

Bericht 6

Dezember 1995

Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'

Teil 1

Vorgeschichte, Konzept, Projektorganisation und Planung

Dieter Schneider, Erich Gubler und Adrian Wiget

Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'

Teil 1

Vorgeschichte, Konzept, Projektorganisation und Planung

Dieter Schneider, Erich Gubler und Adrian Wiget

© 1996
Bundesamt für Landestopographie
Office fédéral de topographie
Ufficio federale di topografia
Uffizi federal da topografia
Federal Office of Topography

Redaktion: A. Wiget
D. Schneider
Ch. Studer
Auflage: 500 Exemplare
Druck: EDMZ

Vorwort

Die Publikationsreihe '**Berichte aus der L+T**' wurde 1993 eingeführt, um die wichtigsten Arbeiten aus den verschiedenen Fachbereichen des Bundesamtes für Landestopographie (L+T) dokumentieren und der Fachwelt in geeigneter Form zugänglich machen zu können. Die in der Zwischenzeit in unregelmässigen Abständen erschienenen Berichte wurden bisher mit grossem Interesse aufgenommen.

Die Abteilung Geodäsie ist seit 1988 stark mit dem Aufbau der neuen **Landesvermessung 1995 (LV95)** beschäftigt. Die Projektleitung war sich von Anfang an bewusst, dass dieses Jahrhundertwerk unbedingt eingehend dokumentiert und dem weiten Benützerkreis in geeigneter Form näher gebracht werden muss. Deshalb wurde eine eigene Serie von Berichten zum Thema Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95 vorgesehen, womit in den nächsten Jahren eine systematische, umfassende und der Öffentlichkeit zugängliche Dokumentation der Arbeiten entstehen soll.

Ende 1995 konnten die Arbeiten für die Festlegung der Bezugssysteme von LV95 und die umfangreichen Berechnungen des GPS-Landesnetzes als Hauptpfeiler der neuen Landesvermessung abgeschlossen werden. Die Ergebnisse wurden für die Durchführung von Grundlagenvermessungen für grosse Ingenieurprojekte (BAHN2000, AlpTransit) dringend benötigt und konnten den Benützern unverzüglich zur Verfügung gestellt werden. Auf den gleichen Zeitpunkt sollten auch die ersten 4 Berichtsteile (*Teil 1: Vorgeschichte, Konzept, Projektorganisation und Planung; Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS-Permanentbetrieb; Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen und Teil 4 Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA93'*) erscheinen. Abgesehen von Verzögerungen bei der Herausgabe einzelner Teile konnte dieses Ziel auch erreicht werden. Wir hoffen, dass die grosse Dokumentationsarbeit in den nächsten Jahren planmässig abgeschlossen werden kann und damit dem Benützerkreis ein transparentes Nachschlagewerk zu allen Fragen der modernen Landesvermessung der Schweiz zur Verfügung stehen wird.

Für die Redaktion

Dr. D. Schneider

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Zusammenfassung / Résumé / Abstract / Sommario

1	Einleitung.....	1
2	Vorgeschichte und Entstehung des Projekts.....	3
2.1	Vorgeschichte	3
2.2	Entwicklung der Satellitengeodäsie und erste Anwendungen in der Schweiz.....	5
2.3	Einführung der GPS-Messtechnik in die Landesvermessung.....	5
2.4	Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung.....	8
2.5	Initialisierung des Projekts LV95	9
2.6	Projektorganisation	10
3	Bestehende Landesvermessung LV03.....	13
3.1	Bezugssystem und Geodätisches Datum CH1903	13
3.2	Landstriangulation LV03.....	13
3.3	Landesnivellement LN02	15
3.4	Entwicklung der Landesvermessung LV03 / LN02 bis 1993.....	17
4	Konzept der neuen Landesvermessung LV95.....	21
4.1	Zielsetzungen und Anforderungen	21
4.2	Anschluss an globale Referenzsysteme	21
4.3	Bezugssysteme und Bezugsrahmen	22
4.4	Kinematische Modelle.....	23
4.5	Höhensysteme und Landeshöhennetz LHN95.....	25
4.6	Bezug zur bestehenden Landesvermessung LV03	25
5	Entwurf und Realisierungskonzept des GPS-Landesnetzes	27
5.1	Grundsätzliches zum Netzentwurf.....	27
5.2	Realisierungskonzept	27
5.3	Vorgehen bei der Verdichtung.....	30
5.4	Dokumentation und Publikation der Ergebnisse	30
5.5	Nachführung und Unterhalt	31
5.6	Periodische Wiederholungsmessungen	31
6	Weitere Ziele des Projekts	33
6.1	Das weitere Vorgehen im Projekt.....	33
6.2	Das neue Zentimeter-Geoid der Schweiz	33
6.3	Realisierung des neuen Landeshöhennetzes LHN95.....	34
6.4	Kinematische Modelle zur Untersuchung von Krustenbewegungen.....	34
6.5	Zukünftige Entwicklung der Landesvermessung in der Schweiz	34

Literatur

Abkürzungen

Zusammenfassung / Résumé / Abstract / Sommario

Die Schweizerische Landesvermessung stammt grösstenteils aus den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts, stützt sich aber teilweise noch auf ältere Messungen und Berechnungen aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Ihre Grundlagennetze erfüllen die ständig wachsenden Anforderungen nur noch zum Teil. Mit dem Global Positioning System (GPS) wurde seit den 80er Jahren eine neue hochgenaue und gleichzeitig kostengünstige Methode entwickelt, die es erlaubt, in wenigen Jahren die Landesvermessung grundlegend zu erneuern. Seit 1988 hat das Bundesamt für Landestopographie ein neues Referenznetz aufgebaut, das in der näheren Zukunft bezüglich Genauigkeit allen praktischen Bedürfnissen genügen dürfte. Es besteht aus ca. 100 sorgfältig ausgewählten geodätischen Punkten und soll in den nächsten Jahren nach Bedarf verdichtet werden. Die 'absolute' Lagegenauigkeit (1σ) der Koordinaten liegt landesweit bei 0.5 bis 1 cm. Besondere Beachtung wurde der Definition von zwei neuen geodätischen Bezugssystemen geschenkt, von denen das eine optimal mit den globalen Bezugssystemen verbunden ist, ein kinematisches Modell enthält und sich für wissenschaftliche und die meisten hochgenauen Ingenieurprojekte eignet. Das andere ist statisch und stellt den Anwendern in der amtlichen Vermessung einen optimalen Bezugsrahmen zur Verfügung. Diese Systemwahl erleichtert den Übergang mittels Transformationen vom bestehenden in die neuen globalen und lokalen Bezugssysteme. Neben dem dreidimensionalen GPS-Netz wurde auch ein neues Landeshöhennetz festgelegt, welches die Daten des bisherigen Landesnivellements verwendet und mit Hilfe eines neuen cm-Geoides mit den GPS-Höhen kompatibel sein wird. Die Realisierung des Landeshöhennetzes wird noch einige Jahre in Anspruch nehmen.

La mensuration nationale remonte en grande partie aux premières décennies de ce siècle, et s'appuie partiellement sur d'anciennes mesures et calculs datant de la seconde moitié du 19^e siècle. La mensuration nationale actuelle ne répond plus qu'en partie aux exigences toujours plus élevées. A partir des années 80 s'est développé la méthode GPS, permettant la création avantageuse d'un nouveau réseau national de haute précision. L'Office fédéral de topographie a mis sur pied dès 1988 un nouveau réseau de base qui devrait satisfaire à pratiquement toutes les futures exigences. Ce réseau, constitué d'env. 100 points géodésiques soigneusement choisis, sera densifié ces prochaines années, en fonction des besoins. La précision 'absolue' (1σ) des coordonnées est de 0.5 à 1 cm en situation. Un soin particulier a été porté au choix de deux nouveaux systèmes de référence. Le premier est rattaché de manière optimale aux systèmes de référence globaux, il contient un modèle cinématique, et convient aux études scientifiques et aux grands projets exigeant une précision élevée. L'autre est statique et confère à l'utilisateur de la Mensuration officielle une référence optimale. De grands efforts ont été faites pour faciliter le passage du système officiel actuel au nouveau système à l'aide de transformations. De plus, un nouveau système altimétrique a été défini d'une manière analogue au réseau GPS purement géométrique. La réalisation de ce système prendra encore quelques années de travail.

The major part of the Swiss national geodetic survey dates from the first decades of this century even though it is in part based on measurements and calculations from the second half of the 19th century. The actual national control networks hardly meet today's growing demands anymore. The development of the Global Positioning System (GPS) during the 1980s brought a precise and inexpensive method of establishing a new geodetic control network within a few years. Beginning in 1988 the Federal Office of Topography has conceived a new geodetic reference which, with respect to accuracy, should fulfill practically all requirements in the near future. It consists of around 100 carefully selected geodetic points and will be densified as local needs arise. The 'absolute' accuracy (1σ) of the coordinates reaches 0.5 to 1 cm in planimetry. Particular attention was paid to the definition of two new geodetic reference systems. One is optimally connected to the global reference systems, includes a kinematic model and is suited for scientific purposes as well as most high-precision engineering projects. The other one is static and offers cadastral surveyors an excellent reference frame. This choice facilitates the transition from the official system into the new global and local reference systems. In addition to the 3D geometric GPS network a new national height system was defined which is based on the data of the present national levelling network and, thanks to a new geoid on the cm level, will be compatible with the GPS heights. The realization of this system, however, still requires several years of intense work.

La maggior parte della misurazione nazionale svizzera ha avuto origine nei primi decenni del nostro secolo ma si basa in parte su misure e calcoli eseguiti nella seconda metà del secolo scorso. La misurazione nazionale odierna non soddisfa più le esigenze moderne. Dagli anni ottanta disponiamo di nuove tecniche economiche e precise, basate sul "Global Positioning System" (GPS), che hanno permesso di creare in pochi anni un nuovo sistema di inquadramento nazionale. Dal 1988 l'Ufficio federale di topografia ha realizzato una nuova rete di riferimento che dovrebbe soddisfare quasi tutte le esigenze di precisione del prossimo futuro. La rete è costituita da circa 100 punti base scelti accuratamente che saranno densificati nei prossimi anni in funzione delle esigenze. La precisione 'assoluta' (1σ) delle coordinate è compresa tra 0.5 e 1 cm in planimetria. Una cura particolare è stata dedicata alla scelta dei due sistemi geodetici di riferimento. Il primo è collegato in modo ottimale ai sistemi internazionale ed europeo, comprende un modello cinematico e si adatta alle esigenze scientifiche e tecniche di altissima precisione. Il secondo è statico e offre agli utenti della misurazione ufficiale un eccellente sistema d'inquadramento. Notevoli sforzi sono stati dedicati allo sviluppo di metodi di trasformazione per facilitare il passaggio dalle coordinate ufficiali attuali alle nuove. La rete GPS tridimensionale sarà completata da un nuovo sistema di riferimento altimetrico opportunamente definito, che utilizza la livellazione federale e, grazie a un nuovo modello di geoidi preciso al centimetro, sarà compatibile con le quote GPS. La sua realizzazione richiederà però ancora qualche anno di lavoro.

1 Einleitung

Das Bundesamt für Landestopographie (L+T) ist in der Schweiz für die Erstellung der geodätischen Grundlagen (Bezugssysteme) und für den Aufbau, die Erhaltung und Nachführung der geodätischen Netze der Landesvermessung (LV) zuständig. Damit die sich wandelnden Anforderungen an diese Grundlagen auch zukünftig erfüllt werden können, muss dabei mit der technologischen Entwicklung der geodätischen Messtechnik Schritt gehalten werden. Die verwendeten Bezugssysteme, die Standorte der geodätischen Punkte sowie die Genauigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Koordinaten sollten den heutigen Anforderungen für die Anwendung der modernen Messverfahren (GPS-gestützte Messungen) entsprechen. Standorte in schlecht zugänglichen Gebieten (z.B. im 'ewigen Schnee' des Hochgebirges), solche mit schlechten Empfangsbedingungen für die Satellitensignale (z.B. unter Bäumen oder neben Hindernissen und Sendeanlagen) oder solche mit instabilem Untergrund sollten vermieden werden.

Aufgrund der seit 1980 insbesondere wegen der Satellitengeodäsie sich abzeichnenden Umwälzung bei den geodätischen Messverfahren wurde den Verantwortlichen klar, dass die bisherige LV, bestehend aus den Bezugssystemen und den geodätischen Netzen der Landestriangulation und des Landesnivellements (LN), von der Entwicklung rasch überrollt sein werden. Deshalb wurde ein grundsätzlicher Neuaufbau der geodätischen Grundlagen der Schweiz beschlossen. Das Bedürfnis nach einer neuen LV für die wissenschaftlichen Zielsetzungen der Geodäsie und Geophysik sowie als Grundlage grosser Ingenieurprojekte wurde dabei neben den allgemeinen Bedürfnissen der Amtlichen Vermessung (AV) berücksichtigt. Zudem liess sich erkennen, dass mit dem Einsatz von GPS bei der Erstellung, Erhaltung und Nachführung der LV (aber auch bei der Verdichtung der Fixpunktnetze) dank der hohen Wirtschaftlichkeit beträchtliche Einsparungen erzielt werden können.

Die schwierige Frage, inwieweit die neuen Grundlagen für die AV und andere Anwendungen kurz- oder mittelfristig überhaupt Verwendung finden würden, blieb zunächst offen. Eine Entscheidung über eine mögliche Umstellung der AV auf die neue LV musste in enger Zusammenarbeit mit der Eidg. Vermessungsdirektion (V+D) und anderen Gremien zuerst sorgfältig vorbereitet werden. Da die L+T eine Antwort auf diese Frage erst nach jahrelangen Diskussionen erwarten konnte, der Aufbau einer neuen Grundlage aber vordringlich und zudem mit den vorhandenen Budgetmitteln innert wenigen Jahren möglich schien, wurde der Start des Projekts schon 1988 beschlossen. Damit konnten die Voraussetzungen für die wirtschaftliche Nutzung der neuen GPS-Technologie für die LV, die Geodäsie und Geophysik (z.B. NAGRA) sowie für die aktuellen Ingenieurprojekte (z.B. BAHN2000, AlpTransit und Nationalstrassenbau) innert kurzer Frist geschaffen werden.

Nachdem die Ergebnisse der ersten Versuche und Testmessungen mit GPS das grosse Potential der neuen Methode deutlich gemacht hatten, wurde ein Konzept für eine **neue Landesvermessung 1995 'LV95'** mit einem GPS-Landesnetz als Hauptstütze und einer optimalen Verbindung zu den globalen Bezugssystemen (-rahmen) erarbeitet. Die Projektplanung sah ein etappenweises Vorgehen und eine Fertigstellung des neuen GPS-Landesnetzes bis ins Jahr 1995 vor. In einer nachfolgenden Phase sollte schliesslich auch ein neues Höhengrundlagennetz realisiert werden. Dank dieser Etappierung schien es möglich, die Ziele der neuen Landesvermessung LV95 trotz der Begrenzung der finanziellen und personellen Mittel mittelfristig erreichen zu können.

Der sorgfältigen Dokumentation wurde bei der Projektplanung grosse Bedeutung zugemessen. Deshalb wurde eine Publikationsreihe zu LV95 geplant, in welcher die wichtigen Arbeitsschritte festgehalten werden sollen. Im vorliegenden Teil 1 dieser Serie werden die konzeptionellen und organisatorischen Überlegungen beim Aufbau von LV95 dokumentiert.

Das Projekt LV95 ist in enger Zusammenarbeit der Geodäten der L+T mit verschiedenen Organisationen und Instituten im In- und Ausland entstanden. Der Arbeitsgruppe GPS der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) verdanken wir wertvolle Impulse, die uns in der Anfangsphase erlaubten, die neue Technologie rasch in den Griff zu bekommen. Das Team am Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) unter der Leitung von Prof. G. Beutler verdient den besonderen Dank für die Entwicklung der 'Berner GPS-Software', dem optimalen Werkzeug für Auswertungen in der Landesvermessung. Den Mitarbeitern des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETHZ sind wir dankbar für ihre wertvollen Beiträge, welche Sie im Rahmen von Ressortforschungsprojekten geleistet haben. Unseren Partnern vom Landesverwaltungsamt Niedersachsen in Hannover (D) und vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien (A) danken wir für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und die gegenseitige Ausleihe von GPS-Empfängern während den ersten Messkampagnen. Herrn Dr. P. Heitzmann von der Landeshydrologie

und -geologie sind wir für die wertvolle geologische Beratung zur Standortwahl der LV95-Stationen und der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) für die Überlassung der Meteodaten aus ihrem automatischen Messnetz zu Dank verpflichtet.

2 Vorgeschichte und Entstehung des Projekts

2.1 Vorgeschichte

Die Ursprünge der Landesvermessung in der Schweiz gehen auf die erste Hälfte des letzten Jahrhunderts zurück [Wolf, 1879; Zölly, 1948; Matthias et al., 1980]. Damals wurden die ersten landesweiten geodätischen Netze realisiert (s. Tab. 2.1-1).

Epoche	Geodätische Arbeiten
1828	Kegelprojektion von Bonne, Ellipsoid von Schmidt / Schumacher
1832 - 39	'Triangulation primordiale' (G.-H. Dufour)
1862 - 91	Gradmessungstriangulation der Schweizerischen Geodätischen Kommission
1880 / 81	Basismessungen in Aarberg, Weinfelden und Bellinzona
1864 - 91	'Nivellement de précision' der Schweizerischen Geodätischen Kommission

Tab. 2.1-1: Ursprüngliche Arbeiten der Schweizerischen Landesvermessung im letzten Jahrhundert

Die Grundlagen der heute offiziell gültigen LV (Landestriangulation LV03 und Landesnivellement LN02) wurden im ersten Drittel dieses Jahrhunderts durch die L+T erstellt (s. Tab. 2.1-2). Die Festlegung des geodätischen Datums, die Wahl der Kartenprojektion [Rosenmund, 1903] und die Wahl des Höhenhorizonts [Hilfiker, 1902] erfolgten kurz nach der Jahrhundertwende (s. Kap.3.1). Die Richtungsmessungen der Triangulation 1. bis 2. Ordnung wurden 1923, die Triangulationen 3. Ordnung 1939 (s. Kap.3.2), die Messung der Hauptlinien des Landesnivellements 1927 (s. Kap.3.3) und die Verdichtung durch die Sekundärlinien 1933 vollendet [Zölly, 1948; Chablais et al., 1988]. Mit der Publikation der Koordinaten und Höhen in den darauf folgenden Jahren wurden die geodätischen Grundlagen für die topographischen und kartographischen Arbeiten zur Erstellung des Landeskartenwerkes sowie für die AV in der Schweiz in guter Qualität und zweckmässiger Form für alle Benutzer zugänglich. Die Hauptanstrengungen galten fortan der Erhaltung, Nachführung und Erneuerung der Grundlagennetze (s. Kap.3.4). Eine neue Aufarbeitung, strenge Ausgleichung und Dokumentation der Triangulation 1. bis 2. Ordnung erfolgte ab 1985 im Rahmen der Diagnoseausgleichung (DIA93), welche in der Folge als wichtiges Element ins Projekt LV95 integriert worden ist (s. Kap.3.5).

Epoche	Geodätische Arbeiten
1902	Bestimmung des neuen Höhenausgangspunktes (Repère Pierre du Niton)
1903	Festlegung des geodätischen Datums (Bessel Ellipsoid, 1841) und der Kartenprojektion (Schiefachsige, winkeltreue Zylinderprojektion)
1903 - 39	Landestriangulation (1. bis 3. Ordnung)
1903 - 33	Landesnivellement (Haupt- und Sekundärlinien)

Tab. 2.1-2: Grundlagen der heutigen Landesvermessung

Unter der Obhut der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) sind in diesem Jahrhundert eine Vielzahl wissenschaftlicher Arbeiten entstanden, welche für die Geodäsie und die LV in der Schweiz unmittelbare Bedeutung haben (s. Tab. 2.1-3). An den Arbeiten haben sich verschiedene Institute, allen voran das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich (IGP) beteiligt. So wurden z.B. zwischen 1916 und 1948 astronomische Nivellements entlang einer Profillinie quer über die Alpen (in den Meridianen vom Gotthard und von Lugano sowie in den Parallelkreisen von Zürich und Locarno) durchgeführt, welche eine erste Bestimmung von Geoidprofilen in der Schweiz erlaubten. Bis in die 70er Jahre wurden weitere Arbeiten der astronomischen Geodäsie (Laplace-Azimute und Lotabweichungen) durchgeführt. Diese astrogeodätischen Beobachtungsdaten wurden in den 60er und 70er Jahren für die Berechnung von Lotabweichungen und eines astrogeodätischen Geoidmodells für die Schweiz [Elmiger, 1969 und 1975; Gurtner, 1978] verwendet. In den 80er Jahren wurde schliesslich der Versuch unternommen, ausgehend von der grossen Zahl vorhandener

Schweremessungen, ein gravimetrisches Geoidmodell [Geiger und Kahle, 1986; Geiger, 1990] zu berechnen.

Epoche	Geodätische Arbeiten	Institute
1916 - 48	Bestimmung von Geoidprofilen (Astronomische Nivellements)	SGK
1945 - 70	Astrogeodätische Messungen im Netz der Landestriangulation (Laplace-Azimute und Lotabweichungen)	SGK
1969 - 78	Bestimmung von Lotabweichungen und Berechnung eines astrogeodätischen Geoidmodells	SGK, IGP
1943 - 91	2. Messung des Landesnivellements (Hauptlinien)	L+T
1971 -	Kinematische Ausgleichung des Landesnivellements	L+T
1953 - 87	Arbeiten für RETrig und UELN	SGK, IGP, L+T
1963 - 87	EDM im Netz der Landestriangulation	SGK, IGP
1970 - 90	Teilerneuerungen der Landestriangulation (BL/BS, Westschweiz, SH)	L+T

Tab. 2.1-3: Neuere geodätische Arbeiten im Zusammenhang mit der Landesvermessung

Die internationale Zusammenarbeit im Bereich der Geodäsie und der LV war in der Schweiz schon immer ein Thema. Beispiele aus dem letzten Jahrhundert sind die Kooperation bei der Internationalen Gradmessung oder die Verwendung von ausländischen Nivellements bei der Festlegung des schweizerischen Höhendatums in Bezug auf die Meerespiegel. Im Laufe der 50er Jahre stand die europäische Zusammenarbeit im Rahmen der Projekte *RETrig* (*Réseau Européen de Triangulation*) und *UELN* (*Unified European Levelling Network*) im Vordergrund.

Für das europäische Nivellementsnetz UELN wurden ab 1953 vorläufig auf dem schweizerischen Netzteil und später auch auf allen anderen Linien des LN Schweremessungen zur strengen Reduktion der beobachteten Höhendifferenzen bezüglich des Schwereeinflusses durchgeführt. Die L+T berechnete die geopotentiellen Differenzen auf den ausgewählten Linien und lieferte diese Daten zur Ausgleichung an die internationalen Rechenstellen ab. Eine erste Ausgleichung wurde in den 60er Jahren abgeschlossen.

Im Rahmen der Forschungsprojekte der SGK setzte das IGP die neu entwickelte Elektronische Distanzmessung (EDM) zur Messung von Strecken im Netz der Triangulation 1. und 2. Ordnung ein. Nach ersten Versuchen mit Mikrowellen-EDM ab 1963 wurden später grosse Teile des Landesnetzes 1. und 2. Ordnung mit Laser-EDM, z.T. sogar mit Flug-Meteo-Erfassung entlang dem Messstrahl gemessen. Diese Arbeiten hatten wissenschaftlichen Charakter und ihre Resultate sind zum grössten Teil nie in die offizielle LV eingeflossen, da eine grossräumige Erneuerung des Bezugsrahmens (Koordinaten) in der AV bis dahin nicht erwünscht war (s. Kap.3.4).

In den Jahren 1967/68 wurden die alten Winkelmessungen im Triangulationsnetz 1. Ordnung aus den archivierten Feld- und Berechnungsakten der L+T erfasst und mit Hilfe von Stationsausgleichungen neu aufbereitet. Diese Daten wurden zusammen mit Ergänzungsmessungen für den Anschluss an die Netze der Nachbarländer sowie später mit den neugemessenen EDM-Strecken in eine europaweite RETrig-Ausgleichung eingeführt [Kobold, 1976; Wunderlin, 1976]. Schliesslich wurden zusätzliche Laplace-Azimute, vom Astronomischen Institut der Universität Bern (AIUB) in Zimmerwald gemessene Laser-Distanzmessungen zu Satelliten, Dopplermessungen des IGP und Neubearbeitungen von Basisvergrößerungsnetzen eingeführt. Das IGP übernahm die Einführung der Beobachtungsdaten bis zur Teilreduktion der Normalgleichungsanteile und danach die Berechnung der inneren Unbekannten, während die Blockausgleichung vom DGFI in München durchgeführt wurde. Die Berechnungen des europäischen Triangulationsnetzes wurden 1987 abgeschlossen. Damit stand ein neuer Bezugsrahmen (ED87 im Bezugssystem ED50) für die schweizerische Landestriangulation 1. Ordnung zur Verfügung, welcher aber vorläufig keine praktische Anwendung weder in der LV noch in der AV fand. Immerhin dienten die neuen Koordinaten zur Untersuchung der Verzerrung im offiziellen Bezugsrahmen LV03. Teile des Beobachtungsdatensatzes fanden zudem Verwendung bei Netzerneuerungen (s. Kap.3.4).

2.2 Entwicklung der Satellitengeodäsie und erste Anwendungen in der Schweiz

Die Satellitengeodäsie ermöglicht, geodätische Punkte über Distanzen von kontinentaler oder globaler Grössenordnung miteinander zu verbinden. Durch die wiederholte regelmässige Messung eines weltumspannenden Netzes können die Stationskoordinaten und ihre zeitlichen Veränderungen in einem dreidimensionalen geozentrischen Koordinatensystem bestimmt werden. Damit lassen sich geodynamische Phänomene wie die Plattentektonik, die Polbewegungen und die zeitliche Variation der Erdrotation beobachten. Daneben dienen die Messungen dazu, das Gravitationsfeld im erdnahen Raum zu bestimmen und liefern damit einen wesentlichen Beitrag zur Berechnung von globalen Geoidmodellen.

Die Entwicklung und Anwendung der Satellitenmethoden in der Schweiz begann in den 60er Jahren am AIUB [Gurtner und Beutler, 1986; Wild und Gurtner, 1995]. Die anfänglichen photographischen Richtungsbeobachtungen zu Satelliten wurden erstmals für die Berechnung eines weltumspannenden geodätischen Netzes [Schmid, 1972] verwendet. Der erste Laserdistanzmesser in Zimmerwald wurde 1975/76 in Betrieb genommen und ermöglichte den Wissenschaftlern des AIUB die Teilnahme an internationalen Messkampagnen mit Satellite Laser Ranging (SLR) wie z.B. dem Crustal Dynamics Project der NASA.

Die frühen Arbeiten in der Satellitengeodäsie hatten ausschliesslich wissenschaftliche Bedeutung (s. Tab. 2.2-1)

Epoche	Geodätische Arbeiten	Institute
1965 - 75	Photographische Richtungsbeobachtungen in Zimmerwald	AIUB
1975 -	Satellite Laser Ranging (SLR) in Zimmerwald (Teilnahme an internationalen Messkampagnen)	AIUB
1985	Mobile Station Generoso	IGP
1980 - 86	Dopplermessungen (Navigationssystem TRANSIT) in den Netzen der Landesvermessung (nationale und internationale Messkampagnen)	IGP
1984 -	Einstieg in die GPS-Technologie: Software Entwicklung (Berner GPS-Software), Testmessungen und Evaluation (Testnetz Turtmann etc.)	AIUB SGK (AGr)

Tab. 2.2-1: Frühe Arbeiten im Bereich der Satellitengeodäsie in der Schweiz

Das erste weltweit nutzbare Satelliten-Navigationssystem TRANSIT ermöglichte praktische Messungen in den Netzen der Landesvermessung. In der Schweiz war es vor allem das IGP, welches zu Beginn der 80er Jahre erste wertvolle Erfahrungen mit sogenannten Dopplermessungen in den Netzen der Landesvermessung sammelte (Kampagnen SWISSDOC und ALGEDOP) [Geiger und Kahle, 1982; Wiget et al., 1985 und 1986]. Die frühen Anwendungen der Satellitengeodäsie in der Schweiz dienten auch der Bestimmung genauer geozentrischer Koordinaten der Station Zimmerwald und damit der Herstellung des Bezuges der Schweizerischen Landesvermessung zu globalen Referenzsystemen. Praktisches Ergebnis waren erste Transformationsparameter für die Umrechnung von Schweizer Landeskoordinaten in globale Systeme (z.B. WGS72).

2.3 Einführung der GPS-Messtechnik in die Landesvermessung

Die L+T betrachtete es seit den 70er Jahren als vordringliche Aufgabe, die Entwicklung der modernen geodätischen Messtechnik aktiv, durch eigene Versuche und durch die Zusammenarbeit mit den Hochschulinstituten und der Instrumentenindustrie zu verfolgen. Nach den Methoden der EDM waren es die Anfänge der Satellitengeodäsie (Doppler), die Entwicklung der elektronischen Theodolite, die digitalen Nivellierverfahren und schliesslich die Anwendungen von GPS und DGPS, welche auf ihre Tauglichkeit für die LV untersucht werden mussten.

Die ersten Versuche, präzise relative Positionierungen mit Hilfe der Trägerphase von GPS-Satelliten durchzuführen, gehen auf den Anfang der 80er Jahre zurück, als der erste geodätische GPS-Empfänger entwickelt und der Fachwelt vorgestellt wurde [Counselman and Steinbrecher, 1982]. Diese technische Entwicklung wurde von den Geodäten mit Interesse verfolgt. Dabei wurde das grosse Potential dieser Methoden für die Geodäsie und die LV sehr rasch deutlich.

Am 8. Januar 1985 fand an der L+T eine denkwürdige Sitzung mit Vertretern der GPS-Gruppe des AIUB und der L+T statt zum Thema: Anwendung der Satellitengeodäsie in der zukünftigen Landesvermessung. Dabei wurde die Absicht zur Zusammenarbeit bei der Entwicklung der Satellitengeodäsie und der Einführung der neuen GPS-Technologie von beiden Seiten erstmals formuliert. Von Seiten des AIUB wurde vor allem eine Kooperation bei der Auswertung von GPS-Messungen bzw. bei der Entwicklung entsprechender Software sowie beim gemeinsamen Betrieb der Geostation Zimmerwald (SLR und GPS-Permanentstation) angeboten. Die L+T gab die Absicht bekannt, bei der Bereitstellung eines geeigneten Testnetzes und der Durchführung von GPS-Testmessungen in Zusammenarbeit mit dem IGP massgebend mitzuwirken. Im Hinblick auf eine neue Landesvermessung auf der Basis von GPS schlug D. Schneider vor, alle vorhandenen geodätischen Beobachtungen im Netz der Triangulation 1. und 2. Ordnung neu zu erfassen und in einem Guss streng auszugleichen. In Anlehnung an die beispielhafte Arbeit der deutschen Geodäten beim IfAG [Ehlert, 1977] wurde dieses Projekt als '**Diagnoseausgleichung**' bezeichnet (s. Kap.2.3). Diese Neubearbeitung der Landestriangulation würde einerseits die geodätischen Arbeiten aus dem letzten Zentennium umfassend dokumentieren und andererseits den bestmöglichen Koordinatensatz für die Triangulationspunkte 1. und 2. Ordnung liefern. Diese Koordinatenlösung könnte bei der Einführung der GPS-Messtechnik in der Landesvermessung als Vergleichsdatensatz wertvolle Dienste leisten.

Epoche	Erste geodätische Anwendungen von GPS in der Schweiz	Institute
1984	Grundlagennetz des CERN (LEP)	CERN
1985	SLR-GPS Vergleichsbasis Zimmerwald - Monte Generoso	SGK
1985 -	3D-Testnetz TURTMANN	SGK (AGr)
1987	Kontrollnetz GRANIT	SGK
1987 - 89	GPS-Profil Visp - Zermatt (im Rahmen des NFP-20)	SGK, IGP,
1988 -	Antennentestnetz THUN (Untersuchung der Phasenzentren von GPS-Antennen)	L+T L+T
1988	Kombiniertes-Tunnelgrundlagennetz 'BAHN2000: Wisenberg'	
1988 -	RCM-Kontrollnetze 'NEOTEKTONIK Nordschweiz' (NAGRA) und 'LePont'	L+T
1989	ALGESTAR (Geoidbestimmung mit GPS)	L+T
1989	Erweiterung Stauwauer-Deformationsnetz 'In den Schlagen (Sihlsee)'	IGP L+T

Tab. 2.3-1: Erste Arbeiten mit GPS in der Schweiz

Am 26. Februar 1985 wurde die **Arbeitsgruppe GPS der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK)** unter der Leitung ihres Präsidenten, Prof. Dr. H.-G. Kahle, gegründet. An den Beratungen der Arbeitsgruppe nahmen ursprünglich Vertreter des *Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich (IGP)*, des *Astronomischen Instituts der Universität Bern (AIUB)*, des *Bundesamtes für Landestopographie (L+T)* sowie (als Mitglied der SGK) Herr Dr. F.K. Brunner (Firma *WILD Heerbrugg AG*) teil. Später wurde die Arbeitsgruppe durch Vertreter folgender Institute und Firmen ergänzt: *Institut de géodésie et mensuration der ETH Lausanne (IGM)*, *Labor für Atmosphärenphysik der ETH Zürich (LAPETH)*, *CERN Genf*, *KERN und Cie AG, Aarau* und *WILD Heerbrugg AG* (heute Leica Heerbrugg AG). Neben dem Gedankenaustausch über die laufende Entwicklung der GPS-Technik wurde beschlossen, GPS-Testmessungen in der Schweiz, insbesondere im alpinen Gebiet, durchzuführen und zu diesem Zweck ein Testnetz einzurichten. Nach der Erwägung verschiedener Varianten wurde entschieden, in Turtmann (VS) ein 3D-Testnetz (s.unten) in der typischen Topographie eines grossen Alpentaales mit grossen Höhendifferenzen aufzubauen.

Im **LEP-Netz des CERN** in Genf fanden im Dezember 1984 die ersten GPS-Messungen mit Macro-meter V-1000 in der Schweiz (das Netz liegt im Bereich der Landesgrenze Frankreich-Schweiz) statt. Als Gäste des CERN nahmen verschiedene Vertreter der Arbeitsgruppe GPS bei den Messungen teil. Diese Versuchsmessungen wurden vom AIUB mit der "Bernese Second Generation Software" erfolgreich ausgewertet [Gurtner, 1986].

Das IGP der ETHZ veranlasste, dass im Herbst 1985 im Rahmen des WEGENER-MEDLAS Projektes das mobile Laserdistanz-Messsystem MTLRS-2 der TU Delft für einen zweimonatigen Einsatz auf dem Monte Generoso installiert wurde [Bürki et al., 1986]. Sowohl indirekt über SLR-Beobachtungen zum Satelliten LAGEOS wie auch mittels terrestrischen Laserdistanzmessungen je von Zimmerwald und vom Monte Generoso aus zum Jungfrauoch wurde die Strecke **Zimmerwald - Monte Generoso** (ca. 159 km) gemessen. Gleichzeitig wurden mit Zweifrequenzen-Empfängern vom Typ TI-4100 auf

allen drei Stationen exzentrische Messmarken mit GPS eingemessen. Die Differenz der Vergleichsdistanz zwischen SLR und GPS betrug schliesslich 4.5 cm, was einer Relativgenauigkeit von 0.3 ppm entsprach.

Im Frühjahr 1985 begannen die Installationen und die terrestrischen Messungen im **Testnetz TURTMANN** [Jeanrichard, 1992]. Zur Bestimmung von Vergleichskordinaten ('ground truth') in Turtmann wurden die bislang genauesten terrestrischen Messmethoden (Präzisions-EDM mit Mekometer, Terrameter, Flugmeteo etc.) und zur Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate das 3D-Ausgleichungsprogramm RAUMTRI [Schneider und Wunderlin, 1981] verwendet. Die ersten GPS-Messungen in Turtmann erfolgten im Herbst 1985 mit Macrometer V-1000, Sercel TR5S und Texas Instruments TI-4100. Im Laufe der folgenden 10 Jahre fanden im Testnetz Turtmann insgesamt 15 Messkampagnen mit insgesamt 17 verschiedenen Empfängertypen statt [Jeanrichard, 1995]. Dabei arbeiteten verschiedene Organisationen aus dem In- und Ausland in vorbildlicher Weise zusammen. Die GPS-Auswertungen der Testmessungen wurden grösstenteils am AIUB mit Hilfe der Berner GPS-Software (Version 3) gemacht. Anhand eingehender Messungen im Testnetz Turtmann evaluierte die L+T 1985-87 ihre erste (Trimble 4000SL/SLD) und 1992 ihre zweite Empfängerflotte (Trimble 4000SSE) für alle Anwendungen in der Landes- und Ingenieurvermessung. Neben der technischen Evaluation der GPS-Empfänger dienten die Testmessungen anfänglich vor allem der Gewinnung von praktischen Messerfahrungen und der Ausbildung des Personals.

Auf Initiative des AIUB (Dr. W. Gurtner) wurde 1987 mit dem **Projekt GRANIT 1987** eine für die LV beispielhafte kleine GPS-Messkampagne mit Zweifrequenzengeräten (TI-4100) durchgeführt [Rothacher et al. in: Kahle und Marti, 1993]. Das Projekt, welches u.a. durch das *Nationale Forschungsprojekt: Geologische Tiefenstruktur und Alpendynamik (NFP-20)* mitfinanziert wurde, verfolgte die folgenden 3 Ziele:

- Rückversicherung der Geostation Zimmerwald: Die Geostation Zimmerwald steht auf Molasse, die im tektonischen Sinn gegenüber den Gebirgsstrukturen (Alpen, Jura, Schwarzwald) nicht als stabil betrachtet werden kann. Durch die Messung der relativen Lagebeziehung zu mehreren Punkte in den Alpen, im Jura und im Schwarzwald sollte es nach erfolgten Wiederholungsmessungen dieser Anlage längerfristig möglich sein, statistisch signifikante Aussagen über allfällige Relativbewegungen unter diesen Punkten und damit über Eigenbewegungen der Station Zimmerwald machen zu können.
- Erste Wiederholungsmessungen auf der Linie Zimmerwald - Jungfrauoch - Monte Generoso (siehe oben): Diese Linie, welche praktisch parallel zur erwarteten Hauptverkürzungsachse der Alpen verläuft, wurde 1985 im Rahmen einer Stationierung mit einem mobilen Laser mit SLR sowie durch direkte Lasermessungen bestimmt. Gleichzeitig wurde sie bereits damals mit TI-4100 GPS-Empfängern beobachtet. Aus dem Vergleich mit deren Resultaten sowie den neuen Zweifrequenz-GPS-Messungen 1987 mit späteren Wiederholungsmessungen sollte die tektonisch induzierte Verkürzung nachgewiesen werden können.
- Verbindung der Geotraversen des NFP-20: Verbindung der Ost- und Westtraverse der geologisch-geophysikalischen Untersuchungen im Rahmen vom NFP-20.

Die Messungen erfolgten vom 16. - 18. Juni 1987 und gelten als die ersten landesweiten GPS-Zweifrequenzmessungen in der Schweiz. Das Netz umfasste die folgenden 12 Stationen:

Zimmerwald, Chasseral, Jeizinen, Zermatt, Hütten (Schwarzwald), Jungfrauoch, Lägern, Titlis, Gotthard, Monte Generoso, Hochalp, Andeer

Bei der Messkampagne waren die folgenden Institute durch die Ausleihe von GPS-Empfängern und/oder durch den Einsatz von Operateuren beteiligt: AIUB, IGP-ETHZ, Institut für Weltraumforschung Graz, Geodätisches Institut der Universität Hannover, Inst. für Erdmessung Hannover, Institut für Astronomie und Physikal. Geodäsie München, Institut für Polarforschung Bremerhafen, Universität der Bundeswehr München. Die L+T hat sich durch die Vorbereitung der Punktversicherungen, logistische Unterstützung und bei der Dokumentation der Kontrollpunkte am Projekt beteiligt.

Von allen Stationen des GRANIT-Netzes, welche zum Teil neu erstellt worden waren, bestimmte die L+T die Landeskoordinaten im System CH1903. Durch eine 7-Parameter-Transformation der aus den GPS-Messungen gerechneten geozentrischen Koordinaten auf die in quasigeozentrische Koordinaten umgerechneten Landeskoordinaten wurde der offizielle GRANIT-Parametersatz (3 Translationen, 3 Rotationen, 1 Massstab) bestimmt.

Ebenfalls im Rahmen des NFP-20 entstand das Forschungsprojekt **Visp-Zermatt 1987/89** des IGP-ETHZ [Wirth et al. in: Kahle und Marti, 1993]., an welchem das AIUB und die L+T beteiligt waren, mit den folgenden Hauptzielen:

- Beitrag zur Dichtebestimmung aus astrogeodätische Messungen
- Ermittlung von vertikalen Krustenbewegungen aus wiederholten Nivellements
- Geoidbestimmung im Profil Visp-Zermatt durch Vergleich des Nivellements mit einem GPS-Profil und einem terrestrischen Polygonzug
- Aufbau eines regionalen GPS-Kontrollnetzes als Grundlage für das Studium der Alpendynamik

Die GPS-Messungen auf 13 GPS-Stationen, welche sorgfältig auf ihre geologische Eignung überprüft und direkt an der Linie des Landesnivellements angeschlossen worden waren, erfolgten im Sommer 1987 mit 4 WM 101-Empfängern. Die Resultate der Messungen im engen Alpental zeigten drastisch die Begrenzungen der GPS-Methode bei schwierigen topographischen Verhältnissen und die Probleme der Höhenbestimmung mit GPS. Eine Zweitmessung des Profils erfolgte 1989 mit Trimble-Geräten unter der Leitung der L+T.

Ab 1988 führte die L+T auch intensive GPS-Testmessungen auf der Allmend **THUN** durch. Sie errichtete dort sechs Betonsockel zur Montage von Stahlpfeilern im Abstand von 20 m. Diese 100 m lange Teststrecke wurde später auf 11 Pfeiler (10 m Abstand) verdichtet. Die Messungen in Thun dienten vor allem Untersuchungen der Phasemessgenauigkeit der verschiedenen Empfängertypen sowie der Bestimmung von antennenspezifischen Offsets der Phasenzentren.

Aufgrund der Resultate aus den Messkampagnen im Netz Turtmann zeigte sich sehr bald, dass die Bestimmung von genauen ellipsoidischen Höhendifferenzen mit GPS im Gebirge wegen dem Einfluss der Refraktion in der Troposphäre sehr schwierig ist. Deshalb wurde die Untersuchung der Troposphäreneinflüsse bei den weiteren Versuchsmessungen zu einem zentralen Forschungsthema. Neben der Schätzung von Troposphärenparametern anhand der redundanten GPS-Messungen wurden auch Versuche mit verschiedenen Troposphärenmodellen in Angriff genommen [Gurtner et al., 1987; Rothacher, 1992].

Die ersten grossen GPS-Messkampagnen der L+T mit eigenen GPS-Empfängern waren diejenigen für das Grundlagennetz des geplanten **Wisenbergtunnels** der Bahn2000 (Sissach-Olten) und des Kontrollnetzes **NEOTEKTONIK Nordschweiz** der NAGRA im Oktober 1988 (vgl. Kap.2.5). Erfahrungen mit GPS-Präzisionsmessungen wurden auch im RCM-Kontrollnetz **'LePont'** gemacht, in welchem im Frühjahr 1988 erstmals GPS eingesetzt worden ist.

Im Nationalfondsprojekt **ALGESTAR** (Alpine Geoid by Satellite Timing and Ranging) wurden vom IGP der ETHZ innerhalb von 4 Tagen 1989 mit GPS die ellipsoidischen Höhen von 40 gleichmässig über die Schweiz verteilten Stationen bestimmt [Marti, 1990]. Durch den Vergleich mit den (orthometrischen) Höhen aus der Schweizerischen Landesvermessung wurden, gleich wie im Vorgängerprojekt ALGEDOP, Informationen über das Geoid der Schweiz erhalten. In deutlich kürzerer Zeit ist es dabei gelungen, ein lokales Geoid der Schweiz mit einer Genauigkeit von etwa 10 cm zu bestimmen.

Ähnlich wie mit den klassisch geodätischen Deformationsmessungen durch wiederholte Richtungsmessungen an Staumauern in den 20er Jahren [Lang, 1929] (vgl. Kap.4.4) hat die L+T auch bei den **GPS-Messungen in Staumauer-Überwachungsnetzen** eine Vorreiterrolle gespielt. 1989 wurde erstmals das Netz 'In den Schlagen' (Sihlsee) der Etzelwerke durch langjährig stabile Kontrollpunkte weit ausserhalb der Deformationszone der Staumauer erweitert, welche mit GPS eingemessen wurden [Wiget und Schneider, 1992]. Eine direkte Sichtverbindung zum eigentlichen Staumauernetz war dabei nicht mehr notwendig. Weitere Netzerweiterungen mittels GPS wurden kurz darauf auch in anderen Überwachungsnetzen, insbesondere der Freiburger Kraftwerke (EEF), erstellt.

2.4 Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung

Als wichtige Vorarbeit für die neue Landesvermessung können die Arbeiten für die Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung betrachtet werden. Aus der in Kap.2.1 beschriebenen Initiative wurde schliesslich ein L+T-Projekt, dessen Realisierung am 28. März 1985 an einer gemeinsamen Sitzung mit Vertretern des IGP-ETHZ (A. Elmiger, W. Fischer und N. Wunderlin) beschlossen worden ist. Das Projekt sollte ursprünglich die folgenden Ziele verfolgen:

- Vollständige und einheitliche Dokumentation aller geodätischen Messungen im Triangulationsnetz 1. und 2. Ordnung

- Berechnung des bestmöglichen Koordinatensatzes aller TP 1. und 2. Ordnung mit zugehörigen Kovarianzen
- Beurteilung der Genauigkeit aller vorhandenen Beobachtungsgruppen und möglicher systematischer Fehleranteile
- Untersuchung der Verzerrungen im offiziell gültigen Koordinatenrahmen und Erprobung ihrer mathematischen Modellierung
- Verwendung als Testnetz für neue Messmethoden (namentlich GPS)
- Berechnung von Parametersätzen für den Datumsübergang vom Schweizer Datum in globale Bezugssysteme
- Untersuchung von horizontalen Komponenten von relativen Verschiebungen der obersten Erdkruste aus dem Vergleich der alten Messungen mit den neuen LV95 Messungen.

Die Idee einer strengen Neuausgleichung der Landestriangulation war nicht ganz neu. Schon bei der Erneuerung der Triangulation 1. bis 2. Ordnung der Westschweiz im Jahre 1977 bestand das Bedürfnis, den neuen Netzteil mit Hilfe eines übergeordneten Stütznetzes zu lagern. Damals wurde behelfsweise das 'verebnete' Resultat des RETrig-Blockes CH als übergeordnetes Netz (sog. 'Super-Landesnetz') verwendet [*Chablais und Schneider, 1979*]

Im Verlaufe der Arbeiten für LV95 zeigte sich, dass die Diagnoseausgleichung noch eine weitere Bedeutung erlangen würde, welche ursprünglich nicht im Vordergrund stand. Durch die Verknüpfung des GPS-Landesnetzes mit der bisherigen Triangulation 1. und 2. Ordnung gelingt es eine neue, kombinierte Gesamtausgleichung beider Beobachtungsdatensätze (GPS und terrestrisch) durchzuführen, welche schliesslich zu einer mit LV95 kompatiblen Lösung des Diagnosenetzes 'DIA95' führen wird. Aus dem Vergleich dieses LV95-Koordinatensatzes DIA95 mit dem Satz der offiziellen Koordinaten LV03 der bisherigen Triangulation ergibt sich ein diskretes Verschiebungsfeld LV03-LV95 (dy , dx). Dieses Vektorfeld kann einerseits für die Verzerrungsanalyse der bisherigen Triangulation 1. und 2. Ordnung und andererseits für die mathematische Modellierung dieser Verzerrungen (z.B. durch finite Elemente) zwecks Umrechnung von Koordinaten zwischen den beiden Bezugsrahmen dienen. Wie sich aus den Diskussionen zur Einführung von LV95 in die Amtliche Vermessung gezeigt hat, ist diese Umrechnung eine wichtige Voraussetzung für eine spätere Überführung der grossen Datenmengen der AV in den neuen Bezugsrahmen LV95.

Für eine ausführlich Darstellung der Diagnoseausgleichung sei auf den Teil 4 dieser Serie [*Chablais et al., 1995*] verwiesen. Die Thematik der Verzerrungsanalyse der bestehenden Landesvermessung und jene des Übergangs zwischen den Bezugsrahmen LV03 und LV95 soll im Teil 9 dieser Serie [*Signer et al., 1997*] beschrieben werden.

2.5 Initialisierung des Projekts LV95

Mit der praktischen Erprobung der GPS-gestützten Messmethoden, der Ausbildung des Personals, der Beschaffung einer eigenen GPS-Empfängerflotte (Trimble 4000SL / SLD) und der Installation der Berner GPS-Software auf der Rechenanlage war die L+T zu Beginn des Jahres 1988 für erste GPS-Anwendungen bereit. Als eigentliche Feuerprobe der neuen Technologie kann die Messung der Grundlagenvermessung für den geplanten **Wisenbergertunnel** der BAHN2000 (Sissach-Olten) und des Kontrollnetzes **Neotektonik Nordschweiz** der NAGRA im Oktober 1988 betrachtet werden. Die Messkampagne wurde in Zusammenarbeit mit dem Landesverwaltungsamt Niedersachsen durchgeführt, wodurch es gelang, 12 GPS-Empfänger des gleichen Fabrikats (Trimble 4000SX, -SL und -SLD) und eine genügende Zahl ausgebildeter Operateure einzusetzen. Beim Aufbau, der Installation, Messung, Auswertung und Dokumentation des Neotektoniknetzes (1986-89) wurde einerseits wesentliche Entwicklungsarbeit geleistet und andererseits sehr viel Erfahrung für das zukünftige Projekt LV95 gewonnen. Im Laufe dieser Arbeiten zeigte sich, dass der Aufbau einer neuen Landesvermessung mit höchsten Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit (Lagegenauigkeit (1σ) bezüglich dem Referenzpunkt in Zimmerwald besser als 1 cm) mit bescheidenen finanziellen Mitteln und in einer Zeitspanne von ca. 5 Jahren möglich ist.

Im gleichen Zeitraum entstand auch eine neue Dynamik im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit in Geodäsie und Landesvermessung. Anstelle der RETrig-Kommission entstand eine neue Initiative zur Einführung eines europäischen Referenzsystems und der praktischen Realisierung durch einen kontinentalen Bezugsrahmen. Diese Bestrebungen konzentrierten sich in der Subkommission **EUREF** (European Reference Frame) der IAG, bei welcher die Schweiz durch die Herren Gubler (L+T, als deren Präsident) und Gurtner (AIUB) vertreten war. Als vordringliches Ziel wurde der Aufbau eines europaweiten GPS-Referenznetzes geplant und die Landesvermessungsbehörden der

einzelnen Länder Europas (CERCO) wurden zur Mitarbeit aufgefordert. Dieses Netz wurde 1988 vorbereitet und im Mai 1989 gemessen. Das EUREF-Netz stützte sich auf die vorhandenen SLR- und VLBI-Stationen in Europa (in der Schweiz: Geostation Zimmerwald) und sollte als übergeordnetes Netz zum Anschluss von GPS-Landesvermessungen dienen.

Die Idee, in der Schweiz ein vollständig neues GPS-Landesnetz aufzubauen, konkretisierte sich 1988, kurz vor und während dem Jahr des 125-jährigen Jubiläums der L+T. Anlässlich solcher Jubiläen werden oft Standortbestimmungen und Rückblicke auf die Arbeiten verfasst. Dies geschah auch mit dem Aufsatz *"Die geodätische Landesvermessung in der Schweiz, heute und morgen"* [Chablais et al., 1988]. Darin wurden neben der obligaten Rückschau auch einige Überlegungen zur Zukunft der Landesvermessung festgehalten und, von den Anforderungen einer modernen Landesvermessung ausgehend, ein GPS-Landesnetz als Realisierung eines geodätischen Bezugssystems in Raum und Zeit postuliert. Die Forderungen nach einer landesweiten Genauigkeit (1σ) von 1 cm, nach einem eindeutigen Bezug zu den globalen Bezugssystemen und einem kinematischen Konzept wurden bei dieser Gelegenheit erstmals formuliert. Im Winter 1987/88 wurde das Projekt für eine neue Landesvermessung zuerst unter dem Titel "GPS-Landesnetz" von der L+T offiziell gestartet. Die 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. Im Rahmen der Vorstudien, welche unter der Leitung von H. Chablais mit Mithilfe von A. Wiget hauptsächlich durch die damalige Sektion Triangulation erfolgten, entstanden die ersten Konzepte zur Netzanlage, Versicherung und Durchführung der Messungen. Dabei konnten viele bei den Arbeiten für das Projekt "NEOTEKTONIK Nordschweiz 88" gewonnenen Erkenntnisse übernommen werden.

2.6 Projektorganisation

Nachdem im Frühjahr 1988 der Start für das neue Projekt "GPS-Landesnetz" erfolgt war, wurde eine kleine Arbeitsgruppe unter der Leitung von H. Chablais (Sektion Triangulation) mit den Mitgliedern: A. Wiget (Sektion Nivellement und geodätische Spezialarbeiten), T. Signer und D. Gutknecht (beide Sektion Triangulation) eingesetzt, welche nun die Vorarbeiten gezielt anpackte. Die Arbeitsgruppe wurde jeweils durch Beizug weiterer Mitarbeiter nach Bedarf erweitert.

Am 1. Februar 1990 führte die Abteilung Geodäsie in Belp eine Klausurtagung zum Thema: "Die Zukunft unserer geodätischen Landesvermessung" durch, an welcher auch verschiedene Experten der Hochschulen teilnahmen. Dabei wurden die Zielsetzungen des Projekts (s. Kap.4.1) verfeinert, der Zusammenhang mit anderen Projekten aufgezeigt und die noch zu lösenden Probleme diskutiert. Die volle Tragweite des Projekts für alle Vermessungsanwendungen in der Schweiz wurde erstmals offenkundig. Das Vorhaben, welches bis zu diesem Zeitpunkt unter dem Arbeitstitel *"Landesnetz GPS"* bestand, wurde an diesem Tag auf den Projektnamen **Landesvermessung 1995 (LV95)** getauft [Gubler et al., 1996]. Der neue Name sollte die Bedeutung dieser Arbeiten, welche weit über die Erstellung eines GPS-Landesnetzes hinausgehen, zum Ausdruck bringen und den Rahmen des Projektes erweitern. Teilprobleme wie die Bezugssysteme, die Kinematik der Erdkruste, der Anschluss an globale Netze, der Zusammenhang mit dem neuen cm-Geoid der Schweiz und mit dem neuen Höhensystem sowie die Verdichtung des GPS-Netzes und der Übergang zwischen dem neuen Bezugsrahmen LV95 und der bisherigen LV03 mussten vertieft und koordiniert werden.

Das Instrument der **Ressortforschung** (RF) ermöglicht den Amtsstellen der Bundesverwaltung, spezielle Forschungsaufgaben in Zusammenarbeit mit Hochschulinstituten durchzuführen. Dieses für beide Partner vorteilhafte Zusammenarbeitsmodell wurde im Rahmen des Projekts LV95 mit Erfolg angewendet.

Das erste RF-Projekt *"Transformation - Interpolation für LV95"* in Zusammenarbeit mit den Lehrbereichen von Prof. Carosio und Prof. Kahle (beide IGP-ETHZ) hatte die Problematik des Überganges von LV03 zu LV95-Koordinaten zum Thema. Als Resultat entstanden mehrere Softwareprodukte, welche einerseits die Untersuchung der Verzerrungen in LV03 und ihre graphische Darstellung und andererseits eine einfache numerische Transformation nach der Methode der finiten Elemente ermöglichen.

Das zweite RF-Projekt in Zusammenarbeit mit dem Lehrbereich von Prof. Kahle unter dem Kurztitel *"3D-Troposphärenmodelle"* befasste sich mit der Modellierung der troposphärischen Refraktionsinflüsse auf die GPS-Messungen, welche insbesondere zu einer systematischen Verfälschung der resultierenden ellipsoidischen Höhendifferenzen führen.

Das dritte RF-Projekt unter dem Titel "Strenges Höhensystem für LV95" in Zusammenarbeit mit dem Lehrbereich von Prof. Kahle und Herrn Dr. Bruno Wirth, Davos, hatte die Aufarbeitung der Grundlagen für die Festlegung eines neuen Höhensystems und die strenge, kinematische Neuausgleichung der Landesnivellementsdaten und entsprechende Software zum Ziel.

Im Verlaufe der Auswertearbeiten ab Winter 1992/93 zeigte sich deutlich, dass auch die Projektorganisation von LV95 gestrafft und der erweiterten Zielsetzung angepasst werden sollte. Auf Anregung von D. Schneider wurde eine Kerngruppe, bestehend aus den 5 Kadermitarbeitern der Abteilung: E. Gubler, D. Schneider, T. Signer, B. Vogel und A. Wiget als Projektleitungsorgan unter dem Vorsitz des Projektleiters, A. Wiget, gebildet. Die Projektorganisation umfasst zudem 5 Projektausschüsse, welche sich mit den wichtigen Teilaufgaben: 1. Referenzsysteme, 2. Verdichtung, 3. Höhensysteme, 4. GPS-Methode und 5. Koordination befassen (s. Abb. 2.6-1). Die konstituierende Sitzung der neuen Arbeitsgruppe LV95 fand am 28. Oktober 1993 statt, wobei auch die 5 Projektausschüsse eingesetzt und ein Zeitplan für die weiteren Arbeiten aufgestellt wurden. Als klare Zielsetzung wurde die Fertigstellung der Auswertungen bis Ende 1995 und die anschliessende Dokumentation und Herausgabe der Resultate an die Benutzer aufgestellt. Die neue Projektorganisation hat sich rasch bewährt und ist eine unabdingbare Voraussetzung für den koordinierten Abschluss der Arbeiten.

Am 20. Januar 1994 wurde eine weitere Klausurtagung der Abteilung Geodäsie in Belp zum Thema "Das erweiterte Konzept von LV95" durchgeführt und dabei auch der Zusammenhang mit den Arbeiten für das neue cm-Geoid und dem neuen Höhensystem behandelt. An dieser Tagung beteiligten sich auch die Partner des Ressortforschungsprojektes "Strenges Höhensystem für LV95", Dr. A. Geiger (IGP-ETHZ) und Dr. B. Wirth.

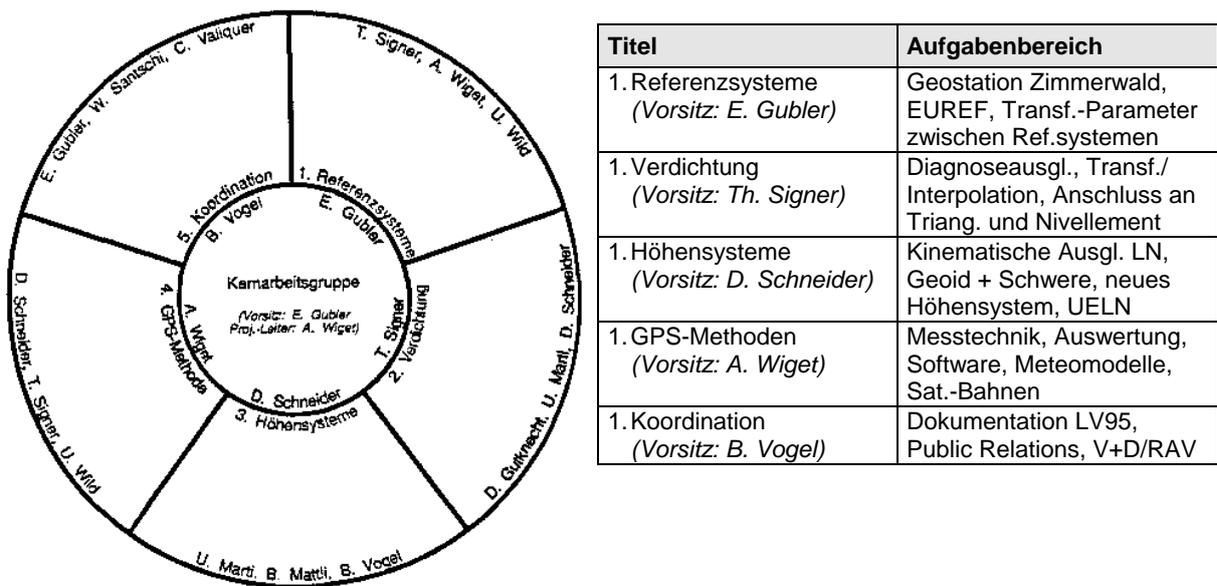


Abb. 2.6-1: Organisationsschema der Arbeitsgruppe GPS

3 Bestehende Landesvermessung LV03

3.1 Bezugssystem und Geodätisches Datum CH1903

Als Bezugsellipsoid des bis heute gültigen geodätischen Datums CH1903 wurde das Ellipsoid von Bessel (1841) mit der grossen Halbachse: $a = 6\,377\,397.155$ m und der Abplattung $f = 1/299.15$ angenommen. Die Lagerung des Ellipsoids erfolgte durch Festlegung der geodätischen Koordinaten im Fundamentalpunkt P_0 (alte Sternwarte Bern) mit $L_0 = 7^\circ 26' 22.50''$ und $B_0 = 46^\circ 57' 08.66''$, welche unter der impliziten Annahme $\xi_0 = \eta_0 = 0$ (keine Lotabweichungen in P_0) die gleichen Werte wie die messbaren astronomischen Koordinaten (Länge λ_0 und Breite φ_0) erhielten. Mit der Einführung der schiefachsigen, winkeltreuen Zylinderprojektion [Rosenmund, 1903] mit dem Berührungskreis durch P_0 wurde auch das schweizerische Landeskoordinatensystem als ebenes Bezugssystem für alle Vermessungen in der Schweiz festgelegt.

Als Ausgangspunkt für das Schweizerische Höhensystem wurde nach Vergleichen mit den Höhensystemen der Nachbarländer der neue Horizont des Repère Pierre du Niton (Felsblock im Hafen von Genf: RPN = 373.60 m) festgelegt [Hilfiker, 1902]. Eine explizite Definition der Geoidhöhe im Fundamentalpunkt war damals nicht erfolgt. Erst im Rahmen der Arbeiten für ein Geoidmodell der Schweiz [Elmiger, 1969; Gurtner, 1978] wurde der Schnittpunkt zweier Geoidprofile N_0 in Schwerzenbach als Nullpunkt des Geoidmodells $N_0 = 0$ festgelegt.

Eine eingehende Beschreibung des Bezugssystems der bisherigen Landesvermessung (LV03 und LN02) sowie die Festlegung der lokalen und globalen Bezugssysteme von LV95 wird im Teil 3 dieser Dokumentationsreihe [Schneider et al., 1995] erfolgen.

3.2 Landestriangulation LV03

Die Landestriangulation 1. bis 3. Ordnung wurde in den ersten 3 Jahrzehnten dieses Jahrhunderts durch die L+T erstellt. Beim Aufbau des Triangulationsnetzes 1. Ordnung wurde im Mittelland und Jura die Gradmessungs-Triangulation der SGK (1862-91) als Netzteil übernommen, während im Alpengebiet neue Winkelmessungen nach der Sektormethode ausgeführt wurden.

Landestriangulation LV03
<ul style="list-style-type: none">– Aufbau und Gliederung: Grösstenteils hierarchisch gegliedertes klassisches Triangulationsnetz 1., 2. und 3. Ordnung mit mittleren Seitenlängen der Dreiecke von 50, 20 bzw. 5 km. Netzteile (Westschweiz, BS/BL, SH etc.) mit Hilfe von EDM und strenger Ausgleichung erneuert.– Lage und Anzahl der TP: Die TP 1. und 2. Ordnung sind aus methodischen Gründen auf den höchsten Gipfeln und Bergkuppen plaziert und damit i.A. schwer zugänglich. Bei der Standortwahl der TP 3.Ordnung hatte die gegenseitige Sichtbarkeit Priorität, weshalb bezüglich Stabilität und Zugänglichkeit oft Kompromisse gesucht werden mussten. TP 1. Ordnung: Anzahl: 50; TP 2. Ordnung: Anzahl: 150; TP 3. Ordnung: Anzahl: 4800– Versicherung der TP: In Felsgebieten der Alpen und des Jura mehrheitlich durch Bronzebolzen direkt im anstehenden Fels mit Rückversicherungskreuzen. Im Lockergestein und im Kulturland des Mittellandes durch Granitsteine mit unterirdischen Bodenplatten.– Genauigkeit und Zuverlässigkeit: Typischerweise relativ gute Nachbargenauigkeit (mittlerer relativer Lagefehler: 3 - 5 cm) aber geringe Absolutgenauigkeit (max. Abweichungen 1 - 2 m)– Systematische Fehler und Netzverzerrungen: Netzmassstab: Mittlere Abweichung: -5 ppm; Maximalbeträge: -20 ppm (Kt. Tessin) [- = zu klein] Netzorientierung: Mittlere Abweichung: -2.7 cc– Dokumentation und Nachführung: Einheitliche Dokumentation (seit 1995: ganze Schweiz) durch TP-Versicherungskrokis und Triangulationspunktarten 1:25'000. Guter Unterhalt der TP und aktueller Nachführungsstand der Dokumentation (in Zusammenarbeit mit den KVA).

Tab. 3.2-1: Technische Daten der Landestriangulation 1. bis 3. Ordnung

Die Ausgleichung erfolgte nach der Methode der kleinsten Quadrate in 3 Teilen, wobei das Netz der SGK als fehlerfrei betrachtet wurde. Somit beruhen die Koordinaten der TP 1. Ordnung im Gebiet des Mittellandes noch auf Beobachtungen der SGK vom letzten Jahrhundert. Daraus ergibt sich auch, dass der Netzmassstab und die Orientierung des Netzes auf die Arbeiten der SGK (Basismessungen 1880/81) zurückgehen.

Die Koordinaten der TP 2. und 3. Ordnung wurden anschliessend nach den Methoden der Einzel-, Doppel- oder Dreipunkteinschaltungen berechnet. Die Berechnung erfolgte mit 6- bis 8-stelligen Logarithmen. Die Höhen der TP wurden entweder durch direkten Anschluss an das Landesnivellement oder trigonometrisch über die Höhennetze der Triangulation 4. Ordnung (AV) bestimmt.

3.3 Landesnivellement LN02

Die Erstmessungen des Schweizerischen Landesnivellements durch die L+T erfolgten praktisch gleichzeitig mit den Arbeiten für die Landestriangulation (1903–33). Das Netz besteht aus 18 Hauptschleifen und folgt über weite Strecken den Linien des "Nivellement de précision" der SGK (1864-91). Dieses Netz wurde durch zusätzliche Sekundärlinien verdichtet.

Die Bestimmung des Lattenmeters (Massstab) fand von Anfang an besondere Beachtung. Ab 1913 konnte die Genauigkeit dank der Verwendung von Nivellierlatten mit Invarbändern und Nivellierinstrumenten mit Planplattenmikrometern wesentlich gesteigert werden. Aus Zeitgründen konnte mit der Publikation der Höhen nicht zugewartet werden, bis die Messungen abgeschlossen waren. Deshalb sind provisorische Höhen publiziert worden, die durch Interpolation der neuen Messungen in die Knotenpunkte des "Nivellement de précision" entstanden waren. Nach dem Abschluss der Messungen wurden diese sog. "Gebrauchshöhen" für die LV und die AV beibehalten.

Landesnivellement LN02
<ul style="list-style-type: none"> – Aufbau und Gliederung: Grobmaschiges Hauptnetz bestehend aus 18 Schleifen. Verdichtung durch Unterteilung der Hauptschleifen mit Sekundärlinien (s. Abb.3.3-1) – Lage und Anzahl der Niv-FP: Entlang den alten Hauptstrassen über die wichtigen Alpenpässe und durch die grossen Bahntunnels. Anordnung der Niv-FP in Gruppen von 2-4 Punkten. Hauptlinien (1. Ordnung): 3000 km; Anzahl: 13'000 Niv-FP; Sekundärlinien: 840 km – Messungen: 1. Messung (Haupt- und Nebenlinien): 1903 - 1933 2. Messung: Hauptlinien: 1943 - 92; Nebenlinien: 1992 - 2001 (geplant) – Versicherung der Niv-FP: In Felsgebieten der Alpen und des Jura mehrheitlich durch Bronzebolzen direkt im anstehenden Fels oder in Bauwerken, welche auf Fels fundiert sind. Ansonsten in ausgewählten Bauwerken und Foundationen im Lockergestein. – Genauigkeit und Zuverlässigkeit: Hohe Nachbargenauigkeit. Mittlerer km-Fehler: 1.Messung: 1.4 mm/km; 2. Messung: 0.8 mm/km (aus Ausgleichung). Hohe Zuverlässigkeit bei den stabilen Altpunkten (mind. 2 Messungen). Mangelhafte Zuverlässigkeit bei den FP aus den lokalen Nachführungen und bei Linien mit fehlenden oder weitzurückliegenden Erneuerungsmessungen. – Höhensystem, systematische Fehler und Netzverzerrungen: Sog. "Gebrauchshöhen" ohne potentialtheoretische Reduktionen. Keine Berücksichtigung der Kinematik. Netzzwänge aufgrund der Interpolation in die Knoten des alten "Nivellements de précision" (1864-91). – Masstabsunsicherheit bei den Messungen vor 1913 (Holzlatten). – Dokumentation und Nachführung: Einheitliche Dokumentation (bis ca. 2001 ganze Schweiz) durch LN-Verzeichnisse und LN-Punktkarten 1:25'000. Guter Unterhalt der Niv-FP und aktueller Nachführungsstand der Dokumentation (in Zusammenarbeit mit den KVA).

Tab. 3.3-1: Technische Daten des Landesnivellements

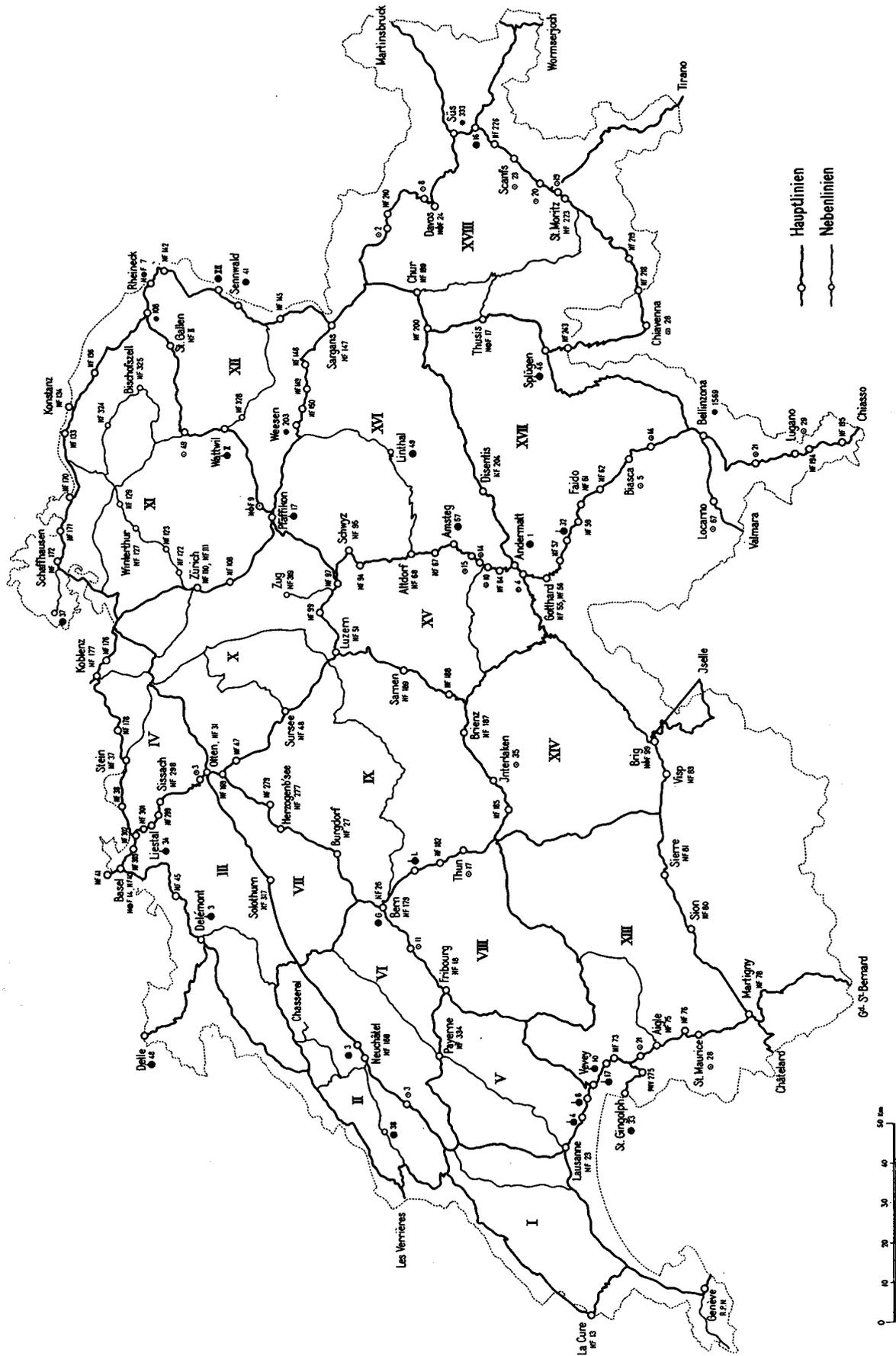


Abb. 3.3-1: Landesnivellementsnetz

3.4 Entwicklung der Landesvermessung LV03 / LN02 bis 1993

Der Einsatz der elektronischen Distanzmessung und der EDV bei der Nachführung der Triangulation 4. Ordnung ab ca. 1970 hatte zur Folge, dass an verschiedenen Orten grosse, bis anhin unentdeckt gebliebene Netzzwänge festgestellt worden sind, welche Beträge von einigen Dezimetern erreichten. Diese Diskrepanzen waren für eine moderne Vermessung nicht mehr akzeptabel. Die Ursache der Mängel lag primär im Netzaufbau. Die ungünstigen topographischen Verhältnisse (Bewaldung im Mittelland und Jura) verhinderten zuweilen die direkte Verbindung zwischen benachbarten TP. Die Schwächen wurden zudem noch durch die unzulänglichen Berechnungsmethoden (Einzelpunkteinschaltung) verstärkt.

Anfangs der siebziger Jahre begann die L+T in der Folge mit den dringendsten Erneuerungsarbeiten, zunächst mit der gesamten Triangulation 3. Ordnung der Kantone Basel-Land und Basel-Stadt. Besonders prekär war die Situation im Kanton Waadt, wo die gesamte Triangulation 1. bis 3. Ordnung ab 1976 erneuert werden musste [Chablais und Schneider, 1979]. Im kleineren Rahmen mussten später auch Teilnetze 3. Ordnung in den Kantonen Aargau, Schaffhausen, St.Gallen, Genf und Jura erneuert werden. Diese Erneuerungen wurden auf Wunsch der kantonalen Vermessungsbehörden speziell für die Bedürfnisse der Fixpunktverdichtung für die AV in die Wege geleitet. Zur Anwendung kam ein Konzept, bei welchem die alten Originalmessungen (Richtungen, Einzelwinkel) mit neuen EDM (z.T. auch aus dem RETrig-Datensatz) und wenigen ergänzenden Richtungsmessungen kombiniert wurden. Bei den letzten Arbeiten ab 1989 kam auch GPS als neue Messmethode zum Einsatz.

Das angewendete Verfahren der partiellen Erneuerungen der Landestriangulation ermöglichte eine klare Begrenzung der Folgearbeiten in den Verdichtungsnetzen der AV (Triangulation 4. Ordnung) und in der Parzellarvermessung. Es hatte aber den schwerwiegenden Nachteil, dass nur innerhalb des bearbeiteten Gebietes eine zwangsfreie Insel im Netz entstand, während am Rand eine Übergangszone zum bisherigen Netz entstand, in welcher relativ grosse Anschlusszwänge und Verzerrungen akzeptiert werden mussten. Eine flächendeckende Verbesserung des gesamten Bezugsrahmens der Landestriangulation entstand zuerst für das Netz 1. Ordnung mit der Neuausgleichung im Rahmen von RETrig und schliesslich für das Netz 1. und 2. Ordnung (Abb. 3.4-1) mit der Diagnoseausgleichung (DIA93) (s. Kap.2.4). RETrig und DIA93 wurden als Bezugsrahmen in der AV aber nie verwendet.

Nachdem 1933 die Messung des Landesnivellements (Haupt-, Sekundär- und Ergänzungslinien) abgeschlossen worden war, wurden die Resultate den Benützern durch die Publikation der Eidg. Nivellementsverzeichnisse (ENV) zugänglich gemacht. Die Erhaltung des Netzes wurde durch Feldnachführungen und die Nachführung, Revision und periodische Neupublikation der ENV-Dokumentation sichergestellt. Wie die Erfahrung bald zeigte, genügt die punktuelle Nachführung des Fixpunktnetzes nicht. Wegen lokalen und regionalen Höhenänderungen, deren Ursachen zunächst nicht bekannt waren, wurden periodische Neumessungen ganzer Nivellementslinien im zeitlichen Abstand von einigen Jahrzehnten notwendig. Deshalb wurde 1943 mit der systematischen Neumessung des gesamten Nivellementsnetzes begonnen. Diese zweite Messung des Hauptnetzes, welche nach den Bedürfnissen der Benutzer und mit sehr beschränkten finanziellen Mitteln über viele Jahrzehnte weitergeführt wurde, konnte 1991 abgeschlossen werden. Ab 1992 wurde die linienweise Erneuerung auf die Sekundär- und Ergänzungslinien des Netzes ausgedehnt. Bis ca. 2001 sollten auch die wichtigsten dieser Linien neu gemessen werden. Die langfristige Erstreckung der Erneuerungsarbeiten beim Landesnivellement hatte den nicht zu unterschätzenden Vorteil, dass das Wissen und die Erfahrungen bezüglich der Messtechnik im Landesnivellement bei der L+T über Generationen erhalten blieb und der technischen Entwicklung ständig angepasst werden konnte.

Die moderne Geodäsie und Landesvermessung umfasst neben der Bestimmung von 3D-Koordinaten von Punktfeldern auf der Erdoberfläche auch deren zeitliche Veränderung, d.h. die Erfassung der Kinematik dieser Punktfelder. Um mit geodätischen Methoden Bewegungen der Erdkruste signifikant nachweisen zu können, müssen neben der geeigneten Standortwahl und Versicherung der geodätischen Punkte wiederholte Messungen (mindestens 2) mit hoher Genauigkeit und genügendem zeitlichem Abstand vorliegen. Diese Voraussetzungen waren beim Landesnivellement mit zunehmender Vervollständigung der Zweitmessung gegeben, beträgt doch das Zeitintervall zwischen erster und zweiter Messung 50–70 Jahre. Es war deshalb möglich, die Vertikalbewegungen einer Auswahl geologisch geeigneter Punkte zu untersuchen. Dabei wurden im Mittelland und Jura nur sehr geringe Vertikalbewegungen festgestellt, während sich die Fixpunkte im Alpenraum gegenüber einem hypothetischen Referenzpunkt in Aarburg um bis zu 1.5mm pro Jahr heben [*Jeanrichard 1986*]. Für die Triangulation waren die Voraussetzungen für kinematische Untersuchungen der horizontalen Krustenbewegungen (Lageverschiebungen) bis heute nur sehr bedingt erfüllt, so dass z.Z., abgesehen von ersten Studien [*Reilly and Gubler, 1990; Elmiger et al., 1995*], noch keine abschliessenden Resultate vorliegen.

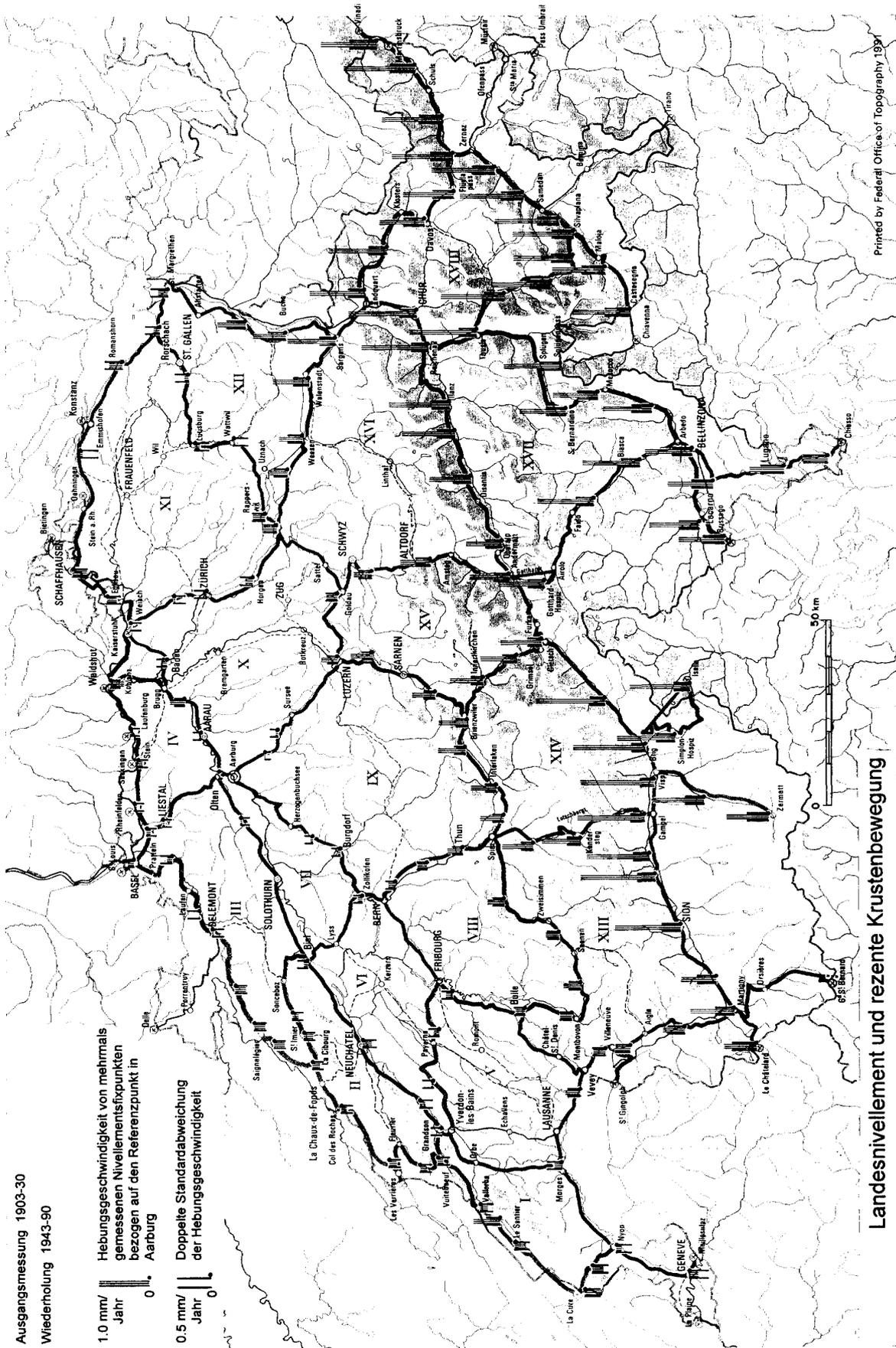


Abb. 3.4-2: Kinematische Ausgleichung des Landesnivellements

4 Konzept der neuen Landesvermessung LV95

4.1 Zielsetzungen und Anforderungen

Die modernen Methoden der Satellitengeodäsie erlauben den Geodäten, neue Zielsetzungen anzugehen, welche mit der klassischen geodätischen Technik bisher kaum erreicht werden konnten. Ein Bezug der nationalen Grundlagennetze zu den globalen Referenzrahmen lässt sich mit hoher Genauigkeit (im cm-Bereich) herstellen. Aus den wiederholten geodätischen Messungen hoher Präzision können zudem wertvolle Informationen für die Erdwissenschaften über die Bewegungen der Erdkruste gewonnen werden. Die relative Positionierung mit GPS ermöglicht eine rasche und rationelle Realisierung solcher Aufgaben.

Die Anforderungen an eine zeitgemässe Landesvermessung lassen sich aus den Bedürfnissen des grossen Benützerkreises ableiten. Sie können wie folgt umschrieben werden:

- **3D-Grundlagennetz:** Erfassung der Position und der Kinematik der obersten Erdkruste in Raum und Zeit durch die wiederholte Vermessung geeigneter, geodätischer Punktfelder (GPS-Landesnetz). D. h. Bestimmung (Schätzung) der 3D-Koordinaten (inkl. Kovarianz) und Geschwindigkeiten des GPS-Landesnetzes mit hoher Genauigkeit (1σ -Lagegenauigkeit landesweit ≤ 1 cm) und Zuverlässigkeit.
- **Bezug zu globalen Referenzsystemen:** Herstellung des Bezuges der lokalen (nationalen) zu den globalen (internationalen) geodätischen Referenzsystemen (ITRS, ETRS etc.) durch Anschlussmessungen von Punkten des Landesnetzes an die globalen Bezugsrahmen (ITRF, ETRF, etc.).
- **Anschluss an andere Netze:** Verknüpfung des GPS-Landesnetzes mit den Netzen der bestehenden Landesvermessung (LV03: Triangulation und LN02: Nivellement). Erstellung optimaler Anschlussmöglichkeiten des Landesnetzes für den Anschluss der Verdichtungsnetze der AV und der Grundlagennetze grosser Ingenieurprojekte.
- **Bezug zum lokalen Schwerefeld und Berechnung eines Zentimeter-Geoidmodelles:** Bestimmung von astrogeodätischen (Lotabweichungen) und gravimetrischen Daten (Schweremessungen) bezüglich dem Schwerefeld auf ausgewählten Punkten der LV (Fundamentalstation, GPS-Landesnetz, ausgewählte Punkte des Landesnivellements etc.). Berechnung eines genauen Geoidmodelles (Zentimetergeoid), um den Bezug zwischen rein geometrischen Messmethoden und vom Schwerefeld beeinflussten Messungen herstellen zu können.
- **Landeshöhennetz:** Potentialtheoretisch strenges Höhennetz (orthometrisches und/oder Normalhöhen-system) in Raum und Zeit, realisiert durch die wiederholte Messung (Nivellement und Schwere), strenge Reduktion und gemeinsame kinematische Ausgleichung der verschiedenen Messepochen des Landesnivellements unter Einbezug von ellipsoidischen Höhendifferenzen aus dem GPS-Landesnetz (Anschlüsse ans LHN95) und von Geoidundulationen aus oben genanntem Geoidmodell.

4.2 Anschluss an globale Referenzsysteme

Die nationalen Landesvermessungen der Vergangenheit basieren allesamt auf lokalen geodätischen Referenzsystemen und lassen sich daher als "Insellösungen" charakterisieren. Bei den Triangulationsnetzen ist die Lagerung i.A. durch Festhalten astronomisch bestimmter Werte in einem oder mehreren Punkten realisiert worden, während das Höhendatum durch Anschlussmessungen an einen oder mehrere Meerespiegel festgelegt worden ist.

Erst durch die in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts durchgeführten kontinentalen Netzausgleichungen (RETrig und UELN) wurden erste Möglichkeiten für einen Anschluss an kontinentale oder globale Referenzsysteme (z.B. ED50) geschaffen. In der Schweiz haben diese Bezugssysteme und die zugehörigen Bezugsrahmen allerdings in der Vergangenheit kaum Anwendung gefunden.

Eine moderne Landesvermessung sollte in ein globales geodätisches Referenzsystem eingebunden werden. Die *IAG-Subcommission for the European Reference Frame (EUREF)* hat 1990 in Florenz und 1992 in Bern Beschlüsse zur Festlegung des *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)* gefasst und dieses System als einheitliche Grundlage für alle Landesvermessungen in Europa empfohlen. Mit diesem Bezugssystem und seiner Realisierung (Bezugsrahmen *ETRF89*)

durch ein europaweites GPS-Netz (EUREF) liegt seit kurzem eine einheitliche Basis für den Anschluss der schweizerischen Landesvermessung vor.

Zur Begründung der Forderungen nach einem einheitlichen, globalen Bezugsrahmen können folgende Punkte erwähnt werden:

- Der Bestand an raumbezogenen Daten, welche in Geographischen Informationssystemen (GIS) gehalten und vielseitig genutzt werden, nimmt ständig zu. Im Zuge der europäischen Integration sind diese Datenbestände oft länderübergreifend angelegt und werden häufig über die Landesgrenzen hinaus ausgetauscht.
- Die Anwendung der modernen Methoden der Fahrzeugnavigation (auf dem Land, auf dem Wasser und in der Luft) erfordert den Bezug zu den weltweit gültigen Bezugssystemen (z.B. WGS84).
- Global gelagerte Bezugssysteme erleichtern grenzüberschreitende Ingenieurprojekte (z.B. EURO-TUNNEL).
- Die Festlegung internationaler Hoheitsgrenzen sollte in Bezug auf globale Bezugssysteme /-rahmen erfolgen (z.B. Datenbank der Landesgrenzpunkte der Schweiz).

Der Anschluss an globale Bezugssysteme kann grundsätzlich auf zwei Arten erfolgen:

- Etablierung einer geodätischen **Fundamentalstation** (IERS 'fiducial') ausgerüstet mit den relevanten Messmitteln der modernen Erdmessung ('space geodesy') wie SLR (Satellite Laser Ranging) und evtl. LLR (Lunar Laser Ranging), GPS-Permanentstation und evtl. VLBI (Very Long Baseline Interferometry) sowie absolute und relative Schweremessung (Erdzeitenstation und evtl. Superconductive Gravimeter) und andere Messungen zeitvariabler geophysikalischer Parameter (z.B. Polar Motion, Earth Rotation, Erdmagnetfeld etc.). Betrieb der Fundamentalstation mit der Zielsetzung einer bestmöglichen Ausbeute an qualitativ hochwertigen geodätischen und geophysikalischen Messdaten. Integration der Fundamentalstation in die Grundlagennetze der Landesvermessung (GPS-Landesnetz, Landesnivellement und Schweregrundnetz) und räumliche Lagerung dieser Netze durch inhärente Messungen.
- Integration der Landesnetze (GPS, Nivellement und Schwere) in die **kontinentalen Referenznetze** (EUREF, UELN, UEGN etc.) durch wiederholte Anschlussmessungen auf gemeinsamen geodätischen Punkten (EUREF-Stationen, UELN-Knoten etc.).

Für die neue Schweizerische Landesvermessung LV95 wird die Kombination beider Möglichkeiten vorgesehen und damit eine redundante Lösung angestrebt. Die bestehende **Satellitenstation Zimmerwald** wird zu einer geodätischen Fundamentalstation (Geostation) ausgebaut und entsprechend betrieben (s. Teil 2. dieser Berichtsserie [Wild und Gurtner, 1995]). Dazu ist ein verstärktes Engagement der Abteilung Geodäsie (L+T), welche den Grossteil des routinemässigen Beobachtungsbetriebes (SLR und GPS) übernimmt, und eine enge Kooperation mit dem AIUB notwendig.

Um auf den fünf **EUREF-Stationen der Schweiz** (Chrischona, La Dôle/La Givrine, Monte Generoso, Pfänder (A) und Zimmerwald) gute Verknüpfungen zwischen den Referenzpunkten der RETrig- resp. der DIA93-Ausgleichung einerseits und den neu erstellten GPS-Punkten andererseits zu haben, wurden diese Beziehungen mit grosser Sorgfalt berechnet. Dazu wurden mit klassischen Methoden bestimmte lokale Exzentrumsysteme sowie GPS-Messungen verwendet [Danuser und Wiget, 1993].

4.3 Bezugssysteme und Bezugsrahmen

Die in 3.1 beschriebenen geodätischen Grundlagen (geodätisches Datum CH1903 und die schiefachsige Zylinderprojektion) sind seit rund einem Jahrhundert im Gebrauch und haben sich bei allen Anwendungen bewährt. Für die praktischen Vermessungen in der Schweiz gibt es kaum Bedürfnisse, auf ein anderes System umzustellen.

Für die Landesvermessung ist mit dem Einzug der Satellitengeodäsie (insbesondere GPS) eine neue Ära angebrochen. Die Messmethoden von kontinentaler Reichweite ermöglichen die Verwendung von globalen Bezugssystemen und den Aufbau von weltweiten Netzen und Bezugsrahmen. Die wiederholten Präzisionsmessungen der modernen Geodäsie erlauben zudem die Untersuchung von tektonischen Bewegungen der obersten Erdkruste. Die Modellierung dieser Kinematik wird umgekehrt zur wichtigen Voraussetzung für die optimale Ausschöpfung der Genauigkeit dieser Messmethoden.

Mit der Definition des *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)* hat die EUREF-Kommission in Europa einen Standard geschaffen, der einen einheitlichen Bezug aller modernen Landes-

vermessungen auf dem Kontinent erlaubt. Durch diese Vereinheitlichung wird der Wunsch nach cm-genauen Übergängen zwischen den Bezugssystemen von Nachbarländern zur Wirklichkeit.

Bei der Konzeption von LV95 stellte sich die Grundsatzfrage, ob am bisherigen lokalen Bezugssystem festgehalten werden soll, oder ob ein neues globales Bezugssystem eingeführt werden sollte. Die Vor- und Nachteile dieser beiden Möglichkeiten für die schweizerische Landesvermessung sind in Tabelle 4.3-1 zusammengestellt.

Vorteile eines lokalen Bezugssystems	Vorteile eines globalen Bezugssystems
<ul style="list-style-type: none"> – Lagerung und Grösse des Bezugsellipsoides frei wählbar – Minimale Änderungen beim Bezug zum bisherigen geodätischen Datum CH1903 der bestehenden Landesvermessung LV03 / LN02 und damit zu allen bisherigen Vermessungen, Plan- und Kartenwerken sowie raumbezogenen Daten (GIS) in der Schweiz 	<ul style="list-style-type: none"> – Keine Abweichungen bezüglich Massstab und Orientierung zum europäischen Standard (ETRS89) – Direkter, exakter Bezug zu den neuen raumbezogenen Daten in Europa und der ganzen Welt – Ergänzung des Systems durch ein strenges Höhensystem mit Bezug zu den Systemen der Nachbarländer – Ergänzung des Systems durch kinematische Modelle

Tab. 4.3-1: Vor- und Nachteile eines lokalen oder globalen Bezugssystems für LV95

Die divergierenden Anforderungen, welche die wissenschaftliche Geodäsie und Landesvermessung einerseits und die AV andererseits stellen, hat schliesslich zu folgenden Ideen einer dualen Systemwahl geführt (Grundsätze):

1. Für die Bedürfnisse der Geodäsie und Landesvermessung sowie für die anspruchsvollen Anwendungen der Ingenieurvermessung (Grossprojekte wie BAHN2000 und AlpTransit) soll ein neues, **global gelagertes terrestrisches Bezugssystem (CHTRS95; Realisierung CHTRF95)** eingeführt werden, welches an *ETRS89* angelehnt wird und ein kinematisches Modell beinhaltet. Das globale Bezugssystem ist grundsätzlich dreidimensional und mit dem System *WGS84* im Rahmen dessen Genauigkeit identisch. Zu diesem Bezugssystem soll auch ein global anwendbares Projektionssystem festgelegt werden.
2. Für die Belange der AV wird das bisherige **lokal gelagerte terrestrische Bezugssystem** und das zugehörige Landeskoordinatensystem faktisch beibehalten. Es wird lediglich eine neue exakte Festlegung des Fundamentalpunktes angestrebt, unter Verwendung der Resultate modernster geodätischer Messmethoden. Die geodätische Datumsänderung wird aber so gewählt, dass sie für alle Anwendungen in der AV nicht bemerkbar ist. Als Realisierungen dieses Systems (**CH1903+**) werden der neu berechnete Koordinatenrahmen *LV95* (GPS-Landesnetz) und der neue Höhenrahmen *LHN95* (neues Landeshöhennetz) betrachtet. Die Koordinaten der geodätischen Punkte im Bezugsrahmen *LV95* und die Höhen im *LHN95* werden für einen bestimmten Referenzzeitpunkt t_0 berechnet und, wie bisher in der AV üblich, als statisch betrachtet. Die Bezeichnungen und Werte für die Koordinatenwerte im Bezugsrahmen *LV95* (N, E) sollen sich von den alten Bezeichnungen *LV03* (y, x) deutlich unterscheiden. Zur Vermeidung von Verwechslungen mit *LV03*-Koordinaten werden zu den y- und x-Werten Konstanten ('false northing / easting') addiert.
3. Der Übergang vom lokal gelagerten ins global gelagerte System (und damit in *ETRS89* und genähert ins System *WGS84*) muss mit einer klar definierten, einfachen mathematischen Transformation und mit cm-Genauigkeit möglich sein.

Für eine ausführliche Darstellung des Themas Bezugssysteme und Bezugsrahmen für LV95 verweisen wir auf den Teil 3 aus dieser Serie [Schneider et al., 1995].

4.4 Kinematische Modelle

Der grossräumige Bewegungszustand in Zentraleuropa wird durch permanente oder regelmässige geodätische Messungen (GPS, SLR und VLBI) in verschiedenen Netzen (IGS, CDDIS) seit einigen Jahren punktuell erfasst. In der Schweiz betrifft dies die Stationen Zimmerwald (IGS) und Generoso

(EUREF). Aus lediglich diesen zwei Stationen kann aber keine detaillierte Information über die Bewegungen der Erdkruste in der Schweiz abgeleitet werden.

Bei der Anlage der Referenznetze der neuen Landesvermessung LV95 (GPS-Landesnetz LV95 und Landeshöhennetz LHN95) wird auf eine sorgfältige Auswahl und Materialisierung der geodätischen Kontrollpunkte geachtet. Wo immer möglich wird eine direkte Verankerung im anstehenden Fels oder eine stabile Fundation im Lockergestein vorgesehen. Durch wiederholte Messungen in geeigneten Zeitintervallen wird es mittelfristig möglich, Relativbewegungen und Deformationen in diesen Netzen zu analysieren und daraus Schlüsse über signifikante Bewegungen der obersten Erdkruste in der Schweiz abzuleiten. Die geowissenschaftliche Interpretation dieser Resultate wird zu einer echt interdisziplinären Aufgabe, bei welcher wertvolle Erkenntnisse sowohl für die Geologie und Geophysik wie auch für die Geodäsie und Landesvermessung zu erwarten sind.

In der Schweiz sind relative Vertikalbewegungen aufgrund von wiederholten Messungen des Landesnivellements (seit 1903 bis heute) schon weitgehend bekannt [Gubler et al., 1981; Jeanrichard, 1986]. Das GPS-Netz LV95 wurde zwischen 1988 und 1993 mit hoher Genauigkeit gemessen und soll im Intervall von 5-10 Jahren nachgemessen werden. Erste GPS-Wiederholungsmessungen existieren seit 1995 im Raum Nordschweiz (Kontrollnetz NEOTEKTONIK 88/95 der NAGRA).

Das Projekt LV95 umfasst neben dem Aufbau neuer Bezugsnetze (GPS-Landesnetz und LHN95) und der Bestimmung von Koordinaten und Höhen der geodätischen Kontrollpunkte auch die Untersuchung der Bewegungen des Punktfeldes und damit die Bildung eines kinematischen 3D-Modelles (CHKM95). Zur Lösung dieser Aufgabe sind geeignete Methoden und Softwareprodukte zu entwickeln und zu erproben. Mit dieser Entwicklung sollte parallel eine geowissenschaftliche Interpretation der kinematischen Phänomene einhergehen, deren Erkenntnisse wiederum Einfluss auf die Modellbildung nehmen könnten.

Zur sogenannten 'kinematischen Geodäsie' gehören u.a. die Aufgaben der Analyse der Deformation der obersten Erdkruste aufgrund von wiederholten oder permanenten Messungen von geodätischen Kontrollnetzen. Dabei können die zwei folgenden Zielsetzungen unterschieden werden:

1. Aufbau möglichst präziser kinematischer Modelle für die Berechnung (Ausgleichung) von geodätischen Kontrollnetzen (kinematische Bezugsrahmen) aufgrund von wiederholten oder permanenten Messungen als wichtiges Element der Landesvermessung.
2. Untersuchung der Deformationen in Raum und Zeit und deren Modellierung zum Zweck der tektonischen Interpretation im Kontext mit vorhandenen seismotektonischen und geologischen Informationen im Rahmen der geowissenschaftlichen Grundlagenforschung.

Vom Standpunkt der Geodäsie aus kann Punkt 1 dabei als primäre geodätische Aufgabe und Punkt 2 als 'geowissenschaftliches Nebenprodukt' betrachtet werden. Wesentlich ist aber die erwähnte interdisziplinäre Verknüpfung der Problemstellungen.

Die Methoden der 'kinematischen Geodäsie' haben sich aus der Technik der geodätischen Deformationsmessungen in den letzten Jahrzehnten entwickelt. Geodätische Deformationsmessungen werden seit bald einem Jahrhundert zur Untersuchung von Objektdeformationen aller Art angewendet. Bei der L+T wurde diese Technik in den 20er Jahren für die Untersuchung der Deformationen von Staumauern [Lang, 1929] und von Rutschungen, Felsbewegungen und Senkungen sowie für Bauwerksüberwachungen eingeführt und seither kontinuierlich angewendet und weiterentwickelt. Bei diesen klassischen Deformationsaufgaben der Ingenieurvermessung gelingt es meist, neben den zu untersuchenden Objektpunkten eine Auswahl von festen Referenzpunkten auszuwählen und deren Stabilität zu überprüfen. Als Resultat der Deformationsanalyse entstehen dabei mehr oder weniger signifikante Verschiebungs- oder Geschwindigkeitsfelder bezogen auf den gewählten Rahmen der festen oder hypothetischen Referenzpunkte.

Bei der Untersuchung von Bewegungen der obersten Erdkruste kann in der Regel nicht mehr von einem Feld von festen Referenzpunkten ausgegangen werden. Es kommen daher vor allem spezielle Analysemethoden zum Zuge, welche der Problemstellung, d.h. dem erwarteten Typus der Deformationen angepasst sind. In Gebieten wo räumlich kontinuierliche elastisch-plastische Verformungen zu erwarten sind, werden mit Vorteil 2D- oder 3D-Strainmodelle angesetzt. Wo in speziellen Fällen räumliche Diskontinuitäten (aktive Verwerfungen, Brüche und Gräben etc.) auftreten, müssen die entsprechenden Blockbewegungen modelliert werden. Ein spezielles Problem betrifft die Behandlung von lokalen Eigenbewegungen von Einzelpunkten oder Punktgruppen. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Untersuchungen der Vertikalbewegungen im Alpenraum [Gubler et al., 1981] kann angenommen werden, dass die Kinematik zumindest in erster Näherung mit Hilfe einer linearen Zeitfunktion modelliert

werden kann. Damit könnte die gesamte Kinematik durch ein zeitlich konstantes Geschwindigkeitsfeld beschrieben werden. Das Phänomen von episodischen Deformationen (z.B. infolge von koseismischen Bewegungen) oder zeitlich variablen Bewegungen (beschleunigt oder verzögert) sollte ebenfalls modellierbar sein. Für letztere müssen allerdings sehr lange, wohl über Jahrzehnte angelegte Messreihen vorliegen. Es gilt dabei auch die neuen Möglichkeiten, welche durch die quasi-kontinuierlich anfallenden Beobachtungen aus permanent betriebenen GPS-Netzen entstehen, methodisch umzusetzen.

Ein besonderes Problem in den sehr schwach deformierten Gebieten betrifft die Trennung der unvermeidlichen zufälligen und systematischen Fehler von den tektonisch induzierten kinematischen Signalen. Dabei wird es notwendig sein, realistische stochastische Modelle der geodätischen Messungen einzuführen und aus der Redundanz der Messdaten zu überprüfen. Dies ist besonders bei den GPS-Netzen aber auch bei den Nivellementsnetzen eine schwierige, bis heute kaum befriedigend gelöste Aufgabe. Durch verallgemeinerte Fehlerfortpflanzung wird es schliesslich möglich sein, gesicherte stochastische Aussagen über die Signifikanz der geschätzten kinematischen Parameter abzuleiten. Diese können z.B. in der Form von Konfidenzgebieten zu den Deformationsgrössen berechnet werden.

Eine geeignete graphische Repräsentation der Resultate (Deformationsparameter und deren Konfidenzintervall) auf geeignetem Kartenhintergrund wird schliesslich die geowissenschaftliche Interpretation wesentlich erleichtern. Diese Interpretation mit Einbezug von seismotektonischen und geologischen Informationen und daraus abgeleitete Rückschlüsse auf die Modellierung sind ein wichtiger Teil der interdisziplinären Problemlösung.

4.5 Höhensysteme und Landeshöhennetz LHN95

Neben der Landestriangulation als Grundlage für die Lage soll auch das Landesnivellement im erweiterten Rahmen des Projekts LV95 vollständig neu bearbeitet werden. Das bisherige Gebrauchshöhensystem (LN02) mit seinen Ursprüngen im 19. Jahrhundert wird noch in diesem Jahrhundert durch ein potentialtheoretisch strenges Landeshöhennetz (LHN95) ersetzt. Das neue Netz entsteht durch die kinematische Neuausgleichung der 1. und 2. Messungen der Linien des Landesnivellements verstärkt durch Höhendifferenzen aus dem GPS-Landesnetz LV95. In Analogie zum Lagebezugssystem soll auch hier der neue Fundamentalpunkt in Zimmerwald anstelle des Repère Pierre du Niton als realer Höhenbezugspunkt eingeführt werden, wobei diese Systemänderung so festgelegt wird, dass sie für den Benutzer in der AV nicht bemerkbar sein wird (s. Teil 3 dieser Berichtsserie [Schneider et al., 1995]).

4.6 Bezug zur bestehenden Landesvermessung LV03

Damit der neue Bezugsrahmen LV95 bei allen Vermessungen in der Schweiz (im besonderen in der AV) verwendet werden kann, muss eine einfache Möglichkeit zur Umwandlung der Koordinaten in den Rahmen LV03 und umgekehrt angeboten werden. Die L+T hat in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ (IGP) Transformationsmethoden für den Übergang zwischen den Bezugsrahmen LV03 und LV95 entwickelt und entsprechende Software bereitgestellt.

Die Einführung der neuen Höhen (LHN95) in der AV muss aus praktischen Gründen simultan mit dem Übergang der Lagekoordinaten erfolgen. Das technische und organisatorische Vorgehen in der AV wurde 1993–1996 durch die Arbeitsgruppe "Amtliche Vermessung / Landesvermessung 95" der V+D erarbeitet und in einem ausführlichen Bericht [Ammann et al., 1996] dokumentiert. Nachdem sich die Bundesstellen im Frühjahr 1996 grundsätzlich für eine Umstellung der AV auf den neuen Bezugsrahmen entschieden haben, wird es nun Aufgabe einer Projektleitung bei der V+D sein, diese Absicht in die Tat umzusetzen.

Die für die Anwendung in der AV notwendige Verdichtung des GPS-Landesnetzes LV95 und die Transformation der Koordinaten zwischen den Bezugsrahmen wird im Teil 9 dieser Berichtsserie [Signer et al., 1997] behandelt werden.

5 Entwurf und Realisierungskonzept des GPS-Landesnetzes

5.1 Grundsätzliches zum Netzentwurf

Beim Netzentwurf für das GPS-Landesnetz ist neben dem optimalen Anschluss an die Fundamentalstation Zimmerwald und die 4 weiteren EUREF-Stationen Chrischona, Pfänder, Monte Generoso und La Givrine auf eine gleichmässige Verteilung und Dichte der Netzpunkte zu achten. Daneben sind verschiedene Standortkriterien gemäss der Tab. 5.1-1 zu berücksichtigen.

Netzdichte	mittlerer Punktabstand: 15 - 25 km (Mittelland, Jura) 20 - 30 km (Alpen)
Sicherheit und Dauerhaftigkeit der Materialisierung	nach Möglichkeit in öffentlichem Grund, ausserhalb von Bauzonen; geforderte Lebensdauer mindestens 50 Jahre
Untergrund (Geologie und Stabilität)	wo möglich im anstehenden, festen Fels oder gut fundiert im Lockergestein
Zugänglichkeit	mit Fahrzeug oder Bergbahn während des ganzen Jahres
Satellitenempfang	freier Horizont ab 15 - 20 gon Höhenwinkel, keine Störsignale (Sender) und reflektierende Flächen in der näheren Umgebung

Tab. 5.1-1: Kriterien für die Punktstandorte

Ausgehend von den vorhandenen Punkten des EUREF-Netzes und mit der geforderten Netzdichte ergab ein erster Idealnetzentwurf aufgrund der topographischen Karte eine Anlage mit ca. 100 Punkten. Für den endgültigen Netzentwurf (s. Teil 5 dieser Berichtsserie [Vogel et al., 1997]) wurden Detailstudien und Rekognoszierungen sowie geologische Beurteilungen vorgesehen.

Wichtigste Voraussetzung für die Erreichung der geowissenschaftlichen Zielsetzung von LV95 ist die geeignete Auswahl der Punktstandorte in Bezug auf deren Untergrund. Wo immer möglich sind Standorte mit direkten Materialisierungsmöglichkeiten im anstehenden, festen Fels zu suchen. In zweiter Linie kommen auf Fels fundierte, stabile Bauwerke oder Fundamente in Frage. Im geeigneten Lockergestein (z.B. auf alluvialen Flussschottern oder auf der Kulmination von Moränen) kann eine Materialisierung auf grossen unterirdischen Betonblöcken (Volumen mindestens 1 m³ und Mindesttiefe 1 m) oder auf stabil fundierten Bauten erfolgen.

Bei der Beurteilung der Punktstandorte soll ein erfahrener Geologe beigezogen werden. Dabei kann die Beurteilung anhand der topographischen und geologischen Karte oder aufgrund einer Feldbegehung erfolgen. Eine entsprechende Unterstützung wurde der L+T durch die Landeshydrologie und -geologie (Dr. Peter Heitzmann) geboten.

5.2 Realisierungskonzept

Der eigentliche Projektstart erfolgte im Frühjahr 1988. Auch bei einer optimalen Zusammenarbeit der L+T mit den Partnern (LVA Niedersachsen und BEV Wien) zwangen die verfügbaren Kapazitäten (Operateure, Empfänger etc.) zu einer Etappierung der Arbeiten. Aufgrund der Erfahrungen mit dem Projekt *NEOTEKTONIK Nordschweiz 88* wurde eine Bearbeitung in Etappen (Teilnetze mit 20 - 30 Stationen pro Jahr) vorgesehen. Deshalb wurde das Landesnetz mit insgesamt ca. 100 Punkten in 4 jährlich zu bearbeitende Teilnetze mit je ca. 30 Punkten aufgeteilt (s. Tab 5.2-1 und Abb. 5.2-1). Da in der Nordschweiz bereits einige Stationspunkte im Rahmen des Projektes Nordschweiz 88 ausgewählt, materialisiert und gemessen worden waren, konnten diese Punkte in die erste Etappe übernommen werden.

Grundsätzlich wurde jeder Neupunkt möglichst an den nächstliegenden TP 1. oder 2. Ordnung und an einen Fixpunkt des Landesnivelllements angeschlossen. Diese Anschlussmessungen wurden in den beiden nördlichen Netzteilen gleichzeitig mit den Messungen im Hauptnetz vorgesehen. In den beiden südlichen Teilnetzen im Alpengebiet mit den Anschlusspunkten der Triangulation auf hohen Gipfelpunkten war eine gleichzeitige Messung aus logistischen Gründen (Helikoptereinsatz) nicht möglich. Deshalb wurde je eine eigene kleine Anschlusskampagne im Spätsommer vorgesehen.

Teilnetz	Gebiet	Vorbereitung	Messung	Auswertung
EUREF-CH	ganze Schweiz		1989 / 93	1995
LV95-89	NE-Schweiz (Mittelland)	1988	10. 1989	1990
LV95-90	W-Schweiz (Jura-Mittelland)	1989	10. 1990	1991
LV95-91	SW-Schweiz (Alpen)	1990	9. 1991	1992
LV95-92	SE-Schweiz (Alpen)	1991	9. 1992	1993

Tab. 5.2-1: Etappierung der Arbeiten am Landesnetz GPS (LV95)

GPS-LANDESNETZ LV95 RÉSEAU NATIONAL GPS LV95

1989 - 1992

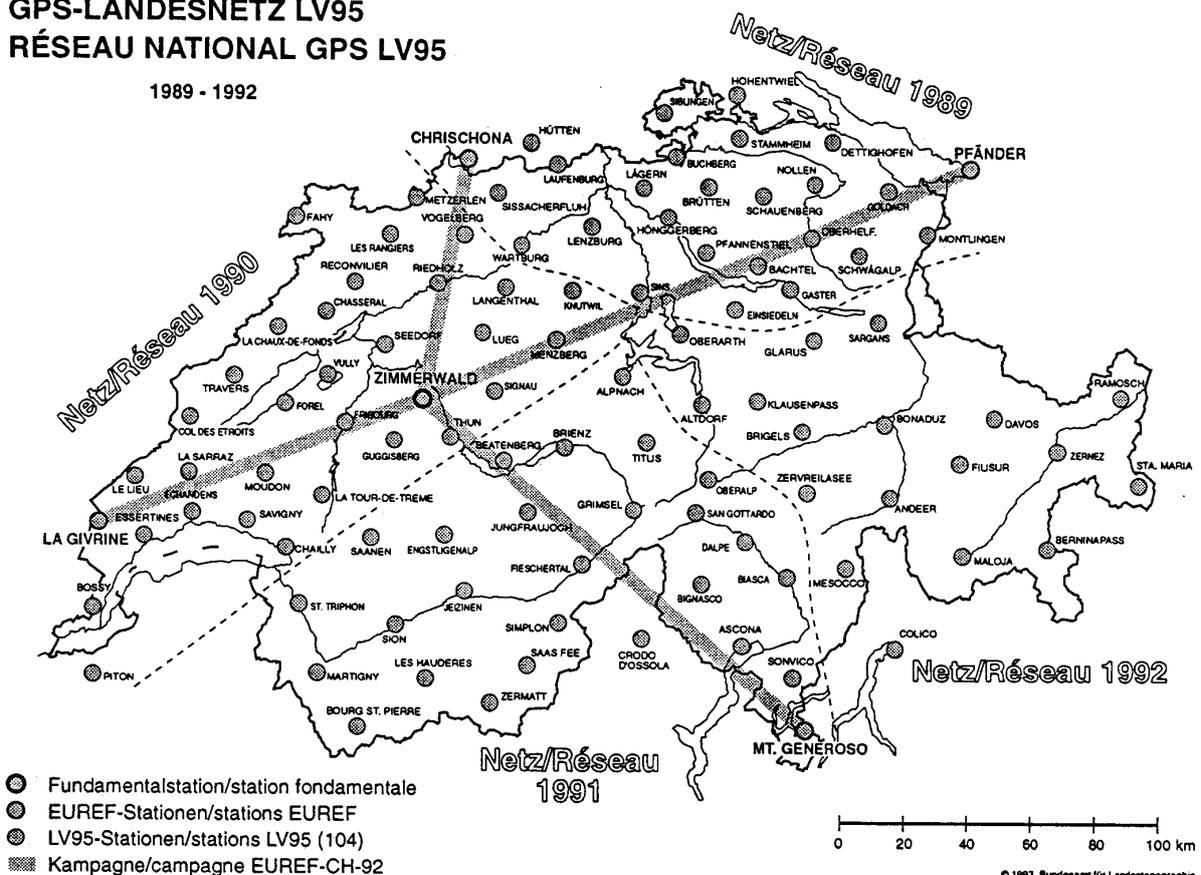


Abb. 5.2-1: Aufteilung des GPS-Landesnetzes in Teilnetze

Im Alpengebiet sowie im Jura sollen die Punkte wo immer möglich direkt in anstehendem Fels durch Kappenbolzen materialisiert werden. Hauptsächlich im Mittelland oder in Regionen, wo kein geeigneter Fels an der Oberfläche gefunden werden kann, werden die Kappenbolzen in einem massiven unterirdischen Betonsockel einbetoniert. Falls man beim Versetzen dieser Sockel dennoch auf Fels stösst, werden diese entsprechend verankert. Als Alternative können die Punkte auch auf massiven und gut fundierten Bauwerken wie z.B. Wasserreservoirs installiert werden. Die Punkte mit Betonsockel sollen wo immer möglich zusätzlich mit einem Schacht geschützt werden. Als exzentrische Rückversicherung sind alle Hauptpunkte mit sekundären Zeichen zu versehen. Diese bestehen aus unterirdischen Bodenplatten oder speziellen Exzenterbolzen und dienen einer allfälligen Rekonstruktion der Hauptpunkte und sind entsprechend genau einzumessen. Die folgende Tabelle 5.2-2 gibt einen Überblick über die vorgesehene Kennzeichnung der Punkte.

Zentrisches Zeichen	Verankerung	Exzentrische Zeichen	Exzentrische Markierung
Kappenbolzen	direkt im Fels	Mauerzielbolzen oder Lochbolzen $\varnothing = 5 \text{ mm}$	direkt im Fels
Kappenbolzen	In Sockel oder auf massiven Bauten auf Fels verankert	Mauerzielbolzen oder Lochbolzen $\varnothing = 5 \text{ mm}$	wenn möglich im Fels
Kappenbolzen	In Sockel oder auf massiven Bauten im Lockergestein	Mauerzielbolzen oder Lochbolzen $\varnothing = 5 \text{ mm}$ oder unterirdische Bodenplatten	Bolzen wenn möglich auf Bauten oder Bodenplatten unterirdisch (Tiefe: mind. 1 m)

Tab. 5.2-2: Art der Kennzeichen

Detaillierte Angaben über die verwendeten Kennzeichentypen und die Materialisierung finden sich im Teil 5 [Vogel et al., 1997] dieser Serie.

Auf Grund der Erfahrungen bei den Messungen für das Projekt NEOTEKTONIK Nordschweiz 1988 [Wiget et al., 1991] konnten einige Schlüsse für die Organisation der Messkampagnen gezogen werden. Die 1988 und in den folgenden Jahren verfügbare Testkonfiguration von 7 GPS-Satelliten ermöglichte die Messung innerhalb eines Beobachtungsfensters von 4 bis 8 Stunden. Zur Reduktion der ionosphärischen Störeinflüsse wurde nachts gemessen. Das Messfenster war jeweils in den Monaten August bis November in den Nachtstunden. Diese Randbedingungen bestimmten die Organisation der Messungen weitgehend. Pro Gerät und Operateur konnte in jeder Nacht höchstens eine Stationierung während ca. 4 ½ Stunden erfolgen. Weitere Details zu den Messungen sind im Teil 6 dieser Serie zusammengestellt [Wiget et al., 1997a].

In den Jahren 1985–88 hat die L+T ausführliche Testmessungen mit den meisten auf dem Markt verfügbaren GPS-Empfängern im 3D-Testnetz Turtmann [Jeanrichard, 1995] und auf der Antennenteststrecke Thun durchgeführt. Die Ergebnisse und praktischen Erfahrungen haben schliesslich zur Evaluation der L+T-Empfängerflotte, bestehend aus TRIMBLE 4000SL und -SLD Geräten, geführt. Ähnliche Gerätetypen wurden auch vom Landesverwaltungsamt Niedersachsen (LVA-NS) und vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien (BEV) verwendet. Es war deshalb naheliegend, bei der Organisation der Messkampagnen mit diesen zwei Partnerinstituten zusammenzuarbeiten, so dass eine genügende Anzahl von etwa 12 Trimble-Empfängern mit ausgebildeten Operateuren zusammengezogen werden konnte. Für die Hauptpunkte des Netzes kam nur der Einsatz von Zweifrequenzgeräten in Frage, während für die Anschlussmessungen auf den kürzeren Basislinien zu den Triangulations- und Landesnivellementspunkten auch Einfrequenzmessungen genühten.

Das Operating mit den damaligen Geräten erforderte eine sorgfältige Ausbildung und eine genügende Erfahrung des Personals. Als Operateure kamen daher nur geschulte Vermessungsfachleute in Frage. Die Einsatzleitung wurde einem erfahrenen Ingenieur anvertraut, der anfänglich über Funk und später über NATEL mindestens zeitweise mit den Operateuren in Verbindung treten konnte.

Für die Auswertung der Netzteile sowie für die Gesamtauswertung wurde ausschliesslich die Berner GPS-Software des AIUB [Rothacher, 1992; Rothacher und Schär, 1994; Wiget et al., 1997b] verwendet. Diese Software ist für Präzisionsauswertungen von statischen GPS-Netzen lokalen, landesweiten bis kontinentalen Ausmasses geeignet. Sowohl bezüglich der Modellierung wie auch der Auswertelogik ist sie sehr umfassend konzipiert und erlaubt die Schätzung von verschiedenen Zusatzparametern. Besonderes Gewicht wird dabei auf die Eliminierung oder Reduktion von systematischen Fehlereinflüssen gelegt. Das allgemeine Vorgehen wird im folgenden kurz dargestellt.

Als Beobachtungen werden Code- und Phasenmessungen auf den L_1 - und L_2 -Signalen der GPS-Satelliten (sowie verschiedene Linearkombinationen davon) verarbeitet. In der Schlusslösung nach der Bestimmung der Phasenmehrdeutigkeiten (ambiguities) wird die "ionosphärenfreie" Linearkombination L_3 verwendet. Die Daten aus mehreren Sessionen (Messtagen) und Kampagnen sollen streng nach der Methode der kleinsten Quadrate in einer Gesamtlösung ausgeglichen werden.

Die Satellitenbahnen spielen eine entscheidende Rolle für die Genauigkeit der GPS-Berechnungen. Aus diesem Grund sollen in allen Kampagnen von LV95 nur a posteriori bestimmte, präzise Bahnen verwendet werden (bis 1992 die "precise ephemerides" von der U.S. Defense Mapping Agency; seit

1992 die vom Center for Orbit Determination in Europe (CODE) im Rahmen von IGS am AIUB täglich berechneten präzisen Bahnen [Beutler et al., 1994]).

Bei Verwendung von Einfrequenzmessungen (nur L_1 -Signale) soll ein Ionosphärenmodell nach dem "single layer"-Modell [Wild und Beutler, 1991; Wild, 1994] eingeführt werden, welches aus den Zweifrequenzmessungen auf den Hauptpunkten bestimmt wird. Damit kann auch auf diesen Basislinien der Störeinfluss der Ionosphäre auf unter 1 ppm begrenzt werden.

Als Troposphäre wird der unterste Teil der Erdatmosphäre bis in ca. 15 km Höhe bezeichnet, in dem die Wellenausbreitung vor allem durch die Dichte der Luft und den Wasserdampf beeinflusst wird. Im Gegensatz zur Ionosphäre ist in der Troposphäre der Brechungsindex im L-Band des Mikrowellenspektrums (GPS-Messungen auf $L_1 = 1.5$ GHz und $L_2 = 1.2$ GHz) praktisch unabhängig von der Frequenz. Die Brechungsverhältnisse sind für beide Frequenzen vom Druck, der Temperatur und der Feuchtigkeit entlang des Signalweges in der Troposphäre abhängig. Die Gesamtverzögerung beträgt ca. 2.3 m. Zur Elimination der troposphärischen Refraktion, welche sich in der Positionsbestimmung mit GPS aufgrund der Satellitenkonstellation vor allem auf die Höhe auswirkt, stehen verschiedene Varianten offen [Geiger et al., 1995]. Entsprechend den Möglichkeiten der Berner GPS Software werden in LV95 sowohl die Modellierung des Refraktionsfeldes (mit Hilfe von meteorologischen Modellen) wie auch die Schätzung von Troposphärenparametern ("zenith path delays") aus den GPS-Messungen selber angewendet.

Für lokale und regionale Präzisions-GPS-Netze müssen die elektronischen Phasenzentren der Antennen möglichst exakt bekannt sein. Zwar haben die modernen "Microstrip"-Antennen ein in Lage und Höhe mit Submillimeter-Genauigkeit definiertes mechanisches Zentrum. Das elektronische Phasenzentrum kann gegenüber diesem jedoch um einige Millimeter verschoben sein und zwar unterschiedlich für die L_1 - und die L_2 -Signale und erst noch in Abhängigkeit von der Satellitengeometrie [Geiger, 1988]. In der Linearkombination L_3 werden diese Einflüsse nochmals verstärkt. Um systematische Einflüsse infolge fehlerhafter Offsets zu vermeiden, werden diese kleinen Korrekturen für jede einzelne Antenne in sog. Antennentests bestimmt. Für LV95 werden alle eingesetzten Empfänger und Antennen vorgängig jeder grösseren Kampagne, mindestens aber einmal pro Jahr, auf der Teststrecke Thun kalibriert. Daraus können schliesslich gemittelte relative Ablagen der Phasenzentren gegenüber den Nominalwerten einer Referenzantenne im Submillimeterbereich bestimmt werden, welche für die aktuelle Konstellation und Sessionsdauer repräsentativ sind.

5.3 Vorgehen bei der Verdichtung

Im Rahmen der Messkampagnen 1989-92 wurden rund 100 Punkte des neuen GPS-Netzes LV95 erstellt. Diese werden als LV95-Hauptpunkte (LV95-HP) bezeichnet. Für eine wirtschaftliche Nutzung des neuen Bezugsrahmens ist nach heutigen Erkenntnissen noch eine Verdichtung mit sogenannten LV95-Verdichtungspunkten (LV95-VP) erforderlich. Eine regionale Verdichtung des LV95-Hauptnetzes kann z.B. durch den Bedarf an Anschlusspunkten für ein Grundlagennetz für ein grosses Ingenieurprojekt begründet sein.

Die Erstellung der Verdichtungspunkte soll zeitlich und örtlich nach Bedarf (u.a. der Kantone) erfolgen. Dies bedeutet insbesondere, dass nicht eine systematische, homogene Verdichtung von Anfang an vorgesehen ist. Die Anforderungen an die Punktdichte werden u.a. auch durch den jeweiligen Stand der Technik mitbestimmt, weshalb nicht ausgeschlossen ist, dass sich diese im Verlauf der Zeit ändern könnte. Bei der Konzeption von LV95 wurde von ca. 100 LV95-VP ausgegangen, womit in den meisten Orten der Schweiz (zumindest im Mittelland) innerhalb von 10 bis max. 15 km an einen LV95-Punkt angeschlossen werden könnte.

Die Verdichtungspunkte sind wie die Hauptpunkte mit einem Kappenbolzen in anstehendem Fels oder in einem Betonsockel zu versichern. Im Gegensatz zu den Hauptpunkten wird jedoch auf eine exzentrische Rückversicherung verzichtet, mit der Begründung, dass eine Neubestimmung des Punktes über die benachbarten LV95-Punkte wirtschaftlicher ist, als eine aufwendige Einmessung der exzentrischen Zeichen.

5.4 Dokumentation und Publikation der Ergebnisse

Der Dokumentation der Netzinstallation, der Messungen und Berechnungen wird eine grosse Bedeutung beigemessen. Neben vollständigen Archivdossiers mit Mess- und Berechnungsakten sowie einer digitalen Speicherung aller Originalmessdaten sind die wichtigsten Ergebnisse und Erfahrungen bei den verschiedenen Arbeitsschritten in der vorliegenden Berichtsserie "Aufbau der neuen Landesver-

messung der Schweiz LV95" für die interessierte Fachwelt zusammengestellt. Sie soll in unregelmässigen Abständen erscheinen und schliesslich zur vollständigen Dokumentation zum Projekt 'LV95' abgeschlossen werden.

Die LV95-Punkte werden in die bestehende Fixpunkt-Dokumentation (LFP1 und LFP2) und in die z.Z. im Aufbau begriffene Fixpunkt-Datenbank der Amtlichen Vermessung (Punktprotokolle und -karte) übernommen und werden dort bis auf weiteres mit den offiziellen Landeskoordinaten im Bezugsrahmen LV03 verwaltet. Für die Zwecke der Landesvermessung und die Anwendungen in der Ingenieurvermessung existiert zusätzlich ein separates Protokoll, welches weitere für den Benutzer wichtige Angaben, wie die Koordinaten im Bezugsrahmen LV95, die Horizontabdeckungen auf dem Stationspunkt, Bemerkungen zur Zugänglichkeit etc. enthält.

5.5 Nachführung und Unterhalt

Die Nachführung und der Unterhalt des GPS-Landesnetzes werden durch die laufende und die periodische Nachführung gewährleistet. Während mit der laufenden Nachführung aktuelle Meldungen über Schäden an den Installationen jeglicher Art sofort zu erledigen sind, sollen mit der periodischen Nachführung daneben sämtliche LV95-Punkte in einem 5-Jahresrythmus systematisch begangen werden.

Bei all diesen Nachführungsarbeiten gilt es, den Kontakt zu den betroffenen Instanzen (Kantone, Gemeinden, Eigentümer, allg. Benutzer, usw.) zu pflegen. Ein gut funktionierendes Meldewesen ist schliesslich die Voraussetzung, um eine sichere Nachführung zu gewährleisten. Die kantonalen und kommunalen Vermessungsinstanzen sowie die Eigentümer der Grundstücke, auf welchen die betreffenden LV95-Punkte liegen, werden bei jeder Änderung informiert. Zum Schutz der LV95-Punkte werden die Grundeigentümer durch direkte schriftliche Information und andererseits mittels Anmerkung im Grundbuch, welche im Auftrag der L+T vom jeweiligen Kanton zu erledigen ist, auf die Bedeutung der Punkte und die Wichtigkeit ihrer Erhaltung hingewiesen.

Mit der Realisierung des GPS-Landesnetzes, d.h. des neuen Referenzrahmens LV95, verlieren alle übrigen LFP1 sehr stark an Bedeutung. Sie müssen im Zuge der Anpassung der AV93 an LV95 in LFP2 resp. LFP3 umgewandelt oder gelöscht werden.

5.6 Periodische Wiederholungsmessungen

Das kinematische Konzept von LV95 setzt die wiederholte Messung des GPS-Landesnetzes in geeigneten Zeitintervallen voraus. Aus der kinematischen Ausgleichung der GPS-Messungen mindestens zweier Epochen kann ein Deformationsfeld der Punktconfiguration geschätzt werden, woraus schliesslich Erkenntnisse über die Bewegungen der obersten Erdkruste gezogen werden können (s. Kap.4.4).

Da z.Z. noch sehr wenig quantitative Angaben über die relativen Horizontalbewegungen im Gebiet der Schweiz vorhanden sind, ist eine genaue zeitliche Planung der Wiederholungsmessungen sehr schwierig. Die grössten Horizontalkomponenten der Relativverschiebungen sind wahrscheinlich zwischen dem nördlichen Mittelland resp. Schwarzwald und der Alpensüdseite zu erwarten. Aus den VLBI-Messungen zwischen den Stationen Wetzell (Bayern) und Medicina (Norditalien) sind die in Tabelle 5.6-1 angegebenen relativen Geschwindigkeitskomponenten geschätzt worden [Campbell und Nothnagel, 1996]. Die berechnete Dehnungsrate (in ppm/Jahr) der ziemlich genau Nord-Süd verlaufenden Basislinie mit einer Länge von 522 km dürfte etwa die maximale Grössenordnung der zu erwartenden horizontalen Verkürzung zwischen der Nord- und der Südschweiz beschreiben. Der Betrag der horizontalen Relativgeschwindigkeit liegt etwa in der gleichen Grössenordnung wie jener der grössten relativen Vertikalbewegungen (~ 1.5 mm/Jahr), welche aus den Untersuchungen der Daten des Landesnivellements geschätzt wurden (s. Kap.4.4).

Strecke von - bis	Distanz l [km]	Distanz-Änderung dl/t [mm/y]	Standard-Abweich. σ (dl / t) [mm/y]	Höhendiff.-Änderung ddh / t [mm/y]	Standard-Abweich. σ (ddh / t) [mm/y]	Dehnungsrate s/t = (dl / l)/t [ppm/y]	Standard-Abweich. σ (s / t) [ppm/y]
Wetzell (D)-Medicina (I)	522	-2.4	0.6	-3.1	1.2	- 0.005	0.001

Tab. 5.6-1: Deformationsrate einer alpenquerenden Nord-Süd-Basis aus VLBI-Messungen

Erste Erkenntnisse über mögliche Deformationen in der Nordschweiz erhoffte man sich auch anhand der wiederholten Messungen im Kontrollnetz Neotektonik 1988/95 [Wiget et al., 1991 und 1996]. Im Untersuchungsgebiet, das sich von Olten bis nach Schaffhausen erstreckt, konnten jedoch zwischen 1988 und 1995 keine signifikanten Horizontalbewegungen nachgewiesen werden. Die Autoren der Studie kommen zum Schluss, dass das Kontrollnetz durch wiederholte GPS-Messungen im Intervall von 5 Jahren weiterhin überwacht werden soll, um innert wenigen Jahren signifikante Aussagen über die tektonischen Bewegungen in diesem Gebiet machen zu können.

Im GPS-Landesnetz wird ein Intervall von 5–10 Jahren für die Wiederholungsmessungen vorgeschlagen. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die Entwicklung der geodätischen Messtechnik in Zukunft einerseits eine noch bessere Genauigkeit der Resultate und andererseits eine wesentlich wirtschaftlichere Arbeitsweise ermöglicht. Es ist anzunehmen, dass eine vollständige Messung des ganzen Landesnetzes (Haupt- und Verdichtungspunkte) innerhalb eines Jahres mit den Standardmitteln der L+T möglich sein wird. Tabelle 5.6-1 zeigt ein mögliches Szenario für die Wiederholungsmessungen.

Messepoche	Netzteil	Deformationsanalyse			
		1995	1998	2005	2012
1988	Neotektonik Nordschweiz	X	X	X	X
1989	LV95-89 (Nordostschweiz)	X	X	X	X
1990	LV95-90 (Westschweiz)		X	X	X
1991	LV95-91 (Alpen West)		X	X	X
1992	LV95-92 (Alpen Ost)		X	X	X
1995	Neotektonik Nordschweiz	X	X	X	X
1998	LV95 (Haupt- / Verdichtungsnetz)		X	X	X
2005	LV95 (Haupt- / Verdichtungsnetz)			X	X
2012	LV95 (Haupt- / Verdichtungsnetz)				X

Tab. 5.6-2: Szenario für mögliche Wiederholungsmessungen im GPS-Landesnetz LV95

6 Weitere Ziele des Projekts

6.1 Das weitere Vorgehen im Projekt

Das Projekt LV95 umfasst nicht nur den Aufbau und die einmalige Messung eines GPS-Landesnetzes. Wie bereits erwähnt, enthält das Konzept eine ganze Reihe zusätzlicher Arbeiten, welche erst nach 1995 abgeschlossen werden können. In Tab.6.1-1 sind die wichtigsten geodätischen Folgearbeiten des Projekts LV95 nach 1995 zusammengestellt.

Schritt	Abschluss Jahr	Arbeiten	Beteiligte Institute
1	1995 / 96	Ausbau Geostation Zimmerwald (Neues Teleskop, Laserdistanz-messer, Ausbau Permanentstation GPS, Anschluss an LHN95) vgl. Teilbericht 2	L+T, AIUB, IGP
2	1996 / 97	Gesamtausgleichung DIA95 (GPS-Netz + Diagnosenetz DIA93) vgl. Teilbericht 8	L+T
3	1996	Zentimeter-Geoidmodell	IGP, L+T
4	ab 1996	Verdichtung von LV95 (Priorität nach Bedarf AV etc.)	L+T, V+D
5	ab 1998	Wiederholungsmessungen im GPS-Netz LV95	L+T
6	ca. 2001	Berechnung des Landeshöhennetzes LHN95	L+T, IGP
7	ca. 2001	Kinematisches 3D-Modell für LV95	L+T

Tab. 6.1-1: Weiteres Vorgehen im Projekt LV95

6.2 Das neue Zentimeter-Geoid der Schweiz

Die Methoden der Satellitengeodäsie liefern 3D-Koordinaten im euklidischen Raum und davon abgeleitet ellipsoidische Höhen. Im Gegensatz dazu beziehen sich die auf Nivellementsnetzen beruhenden klassischen Höhensysteme i.A. auf das Geoid (oder evtl. Quasigeoid). Als zugehörige Höhensysteme kommen strenge orthometrische (oder Normal-) Höhensysteme in Frage. Die Nivellementsnetze werden auch in Zukunft praktische Bedeutung behalten, da die Nivellements-methode auch in schwierigen topographischen Verhältnissen (insbesondere im Siedlungsgebiet) mit einfachen Mitteln genaue Höhenmessungen erlaubt und ideale Anschlusspunkte für die praktische Vermessung liefert. Bei den Verdichtungsnetzen im schwach besiedelten Raum sind allerdings Ersatzlösungen mittels Höhenbestimmung durch GPS-Netze denkbar. Um die orthometrischen Höhen (resp. Normalhöhen) der Nivellementsnetze mit den ellipsoidischen Höhen aus dem GPS-Landesnetz vergleichen und kombinierte Netze ausgleichen zu können, ist ein genaues Geoidmodell (resp. Quasigeoidmodell) notwendig. In der Schweiz ist seit 1978 ein gutes astrogeodätisches Geoidmodell [Gurtner, 1978] verfügbar. Dieses Modell hat bei vielen geodätischen Arbeiten wertvolle Dienste geleistet. Den hohen Anforderungen, welche die Verknüpfung einer kinematischen Neuausgleichung des Landsnivellements mit dem GPS-Landesnetz stellt, kann dieses Modell allerdings nicht genügen.

Das IGP, die L+T und das AIUB haben ein Projekt für ein neues Zentimetergeoid [Marti und Kahle, 1995] in Angriff genommen, welches nun zu einem wesentlichen Bestandteil des LV95-Konzeptes wird. Das neue Modell basiert hauptsächlich auf astro-geodätischen Beobachtungen, welche in den letzten Jahren mit Hilfe von Zenitkamera-Messungen stark verdichtet worden sind (mittlerer Abstand der Messpunkte ca. 20 km). Daneben sollen 2500 Schwerewerte in die Berechnung einbezogen werden. Im Alpengebiet ist die Modellierung der topographischen Massen sowie der wichtigsten Massen-anomalien eine besondere Herausforderung. Mit dem neuen digitalen Geländemodell (DHM25) mit 25 m Maschenweite, welches z.Z. an der L+T durch Digitalisierung der Landeskarten 1:25'000 entsteht und Ende 1996 bereit sein wird, ist eine wichtige Grundlage für die Berechnung gegeben. Das neue Geoidmodell, welches mit der bekannten "Remove-Restore"-Technik und Kollokation entsteht, soll eine relative Genauigkeit (1σ) der Geoidundulationen von 2 bis 4 cm bezüglich der Fundamentalstation Zimmerwald garantieren.

6.3 Realisierung des neuen Landeshöhennetzes LHN95

Der Aufbau von Höhennetzen der LV im alpinen Raum erfordert ein mit besonderer Sorgfalt erstelltes geodätisches Konzept. Dabei sind die folgenden Aspekte zu beachten:

- Berücksichtigung der tektonischen Bewegungen zwischen verschiedenen Messepochen mittels Modellierung der Kinematik der obersten Erdkruste
- Berücksichtigung der räumlichen Variationen des Schwerefeldes und der Äquipotentialflächen (Geoidmodell)
- Vermeidung systematischer Fehlereinflüsse beim Nivellement (Lattenmassstab, Refraktion etc.) und bei GPS (Refraktion, Multipath etc.)
- Verwendung geeigneter Ausgleichungsmodelle

Aufgrund dieses Konzeptes wurde eine vollständige Neubearbeitung der Nivellementsdaten für das neue Landeshöhennetz LN95 im Zeitraum 1996–2001 vorgesehen [Schneider et al., 1995]. Dabei sollen alle archivierten Originalmessungen des Landesnivellements seit 1903 systematisch erfasst und kinematisch neu ausgeglichen werden. Mit Hilfe der in den letzten Jahrzehnten gemessenen Schwere- und Schweredaten sollen Schwerepotentialwerte berechnet werden, welche schliesslich als Ausgangswerte für die Berechnung der strengen orthometrischen Höhen dienen werden. Die orthometrische Reduktion der Höhen erfolgt mit Hilfe eines Massenmodells [Wirth, 1990]. Neben den Messdaten (Nivellement und Schwere) wird das neue Digitale Höhenmodell (DHM25) der L+T benötigt. Zusätzlich soll das Netz durch Anschluss an das GPS-Landesnetz gestützt werden.

6.4 Kinematische Modelle zur Untersuchung von Krustenbewegungen

Wie bereits in Kap. 4.4 dargelegt, beinhaltet die neue Landesvermessung auch ein kinematisches Modell, das einerseits für die richtige Modellierung der zeitabhängigen Beobachtungen bei den Ausgleichungen der geodätischen Netze erforderlich ist und andererseits den Untersuchungen von rezenten Krustenbewegungen dient. Die kinematische Modellierung muss sowohl für das wiederholt gemessene GPS-Landesnetz wie auch für das Landeshöhennetz LHN95 mit Messepochen zwischen 1903 und heute dienen. Es muss daher grundsätzlich dreidimensional sein und sowohl kontinuierliche Deformationen im Raum wie auch Diskontinuitäten und lokale Phänomene (Einzelpunktbewegungen) beschreiben können. Wichtig ist zudem die Quantifizierung der stochastischen Zusatzinformation, welche zur Beurteilung der Deformationsphänomene und ihrer Signifikanz unabdingbar ist.

6.5 Zukünftige Entwicklung der Landesvermessung in der Schweiz

Die Zukunft gehört auch in der Vermessung vermehrt den Echtzeitlösungen. Im Laufe der nächsten drei bis fünf Jahre soll in der Schweiz unter dem Namen AGNES (Automatisches GPS-Netz Schweiz) die Infrastruktur für eine moderne und effiziente Navigation und Vermessung in einem einheitlichen geodätischen Bezugsrahmen (LV95) aufgebaut werden [Wild und Wiget, 1996]. Das Netz soll aus 10 bis 35 permanenten GPS-Stationen bestehen, deren Messdaten für Navigations- und Vermessungsanwendungen via Telekommunikation verbreitet werden. Die permanenten GPS-Stationen können dabei als "aktive Kontrollpunkte" von LV95 angesehen werden. Nebst der klassischen (off-line) GPS-Auswertung werden on-line (RTK-) Verarbeitungen möglich, indem die Daten entweder über ein Funknetz (UKW/RDS oder Digital Audio Broadcasting DAB) oder über eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung wie z.B. GSM/NATEL-D den Benützern in Echtzeit zur Verfügung gestellt werden. AGNES wird neben LV95 aufgrund der wirtschaftlichen Vorteile auch in der Ingenieurvermessung rasch breite Anwendung finden.

Literatur

- Ammann R., A. Carosio, W. Ulrich (1996): Konsequenzen der neuen Landesvermessung (LV95) für die Amtliche Vermessung (AV). *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, 2/96, S. 66 - 69.
- Beutler G., I. I. Mueller, R. E. Neilan und R. Weber (1994): IGS - Der Internationale GPS-Dienst für Geodynamik. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, Heft 5, Mai 1994, S. 221–232.
- Bürki B., H.-G. Kahle, E. Vermaat und D. Van Loon (1986): Laserstrahlen vom Monte Generoso zum LAGEOS Satelliten. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, 6/86, S. 225–232.
- Campbell J. und A. Nothnagel (1996): Bestimmung rezenter Krustenbewegungen im Europäischen VLBI-Netz. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, Heft 6, Juni 1996, S. 255–263.
- Chablais H. und D. Schneider (1979): Erneuerung der Landestriangulation in der Westschweiz. Netz 1. und 2. Ordnung. *L+T Technischer Bericht*, Wabern 1979.
- Chablais H., E. Gubler, D. Schneider und A. Wiget (1988): Die geodätische Landesvermessung in der Schweiz, heute und morgen. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 4/88, S. 154–163.
- Chablais H., Th. Signer, und B. Vogel (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 Landestopographie, Wabern.
- Counselman and Steinbrecher (1982): The Macrometer: A Compact Radio Interferometry Terminal for Geodesy with GPS. 3rd Internat. Symposium on Satellite Doppler Positioning, Las Cruces, New Mexico, 1982.
- Danuser G. und A. Wiget (1993): EUREF-Stationen der Schweiz: Lokale Beziehungen zwischen RETrig/DIA und EUREF/LV95. *L+T Technischer Bericht*, Wabern August 1993.
- Ehlert D., H.J. Kriefall, R. Schmidt (1977): Die Diagnoseausgleichung 1980 des Deutschen Hauptdreiecksnetzes. *Allg. Vermessungsnachrichten* 84, S.11–18.
- Elmiger A. (1969): Studien über Berechnung von Lotabweichungen aus Massen, Interpolation von Lotabweichungen und Geoidbestimmung in der Schweiz. ETH-Dissertation Nr. 4210. aku-Fotodruck, Bamberg 1969.
- Elmiger A. (1975): Erste Ergebnisse einer Geoidbestimmung für die Schweiz aus astronomischen und interpolierten Lotabweichungen. *Bericht an die SGK*, Zürich, Juni 1975.
- Elmiger A., R. Köchle, A. Ryf, F. Chaperon (1995): Geodätische Alpentaverse Gotthard. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 50, Zürich 1995.
- Geiger A. und H.-G. Kahle (1982): Zum Dopplerverfahren in der Satellitengeodäsie: Ein Überblick. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 6/82, S. 181–191.
- Geiger A. und H.-G. Kahle (1986): Gravimetrisches Geoid der Schweiz. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 8/86, S. 311–323.
- Geiger A. (1988): Einfluss und Bestimmung der Variabilität des Phasenzentrums von GPS-Antennen. *IGP/ETHZ Mitteilung* Nr. 43. Zürich, Sept. 1988.
- Geiger A. (1990): Gravimetrisches Geoid der Schweiz: Potentialtheoretische Untersuchungen zum Schwerefeld im Alpenraum. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 43, Zürich 1990.
- Geiger A., M. Cocard und H. Hirter (1995): Dreidimensionale Modellierung des Refraktivitätsfeldes in der Atmosphäre. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 4/95, S. 254–260.
- Gubler E., H.-G. Kahle, E. Klingelé, St. Mueller and R. Olivier (1981): Recent Crustal Movements in Switzerland and their Geophysical Interpretation. *Tectonophysics*, 71 (1981), p. 125–152.
- Gubler E., D. Gutknecht, U. Marti, D. Schneider, Th. Signer, B. Vogel und A. Wiget (1996): Die neue Landesvermessung der Schweiz LV95. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 2/96, S. 47–65.

- Gurtner W. (1978): Das Geoid in der Schweiz. *Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz*, Band 32, Zürich 1978.
- Gurtner W. (1986): GPS-Testmessungen auf dem CERN-LEP-Kontrollnetz. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 6/86, S. 219–224.
- Gurtner W. und G. Beutler (1986): Die Rolle der Satellitengeodäsie in der Vermessung. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 8/86, S. 336–341.
- Gurtner W., G. Beutler, S. Botton, M. Rothacher, A. Geiger, H.-G. Kahle, D. Schneider and A. Wiget (1987): The Use of GPS in Mountainous Areas. Paper presented at the XIXth IUGG General Assembly, Vancouver, Aug. 1987.
- Hilfiker J. (1902): Untersuchung der Höhenverhältnisse der Schweiz im Anschluss an den Meereshorizont. Verlag L+T, Bern 1902.
- Jeanrichard F. (1986): L'état actuel de la recherche sur les mouvements de la croûte terrestre en Suisse. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 8/86, S. 330–336.
- Jeanrichard F. (Ed.; 1992): Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985 - 1990: Teil I. Diverse Autoren. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 45, Zürich 1992.
- Jeanrichard F. (Ed.; 1995): Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985 - 1993: Teil II (GPS-Netz). Diverse Autoren. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 51, Zürich 1995.
- Kahle H.-G. und U. Marti (Ed.; 1993): NFP20: Beitrag der Geodäsie zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik. Diverse Autoren. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 47, Zürich 1993.
- Kobold F. (1976): Das europäische Dreiecksnetz (RETrig): Entstehung, Stand der Arbeiten. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 12/76, S. 333–338.
- Lang W. (1929): Deformationsmessungen an Staumauern nach der Methode der Geodäsie. Verlag L+T, Bern 1929.
- Marti U. (1990): ALGESTAR: Satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz mit GPS. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 41, Zürich 1990.
- Marti U. und H.-G. Kahle (1995): Die neue Geoidbestimmung in der Schweiz: Gegenwärtiger Stand und Genauigkeitsuntersuchungen. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 4/95, S. 241–247.
- Matthias H. (1977): Landestriangulation der Schweiz: Rückblick, Umschau, und Vorschläge für die zukünftige Entwicklung. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, 7/77, S. 221–229.
- Matthias H., P. Kasper und D. Schneider (1980): Amtliche Vermessungswerke: Band 1, Geschichte und Grundlagen, Sauerländer, Aarau.
- Reilly W. I. and E. Gubler (1990): Crustal Strain in Switzerland 1870 - 1970. *Geophys. J. Int.*, Vol. 103, 1990, p. 251–256.
- Rosenmund M. (1903): Die Änderung des Projektionssystems der schweizerischen Landesvermessung. Verlag L+T, Bern 1903.
- Rothacher M. (1992): Orbits of Satellite Systems in Space Geodesy. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 46, Zürich 1992.
- Rothacher M. und St. Schaer (1994): GPS-Auswertetechniken. DVW-Seminar: GPS - Leistungsbilanz '94. *Schriftenreihe DVW* 18/1995. S. 107–121.
- Schmid H. (1972): Konzeptionelle und fehlertheoretische Betrachtungen zur Erstellung eines geodätischen Weltsystems mit Hilfe der Satellitengeodäsie. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, 4/72, S. 99–124.
- Schneider D. und N. Wunderlin (1981): RAUMTRI, Dreidimensionale Netzausgleichung in einem geozentrischen kartesischen Koordinatensystem, Programmbeschreibung / Benutzeranleitung. *Bericht Nr.45 aus dem IGP*, Zürich 1981.

- Schneider D. (1993): Neues Konzept der Schweizerischen Landesvermessung: Erste Erfahrungen bei der Realisierung eines GPS-gestützten Landesnetzes. *Beitrag zum 31. DVW-Seminar: GPS - eine universelle geodätische Methode*. Technische Universität Dresden, 22. - 24. März 1993.
- Schneider D., E. Gubler, U. Marti und W. Gurtner (1995): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'. Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen. *Berichte aus der L+T*, Nr. 8, Bundesamt für Landestopographie, Wabern.
- Schneider D., T. Signer, B. Vogel und A. Wiget (1996): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 8: Gesamtausgleichung des GPS-Landesnetzes mit dem Diagnosenetz der Triangulation 1. bis 2. Ordnung 'DIA95'. *Berichte aus der L+T*, Nr.14, Bundesamt für Landestopographie, Wabern, (in prep.)
- Signer T. und B. Vogel (1997): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 9: GPS-Landesnetz: Verdichtung und Bezug zur bisherigen Landesvermessung. Transformation 'LV95 ↔ LV03'. *Berichte aus der L+T*, Nr.15, Bundesamt für Landestopographie, Wabern, (in prep.)
- Schürer M. (1990): Das schweizerische geodätische Datum. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, 2/90, S. 88–89.
- Vogel B., Th. Signer, D. Gutknecht, W. Santschi (1997): 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 Landestopographie, Wabern.
- Wiget A., A. Geiger, H.-G. Kahle (1985): Die Doppler-Messkampagne SWISSDOC: Ein Beitrag zur Landesvermessung in der Schweiz. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 2/85, S. 49–52.
- Wiget A., H.-G. Kahle, A. Geiger (1986): ALGEDOP: Ein Beitrag zur satellitengestützten Geoidbestimmung in der Schweiz. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 5/86, S. 177–181.
- Wiget A., E. Gubler und D. Schneider (1991): GPS-Präzisionsnetz zur Bestimmung von rezenten Krustenbewegungen in der Nordschweiz. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 8/91, S. 415–426.
- Wiget A. und D. Schneider (1992): Erfahrungen mit GPS in Staumauer-Überwachungsnetzen. Beiträge zum XI. Internat. Kurs für Ingenieurvermessung, Zürich Sept. 1992. Band 2, Dümmler's Verlag, Bonn.
- Wiget A., D. Schneider und E. Gubler (1996): GPS-Netz Neotektonik Nordschweiz. Messkampagne 1995 und Deformations-Grobanalyse 1988-1995. L+T Technischer Bericht Nr. 96-05, Wabern Juni 1996.
- Wiget A., T. Signer, B. Vogel, D. Gutknecht und W. Santschi (1997a): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 6: GPS-Landesnetz: GPS-Messungen 1988-94. *Berichte aus der L+T*, Nr.12, Bundesamt für Landestopographie, Wabern, (in prep.)
- Wiget A., U. Wild, T. Signer und B. Vogel (1997b): Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 7: GPS-Landesnetz: Auswertung der GPS-Messungen 1988-94; Bezugsrahmen 'CHTRF95' und 'LV95'. *Berichte aus der L+T*, Nr.13, Bundesamt für Landestopographie, Wabern, (in prep.)
- 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 Landestopographie, Wabern 1995.
- Wild U. und G. Beutler (1991): The Use of Permanent Tracking Station Data for Ionosphere Modelling. Paper presented at the XXth General Assembly of the IUGG, Wien, August 1991.
- Wild U. (1994): Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 48, Zürich 1994.
- Wild U. und A. Wiget (1996): Automatisches GPS-Netz Schweiz (AGNES): Projektvorschlag. L+T Technischer Bericht Nr. 95-25, Wabern 1996.

- Wirth B. (1990): Höhensysteme, Schwerepotentiale und Niveauflächen: Systematische Untersuchungen zur zukünftigen terrestrische und GPS-gestützten Höhenbestimmung in der Schweiz. *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, Band 42, Zürich 1990.
- Wolf R. (1879): Geschichte der Vermessungen in der Schweiz, Zürich 1879.
- Wunderlin N. (1976): Die Mitarbeit der Schweiz am RETrig. *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik* 12/76, S. 338–342.
- Zölly H. (1948): Geschichte der geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz, Verlag L+T, Wabern 1948.

Abkürzungen

AIUB	Astronomisches Institut der Universität Bern	IGS	International GPS Service for Geodynamics
AV	Amtliche Vermessung	ITRFyy	IERS Terrestrial Reference Frame (Version yy)
CDDIS	Crustal Dynamics Data Information System	ITRS	IERS Terrestrial Reference System
CERCO	Comité européen des responsables de la cartographie officielle	LAPETH	Labor für Atmosphärenphysik der ETH Zürich
CH1903	Schweiz. geodätisches Datum, festgelegt 1903	LHN95	Landeshöhennetz 1995
CODE	Center for Orbit Determination in Europe	LVyy	Bezugsrahmen der Landesvermessung 19yy
DGPS	Differential GPS	LV	Landesvermessung
DIAYy	Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung (Version yy)	L+T	Bundesamt für Landestopographie
EDM	Elektronische Distanzmessung	NAGRA	Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule	ppm	parts per million
ETRFyy	European Terrestrial Reference Frame (Version yy)	RETrig	Réseau Européen de Triangulation
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989	RF	Ressortforschung
EUREF89	Europäisches GPS-Referenznetz 1989	RPN	Repère Pierre du Niton: Höhen-Referenzpunkt des Bezugssystems CH1903
EUREF-CH92	schweiz. GPS-Messkampagne im EUREF-Teilnetz 1992	SGK	Schweiz. Geodätische Kommission
EUREF-D/NL93	GPS-Messkampagne im EUREF-Teilnetz D/NL1993	SLR	Satellite Laser Ranging
GPS	Global Positioning System	UEGN	Unified European Gravity Network
IAG	International Association for Geodesy	UELN	Unified European Levelling Network
IERS	International Earth Rotation Service	UTM	Universal Transverse Mercator (Kartenprojektion)
IGM	Institut de géodésie et mensuration EPF Lausanne	V+D	Eidg. Vermessungsdirektion
IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich	VLBI	Very Long Baseline Interferometry
		WGS84	World Geodetic System 1984 (GPS-Bezugssystem)

Liste der Publikationen / Liste des publications

Nr.	Titel (Autoren)	Ausgabe	Preis	Auflage
1	Jahresbericht / Rapport annuel 1993	1994		120
2	Publikationen 1980–93 Publications 1980–93	1994		250
3	Die neue Strassenkarte 1:200'000 (H.U. Feldmann und M. Oehrli) Die neue Landeskarte 1:1'000'000 (H.U. Feldmann)	1995	SFr. 10.-	500
4	Jahresbericht / Rapport annuel 1994	1995		400
5	Jahresbericht / Rapport annuel 1995	1996		400
6	Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95': Teil 1: Vorgeschichte, Entstehung des Projekts, Konzept und Planung (D. Schneider, E. Gubler und A. Wiget)	1995		500
7	Teil 2: Geostation Zimmerwald: Satellite Laser Ranging (SLR) und GPS-Permanentbetrieb (U. Wild und W. Gurtner)	1995		500
8	Teil 3: Terrestrische Bezugssysteme und Bezugsrahmen (D. Schneider, E. Gubler, U. Marti und W. Gurtner)	1995		500
9	Teil 4: Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung 'DIA93' (H. Chablais, Th. Signer und B. Vogel)	1995		500