

Bericht 9

Dezember 1995

Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'

Teil 4

Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung:

'DIA93'

H. Chablais, Th. Signer, B. Vogel

Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz 'LV95'

Teil 4

Diagnoseausgleichung der Triangulation 1. und 2. Ordnung:

'DIA93'

© 1995
Bundesamt für Landestopographie
Office fédéral de topographie
Ufficio federale di topografia
Uffizi federal da topografia
Federal Office of Topography

Redaktion: B. Vogel
D. Schneider
Ch. Studer
Auflage: 500 Exemplare
Druck: EDMZ

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzungen	1
2	Chronologischer Ablauf	1
3	Arbeitsgruppe und Entscheidungskompetenzen	2
4	Dateninventar und Präanalyse	2
4.1	Inventar der Messungen	2
4.2	Präanalyse	2
4.3	Beurteilung der Präanalyse.....	3
5	Datenerfassung	4
5.1	Grundsätze	4
5.1.1	Koordinaten.....	4
5.1.2	Messungen	4
5.2	Software.....	5
5.3	Erfassung der Koordinaten	5
5.3.1	Punktbeschreibung	6
5.3.2	Kurzname / Koordinatenverzeichnis für LTOP	6
5.3.3	Verzeichnis der Referenzpunkte.....	6
5.4	Erfassung der Winkelmessungen und Stationsausgleichung	6
5.4.1	Vorgehen	6
5.4.2	Methode der Stationsausgleichung	7
5.4.3	Gewichtswahl der einzelnen Winkel	7
5.4.4	Beurteilung der Stationsausgleichungen	8
5.4.5	Beurteilung der Zentrierungen	8
5.4.6	Beurteilung der provisorischen Abrisse	8
5.4.7	Alpentravese.....	8
5.5	Erfassung der Distanzen	9
5.5.1	Erfasste Distanzen.....	9
5.5.2	Allgemeines Vorgehen.....	9
5.6	Erfassung der astronomischen Azimute.....	10
5.6.1	Erfasste Azimute.....	10
5.6.2	Vorgehen	10
5.7	Erfassung der Lotabweichungen und Geoidhöhen.....	10
5.8	Erfassung weiterer Daten	11
6	Datenbereinigung	11
6.1	Freie Ausgleichungen des Richtungsnetzes.....	11
6.2	Freie Ausgleichungen des kombinierten Richtungs- und Distanznetzes	12
7	Definitiver Datenbestand	12
7.1	Definitives Beobachtungsdatenpaket	12
7.2	Eliminierte Messungen (Ausreisser).....	13
7.3	Inkonsequenzen bei den Richtungssätzen	13
8	Definitive Ausgleichung des kombinierten Netzes	14
8.1	Lagerung.....	14
8.2	Stochastisches Modell	14
8.3	Resultate.....	15
8.3.1	Mittlere Fehler a posteriori	15
8.3.2	Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Punktbestimmung	16
8.3.3	Beurteilung des Netzaufbaus.....	18
8.3.4	Beurteilung der Verbesserungen	18

9	Vergleiche und Transformationen	19
9.1	Koordinaten.....	19
9.1.1	Koordinatenvergleich DIA93-Ausgleichung - offizielle Koordinaten.....	19
9.1.2	Vergleich DIA93 - RETrig	20
9.1.3	Provisorischer Vergleich DIA93 - LV95 (1993).....	21
9.2	Distanzvergleiche.....	22
9.2.1	Distanzen aus den Basisvergrößerungsnetzen 1880-81	22
9.2.2	Distanz aus der Basis Heerbrugg 1959.....	23
9.2.3	Terrestrische Laserdistanzmessungen auf den Stationen <i>Monte Generoso und Zimmerwald</i> ...	24
10	Schlussfolgerungen	25

Abkürzungen und Begriffe	25
---------------------------------------	-----------

Literatur	26
------------------------	-----------

Anhänge

Netzplan des Kombinetzes	B 1
Transparent mit Punktnamen	B 2
Mittlere Fehlerellipsen der Präanalyse	B 3
Mittlere Fehlerellipsen und Zuverlässigkeitsvierecke aus der freien Ausgleichung	B 4
Relative mittl. F.E. der freien Ausgleichung	B 5
Relative mittl. F.E. mit Verschiebungsvektoren vier Randpunkte der Schweiz	B 6
Verschiebungsvektoren:	
DIA93 frei → offizielle Koordinaten	B 7
DIA93 frei transformiert → offizielle Koordinaten	B 8
DIA93 Ausgl. mit RETrig-Punkten als Beob. → RETrig-Koord.	B 9

1 Einleitung und Zielsetzungen

Eine Gesamtausgleichung der Landestriangulation 1./2. Ordnung war schon lange der Wunsch verschiedener Institute. Bereits in den 60er Jahren standen Vergleiche mit der RETrig-Ausgleichung, Block CH zur Diskussion. Unterdessen waren die Voraussetzungen für eine solche Gesamtausgleichung besser geworden und so wurde anlässlich der Sitzung vom 28. März 1985 im BA für L+T definitiv beschlossen, eine solche Diagnoseausgleichung für die Triangulationspunkte (TP) 1. und 2. Ordnung durchzuführen. Allerdings hatte man sich damals mit der freien Kapazität an Arbeitskräften überchätzt, sodass die Arbeiten nur zaghaf fortgeschritten und der Abschlusstermin immer wieder hinausgeschoben wurde.

Die **Zielsetzungen** für diese Diagnoseausgleichung wurden damals wie folgt formuliert:

1. Vollständige und einheitliche Dokumentation aller geodätischen Messungen im Triangulationsnetz 1./2.Ordnung aus dem Zentennium 1880-1980
2. Berechnung eines bestmöglichen Koordinatensatzes mit Varianz-Kovarianz-Matrix aller TP 1./2. Ordnung
3. Statistische Beurteilung der Genauigkeit der verschiedenen Beobachtungsklassen
4. Analyse der Verzerrungen im offiziell gültigen Triangulationsnetz 1./2. Ordnung und Erprobung deren mathematischer Modellierung
5. Bereitstellen eines Vergleichsnetzes für neue Messtechniken (Doppler, GPS, etc.) womit ev. allfällige versteckte systematische Fehler im zukünftigen GPS-Referenznetz LV95 aufgedeckt werden können
6. Berechnung von Parametern für die Datumstransformation zwischen dem schweizerischen geodätischen Datum und anderen weltweiten Referenzsystemen
7. Bereitstellen des Datenmaterials für die Untersuchung rezenter Krustenbewegungen in der Schweiz

2 Chronologischer Ablauf

Als Überblick über den gesamten Arbeitsablauf sind die einzelnen Etappen nachstehend nochmals aufgelistet:

Arbeit	Zeitpunkt	beteiligte Personen
Beschluss über die Durchführung der Diagnoseausgleichung	März 1985	L+T / IGP
Erfassung der Koordinaten	Winter '85 /'86	Bä/Si/Vo
Präanalyse	Frühling '86	Bä/Ch
Datenerfassung	Juli '87 / Sept.'91	Ch/Ma/Si/Vo
Datenbereinigung	Juli '89 / Dez.'92	Ch/Si/Vo
Definitive Ausgleichung	April '93	Ch
Koordinaten- und diverse Vergleiche	März '92 / Apr.'93	Ch
Bericht	Sommer '92 / Okt.'94	Ch/Si/Stu/ Vo/Dan
Berichtsbeilagen	März '93 - Okt.'94	Be/Ch/Go/Sch/ Stu/Tsc/Vo
Aktenarchivierung	März '93 - Okt.'94	Ch/Sch/Stu/Vo

Namenabkürzungen:

Be	Beyler Ernst	Sch	Schlatter Andreas, Praktikant
Bä	Bättig Urs, Praktikant	Si	Signer Thomas
Ch	Chablais Hubert	Stu	Studer Christine
Dan	Danuser Gaudenz, Praktikant	Tsc	Tschanz Hans
Go	Gomez Regula	Vo	Vogel Bruno
Ma	Marlettaz Jean-Marie, Praktikant		

3 Arbeitsgruppe und Entscheidungskompetenzen

Wie aus vorheriger Zusammenstellung hervorgeht, dauerten die Arbeiten für DIA93 rund 10 Jahre, in denen sich verschiedene Leute für verschiedene Aufgaben beteiligt haben. Die Beziehung dieser Personen zum Projekt DIA93 kann wie folgt gegliedert werden:

- a) *Kerngruppe mit Projektleitung:* Chablais Hubert, dipl.Ing. ETH, Projektleitung
Signer Thomas, dipl.Ing.ETH
Vogel Bruno, dipl.Ing. ETH
- b) *beratender Beistand:* Gubler Erich, dipl.Ing. ETH
Schneider Dieter, Dr.phil.
- c) *Mitarbeit in verschiedenen Arbeitsphasen:*
Bättig Urs, dipl.Ing. ETH, Praktikant 1985
Marlettaz Jean-Marie, dipl.Ing. ETH, Praktikant 1987
Schlatter Andreas, dipl.Ing. HTL, Praktikant 1992/93
Danuser Gaudenz, dipl.Ing. ETH, Praktikant 1993
Studer Christine, Techn. Mitarbeiterin L+T
Gomez Regula, Zeichnerin L+T
Tschanz Hans, Techn. Mitarbeiter L+T
Beyeler Ernst, Zeichner L+T

4 Dateninventar und Präanalyse

4.1 Inventar der Messungen

Für die Durchführung der Diagnoseausgleichung wurden grundsätzlich alle heute zur Verfügung stehenden und brauchbaren Messungen verwendet. Diese waren in einem homogenen Datensatz zu erfassen, wobei Doppelspurigkeiten abgefangen und bereinigt werden mussten. Im Besonderen handelt es sich um folgende Messgruppen:

Winkel- und Richtungsmessungen aus dem Archiv der L+T
RETrig-Daten
Netz 1./2. Ordnung Westschweiz
Netz 3. Ordnung BL/BS
Distanzmessungen IGP/SGK
Alpentravese Gotthard (IGP)
Laplace Azimute der SGK
Basisvergrößerungsseiten
Lotabweichungen / Geoidhöhen (aus Modell Gurtner)
Ausländische Messungen (Randzonen)

Das Inventar der Messungen wurde im November/Dezember 1985 anhand diverser Netzpläne erhoben und so als Grundlage für die anschliessende Präanalyse zusammengestellt.

4.2 Präanalyse

Der Zweck der Präanalyse bestand darin, Netzschwächen zu entdecken und diese allenfalls durch geeignete Ergänzungsmessungen zu beseitigen. Es wurden verschiedene **Varianten** gerechnet, die wichtigsten sind hier zusammengestellt:

- Netz 1./2. Ordnung: Variante 1: 1 Azimut, 4 Distanzen aus B.V.N., alle Richtungen
Variante 2: hinzufügen von 24 weiteren Azimuten
Variante 3: hinzufügen von weiteren 276 EDM Distanzen und 206 Mikrowellendistanzen
- Nur Netz 1. Ordnung: Variante 4: 23 Azimute, 4 Distanzen aus B.V.N., alle Richtungen
Variante 5: hinzufügen von 61 EDM Distanzen und 95 Mikrowellendistanzen

Für das stochastische Modell wurden folgende Annahmen getroffen:

Festpunkt:	TP Gurten	
m.F. a priori:	astronomische Azimute	1.5 ^{cc}
	Richtungen	2.0 ^{cc}
	Laserdistanzen	5 mm + 1 ppm
	Mikrowellen-Distanzen	20 mm + 4 ppm
	Zentrierfehler	3 mm

4.3 Beurteilung der Präanalyse

Die wichtigsten Angaben und Resultate dieser Varianten sind in nachstehender Tab.4.3-1 zusammengestellt. In der Variante 1 wird klar ersichtlich, dass die Orientierung das schwächste Bestimmungsglied ist: MFA = 850 mm, MFAZ = 4^g für den Punkt Muttler (*siehe Anhang B3*). Werden, wie in der Variante 2, weitere Azimute eingeführt, so sind die Distanzen (4 Distanzen aus den B.V.N.) das schwächste Bestimmungsglied: MFA = 386 mm, MFAZ = 97^g ebenfalls für den Punkt Muttler. Führt man in der Variante 3 EDM-Distanzen hinzu, so wird wieder die Orientierung das schwächste Bestimmungsglied: MFA = 163 mm, MFAZ = 1^g. Die Einführung der astronomischen Azimute sowie der EDM-Distanzen reduzieren die grossen Halbachsen der mittleren Fehlerellipsen auf einen Fünftel des ursprünglichen Wertes.

Variante Netz	Anzahl Beobachtungen Freiheitsgrad	mittlere Fehlerellipsen			lokale Zuverlässig. Anzahl zi < 25%
		max. MFA [mm]	MFB [mm]	AZ [g]	
1 1./2.Ord.	Festpunkt: Gurten 1 Azimut: Nies.-Gurten 4 Distanzen (B.V.N.) 1676 Richtungen 217 Neupunkte 1032 Freiheitsgrad	<i>TP Muttler</i> 848	407	4	<i>TP Bantiger</i> 39 35 -88 8
2 1./2.Ord.	25 Azimute 4 Distanzen (B.V.N.) 1676 Richtungen 217 Neupunkte 1056 Freiheitsgrad	386	202	97	35 19 42 7
3 1./2.Ord.	28 Azimute 276 Laserdistanzen 206 Mikrow.distanzen 1826 Richtungen 237 Neupunkte 1614 Freiheitsgrad	163	108	1	15 10 -63 17 davon 9 bei Dist.
4 1.Ord.	23 Azimute 4 Distanzen 282 Richtungen 53 Neupunkte 149 Freiheitsgrad	<i>TP Muttler</i> 482	279	-99	<i>TP Niesen</i> 114 59 -30 8
5 1.Ord.	23 Azimute 61 Laserdistanzen 95 Mikrow.distanzen 298 Richtungen 53 Neupunkte 316 Freiheitsgrad	236	194	-1	40 27 70 8 davon 2 bei Dist.

Tab. 4.3-1: Zusammenstellung der Resultate der Präanalyse

Der Vergleich des Netzes 1./2.Ord. (Variante 3: MFA = 163 mm, MFB = 108 mm) mit dem Netz 1.Ord. alleine (Variante 5: MFA = 236 mm und MFB = 194 mm) zeigt eine eindeutige Verbesserung der Genauigkeit um ca. 70%, wenn die Messungen des Netzes 2.Ordnung auch berücksichtigt werden.

Bei der Berechnung der Präanalyse waren in LTOP die Indikatoren der äusseren Zuverlässigkeit noch nicht eingebaut. Für die Beurteilung der Zuverlässigkeit konnte also nur über die Zi und Ki (Parameter der inneren Zuverlässigkeit) verfügt werden. In der Variante 3 sind 17 Zi kleiner als 25%. Fünf davon betreffen die Richtungen und bewegen sich zwischen 10 und 20%. Sie werden jedesmal durch fehlende Gegenvisuren verursacht, entweder infolge einer Nichtstationierung auf dem Gegenpunkt (St-Pierre, Forch und Portjengrat) oder einer vergessenen Visur. Bei den Distanzen erhalten die zwei Netzelemente im Grenzgebiet Monte Generoso - Monte Palanzuolo und Monte Generoso - Campo dei Fiori die schwächsten Zi mit 7% resp. 13%. Auch Weissfluh - Schwarzhorn (GR) mit Zi = 14% ist schwach; sonst liegen die Zi über 19%.

Die Präanalyse hat keine echte Schwäche im Netz aufgedeckt. Das Netz 1./2. Ordnung ist ziemlich homogen aufgebaut und lässt daher kaum Überraschungen erwarten. Aus dem Netzplan wird einzig die schwache Nord-Süd Verbindung über die Alpen mangels genügender Laserdistanzen klar ersichtlich. Es wurde daher beschlossen, die Verbindung Vorab - Piz Tgietschen - Cramosino mit dem Geodimeter 8 zu messen, was 1986 durch die L+T auch realisiert wurde.

5 Datenerfassung

5.1 Grundsätze

5.1.1 Koordinaten

Als Ausgangskordinaten (Näherungskordinaten der Ausgleichung) wurden die offiziellen Landeskoordinaten aus den Originalprotokollen der L+T punktweise erfasst. Dabei wurden sämtliche Zwischenwerte seit der Erstellung bis zum heute gültigen Wert mit der entsprechenden Datumsbezeichnung ins Koordinatenfile aufgenommen. Die später bei der Erfassung der Messungen notwendig gewordenen Koordinaten der Exzentren wurden laufend ergänzt.

5.1.2 Messungen

a) Richtungen

Grundsätzlich wurden die Originalmessungen erfasst (d.h. Rohwerte ohne jegliche Verarbeitung wie Stationsausgleichung oder Zentrierung).

Die Messungen vor 1900 wurden nicht oder nur in Ausnahmefällen erfasst.

Winkelbeobachtungen, die mehr als 10 bis 15 Jahre auseinander liegen, wurden in der Regel nicht vereinigt.

Datensätze von Arbeiten, die erst vor relativ kurzer Zeit abgeschlossen worden sind, wie z.B. die Alpentravese oder die Beziehung Gurten - Zimmerwald, wurden nicht mehr von Grund auf neu überarbeitet.

b) Distanzen

Die Distanzen wurden von verschiedenen Instituten bezogen. Grundsätzlich erfasste man Rohdistanzen, welche meteorologisch korrigiert und auf schiefe Distanzen (Stein-Stein) sowie auf Gebrauchshöhen reduziert wurden, bevor sie in die Berechnung mit LTOP übernommen wurden.

5.2 Software

Folgende *Software der L+T* stand bereits zur Verfügung:

Programm	Zweck
AK	Erfassung der Punktkoordinaten und -beschreibung
PKTED	Erfassung von Punktkoordinaten (nur für Einzelfälle)
MESSED	Erfassung der Winkel oder Richtungen und deren Umrechnung in gon, sowie Erfassung der Meteodaten und Berechnung der troposphärischen Korrektur der Distanzen
LTOP	provisorischen Abrisse und alle Netzausgleichungen

Die folgenden Programme mussten neu geschrieben werden:

STATAUS (L+T)	Stationsausgleichung von unvollständigen Richtungssätzen (<i>Autor: D. Schneider, nach der Theorie von [Höpcke, 1969]</i>)
ZENTRIER	Zentrierungen (U. Gerber)

Die Beschreibung zu diesen Programmen ist den jeweiligen L+T-Bulletins zu entnehmen: AK ist im L+T-Bulletin Nr.10, PKTED/MESSED im L+T-Bulletin Nr.12, ZENTRIER im L+T Zwischenbericht Nr.18 und LTOP im L+T-Bulletin Nr.18 dokumentiert. STATAUS (L+T) hat nur eine provisorische Dokumentation.

Folgende *Software der ETH Zürich* kam ebenfalls zur Anwendung:

STATAUS (ETH)	Stationsausgleichung der durch die ETH erfassten Winkel und Richtungen. In diesem Programm werden die Messungen schon vor der Stationsausgleichung auf die definierten Referenzpunkte zentriert.
GK18	verschiedene Schritte der Distanzreduktion wie: atmosphärische Reduktion, geometrische Reduktion (Stein -Stein) etc. und für die Zentrierungen

5.3 Erfassung der Koordinaten

Die Koordinatenerfassung der Punkte 1. und 2. Ordnung begann im Winter 1985/86 mit Hilfe des Programmes AK auf dem Prime-Computer der L+T. Sämtliche Koordinaten der materialisierten Punkte und Exzentren wurden aus den Originalprotokollen der L+T entnommen. Ein grosser Teil der (nicht materialisierten) Exzentren musste aber mit mühsamer Sucharbeit entweder in den Berechnungsbogen, in den Winkelzusammenstellungen oder gar in den Originalfeldbüchern des L+T-Archives auffindig gemacht werden. Parallel zur Winkelerfassung mussten diese Koordinaten fortlaufend in der Stammdatei ergänzt werden.

5.3.1 Punktbeschreibung

Für die vollständige Punktbeschreibung wurden gemäss Programm AK folgende Felder belegt:

- 1 LK-BLATTNUMMER
- 2 NEUE PUNKTNUMMER
- 3 PUNKTBEZEICHNUNG
- 4 y-KOORDINATE
- 5 x-KOORDINATE
- 6 HÖHE
- 7 ALTE NUMMER / NAME: VOLLSTÄNDIGER PUNKTNAME
- 8 KURZNAME (für LTOP): MAXIMAL 10 ZEICHEN
- 9 KANTON
- 11 ORDNUNG
- 12 VERSICHERUNGSART
- 14 DATUM

Erläuterungen zu diesen Feldern und die entsprechenden Abkürzungen (vor allem zur Punktbezeichnung und zur Versicherungsart) sind in der Beilage "Erklärungen zu den einzelnen Kolonnen und Abkürzungen" des Operatsbandes zu entnehmen.

5.3.2 Kurzname / Koordinatenverzeichnis für LTOP

Das Datenformat des Programmes LTOP akzeptiert für die Punktidentifizierung 10 Zeichen als Punktname und 4 Zeichen für die Punktbezeichnung. Diese 14 Zeichen sind also in den Abrissen für jede Messung ersichtlich. Damit jede erfasste Messung von der Ersterfassung bis zum definitiv zentrierten Mittelwert eindeutig dem richtigen Punkt resp. den richtigen Koordinaten zugeordnet wurde, musste dieser "LTOP-Name" klar genug definiert werden. Dies wurde erreicht, indem der vollständige Punktname sinngerecht auf maximal 8 Zeichen abgekürzt wurde (sofern überhaupt notwendig) und 2 Ziffern für die entsprechende Jahrzahl der Koordinaten verwendet wurden. Zusammen mit der zutreffenden Punktbezeichnung war damit die Zuordnung für alle Fälle gelöst. So lautet z.B. der Name für einen exz. Heliotrop von 1914 auf dem Niesen: NIESEN14 .HE.

Während das vollständige Koordinatenverzeichnis, welches nach den LTOP-Namen alphabetisch sortiert ist, sämtliche erfassten Angaben beinhaltet, benötigte man für die Berechnungen ein Verzeichnis mit Näherungskordinaten, welches nur den für LTOP notwendigen Inhalt aufweist (wie LTOP-Punktname inkl. Punktbezeichnung, Datum, neue Nummer, Koordinaten und Höhen, Geoidkoten und Lotabweichungen).

5.3.3 Verzeichnis der Referenzpunkte

Alle Messungen der Diagnoseausgleichung 1./2. Ordnung mussten pro Triangulationspunkt auf einen einzigen Referenzpunkt zentriert werden. Um später für die Berechnungen mit den definitiv zentrierten Messungen nicht immer das gesamte Koordinatenverzeichnis mitschleppen zu müssen, entstand ein Koordinatenfile, das nur die Referenzpunkte enthält.

Nach Abschluss der definitiven Berechnung DIA93 im März 1993 wurden sämtliche Koordinaten-Files kontrolliert, nachgeführt und zum Teil auch umbenannt. Die Liste der definitiven Files der Diagnoseausgleichung ist im Operatsband integriert.

5.4 Erfassung der Winkelmessungen und Stationsausgleichung

5.4.1 Vorgehen

Der Ablauf für die Erfassung der Winkelbeobachtungen war nach einem einheitlichen Schema mit einheitlichen File-Bezeichnungen organisiert. Das detaillierte Vorgehen ist im Operatsband der Diagnoseausgleichung 93 beschrieben. Es werden hier deshalb nur die wichtigsten Arbeitsschritte angegeben:

- 1) Heraussuchen und Photokopieren der Winkelzusammenstellungen in den Archivakten

- 2) Definition der neuen Punktbezeichnungen und Zuteilung der m.F. für die einzelnen Winkelbeobachtungen
- 3) Erfassung der Messungen und deren Umwandlung von Altgrad in gon
- 4) Stationsausgleichung mit STATAUS
- 5) Zentrierung des Richtungssatzes aus 4) auf die DIA-Referenzpunkte mit ZENTRIER
- 6) Provisorische Abrisse mit LTOP zur Kontrolle

Punkte 1) bis 6) entsprechen dem normalen und idealen Vorgehen. Natürlich gab es auch viele Spezialfälle für die Behandlung der Stationsausgleichungen. Nähere Angaben dazu sind dem Operatsband zu entnehmen.

5.4.2 Methode der Stationsausgleichung

Der Original-Messdatensatz umfasste für jeden Stationspunkt eine grosse Zahl von Einzelwinkeln, welche ihrerseits wieder mehrfach gemessen worden waren (Repetitions-Winkelmessung). In einigen Fällen mussten daneben noch Richtungssätze eingeführt werden. Damit neben der vorgängigen Bereinigung der Messdaten gleichzeitig eine Konzentration des Beobachtungssatzes erreicht werden konnte, wurde der klassische Weg der Stationsausgleichung beschränkt.

Der Idealfall der vollständigen Richtungssätze, bei welchem in jedem Satz sämtliche Richtungen beobachtet wurden, trat nur in seltensten Ausnahmen auf. Normalerweise lagen unvollständige Richtungssätze vor. Bei der Stationsausgleichung solcher Richtungen (oder Winkel) sind die ausgeglichenen Richtungen jeweils algebraisch korreliert. Wie die meisten Netzausgleichungsprogramme, erlaubt auch LTOP die Einführung von korrelierten Beobachtungen nicht. Die Korrelationen müssen deshalb vernachlässigt werden, was dann zulässig ist, falls die Korrelationen gering sind. Wie anhand von Beispielen nachgeprüft wurde, bleibt die Vernachlässigung von Richtungskorrelationen mit Koeffizienten $|r| < 0.3$ i.A. ohne merkbare Folgen auf das Resultat der Ausgleichung. Falls grössere Korrelationskoeffizienten auftreten, ist Vorsicht bei der Netzausgleichung angebracht, da die Beobachtungen offenbar unregelmässig über den Horizont verteilt sind. Folgende Massnahmen wurden beim Auftreten grösserer Korrelationen jeweils erwogen:

- Suche nach fehlenden Richtungen (Winkel)
- Ergänzung durch Richtungsmessungen nach Zwischenpunkten (TP 3.Ord.)
- Aufteilung der Sätze in mehrere homogenere Sätze

Die Stationsausgleichungen wurden mit dem Programm STATAUS (L+T) nach der Methode von [Höpcke, 1969] berechnet. Dabei wird jeweils die sogenannte Helmertsche Äquivalente Q-Matrix berechnet, auf deren Basis schliesslich realistische Korrelationskoeffizienten bestimmt werden können.

5.4.3 Gewichtswahl der einzelnen Winkel

Der m.F. eines einmal gemessenen Winkels wurde auf $1''$ ($\hat{=} 3''$) geschätzt. Da im Programm MESSED der Beobachtungstyp Winkel nicht vorgesehen ist, wurden die Winkel als Messung von zwei Richtungen in gon abgespeichert. Es mussten daher die entsprechenden m.F. auf eine solche Richtung umgerechnet werden (durch Division mit $\sqrt{2}$). Dies ergibt sodann $2.2''$ für eine einmal eingeführte Richtung:

$$\Rightarrow \sigma = 2.2''$$

$$\Rightarrow \text{m.F.} = \frac{\sigma}{\sqrt{p}} = \frac{2.2''}{\sqrt{1 + (n-1)/10}}$$

Das Gewicht p für die einzelnen Winkel wurde wie folgt festgelegt:

$$p = 1 + (n-1) / 10 \quad \text{für } n < 35$$

$$p = 4.4 \quad \text{für } n \geq 35$$

$$n = \text{Anzahl Messungen}$$

Mit diesem Ansatz wird das Gewicht eines mehrfach gemessenen Winkels nicht linear abhängig von der Anzahl Messungen n , sondern für grosse n stark gedämpft. Dies ist auch realistischer, schliesslich

kann ein Winkel nicht durch eine beliebigfache Wiederholungsmessung beliebig genau gemessen werden. Vor allem bei den Repetitionstheodoliten sind die Winkel mit sehr hohen Wiederholungszahlen gemessen worden. Damit diese Messungen gegenüber jenen mit gewöhnlichen Theodoliten nicht zu stark übergewichtet wurden, wurde bei den Repetitionstheodoliten eine 8-fache Wiederholung als eine einzige Messung ($n=1$) betrachtet.

5.4.4 Beurteilung der Stationsausgleichungen

Jede Stationsausgleichung wurde beurteilt. Waren die Verbesserungsbeträge gewisser Winkel grösser als $3''$, so wurden die Erfassungsbogen und die eigentliche Erfassung untersucht. Für grössere Unstimmigkeiten ($> ca. 8''$) konnte immer eine Ursache gefunden werden. Kleinere Unstimmigkeiten, für welche kein Grund gefunden wurde, sind vorläufig belassen worden, in der Meinung, dass die freie Ausgleichung weitere Informationen liefern könnte.

Es wurden 470 Stationen mit insgesamt 4700 Winkeln erfasst. Bei 40 Stationen sind Verbesserungen mit Beträgen grösser als $3.0''$ entstanden; insgesamt liegen ca. 150 Verbesserungen über diesem Grenzwert, der max. Wert beträgt $7''$.

Die Korrelationswerte wurden ebenfalls untersucht. Um Werte grösser als 0.30 zu vermindern, hat man probiert, weitere Winkel auf 3. Ordnung Punkte einzuführen. Dies war nur beschränkt möglich, weshalb einige Korrelationswerte über diesem Wert geblieben sind.

Bei 210 Stationen sind Korrelationswerte grösser als 0.30 vorhanden; gesamthaft liegen ca. 1900 von 9500 Werten über dieser Vorgabe.

5.4.5 Beurteilung der Zentrierungen

Die Zentrierung selbst war in dieser Phase noch nicht zu prüfen, konnte aber anhand der Fehlermeldungen bereits auf grobe Unstimmigkeiten beurteilt werden. Ob die Zentrierbeziehungen richtig gewählt wurden, kam erst bei den provisorischen Abrissen in LTOP zu Tage.

Punkte, die in Wirklichkeit identisch sind, d.h. keine materielle Veränderung hinter sich haben, aber verschiedene Punktbezeichnungen und Koordinaten besitzen - wie es bei der Erneuerung der Triangulation in der Westschweiz vorkommt - durften nicht zentriert werden. Diese Punkte sind im Koordinatenverzeichnis mit einem Hinweis gekennzeichnet.

5.4.6 Beurteilung der provisorischen Abrisse

Nach der Stationsausgleichung und Zentrierung eines Punktes wurde ein provisorischer Abriss mit LTOP gerechnet. Dafür standen die offiziellen Landeskoordinaten zur Verfügung. Hier ging es primär darum, die Punktidentitäten zu prüfen und allenfalls zu korrigieren. Bei jeder Verbesserung grösser als $5''$ bis $6''$ wurde die Richtigkeit der Erfassung kontrolliert. Es blieben aber einige grössere Verbesserungen übrig, die nicht erklärt werden konnten. Allfällige Fehler glaubte man später in der freien Ausgleichung entdecken zu können.

5.4.7 Alpentravese

Das IGP der ETH Zürich befasste sich schon seit Beginn der 80er Jahre mit dem Projekt *Alpentravese Gotthard* [Elmiger und Steinegger, 1984; Elmiger et al., 1994], wo es sich u.a. zum Ziel setzte, mittels Distanzmessungen den Massstab unseres Landesnetzes im Hochgebirge zu überprüfen, Vergleiche zum klassischen Triangulationsverfahren herzustellen und den Einfluss der Refraktion näher zu untersuchen.

Zu diesem Zweck wurden durch das IGP ebenfalls die Winkel aus den Archivakten der L+T erfasst und neu ausgeglichen. Mit dem vollständigen Messmaterial wurde schliesslich auch eine Gesamtausgleichung aller drei Netzteile (Testnetz Gotthard, Erweiterung Tessin und Erweiterung Nord-Ost) mit dem Programm LTOP auf dem Prime Computer der L+T berechnet. Damit waren die Daten bereits auf der Prime abgespeichert und konnten so zu einem grossen Teil für die Diagnoseausgleichung übernommen werden. Die Ausnahme bildeten die Randpunkte, weil dort nur die Richtungen zu den Punkten im Netzinnern erfasst waren. Es mussten somit auch die Richtungen zu den äusseren Anschlusspunkten der Diagnoseausgleichung ergänzt und neu einer

Stationsausgleichung unterzogen werden. Die Punktnamen waren denen der Diagnoseausgleichung anzupassen und alle Messungen mussten schliesslich auf die Referenzpunkte zentriert werden.

5.5 Erfassung der Distanzen

5.5.1 Erfasste Distanzen

Folgende Distanzmessungen wurden in die Diagnoseausgleichung 1./2.Ordnung DIA93 aufgenommen:

Distanzgruppe	EDM-Gerät	Institut	Träger L / M	Zeitraum der Messung
1	Geodimeter-8	SGK	L	1969-82
2	Geodimeter-8 (Westschweiz, BL/BS)	L+T	L	1972-82 / 1986
3	Geodimeter-8 (Alpentransverse Gotthard)	IGP	L	1983-86
4	DI-20 und Mekometer	L+T	L	1982
5	SIAL (Alpentransverse Gotthard mit Bodenmeteo)	IGP	M	1981 / 1984
6	SIAL (Alpentransverse Gotthard mit Flugmeteo)	IGP	M	1983-86
7	SIAL (Deutschland)	DGK	M	1977
8	DI-50	SGK	M	1963-73
9	Tellurometer MRA1	SGK	M	1963

Tab. 5.5-1: Distanzgruppen (Träger: L = Licht, M = Mikrowellen)

Infolge verschiedener Herkunft der Distanzen war es möglich, dass bei der ursprünglichen Erfassung die gleichen Distanzen mehrmals verwendet wurden. Vor der Berechnung musste dies gründlich untersucht und bereinigt werden.

5.5.2 Allgemeines Vorgehen

Grundsätzlich lief die Erfassung der Distanzen nach folgendem Schema ab:

- 1) Reduktion der Originaldistanzen (Instrumentenhöhe - Reflektorhöhe) auf schiefe Distanzen (Stein - Stein) bezüglich der Referenzpunkte im Schweizer Datum, unter Einbezug folgender zusätzlicher Korrekturen (Programm MESSED, [Bulletin Nr.4 des RZ L+T]):
 - instrumentelle Korrekturen:
 - Additionskonstante
 - Modulationsfrequenz
 - atmosphärische Korrekturen:
 - 1. Geschwindigkeitskorrektur
 - 2. Geschwindigkeitskorrektur
 - Strahlenkrümmung
- 2) Bereinigung der Punktidentitäten auf den Erfassungsbogen
- 3) Erfassung der Distanzen ab den Erfassungsbogen mit dem Programm MESSED
- 4) Zentrierung auf den Referenzpunkt von DIA93 mit dem Programm ZENTRIER
- 5) Berechnung eines provisorischen Abrisses zur Grobkontrolle der erfassten Distanzen, vorerst mit den offiziellen Landeskoordinaten, später mit resultierenden Koordinaten aus der Neuausgleichung der Richtungen

Jede EDM-Gruppe musste infolge unterschiedlicher Herkunft auf eine besondere Art behandelt werden. Diese nähere Beschreibung des Vorgehens ist ebenfalls dem Operatsband zu entnehmen.

5.6 Erfassung der astronomischen Azimute

5.6.1 Erfasste Azimute

Die astronomischen Azimute wurden im September '91 und März '92 aus folgenden Berichten an die Schweizerische Geodätische Kommission entnommen:

- Astronomisch-geodätische Lotabweichungen in der Schweiz. Zusammenstellung 1867-1970 [Elmiger, 1971]
- Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz. Arbeiten der Bodenseekonferenz, Basis-messung Heerbrugg 1959 [Schürer, 1987]

Es wurden alle astronomischen Azimute auf den Punkten 1./2.Ordnung erfasst. Dies sind total 59 Azimute. Die angegebenen geodätischen Azimute (AZ) wurden ohne Überprüfung der astronomischen Korrekturen übernommen.

5.6.2 Vorgehen

Die Erfassung der Azimute geschah nach folgendem Ablaufschema:

- 1) Zuteilung der richtigen Punktbezeichnungen im erwähnten Bericht
- 2) Erfassung der Azimute mit dem Programm MESSED als Beobachtungstyp RA (Richtung in Altgrad) und Umrechnung in gon (RI)
- 3) Zentrierung der Beobachtungen auf die Referenzpunkte von DIA93 mit dem Programm ZENTRIER. Bei der Zentrierung der astron. Azimute muss die Korrektur der Meridiankonvergenz-Differenz (dmu) angebracht werden. Diese wurde von Hand an dem Azimut Hohentannen Ost - Nollen (dmu = 106^{cc} , Exz.dist. 980 m) angebracht. Da bei den übrigen Zentrierungen die Exzentrumsdistanzen nur wenige Meter betragen, wurde auf die Korrektur von Bruchteilen einer Neu-Sekunde (cc) verzichtet.
- 4) Umwandlung des Beobachtungstypes RI in AZ
- 5) Berechnung von provisorische Abrissen mit LTOP als Identitätskontrolle
- 6) Einführung der astronomischen Azimute (AZ) ins definitive Messfile

Die Azimutreduktion wird in LTOP gemäss [Bolliger, 1967] angebracht.

5.7 Erfassung der Lotabweichungen und Geoidhöhen

Die Lotabweichungen und Geoidkoten wurden mit dem Programm GEOLOT (Version 5.0 vom Januar 1992) berechnet. Die Software verwendet das Gurtner-Geoid der Schweiz [Gurtner, 1978].

Insgesamt waren auf 26 Laplace-Stationen direkt gemessene η -Werte (West-Ost-Komponente der Lotabweichung) aus den gleichen Quellen wie jenen für die astronomischen Azimute verfügbar [Elmiger, 1971]. Diese konnten mit den entsprechenden Resultaten aus dem Programm GEOLOT verglichen werden. Der Vergleich hat ergeben, dass von den 26 beobachteten η -Werten lediglich neun mehr als 3^{cc} von den Modellwerten abweichen. Es sind dies die Punkte Chasseral, Daube Dôle, Mte Generoso, Hoher Freschen, Nollen, Briener Rothorn, Suchet und Sulzfluh. Die Differenzen schwanken zwischen -6.7^{cc} und $+5.7^{\text{cc}}$.

Man kann im allgemeinen davon ausgehen, dass die gemessenen η -Werte eine bessere Qualität aufweisen als die Modellwerte von GEOLOT. Lediglich auf den Stationen Chasseral und Sulzfluh zog man den Modellwert vor. Für die 24 anderen Laplace-Stationen wurden somit die gemessenen η -Werte übernommen. Damit wurde für alle Reduktionen vom Geoid auf das Ellipsoid, insbesondere aber für die Azimutreduktion, welche sehr stark vom η -Wert abhängt, eine gegenüber dem Modell verbesserte Grundlage geschaffen.

5.8 Erfassung weiterer Daten

Schliesslich wurden noch folgende Daten erfasst:

Distanzen

- aus Basisvergrößerungsnetzen (B.V.N.)
 - die 3 Distanzen Chasseral-Rötifluch, Hörnli-Hersberg und Gridone-Menone aus den ursprünglichen B.V.N. der Basen "Aarberg", "Weinfeldern" und "Giubiasco" von 1890
 - die Distanz Gridone-Menone aus der Neuausgleichung des B.V.N. der Basis "Giubiasco" von 1981
 - die Distanzen Hörnli-Hersberg und Gridone-Menone aus den Neuausgleichungen der B.V.N. der Basen "Weinfeldern" und "Giubiasco" von 1985
 - die Distanz Säntis-Pfänder aus dem B.V.N. der Basis "Heerbrugg", Ausgleichung 1981 und Neuausgleichung 1987
- aus mobilen SLR-Kampagnen
 - die Distanz Monte Generoso-Zimmerwald, abgeleitet aus den SLR (Satellite Laser Ranging) Messungen 1985
 - die direkten Laser-Distanzen Monte Generoso - Jungfrauoch und Zimmerwald - Jungfrauoch, gemessen mittels Terrestrial Laser Ranging (TLR) der mobilen SLR-Station der TU Delft von 1985 [Bürki et al., 1986]
- fingierte Beobachtungen
 - die Koordinatendifferenzen für 14 RETrig-Punkte, die nicht identisch mit den Referenzpunkten von DIA93 sind

6 Datenbereinigung

Schon während der Datenerfassung wurden zur Kontrolle jeweils provisorische Abrisse mit den offiziellen Ausgangskordinaten berechnet. So konnte ein Grossteil von Fehlern in den Punktidentitäten oder von Übertragungsfehlern bereits lokalisiert und entsprechend korrigiert werden. Es blieben aber Ungeheimheiten übrig, welche man in den später folgenden freien Ausgleichungen zu entdecken hoffte und auch fand. Es wäre sicher zu weit gegriffen, in diesem Bericht alle entdeckten Fehler zu kommentieren, dies kann im detaillierten Arbeitsbericht des Operatsbandes nachgelesen werden. Hier wird einzig auf die wesentlichen Zwischenetappen kurz eingegangen.

6.1 Freie Ausgleichungen des Richtungsnetzes

Die erste freie Ausgleichung fand im November 89 statt. TP Rigi wurde als Festpunkt, 3 Distanzen aus den 3 Basisvergrößerungsnetzen wurden für die Massstabsbestimmung und 5 astronomische Azimute aus dem Netz Waadtland für die Orientierung gewählt. Der m.F. a posteriori von 4.5^{cc} war enttäuschend. Es gab keine Ausreisser, die grösste Verbesserung (v) lag bei 12^{cc} ; etliche v waren zwischen 5^{cc} und 8^{cc} . Eine erste Untersuchung ermöglichte die Feststellung von nur 2 - 3 kleinen Fehlern. Um das Fehlersuchen zu vereinfachen, entschloss man sich, die vorhandene RETrig-Lösung als Hilfsmittel beizuziehen und deren Koordinaten als Beobachtungen einzuführen.

Ausgleichung mit RETrig-Koordinaten

Aus dieser Berechnungsphase, wo zuerst die Punkte 1. Ordnung alleine und anschliessend auch das gesamte Richtungsnetz analysiert wurden, konnten weitere Identitätsfehler, Winkelfehler und kleine Unstimmigkeiten in den Stationsausgleichungen gefunden werden. Davon betroffen waren die Punkte Rötifluch, Scheye, Feldberg, Chasseral, Faux d'Enson und Berra. Auch merkte man, dass die aus den Stationsausgleichungen übernommenen m.F. zu optimistisch waren und deshalb die Beurteilung der normierten Verbesserungen w_i zu Fehlinterpretationen führte. Es wurde in der Folge ein **einheitlicher m.F. a priori von 1.7^{cc}** für alle Richtungen angenommen.

Resultate der Ausgleichung vom 17.10.90	
Eliminierte Beobachtungen ("flag" ELIM):	58 von 1961
m.F. a posteriori:	2.2 ^{cc}
norm. Verbesserungen:	
$ w_i > 4.0$:	6
$3.9 > w_i > 3.0$:	45
Ausreisser, welche nicht eliminiert wurden:	
$6.0^{cc} > v_i > 4.0^{cc}$:	70
$10.0^{cc} > v_i > 6.0^{cc}$:	15
Ausreisser, welche eliminiert wurden:	
$17.3^{cc} > v_i > 4.2^{cc}$:	58

Es wurde entschieden, die weitere Fehlersuche erst im kombinierten Richtungs- und Distanznetz fortzusetzen.

6.2 Freie Ausgleichungen des kombinierten Richtungs- und Distanznetzes

In der Ausgleichung vom 16.9.91 sind Richtungen, Geodimeterdistanzen und Azimute vorhanden. 70 w_i sind grösser als 2.5 (max. 4.7). Es erwies sich, dass die Zentrierung der Distanzen auf Dôle falsch war, und etliche Beobachtungen noch ergänzt werden mussten. Auch wurden die Nummern und die m.F. der Distanzgruppen angepasst. In der Ausgleichung vom 6.11.91 sind bis auf wenige Ergänzungen alle Messelemente enthalten. 52 w_i liegen noch immer über 2.5 (max. 3.4). Nach nochmaligen geringen Anpassungen und Ergänzungen lag schliesslich am 1. April 1993 die definitive freie Ausgleichung des Kombinetzes vor.

7 Definitiver Datenbestand

7.1 Definitives Beobachtungsdatenpaket

Das definitive Datenpaket beinhaltet 240 Punkte und 2560 Beobachtungen:

Anzahl	Elemente	Zeitepoche
1993	Richtungen	1893 - 1982
53	astronomische Azimute	1890 - 1970
297	Geodimeter-8 Distanzen	1969 - 1986
7	DI-20/Mekometer Distanzen	1982
98	SIAL Distanzen	1977 - 1986
105	DI-50 Distanzen	1963 - 1973
7	Tellurometer Distanzen	1963

Tab. 7.1-1: Definitives Datenpaket

Ferner folgende Distanzen, die allerdings nur zu Vergleichszwecken und daher mit dem Gewicht Null (ELIM) in die Ausgleichung eingeführt wurden:

3	Basisvergrößerungsseiten aus der ursprünglichen Berechnung	1890
5	Basisvergrößerungsseiten aus den neuen Ausgleichungen	1981 - 1987
3	Distanzen abgeleitet aus den TLR- und SLR-Messungen	1985

Tab. 7.1-2: Weitere Distanzen als Vergleich

Dies ergibt rund 10 Bestimmungselemente oder ca. 7 überschüssige Messungen pro Punkt. Die Bestimmungsdichte ist aber sehr unregelmässig verteilt, wie folgende Tabelle zeigt:

Anzahl Punkte	Bestimmungselemente
17	mehr als 50 (Maximum von 91 beim Punkt Chasseral)
29	30 bis 50
40	20 bis 30
124	10 bis 20
30	6 bis 10

Tab. 7.1-3: Unterschiedliche Bestimmungsdichte

Von den 30 Punkten, die mit weniger als 10 Elementen bestimmt wurden, sind ca. die Hälfte an der Landesgrenze oder auf ausländischem Gebiet gelegen. Die Distanzen wurden hauptsächlich im Mittelland/ Jura und in der Alpentravese Gotthard gemessen. In dieser Gegend finden wir auch die stark überbestimmten Punkte, vor allem in der Westschweiz, wo die Triangulation 1./2. Ordnung in den 70er Jahren erneuert wurde.

7.2 Eliminierte Messungen (Ausreisser)

In unserem Amt gilt das Prinzip, dass alle Messungen - auch jene, die weniger gut stimmen - dokumentiert werden müssen. So erscheinen in den *Abrissen 7 Azimute, 48 Richtungen, 4 Geodimeterdistanzen und 6 Mikrowellendistanzen*, welche in der Ausgleichung eliminiert wurden und demzufolge bei den oben erwähnten Elementen nicht mitgezählt wurden.

Sechs der eliminierten **Azimute** wurden vor 1900 beobachtet, das Azimut Pfänder-Hersberg 1951. Die Verbesserungen der eliminierten Azimute variieren zwischen 6.5^{cc} und 29.1^{cc} . Die Ursache könnte zum Teil auf eine Ungenauigkeit in der Längenbestimmung zurückzuführen sein, weil diese infolge der Problematik der Zeithaltung vor 100 Jahren schwieriger zu ermitteln war als jetzt. Auch unentdeckte Fehler bei der astronomischen Reduktion sind möglich. Die grössten Verbesserungen könnten aber auch durchaus noch mit Unsicherheiten bei Punktidentitäten zusammenhängen.

Der Betrag der Verbesserungen der eliminierten **Richtungen** variiert zwischen 6.6^{cc} und 16.0^{cc} , die meisten Querabweichungen liegen zwischen 20 und 50 cm. Bei den Winkelmessungen benützte man oft Heliotrope als Zielobjekt. Diese wurden häufig exzentrisch, wenige dm quer zu der Visur aufgestellt. Diese Exzentrizität ist nicht immer klar dokumentiert, was vermutlich einige grosse Verbesserungen erklären kann. Bei ca. einem Viertel der Fälle kommt die eliminierte Messung noch einmal in einem zweiten Satz vor, sodass dadurch keine Netzschwäche entsteht. Ein weiterer Viertel der Richtungen wurde Ende des letzten Jahrhunderts mit älteren Theodolitentypen beobachtet, was bekannterweise eine geringere Genauigkeit ergab.

Von den 4 eliminierten **Geodimeterdistanzen** sind drei doppelt gemessen, die Verbesserungen betragen rund 10 cm. Die vierte, Vorab - Säntis, erhält eine Verbesserung von 33 cm, was vermutlich auf die schlechten Messbedingungen zurückzuführen ist. Diese Elimination verursacht eine kleine Schwäche in der Distanzverbindung Nord - Süd über die Alpen in der Ostschweiz.

Die 6 eliminierten **Mikrowellendistanzen** erhalten Verbesserungsbeträge von 40 bis 60 cm, mit einer Ausnahme von 120 cm. Fünf davon sind DI-50 Distanzen, die zwischen 1963 und 1969 gemessen wurden. Drei betreffen den Säntis; eine Störung durch den Sender ist hier plausibel. Der letzte Ausreisser betrifft eine SIAL Distanz, die 1977 durch das Vermessungsamt in Baden-Württemberg gemessen wurde. Die Verbesserung beträgt 58 cm; dafür fanden wir keine Erklärung.

⇒ *Durch die Elimination dieser Ausreisser wird keine Netzschwäche verursacht; die Redundanz der Punktbestimmung genügt vollkommen.*

7.3 Inkonsequenzen bei den Richtungssätzen

Bei der Erfassung der Winkel galt der Grundsatz, dass Messungen verschiedener Zeitperioden im Hinblick auf kinematische Untersuchungen nicht vereinigt werden sollten. Der maximale Zeitabstand wurde auf ca. 10 - 15 Jahre festgelegt. Dieses Prinzip wurde bei den folgenden Stationen verletzt:

Berra	1913/1957
Chasseral	1905/1950
Faux d'Enson	1902/1950
Feldberg	1905/1937/1965

Es handelt sich hier um unvollständige Stationen, die bei mindestens einer Zeitperiode vorkamen; bei Feldberg z.B. war 1905 nur ein Winkel vorhanden. Dieses Zusammenfügen von verschiedenen Mess-epochen hat keinen negativen Einfluss in der Ausgleichung, solange über die ganze Zeitepoche nur eine statische Lösung gefragt ist und der Punktstandort sich unterdessen nicht verändert hat. Bei künftigen Untersuchungen von Krustenbewegungen muss diesem Sachverhalt Rechnung getragen werden.

8 Definitive Ausgleichung des kombinierten Netzes

Für die Datenbereinigung und das Zusammentragen des definitiven Datenbestandes (siehe Kap.6 und 7) waren verschiedene Ausgleichungsdurchgänge notwendig. Als Schlusslösung für DIA93 gilt nun die freie Ausgleichung des Kombinetzes vom 1. April 1993. Die Berechnung erfolgte mit dem Programm LTOP, Version 92.2.0 [Bulletin Nr.18 des RZ L+T], auf dem Prime Computer des Bundesamtes für Landestopographie.

8.1 Lagerung

Geod. Datum:	CH-1903
Koord. System:	Landeskoordinaten im Schweiz. Projektionssystem
Festpunkt:	Rigi
Orientierung:	53 astronomische Azimute
Masstab:	164 Geodimeterdistanzen der Distanzgruppe 1
Näherungskordinaten:	Zwischenwerte aus vorhergehenden provisorischen Ausgleichungen

8.2 Stochastisches Modell

Richtungen: m.F. a priori = 2.2^{cc}

Die Ansätze für die Gewichtwahl der Winkelmessung sind in Kap.3.4.2 behandelt. Aus den Stationsausgleichungen variierten die m.F. a posteriori der einzelnen Richtungen zwischen 0.5^{cc} und 4^{cc} . In den ersten Ausgleichungen erhielten die Richtungen mit kleinen m.F. logischerweise grosse normierte Verbesserungen w_i . Die grossen Differenzen zwischen den einzelnen m.F. in einem gleichen Satz widerspiegeln aber nicht die reellen Verhältnisse im Feld und beeinflussen das statistische Modell zu stark. Man hat daher beschlossen, alle m.F. kleiner als 2.2^{cc} durch 2.2^{cc} zu ersetzen, die grösseren aber zu belassen. Dieser Wert von 2.2^{cc} ergab sich aus dem Quotienten a posteriori von vorhergegangenen Ausgleichungen.

Azimute: m.F. a priori = 2.2^{cc}

Dieser Wert wurde ebenfalls anhand des Quotienten a posteriori der provisorischen Ausgleichungen festgelegt.

Distanzen: $(\text{m.F.D.})^2 \text{ a priori} = (A + B \cdot D + C \cdot D^2)^2 + Z^2$

Der mittlere Fehler für die Distanzen wird in LTOP nach dieser Formel berechnet. Für die verschiedenen Distanzgruppen sind die Ansätze der Variablen A, B und C aus nachstehender Tabelle ersichtlich:

Distanzgruppe		Gruppe	A [mm]	B [mm/km]	C [mm ² /km ²]
Geodimeter-8	SGK	1	5	1	0.00
Geodimeter-8	L+T	2	5	1	0.00
Geodimeter-8	IGP	3	6	1.5	0.00
DI-20/Mekom.	L+T	4	1	1	0.00
SIAL 1981	IGP	5	18	2	0.01
SIAL 1983/86	IGP	6	18	1.5	0.01
SIAL 1977	DGK	7	40	2	0.01
DI-50	SGK	8	30	2	0.02
Tellurometer	SGK	9	60	2	0.02

Tab. 8.2-1: Ansätze für die m.F.D. a priori

Die Parameter A, B und C wurden anhand von Erfahrungswerten festgelegt und bestätigten sich in den provisorischen Ausgleichungen. Die Parameter der Gruppe 3 sind grösser als jene der Gruppen 1 und 2, obwohl das gleiche Gerät verwendet wurde. Diese Messungen wurden von Studenten der ETH im Hochgebirge durchgeführt. Wir erklären uns diese Differenzen aus der mangelnden Erfahrung und gleichzeitig aus den erschwerten Messbedingungen. Die Gruppe 4 besteht aus vier indirekten Distanzen zwischen Gurten und Zimmerwald (9 km) und hat daher keinen bedeutenden Einfluss auf das Netz. Der Parameter Z entspricht dem Zentrierfehler. Für sämtliche Beobachtungsgruppen wurde der Zentrierfehler Z mit 0.0 mm angesetzt, da dieser für lange Distanzen praktisch vernachlässigt werden kann.

8.3 Resultate

8.3.1 Mittlere Fehler a posteriori

Aus der Ausgleichung resultierten folgende mittlere Fehler a posteriori für die einzelnen Beobachtungsgruppen:

Beobachtungsgruppe	Gr.	Anzahl	m.F. a post. [mm/km]	Quot. \hat{m}_0/σ	Redundanz	Massstab		
						Korr. [ppm]	m.F. [ppm]	
Geodimeter-8	SGK	1	164	5.6	0.93	122	fest	--
Geodimeter-8	L+T	2	120	6.5	1.08	70	0.02	±0.3
Geodimeter-8	IGP	3	13	7.4	0.98	7	-0.39	±0.6
DI-20/Mekom.	L+T	4	7	1.1	0.56	4	0.9	±0.8
SIAL 1981	IGP	5	27	16.2	0.81	22	3.4	±0.7
SIAL 1983/86	IGP	6	45	16.4	0.84	38	1.4	±0.5
SIAL 1977	DGK	7	26	49.9	1.19	22	0.1	±0.8
DI-50	SGK	8	105	27.1	0.85	100	5.0	±0.4
Tellurometer	SGK	9	7	75.7	1.22	5	11.7	±1.7
Richtungen		1993	2.2 ^{cc}	1.01	1336			
Azimute		53	2.0 ^{cc}	0.92	47			

Tab. 8.3-1: m.F. a posteriori für die Beobachtungsgruppen

Der m.F. a posteriori der EDM-Gruppe 2 ist ca. 20% höher als jener der Gruppe 1, obwohl mit dem gleichen Gerät, Geodimeter-8, gemessen wurde. Die Distanzen der Gruppe 1 wurden von der SGK unter der Leitung der Herren W. Fischer und N. Wunderlin gemessen. Die Messungen auf einer Station dauerten im allgemeinen den ganzen Tag, sodass die gleiche Distanz zwei bis mehrere Male gemessen wurde, und zwar meistens am Morgen und am Nachmittag. In der Ausgleichung ist der Mittelwert eingeführt. Die Distanzen der Gruppe 2 wurden durch die L+T gemessen, aber meistens nur einmal. Es war also eine bessere Qualität der ersten Gruppe zu erwarten, was wirklich bestätigt wurde.

Dies ist auch mit ein Grund, warum nicht alle Geodimeterdistanzen in der gleichen Gruppe eingeführt wurden. Erfreulicherweise ist festzustellen, dass der Massstabsfaktor gleich bleibt. Eine mögliche Begründung für den grösseren m.F. der Gruppe 3 wurde schon beim "Stochastischen Modell" (siehe Kap.8.2) gegeben. Der Massstabsfaktor (-0.4 ppm) dieser Gruppe ist auch nicht signifikant.

Die Gruppen 5 und 6 sind SIAL Messungen des IGP-ETHZ, die in Diplomkursen unter der Leitung von Prof. F. Chaperon und Dr. A. Elmiger durchgeführt wurden. Bei der Gruppe 5 wurde die Meteo auf der Station und dem Zielpunkt gemessen. Den Distanzen der Gruppe 6 hingegen liegt die Erfassung des Brechungsindex der Luft entlang dem Messstrahl durch Abfliegen (Flugmeteo-Erfassung) zugrunde [Elmiger et al., 1994]. Die Genauigkeit ist annähernd die gleiche, der Massstabsfaktor aber wird mit Berücksichtigung der Flugmeteo signifikant besser.

In der Gruppe 7 sind SIAL Messungen, die vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg im Rahmen ihrer Neutriangulation 1. Ordnung 1977 durchgeführt wurden. Alle Messungen wurden auf 30m-hohen Türmen oder Masten durchgeführt, um damit den bodennahen Schichten fernzubleiben und dadurch eine bessere Erfassung der Meteo zu erreichen. Erstaunlich ist der eindeutig höhere m.F. Der konstante Parameter A a priori wurde hier auf 40 mm gesetzt, gegenüber 18 mm bei den anderen SIAL Messungen. Eine leichte Erhöhung dieses Wertes könnte mit einer ungenaueren Zentrierung der 30m-Türme begründet werden, erklärt aber noch nicht die Grössenordnung. Der Massstabsfaktor hingegen stimmt mit jenem des Geodimeters genau überein, was wahrscheinlich auf die repräsentativere Meteo-Erfassung auf den Türmen zurückzuführen ist. Der grosse m.F. bleibt also vorläufig unerklärt. Die Umrechnung der Distanzen auf das geodätische Datum CH1903 wurde überprüft und als in Ordnung befunden.

Die DI-50 Messungen der Gruppe 8 stammen aus den Jahren 1963/1973. Ihre Genauigkeit ist erstaunlich gut, der Massstab weicht mit +5 ppm aber signifikant vom Massstab der elektrooptischen EDM-Gruppen ab.

Die Messungen der Gruppe 9 sind mit einem der ersten elektronischen Distanzmessgeräte überhaupt, dem Tellurometer MRA1, 1963 durchgeführt worden; ihre Qualität liegt entsprechend tiefer. Zur Wahrung der Vollständigkeit sind sie dennoch mitgenommen worden.

8.3.2 Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Punktbestimmung

In den Anhängen B4, B5 und B6 sind die Resultate graphisch dargestellt.

Mittlere Fehler der Koordinaten

Diese Grösse ist aus der mittleren Fehlerellipse jedes Neupunktes ersichtlich und bezieht sich bekannterweise auf die Lage bezüglich der gewählten Festpunkte, in unserem Falle also nur bezüglich dem 'Rigi'. Nach den Regeln der Fehlerfortpflanzung werden damit die Werte gegen die Randgebiete am grössten. Die maximale grosse Halbachse der mittleren Fehlerellipse entsteht beim Punkt Cima dei Piazzini (am Ostrand der Schweiz) und beträgt 181 mm mit einem Azimut von 3 gon.

Von grösserem Interesse und für unsere Betrachtungen aussagekräftiger sind daher die relativen Fehlerellipsen zwischen benachbarten oder extrem auseinanderliegenden Punkten. Die folgende Tab.8.3-2 zeigt einige Beispiele.

Seiten	Distanz [km]	MFA [mm]	MFB [mm]	MFAZ [gon]
Zwischen West- und Ostschweiz: <i>Piton (F) - Muttler (GR)</i>	337.5	216	133	-19
Zwischen Nord- und Südschweiz: <i>Chrischona (BS) - Monte Generoso (TI)</i>	209.2	142	56	69
Zwischen Nachbarpunkten 1.Ordnung: mit direkter Distanzmessung: <i>Säntis (SG) - Pfänder (A)</i>	43.7	40	28	-46
ohne direkte Distanzmessung: <i>Niesen (BE) - Oldenhorn (BE/VD)</i>	48.3	46	39	-75
Zwischen Nachbarpunkten 2.Ordnung: mit direkter Distanzmessung: <i>Gurten (BE) - Bantiger (BE)</i>	9.3	15	5	-54
mit direkter Richtungsverbindung: <i>Dammastock (UR) - Bristenstock (UR)</i>	22.4	39	38	-9
ohne direkte Verbindung: <i>Ärmighorn - Morgenberghorn (BE)</i>	11.3	53	31	-46
ohne direkte Verbindung am Randgebiet: <i>Mont Gelé - Ruinette (VS)</i>	8.7	118	98	-64

Tab. 8.3-2: Relative Fehlerellipsen zwischen ausgewählten Punkten

Im allgemeinen sind die relativen MFA zwischen Nachbarpunkten unter 40 mm, sofern eine direkte Verbindung zwischen den Punkten besteht, und unter ca. 60 mm zwischen Punkten ohne direkte Verbindung. Eine Ausnahme bilden die Randgebiete, wo der Wert bis ca. 120 mm erreichen kann, wie obiges Beispiel zeigt.

Zuverlässigkeitsindikatoren

Im Ausgleichsprogramm LTOP ist die Berechnung des Zuverlässigkeitsmodelles nach der Theorie von Baarda eingebaut. Dabei werden für jeden Neupunkt Indikatoren für die Zuverlässigkeit der Koordinaten gerechnet. Diese Werte werden als 'äussere Zuverlässigkeit' bezeichnet und zeigen den möglichen Einfluss eines groben, nichtentdeckten Fehlers einer Messung auf die Koordinaten der betroffenen Punkte [Burnand, 1990]. Die Indikatoren werden NA und NB (sog. Zuverlässigkeits-Rechtecke) genannt, wobei NA den grösstmöglichen und NB den senkrecht dazu stehenden Einfluss darstellt. Das Azimut des Vektors NA (AZI(NA)) und die Nummer der Messung, die diesen Vektor verursacht, werden ebenfalls angegeben. In Tab.8.3-3 sind einige Zahlenwerte von typischen Randpunkten aufgelistet.

Punkt	NA [mm]	AZI(NA) [gon]
Crêt de la Neige (F)	167	364
Chrischona (BS)	110	341
Monte Generoso (TI)	137	231
Pfänder (A)	100	59
Piz Bernina (GR)	255	173
Muttler (GR)	361	108
Dufourspitze (VS)	208	28

Tab. 8.3-3: Äussere Zuverlässigkeiten einiger Punkte

Die ersten vier Punkte sind mit Richtungen und Distanzen, die drei letzten nur mit Richtungen bestimmt. Randpunkte mit weniger als 10 Bestimmungselementen erreichen noch höhere Werte. Der

grösste Wert liegt beim Punkt Mompiccio mit 770 mm. Dieser Punkt ist allerdings schlecht ins Netz integriert und besitzt keine Verbindung mit direkten Nachbarpunkten.

8.3.3 Beurteilung des Netzaufbaus

Die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsindikatoren geben neben der Angabe zur einzelnen Punktqualität auch einen guten Eindruck über die Qualität des ganzen Netzes. Die visuelle Beurteilung des Netzes hat daher etwas an Wert verloren, gibt aber immer noch wertvolle Hinweise insbesondere auf die bestehenden oder eher nicht bestehenden Beziehungen zwischen Nachbarpunkten.

Gesamthaft betrachtet darf das Triangulationsnetz 1./2. Ordnung durchaus als homogen bezeichnet werden. Auf vereinzelte, fehlende Nachbarbeziehungen, eliminierte Messungen oder andere kleine Schwachstellen wird im Operatsband detailliert hingewiesen. Es sind dies aber alles nur sehr kleine Mängel, die dank der genügend grossen Überbestimmung des Netzes keine wesentlichen Einflüsse auf die Berechnung der Punktkoordinaten haben.

8.3.4 Beurteilung der Verbesserungen

Normierte Verbesserungen

In der freien Ausgleichung wird die Qualität der Messungen anhand der w_i -Beträge beurteilt. Der dafür festgelegte **Grenzwert** liegt bei **3.5** und darf nicht überschritten werden, wenn die Hypothesen des statistischen Modells respektiert werden sollen. In der vorliegenden Berechnung kommt noch eine einzige Richtungsmessung vor (Chaille - Chasseron), die diesen Grenzwert mit 3.6 effektiv überschreitet.

Man kann also feststellen, dass das Beobachtungsmaterial für die Diagnoseausgleichung von sehr guter Qualität ist. Es gibt zwar einige Ausreisser, die anhand der Datenbereinigung (*siehe Kap.4*) eliminiert werden mussten, welche aber die Resultate nicht massgebend beeinflussen würden.

Verbesserungen an den Messungen

In der Ausgleichung sollten die Verbesserungen an den Messungen normal verteilt werden. Die nachfolgende Tab.8.3-4 zeigt einen Überblick über den effektiven Stand.

Beobachtungen	Anzahl Verbesserungen								Total
	Beobachtungsgr.	<1xMF	% %+ %-	>1xMF <2xMF	% %+ %-	>2xMF <3xMF	% %+ %-	>3xMF <4xMF	
Azimute	42	79 57 / 43	9	17 33 / 67	2	4 50 / 50	-		53
Richtungen	1564	78 51 / 49	391	20 49 / 51	30	2 44 / 56	8		1993
Geodim.-Dist.	248	82 49 / 51	53	17 56 / 44	3	1 67 / 33	-		304
Mikrow.-Dist.	163	78 48 / 52	45	21 58 / 42	2	1 50 / 50	-		210
Total	2017		498		37		8		2560
wirkl. Verteilung		78.8 51 / 49		19.5 50 / 50		1.4 47 / 53		0.3	100%
Idealverteilung		68.3		27.2		4.2		0.3	100%

Tab. 8.3-4: Verteilung der Verbesserungen an den Beobachtungen

Die globale Verteilung, die Verteilung innerhalb der Beobachtungsarten sowie die Verteilung der Vorzeichen sind recht befriedigend.

Relativ grosse Verbesserungen sind noch bei den 2 Distanzen (der EDM-Gruppe 3) *Basodine - Monte Tamaro* mit $v = 97$ mm und *Pizzo di Lucendro - Scopi* mit $v = 72$ mm aufzufinden. Nicht auszuschliessen ist hier eine fehlerhafte Punktidentität (infolge Punktinstabilität) zwischen den Winkelmessungen und den Distanzmessungen. Die später kombinierte Ausgleichung des DIA-Netzes mit LV95 wird weitere Aufschlüsse hervorbringen.

9 Vergleiche und Transformationen

Mit der Diagnoseausgleichung erhält man Koordinatenwerte, die wesentlich besser sind als jene aus früheren Berechnungen. Daher besteht ein grosses Interesse an verschiedenen Koordinatenvergleichen. Ebenso aufschlussreich wird der Vergleich von Seitenlängen sein, die mit verschiedenen Methoden bestimmt wurden. In diesem Kapitel werden diese beiden Aspekte behandelt.

9.1 Koordinaten

9.1.1 Koordinatenvergleich DIA93-Ausgleichung - offizielle Koordinaten

Entstehung der offiziellen Koordinaten

In den ersten drei Jahrzehnten unseres Jahrhunderts war es Aufgabe der L+T, ein neues Triangulationsnetz 1. bis 3. Ordnung über die ganze Schweiz zu erstellen. Dabei sollte wenigstens im Mittelland und im Jura die Gradmessungs-Triangulation der SGK übernommen werden, obwohl es namhafte Stimmen gab, die diese Lösung ablehnten, weil sie die Gradmessungs-Triangulation für ungenügend hielten. Die Dreiecke waren von der SGK bedingt ausgeglichen worden. Der mittlere Fehler einer Richtung erreichte nach der Ausgleichung 2.7^{cc} [Zölly, 1948].

Für die (damals) neuen Winkelmessungen kam die von Wild vorgeschlagene Sektormethode zur Anwendung. Mit einer Stationsausgleichung wurden Richtungssätze berechnet und Projektionskorrekturen angebracht. Das neue Alpennetz wurde in drei Teilen vermittelnd ausgeglichen, wobei das Netz der SGK als fehlerfrei betrachtet wurde. Der mittlere Richtungsfehler erreichte 1.8^{cc} . Die heute gültigen Koordinaten der TP 1.Ordnung beruhen somit für den Teil des schweizerischen Mittellandes noch auf Messungen, die von der SGK für die Gradmessung ausgeführt worden sind, obwohl auch dort neuere Messungen der L+T vorhanden waren. Daraus ergibt sich auch, dass der Netzmassstab auf die Basismessungen der SGK von 1880/81 zurückgeht. Die Koordinaten der TP 2. und 3.Ordnung wurden anschliessend nach der Methode der Einzel-, Doppel- oder Dreipunkteinschaltung ins übergeordnete Netz eingezwängt (siehe auch [Bürki, 1986]).

Koordinatendifferenzen DIA93 - offizielle Koordinaten

Als Ausgangskordinaten gelten die offiziellen Koordinaten und jene aus der freien Ausgleichung. Die Differenzen wurden mit dem Programm KOORDIFF berechnet. Die Klaffungen zwischen den entferntesten Randpunkten betragen (siehe Anhang B6):

Nord - Süd:	<i>Chrischona (BS) - Monte Generoso (TI):</i>
	Distanz: 209.3 km
	dy / dx: +15 mm / +1'938 mm
	MFA/MFB/MFAZ: 142 mm / 56 mm / 69^{g}
West - Ost:	<i>Piton (GE) - Muttler (GR):</i>
	Distanz: 337.5 km
	dy / dx: +1'888 mm / -326 mm
	MFA/MFB/MFAZ: 216 mm / 133 mm / -19^{g}

Der Vergleich dieser Werte zeigt klar, dass vor allem der Massstab des bestehenden Netzes in Frage gestellt werden kann. Dagegen stimmt die Orientierung relativ gut, wenn man bedenkt, dass das ursprüngliche Netz nur die Orientierung Gurten Ost - Rötifluch beinhaltet, welche im übrigen vom Azimut Sternwarte Bern - Gurten abgeleitet wurde. Der Vektorplan (Anhang B7) zeigt dies deutlich. Es erscheinen auch Inhomogenitäten, die erst nach einer Helmerttransformation besser beurteilt werden können.

Koordinatendifferenzen aus der Helmertransforma-tion

Als Ausgangskordinaten gelten wiederum die offiziellen Koordinaten und jene aus der freien Ausgleichung. Dies ergibt folgende Transformations-Parameter:

Drehung	- 2.7 ± 0.03 ^{cc}
Massstab	- 5.0 ± 0.05 ppm
m.F.	80 mm
Anzahl Passpunkte	236
Überbestimmung	468 (robust mit k = 3)

Die Verbesserungen bewegen sich zwischen -789 mm (Pfänder) und +608 mm (Piz Bernina) in y bzw. -505 mm (Generoso) und +1274 mm (Muttler) in x für die Punkte, die gut im Netz integriert sind. Die Klaffungen zwischen den entferntesten Randpunkten betragen:

Nord - Süd:	<i>Chrischona (BS) - Monte Generoso (TI):</i>
	Distanz: 209.3 km dy / dx: -220 / +585 mm
West - Ost:	<i>Piton (GE) - Muttler (GR):</i>
	Distanz: 337.5 km dy / dx: +138 / -1221 mm

Der Vektorplan (*Anhang B8*) zeigt, dass verschiedene Verzerrungen in den offiziellen Koordinaten vorhanden sind:

In der *Westschweiz* (Genf, Waadt) zeigen die Vektoren ein homogenes Bild; es betrifft das Gebiet der Erneuerung der Triangulation 1./2. Ordnung der Westschweiz von 1976/77.

Im *Wallis* und im *Graubünden* ist eine eindeutige Verdrehung erkennbar.

Im Tessin wird eine lokale Massstabsverzerrung ersichtlich.

Weitere Verzerrungen von lokaler Bedeutung sind ebenfalls feststellbar. Um diese Verzerrungen besser lokalisieren und analysieren zu können, wurde das IGP-ETHZ im Rahmen eines Ressortforschungsprojektes beauftragt, hierfür eine spezielle Software zu entwickeln. Diese Arbeit ist zur Zeit im Gange.

9.1.2 Vergleich DIA93 - RETrig

Es ist interessant, die Resultate, die aus den reinen RETrig-Daten stammen, mit jenen aus der Diagnoseausgleichung zu vergleichen. Die RETrig-Messungen und -Koordinaten sind aus dem definitiven Datenpaket des RETrig-Blocks Schweiz entnommen.

Ausgleichung nur mit den Messungen von RETrig

Diese Berechnung wurde mit dem Programm LTOP wiederholt und datiert vom 11.03.1993. Nähere Angaben dazu können ebenfalls dem Bericht des Operatsbandes entnommen werden.

Der m.F. der Richtungen erreicht 1.6^{cc} und ist besser als jener in der Diagnoseausgleichung mit 2.2^{cc}. Dies war zu erwarten. In der Diagnoseausgleichung wurden alle Messungen aus den Stationsausgleichungen übernommen, während in RETrig vorgängig eine Bereinigung anhand der Dreieckschlüsse vorgenommen wurde. Der m.F. der Azimute ist in der Diagnoseausgleichung hingegen besser als in RETrig: 2.1^{cc} gegenüber 3.0^{cc}. Dies weist darauf hin, dass in RETrig die Lotabweichungen (η -Komponente) noch einmal sorgfältig überprüft werden sollten. Der m.F. der Distanzen ist annähernd gleich geblieben.

Ausgleichung von DIA93 mit RETrig-Koordinaten als Beobachtungen

Nachstehende Angaben stammen aus der Berechnung vom 5.4.93 mit der LTOP-Version 92.2.0:

<i>Geod. Datum:</i>	CH-1903 RETrig-Koord. im CH-Projektionssystem
<i>Lagerung:</i>	24 RETrig-Punkte, Koordinaten als "Beobachtungen"
<i>Näherungskoord.:</i>	Zwischenwerte aus vorhergehenden provisorischen Ausgleichungen

Messungen: siehe "Definitives Datenpaket" Kap.7.1
m.F. a priori: Koordinaten als Beobachtungen: 50 mm
weitere Werte: siehe Kap.8.2

Resultate der Ausgleichung, Koordinatenvergleich

Die Differenzen dy und dx zwischen den RETrig und den mit der DIA-Ausgleichung erhaltenen Koordinaten verteilen sich wie folgt (siehe Anhang B9):

68	Differenzen sind kleiner als 30 mm
26	Differenzen sind zwischen 30 und 50 mm
27	Differenzen sind zwischen 50 und 100 mm
3	Differenzen sind zwischen 100 und 236 mm

Die drei grösseren Differenzen erscheinen auf den Punkten Gnifetti (Randpunkt 236 mm), Cramosino (142 mm) und Wasenhorn (118 mm). Die Punkte Gnifetti und Wasenhorn haben auch grössere MFA (84 mm resp. 60 mm), es sind Punkte ohne Distanzmessungen. Die Einführung der Messungen aus der 2. Ordnung bringt in diesem Fall eine grosse Genauigkeitsverbesserung bezüglich RETrig. Beim Punkt Cramosino sind in der DIA-Ausgleichung 3 Geodimeter-Distanzen und 7 SIAL-Distanzen eingeführt, die in RETrig nicht vorkommen. Nicht auszuschliessen ist auch hier ein Identitätsproblem. Ebenso könnte die Stabilität gewisser Punkte in Frage gestellt werden, wozu aber weitere Untersuchungen notwendig wären.

Als Schlussfolgerung kann festgestellt werden, dass die Einführung der Punkte 2.Ordnung eine wesentliche Genauigkeitsverbesserung gegenüber RETrig bringt, besonders in Gebieten ohne Distanzmessungen.

9.1.3 Provisorischer Vergleich DIA93 - LV95 (1993)

Zum Zeitpunkt dieser vorläufig abgeschlossen Berechnung vom 1.4.1993 sind 48 Triangulationspunkte 1./2.Ordnung an das Netz LV95 angeschlossen. Es sind die Punkte der Kampagnen 1989 und 1990 zwischen dem Bodensee und Genf (Nordost-Schweiz, Mittelland, Jura und Westschweiz). Im Endzustand werden ca. doppelt so viele Triangulations- und Nivellements punkte an LV95 angeschlossen sein. Es sind aber bereits alle 5 EUREF-Punkte integriert.

Eine Ausgleichung (vom 15.4.93) der DIA-Messungen mit den *Koordinaten der 48 LV95-Punkte als Beobachtungen* ergibt folgende **Resultate**:

Datenpaket:	siehe Kap.7.1
m.F. a priori:	siehe Kap.8.2
Lagerung:	Koordinaten von 48 LV95-Punkten als "Beobachtungen" mit m.F.: 40 mm
Quotient:	0.98 statt 1.0 in der freien Ausgleichung
m.F. a posteriori:	unverändert bezüglich der freien Ausgleichung
Toleranz w_i :	1 w_i grösser als 3.5, w_i -max = 3.7 Bei der freien Ausgleichung war 1 w_i mit dem Wert 3.6 ausgewiesen.

Verbesserungen an den gewichteten Koordinaten der 'Festpunkte' (weighted constraints):

63	Verbesserungen dy oder dx sind kleiner als	20 mm
27	Verbesserungen sind zwischen	20 und 40 mm
4	Verbesserungen sind zwischen	40 und 60 mm
2	Verbesserungen sind zwischen	60 und 76 mm

Die beiden Netze stimmen gut überein. Die Verbesserungen könnten annähernd als "Zwang" zwischen den beiden Netzen erklärt werden. Ihre Grössenordnung bleibt im Rahmen der MFA der Punkte in der Diagnoseausgleichung. Der m.F. der Koordinaten der LV95-Punkte ist kleiner als 10 mm.

Die beiden Punkte mit einer Koordinaten-Differenz über 60mm sind *Hohentwiel* ($dx = 62$ mm), ein Randpunkt auf deutschem Gebiet, sowie *St-Aubin* im Kanton Freiburg ($dy = 76$ mm). *St-Aubin* ist nur mit 3 Visuren bestimmt. Auch die Übereinstimmung des Massstabes des Geodimeters 8 mit GPS ist mit -0.47 ± 0.14 ppm besser als vermutet. Die Geodäten erwarten im allgemeinen eine Unsicherheit der EDM von 0.5 bis 1.0 ppm infolge der schwierigen Erfassung der Meteo-Daten. Es muss aber erwähnt werden, dass bis jetzt noch kein LV95-Punkt im Alpengebiet verglichen werden konnte.

Eine **Ausgleichung mit den 48 LV95-Punkten als Festpunkte** ergibt einen mittleren Fehlerquotienten von 1.03, also 5% höher als in der 1.Variante. Der m.F. der Richtungen bleibt aber auf 2.3^{cc} . Hingegen wachsen die m.F. der Geodimeterdistanzen (Gr.1 und 2) um ca. 20% resp. 8% an, wobei der Massstabsfaktor annähernd gleich bleibt. Die Gruppe 1 enthält vor allem Distanzen zwischen 1.Ordnungs-Punkten, in der Gruppe 2 sind vor allem Distanzen zwischen 2.Ordnungs-Punkten vorhanden, d.h. kürzere Distanzen. Beim m.F. a priori wurde für die Gruppen 1 und 2 das Linearglied auf 1 mm/km gesetzt. Offenbar ist dieser Wert zu optimistisch, vor allem für die Gruppe 1, wo 1.5 oder 2.0 mm/km realistischer gewesen wäre.

Zwei standardisierte Verbesserungen (w_i) sind grösser als 3.5; dies wiederum bei der Messung Nr.2302 (Distanz Voiron - Thonon) mit $w_i = 4.5$ und einem $G_i = -156$ mm sowie bei der Messung Nr.755 (Richtung Gurten - Belpberg) mit $w_i = 3.9$ und einem G_i von -11^{cc} . Diese beiden Messungen sollten noch untersucht werden. Einen definitiven Vergleich mit allen LV95-Punkten wird man erst machen können, wenn das LV95-Netz auch vollständig und definitiv ausgewertet ist.

Die hier erhaltenen Resultate sind daher vorläufig abgeschlossen und werden mit der Bezeichnung DIA93 in die Akten definitiv abgelegt. Alle nachfolgenden Untersuchungen und eventuelle Korrekturen werden dann im Rahmen des Projekts LV95 (Ausgleichung DIA95 mit GPS) weiterlaufen.

9.2 Distanzvergleiche

9.2.1 Distanzen aus den Basisvergrößerungsnetzen 1880-81

Ende des letzten Jahrhunderts, 1880-81, wurden für die Bedürfnisse der Gradmessung folgende **drei Basislinien** gemessen:

Basis <i>Aarberg</i> :	2400.1112 m	± 0.9 mm;	längs der Strasse Aarberg-Bargen BE
Basis <i>Weinfeld</i> :	2540.3353 m	± 1.3 mm;	von Weinfeld nach Märstetten TG
Basis <i>Bellinzona</i> :	3200.4084 m	± 1.3 mm;	zwischen Giubiasco und Cadenazzo TI

Mit Hilfe von Basisvergrößerungsnetzen wurden daraus 1882-1890 folgende **drei Seiten im Triangulationsnetz** 1.Ordnung gerechnet:

<i>Chasseral - Rötifluh</i>	aus der Basis Aarberg	m.F. von 0.128 m
<i>Hörnli - Hersberg</i>	aus der Basis Weinfeld	m.F. von 0.167 m
<i>Gridone - Menone</i>	aus der Basis Bellinzona	m.F. von 0.157 m

Als *Vergleichswerte* stehen uns für jede der erwähnten Seiten zur Verfügung:

- a) aus den offiziellen Koordinaten gerechnete Werte
- b) die ursprünglich gerechneten Seiten (B.V.N. 1890), die in [SGK, 1890] publiziert sind
- c) die 1985 von Herrn N. Wunderlin, IGP-ETHZ, neu ausgeglichenen B.V.N. Bellinzona und Weinfelden (nicht publiziert)
- d) **Diagnoseausgleichung**
- e) LV95

Die in Tab.9.2-1 angegebenen Distanzen sind im Projektionssystem gerechnet. Die Umrechnung Ellipsoid - Projektion geschah mit LTOP.

Quelle	Distanz [m]	m.F. [mm]	Diff. zu DIA93	
			[mm]	[ppm]
Seite Chasseral - Rötifluh (B.V.N. Aarberg)				
LV03 (off. Koord.)	38'129.846	128	+ 43	1.1
B.V.N. (1890)	38'129.871	128	+ 18	0.4
DIA93	38'129.889	29	0	
LV95 (prov.)	38'129.880	10	+ 9	0.2
Seite Hörnli - Hersberg (B.V.N. Weinfelden)				
LV03 (off. Koord.)	45'129.819	167	- 327	- 7.3
B.V.N. (1890)	45'129.913	167	- 421	- 9.4
3D-B.V.N. (1985)	45'129.488	46	+ 4	0.0
DIA93	45'129.492	45	0	
Seite Gridone - Menone (B.V.N. Bellinzona)				
LV03 (off. Koord.)	38'391.147	157	+ 619	16.1
B.V.N. (1890)	38'391.051	157	+ 715	18.6
3D-B.V.N. (1985)	38'391.748	63	+ 18	0.5
DIA93	38'391.766	52	0	

Tab. 9.2-1: Vergleich der Distanzen aus den Basisvergrößerungsnetzen 1880/81

Kommentar zu diesem Vergleich:

Der Masstab des Netzes 1.Ordnung stammt von der Seite Chasseral - Rötifluh; die beiden weiteren Basen wurden seinerzeit nur als Vergleichselemente benutzt, daher die relativ grossen Differenzen zwischen den Werten aus den offiziellen Koordinaten und der Diagnoseausgleichung. In den neuausgeglichenen Basisvergrößerungsnetzen (Fall c) sind die gleichen Geodimeterdistanzen wie in der Diagnoseausgleichung als Beobachtungen eingeführt worden, daher die sehr gute Übereinstimmung.

9.2.2 Distanz aus der Basis Heerbrugg 1959

Das zugehörige Basisvergrößerungsnetz wurde 1959 durch die Länder Deutschland, Österreich und Schweiz gemessen [Schürer, 1987].

Basis *Heerbrugg* 7254.2936 m ± 3 mm; zwischen Widnau und Montlingen SG

Daraus wurde die Seite Pfänder - Säntis im Triangulationsnetz 1.Ordnung bestimmt (Tab.9.2-2).

Quelle	Distanz [m]	m.F. [mm]	Diff. zu DIA93	
			[mm]	[ppm]
Seite Pfänder - Säntis (B.V.N. Heerbrugg)				
LV03 (off. Koord.)	43'715.952	(165)	- 160	- 3.7
3D-B.V.N. (1985)	43'715.773	30	+ 19	+ 0.4
DIA93	43'715.792	40	0	
LV95 (prov.)	43'715.750	10	+ 42	+ 1.0

Tab. 9.2-2: Vergleich der Distanzen aus der Basis Heerbrugg 1959

Die definitive Ausgleichung dieses B.V.N. wurde 1987 in [Schürer, 1987] publiziert. Der übernommene Wert des B.V.N. von 1985 stammt aus der Ausgleichung mit Geodimeterdistanzen ohne Massstabskorrektur, daher die gute Übereinstimmung. Der Wert aus der Basismessung allein, d.h. ohne Geodimetermessung, beträgt 43'715.566 m. Die Differenz zu DIA93 ist somit 0.226 m, was eher einem unbefriedigenden Resultat entspricht.

9.2.3 Terrestrische Laserdistanzmessungen auf den Stationen *Monte Generoso und Zimmerwald*

Das IGP-ETHZ hat 1985 eine mobile Laserstation auf dem Monte Generoso installiert und simultan mit der permanenten Laserstation Zimmerwald Messungen durchgeführt [Bürki et al., 1986]. Dabei wurde auf dem Jungfrauoch ein Reflektor gestellt, der von den beiden Stationen direkt angezielt wurde. Aus den Messungen wurden die Distanzen *Monte Generoso - Jungfrauoch* und *Zimmerwald - Jungfrauoch* erhalten. Zudem konnte aus Satelliten-Lasermessungen auf den beiden Stationen die Distanz *Zimmerwald - Monte Generoso* abgeleitet werden. In Tab.9.2-3 stehen folgende Vergleichswerte zur Verfügung.

Quelle	Distanz [m]	m.F. [mm]	Diff. zu DIA93	
			[mm]	[ppm]
Seite Zimmerwald - Monte Generoso (SLR)				
LV03 (off. Koord.)	159'194.857		+ 1216	+ 7.6
DIA93	159'196.091	121	0	
SLR85	159'196.048	100	+ 43	+ 0.3
EUREF89	159'196.016	20	+ 75	+ 0.4
GRANIT87	159'196.043	10	+ 48	+ 0.3
Seite Zimmerwald - Jungfrauoch				
LV03 (off. Koord.)	53'633.543		+ 46	+ 0.9
DIA93	53'633.589	48	0	
SLR85	53'633.665		- 76	- 1.4
EUREF89	nicht ausgewertet			
Seite Monte Generoso - Jungfrauoch				
LV03 (off. Koord.)	105'751.780		+1154	+10.9
DIA93	105'752.934	110	0	
SLR85	105'753.339	100	- 405	- 3.8
EUREF89	nicht ausgewertet			

Tab. 9.2-3: Vergleich der Distanzen aus den terrestrischen Laserdistanzmessungen 1985 abgeleitet

Kommentar zu diesen Distanzen

Für die Distanzen von *Zimmerwald* und *Monte Generoso* musste der Reflektor auf dem *Jungfrauoch* an verschiedenen Standorten aufgestellt werden. Die Koordinaten dieser Standorte sind unsicher und müssen neu bestimmt werden. Daher sind diese Distanzen mit Vorsicht zu interpretieren. Auch wurden die Messungen auf dem Jungfrauoch auf den TP Jungfrau zentriert.

10 Schlussfolgerungen

Mit den vorliegenden Resultaten (DIA93) sind 5 der 7 Zielsetzungen, welche in Kap.1 formuliert wurden, erfüllt:

- Vollständige und einheitliche Dokumentation aller geodätischen Messungen im Triangulationsnetz 1./2.Ordnung
- Berechnung eines bestmöglichen Koordinatensatzes mit Varianz-Kovarianz-Matrix aller TP 1./2.Ordnung
- Statistische Beurteilung der Genauigkeit der verschiedenen Beobachtungsklassen
- Bereitstellen eines Vergleichsnetzes für neue Messtechniken
- Bereitstellen des Datenmaterials für die Untersuchung rezenter Krustenbewegungen

Unter dem **Projektname DIA93** wird die eigentliche Diagnoseausgleichung der Landstriangulation 1./2. Ordnung vorläufig abgeschlossen.

Es hat sich gezeigt, dass die ursprünglichen Richtungsmessungen von 1893-1982, die astronomischen Azimute (1890-1970) wie auch die EDM-Resultate (1963-1986) von sehr guter Qualität sind. Die aufwendige Aufarbeitung dieses alten Datensatzes hat sich in jeder Beziehung gelohnt, um das Netz 1./2. Ordnung einmal gesamthaft auszugleichen. Heute verfügen wir mit der Diagnoseausgleichung über ein gut dokumentiertes Mess- und Koordinatenpaket, welches in Zukunft für alle möglichen Vergleichszwecke hinzugezogen werden kann.

Weiteres Vorgehen

Noch stehen zwei Punkte der Zielsetzungen offen, nämlich:

- a) Analyse der Verzerrungen im offiziell gültigen Triangulationsnetz 1./2.Ordnung und Erprobung der mathematischen Modellierung dieser Verzerrungen
- b) Berechnung von Parametern für die Datumstransformation zwischen dem schweizerischen geodätischen Datum und anderen weltweiten Referenzsystemen

Neue Software-Entwicklungen dazu sind im Gange, ebenso die Fertigstellung des Netzes LV95. Diese Resultate müssen zuerst vorliegen, um die restlichen Zielsetzungen erreichen zu können. Im Rahmen des **Projekts LV95** sollen diese Aspekte ausführlich behandelt werden.

Abkürzungen und Begriffe

A	Österreich
AK	Artilleriekarte
AZ	Azimut
AZI(NA)	Azimut des Zuverlässigkeitsindikator NA für die Koordinaten
BE	Kanton Bern
B.V.N.	Basisvergrößerungsnetz
BS	Kanton Baselstadt
CH	Schweiz
DGK	Deutsche Geodätische Kommission
ED 87	Europäisches Datum 1987
ELIM	eliminierte Messung in der Ausgleichung
η	Ost-West Komponente der Lotabweichung
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
EUREF	European Reference Frame

F	France
FE	Fehlerellipse
FR	Kanton Freiburg
GE	Kanton Genf
Gi	wahrscheinliche Grösse eines groben Fehlers
GPS	Global Positioning System
GR	Kanton Graubünden
GRANIT	GPS-Messkampagne 1987, 12 Punkte
IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (ETHZ)
Ki	Zuverlässigkeitsindikator
L+T	Bundesamt für Landestopographie
LK	Landeskarten der Schweiz
LTOP	Ausgleichsprogramm der L+T
LV95	neue Landesvermessung 1995
m.F.	mittlerer Fehler
M.F.D.	mittlerer Fehler einer Distanz
MFA	grosse Halbachse der mittleren Fehlerellipse
MFAZ	Azimet der grossen Halbachse der mittleren Fehlerellipse
MFB	kleine Halbachse der mittleren Fehlerellipse
NA	Zuverlässigkeitsindikator für die Koordinaten (lange Seite des Rechteckes)
NB	Zuverlässigkeitsindikator für die Koordinaten (kurze Seite des Rechteckes)
RA	Richtung in Altgrad
RETrig	Réseau européen de triangulation
RI	Richtung in Neugrad
SG	Kanton St. Gallen
SGK	Schweizerische Geodätische Kommission
SLR	Satellite Laser Ranging
TG	Kanton Thurgau
TI	Kanton Tessin
TLR	Terrestrial Laser Ranging
TP	Triangulationspunkt
TU	Technische Universität
UR	Kanton Uri
v_i	Verbesserung
VD	Kanton Waadt
VS	Kanton Wallis
WA	Winkel in Altgrad
w_i	standardisierte Verbesserung
ξ	Nord-Süd Komponente der Lotabweichung
z_i	lokaler Zuverlässigkeitsindikator

Literatur

Aus den folgenden Publikationen wurden Elemente für die Diagnoseausgleichung entnommen:

Bolliger, J. (1967): Die Projektionen der schweizerischen Plan- und Kartenwerke, Winterthur, 1967.

Bürki, B. H.-G. Kahle, E. Vermaat, D. Van Loon (1986): Laserstrahlen vom Monte Generoso zum LAGEOS-Satelliten. VPK 6/86.

Burnand, T. (1990): Zuverlässigkeit in der Vermessung. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. IGP Bericht Nr.169. Zürich, 1990.

Chablais, H., E. Gubler, D. Schneider und A. Wiget (1988): Die geodätische Landesvermessung in der Schweiz, heute und morgen. VPK 4/88.

Elmiger, A. (1971): Bericht an die SGK. Astronomisch-geodätische Lotabweichungen in der Schweiz. Zusammenstellung 1867-1970. Juni 1971.

Elmiger, A. und B. Steinegger (1984): Testnetz Gotthard. ETH Zürich, IGP Bericht Nr.81, März 1984.

Elmiger, A., R. Köchli, A. Ryf und F. Chaperon (1984): Geodätische Alpen traverse Gotthard. Schlussbericht an die SGK, 1994.

- Gurtner, W. (1978): Das Geoid in der Schweiz. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz. SGK, Zweiunddreissigster Band, 1978.
- Höpcke, W. (1969): Einige Ergänzungen zur Theorie der Richtungsmessungen. Zeitschrift für Vermessungswesen 3/1969.
- Kobold, F., W. Fischer und N. Wunderlin (1984): Basismessung Heerbrugg 1959. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz. SGK, Dreissigster Band, Teil V, 1984.
- Schmidt, R. (1981): Die Diagnoseausgleichung 1980 des deutschen Hauptdreiecksnetzes. Deutsche Geodätische Kommission, Heft Nr.253. Frankfurt am Main, 1981.
- Schürer, M. (1987): Basismessung Heerbrugg 1959. Ausgleichung des Basisvergrößerungsnetzes. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz. SGK, Dreissigster Band, Teil VI, 1987.
- Wunderlin, N. (1981): Die Neuausgleichung des Vergrößerungsnetzes der Basis Giubiasco. ETH Zürich, IGP Bericht Nr.49, Juni 1981.
- Das Schweizerische Dreiecksnetz. Schweizerische Geodätische Kommission, Fünfter Band, Zürich 1890.
- Subcommission for the New Adjustment of the European Triangulation (RETrig). Editors: K. Poder und H. Hornik. Publication Nr.18, 1989, p.159.
- Zölly, H.: Geschichte der geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz. Wabern, 1948.

Folgende Publikationen waren hilfreich bei der Verwendung der EDV-Programme:

Bulletins des Rechenzentrums L+T:

- Nr. 4 Die geodätischen Programmsystemen, 1980
- Nr.10 Umarbeitung der Triangulationsakten, 1986
- Nr.12 PKTED, MESSED, 1987
- Nr.18 Programmbeschreibung zum Programm LTOP, 1990
- Zwischenbericht Nr.18 ZENTRIER, 1987