffe

Literatur

Anhänge

- A1** Koordinatendifferenzen zwischen den aus der Kollokation (VERZER) und den aus der Diagnoseausgleichung 95 resultierenden LV95-Koordinaten
- A2** Dreiecksvermaschung Stufe LV
- A3** Graphische Darstellung der Verzerrungen in der Dreiecksvermaschung Stufe LV
- A4** Koordinatendifferenzen zwischen den aus der Transformation mit FINELTRA (Stufe LV) und den aus dem GPS-Netz resultierenden LV95-Koordinaten für die Punkte des GPS-Landesnetzes LV95

1 Einleitung

Mit verschiedenen Messkampagnen in den Jahren 1988-1994 wurde das GPS-Landesnetz LV95 mit 104 Hauptpunkten realisiert. Gleichzeitig wurde auch die Beziehung zur Landestriangulation 1./2. Ordnung sowie zum Landesnivellement hergestellt. Die entsprechenden Arbeiten sind in der Berichteserie zu LV95 dokumentiert: Teil 5 (Netzanlage, Materialisierung, Dokumentation und Nachführung), Teil 6 (GPS-Messungen 1988-94) und Teil 7 (Auswertung der GPS-Messungen 1988-94; Bezugsrahmen 'CHTRF95' und 'LV95'). Im vorliegenden 9. Teil wird die Ergänzung des GPS-Landesnetzes mit sogenannten Verdichtungspunkten (LV95-VP) sowie die Transformation zwischen der bestehenden Landesvermessung (LV03) und der neuen Landesvermessung (LV95) behandelt.

Die Standorte der Verdichtungspunkte wurden im Wesentlichen aufgrund der Kriterien Geologie, Horizontfreiheit, Zugänglichkeit, Eigentumsverhältnisse und Anschlussmöglichkeiten für weitere Netze ausgewählt. Die Erstellung erfolgte nach Bedarf in enger Zusammenarbeit mit den kantonalen Vermessungsämtern. Für die Transformation nach dem Verfahren über finite Elemente wurde vorerst eine Dreiecksvermaschung auf Stufe LV erstellt, welche zu einem späteren Zeitpunkt für die Bedürfnisse der AV noch weiter zu verfeinern ist.

2 Verdichtung des GPS - Landesnetzes LV95

2.1 Konzept der Verdichtung

Schon bei der Inangriffnahme des GPS-Landesnetzes LV95 war vorgesehen, zu einem späteren Zeitpunkt das Hauptnetz für eine wirtschaftliche Nutzung mit Verdichtungspunkten (LV95-VP) zu ergänzen. Die Realisierung ist aber nicht mehr homogen und flächendeckend über die ganze Schweiz sondern entsprechend den ausgewiesenen Bedürfnissen vorgesehen. Sie erfolgt daher zeitlich und örtlich etappiert aufgrund der Anträge der Benutzer, im Wesentlichen der Kantonalen Vermessungsämter oder der Träger grosser Ingenieurprojekte. Gerade dank der Koordination mit Ingenieurprojekten konnten wertvolle Synergien erzielt werden.

Bezüglich Standort und Kennzeichnung, Messung und Auswertung (vgl. Berichte LV95 Teile 5-7) gelten im Wesentlichen die gleichen Kriterien wie im Hauptnetz. Die bedürfnisgerechte Realisierung hat jedoch zur Folge, dass sich die Verdichtung über einen längeren Zeitraum erstrecken wird. Aus diesem Grund behält man sich vor, künftig gewisse Kriterien aufgrund der technischen Entwicklung anzupassen.

2.1.1 Wahl der Punktstandorte

Die Rekognoszierung erfolgte normalerweise gemeinsam mit dem zuständigen Kantonalen Vermessungsamt. Damit konnte einerseits von den besseren Ortskenntnissen profitiert werden und andererseits war gewährleistet, dass die Bedürfnisse der Benutzer mitberücksichtigt wurden. In den Ausnahmefällen ohne gemeinsame Rekognoszierung wurde der nichtbeteiligte Partner jeweils vor der definitiven Standortwahl informiert.

Punktichte	von jedem Ort aus soll ein Anschluss an LV95 innerhalb von 10 km möglich sein
Sicherheit und Dauerhaftigkeit der Kennzeichnung	nach Möglichkeit in öffentlichem Grund, ausserhalb der Bauzonen
Untergrund (Geologie und Stabilität)	wo möglich im anstehenden Fels oder gut fundiert im Lockergestein; evtl. auf massivem Bauwerk (Reservoir), ausserhalb Grundwassergebiet
Benutzerfreundlichkeit	wenn möglich Zufahrt mit PW bis auf Punkt; Standortwunsch der Benutzer berücksichtigen
Satellitenempfang	freier Horizont ab 15–20 ^{gon} Höhenwinkel, keine Störsignale (Sender) und reflektierende Flächen in der näheren Umgebung
Anschluss an LV03 und LN02	gute Anschlussmöglichkeiten an LV03 (evtl. Ersatz für zu löschende LFP1/2), falls möglich Anschluss an kant. oder eidg. Nivellement

Tab. 2-1: Kriterien für die Punktstandorte

Wie bei den Hauptpunkten wurden die vorgesehenen Punktstandorte dem Geologen Dr. P. Heitzmann von der Landeshydrologie und -geologie zur Beurteilung des Untergrundes (Geologie, Stabilität) vor-

gelegt. Normalerweise erfolgte diese aufgrund der geologischen Karte, bei Bedarf aber auch aufgrund einer Feldbegehung.

Für jeden Punkt wurde beim entsprechenden Grundeigentümer die schriftliche Einwilligung zur Erstellung des Punktes eingeholt. Wenn immer möglich strebte man einen Standort in öffentlichem Eigentum an.

2.1.2 Kennzeichnung der Punkte

Im Gegensatz zu den Hauptpunkten wurden bei den Verdichtungspunkten keine exzentrischen Zeichen mehr angebracht, da der Aufwand hierzu fast gleich gross wie für eine Neubestimmung ist. Die zentrische Markierung erfolgte mittels eines 'LV95-Kappenbolzens' soweit möglich direkt in anstehendem Fels. Falls dies nicht möglich war, wurden die Punkte entweder auf massiven Bauten oder in einem Betonsockel versichert. Aufgrund der praktischen Erfahrungen wurden die Betonsockel gegenüber dem Hauptnetz leicht modifiziert. Ein grösserer Schachtdeckel verbessert die Zugänglichkeit und die Auffindbarkeit. Zudem wurden Verbesserungen bezüglich des Wasserabflusses angebracht.

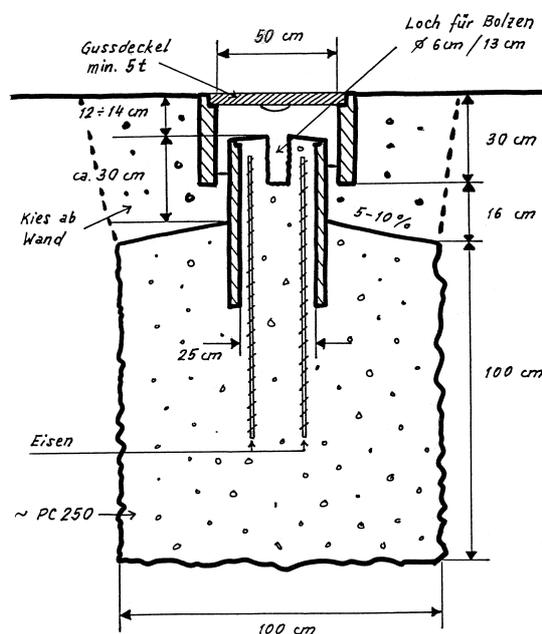


Fig. 2-1: Bauskizze Betonsockel für LV95-VP

2.1.3 Messungen

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die bisher zur Verdichtung des GPS-Landesnetzes LV95 durchgeführten Messkampagnen. Die Kampagne 'GPS-Netz Neotektonik Nordschweiz 1988' ist hierbei ein Spezialfall, fand sie doch bereits vor der Erstellung von LV95 statt. Sie wird hier aber dennoch erwähnt, weil aus diesem Netz nachträglich einige Punkte als LV95-VP ausgewählt wurden, da sie die Anforderungen von LV95 sowohl bezüglich der Kennzeichnung als auch der Bestimmung erfüllen.

Datum	Messkampagne	Anzahl LV95-VP	Messzeiten	GPS - Empfänger	Dokumentation
Okt. 1988	GPS-Netz Neotektonik Nordschweiz 1988	7	Nacht ca. 4 Std.	Trimble 4000SLD Trimble 4000SX	TB April 1990
März 1994	Projekt AlpTransit (NEAT) Lötschberg-Basistunnel	2	Tag / Nacht 24 Std.	Trimble 4000SSE	TB Juni 1994
Sept. 1994	Grundlagenvermessung Bahn 2000 Mattstetten-Rothrist	5	Nacht ca. 14 Std.	Trimble 4000SSE	TB 95-14
Mai 1995	Kontrollnetz Zugerbuch	1	Nacht 13-15 Std.	Trimble 4000SSE	TB 96-01
Sept. 1995	GPS-Netz Neotektonik Nordschweiz 1995	2	Nacht ca. 16 Std.	Trimble 4000SSE Trimble 4000SSI	TB 96-05
Okt. 1995	AlpTransit Gotthard-Basistunnel	4	Nacht ca. 14 Std.	Trimble 4000SSE	TB 95-29 / TB 96-09
Juli 1996	Verdichtung LV95 Kantone SG / TG	2	Nacht ca. 17 Std.	Trimble 4000SSE Trimble 4000SSI	TB 96-32
Sept. 1996	Verdichtung LV95 Kanton ZH	3	Nacht ca. 15 Std.	Trimble 4000SSE Trimble 4000SSI	TB 96-31
Mai 1996	Verdichtung LV95 Laufental	4	Tag: 3-6 Std. Nacht: 10-14 Std.	Trimble 4000SSE Trimble 4000SSI	TB 96-33
Sept. 1996	Verdichtung LV95 Kanton SZ	1	Nacht ca. 14 Std.	Trimble 4000SSE Trimble 4000SSI	TB 96-35
Juni 1997	Verdichtung LV95 Seeland	5	Nacht 11-12 Std.	Trimble 4000SSE Trimble 4000SSI	TB 97-29
Sept. 1997	Verdichtung LV95 Kanone AG / ZH 97	11	Nacht ca. 14 Std.	Trimble 4000SSE Trimble 4000SSI	TB 97-37
Juni 1998	LHN95-V Emmental	6	Nacht ca. 6 Std.	Trimble 4000SSI	in Bearbeitung (TB 98-03)
Juli 1998	LHN95-V Susten	4	Nacht 12-14 Std.	Trimble 4000SSI	in Bearbeitung (TB 98-03)
Sept. 1998	CHTRF98	9	Nacht ca. 16 Std. z.T. Tag 4 Std.	Trimble 4000SSI	in Bearbeitung

Tab. 2-2: Messkampagnen zur Bestimmung von LV95-VP (Stand November 1998)

Bei den Messungen wurde auf folgende allgemeine Grundsätze geachtet:

- GPS-Messungen nach Möglichkeit in der Nacht
- minimale Satellitenelevation 15 Grad
- Datenrate 30 Sekunden, z.T. auch 15 Sekunden
- doppelte unabhängige Stationierung
- Präzisionszentrierung auf < 0.5mm, Zentrierungskontrolle nach Messende
- 2 mal unabhängige Messung der Antennenhöhe vor Messbeginn und nach Messende
- Ausrichtung der Antennen nach Norden
- keine Messung von Meteodaten
- tägliche Datenübertragung vom GPS-Empfänger auf einen PC mit zusätzlicher Datensicherung auf Diskette

2.1.4 Auswertungen

Die Auswertung der GPS-Messungen erfolgte pro Session mit der jeweils aktuellen Version der Berner GPS Software entsprechend dem im Technischen Bericht 96-30 beschriebenen Vorgehen. Es handelt sich um das gleiche Vorgehen, wie es auch im Hauptnetz gehandhabt wurde (vgl. Bericht LV95 Teil 7). Die wichtigsten Parameter wurden wie folgt gewählt:

- Verwendung der präzisen Bahndaten aus CODE

- Verwendung des jeweils aktuellen Polfiles C04_XXXX.ERP
- Verwendung der jeweils aktuellen Phasenexzentrizitäten aus den Antennentests in Thun
- Schätzung von Troposphärenparametern pro Session und Station mit Ausnahme der Geostation Zimmerwald
- Minimalelevation 15 Grad für die Messungen

Die definitive Berechnung erfolgte mit dem Programm ADDNEQ im Bezugsrahmen ITRF93 (Epoche 1993.0), indem die Sessionslösungen über ein sogenanntes Helmert-Blocking zu einer Gesamtlösung vereinigt und in die bestehenden LV95-Punkte eingezwängt wurden.

Die Qualität der Resultate wurde einerseits über die tageweise Repetierbarkeit innerhalb der Messkampagnen und andererseits über die Transformation einer freien Gesamtlösung (nur Zimmerwald als Festpunkt) auf die bekannten Haupt- und Verdichtungspunkte aus vorhergehenden Kampagnen beurteilt. Die Residuen an den bekannten Punkten betragen in der Lage immer weniger als 1 cm und in der Höhe maximal 4 cm. Diese Resultate bestätigen die gute Qualität des GPS-Netzes LV95.

2.2 Heutiger Stand

Die folgende grafische Darstellung gibt einen Überblick über den Stand des GPS-Netzes LV95 vom März 1999. Es ist ersichtlich, dass in der Nordschweiz (ausser Zentralschweiz) die Verdichtung von LV95 abgeschlossen ist. In der Westschweiz wurde bisher kein Bedarf angemeldet, weil als Folge der Erneuerung der Triangulation 1./2. Ordnung Westschweiz (1977) über praktisch den ganzen Kanton Waadt die Triangulation 4. Ordnung neu erstellt worden war (letztes Operat momentan in Bearbeitung) und demnach homogene LFP2-Netze zur Verfügung stehen.

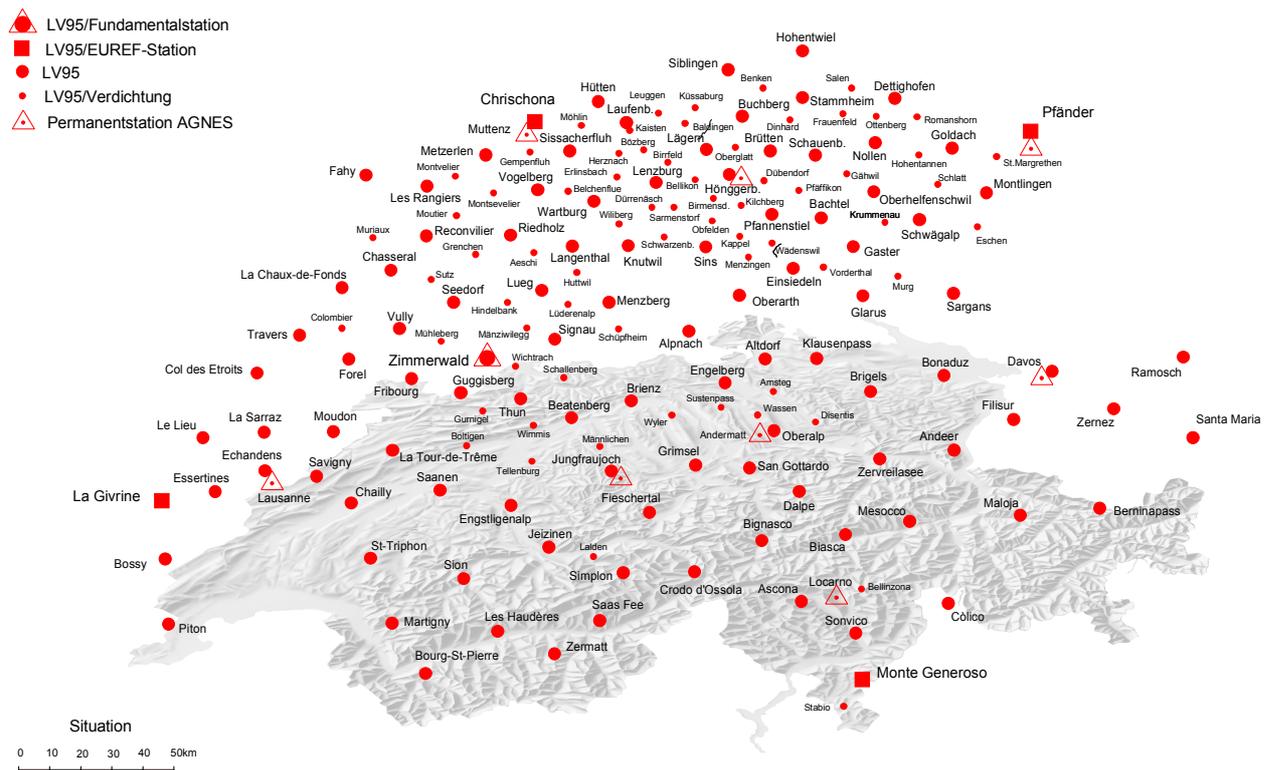


Fig. 2-2: Verdichtung GPS-Netz LV95: Stand März 1999

3 Koordinaten im Bezugsrahmen LV03

Für alle Verdichtungspunkte wurden auch Koordinaten im Bezugsrahmen LV03 bestimmt. Damit können diese Punkte in der Übergangszeit bis zur Einführung von LV95 im Bezugsrahmen LV03 wie LFP1/2 benutzt werden. Bei der späteren Transformation LV03 \Leftrightarrow LV95 sind diese Punkte als Transformationsstützpunkte (TSP) einzuführen, damit in beiden Bezugsrahmen jeweils die Sollkoordinaten resultieren. Es ist deshalb wichtig, dass deren Koordinaten aus zuverlässigen Anschlüssen an alle benachbarten LFP1/2 bestimmt werden.

Messung und Ausgleichung erfolgten nach den Grundsätzen der LFP2-Netze. Je nach Situation wurden entweder klassische, GPS- oder kombinierte Messungen erhoben. Diese Arbeiten wurden entweder durch die L+T selbst oder, insbesondere im Rahmen von grösseren Erneuerungsarbeiten in den LFP2-Netzen, durch beauftragte Dritte erledigt.

Die Qualität der LV03-Koordinaten entspricht jener der umliegenden Anschlusspunkte und liegt üblicherweise in der Grössenordnung von 2-3cm liegen (relative Nachbargenauigkeit).

4 Die Transformation LV95 \Leftrightarrow LV03

Die Frage nach dem Vorgehen beim Übergang vom bisherigen Bezugsrahmen (LV03) auf den neuen Bezugsrahmen (LV95) ist von zentraler Bedeutung. Idealerweise würden die Koordinaten im neuen Bezugsrahmen über Messungen neu bestimmt. Aus wirtschaftlichen, organisatorischen, aber auch technischen Gründen kann jedoch dieses Verfahren nicht in Betracht gezogen werden. Gesucht ist deshalb ein Transformationsverfahren, das die Ideallösung approximieren und die organisatorischen Randbedingungen einhalten kann und dennoch die LV95-Koordinaten mit möglichst wenig Aufwand berechnen kann. Nur wenn es gelingt, den Übergang möglichst benutzerfreundlich zu gestalten, wird der neue zwangsfreie Bezugsrahmen auch von den Benutzern als neue Grundlage akzeptiert und mitgetragen.

4.1 Allgemeine Anforderungen an die Transformation

Die Umrechnung der Koordinaten der LV03 in die entsprechenden Koordinaten der LV95 muss folgende **mathematische Eigenschaften** aufweisen:

- Die Transformation muss stetig sein, d.h. Punkte in unmittelbarer Nachbarschaft müssen gleich transformiert werden.
- Die Berechnung muss umkehrbar sein, d.h. in beiden Richtungen stattfinden können (LV03 \Leftrightarrow LV95) und immer die gleichen Werte liefern.
- Die Punkte, welche durch Messungen im Rahmen LV95 bestimmt wurden und als TSP definiert worden sind, müssen genau diese Koordinaten erhalten.

Da die Transformation LV03 \Leftrightarrow LV95 sowohl räumlich als auch zeitlich etappiert werden muss, können die Parameter der Transformationsfunktion nicht gleichzeitig für die ganze Schweiz festgelegt werden. Daraus ergeben sich folgende **organisatorischen Anforderungen**:

- Die Bestimmung der Stützpunkte muss über eine längere Zeit gebietsweise stattfinden können.
- Die Festlegung der Parameter der Transformationsfunktion muss regional nach Bedarf erfolgen können.
- Einmal festgelegte Transformationsfunktionen müssen unverändert bleiben (Norm), solange in einem Gebiet nicht systematisch neu gemessen wird.
- Punktverdichtungen oder Verbesserungen in einem Gebiet dürfen die Transformation in anderen Gebieten nicht beeinflussen.
- Die Berechnung muss einfach sein und wenig Rechenaufwand verursachen (PC, Geometerbüro).

4.2 Das Programm FINELTRA

Die vorher erwähnten Anforderungen werden durch eine affine Transformation mit finiten Elemente [1] erfüllt. Das entsprechende Programm heisst FINELTRA [7]. Es wurde vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ (IGP) im Auftrag der Landestopographie entwickelt und basiert auf folgenden Grundsätzen:

Die ganze Schweiz wird in Dreiecke eingeteilt. Für alle Eckpunkte (Passpunkte) müssen genaue Koordinaten sowohl im Bezugsrahmen LV03 als auch in LV95 vorliegen. Über die drei Eckpunkte wird für

jedes Dreieck eine eindeutige Abbildung (Bijektion) von LV03 auf LV95 definiert, deren Abbildungsgleichungen durch eine lineare Funktion bestimmt sind.

Dieses Vorgehen weist folgende **Vorteile** auf:

- Die Transformation der Passpunkte (Eckpunkte der Dreiecke) ergibt genau die bekannten Koordinaten in LV95 resp. LV03.
- Die affine Transformation innerhalb eines Dreieckes ist eindeutig und umkehrbar, so dass stets identische Koordinaten erhalten werden. Sie ist innerhalb des Dreiecks geradentreu und verhältnistreu.
- Die Zwischenpunkte werden ohne Überkorrekturen unter Erhaltung der Nachbargenauigkeit transformiert.
- Eine Passpunkt-Verdichtung in einem Dreieck beeinflusst die anderen Dreiecke nicht. Eine sukzessive Verbesserung ist daher möglich.
- Die Berechnung ist wenig aufwendig und kann in jedem Geometerbüro durchgeführt werden.
- Die Transformation über finite Elemente kann jede komplexe Transformation approximieren, indem transformierte Punkte als fiktive Passpunkte eingeführt werden.

Als **Nachteile** dieses Vorgehens können erwähnt werden:

- Beim Übergang von Dreieck zu Dreieck besteht bei einer transformierten Linie eine Richtungsunstetigkeit. Diese Feststellung betrifft sowohl Rasterdaten wie auch Vektordaten. Ein Test in der Stadt Zug bezüglich Vektordaten der AV hat jedoch gezeigt [5], dass die Auswirkungen im Rahmen der Umstellungswerte zwischen LV03 und LV95 marginal bleiben.
- Die sehr lokalen Verzerrungen können mit dieser Vorgehensweise nicht oder nur durch eine sehr dichte Dreiecksvermaschung gelöst werden. Diese könnten aber auch mit anderen Verfahren kaum erfasst werden.
- Es gibt keine exakte Übereinstimmung zwischen der natürlichen oder administrativen Einteilung der Gebiete (Perimeter) und den gewählten Dreiecken.

Die Wahl der Passpunkte und die Einteilung des Territoriums in Dreiecke ist von der Qualität der heutigen Vermessung (LV03) abhängig. Je homogener die Grundlagen sind, desto grossräumiger können die Dreiecke gewählt werden. Für die **Wahl der Transformationsstützpunkte (TSP)** und die Bildung der Dreiecke gelten folgende allgemeinen Grundsätze:

- Es dürfen nur Punkte als Transformationsstützpunkte verwendet werden, die bei der Messung in LV95 materiell identisch mit der seinerzeitigen Bestimmung in LV03 sind.
- Die Transformationsstützpunkte müssen eine gute Beziehung zur Umgebung aufweisen und für diese 'repräsentativ' sein.
- Die Punkte des GPS-Netzes LV95 sollen als Transformationsstützpunkte verwendet werden, damit diese mit der Transformation in beiden Bezugsrahmen die Koordinaten beibehalten.
- Die Bildung der Dreiecke muss so erfolgen, dass alle inneren Punkte eines Dreiecks bereits in LV03 eine gute relative Genauigkeit zu den Dreiecksspitzen aufweisen.

4.3 Bereitstellung der Grundlagen für die Transformation mit FINELTRA (Stufe LV)

4.3.1 Diagnoseausgleichung 1995 der Triangulation 1. und 2. Ordnung (DIA95)

Eine wichtige Vorarbeit für die Transformation LV03 \Leftrightarrow LV95 bildete die Diagnoseausgleichung 1995 der Triangulation 1. und 2. Ordnung (DIA95). In dieser Berechnung wurden die klassischen Messungen von 1893 bis 1986 im Bezugsrahmen LV95 neu ausgeglichen. Als Festpunkte dienten alle Triangulationspunkte 1. und 2. Ordnung, welche anlässlich der Messungen im GPS-Netz LV95 zentrisch oder exzentrisch an dieses angeschlossen worden sind. Dabei wurden für die nicht mit GPS angeschlossenen Punkte mittels der alten Messungen ebenfalls Koordinaten im Bezugsrahmen LV95 bestimmt. Bei den mit GPS stationierten Anschlusspunkten konnte die materielle Identität zum Zeitpunkt der klassischen und der neuen GPS-Messungen überprüft werden, indem die GPS-Beobachtungen mit den klassischen Messungen verglichen werden konnten. Allfällige Punktverschiebungen hätten sich in grösseren Verbesserungen auf den Messungen zu den entsprechenden Punkten zeigen müssen. Diese Arbeit ist im Bericht zu LV95, Teil 8, ausführlich dokumentiert. Daraus sind folgende Ergebnisse für die Transformation von Bedeutung:

- Die LV95-Koordinaten der Triangulationspunkte 1. und 2. Ordnung sind von unterschiedlicher Genauigkeit. Die höchsten Genauigkeiten weisen jene Punkte auf, welche mit GPS oder klassischen Messungen direkt ans GPS-Netz LV95 angeschlossen worden sind. Unter den mit den alten Messungen eingerechneten Punkten sind die Genauigkeiten recht unterschiedlich. Am Rand der Schweiz liegende Punkte weisen die geringsten Genauigkeiten auf.

- Bei folgenden 12 Punkten zeigte sich, dass die materielle Identität zum Zeitpunkt der klassischen Messungen und jenem der neuen GPS-Messungen nicht gegeben ist :

Catogne	Jungfrau	Ringelspitz
Champtauroz	Mont Collon	Six Madun
Piz d'Agnelli	Mageren	Sasseneire
Frastanzersand	Piz Massari	St. Aubin

Die Koordinatendifferenzen zwischen den beiden Identitäten betragen maximal 39 cm (*Ringelspitz*), liegen aber ansonsten zwischen 9 cm und 22 cm.

Da für die Transformation die Koordinaten in den beiden Bezugsrahmen LV03 und LV95 auf dem gleichen materiellen Zustand beruhen müssen, wurden bei den erwähnten Punkten jene LV95-Koordinaten übernommen, welche nur mit den alten trigonometrischen Messungen berechnet wurden. Damit umge

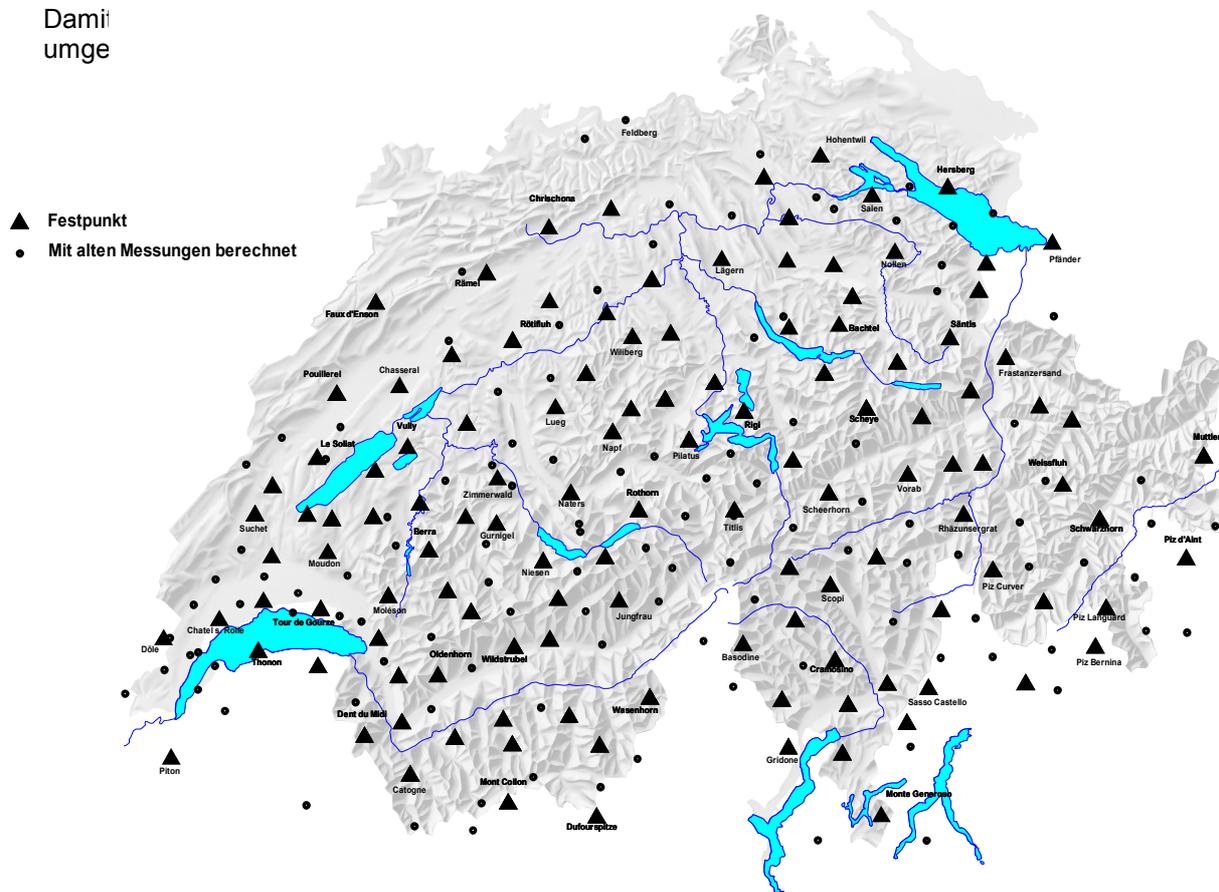


Fig. 4-1: Übersicht Diagnoseausgleichung 1995 (DIA95)

4.3.2 Analyse der Verzerrungen im Triangulationsnetz 1. und 2. Ordnung

Als Grundlage für die Bildung der Dreiecksvermaschung von FINELTRA wurden die Triangulationspunkte 1./2. Ordnung auf ihre Konsistenz überprüft. Dazu wurden die LV03-Koordinaten mittels Kollokation (Programm VERZER) in LV95 transformiert. Dabei wurden alle Punkte unabhängig ihrer Bestimmungsgenauigkeit als Passpunkte eingeführt. Diese transformierten LV95-Koordinaten wurden anschliessend mit den aus der Diagnoseausgleichung 1995 resultierenden Koordinaten verglichen. Der Punkt *Rosablanche* wurde nicht in die Untersuchung einbezogen, da er bekannterweise seit der Erstellung grosse Rutschungen von mehreren Metern aufweist.

Im Anhang A1 sind die Koordinatendifferenzen zwischen den aus der Kollokation resultierenden und den mit der Diagnoseausgleichung 1995 berechneten LV95-Koordinaten grafisch dargestellt. Ein grosser oder ein im Vergleich zu den umliegenden Punkten in eine andere Richtung zeigender Vektor bedeutet, dass der Punkt schlecht in den lokalen Trend passt, und möglicherweise als Ausreisser zu betrachten ist. Oft sind jedoch Spannungen zwischen benachbarten Punkten ersichtlich, ohne dass eindeutig ein einzelner Punkt als Ausreisser erkennbar ist. Im Allgemeinen liegen die Spannungen zwischen benachbarten Punkten unter 1cm/km, d.h. bei mittleren Punktabständen von 10-20 km unterhalb 1-2 dm.

Zwischen folgenden Punkten wurde dieses Mass jedoch übertroffen:

- Forch – Pfannenstiel: ca. 11cm auf 4 km
- Piz Muraun – Piz Tgietschen: ca. 11cm auf 9 km
- Burst – Gemmenalphorn: ca. 9 cm auf 2.5 km
- Chasseral – Suchet: ca. 11 cm auf 10 km
- Chamossaire – Cuarny: ca. 13 cm auf 8 km
- Chamossaire – Moudon: ca. 16 cm auf 10 km
- Tour d'Ai – Rocher de Naye: ca. 13 cm auf 7 km
- Mont Collon – Ruinette: ca. 10 cm auf 8 km

Aufgrund dieser Resultate wurde die Diagnoseausgleichung 1995 nochmals überprüft, mit Schwergewicht auf den Punkten mit grösseren Spannungen. Es wurden jedoch keine Fehler entdeckt. Diese Spannungen sind demnach als Realität zur Kenntnis zu nehmen.

Auffallend ist die gute Qualität in den Kantonen Genf und Waadt, was auf die 1977 durchgeführte Erneuerung der Triangulation 1./2. Ordnung zurückzuführen ist.

Eine Überprüfung jener Punkte, welche in der Diagnoseausgleichung 1995 mit zwei verschiedenen Identitäten für die alten terrestrischen und die neuen GPS-Messungen eingeführt wurden (vgl. Kap. 4.3.1) zeigt, dass mit Ausnahme von *Mont Collon* keiner dieser Punkte grössere Spannungen aufweist. Der Entscheid, die aus den alten Messungen resultierenden LV95-Koordinaten zu übernehmen, wird damit gestützt.

4.3.3 Aufbau der Dreiecksvermaschung von FINELTRA

4.3.3.1 Triangulationspunkte 1./2. Ordnung als Transformationsstützpunkte

Die allgemeinen Kriterien für die Wahl der Transformationsstützpunkte (TSP) sind in Kap. 3.2 formuliert. Um diesen Anforderungen entsprechen zu können, sind genügend Informationen über die Qualität und den Zustand der zu transformierenden Daten erforderlich. Aber gerade diesbezüglich stellten sich die grössten Probleme, waren doch die Informationen relativ spärlich vorhanden. Als einzige praktische Erfahrungen lagen die Informationen aus der Diagnoseausgleichung 1995 (Kap. 4.3.1) und der Verzerrungsanalyse (Kap.4.3.2) vor. Diese Informationen haben die Wahl der TSP wie folgt beeinflusst:

- In der Diagnoseausgleichung sind insgesamt 125 Punkte mit neuen Messungen ans GPS-Netz LV95 angeschlossen worden. Über die alten terrestrischen Messungen wurde die materielle Identität zum Zeitpunkt der Bestimmung der LV03- und der LV95-Koordinaten überprüft. Bei 12 Punkten war diese Identität nicht gegeben, weshalb für diese die aus den alten Messungen berechneten LV95-Koordinaten übernommen wurden, um einen homogenen Koordinatensatz zu erhalten.
- Bei jenen Punkten, deren LV95-Koordinaten aus den alten Messungen berechnet wurden, ist gewährleistet, dass sich die LV03- und die LV95-Koordinaten auf den gleichen, ursprünglichen

Zustand beziehen, da es sich ja um die gleichen Messungen handelt. Für die Transformation sind damit die Voraussetzungen erfüllt. Es ist jedoch nicht überprüft, ob die heutige Kennzeichnung noch mit der ursprünglichen identisch ist.

- Die unterschiedliche Bestimmungsgenauigkeit der LV95-Koordinaten hat keinen formalen Einfluss auf die Transformation, da dies im Programm FINELTRA nicht berücksichtigt werden kann.
- Die in der Verzerrungsanalyse als 'Ausreisser' detektierten Punkte sind gleichwohl als Transformationsstützpunkte einzuführen, da sie aufgrund des hierarchischen Aufbaus der Triangulation als 'repräsentativ' zu betrachten sind. Trotzdem wurden in der definitiven Dreiecksvermaschung die Punkte *Burst* und *Ruinette* als TSP eliminiert, da sonst die Verzerrungsdifferenzen zwischen benachbarten Dreiecken als zu gross erschienen (vgl. Kap. 4.3.3.2).
- In der Westschweiz ist als Folge der Erneuerung der Triangulation 1./2. Ordnung die Qualität der Punkte sehr gut. Gleichzeitig ist die Punktdichte aber sehr hoch. Aus diesem Grund wurden die Punkte *Barillette*, *Hermance* und *Messery (F)* nicht als TSP eingeführt, womit auch die Bildung ungünstiger Dreiecksformen vermieden werden konnte.

Da für die Dreiecksvermaschung auf Stufe LV nur Triangulationspunkte 1./2. Ordnung als TSP verwendet wurden, erhalten die Punkte des GPS-Netzes LV95 mit der Transformation nicht die offiziellen LV95-Koordinaten. Dieser Mangel muss im Rahmen der Verdichtung der Dreiecksvermaschung noch behoben werden, indem die Punkte des GPS-Netzes als TSP hinzugefügt werden (vgl. Kap. 4.6).

Es ist ersichtlich, dass es mit den bekannten Informationen nicht möglich war, alle in Kap. 4.2 formulierten Kriterien zu berücksichtigen bzw. zu überprüfen. Die Anforderung, dass die im Innern eines Dreiecks liegenden Punkte eine gute relative Genauigkeit zu dessen Eckpunkten haben müssen, wurde deshalb aufgrund des hierarchischen Aufbaus der Triangulation stillschweigend als erfüllt betrachtet. Diese Annahme wurde später durch praktische Erfahrungen z.T. widerlegt. Im Berggebiet haben die Talpunkte oft eine ungenügende Beziehung zu den als TSP gewählten Gipfelpunkten (vgl. Kap. 4.5).

4.3.3.2 Bildung der Dreiecke

Mit den Triangulationspunkten 1./2. Ordnung als TSP wurden die Dreiecke nach folgenden Kriterien gebildet:

- möglichst kleine Verzerrungsdifferenzen zwischen benachbarten Dreiecken
- möglichst gleichseitige Dreiecke

Diese Kriterien sind aber nicht einfach absolut anwendbar. So ist z.B. eine möglichst kleine Verzerrungsdifferenz zwischen benachbarten Dreiecken für die praktische Anwendung wünschbar, andererseits steht dies z.T. im Widerspruch zur Realität. Es wurde deshalb mit zwei Ausnahmen (*Burst*, *Ruinette*) darauf verzichtet, einzelne Triangulationspunkte als TSP zu eliminieren. Der Punkt *Ruinette* ist in der Diagnoseausgleichung 1995 sehr schlecht bestimmt. Der Punkt *Burst* wurde als Ausreisser betrachtet und sollte vorgängig in der LV03 bereinigt werden. Die Verzerrungsdifferenzen konnten z.T. etwas reduziert werden, indem basierend auf den gleichen TSP andere Dreiecksformen gebildet wurden. Das folgende Beispiel zeigt, wie durch die Änderung der Dreiecksform die Verzerrungsdifferenz zwischen benachbarten Dreiecken (fett) von ca. 34 ppm auf ca. 22 ppm reduziert werden konnte.

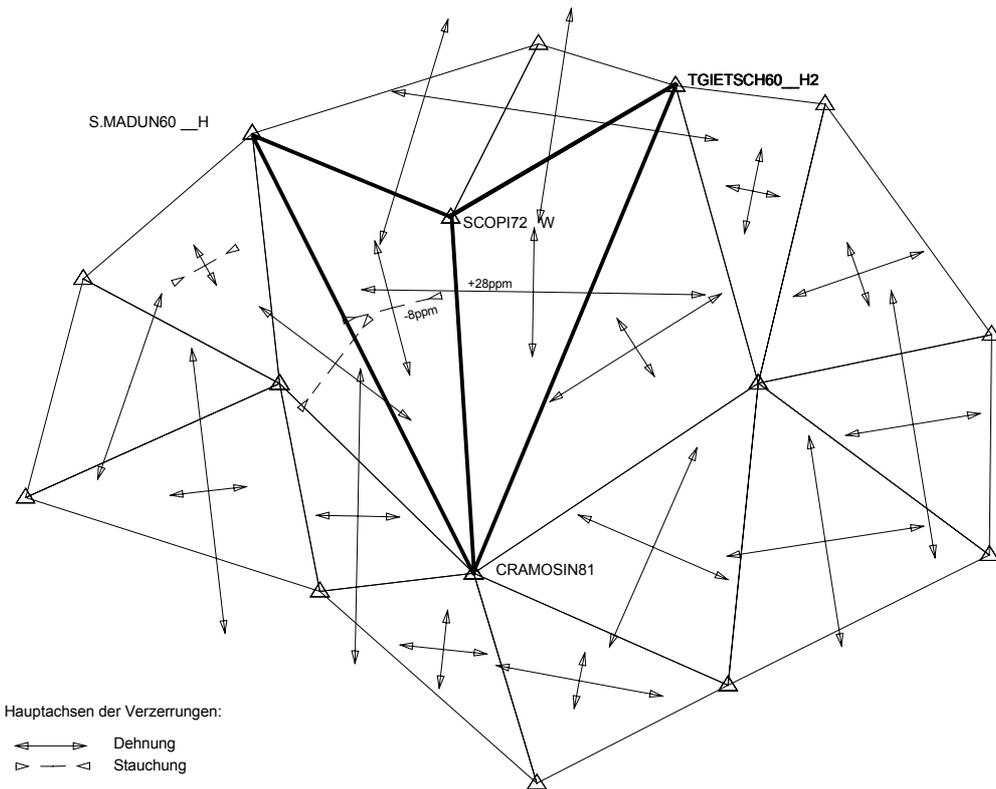


Fig. 4-2: Ungünstige Dreiecksform mit grossen Verzerrungsdifferenzen (ca. 34 ppm) zwischen benachbarten Dreiecken

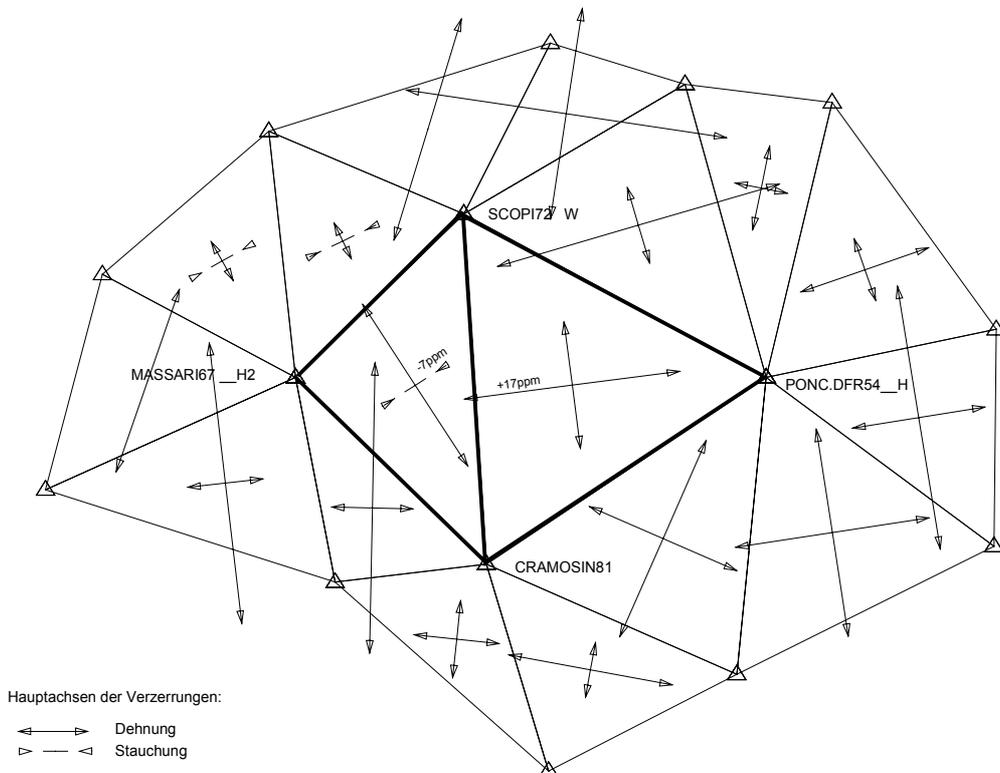


Fig. 4-3: Günstige Dreiecksform mit kleineren Verzerrungsdifferenzen (ca. 22ppm) zwischen benachbarten Dreiecken

Es gibt aber auch Fälle, bei denen keine Möglichkeit zu einer diesbezüglichen Verbesserung besteht oder dies nur zu Lasten einer wesentlich ungünstigeren Dreiecksform erreichbar wäre. Als Beispiel seien die Dreiecke um den Punkt *Piz Muraun* erwähnt, wo die Verzerrungsdifferenzen zwischen benachbarten Dreiecken bis zu 32 ppm betragen (vgl. Anhang A3). Die grösseren Inhomogenitäten in diesem Gebiet waren im übrigen schon in der Verzerrungsanalyse (vgl. Anhang A1) ersichtlich.

Aufgrund der Verteilung der Triangulationspunkte lassen sich jedoch ungünstige Dreiecksformen nicht immer vermeiden. Da in diesen Fällen jedoch die Verzerrungsdifferenzen zu den benachbarten Dreiecken relativ klein sind (< 25ppm), wurden diese in Kauf genommen. Eine Verbesserung der Dreiecksform kann allenfalls im Rahmen der weiteren Verdichtung der Dreiecksvermaschung (vgl. Kap. 4.6) angestrebt werden. Zu erwähnen sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Dreiecke mit den Seiten *Chaille – Le Soliat* und *Forch – Pfannenstiel*.

4.3.3.3 Fiktive Transformationsstützpunkte

Mit den vorhandenen Triangulationspunkten 1./2. Ordnung war es nicht möglich, das ganze Territorium der Schweiz mit einer Dreiecksvermaschung abzudecken. Für Randgebiete waren noch im Ausland liegende fiktive Transformationsstützpunkte erforderlich. Ihre Standorte wurden auf der Karte so gewählt, dass das ganze Territorium der Schweiz mit Dreiecken abgedeckt werden kann, aber gleichzeitig auch möglichst wenig extrapoliert werden muss. Die LV03-Koordinaten dieser Punkte wurden aus der Karte abgegriffen. Es stellt sich nun die Frage, welches das geeignetste Verfahren für die Berechnung der entsprechenden LV95-Koordinaten ist.

Zu diesem Zweck wurden mit je einem fiktiven TSP im Raum Schaffhausen (TSP01) und im Raum Wallis (TSP12) Testberechnungen mit folgenden Verfahren durchgeführt:

- a) Kollokation (VERZER):
Als Passpunkte dienten alle TSP der offiziellen Dreiecksvermaschung plus der Punkt 'Cherteau' (1065.026) aus dem Netz 'Revision 3^o Ajoie (1993)'.
- b) Helmert-Transformation (TRANSINT):
Für den TSP01 dienten neun und für den TSP12 fünf benachbarte TSP der offiziellen Dreiecksvermaschung als Passpunkte.
- c) Interpolation (TRANSINT):
Für den TSP01 dienten neun und für den TSP12 fünf benachbarte TSP der offiziellen Dreiecksvermaschung als Passpunkte. Als Maschenweiten wurden 25km bzw. 30km gewählt.
- d) Affine Transformation (TRANSINT):
Für den TSP01 dienten neun und für den TSP12 fünf benachbarte TSP der offiziellen Dreiecksvermaschung als Passpunkte.

Die Differenzen in den resultierenden Koordinaten betragen maximal 30 cm für den TSP01 und 13 cm für den TSP12. Die Beurteilung, mit welchen Koordinaten nun die der Realität am nächsten liegende Transformation erzielt werden kann, erfolgte visuell, indem die resultierenden Verzerrungen innerhalb der Dreiecke von FINELTRA miteinander verglichen wurden. Bei der Kollokation hatte man gesamthaft am ehesten den Eindruck, dass keine Überkorrekturen vorliegen. Die Verzerrungsdifferenzen zwischen den einzelnen Dreiecken waren bei dieser Methode ebenfalls am kleinsten. Für die definitive Dreiecksvermaschung wurden deshalb die fiktiven TSP mittels einer Kollokation extrapoliert.

4.4 Die definitive Dreiecksvermaschung von FINELTRA (Stufe LV)

Die definitive Dreiecksvermaschung auf Stufe Landesvermessung ist im Anhang A2 graphisch dargestellt. Die dazugehörigen Verzerrungen sind im Anhang A3 zu finden. Diese Version (WORK95.DAT) wurde am 13. März 1996 als vorläufig offizielle Version für die Stufe LV in Kraft gesetzt. Im Rahmen der Verdichtung der Dreiecksvermaschung für die Bedürfnisse der AV (vgl. Kap. 4.6) werden jedoch die Dreiecke der Stufe LV sukzessive mit neuen Dreiecken verdichtet und durch diese ersetzt werden.

Das **Steuerfile** WORK95.DAT des Programms FINELTRA setzt sich aus 3 Teilen zusammen:

- 1) Im ersten Teil werden die Dreiecke durch die Angabe der drei Eckpunkte definiert. Pro Zeile wird ein Dreieck festgelegt, wobei die Eckpunkte im Gegenuhrzeigersinn aufzuführen sind. Die Gültigkeit eines jeden Dreiecks kann durch Angabe von Anfangs- und Endzeit festgelegt werden. Mit der Angabe eines Transformationszeitpunktes wird auf die zu diesem Zeitpunkt gültige Dreiecksvermaschung zugegriffen. Damit können Transformationen mit unterschiedlichem Zustand der Dreiecksvermaschung durchgeführt werden, was der fortlaufenden Verdichtung im Rahmen der AV Rechnung trägt.

- 2) Im zweiten Teil werden die LV03-Koordinaten der TSP mit ihrem Bestimmungsdatum aufgeführt.
- 3) Im dritten Teil werden die LV95-Koordinaten der TSP mit ihrem Bestimmungsdatum aufgeführt.

Als Resultat der Berechnung erhält man ein File mit den transformierten Koordinaten und ein **Listing-File**. In letzterem sind folgende Angaben zu finden:

- Angabe der Namen der Eingabe- und Ausgabe-Files
- Transformationszeitpunkt
- Angabe der verwendeten Dreiecke
- Angabe der verwendeten TSP mit den Koordinaten in beiden Bezugsrahmen
- Angabe der transformierten Koordinaten mit den lokalen und den transformierten Koordinaten

4.5 Testberechnung mit der definitiven Dreiecksvermaschung Stufe LV

Ein erster Erfahrungswert bezüglich der zu erreichenden Genauigkeit liefert die Transformation der Punkte des GPS-Netzes LV95. Die gemäss Kap. 3 bestimmten Koordinaten im Bezugsrahmen LV03 wurden mit der beschriebenen Dreiecksvermaschung in LV95 transformiert. Die so erhaltenen Koordinaten können nun mit den im GPS-Netz LV95 direkt bestimmten LV95-Koordinaten (Sollkoordinaten) verglichen werden. Da es für diese Punkte eine Zwangsbedingung ist, dass mit der Transformation die Sollkoordinaten erreicht werden, müssen die Punkte des GPS-Netzes LV95 im Rahmen der Verdichtung der Dreiecksvermaschung (vgl. Kap. 4.6) als zusätzliche TSP eingeführt werden.

Im Anhang A4 sind die Koordinatendifferenzen zwischen den LV95-Koordinaten, wie sie aus der Transformation der LV03-Koordinaten mit FINELTRA resultieren, und den Sollkoordinaten aus dem GPS-Netz LV95 graphisch dargestellt. Die folgende Tabelle zeigt eine grobe Übersicht über die Resultate:

	Koordinatendifferenzen		
	< 5cm	5 - 10 cm	> 10 cm
Anzahl Punkte (total 146)	66	47	33
Prozentsatz (%)	45	32	23

Tab. 4-1: Koordinatendifferenzen zwischen den LV95-Koordinaten, wie sie aus der Transformation der LV03-Koordinaten mit FINELTRA resultieren, und den Sollkoordinaten aus dem GPS-Netz LV95

Aus der Zusammenstellung ist ersichtlich, dass für rund drei Viertel der Punkte bereits mit der relativ grobmaschigen Dreiecksvermaschung der LV eine Übereinstimmung von 10 cm oder besser erreicht wird. Bei den Punkten im Mittelland wird bei rund der Hälfte aller Punkte sogar eine solche von 5 cm oder besser erzielt. Die maximale Koordinatendifferenz beträgt 40 cm (*Bossy*). Für die meisten Punkte mit grösseren Koordinatendifferenzen gibt es plausible Erklärungen:

- Im Berggebiet liegen die Punkte des GPS-Netzes LV95 mehrheitlich im Tal, während die verwendeten Transformationsstützpunkte eher auf den Berggipfeln liegen. In den früheren Triangulationsnetzen 4. Ordnung waren die Verbindungen von den Tal- zu den Bergpunkten oft schwach, was zu verminderten Nachbargenauigkeiten führen kann. Die durch die Bergpunkte definierten Transformationsparameter sind deshalb für die Talpunkte nicht repräsentativ. Die Vermutung, dass die Häufung von Punkten mit grösseren Differenzen in den Kantonen Uri und Tessin auf diesen Umstand zurückzuführen sind, wurden im Rahmen der Arbeiten für AlpTransit bestätigt (vgl. Kap. 4.6).
- Die LV03-Koordinaten des Punktes *Fahy* (Hauptpunkt GPS-Netz LV95) wurden im Rahmen der Erneuerung LFP1 Ajoie (1993) neu berechnet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden auch die Koordinaten des als TSP verwendeten Punktes *Faux d'Enson* (Triangulationspunkt 2. Ordnung) neu berechnet. Die zum Vergleich durchgeführte Transformation unter Verwendung der neuen Koordinaten von *Faux d'Enson* zeigt für den Punkt *Fahy* deutlich kleinere, für den Punkt *Muriaux* jedoch erwartungsgemäss grössere Koordinatenunterschiede, weil dessen Bestimmung auf den alten Koordinaten von *Faux d'Enson* basiert. Eine Bereinigung dieser Situation soll im Rahmen der weiteren Verdichtung der Dreiecksvermaschung stattfinden.

- Der Punkt *Bossy* weist eine Koordinatendifferenz von 40 cm auf. Dies entspricht der durchschnittlichen Koordinatenänderung, welche im Rahmen der Erneuerung 'Triangulation 1./2. Ordnung Westschweiz 1977' an den entsprechenden Punkten im Raum Genf angebracht worden ist. Da der Kanton Genf jedoch seine Koordinaten nie an diese neue Grundlage angepasst hat, sind diese Koordinatendifferenzen auch im Bezugsrahmen LV95 noch vorhanden. Für eine korrekte Transformation muss diesem Umstand Rechnung getragen werden.

4.6 Verdichtung der Dreiecksvermaschung

Wie die Resultate der im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Testberechnung zeigen, vermag die Dreiecksvermaschung auf Stufe LV (vgl. Anhang A2) erwartungsgemäss noch nicht allen Genauigkeitsanforderungen zu genügen. Insbesondere in der Amtlichen Vermessung (AV) werden höhere Genauigkeiten gefordert.

In den letzten Jahren wurde in breiten Kreisen intensiv darüber diskutiert, ob und wie eine Umstellung der AV auf den Bezugsrahmen LV95 erfolgen soll. Es sei in diesem Zusammenhang auf die Berichte 'Konsequenzen der neuen Landesvermessung LV95 für die Amtliche Vermessung, August 1996' [1] und 'Konsequenzen der neuen Landesvermessung LV95 für raumbezogene Daten (RD/LV95), März 1998' [2] hingewiesen. Gestützt auf diese Berichte wurde schliesslich der Grundsatzentscheid gefällt, dass auch die AV ihre Daten auf den neuen Bezugsrahmen LV95 überführen wird. Ein verbindlicher Zeitpunkt ist zwar noch nicht festgelegt. Es sollen jedoch ab sofort die Vorbereitungsarbeiten für die Transformation in Angriff genommen werden. Ein Element dieser Vorbereitungsarbeiten ist die Verdichtung der Dreiecksvermaschung.

Die weitere Verdichtung der Dreiecksvermaschung mit zusätzlichen Transformationsstützpunkten (TSP2) ist grundsätzlich eine kantonale Aufgabe. Dies ist auch aus technischer Sicht sinnvoll, weisen doch die kantonalen Vermessungsämter die besten örtlichen Kenntnisse bezüglich Zustand und Qualität der Fixpunkte sowie der AV im Allgemeinen auf. Gemäss Bericht [2] sollen die Arbeiten jedoch durch eine zentrale Projektleitung gesamtschweizerisch koordiniert und unterstützt werden. Diese neue Projektleitung wird momentan zusammengestellt und soll im Sommer 1999 ihre Arbeit aufnehmen.

Im Rahmen dieser Verfeinerung der Dreiecksvermaschung müssen nun regionale bzw. lokale Besonderheiten berücksichtigt werden:

- In den früheren Netzen waren die Verbindungen zwischen den Berg- und den Talpunkten oft schwach. Die Punkte im Talgebiet weisen deshalb meist gute Nachbarbeziehungen auf, während diese zwischen Tal- und Bergpunkten deutlich schlechter sind. Dies kann in der Dreiecksvermaschung berücksichtigt werden, indem eine Dreiecksseite in Talrichtung zu liegen kommt. Damit entspricht die Transformation im Talboden im Wesentlichen einer linearen Transformation längs der Talachse (vgl. Fig. 4-4 und Fig. 4-5).
- An Bruchstellen im alten Netzaufbau (z.B. Operatsgrenzen) sollen TSP eingeführt werden. Damit werden die Klaffungen an den Perimetergrenzen berücksichtigt und nicht grossräumig 'verschmiert'.
- 'Zone de transition': Im Rahmen der Erneuerung 1./2. Ordnung Westschweiz (1977) wurde am östlichen Rand des Perimeters eine sogenannte Transformationszone gebildet, in der die Zwänge zwischen dem erneuerten und dem nicht erneuerten Gebiet verteilt wurden. In diesem Gebiet liegen zwischen Nachbarpunkten grössere Zwänge vor, welche so gut wie möglich mit der Dreiecksvermaschung erfasst werden sollten.
- Der Kanton Genf hat seine Koordinaten noch nicht an die Erneuerung 1./2. Ordnung Westschweiz (1977) angepasst. Es bleibt zu überprüfen, welches für dieses Gebiet der optimale Weg zur Überführung der Daten in LV95 ist.
- Für den TSP *Faux d'Enson* wurden 1993 neue LV03-Koordinaten berechnet. Diese sind jedoch nur für das nördliche, nicht aber für das südliche Gebiet repräsentativ. Damit wurde eine Bruchstelle geschaffen, die durch geeignete Massnahmen zu bereinigen bzw. zu erfassen ist. Nebst dem erwähnten Punkt existieren noch eine Anzahl weiterer Punkte mit der gleichen Problemstellung (z.B. *Lutzenland*).

- Bei der Verzerrungsanalyse wurden zwischen verschiedenen TSP grössere Zwänge festgestellt (vgl. Kap. 4.2.2). Diese sollen nun mit der Verdichtung der Dreiecksvermaschung ebenfalls näher analysiert werden.

Im Rahmen des Projekts AlpTransit wurden für Gebiete in den Kantonen Uri und Tessin verfeinerte Dreiecksvermaschungen erstellt (vgl. [3] und [4]). Es handelte sich hierbei gerade um Gebiete, welche bei den Testberechnungen mit der Dreiecksvermaschung Stufe LV die schlechtesten Ergebnisse geliefert haben (vgl. Kap. 4.5). Den erkannten Ursachen wurde bei der Wahl der zusätzlichen TSP Rechnung getragen, indem folgende Kriterien berücksichtigt wurden:

- zusätzliche TSP im Talboden
- soweit wie möglich Bildung von Dreiecksseiten in Talrichtung
- zusätzliche TSP an Operatsgrenzen

Die verdichteten Dreiecksvermaschungen sind in den Figuren Fig. 4-4 (Tessin) und Fig. 4-5 (Uri) graphisch dargestellt. Diese Vermaschungen können für die Talebene als definitiv betrachtet werden. An den Perimeterrändern dürften aber im Rahmen der weiteren Verdichtung der Dreiecksvermaschung nochmals Änderungen eintreten.

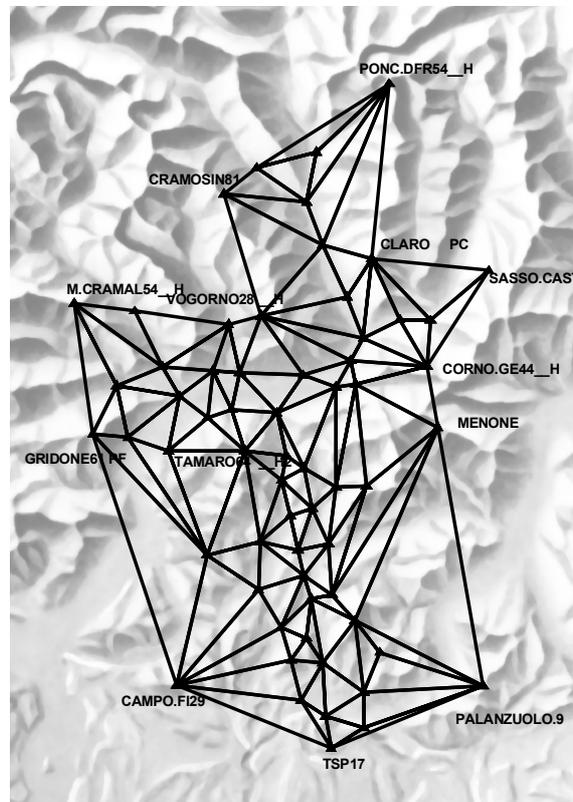


Fig. 4-4: Verfeinerte Dreiecksvermaschung AlpTransit Tessin (entlang Bahnachse Biasca – Chiasso)

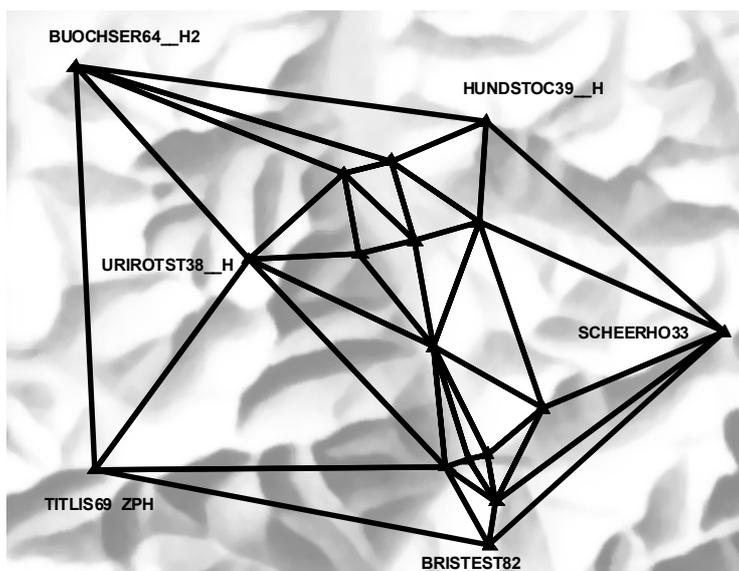


Fig. 4-5: Verfeinerte Dreiecksvermaschung AlpTransit Uri (Reussebene Altdorf - Amsteg)

Die Qualität der Transformation mit diesen verfeinerten Dreiecksvermaschungen wurde mittels sogenannter Kontrollpunkte überprüft. Mit neuen Messungen für diese Punkte wurden wie für die TSP ebenfalls LV95-Koordinaten bestimmt. Aufgrund der Differenz zwischen den aus der Transformation resultierenden und den mit Messungen neu bestimmten LV95-Koordinaten konnten Rückschlüsse auf die Qualität der Transformation geschlossen werden.

	Koordinatendifferenzen LV95 (Soll) – LV95 _{transformiert}		
	0 - 4 cm	4 - 8 cm	8 - 12 cm
Tessin: Anzahl Punkte (total 55)	17	26	12
Prozentsatz	31%	47%	22%
Uri: Anzahl Punkte (total 18)	14	4	0
Prozentsatz	78%	22%	0%

Tab. 4-2: Koordinatendifferenzen zwischen den mit Messungen neu bestimmten und den durch Transformation mit FINELTRA erhaltenen LV95-Koordinaten

Aus der vorliegenden Tabelle ist ersichtlich, dass im Gebiet Tessin ca. drei Viertel aller Punkte mit einer absoluten Genauigkeit von besser als 8 cm transformiert wurden. Im Kanton Uri sind dies sogar alle Punkte. Diese Zahlen dürfen jedoch nicht überbewertet werden, weil es sich um eine relativ kleine Anzahl von Kontrollpunkten handelt und insbesondere auch, weil die Transformationsgenauigkeit direkt von der Qualität der Ausgangsdaten abhängt. Ein Vergleich der Nachbargenauigkeiten vor (LV03) und nach (LV95) der Transformation dürfte deshalb aussagekräftiger sein. In beiden Gebieten hat sich gezeigt, dass die Zwänge zwischen Nachbarpunkten praktisch gleich geblieben sind. Daraus darf geschlossen werden, dass die Qualität der Ausgangsdaten erhalten blieb und somit die absoluten Koordinatendifferenzen gemäss Tab. 4-2 auch die Qualität der Ausgangsdaten wiedergeben. Für grössere absolute Genauigkeiten in LV95 müsste vorerst die Qualität der Ausgangsdaten (LV03) verbessert werden.

Die erzielten Genauigkeiten sind im Vergleich zur Transformation mit der Dreiecksvermaschung auf Stufe LV wesentlich höher. Mit letzterer ergaben sich in beiden Gebieten durchschnittliche Koordinatendifferenzen von ca. 15cm. Die Werte streuten im Kanton Uri von 6 cm bis 20 cm und im Kanton Tessin von 4 cm bis 27 cm.

Nebst den beiden erwähnten Projektarbeiten wurden auch im Kanton Zug Testberechnungen mit Daten der AV durchgeführt, die insbesondere den Einfluss der Transformation auf die Geometrie untersuchten (vgl. [5]). Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verzerrungen von Form und Fläche der Objekte der amtlichen Vermessung so klein sind, dass sie praktisch vernachlässigbar sind.

5 Die Transformation LHN95 ↔ LN02

Das Projekt LV95 umfasst neben dem neuen Bezugsrahmen LV95 für die Lage auch einen neuen Bezugsrahmen LHN95 für die Höhe (vgl. Berichte zu LV95 Teil 1 und 3). Das bisherige Gebrauchshöhensystem (LN02) wird durch ein potentialtheoretisch strenges Landeshöhennetz (LHN95) ersetzt. Wie die Koordinaten müssen deshalb auch die Höhen vom bisherigen Bezugsrahmen (LN02) in den neuen Bezugsrahmen (LHN95) überführt werden. Aus praktischen Gründen muss die Einführung der neuen Höhen in der AV simultan mit der Umstellung der Koordinaten erfolgen. Die in Kap. 4.1 formulierten allgemeinen Anforderungen bezüglich der Transformation der Koordinaten sind analog auch für die Höhen gültig. Das entsprechende Transformationsprogramm wird deshalb analog dem Programm FINELTRA ausgestaltet sein. Im Moment wird an der Entwicklung dieses Programmes gearbeitet.

6 Entwicklungstendenzen in der Landesvermessung

6.1 Pilotstudie LHN95-Verdichtung

Mit dem neuen Höhensystem LHN95 können Nivellements- und GPS-Messungen streng miteinander kombiniert werden. Die beschränkten finanziellen Mittel haben in verschiedenen Kantonen dazu geführt, dass das bestehende Kant. Nivellement (HFP2) nicht mehr oder nur noch beschränkt unterhalten werden kann. Man stellte sich daher die Frage, wieweit GPS im Bereich der Höhenfixpunkte zu einer besseren Wirtschaftlichkeit beitragen könnte. Versuche in Deutschland haben diesbezüglich ermutigende Resultate gezeigt. Es ist jedoch zu überprüfen, ob diese Erkenntnisse auch auf die speziellen Verhältnisse der Schweiz mit grossen Höhenunterschieden übertragbar sind. Die Bearbeitung dieser Fragestellung wurde einer Arbeitsgruppe übertragen, welche aus Mitarbeitern des Vermessungsamtes des Kantons Bern (KVA BE) und der L+T besteht. Zu diesem Zweck werden zurzeit Untersuchungen entlang von kürzlich neu gemessenen Nivellementslinien in folgenden Gebieten durchgeführt:

- Testnetz Emmental (Mittelland / Voralpengebiet)
- Testnetz Susten (Alpenraum)

Im Vordergrund stehen folgende Fragestellungen:

- GPS-Untersuchungen: Welche Höhengenaugigkeiten sind mit welchem Aufwand (Messzeit, Meteo, Auswertesoftware) erreichbar
- Untersuchungen zur Genauigkeit des neuen Geoids 98
- Überprüfung der Wirtschaftlichkeit
- Übergang LHN95 ↔ LN02

Die Erhebung der Felddaten (Nivellement, GPS) erfolgte im Sommer 1998. Im Moment werden die Auswertungen durchgeführt. Der Schlussbericht (TB 98-12) ist für Ende 1999 vorgesehen.

6.2 Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES / swipos)

Abgesehen davon, dass das GPS-Netz LV95 mit modernen Methoden der Satellitengeodäsie gemessen wurde, stellt es nach wie vor ein konventionelles geodätisches Grundlagennetz dar. Dem Benutzer wird ein dreidimensionales Punktfeld mit gut zugänglichen, stabil und dauerhaft versicherten Referenzpunkten zur Verfügung gestellt. Neben der Punktdokumentation (Krokis) werden für jeden Punkt genaue und zuverlässige 3D-Koordinaten und zugehörige stochastische Informationen (Kovarianzen) sowie in Zukunft auch kinematische Parameter (Geschwindigkeitsfeld) angeboten.

Mit dem Aufkommen moderner GPS-Auswertetechniken und Telekommunikationsmittel sind heute aber auch andere Wege der Bereitstellung von geodätischen Bezugsrahmen denkbar. Ein Netz von permanent betriebenen Stationen, deren Daten entweder off-line (klassische GPS-Auswertung) oder on-line (real-time kinematic RTK) angeboten werden, bildet einen modernen Weg, den geodätischen

Bezugsrahmen dem Benutzer zur Verfügung zu stellen. Die permanenten GPS-Stationen können dabei als 'aktive Kontrollpunkte' angesehen werden.

Einen ersten Schritt in diese Richtung hat die L+T bereits mit dem Pilotprojekt des DGPS-Dienstes unternommen. Dabei werden die auf der Geostation Zimmerwald berechneten Navigationskorrekturen über UKW/RDS zum DGPS-Benutzer übertragen, welcher mit diesem Verfahren Genauigkeiten von wenigen Metern erreicht. Hauptanwendungsgebiete dieses DGPS-Dienstes sind Navigationsanwendungen aller Art sowie die Datenerfassung im GIS-Bereich. In einem weiteren Entwicklungsschritt wird eine auch für den Vermessungsbereich genügende Genauigkeitsstufe angestrebt. Zu diesem Zweck wird unter dem Kurznamen AGNES (Automatisches GPS-Netz Schweiz) ein Netz von permanent betriebenen automatischen GPS-Stationen aufgebaut, welche von einem zentralen Kontroll- und Rechenzentrum (an der L+T) aus überwacht werden. (vgl. [6]). All diese Positionierungsdienste werden von der L+T unter dem Namen swipos (swiss positioning service) als Service public angeboten werden.

Die Daten des AGNES-Netzes werden einerseits von der L+T für eigene geodätische Auswertungen und wissenschaftliche Untersuchungen im Rahmen der Landesvermessung verwendet, andererseits werden die Daten aber auch anderen Benutzern verfügbar gemacht. Der Zugriff auf die Daten soll sowohl off- als auch on-line erfolgen, um den unterschiedlichen Anforderungen der Benutzer gerecht zu werden:

- Unter off-line Anwendungen werden sämtliche Anwendungen im Bereich der klassischen Geodäsie und Landesvermessung verstanden, bei denen die Daten der nächstgelegenen GPS-Permanentstationen dem Benutzer für nachträgliche Auswertungen zur Verfügung gestellt werden, sei es auf herkömmlichen Datenträgern (Diskette, CD-ROM) oder aber direkt über Internet (z.B. www).
- Bei den zukunftssträchtigeren on-line Anwendungen werden die Daten entweder über ein allgemeines Sendemedium (z.B. UKW/RDS, Digital Audio Broadcasting (DAB)) oder aber über eine Punkt-zu-Punkt – Verbindung (NATEL-D) dem Benutzer in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden.

Zum heutigen Zeitpunkt bestehen noch in verschiedenen Bereichen offene Fragen, welche vertiefter Abklärungen bedürfen:

- Welches ist die optimale Anzahl von AGNES-Stationen?
- Sollen die einzelnen AGNES-Stationen 'autonom' oder vernetzt nach dem sogenannten 'Wide-Area-DGPS' (WADGPS) betrieben werden? Beim autonomen Ansatz wird eine AGNES-Station zwar vom Rechenzentrum aus überwacht, die entsprechenden Korrekturen (RTCM) werden jedoch direkt ausgesendet. Beim WADGPS wird versucht, die räumliche Dekorrelation der Korrekturdaten zu modellieren. Das räumliche Modell der Korrekturdaten wird zentral aufgrund der GPS-Messungen aller Stationen berechnet, an die Stationen zurückgesendet und von dort aus verbreitet. Die vom Benutzer anzubringende Korrektur ist durch eine Ortsfunktion gegeben, in welcher die Position des Benutzers als einzige Unbekannte betrachtet wird.
- Das Format der ausgesandten Korrekturen muss empfängerunabhängig, platzsparend (komprimiert) und geschützt vor unberechtigtem Zugriff (Verschlüsselung) sein.
- Der Daten-Kommunikation kommt besondere Bedeutung zu. Es handelt sich hierbei einerseits um die Verbindung zwischen AGNES-Station und Rechenzentrum und andererseits um jene zwischen AGNES-Station und Benutzer. Die sowohl technisch wie auch wirtschaftlich optimale Technik ist für beide Probleme noch zu evaluieren.

Zur Erarbeitung einer Detailstudie, welche die Machbarkeit und den Nutzen eines permanenten GPS-Netzes aufzeigen soll, betreibt die L+T seit 1997 ein AGNES-Pilotnetz. Mit diesem Netz werden Fragen aus folgenden Bereichen detailliert untersucht:

- Standort der Stationen
- Automatischer Permanentbetrieb unter verschiedenen klimatischen Bedingungen
- Kommunikation
- Datenfluss / Datenhaltung / Datenbackup
- WADGPS
- Integrity Monitoring
- RTK-Versuche
- Troposphärische Untersuchungen
- Betriebskosten / Wirtschaftlichkeit

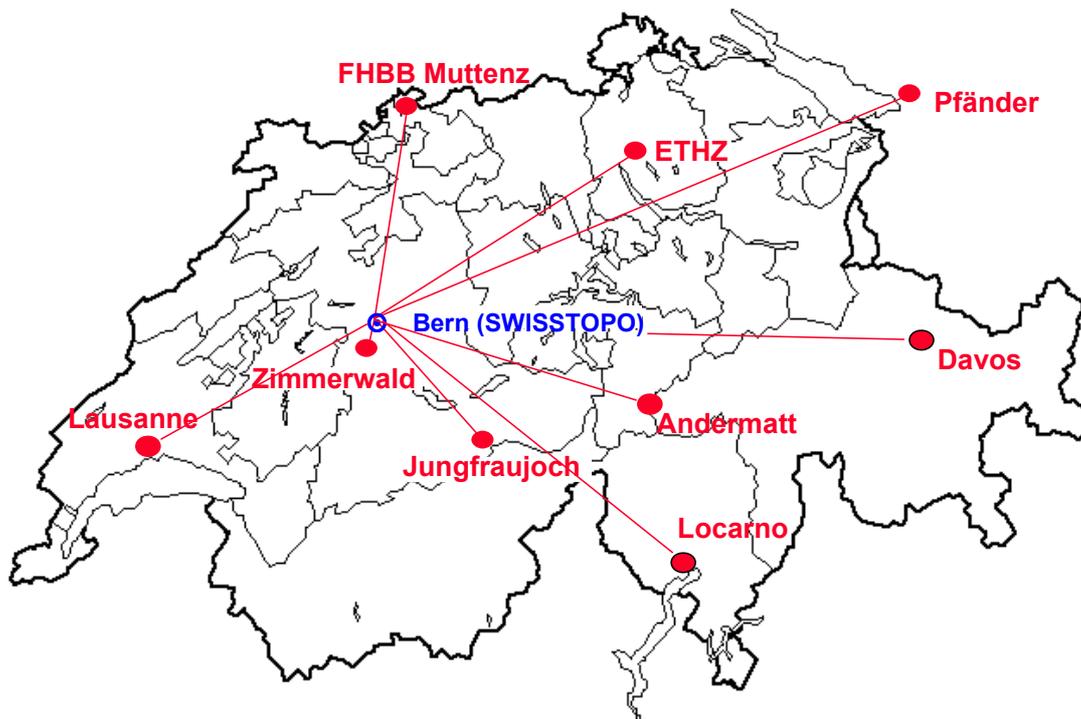


Fig. 6-1: AGNES – Pilotnetz, Stand März 1999

Abkürzungen und Begriffe

AIUB	Astronomisches Institut, Universität Bern
AV	Amtliche Vermessung
CODE	Center for Orbit Determination in Europe
IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich
IGEO	Institut de géomatique, EPF Lausanne
LFP1	Lagefixpunkt 1 (ehemals Triangulationspunkt 1.-3. Ordnung)
LFP2	Lagefixpunkt 2 (ehemals Triangulationsfixpunkt 4. Ordnung)
L+T	Bundesamt für Landestopographie
LV95-HP	Hauptpunkt des GPS-Landesnetzes LV95
LV95-VP	Verdichtungspunkt des GPS-Landesnetzes LV95
LN	Landesnivellement
LV	Landesvermessung
L1 / L2	Frequenzen der GPS-Signale
LTOP	Ausgleichungssoftware der L+T
RTK	Real Time Kinematic (Messmodus von GPS)
TSP	Transformationsstützpunkt für Transformation LV03 ↔ LV95 (FINELTRA)

Literatur

- [1] Bericht der Gruppe AV/LV95: **'Konsequenzen der neuen Landesvermessung 95 für die Amtliche Vermessung'**. V+D, Oktober 1995 / August 1996.
- [2] Bericht der Gruppe RD/LV95: **'Konsequenzen der neuen Landesvermessung LV95 für die raumbezogenen Daten'**. V+D, 31. März 1998.
- [3] Technischer Bericht 97-10, L+T: **Transformation raumbezogener Daten von LV03 auf LV95 im Kanton Uri (Reussebene Altdorf – Amsteg)**. Arbeit in Koordination mit dem Projekt AlpTransit. April 1997.
- [4] Technischer Bericht 98-19, L+T: **Transformation raumbezogener Daten von LV03 auf LV95 im Kanton Tessin (Bahnachse Biasca – Chiasso)**. Arbeit in Koordination mit dem Projekt AlpTransit. Juni 1998.
- [5] Bericht der Untergruppe AV/LV95: Transformation zwischen den Bezugsrahmen LV03 und LV95. **Projekt 'Transformation mit finiten Elementen' – Test 'Zug'**. Februar 1997.
- [6] Technischer Bericht 97-01, L+T: **Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES)**, Vorstudie. Mai 1998.
- [7] VPK 4/95: A. Carosio, M. Plazibat. **'Lineare Transformation mit finiten Elementen'**, April 1995.

Berichte aus der L+T

Nr.	Titel (Autoren)	Ausgabe	Preis
1	Jahresbericht / Rapport annuel 1993	1994	gratis
2	Publikationen 1980–93 Publications 1980–93	1994	CHF 8.-
3	Die neue Strassenkarte 1:200'000 (H.U. Feldmann und M. Oehrli) Die neue Landeskarte 1:1'000'000 (H.U. Feldmann)	1995	CHF 10.-
4	Jahresbericht / Rapport annuel 1994	1995	gratis
5	Jahresbericht / Rapport annuel 1995	1996	gratis
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	CHF 8.-
7	Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS- Permanentbetrieb (U. Wild und W. Gurtner)	1995	CHF 8.-
8	Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen (D. Schneider, E. Gubler, U. Marti und W. Gurtner)	in prep.	
9	Teil 4: Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA93' (H. Chablais, Th. Signer und B. Vogel)	1995	CHF 8.-
10	Jahresbericht / Rapport annuel 1996	1997	
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	CHF 8.-
12	Teil 6: GPS-Landesnetz: GPS-Messungen 1988-94 (B. Vogel, A. Wiget, Th. Signer, D. Gutknecht und W. Santschi)	1997	CHF 8.-
13	Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988-94; Bezugs- rahmen 'CHTRF95' und 'LV95' (A. Wiget, U. Wild, Th. Signer und B. Vogel)	in prep.	
14	Teil 8: Gesamtausgleichungen des GPS-Landesnetzes mit dem Diagnosenetz der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA95' (D. Schneider, Th. Signer, B. Vogel und A. Wiget)	in prep.	
15	Teil 9: GPS-Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesver- messung. Transformation 'LV95 <-> LV03' (Th. Signer und B. Vogel)	1999.	CHF 8.-