

# Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz

(Fortsetzung der Publikationsreihe  
«Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz»)

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission  
(Organ der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften)

**Fünzigster Band**  
**Volume 50**

## **GEODÄTISCHE ALPENTRAVERSE GOTTHARD**

Alois Elmiger  
Richard Köchle  
Adrian Ryf  
Francis Chaperon

1995



# Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz

(Fortsetzung der Publikationsreihe  
«Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz»)

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission  
(Organ der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften)

**Fünfzigster Band**  
**Volume 50**

## **GEODÄTISCHE ALPENTRAVERSE GOTTHARD**

Alois Elmiger  
Richard Köchle  
Adrian Ryf  
Francis Chaperon

1995

Adresse der Schweizerischen Geodätischen Kommission:

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie  
Eidg. Technische Hochschule Zürich  
ETH-Hönggerberg  
CH-8093 Zürich  
Switzerland

Redaktion des 50. Bandes:  
Dr. A. Elmiger  
Dr. B. Bürki

Druck: OWADRUCK, CH - 3173 Oberwangen

## VORWORT

Nachdem die Vine & Matthews Hypothese vom "Sea floor spreading" in den 60er Jahren von Geologen und Geophysikern weltweit akzeptiert worden war, begann eine intensive Forschungsphase, rezente Erdkrustenbewegungen zu messen und sie im Rahmen der globalen Plattentektonik zu interpretieren. Diese Phase ist mit dem Aufkommen operationeller satellitengeodätischer Messmethoden heute aktueller denn je. Das "Internationale Geodynamik-Projekt" der 70er Jahre hat auch in der Schweiz viele Geowissenschaftler zusammengeführt. In der Folge wurden wichtige wissenschaftliche Beiträge im Alpenraum geleistet, die den Grundstein für die Schweizerischen Aktivitäten im Internationalen Lithosphären-Projekt der 80er Jahre gelegt haben (z.B. NFP20).

Im vorliegenden Bericht wird ein 180 km langes geodätisches Triangulations-Trilaterationsnetz über die Alpen hinweg, von der Projektierung bis zur Realisierung, detailliert beschrieben. Herrn Dr. A. Elmiger und seinen Co-Autoren kommt das besondere Verdienst zu, mit ihren Forschungsarbeiten die Basis dafür geschaffen zu haben, dass dieses Netz auch in Zukunft ein ausgezeichnetes Testgebiet für die Evaluation von allfälligen Deformationen in den Alpen bleiben wird. Bereits 1985 wurde damit begonnen, einige Stationen mit SLR und GPS einzumessen, um in Zukunft operationelle Wiederholungsmessungen durchführen zu können.

Die vorläufige Interpretation eines Netzvergleichs der Messungen von 1980 mit den Daten von 1910 deutet darauf hin, dass sich der Alpenkörper nördlich vom Gotthard-Gebiet in dieser Zeitspanne scheinbar um 18 cm verkürzt, südlich dagegen um 70 cm verlängert hat. Laufende Auswertungen im Rahmen der Diagnoseausgleichung der Schweizerischen Landesvermessung und zukünftige GPS-Messungen werden zeigen, ob dieses überraschende Ergebnis neue Theorien zur aktuellen Alpendynamik erforderlich macht.

Die von Herrn Elmiger und seinen Co-Autoren im Anhang wiedergegebene Dokumentation aller Messpunkte wird massgeblich dazu beitragen, dass dieses für alpine Gebiete einmalige Testgebiet auch weiterhin auf internationales Interesse stossen wird. Die Schweizerische Geodätische Kommission (SGK) hat dieses Projekt mit Nachdruck unterstützt. Sie dankt den Autoren für ihre zuverlässige und sorgfältige Arbeit. Auch allen an den Messungen beteiligten Kollegen, Mitarbeitern und Studenten sei für ihren Einsatz gedankt. Sie haben massgeblich zum Gelingen des Projektes beigetragen.

Der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften danken wir für ihre wertvolle finanzielle Unterstützung, ohne die die Publikation dieses Bandes nicht möglich gewesen wäre.

**Direktor F. Jeanrichard**  
Bundesamt für Landestopographie  
Vizepräsident der SGK

**Prof. Dr. H.-G. Kahle**  
ETH Zürich  
Präsident der SGK

## PRÉFACE

L'hypothèse de Vine & Matthew concernant le phénomène "sea floor spreading" ayant été acceptée universellement par les géologues et les géophysiciens dans les années soixante, commença alors une phase de recherche intensive de mesures des mouvements récents de la croûte terrestre et de leur interprétation dans le cadre de la tectonique globale. Avec l'apparition de méthodes de mesures géodésiques à l'aide de satellites, cette recherche est, plus que jamais, d'actualité. Dans les années septante, le programme international de recherche connu sous le nom de "Geodynamics Project" a réuni, en Suisse aussi, plusieurs chercheurs dans le domaine des sciences de la terre. Par la suite, d'importantes contributions ont été apportées à l'étude de l'arc alpin en particulier et ont formé la base des activités exercées dans le cadre du projet "Lithosphère" des années huitante (par exemple le PNR 20) en Suisse.

Le présent rapport décrit en détail un réseau de triangulation et de trilatération de 180 km de long dans les Alpes, de la phase du projet à celle de la réalisation. M. A. Elmiger, dr ès sc., et ses coauteurs, ont ainsi le mérite d'avoir créé une excellente base pour l'investigation future de déformations éventuelles dans les régions alpines. En 1985 déjà, des mesures SLR et GPS ont été effectuées sur quelques stations afin de servir de références lors de la répétition de telles mesures à l'avenir.

L'interprétation provisoire de la comparaison des mesures de 1980 dans ce réseau avec celles de 1910 montre que l'arc alpin, dans la région au nord du St-Gothard, s'est raccourci apparemment de 18 cm et qu'au sud, par contre, il s'est allongé de 70 cm. Des investigations en cours dans le cadre de l'analyse du réseau suisse de triangulation et des mesures GPS futures montreront si ces résultats plutôt surprenants exigeront le développement de nouvelles théories concernant la dynamique actuelle des Alpes.

La documentation concernant toutes les stations de mesure annexée au rapport de M. A. Elmiger et de ses coauteurs contribuera certainement à ce que cette région-test unique dans les Alpes soulève, à l'avenir également, un véritable intérêt à l'échelon international. La Commission géodésique suisse (CGS) a soutenu ce projet sans réserve. Elle en remercie ses auteurs de leur prestation d'une très haute qualité. Ses remerciements s'adressent également à tous les collègues, collaborateurs et étudiants qui, par leur engagement, ont contribué de façon notable à la réussite de ce projet.

La Commission géodésique suisse exprime sa reconnaissance à l'Académie suisse des sciences naturelles, dont l'appui financier a permis l'impression de cette publication.

**F. Jeanrichard, directeur**  
de l'Office fédéral de topographie  
Vice-président de la CGS

**Prof. Dr. H.-G. Kahle**  
ETH Zurich  
Président de la CGS

# INHALTSVERZEICHNIS

(Nur Haupttitel)

---

## *Abstract / Résumé*

---

<b>1. Einleitung, Ziele</b>	1
<b>2. Das Projekt im Überblick, Organisation</b>	7
<b>3. Winkelmessungen und Stationsausgleichungen</b>	10
3.1 Winkelmessungen	10
3.2 Stationsausgleichungen: Ziele, Vorgehen, Methode	10
3.3 Resultate der Stationsausgleichungen	17
3.4 Beispiele: Rigi, Titlis, Basodino	21
<b>4. Distanzmessungen</b>	25
4.1 Instrumente, Messungen, Messkampagnen	25
4.2 Meteorologie-Erfassung für die Reduktion der Distanzen	31
4.3 Integraler Brechungsindex aus Flug-Meteo-Messungen	37
4.4 Distanzreduktionen: Einflüsse von Meteorologie und Geometrie	39
4.5 Mittelwerte und Gewichte der Distanzen	43
4.6 Resultate der Distanzmessungen und -reduktionen	49
<u>Übersichtspläne: Schweiz / Alpen traverse Gotthard</u>	
<i>Elektrooptische Distanzmessungen</i>	49a
<i>Mikrowellendistanzmessungen</i>	49b
<b>5. Netzausgleichungen</b>	50
5.1 Allgemeines: Methode, Vorgehen, Rechenprogramme	50
5.2 Ausgleichung des Richtungsnetzes	61
5.3 Ausgleichung des Distanznetzes	75
5.4 Kombinierte Netzausgleichungen	91
5.5 Massstabsfaktoren aus den Netzausgleichungen	106
<b>6. Alpen traverse: Netz- und Massstabsvergleiche</b>	121
6.1 Vergleiche intern und mit dem Landesnetz	121
6.2 Alpen traverse und Europäische Triangulation: RETrig1979, ED87	129
6.3 Vergleich mit Laser-Distanzmessungen über Satelliten (SLR)	132
6.4 Vergleich mit Doppler-Satelliten-Messungen (TRANSIT-System)	133
6.5 Vergleich mit GPS-Messungen (GRANIT-Kampagne 1987)	136
6.6 Zusammenfassung: Massstabsvergleiche	140

<b>7. Deformationen und Bewegungen der Erdkruste 1910 - 1980</b>	141
7.1 Allgemeines	141
7.2 Visuelle Beurteilung	142
7.3 Formänderungsanalyse von Teilfiguren	142
7.4 Verformungshypothesen und kritische Anmerkungen	144
7.5 Ergebnisse der Formänderungsanalyse	145
7.6 Die Dehnungen im südlichen Tessin	149
7.7 Diskussion möglicher Verformungshypothesen	153
7.8 Schlussfolgerungen	157
<b>8. Zusammenfassung</b>	159
8.1 Überblick über das Netz	159
8.2 Ziele des Projektes	159
8.3 Aufbereitung der alten Winkelmessungen: korrelierte Richtungen	160
8.4 Distanzmessungen / Meteo-Erfassung	160
8.5 Netzausgleichungen	161
8.6 Resultate	163
8.7 Deformationen und Bewegungen der Erdkruste 1910 - 1980	164
<b>9. Literatur</b>	167
9.1 Alpentraverse	167
9.2 Landesvermessung: Schweiz, Europa	167
9.3 Elektronische Distanzmessung, Meteoerfassung	168
9.4 Ausgleichsrechnung, statistische Testverfahren	168
9.5 Computerprogramme, Stations- und Netzausgleichung, etc.	169
9.6 Satellitenmessungen	170
9.7 Rezente Krustenbewegungen	171
<b>10. Anhang</b>	
<i>Überblick über die Beilagen</i>	173
A. <u>Messungen</u>	
A1 Tab. 3.3 Richtungen aus Stationsausgleichungen	174-179
A2 Tab. 4 Distanzen	180-184
B. <u>Netzausgleichungen mit Programm LTOP:</u>	
<u>Abrisse</u> mit Richtungen, Distanzen, Verbesserungen, Statist.Indikatoren etc.	
B1 Tab. 5.2.LTop Richtungsnetz	185-191
B2 Tab. 5.3.LTop Distanznetz	192-194
B3 Tab. 5.4.LTop Kombiniertes Netz	195-204
C. <u>Theoretische Grundlagen</u>	
C Zu Kap. 7 Die Affintransformation (Text)	205-214

## Geodetic Alpine Traverse St.Gotthard: Abstract

The "Alpine Traverse Gotthard" is a conventional triangulation-trilateration chain with a length of 180 km crossing the Swiss Alps in north-south direction. It is a part of the national triangulation net of Switzerland (points of 1st and 2nd order ) and also forms a part of the new "Diagnostic Adjustment Net" of Switzerland. (New Adjustment of all measurements in Switzerland).

Our purpose in carrying out special measurements and investigations in this area was to strengthen the Swiss triangulation net in north-south direction over the Alps by combining in a new, overall adjustment all available classical measurements and by measuring and introducing new, precise distances (which were missing here, with one exception), thus providing a basis for comparisons with new techniques of geodetic measurements (e.g. GPS) and with measurements of different epochs in order to determine possible crustal movements in the Alps.

The electronic distance measurements were started in 1977 and 1980, in an epoch, when GPS was not yet the standard procedure in national surveying, and were carried on until 1986. EDM-Equipment used for measuring terrestrial distances: electro-optical (Laser-Geodimeter, Model 8, Sweden) and microwave distance-equipment (SIAL MD 60, Switzerland). Special care was taken to determine the refractive index of air: (i) along the lines of the EDM measurements by using airborne sondes mounted on small airplanes (motor-gliders flown by hobby-pilots) and (ii) in vertical profiles by means of balloon-borne sondes.

### Some of the results of the measurements and investigations in this Alpine Traverse :

1) Old angle measurements, measured in the period of 1908 to 1928 (!) according to the "Swiss Sector Method" were readjusted (least squares), resulting in sets of mathematically correlated directions, which were introduced in the net adjustments together with the EDM-distances after careful meteorological reduction.

Standard errors of the mean measured directions are (in the average):  $0.34'' = 0.11$  mgon after station adjustment, and  $0.6'' = 0.19$  mgon after the net adjustment.

2) Net Adjustments : For point determinations in the middle of the net the following standard errors were attained in longitudinal and lateral direction of the net: 3.9 cm or 0.4 ppm, 9.0 cm or 1.0 ppm, relative to the two chosen fixpoints Lägern (North) and Monte Generoso (South) at a distance of about 90 km each - this for the combined net (distances and angles) - for a net consisting of angles alone the standard error values are about five times larger

### 3) Electronic Distance Measurements (EDM):

Distances reduced with ground meteo values differ in the average from the "true" values (laser-distances, reduced with the best obtainable mean value of refractive index from airborne sondes) in the following way:

- *microwave-distances* are too short by  $3.3 \pm 0.5$  ppm after the (a priori) reduction with ground meteo values. The net adjustments yield an additional (a posteriori) correction of

1.9 ±0.5 ppm, so that altogether they are too short by 5.2 ± 0.7 ppm.

- *laser-distances* are quite good if they are reduced (as usual) with ground-meteo-values: they are too long by 0.5 ± 0.5 ppm only.

#### 4) Scale differences :

The comparison of the measured distances in the net, after optimal meteorological reduction, with other methods of measurement in the area of the Alpine Traverse and in Switzerland (Chapter 6), yields the following differences relative to the Alpine Traverse, whose scale is determined by laser distance measurements (Geodimeter) : (p.140)

<i>Method</i>	<i>Net /Campaign</i>	<i>Scale-diff.ppm</i>	<i>Remarks</i>
Doppler-Satellites	Swissdoc 1984	+1.4	larger
EDM: Geodimeter	<b>Alpine Traverse Gotthard</b>	<b>0.0</b>	<b>Reference</b>
European Triangulation	ED87 (Region Gotthard, Zimmerwald)	-0.4	
GPS	GRANIT 1987 (Alpine Traverse)	-0.6	
Laser Ranging(Terr./Sat.)	Zimmerwald-Jungfrauoch-Generoso	-1.5	
Swiss Triangulation	Region Alpine Traverse	-7.2	
Swiss Triangulation	Region Zimmerwald-Generoso	-8.4	shorter

#### 5) Crustal Deformations in the Swiss Alps

Two different methods were applied in order to determine possible deformations :

A. Method "Net-Adjustments" (Chapter 5): In the Alpine Traverse measurements of two different epochs are combined: angle measurements (epoch 1910) and distance measurements (epoch 1980). The combined adjustment of all observations indicates, that the two sets of observations are not compatible. The result seems to indicate that deformations of the earth crust have taken place in the 70 years between the two epochs. The conclusion (A) would be, that the length of the Alpine Traverse has decreased (shortened) in 70 years by (at least) 0.7 ppm corresponding to about 12 cm.

B. Method "Geometric Form-Analysis": Another method (Ch. 7) of deriving regional (and resulting integral) deformations consisted in comparing the shape of smaller sub-units of the net over the two epochs : i.e. the shape derived from the old angle measurements of the beginning of this century with the one derived from the newer electronic distances measured in the 1980s.

Conclusion B: The deformations vary from region to region and are of non-uniform sign: no deformation in the northern part of the net (Swiss Plateau), compression of the northern Alps, dilatation of the southern Alps. When summing up all regional deformations a dilatation of 4 ppm results, corresponding to a lengthening of about 70 to 80 cm: ( p.156)

<i>Region</i>	<i>Dist.km</i>	<i>Variation of length</i>		<i>Deformation</i>
		<i>abs. [cm]</i>	<i>rel.[ppm]</i>	
North: Lägern-Rigi	41	0	0	none
Central: Rigi-Gotthard	56	- 18	- 3.2	shorter
South: Gotthard-Generoso	79	+95	+12.0	longer
Total: N-S: Lägern-Generoso	176	+76	+4.3	longer

Final assessment: The results of both methods are not certain and yield to contradicting results, due to the rather small number of observations and to the restricted area of investigation. However method und conclusion B seems to be more reliable than method A. Further investigations will have to be undertaken to confirm or refute these statements.

## La traverse géodésique alpine du St. Gothard: Résumé

La "Traverse alpine du St.Gothard" est une chaîne conventionnelle de triangulation d'une longueur de 180 km, qui traverse les Alpes suisses du nord au sud. Elle fait partie intégrante du réseau national de triangulation de la Suisse (points de 1er et 2ème ordre) et aussi du nouveau "réseau de compensation de diagnostic" (nouvelle compensation de toutes les observations dans le réseau national de la Suisse).

Le but poursuivi par les nouvelles mesures et les recherches dans cette région était de renforcer le réseau national suisse dans la direction nord-sud à travers les Alpes, en combinant dans une nouvelle compensation globale toutes les mesures classiques existantes et en mesurant et introduisant dans la compensation de nouvelles mesures de distances précises (inexistantes jusqu'ici à une exception près), fournissant ainsi une base de comparaison pour les nouvelles techniques de mesure géodésiques (GPS par ex.) et pour les mesures de différentes époques, dans le but de déterminer des mouvements possibles de l'écorce terrestre dans les Alpes.

Les mesures électromagnétiques de distances ont démarré en 1977 et 1980, à une époque où la méthode GPS n'était pas encore la méthode standard dans la mensuration nationale et ont été poursuivies jusqu'en 1986. Deux types d'instruments ont été utilisés: des instruments électro-optiques (Géodimètre Laser, modèle 8, Suède) et des instruments électromagnétiques (SIAL MD60, Suisse). L'indice de réfraction de l'air a été déterminé avec un soin particulier: (i) le long des lignes de mesures, en utilisant des sondes montées sur de petits avions (planeurs à moteur, pilotés par des aviateurs amateurs) et (ii) selon des profils verticaux avec des sondes attachées à de petits ballons.

### Quelques résultats issus des mesures et des recherches de la Traverse alpine

1) Les anciennes mesures d'angles, exécutées entre 1908 et 1928 (!) d'après la "méthode suisse des secteurs", ont été recompensées (méthode des moindres carrés); il en résulte des séries de directions mathématiquement corrélées, qui sont introduites dans la compensation du réseau avec les distances électromagnétiques (après une réduction météorologique soignée). L'écart type d'une direction mesurée (en moyenne) est de  $0.34'' = 0.11 \text{ mgon}$  après la compensation des stations, et  $0.6'' = 0.19 \text{ mgon}$  ( $0.15 \text{ mgon}$  pour les directions de 1er ordre) après la compensation du réseau.

2) Compensation du réseau: Pour le réseau combiné (angles et distances), on a obtenu - pour les points au milieu du réseau - des écarts types de 3.9 cm ou 0.4 ppm dans la direction longitudinale du réseau, et 9.0 cm ou 1.0 ppm dans la direction transversale, relativement aux deux points fixes Lägern (au Nord) et M. Generoso (au Sud), situés à une distance de quelques 90 km. Pour le réseau sans distances (angles seulement) les écarts types sont environ cinq fois plus grands.

### 3) Mesures électromagnétiques de distances (EDM)

Les distances réduites avec les valeurs météo mesurées aux points de station s'écartent des valeurs "réelles" (distances-laser, réduites avec les valeurs optimales de l'indice de réfraction de l'air, déduites des mesures météo par avion) comme suit:

- les *distances électromagnétiques* (micro-ondes: SIAL) sont trop courtes de  $3.3 \pm 0.5$  ppm, après réduction à priori avec les valeurs météo mesurées aux points de station. Une deuxième correction de  $1.9 \pm 0.5$  ppm résulte des compensations de réseaux, de sorte que ces distances sont finalement trop courtes de  $5.2 \pm 0.7$  ppm.

- les *distances-laser* sont déjà assez bonnes avec la réduction usuelle, avec les valeurs météo aux stations: elles ne sont trop longues que de  $0.5 \pm 0.5$  ppm (résultat incertain).

#### 4) Différences d'échelles

L'échelle de la Traverse alpine est déterminée par les distances laser. Les distances mesurées dans le réseau, après réduction météorologique optimale, diffèrent des autres distances mesurées dans la région et en Suisse comme suit (voir chapitre 6, p. 140):

<i>Méthode</i>	<i>Réseau / campagne</i>	<i>Diff.d'échelle</i>	<i>Remarques</i>
Satellites Doppler	Swissdoc 1984	+1.4 [ppm]	plus long
EDM: Geodimètre	<b>Traverse alpine</b>	<b>0.0</b>	<b>Référence</b>
Triangulation Européenne	ED87 (Région Gothard, Zimmerwald)	-0.4	
GPS	GRANIT 1987 (Traverse alpine)	-0.6	
Laser Ranging (Terr./Sat.)	Zimmerwald- Jungfrauoch- Generoso	-1.5	
Triangulation Suisse	Région Traverse alpine	-7.2	
Triangulation Suisse	Région Zimmerwald-Generoso	-8.4	plus court

#### 5) Déformations de l'écorce terrestre dans les Alpes suisses

Deux méthodes différentes ont été utilisées pour déterminer des déformations possibles:

A. Méthode "Compensations de réseaux" (Chap. 5): Dans la Traverse alpine on a combiné des mesures de deux époques différentes: mesures d'angles (époque 1910) et mesures de distances (époque 1980). La compensation combinée de toutes ces mesures indique que les deux groupes d'observations ne sont pas compatibles. Le résultat des compensations paraît indiquer que des déformations de l'écorce terrestre ont eu lieu dans les 70 années séparant les deux époques, la Traverse alpine serait ainsi devenue plus courte de 0.7 ppm = 12 cm dans l'intervalle considéré. (Conclusion A).

B. Méthode "Analyse de formes géométriques": Une autre méthode (Chap.7) de déduction des déformations régionales et globales consistait à comparer les formes géométriques de petits réseaux partiels entre les deux époques: une forme étant déduite des mesures de 1910 (env.), l'autre des mesures des années 1980.

Conclusion B: les déformations varient d'une région à l'autre et ont des signes différents: pas de déformation dans la partie nord du réseau (Plateau Suisse), compression dans la partie nord des Alpes (Gothard) et dilatation dans la partie sud et dans le Tessin. De la sommation des déformations régionales, résulte une dilatation de 4 ppm, qui correspond à un allongement de 70 à 80 cm pour toute la Traverse alpine (180 km). (fig. p.156)

<i>Région</i>	<i>Dist.km</i>	<i>Variation de longueur</i>		<i>Déformation</i>
Nord: Lägern-Rigi	41	0 [cm]	0. [ppm]	aucune
Centre: Rigi-Gothard	56	- 18	- 3.2	plus court
Sud: Gotthard-Generoso	79	+95	+12.0	plus long
Total: N-S: Lägern-Generoso	176	+76	+4.3	plus long

Conclusion générale: Les résultats des deux méthodes ne semblent pas assez fiables et conduisent à des conclusions contradictoires. Raisons: domaine d'étude trop peu étendu et nombre de mesures assez restreint. Pourtant, la méthode B et ses conclusions nous semblent plus fiables et convaincantes que la méthode A. Des recherches complémentaires (couvrant toute la Suisse) pourraient permettre de confirmer ou d'infirmer les hypothèses énoncées.

## 1. Einleitung, Ziele

In diesem Bericht wird ein traditionell-klassisches geodätisches Triangulations-Trilaterations-Netz beschrieben, das sich in Nord-Süd-Richtung über die Alpen erstreckt: Es verbindet den Jura (vom Punkt Lägern) über die Alpen (Gotthard) mit dem Süd-Tessin (Punkt Monte Generoso) und hat eine Längsausdehnung von 180 km. Das Netz stützt sich auf die alten Winkelmessungen aus dem Anfang dieses Jahrhunderts (1908-1928) und auf elektronische Distanzmessungen aus neuerer Zeit: Mit solchen Distanzmessungen hatte man schon seit 1969 begonnen; speziell für dieses Projekt wurden sie aber erst in den Jahren 1981- 1987 durchgeführt.

Das hier vorgestellte Projekt wurde um 1980 in Angriff genommen. Seine Ziele sind daher zu beurteilen am Stand der Schweizerischen Landesvermessung und an den technischen Möglichkeiten jener Zeit. Werfen wir also einen kurzen Blick auf die damalige Situation insbesondere in der Landesvermessung zurück:

### 1) Ausgangslage

#### *a) Stand der Schweizerischen Landesvermessung um 1980: Netzanlage (Triangulation) und vorhandene Messungen*

Als diese Arbeit 1981 (auf Anregung von Prof. Kobold und mit Unterstützung der Schweiz. Geodät. Kommission) in Angriff genommen wurde, bestand das Schweizerische Triangulationsnetz nur aus Winkel- und Richtungsmessungen, die im wesentlichen aus dem Anfang dieses Jahrhunderts stammten, sowie aus elektronischen Distanzmessungen, die mit Laser-Geodimeter (Modell 8) in den Jahren 1960 -78 über das schweizerische Mittelland vom Bodensee bis zum Genfersee durchgeführt worden waren. Distanzmessungen über die Alpen existierten nicht, mit Ausnahme eines einzigen Geodimeter-Zuges über den Gotthard aus den Jahren 1969-78, der die Punkte Lägern - Rigi - Titlis - Basodino und Gridone miteinander verband. Dieser Distanz-Zug selbst war nicht durch andere Distanzmessungen (sondern nur durch die alten Winkelmessungen) kontrolliert und daher etwas unzuverlässig. Gesamthaft gesehen war die Massstabsbestimmung des schweizerischen Triangulationsnetzes besonders in Nord-Süd-Richtung (über die Alpen) sehr schwach und unsicher.

*b) Ausgleichung des Schweizerischen Landesnetzes*

Auch in bezug auf die Berechnung (Ausgleichung) ist dieses schweizerische Triangulationsnetz – vom heutigen Standpunkt aus betrachtet – nicht mehr befriedigend, obwohl zur Zeit seiner Entstehung vor etwa hundert Jahren die damals besten, technisch möglichen Methoden angewandt wurden. Das Netz wurde – wie bekannt und wie damals allgemein üblich, siehe z.B. [Zölly 1948, 9.2] – in mehreren Phasen berechnet, wobei die ältesten Teile des Netzes (das ganze Schweizerische Mittelland) auf Messungen und Berechnungen aus der Zeit nach 1862 beruhen (bekannt als "Gradmessungsnetz" der Schweiz. Geodätischen Kommission). Die heutigen Gebrauchskordinaten der Landesvermessung sind das Resultat einer längeren historischen Entwicklung von Messungen und Berechnungen über eine Epoche von 1862 bis etwa 1925.

Diese Gebrauchskordinaten genügen auch heute noch vielen praktischen Anforderungen; neue Messungen können aber oft nur mit grossen Zwängen in die alten eingefügt werden und natürlich genügen diese alten Koordinaten nicht den heutigen wissenschaftlichen Ansprüchen und entsprechen nicht den heutigen Mess- und Berechnungsmöglichkeiten.

*c) Stand der geodätischen Möglichkeiten bei Projektbeginn (1981)*

In den 80er Jahren war die Doppler-Methode (entwickelt in den 60er Jahren für die Bedürfnisse der amerikanischen Navy, unter der Bezeichnung NNSS: Abkürzung von Navy Navigation Satellite System), die anerkannte Satellitenbeobachtungsmethode für die Landesvermessung. Für eine Distanzbestimmung über die Alpen lieferte diese Methode eine Genauigkeit von etwa 60 cm bei einer Distanz von etwa 200 km, was einer relativen Genauigkeit von ca. 3 ppm entspricht. (1 ppm = 1 : 1 Million)

Die elektronische Distanzmessung (mit üblichen Geräten und Methoden) lieferte damals (wie heute) eine relative Genauigkeit von bestenfalls ca. 1 ppm (dies für den Laserdistanzmesser Geodimeter), während mit Mikrowellengeräten, die im Einsatz sehr bequem sind, Distanzen nur auf etwa 3 ppm genau bestimmt werden können, wenn die Meteorologie – wie dies aus praktischen Gründen üblich ist – nur auf den Endpunkten der Strecke erfasst wird. Eine wesentlich höhere Genauigkeit der Mikrowellendistanzmessung kann (damals und heute) nur mit einem grossen Mehraufwand erreicht werden, nämlich dann, wenn die Meteorologie entlang des ganzen Messstrahls erfasst wird. Dies ist aber nur mit speziellen, aufwendigen Methoden (z.B. mit Einsatz von Flugzeugen) möglich, wie sie z.B. im Kapitel 4 dieses Berichtes beschrieben werden.

Das globale Positionierungssystem GPS-NAVSTAR war damals in den Vereinigten Staaten in Entwicklung und es war abzusehen, dass es eine wesentlich höhere Genauigkeit

bringen würde. Man erwartete damals eine Standardabweichung von höchstens einem Dezimeter, vielleicht sogar einem Zentimeter für eine Alpenüberquerung. Erste Versuche für geodätische Anwendungen wurden seit 1982 mit dem GPS-Empfänger "Macrometer" durchgeführt. Praktische und kostengünstige Geräte standen aber erst ab etwa 1986 zur Verfügung. Das erste in der Schweiz verfügbare Gerät war der Satellitenempfänger "Wild Magnavox 101", welcher seit 1986 bei Magnavox /USA in Zusammenarbeit mit Wild, Heerbrugg produziert wurde. Dieses Gerät gestattete allerdings nur Messungen mit einer Frequenz (L1) des Satellitensignals. Später, als Messungen mit zwei Frequenzen möglich wurden (z.B. mit Wild Magnavox WM102), hat sich dann gezeigt, dass - je nach "Ionosphären-Wetterlage" - ziemlich grosse Massstabsfehler (bis 6 ppm) auftreten können, wenn Messungen nur mit einer Frequenz gemacht werden, weil so der Einfluss der Ionosphäre auf die Wellenausbreitung des Satellitensignals nicht erfasst werden kann. - Siehe Testnetz Turtmann [Geiger /Wiget 1986, 9.6, Cocard 1987, 9.6, Jeanrichard 1992, 9.6].

*d) A priori - Beurteilung des Projektes Alpen traverse Gotthard*

Zu dieser Zeit, um 1980, wurde deutlich, dass klassische Triangulationsmessungen - mit Richtungs- und Distanzmessungen - bald der Vergangenheit angehören würden, jedenfalls als Hauptmethode in der Landesvermessung. (Klassische Messungen bleiben nach wie vor überall dort von Bedeutung, wo der Blick auf die Satelliten nicht frei ist: in Wäldern, engen Tälern, eng überbauten Städten, Tunneln, etc.).

Sollten bei dieser Ausgangslage überhaupt noch weitere elektronische Distanzmessungen in Angriff genommen werden, auch an Orten, wo sie - wie in den Alpen - offensichtlich noch fehlten?

Trotz einiger Bedenken war unsere Antwort ja. Bei der Beschlussfassung spielten folgende Überlegungen eine Rolle:

*1. Abschluss einer (in der klassischen Epoche der Vermessung) unvollendeten Arbeit:*

a) Dem offensichtlichen Mangel von Distanzmessungen über die Alpen sollte abgeholfen und so die Epoche der traditionellen klassischen Triangulation und Trilateration wenigstens zu einem gewissen, sinnvollen Abschluss gebracht werden.

b) Alle alten und neuen Messungen in einem Gebiet sollten heute natürlich gemeinsam und streng ausgeglichen werden.

*2. Beitrag zu neuen Zielsetzungen in der Geodäsie: Zeitliche Änderung von Festpunktnetzen, Bestimmung von Deformationen der Erdkruste:*

a) Die Pionierzeit, wo es in der Geodäsie um Grösse und Form der Erde und in der Landesvermessung um die Bestimmung von ersten Gebrauchskoordinaten und ersten Landeskarten geht, ist offensichtlich vorbei. Ein neues Ziel ist neben der Bestimmung der Form der Erdoberfläche auch die Feststellung von zeitlichen Veränderungen bzw. Bewegungen der

Erdkruste. Damit werden die wissenschaftlichen Aspekte gegenüber den rein praktischen in der Landesvermessung mehr betont.

b) Unsere Alpentravese erfasst ein tektonisch besonders interessantes Gebiet nämlich den Alpenkörper. Messungen und Untersuchungen in diesem Gebiet versprechen interessante tektonische Erkenntnisse.

c) Nullmessung zur Bestimmung von Verschiebungen:

Zur Feststellung von tektonischen Bewegungen mit Hilfe von späteren Messungen (mit neuen Techniken wie z.B. GPS) ist eine möglichst zuverlässige Nullmessung nötig und diese möglichst bald. Hierzu muss die bestehende Landesvermessung im Bereich des Alpenübergangs durch weitere Messungen verstärkt werden. An wenigstens einer Stelle sollte ein zuverlässiger, kontrollierter Alpenübergang ausgeführt werden, der dem besten technischen Stand der alten Triangulations- und Distanzmesstechnik entspricht. Da Distanzmessungen einfacher durchzuführen sind und auch eine höhere Netzgenauigkeit liefern, lag es nahe, sich auf elektronische Distanzmessungen zu beschränken und keine neuen Winkelmessungen in Betracht zu ziehen.

d) Sind erste Resultate schon heute möglich? Unsere Vermutung bzw. Hoffnung war, dass sich beim Vergleich der neuen Messungen der Alpentravese mit den alten Messungen der Landestopographie aus den Jahren von ca. 1910 schon jetzt Bewegungstendenzen der Erdkruste nachweisen liessen.

### *3. Operative Möglichkeiten:*

a) Material: Zu jenem Zeitpunkt (1980) stand uns ein gut dotiertes und erprobtes klassisches Vermessungs-Instrumentarium zur Verfügung (besonders elektronische Distanzmesser).

b) Personal: Bei nur wenigen festen Mitarbeitern, die am Institut für diese Arbeit in Betracht kamen, standen uns dagegen viele junge, arbeitswillige Arbeitskräfte (fast gratis wenn auch nur kurzfristig) zur Verfügung, die man nur vernünftig motivieren und einsetzen musste: Studenten und Diplomanden der ETH, die in Vertiefungsblöcken und Diplom-Vermessungskursen eingesetzt werden konnten.

## **2) Ziele des Projektes "Alpentravese Gotthard"**

Ausgehend von dieser Situation haben wir daher 1981, als dieses Projekt begonnen wurde, folgende Ziele ins Auge gefasst:

### *1. Verstärkung der Schweizerischen Landestriangulation*

Durch weitere, möglichst genaue elektronische Distanzmessungen über die Alpen sollte die Schweizerische Landestriangulation besonders in Nord-Süd-Richtung verstärkt werden. Um den Aufwand in Grenzen zu halten, wollte man sich auf einen etwa 40 km Streifen über den Gotthard beschränken. Als Messmittel standen zur Verfügung:

- Laser-Distanzmesser Geodimeter (Modell 8, Firma AGA, Schweden): Dieses Gerät misst ziemlich genau ( $\pm 1$  ppm), ist aber im praktischen Einsatz durch das Wetter begrenzt, da sehr gute Wetterbedingungen (sehr klare Sicht) nötig sind, damit Messungen über längere Distanzen (bis höchstens 60 km) überhaupt möglich sind.

- Mikrowellendistanzmesser SIAL MD60 (Firma Siemens-Albis Zürich): dieses Gerät ist sehr einfach und unproblematisch im praktischen Einsatz (Sicht und gutes Wetter sind nicht nötig), aber eine gute Genauigkeit (von vielleicht  $\pm 1$  ppm statt wie üblich nur  $\pm 3$  ppm) kann nur bei aufwendiger Meteo-Erfassung erwartet werden.

Um dies zu erreichen haben wir als weiteres Neben-Ziel ins Auge gefasst :

### 2. Untersuchungen über den Einfluss der Meteorologie auf die elektronische Distanzmessung, besonders mit Mikrowellengeräten.

Es sollten neue Methoden der besseren d.h. integralen Meteo-Erfassung längs des Messstrahls erprobt werden, nämlich:

- Meteo-Flüge auf den Messstrecken: Befliegung des ganzen Distanz-Messstrahls mit Kleinflugzeugen und Registrierung der Meteo-Daten, aus denen dann der integrale Brechungsindex längs des Messweges bestimmt werden kann.

- Zusätzlich (als Ergänzung und Kontrolle): Ballonaufstiege mit Meteosonden (Messung von vertikalen Meteoprofilen auf einzelnen Punkten in den Distanz-Visuren).

### 3. Strenge Gesamtausgleichung des Triangulations-Trilaterationsnetzes 1.u. 2.Ordnung

Füher waren hintereinandergeschaltete Ausgleichungen in Hierarchie-Ordnungen üblich, wobei die Netze niederer Ordnung in die besten Punkte höherer Ordnung eingezwängt wurden. Hier sollte nun eine *strenge Gesamtausgleichung* aller vorhandenen "klassischen" Messungen (verschiedener Ordnungen) erfolgen, nämlich:

- *Winkelmessungen* auf Punkten 1. und 2. Ordnung (wobei Richtungen auch nach Punkten 3.Ordnung bei den Stationsausgleichungen verwendet werden).

- Alle alten und neuen elektronischen *Distanzmessungen* aus den Jahren 1969-87.

Dagegen werden *astronomische Beobachtungen* hier *nicht* berücksichtigt aus folgenden Gründen: Astronomische Längen und Breiten (Genauigkeit ca.  $\pm 0.3'' = \pm 10$  m in Lage) bringen in einem relativ kleinen Netz keine Genauigkeitssteigerung sondern haben praktisch nur auf die Netzlagerung (Orientierung) einen Einfluss, die hier nicht von besonderem Interesse ist.

Ähnliches gilt für astronomische Azimute (Genauigkeit ca.  $\pm 0.3''$ ), die im Bereich der Alpentravese nur auf zwei Punkten (Hörnli, Rigi) und zudem noch im gleichen Netzteil (Nord) vorhanden sind (das Azimut Generoso - Campo dei Fiori liegt schon ausserhalb des

hier betrachteten Netzes). Diese wenigen, im Netz einseitig vorhandenen astronomischen Azimute können damit ihre Funktion der Netzverstärkung bzw. Azimutkontrolle über das ganze Netz nicht erfüllen und wurden nicht verwendet.

Diese *Geamtausgleichung* aller Messungen im Bereich der Alpentransverse war als Vorstufe zu einer Gesamtausgleichung der ganzen schweizerischen Landestriangulation (1. und 2. Ordnung) gedacht (die gegenwärtig beim Bundesamt für Landestopographie im Gang ist). Diese Ausgleichung, als "Diagnoseausgleichung" bezeichnet, wird einen Satz von Koordinaten liefern, der das Endprodukt der Epoche der klassischen Triangulationsmessungen in der Schweiz darstellen wird und dann als zuverlässige Basis für spätere Vergleiche dienen kann: z.B. mit anderen Messmethoden wie GPS, oder zur Bestimmung von Deformationen der Erdkruste u.a..

#### *4. Untersuchung von tektonischen Bewegungen der Erdkruste*

Schon lange interessiert die Geologen die Frage, ob langfristige Bewegungen der Erdkruste im Alpengebiet vorhanden und vielleicht sogar nachweisbar sind. Insbesondere ist eine eventuelle Veränderung der Distanz quer zu den Alpen (in Nord-Süd-Richtung) von grösstem geophysikalischem Interesse. Da die beiden Lithosphärenplatten (Europa und Afrika) der Erdkruste sich immer noch aufeinander zu bewegen – ein Prozess, der (nach heutigen Vorstellungen) die Gebirgsbildung der Alpen verursacht hat –, wäre eine Verkürzung dieser Distanz (über die Alpen) zu erwarten.

In der Alpentransverse Gotthard sollen solche Untersuchungen ermöglicht werden. Schlüsse sind dann möglich

- durch Vergleich der Netzkoordinaten, die einerseits aus alten Winkelmessungen (aus den Jahren 1911-16), andererseits aus den neuen Distanzmessungen (aus den Jahren 1969-87) bestimmt werden;
- durch Vergleich der Epoche der klassischen Triangulation (Winkel- oder/und Distanzmessungen) mit heutigen oder zukünftigen Satellitenmessungen.

#### *5. Erprobung und Überprüfung neuer Messmethoden*

Die Alpentransverse Gotthard bildet schliesslich eine ausgezeichnete Grundlage, um mit Vergleichsmessungen die Genauigkeit neuer Messmethoden – wie die oben schon erwähnte GPS-Satellitenmethode – unter Beweis zu stellen.

## 2. Das Projekt im Überblick, Organisation

### 1) Das Netz "Alpentaverse Gotthard"

Das hier beschriebene Netz "Alpentaverse Gotthard" erstreckt sich vom Jura-Südfuss (von den Punkten 1. Ordnung Lägern und Hörnli im Norden) über den Gotthard bis zum Punkt Monte Generoso im Süden (Süd-Tessin) über eine Distanz von ca. 180 km; die Breite der Triangulationskette beträgt ca. 40 km. In diesem Streifen umfasst sie alle vorhandenen Punkte 1. und 2. Ordnung, nämlich 13 Punkte 1. Ordnung und 25 Punkte 2. Ordnung der Schweizerischen Landestriangulation, insgesamt 38 Punkte.

Einen Ueberblick über das Netz und alle elektronischen Distanzmessungen in der Schweiz geben die (weiter hinten, nach S. 49) beigefügten Planbeilagen :

"Mikrowellen-Distanzmessungen in der Schweiz / Alpentaverse Gotthard",

"Elektrooptische Distanzmessungen in der Schweiz / Alpentaverse Gotthard".

### 2) Messungen im Netz Alpentaverse

In diesem Netz werden folgende Messungen verwendet:

#### 1) Winkelmessungen

Es sind dies die Messungen, die für die Schweiz. Landestriangulation in den Jahren 1908-1928 (eine Station schon nach 1893) ausgeführt wurden, wobei das Sektorverfahren benützt wurde. Für die Stationsausgleichung der Winkel wurden nicht nur Punkte 1. und 2. Ordnung sondern auch Messungen zu Zielpunkten 3. Ordnung verwendet.

#### 2) Distanzmessungen

##### a) *Alte Distanzmessungen mit Laser-Geodimeter 8*

- im Viereck Lägern-Rigi-Scheye-Hörnli, gemessen 1969-71.
- Traverse Rigi-Titlis-Basodino-Gridone, gemessen 1977.
- Messungen im Südtessin: Basisnetz Giubiasco und Anschluss des Punktes Monte Generoso, gemessen in den Jahren 1976-77.

##### b) *Neue Distanzmessungen: Laser- und Mikrowellen-Distanzen*

die speziell für diese Alpentaverse ausgeführt und mit Mikrowellendistanzmessern SIAL MD 60 (Siemens-Albis, Zürich) und Geodimeter (Modell 8, Firma AGA, Schweden) gemessen wurden. In einem Einzelfall wurde mit dem Infrarot-Distanzmesser Wild DI20 gemessen.

SIAL:	IGP: Nr. 501, 502, 504, 505., Eidg. Zeughaus Thun: Nr. 703, 704
Geodimeter:	IGP: Nr. 80059
DI20:	IGP: Nr. 40382

Diese Messungen sind in drei Phasen erfolgt :	Jahre
(1) Teilnetz Gotthard: Titlis bis Basodino ("Testnetz Gotthard")	1981, 1983
(2) Teilnetz Süd      Tessin: Basodino bis Generoso:	1985
(3) Teilnetz Nord      Lägern bis Titlis	1986

Bei diesen Messungen wurde neu ein besonderes Verfahren zur Bestimmung des integralen Brechungsindex der Luft aus Meteo-Messungen entlang des Messstrahles angewandt, wobei zur Erfassung der nötigen Meteo-Daten Flüge mit Klein-Flugzeugen ausgeführt wurden.

#### *Personelles*

Neben den auf der nächsten Seite genannten Mitarbeitern haben bei den Distanzmessungen mitgewirkt:

- Studenten und Diplomanden der ETHZ verschiedener Jahrgänge (siehe auch 4.1.3),
- Assistenten des IGP, z.B. Ueli Meyer, Martin Vögeli, Urs Schor, u.a.
- Verschiedene Mitarbeiter des Bundesamtes für Landestopographie, Bern.

#### *c) Nicht berücksichtigte Distanzmessungen*

Die beiden Uebersichtspläne (nach Seite 49) zeigen alle in der Schweiz bisher ausgeführten elektronischen Distanzmessungen mit Laser- und Mikrowellen-Geräten.

Wie aus den Plänen ersichtlich ist, bestehen neben den für die Alpentravese benützten Distanzmessungen noch zwei weitere neue Distanz-Traversen über die Alpen (ausserhalb unseres Netzes):

- Eine Lasertraverse Generoso - Jungfrauoch - Zimmerwald, gemessen 1985 mit einem mobilen Satelliten-Laser-Distanzmesser (Distanzen von Zimmerwald und Monte Generoso nach Jungfrauoch), siehe [Bürki / Geiger / Kahle 1987, 9.3].

- Ferner wurde 1985-86 vom Bundesamt für Landestopographie ein Geodimeterzug zwischen den Punkten 1. Ordnung Cramosino und Säntis gemessen.

Diese beiden Distanz-Traversen wurden in unsere Alpentravese *nicht* einbezogen, um die Arbeit in vernünftiger Frist zu einem Abschluss bringen zu können. Andernfalls wäre das Netz schon fast auf die halbe Schweiz angewachsen, und es wäre für dieses Gebiet auch eine Aufbereitung der Winkelmessungen (Stationsausgleichungen) nötig gewesen, die (besonders bei wechselnden Mitarbeitern) recht zeitaufwendig ist. Die Gesamtausgleichung aller Messungen über die ganze Schweiz ist Sache des Bundesamtes für Landestopographie und ist gegenwärtig in Arbeit unter der Bezeichnung "Diagnose-Ausgleichung der Schweiz".

### 3) Auswertungen

An den hier beschriebenen Arbeiten haben, neben den Berichtverfassern, folgende Mitarbeiter des IGP (in Zeiträumen von wenigen Monaten bis Jahren\*, abwechslungsweise und mit verschiedenen Unterbrüchen) mitgewirkt:

<u>Name</u>	<u>Epoche</u>	<u>Arbeitsgebiet</u>
- Steinegger Bruno*	1982-83	Testnetz Gotthard, Stationsausgl. Gotthard
- Steudler Daniel*	1984-86	Meteo-Auswertung (Flüge), Netze Gotthard und Süd
- Kraus Adrian*	1985	Meteo- und Distanzreduktionen Netz Süd
- Güldenapfel Peter	1986	Stationsausgleichungen Netz Süd
- Breu Rico	1987	Stationsausgleichungen Netz Nord
- Ryf Adrian*	1986- - 3.1988 - 2.1989	Auswertung der Flug-Meteo-Messungen, Distanzen, Ausgleichung aller Teilnetze, Gesamtnetz, Schlussbericht** (* <i>Mitverfasser dieses Berichtes</i> )

### 4) Kosten, Finanzierung

Die hier beschriebenen Arbeiten (Messungen, Feldarbeiten, Geräte- und Programm-entwicklungen, Auswertungen, Ausgleichungen etc.) wurden von folgenden Institutionen mitfinanziert bzw. mit Beiträgen unterstützt:

- IGP (Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ): Der grösste Teil der Feldarbeiten wurde im Rahmen von Diplom-Vermessungskursen der ETH unter Leitung von Prof. F. Chaperon mit Studenten (Diplomanden) durchgeführt. Es ergaben sich so fast keine oder nur sehr geringe zusätzliche Kosten. Zusätzlich wurde 1986 eine Messkampagne durchgeführt, bei der Mitarbeiter des IGP und des Bundesamtes für Landestopographie mitgewirkt haben, unter denen besonders die Herren Bruno Vogel und Thomas Signer erwähnt seien.

- SGK: Die Schweiz. Geodät. Kommission unterstützte diese Arbeiten mit Beiträgen (Material, Meteo-Flüge, Geräteentwicklungen) in den Jahren 1983-88.

- ETH: Forschungskredite erlaubten die kurz- oder längerfristige Beschäftigung eines speziellen Mitarbeiters (oben markiert mit\*), der aber auch an andern Projekten (z.B. Refraktion) arbeitete und z.T. im Unterricht und in Vermessungskursen der ETH mitwirkte.

In dieser Weise konnte das Projekt mit recht geringen Gesamtkosten verwirklicht werden.

*Wir möchten hier allen diesen Stellen und allen Mitarbeitern  
unseren besten Dank aussprechen.*

Ein besonderer Dank gilt dem Herren Erich Gubler und Bruno Vogel vom Bundesamt für Landestopographie, Bern, für eine letzte kritische Durchsicht dieses Manuskripts.

### 3. Winkelmessungen und Stationsausgleichungen

#### 3.1 Winkelmessungen

Zunächst betrachten wir hier die alten Winkelmessungen der Schweizerischen Landestriangulation, die wir neu bearbeitet haben, um sie dann in die Ausgleichung des Netzes "Alpentransverse Gotthard" einzuführen.

Diese Winkelmessungen stammen (mit einer Ausnahme) aus dem Anfang dieses Jahrhunderts, nämlich:

Teilnetz Nord:	Messungen 1908-1916,
Teilnetz Gotthard:	Messungen 1911-1916 (Ausnahme: P. Massari 1893-94),
Teilnetz Süd:	Messungen 1914-28.

Die Messungen wurden nach dem bekannten schweizerischen *Sektorverfahren* ausgeführt. Nähere Angaben findet man bei [Zölly 1948, 9.2].

Die verwendeten Winkelmessungen sind für die drei Netzteile Nord, Gotthard und Süd in den Figuren 3.1N, 3.1G, 3.1S dargestellt. (S. 12 - 14)

#### 3.2 Stationsausgleichungen: Ziele, Vorgehen, Methode

##### 1) Ziele, Vorgehen

Als erstes war eine *Neubearbeitung und Neuausgleichung* der alten Winkelmessungen nötig. Dies aus folgenden Gründen:

Die alten Original-Messprotokolle (Stationsblätter), von denen uns Kopien durch das Bundesamt für Landestopographie zur Verfügung gestellt wurden, enthalten schon erste strenge Stationsausgleichungen, die im Prinzip (soweit praktisch möglich) schon im Feld von Hand durchgeführt wurden; aus praktischen Gründen wurden sie aber meist später im Büro gemacht. Allerdings handelt es sich noch nicht um eine Gesamtausgleichung *aller* Messungen einer Station sondern nur um die Messungen vom jeweils gleichen Exzentrum eines Triangulationspunktes. Normalerweise sind auf einem Punkt Messungen von *verschiedenen* Exzentren aus gemacht worden. Diese sind aber noch nicht auf ein gemeinsames Zentrum reduziert und noch nicht zu einer *Gesamtausgleichung* zusammengefasst. Auch bei den *Zielpunkten* sind Messungen nach verschiedenen exzentrischen Zielen noch nicht zentriert und ferner fehlen die mathematischen Korrelationen der Richtungen, die sich aus der Ausgleichung ergeben. (Diese Korrelation durch die Ausgleichung ist eine Eigenschaft des Sektorverfahrens).

Demgegenüber treten bei der normalen Satzmessung (falls die Sätze mit allen Richtungen gemessen werden) oder etwa bei der Winkelmessung in allen Kombinationen bekanntlich keine Korrelationen auf.

Eine solche Neubearbeitung der alten Winkelmessungen ist für die Stationen 1. Ordnung von F. Jeanrichard und W. Keller [1967, 1968, 9.2] schon in den Jahren 1964-67 durchgeführt worden. Hier werden nun neu auch die Messungen auf den Punkten 2. Ordnung ausgeglichen. Ferner werden, zusätzlich zur ersten Berechnung, auch Richtungen zu Zielpunkten 3. Ordnung berücksichtigt, die noch eine gewisse Verstärkung der Ausgleichung (im Einzelfall aber auch eine Verschlechterung) bewirken können.

Natürlich wurden in die Ausgleichungen auch Messungen zu Zielpunkten ausserhalb der eigentlichen Alpentravese mitberücksichtigt, sofern sie von Punkten innerhalb des Einzugsgebietes der Traverse aus gemacht worden sind.

Ein wichtiger Gesichtspunkt war ferner die saubere Kontrolle aller Zentrierungsrechnungen, wo oft Fehler passieren. Diese Kontrolle wird hier durch Neuberechnung der Zentrierungen gemacht, was im Programm "Stationsausgleichungen" automatisch erfolgt.

#### Zur praktischen Arbeit:

Die Identifikation der verwendeten Zentren und Exzentren (aus den Originalprotokollen, 60 Jahre nach den Messungen) ist oft eine Geduldsarbeit – die Beurteilung der Punkte (besonders Zielpunkte) ist nicht immer ganz eindeutig und vieles wird oft erst nach einigem Probieren klar (oder auch nicht). Wenn keine vernünftige Abklärung möglich war, wurden einzelne Visuren, besonders nach Punkten 3. Ordnung, weggelassen. So war die Bereitstellung der Daten für die Stationsausgleichungen relativ zeitaufwendig (Kopf- und Handarbeit, und drei verschiedene Mitarbeiter!), auch wenn die Alpentravese nur 38 Punkte erster und zweiter Ordnung umfasst.

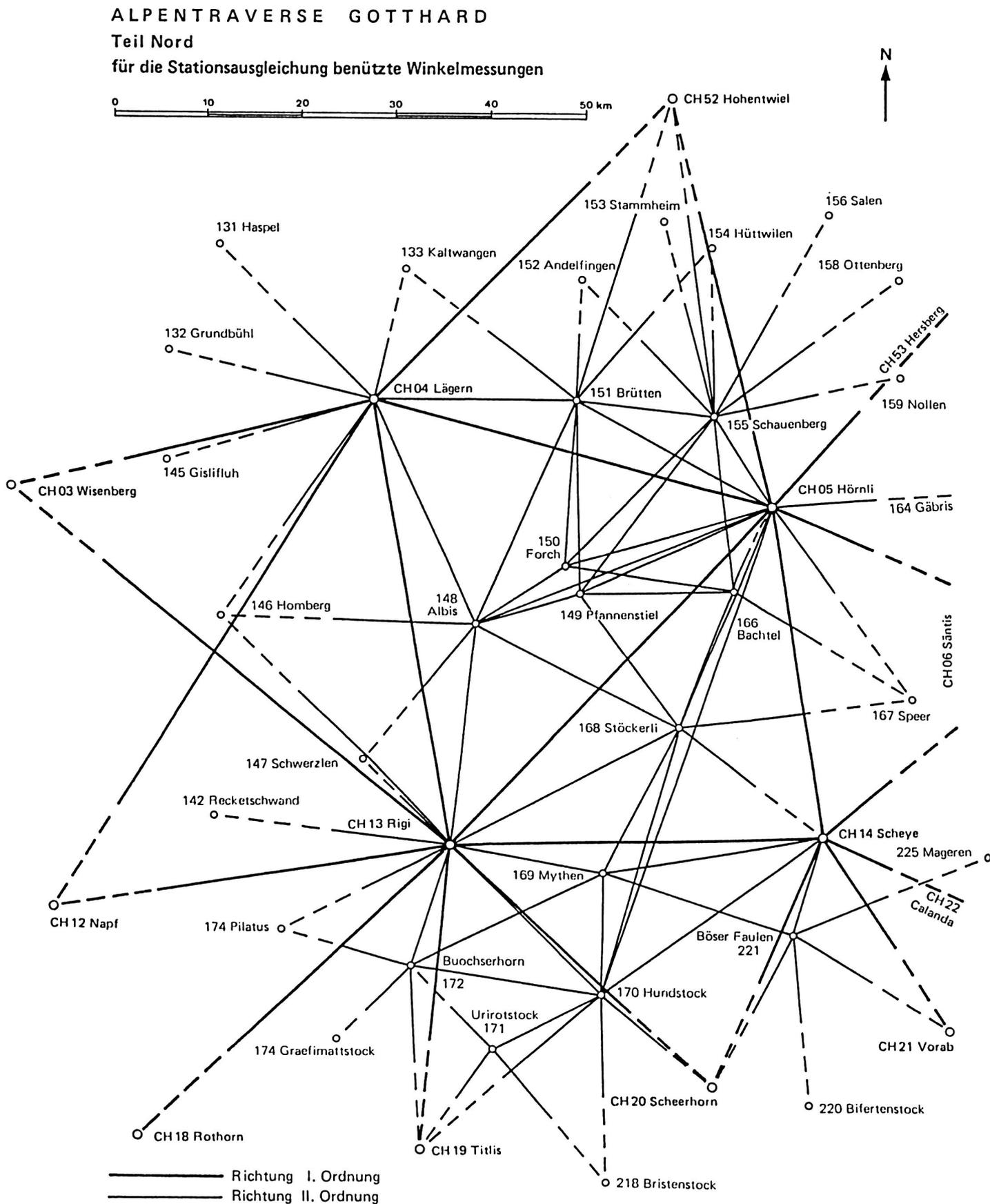
Das Endresultat dieser Stationsausgleichungen – streng durchgeführt nach der Methode der kleinsten Quadrate – sind für jede Station ein Satz von ausgeglichenen Richtungen, zentriert auf ein Hauptzentrum, sowie die Gewichte d.h. die vollständige Gewichtsmatrix dieser Richtungen, die sich aus der Ausgleichung aller Winkelmessungen ergeben. Als Punktzentren wurden die heutigen amtlichen Punktzentren der Triangulationspunkte gewählt, die meist identisch sind mit den RETRIG-Zentren (Europäische Triangulation), siehe Tab. 5.1, S. 53.

Diese Beobachtungen werden dann mit ihren Gewichten (bzw. vollbesetzten Gewichtsmatrizen) in unsere Netzausgleichungen (Kap.5) eingeführt.

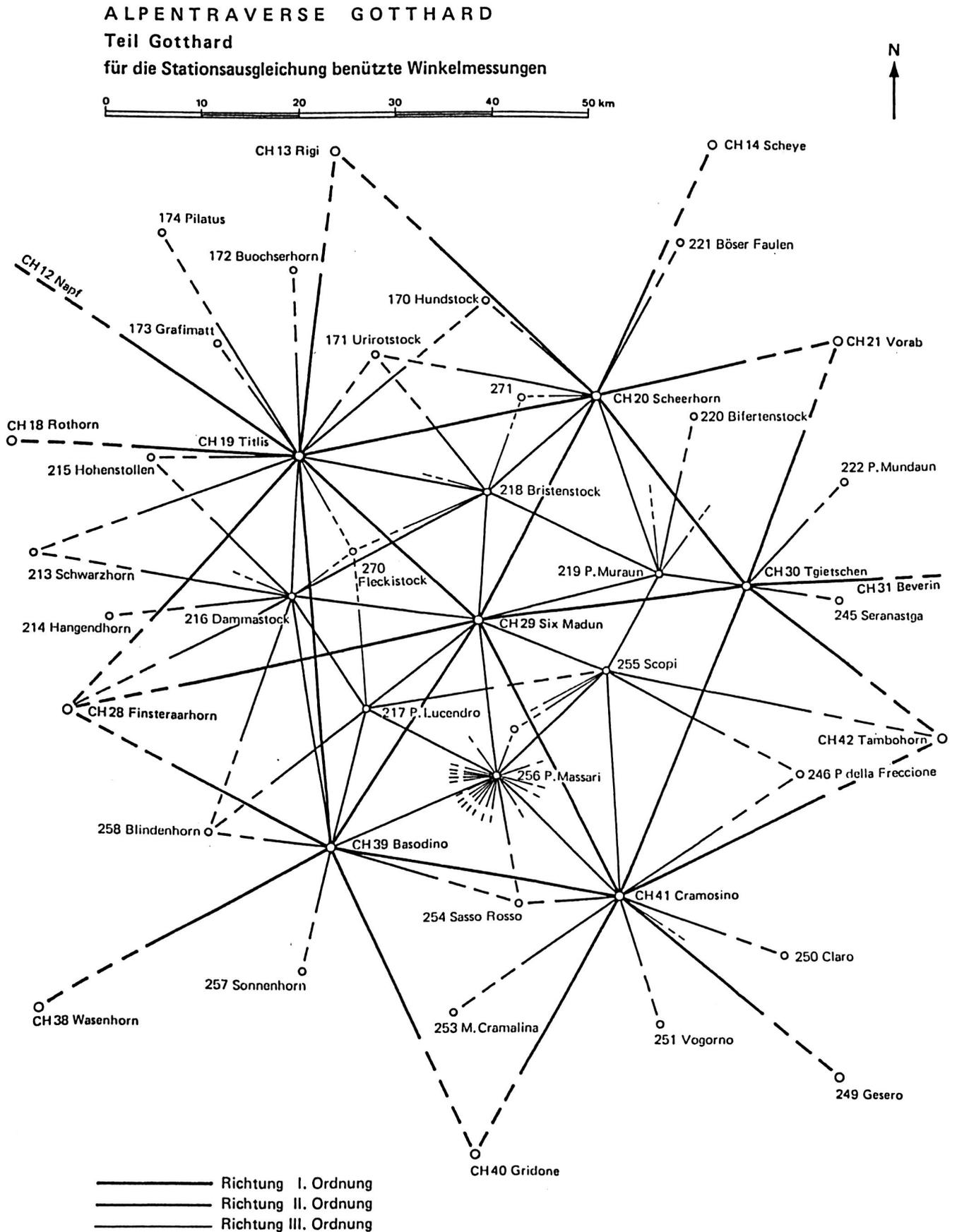
Im Anhang findet man:

Tab. 3.3: Ausgegliche Richtungen, Gewichte und Korrelationen (6 Seiten) S.174ff..

Fig. 3.1 N: Alpen traverse Gotthard, Teil Nord: Winkelmessungen



*Fig. 3.1 G : Alpentravese Gotthard, Teil G o t t h a r d: Winkelmessungen*

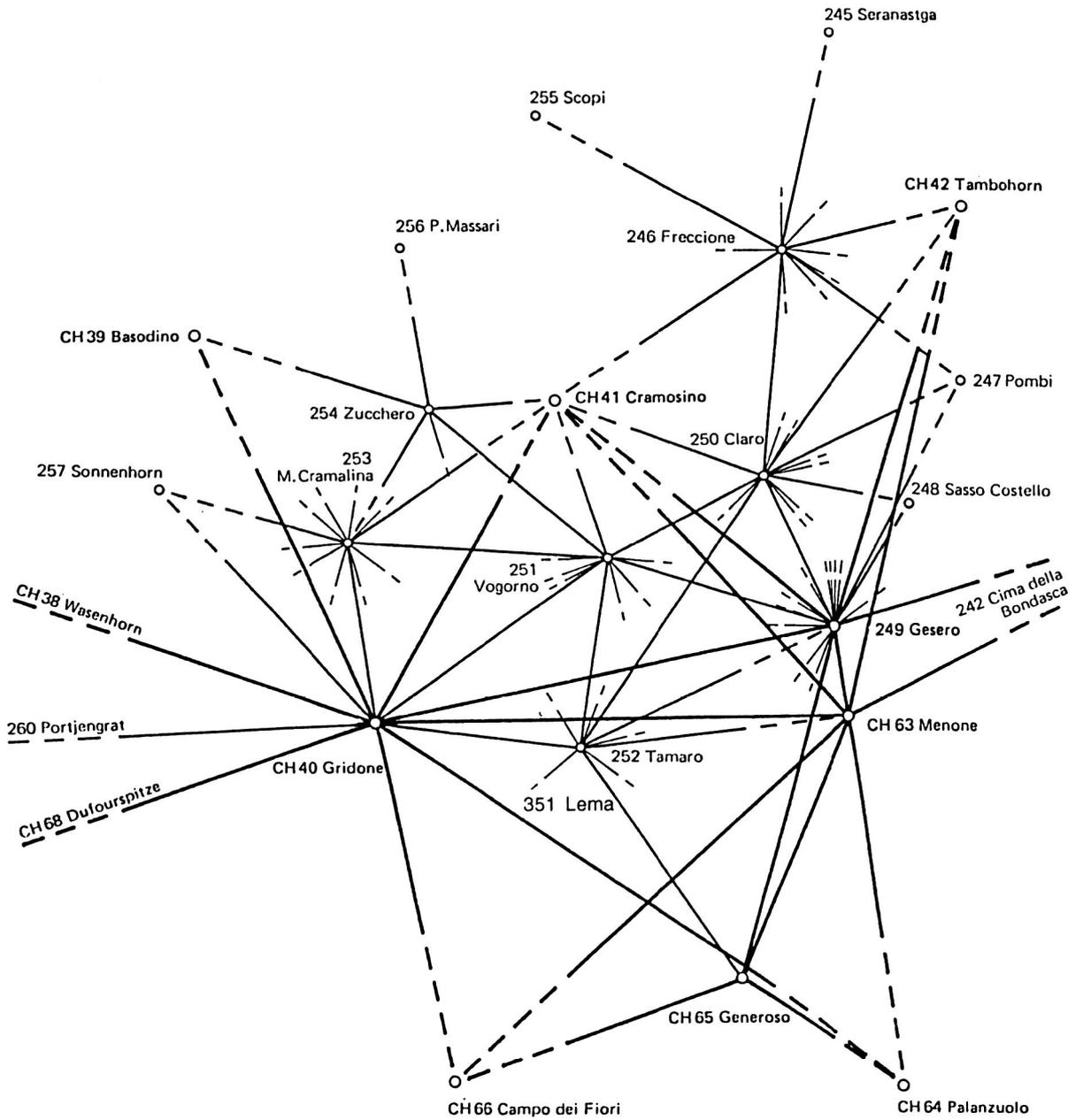


*Fig. 3.1 S: Alpentravese Gotthard, Teil S ü d: Winkelmessungen*

**ALPENTRAVERSE GOTTHARD**

**Teil Süd**

für die Stationsausgleichung benützte Winkelmessungen



- Richtung I. Ordnung
- Richtung II. Ordnung
- Richtung III. Ordnung

## 2) Winkelmessungen nach dem Sektorverfahren: Grundsätzliches zur Ausgleichung

Das Resultat der Ausgleichung ist ein Richtungsbüschel, das aus den ausgeglichenen Winkeln bezüglich einer gemeinsamen, willkürlichen Ausgangsrichtung gebildet wird. Ferner liefert die Ausgleichung die Matrix der Kofaktoren  $Q_W$  (Gewichtskoeffizienten, d.h. die Varianzen-Kovarianzen, bezogen auf die Standardabweichung 1) der ausgeglichenen Winkel. In die Netzausgleichung (Kap. 5) sind aber Richtungen (nicht Winkel) und die Gewichte dieser Richtungen, bzw. ihre ganze Gewichtsmatrix  $P_R$  einzuführen.

### Herleitung der $P_R$ -Matrix (Richtungen) aus der $Q_W$ -Matrix (Winkel)

Diese ist nicht ohne weiteres möglich: das Problem ist unterbestimmt und es sind mehrere Lösungen möglich. Die hier verwendete Lösung beruht auf einem Vorschlag von W. Keller [1969, S.8 f., 9.2] und wird in zwei Schritten durchgeführt:

a) Zuerst wird aus der Kofaktoren-Matrix der Winkel  $Q_W$  die entsprechende Matrix  $Q_R$  für die Richtungen bestimmt. Dieser Übergang ist nicht eindeutig, es sind sehr viele Lösungen möglich. Dies wird schon anschaulich klar: Im ersten Fall – unsere Winkelausgleichung nach dem Sektorverfahren – wurden alle Winkelmessungen auf eine zwar willkürliche aber feste Ausgangsrichtung bezogen, womit die Geometrie des Richtungsbündels einer Station eindeutig festgelegt ist, wobei allerdings die gewählte Bezugsrichtung als fehlerfrei angenommen wird. Dies zeigt sich darin, dass in der  $Q_W$ -Matrix der ausgeglichenen Winkel – ein Beispiel siehe Tab. 3.4 (S. 24) – in der Zeile und Kolonne dieser Bezugsrichtung Nullen stehen als Werte für die Kofaktoren (= Gewichtsreziproke, das Gewicht dieser speziellen Richtung ist also unendlich), was natürlich nicht dem Messverfahren entspricht (alle Messungen sind ja mit Fehlern behaftet). Im zweiten Fall – ein Büschel von gleichwertigen Richtungen ohne bestimmte, feste Ausgangsrichtung – sind alle Richtungen als gleichwertig behandelt (abgesehen von der verschiedenen Zahl von Winkelmessungen zu diesem Punkt), aber, solange die Geometrie (Orientierung) des Richtungsbündels noch nicht festgelegt ist oder keine weiteren Bedingungen aufgestellt werden, ist das Problem unterbestimmt.

Diese *Unterbestimmung* kann in sehr verschiedener Weise behoben werden.

In unseren Stationsausgleichungen wird - aus verschiedenen Möglichkeiten - das Lösungsverfahren von Helmert [1924. S. 531 ff., 9.4] gewählt, wobei als Zusatzbedingung (damit das Problem lösbar wird) für die  $Q_R$ -Matrix postuliert wird:

*Summe der Ausser-Diagonalglieder im Quadrat = Min.*

Dieses Minimum wird durch Variation der Diagonalglieder der  $Q_R$ -Matrix erreicht.

Es handelt sich also hier um eine vermittelnde Ausgleichung mit Bedingungsgleichungen: Unbekannt sind die Diagonalglieder der  $Q_R$ -Matrix (Anzahl der Unbekannten = Anzahl der Richtungen), die Bedingungsgleichungen gelten für die Ausserdiagonalglieder.

Diese Bedingungsgleichungen lauten:  $Q_W = F \cdot Q_R \cdot F^T$ , wobei  $F$  die einfachen linearen Funktionen (+1, -1 für Differenzen) darstellt, nach denen die Winkel  $w$  (Spaltenvektor) und Richtungen  $r$  (Zeilenvektor) zusammenhängen:  $w = F \cdot r$

Das Resultat des ersten Schrittes (a) ist also die Kofaktorenmatrix  $Q_R$  der ausgeglichenen Richtungen

b) Der zweite Schritt ist dann einfach (und eindeutig):

Die Gewichtsmatrix  $P_R$  der Richtungen ergibt sich, wie aus der Ausgleichungsrechnung bekannt ist, aus der nun bekannten Kofaktorenmatrix  $Q_R$  der Richtungen durch Inversion:

$$P_R = Q_R^{-1}.$$

Andere mögliche Verfahren zur Bestimmung der  $P_R$ -Matrix der Richtungen aus der  $Q_W$ -Matrix der Winkel liefern, nach Untersuchungen von Höpcke [1969, 9.4], verschiedene Kovarianzmatrizen für die Richtungen, je nach Art der Beseitigung der Unterbestimmung, jedoch - etwas erstaunlich aber erfreulich - gleiche Gewichte und Korrelationen der Richtungen, sowie gleiche Haupt-Ergebnisse für die Netzausgleichung (Koordinatenunbekannte, ihre Kofaktoren, mittlere Fehler a posteriori), sind also bezüglich der praktisch entscheidenden Resultate äquivalent.

### 3) Das verwendete Computer-Programm "Stationsausgleichung"

Die Ausgleichung der Winkelmessungen erfolgte mit dem Computer-Programm "Stationsausgleichung", das von N. Wunderlin [1968, 9.5] am IGP entwickelt wurde (erste Version von Werner Keller) und in der Programmiersprache Algol 60 geschrieben ist. Die Berechnungen erfolgten auf den CDC (Control Data)-Computern (Cyber) der ETHZ, die in der Zeit nach 1970 bis Sommer 1988 in Betrieb waren.

Vor der Ausgleichung werden (im gleichen Programm) die gemessenen Winkel auf die Punktzentren (bei Stations- und Zielpunkten) zentriert mit Hilfe der eingegebenen Stations- und Zielpunktkoordinaten. (Als Punktzentren verwenden wir bei Punkten 1. Ordnung die Zentren der RETrig-Punkte, mit zwei Ausnahmen, siehe Tab. 5.1, S. 53).

## Resultate

Das Programm "Stationsausgleichung" liefert die folgenden Angaben:

### a) Winkelmessungen

- eine Zusammenstellung der beobachteten und zentrierten Einzelwinkel (Anzahl  $n$ ) und ihre Verbesserungen  $v$ ,
- die Mittel der Winkelserien (Anzahl  $N$ ) und die Verbesserungen  $V$  dieser Mittel,
- die ausgeglichenen Winkel (gemessene Winkel nach der Ausgleichung),
- die Kovarianzmatrix  $Q_w$  der ausgeglichenen Winkel.

### b) Mittl. Fehler der Gewichtseinheit

(Gew.Einheit: ein einmal gemessener Winkel in zwei Lagen), nämlich:

$$s_{01}: \text{ aus den Mitteln der Serien: } s_{01}^2 = [pVV] / (N-u)$$

$$s_{02}: \text{ aus den einzelnen Beobachtungen: } s_{02}^2 = [vv] / (n-u)$$

- c) ein ausgeglichenes Richtungsbüschel (bezogen auf eine frei gewählte Nullrichtung) sowie die vollständige Gewichtsmatrix  $P_R$  der (nach Helmert) ausgeglichenen Richtungen. Diese Richtungen mit ihrer  $P$ -Matrix werden dann (siehe Kap.5) in die Netzausgleichung eingeführt.

## **3.3 Resultate der Stationsausgleichungen**

Die Genauigkeit der Messungen aus den Stationsausgleichungen ist in Tab. 3.2 (S. 18) zusammengefasst. Die ausgeglichenen Richtungen mit ihren Gewichten und vollständigen Gewichtsmatrizen sind im Anhang (Tab 3.3, S. 174 ff.) aufgeführt, etwa in der Form, wie sie dann vom Netzausgleichungsprogramm KONHEL weiterverwendet werden. Aufgeführt sind allerdings hier nur die Richtungen, die für das Netz Alpentravese wirklich verwendet werden, d.h. im allgemeinen nicht alle Richtungen der Stationsausgleichungen. Ein Beispiel einer *vollständigen* Station (hier werden *alle* Richtungen der Stationsausgleichung in der Netzausgleichung verwendet) ist der Punkt Bristenstock, für den man die vollständige Ausgleichung findet in [Steinegger / Elmiger, 1984, S. 90-97, 9.1] Für den Punkt Basodino (mit 12 verwendeten Richtungen) sind die massgebenden Matrizen in Tab. 3.4 weiter hinten (S. 24) dargestellt.

### ***Die Zahlenwerte und ihre Beurteilung***

#### 1) Messgenauigkeit: Mittlerer Fehler der Gewichtseinheit

Die Messgenauigkeit im Bereich der Alpentravese im Vergleich zur ganzen Schweiz ergibt sich aus der folgenden Tabelle 3.3 A:

Angegeben sind die mittleren Fehler der Gewichtseinheit  $s_0$  (Mittelwerte)

- für die ganze Schweiz (nur Punkte 1. Ordnung) nach [Keller 1968, 9.2],
- für unsere Alpentravese (1. und 2. Ordnung).

Gewichtseinheit: Genauigkeit eines einmal gemessenen Winkels in zwei Lagen.

Einheiten: Sexag. Sek ("), bzw. centes. Sek. (cc = 0.1 mgon).

**Tab. 3.2 Alpentravese Gotthard: Messgenauigkeit aus Stationsausgleichungen**

Pt.Nr.	Station	Messgenauigk.*		Angaben zu Stationsausgleichg.			
		s <sub>01</sub> ["]	s <sub>02</sub>	u	N	n	f
<b>Stationen 1. Ordnung</b>							
CH04	Lägern	1.19	1.04	11	19	137	126
CH05	Hörnli	1.28	0.94	14	23	181	167
CH13	Rigi	1.52	1.27	16	34	251	235
CH14	Scheye	2.54	1.20	8	15	130	122
CH19	Titlis	1.10	1.11	16	30	188	172
CH20	Scheerhorn	1.04	1.39	11	26	192	181
CH29	Six Madun/Badus	2.76	1.88	11	24	165	154
CH30	Tgietschen	1.21	1.22	8	12	150	142
CH39	Basodine	2.02	1.49	11	20	155	144
CH40	Gridone	2.17	1.24	13	32	224	211
CH41	Cramosino	1.39	0.94	13	25	212	199
CH63	Menone	0.77	1.28	7	13	60	53
CH65	Generoso*	1.77	1.47	5	8	74	69
249	Gesero	1.98	1.31	20	37	195	175
	<i>Mittel 1. Ordnung</i>	<i>1.62</i>	<i>1.27</i>				
*Generoso: historisch: 2. Ordnung, heute praktisch: 1. Ordnung							
<b>Stationen 2. Ordnung</b>							
148	Albis	1.40	1.04	8	13	77	69
149	Pfannenstiel	1.70	1.44	5	13	76	71
150	Forch	0.55	0.82	4	10	37	33
151	Brütten	1.47	1.11	9	23	135	126
155	Schauenberg	1.22	0.87	11	27	146	135
166	Bachtel	2.87	1.73	5	11	85	80
168	Stöckerli	2.37	1.16	8	19	105	97
169	Mythen	0.93	1.15	5	12	63	58
170	Hundstock	2.22	1.24	9	17	104	95
171	Urirotstock	2.50	1.21	3	7	50	47
172	Buochserhorn	1.76	1.33	5	9	41	36
216	Dammastock	1.95	1.76	12	40	125	113
217	Lucendro	1.99	1.31	6	11	74	68
218	Bristenstock	1.04	1.16	8	14	74	66
219	Muraun	2.48	1.32	7	12	73	66
221	Böser Faulen	2.13	1.27	5	8	57	52
246	Freccione	3.73	1.96	12	23	111	99
250	Claro	1.93	1.42	15	32	207	192
251	Vogorno	1.21	1.04	12	22	92	80
252	Tamaro	1.46	1.26	10	18	81	71
253	Cramalina	1.51	1.49	12	33	38	26
254	Sasso Rosso	1.28	1.28	5	18	18	13
255	Scopi	2.04	1.24	8	13	60	52
256	Massari	1.14	1.14	18	30	30	12
	<i>Mittel 2. Ordnung</i>	<i>1.79</i>	<i>1.28</i>				

**Bedeutung der Grössen:**

Winkel in " = sexag. Sekunde

\*Mittl. Fehler der Gewichtseinheit (eine Winkelmessung in zwei Lagen)

s<sub>01</sub>: Mittlerer Fehler aus grossen V:  $s_{01}^2 = [pVV] / (N-u)$   
V = Gesamtittel - Serienmittel eines Winkels

s<sub>02</sub>: Mittlerer Fehler aus kleinen v:  $s_{02}^2 = [vv] / (n-u)$   
v = Gesamtittel - Einzelbeobachtung eines Winkels

Stationsausgleichungen:

u: Anzahl Unbekannte N: Anzahl Winkelserien n: Anz. Winkel-Beobachtungen  
f = n-u: Freiheitsgrad (Überbestimmung: Anzahl überschüssige Beobachtungen)

Tab. 3.3. A Messgenauigkeit aus Stationsausgleichungen:Mittl. Fehler der Gewichtseinheit  $s_o$  (= eine Winkelmessung)

Netz	Stationen (Ordnung)	Mittl. F. Gew.Einheit	
		$s_{o1}$	$s_{o2}$
Alpentravese:	1. Ordnung. (14 Punkte)	1.62" = 5.0 cc	1.27"
	2. Ordnung. (24 Punkte)	1.79" = 5.5 cc	1.28"
	1. und 2.O. (38 Punkte)	1.73" = 5.3 cc	1.28"
Schweiz:	1. Ordnung (alle)	1.56" = 4.8 cc	1.24"

Kommentar:

Für die Messgenauigkeit der alten Winkelmessungen in der Alpentravese (bzw. in der ganzen Schweiz) ergibt sich aus den Stationsausgleichungen also folgendes Bild :

- Eine Winkelmessung (in 2 Lagen):  $1.7'' = 5.3 \text{ cc}$

für eine Richtungsmessung (in 2 Lagen) somit  $1.2'' = 3.8 \text{ cc}$

- Die Mittelwerte  $s_{o1}$  (aus den Serien-Mitteln gerechnet) sind immer grösser als  $s_{o2}$  (aus Einzelmessungen gerechnet). Wahrscheinlicher Grund für diese Erscheinung ist die Auswirkung von systematischen Fehlern bei der Messung z.B. Seitenrefraktion. Für die weiteren Berechnungen wird der grössere Wert  $s_{o1}$  als massgebend betrachtet [Keller 1969, 9.2].

- Die Messgenauigkeit der Winkelmessungen der Alpentravese liegt im schweizerischen Durchschnitt.

- Auf den Punkten 2. Ordnung ist die Messgenauigkeit leicht (kaum spürbar) schlechter als auf den Punkten 1. Ordnung, was auf Grund der kleineren Anzahl Messungen auch zu erwarten ist.

2) Richtungen aus den Stationsausgleichungen: Gewichte und Genauigkeiten

Die folgende kleine Tab. 3.3.B gibt für die Alpentravese die Mittelwerte der Grössen:

- Gewichte (Minimum, Maximum, Durchschnitt :  $p_{\text{Durch}}$  ),

- Anzahl Messungen und mittl. Fehler der stationsausgeglichenen Richtungen.

Gewicht 1 (mit dem mittl. Fehler  $s_o$ ) bedeutet eine Winkelmessung in zwei Lagen.

Die angegebenen Richtungsgewichte  $p$  entsprechen (wie zu erwarten ist) etwa der Anzahl der Winkelmessungen, die auf den betreffenden Zielpunkt ausgeführt worden sind. Tatsächlich sind die Gewichte etwas höher (bis zu 50 %) als die Anzahl der Zielungen, da die Ausgleichung natürlich eine Verstärkung, d.h. ein höheres Gewicht bewirkt.

*Tab. 3.3.B Stationsausgeglichene Richtungen: Gewichte und Genauigkeiten*

Station	Ziel	Gewichte			Anz. Richtg.	Mittl.F.Richt. $s_R$ [sex. Sek." ]
		$P_{\min}$	$P_{\max}$	$P_{\text{Durch}}$		
1.Ordn.	1.Ordn.	7.6	139.9 <sup>Max</sup>	<b>47.1</b>	56	0.24" = 0.73 cc
1.Ordn.	2.Ordn.	6.0	65.8	16.7	51	0.40" = 1.23 cc
2.Ordn.	1.Ordn.	3.0	125.5	29.4	53	0.33" = 1.02 cc
2.Ordn.	2.Ordn.	2.8 <sup>Min</sup>	66.2	22.3	77	0.38" = 1.14 cc
Mittel 2. Ordnung				<b>22.8</b>	181	0.38" = 1.16 cc
<i>Gesamt-Mittel</i>				28.5	237	0.34" = 1.06 cc

*Extremwerte:* Max. für Richtung Rigi-Titlis    Min. für Richtung Cramalina-Vogorno (Tessin)

Die rechts angegebenen Durchschnittswerte der mittleren Fehler  $s_R$  der stationsausgeglichene Richtungen ergeben sich aus den Mittelwerten der mittleren Fehler an der Gewichtseinheit  $s_0$  (siehe oben, verwendet wird der grössere Wert  $s_{01}$ ) in bekannter Weise aus  $s_R = s_0 / \sqrt{p}$ .

Wie zu erwarten sind die Gewichte der ausgeglichenen Richtungen (von Punkten oder auf Punkte) 2. Ordnung etwas kleiner als die der 1.Ordnungs-Punkte, da bei den Punkten 2. Ordnung weniger Messungen ausgeführt wurden.

### 3) Richtungsgenauigkeit aus Dreieckschlüssen

Eine recht zuverlässige Schätzung der Genauigkeit von Richtungen erhält man bekanntlich aus Dreieckschlüssen, nach der bekannten Formel von Ferrero:  $s_R = \sqrt{[\Delta\Delta]} / 6$

In der Alpen traverse ergeben sich aus den stationsausgeglichene Richtungen (von oben) folgende Werte für die Dreieck-Schluss-Fehler  $\Delta$  (=Abweichung der Winkelsumme im Dreieck vom Wert 200 Gon plus sphärischer Exzess):

*Tab. 3.3 C: Alpen traverse: Dreieckschlüsse, mittl. Richtungsfehler [ cc = 0.1 mgon ]*

Richtungen	1. Ord.	2. Ord.	alle Richtg.
<u>Dreieckschlussfehler:</u> Max.Fehler	-8.3 cc	14.3 cc	14.3 cc
Mittel / Standardabw.	3.9	5.4 cc	5.1
<u>Mittl. Richtungsfehler</u> (aus $\Delta$ -Schlüssen)	1.6	2.2	<b>2.1</b>
Zum Vergleich: Werte aus Stationsausgl.:	0.73	1.16	<b>1.06</b>

Wie sich aus den Netzausgleichungen (Kap.5.2, S.63) zeigen wird, stellen diese aus den Dreieckschlüssen geschätzten Werte für die Richtungsgenauigkeit schon die tatsächliche Genauigkeit der Richtungen dar, die sich aus der Netzausgleichung ergibt.

### 3.4 Beispiele von Stationsausgleichungen

Zur Illustration der Messungen nach dem Sektorverfahren mögen drei Beispiele dienen. Ein weiteres Beispiel - Punkt Bristenstock - mit vollständig dargestellter Ausgleichung der Winkelmessungen findet man in [Steinegger/Elmiger 1984, S.90-97, 9.1].

#### 1) Rigi:

Hier wurden (in den Jahren 1910 und 1914) am meisten Messungen durchgeführt:

Zur Einmessung von 17 Richtungen/Zielen nach Punkten 1. bis 3. Ordnung wurden 251 Einzelwinkel gemessen.

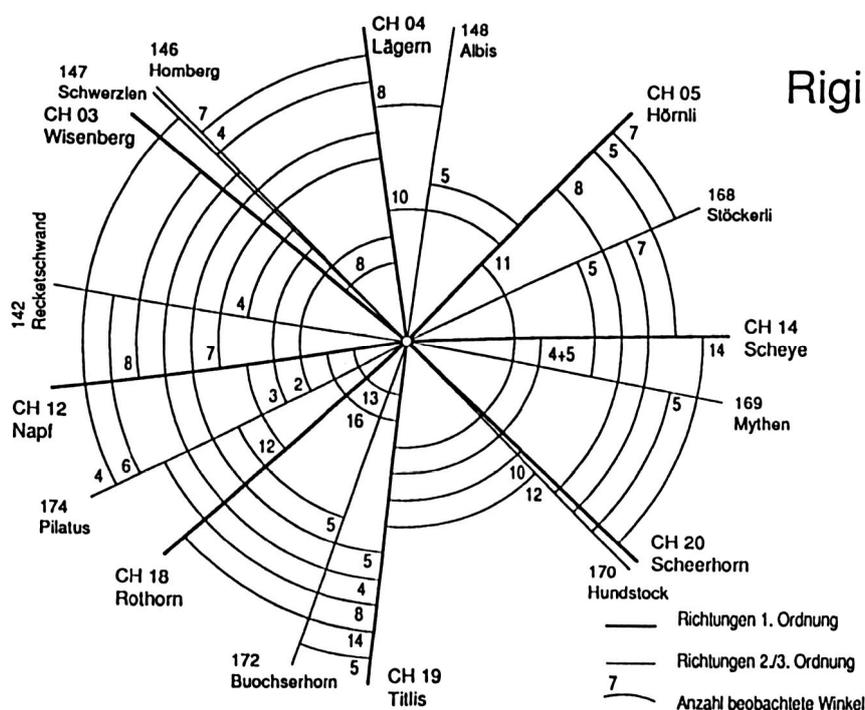
Die mittlere Messgenauigkeit (eine Winkelmessung in 2 Lagen) ist  $1.5'' = 4.6 \text{ cc}$ .

Die resultierenden Gewichte für die Richtungen sind nicht gleich, wie dies für Richtungen der gleichen Ordnung erwünscht wäre, sondern variieren relativ stark, im Verhältnis von 1 bis 5.8. Die Gewichte der Richtungen entsprechen etwa der Anzahl der Anzielungen bei der Winkelmessung, wobei sich durch Überbestimmung und Ausgleichung eine mehr oder weniger grosse Erhöhung des Gewichtes ergibt:

- Richtungen 1. Ordnung: Gewichte von 24.2 nach Scheerhorn bis 139.9 nach Titlis, d.h. eine Gewichts-Variation im Verhältnis 1 : 5.8. Die Richtung nach Titlis wurde in der ganzen Alpentravese am meisten gemessen; sie wurde gesamthaft 102 mal angezielt, die Ausgleichung bringt hier eine Erhöhung um ca. 37 %. (Richtungs-Gewicht 139.9 statt, wie anschaulich zu erwarten: 102)

- Richtungen 2. Ordnung: Gewichte von 10.1 nach Buochserhorn bis 34.5 nach Hundstock. Nach Punkt Buochserhorn wurden insgesamt 10 Winkel gemessen; die Ausgleichung bringt hier somit fast keine Erhöhung des Richtungs-Gewichtes ( 10.1 statt 10).

Fig. 3.4 A: Winkelmessungen / Stationsausgleichung auf Punkt Rigi



Die Korrelation der Richtungen von benachbarten Visuren ergibt sich aus dem Korrelationskoeffizient  $r_{ik}$ , der aus der Kofaktorenmatrix der Richtungen  $Q_R$  berechnet werden kann:  $r_{ik} = Q_{ik} / \sqrt{Q_{ii} * Q_{kk}}$

Die grössten Korrelationskoeffizienten ergeben sich für die Richtungspaare

- Stöckerli - Hundstock  $r_{ik} = 0.42$  (Punkte 2.Ordnung)
- Titlis - Briener Rothorn  $r_{ik} = 0.39$  (Punkte 1.Ordnung)

## 2) Titlis

Gemessen wurden (im Zeitraum 1911-16) 188 Einzelwinkel bei 17 Richtungen (Zielen)

Hier haben wir fast ein Musterbeispiel bezüglich Genauigkeit und erreichter relativer Homogenität der Richtungsgewichte. Die Messgenauigkeit (ein Winkel in 2 Lagen) ist sehr hoch ( $1.1'' = 3.4$  cc), die resultierenden Gewichte der ausgeglichenen Richtungen sind zwar nicht gleich, aber weichen doch nicht stark voneinander ab; sie streuen in den Grenzen:

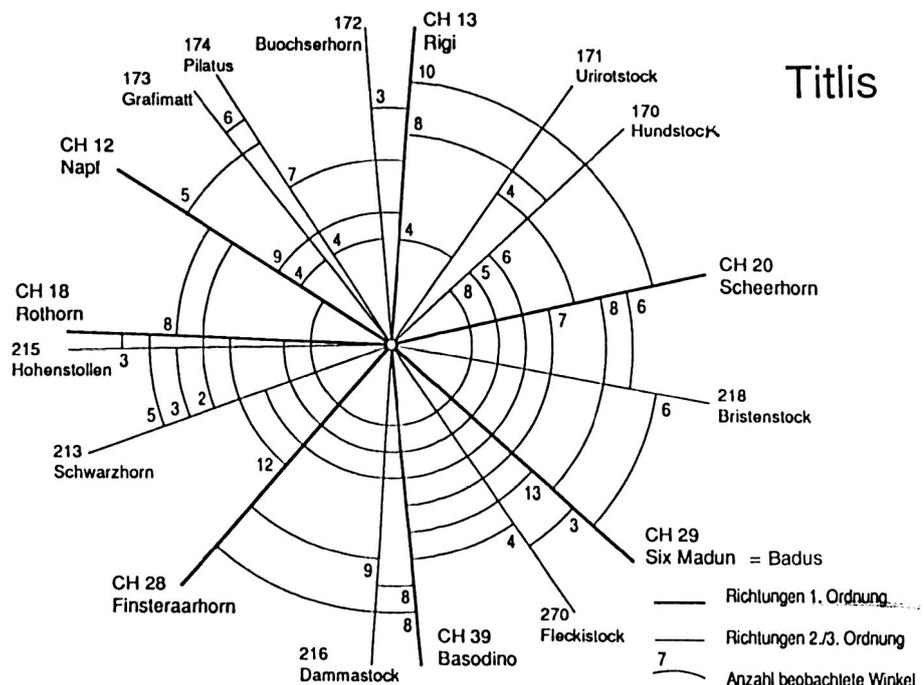
1. Ordnung: Gewichte von 31.4 nach Badus bis 47.8 nach Rigi, also eine Variation im Bereich von 1 zu 1.5)

2.Ordnung: Gewichte von 7.0 nach Buochserhorn bis 27.9 nach Hundstock.(also eine Variation der Gewichte im Bereich von 1 zu 4).

Die Korrelation benachbarter Richtungen ist recht gross:

- Richtungen Badus und Basodino:  $r_{ik} = 0.53$  (grösster festgestellter Wert)
- Richtungen Dammastock und Finsteraarhorn:  $r_{ik} = 0.50$

Fig. 3.4 B: Winkelmessungen / Stationsausgleichung auf Punkt Titlis



### 3) Basodino

Gemessen wurden (im Jahr 1914) 155 Einzelwinkel zu 12 Zielpunkten.

Die vollständigen Matrizen zur Stationsausgleichung findet man in Tab. 3.4 (S. 24).

Die Messgenauigkeit ist etwas schlechter: 2.0 " = 6.2 cc für eine Winkelmessung.

Die resultierenden Gewichte der ausgeglichenen Richtungen streuen, wie dies meist nicht zu vermeiden ist, im Verhältnis von etwa 1 : 4, wie die Beispiele zeigen:

- Richtungen 1. Ordnung: Gewichte von 17.1 nach Titlis (bei 17 Anzielungen) bis 66.3 nach Badus (mit 51 Anzielungen). Wiederum sind die Gewichte nicht ideal einheitlich sondern variieren in einem Bereich von 1 : 3.9.

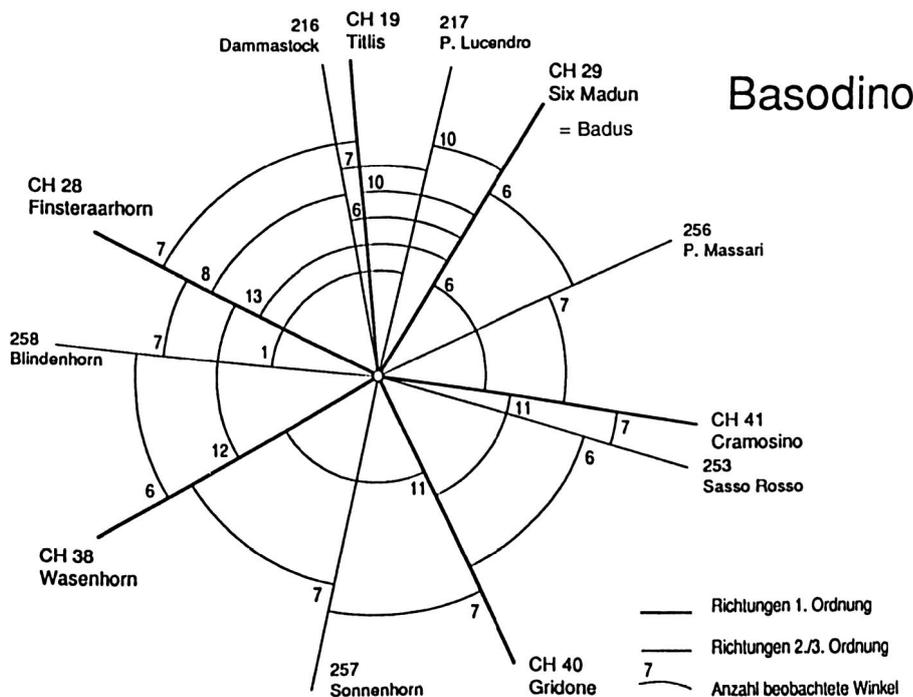
- Richtungen 2. Ordnung: Gewichte von 13.1 nach Sasso Rosso (13 Anzielungen) bis 21.6 nach Dammastock (21 Anzielungen).

Auch hier sind benachbarte Richtungen nach der Ausgleichung merkbar korreliert. Der grösste Korrelationskoeffizient ergibt sich für die Richtungs-paare

- Badus und Gridone, sowie Cramosino und Sasso Rosso :  $r_{ik} = 0.41$

- Sasso Rosso und Gridone, sowie Gridone und Scheerhorn  $r_{ik} = 0.38$

Fig. 3.4 C: Winkelmessungen / Stationsausgleichung auf Punkt Basodino





## 4. Distanzmessungen in der Alpentaverse

Das tragende Gerüst der Alpentaverse sind die elektronischen Distanzmessungen. Sie bestimmen den Massstab des ganzen Netzes und tragen aber auch wesentliches bei zur Geometrie (Form) des Netzes, die an sich durch die Winkelmessungen festgelegt wird. Bekannt ist zudem, dass mit heutigen elektronischen Distanzmessungen eine höhere Genauigkeit erreicht werden kann als mit "klassischen" Winkelmessungen, und dies auch noch mit weniger Aufwand.

Ein Hauptanstoß zur Durchführung dieses Projektes Alpentaverse war – wie schon erwähnt – der Mangel an (elektronischen) Distanzmessungen über die Alpen. Nur ein einziger Distanz-Zug (Geodimeter-Distanzen) über die Alpen war bei Beginn dieses Projektes vorhanden, was natürlich für das Grundlagennetz der Schweiz in Nord-Süd-Richtung eine sehr unsichere Distanzbestimmung bedeutet.

In erster Linie ging es also darum, diesen Zustand zu verbessern durch weitere (möglichst viele, einfach durchführbare und genaue) Distanzmessungen über die Alpen. Im folgenden werden die durchgeführten Messungen, eine (für die Schweiz) neue Methode zur Meteorfassung (mit Flugzeugen), die meteorologische und geometrische Reduktion der Distanzen in die Rechenfläche (Ellipsoid bzw. Schweiz. Projektionssystem) beschrieben und die Gewichte für die Netzausgleichung in Kap. 5 bereitgestellt.

### 4.1. Instrumente, Messungen, Messkampagnen

#### 1) Instrumente: Elektronische Distanzmesser

Die Distanzmessungen für die Alpentaverse erfolgten mit zwei verschiedenen Typen von elektronischen Distanzmessern: dem Mikrowellendistanzmessgerät SIAL MD 60 und dem Laserdistanzmessgerät Geodimeter-8.

a) Der seit den 60er Jahren bewährte Mikrowellen-Distanzmesser SIAL MD 60 (hergestellt von der Firma Siemens-Albis in Zürich, eine Weiterentwicklung des früher von der Firma Wild Heerbrugg unter dem Namen Distomat DI 50 produzierten Gerätes) zeichnet sich aus durch einfache Handhabung, eine grosse Reichweite (100 km und mehr) und die Einsatzmöglichkeit bei allen Wetterverhältnissen, hat aber – wie alle Geräte, die mit Mikrowellen als Träger der Messwelle arbeiten – den Nachteil, dass die Ausbreitung der Mikrowellen sehr stark abhängig ist vom Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre auf dem Messweg, was eine genaue und umfangreiche Meteorologiefassung verlangt, wenn man Messungen mit brauchbarer Genauigkeit erhalten will. Im Normalfall, d.h. wenn man die

Meteorologie nur (am Boden) auf den Endpunkten der Messstrecke erfasst d.h. bodennahe Messungen ausführt, ist nur eine beschränkte Genauigkeit von etwa 3 ppm (ppm = part per million = mm pro km) zu erwarten, während man bei Messungen mit grösserem Bodenabstand (z. B. wie in Deutschland auf Türmen von etwa 30 m Höhe) wesentlich bessere Resultate erzielen kann. Mit besonderem Aufwand für die Meteorfassung, wie unten beschrieben wird, ergibt sich eine Genauigkeit von etwa 1 ppm.

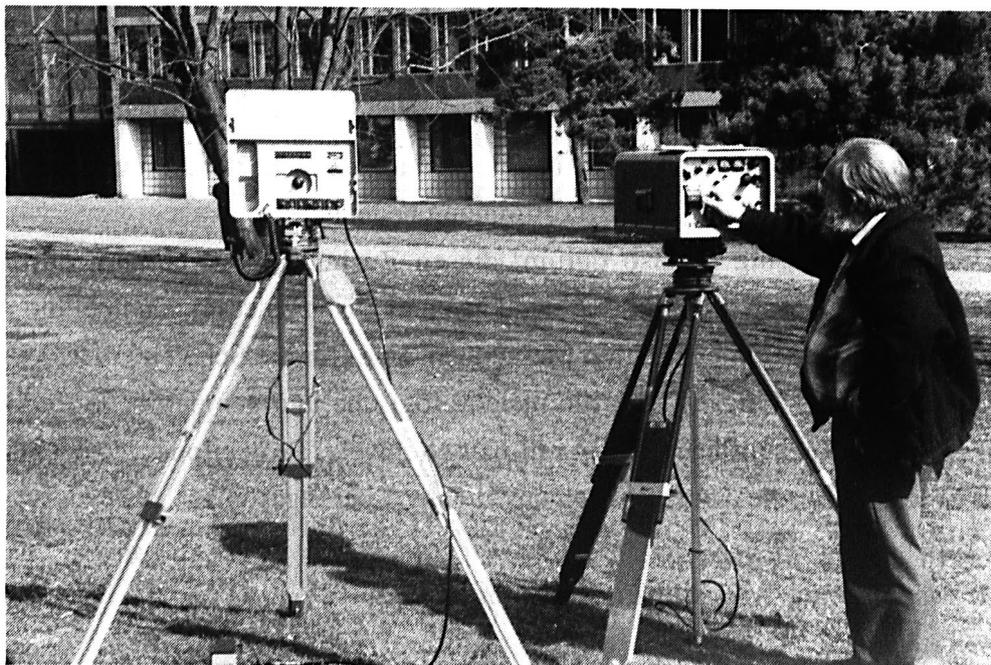
Bild 4.1 A Elektronische Distanzmesser

*Mikrowellendistanzmesser*

*SIAL MD 60*

*Laserdistanzmesser*

*Geodimeter 8 (W. Schneibel)*



b) Der bewährte Laser-Distanzmesser Geodimeter-8 (hergestellt von der Firma AGA in Schweden) verwendet Laser-Licht als Träger der Messwelle. Das Gerät ist wesentlich genauer aber etwas aufwendiger in der Handhabung und im praktischen Einsatz von sehr guten Sichtverhältnissen abhängig - nötig ist sehr klares Wetter - und es misst auch bei idealen Bedingungen nur Entfernungen bis maximal etwa 60 km. Schon bei einfachen Meteorologiemessungen (wie üblich auf den beiden Stationen) ergeben sich zuverlässige Distanzwerte auf etwa 1 ppm genau.

c) Im Vergleich der beiden Gerätetypen ist ein weiterer wichtiger Vorteil des SIAL-Distanzmessers gegenüber dem Geodimeter-8 sein kleineres Gewicht. und grössere Handlichkeit. Während das Geodimeter (bei heutigen Mess-Komfortvorstellungen! ) im allgemeinen nur mit Bahn oder Helikopter auf hohe Gipfel gebracht werden kann, lässt sich der SIAL mehr oder weniger problemlos (wie ein Rucksack) über längere Distanzen tragen.

## 2) Allgemeines über die Distanz-Messungen

Ziel: Wegen der erwähnten praktischen Vorteile des SIAL wurden die Punktverbindungen der Alpentravese möglichst vollständig mit diesem Mikrowellengerät gemessen, um dem geodätischen Distanz-Netz seine Form zu geben (im kombinierten Richtungs- und Distanz-Netz wird die Form auch bzw. vorwiegend durch die Richtungen bestimmt); der Massstab, der bei den SIAL-Messungen etwas unsicher ist, wird vom genaueren Geodimeter bestimmt und übernommen

Unsere Absicht war es, den Netzmassstab durch möglichst viele genaue Geodimetermessungen in Nord-Süd-Richtung zu bestimmen. Tatsächlich vorhanden sind im vorliegenden Netz heute (aber nur) zwei durchgehende Züge von Geodimeter-8-Messungen, die vom Norden (Punkt Lägern) bis zum Monte Generoso im Süden verlaufen, und die durch mehrere Querverbindungen in Ost-West-Richtung verstärkt werden. Zusammen mit den vielen Mikrowellen-Distanzen über das ganze Netz sollte sich so aber doch eine solide Massstabsbestimmung des Netzes ergeben.

Zuverlässigkeit: Bei der Betrachtung des Distanz-Netzplanes (S. 84) wird dem kritischen Geodäten allerdings klar, dass die Zuverlässigkeit dieser Massstabs-Bestimmung im Netz "Alpentravese" noch etwas unbefriedigend ist. Eine höhere Zuverlässigkeit (durch weitere Überbestimmung bzw. gegenseitige Kontrolle) wird sich dann in einem gesamtschweizerischen Netz (siehe künftige "Diagnoseausgleichung") ergeben durch die Verwendung von weiteren Distanzmessungen und der Gesamtheit der Winkel des ganzen schweizerischen Netzes.

Mess-Programme: Zur Verfügung standen 6 Mikrowellen-SIAL-Distanzmesser\* und 1 Geodimeter-8-Gerät. Damit konnten in einem Netz 6 Punkte gleichzeitig besetzt und 3 SIAL-Distanzen und eine Geodimeter-Distanz gleichzeitig gemessen werden. Eine SIAL-Distanzmessung bestand dabei aus 6 Einzelmessungen hin und 6 Einzelmessungen rück, was etwa 5-6 Minuten dauerte. (Die beiden Stationen sind mit identischen Geräten bestückt, die als Master- bzw. Remote-Station benützt werden können). Ein ganzes Teilnetz mit 6 Punkten konnte so in 5 Messphasen von ca. 5-6 Minuten, insgesamt also in etwa einer halben Stunde, gemessen werden.

\*Benutzt wurden sechs SIAL-Geräte mit den Fabrikations-Nummern 501, 502, 504, 505, (Eigentum des IGP) und 703 und 704 (Leihgeräte vom Eidg. Zeughaus Thun).

### 3) Distanz-Messkampagnen

Die neuen Distanz-Messungen, die für dieses Projekt speziell durchgeführt wurden, erfolgten in 5 Messkampagnen mit Mitarbeitern und Studenten der ETHZ, wobei zum Teil auch das Bundesamt für Landestopographie mitwirkte. Diese Kampagnen sind im folgenden Überblick zusammengestellt:

#### A. SIAL-Messungen: *Meteoerfassung nur auf den Stationen: 1981*

##### 1) Diplomvermessungskurs 1981 in Sedrun: 4. - 7. Aug.

[Massstabsgruppe (Mf1) in Tab. 4, S. 180 ff.]

4 Mess-Tage auf 9 Punkten der Alpen traverse im "Testnetz Gotthard": Titlis, Scheerhorn, Badus, Tgietschen, Basodino, Cramosino, Lucendro, Muraun und Scopi. Ferner wurden hier versuchsweise Langstreckenmessungen von Lägern nach Titlis und Scheerhorn gemacht, die allerdings, da sie meteorologisch etwas unsicher sind, nicht in das Netz Alpen traverse eingeführt worden sind.

#### B. SIAL- und Geodimeter-Messungen

##### *Meteoerfassung auf den Stationen und durch Meteoflüge: 1983 - 1986*

##### 2) Diplomvermessungskurs 1983 in Sedrun, 9. und 10. August:

- SIAL-Messungen (Mf2): 2 Tage auf 5 Punkten der Alpen traverse im "Testnetz Gotthard": Titlis, Badus, Basodino, Scopi und Lucendro.
- Geodimetermessungen (Mf6): von Scopi nach Basodino, Titlis, Lucendro, Badus.

##### 3) Vertiefungsblock in Vermessung

für Studenten der ETH, Abt. VIII im Sommersemester 1985:

SIAL- Messungen (Mf5) am 6. Juni: 1 Tag auf 3 Punkten der Alpen traverse:  
Punkte Titlis, Rigi, Lägern.

##### 4) Diplomvermessungskurs 1985 im Valle di Blenio, 8. und 9. August:

- SIAL-Messungen (Mf3): 2 Tage auf 7 Punkten der Alpen traverse im Südnetz: Basodino, Cramosino, Gridone, Menone, Gesero, Vogorno, Tamaro und dem Punkt Titlis im Netz Gotthard (ferner auf Finsteraarhorn und Rötiflüh: diese Messungen werden hier nicht berücksichtigt, weil sie ausserhalb der Alpen traverse liegen).
- Geodimetermessungen: (Mf6): Von Tamaro nach Basodino und Cramosino.

##### 5) Messkampagne 1986

mit Institutsangehörigen und mit Unterstützung durch Mitarbeiter des Bundesamtes für Landestopographie sowie Studenten der ETH:

- a) SIAL-Messungen vom 2. September auf 6 Punkten der Alpen traverse im Teilnetz Nord: Hörnli, Rigi, Scheye, Titlis, Scheerhorn und Hundstock: Mf4.  
Geodimetermessungen waren geplant aber wetterbedingt nicht möglich.
- b) Geodimetermessungen Sommer - Herbst 1986: 6 Distanzen, ohne Meteoflüge: Mf6
  - Tgietschen - Cramosino am 14. August 1986 (durch Landestopographie)
  - Von Scheye zu Hörnli, Titlis und Scheerhorn, am 23. September 1986 (IGP /ETH)
  - Von Scopi nach Scheehorn und Cramosino am 28. Oktober 1986 ( IGP / ETH)

### C. Ältere Geodimeter-8-Distanzmessungen: 1969-1977. Meteo nur auf den Stationen

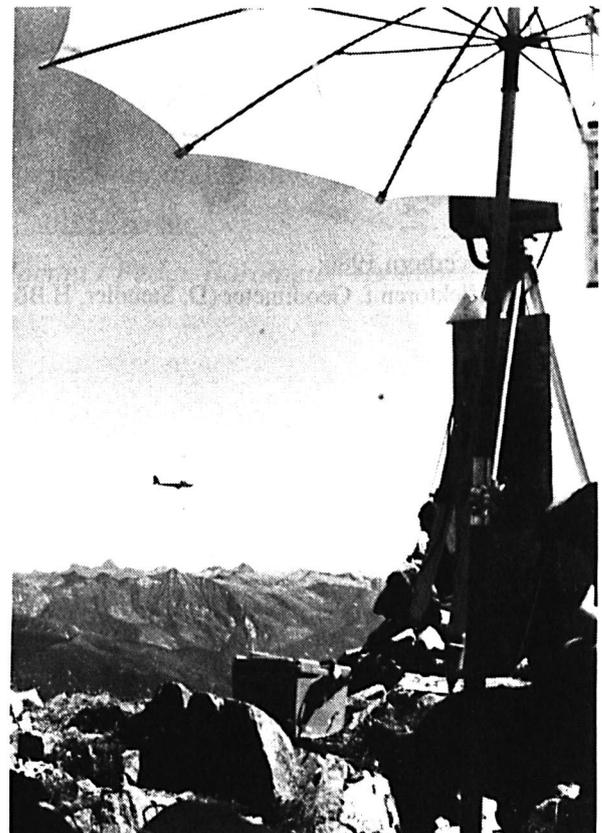
Messungen durch IGP /ETHZ (W. Fischer, N. Wunderlin u.a.):

1) <u>Mittelland:</u>	<u>Datum der Messung</u>
a) Lägern - Rigi :	22. Oktober 1969
b) Rigi - Scheye, Rigi - Hörnli :	21. Sept. 1971
Hörnli - Lägern:	18. Okt. 1971
2) <u>Basisvergrößerungsnetz Giubiasco und Nord-Süd-Traverse</u>	
a) Gridone-Menone, Tamaro-Menone: [Wunderlin 1981, S.52, 9.2]	Aug./Sept. 1975
b) Generoso-Gridone, Generoso-Tamaro:	17. Sept. 1976
Generoso-Menone:	20. Sept. 1976
Generoso-Lema (Pkt. 2./3.Ordnung):	18./20. Sept. 1976
c) Gridone-Basodino:	8. Sept. 1977
Lema-Gridone, Lema-Tamaro, Tamaro-Gridone:	9. Sept. 1977
d) Titlis-Rigi, Titlis-Basodino:	11. Nov. 1977

#### Fig. 4.1 B Bilder von den Distanzmessungen

Links: Lucendro 1983: SIAL-Messung, Flugzeug HB 2038 auf der Messstrecke

Rechts: Gridone 1985: SIAL-Messung (Remote-Betrieb), Flugzeug HB 2038 kreist um Station vor Weiterflug





Scopi 1983: Geodimeter (W.Schneibel, U. Meyer)



Titlis 1985: SIAL (2 Stud., H. Bösch)



Scheerhorn 1986:  
Reflektoren f. Geodimeter (D. Stuedler, H.Bösch)



Cramosino 1986:  
Reflektoren f. Geodimeter (F. Chaperon,  
M.Vögeli)



Badus / Six Madun 1981:  
Stangensignal auf Zentrum,  
Stationsmeteo (unter Schirm),  
ein Diplomand am SIAL,  
vorne rechts A. Elmiger.

## 4.2. Meteorologie-Erfassung für die Reduktion der Distanzen

Für die meteorologische Korrektur von elektronischen Distanz-Messungen ist bekanntlich die genaue Kenntnis des Brechungsindex auf dem Messstrahl nötig, der sich aus den atmosphärischen Parametern Temperatur, Druck und Feuchtigkeit ergibt. Für Mikrowellen-Distanzmessungen ist besonders die Luftfeuchtigkeit entscheidend. Zur Erfassung der Meteorologie auf dem Messstrahl wurden konventionelle Methoden (Stations-Meteo) angewandt und neue erprobt: Ballonaufstiege und Meteo-Flüge.

### 1) Meteo-Messungen auf den Stationen

#### a) Stations-Meteorologie:

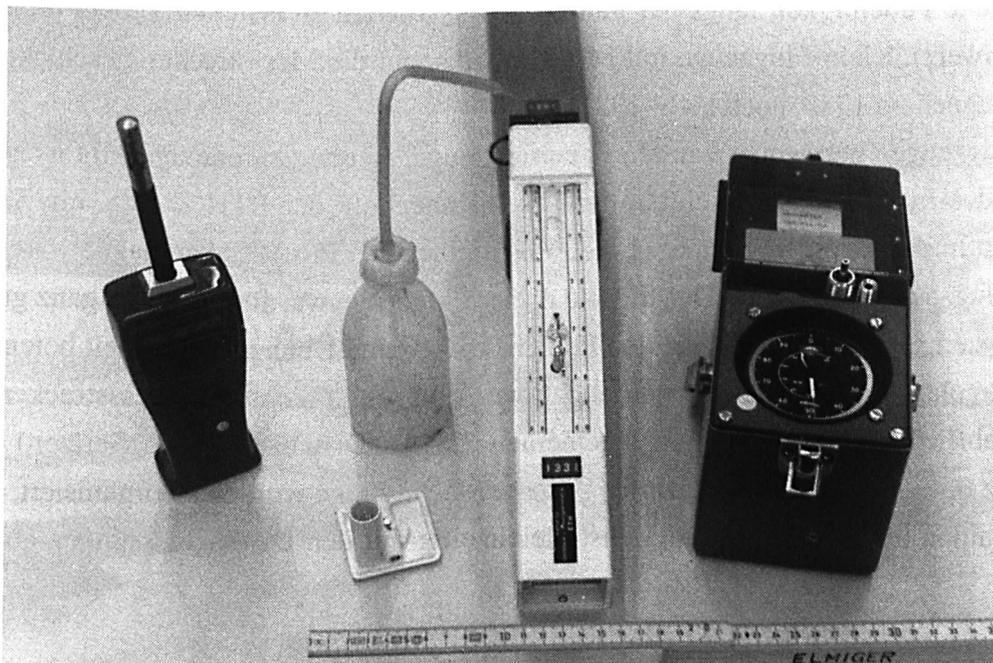
Bei allen Distanzmessungen wurden die meteorologischen Daten in der üblichen, einfachen Weise auf den Instrumenten- und Reflektor-Stationen - also nur auf Anfangs- und Endpunkt einer Strecke, aber nicht auf dem ganzen Messstrahl, wie es eigentlich erwünscht wäre - erfasst. Folgende Instrumente wurden dazu verwendet:

-Druck: Die bekannten Feder-Barometer von Thommen (Waldenburg, Schweiz): diese wurden vor und nach der jeweiligen Kampagne untereinander und mit einem Eichbarometer verglichen.

-Temperatur und Feuchtigkeit: in den meisten Fällen die bekannten Haenni-Psychrometer (Messung von Trocken- und Feuchttemperatur), sowie teilweise neuere Messgeräte wie "Rotronic" mit digitaler Anzeige von Trockentemperatur und relativer Feuchtigkeit.

#### Bild 4.2.A: Meteo-Erfassungs-Geräte

*Digital-Messgerät Rotronic / Psychrometer Haenni / Feder-Barometer Thommen*



### b) Meteo-Sonden an Fesselballonen

In einzelnen Fällen kamen Ballone mit Meteosonden zum Einsatz: Die Sonden des Typs EO85 der Firma Sprenger (BRD) wurden an Helium-gefüllte Fesselballone gehängt; man liess die Ballone an einer bis zu 100 m langen Schnur über der Messstation aufsteigen und berechnete dann aus der Schnurlänge und der Neigung der Schnur (mit Klinometer gemessen) die Höhe der Sonde. Dies geschah am 6.6.1985 auf der Rigi und am 8.8.1985 auf den Punkten Pizzo Vogorno und Monte Tamaro im Tessin. Starke Winde erschwerten, bzw. verunmöglichten jedoch oft die Messungen. Auf dem Monte Tamaro beispielsweise riss sich der Ballon los und entschwebte ohne Sonde.

Nachteil dieser Methode ist der organisatorische Aufwand, die Abhängigkeit vom Wetter und der Charakter einer Stichprobe: Die Messungen ergeben zwar nützliche Aussagen über den Meteoverlauf über einer Station (bis ca. 100 m darüber), vergl. Fig. 4.4 A, S. 40, aber die Aussagen sind auf eine Station begrenzt und lassen sich nicht ohne weiteres auf ein ganzes Netz übertragen.

## 2) **Meteorologie-Flüge**

Schon länger ist bekannt, dass die Meteorologiemessungen auf den Instrumentenstationen die Verhältnisse entlang des Messstrahles im freien Raum schlecht repräsentieren. In den bodennahen Schichten der Stationsumgebung ist beispielsweise die Temperatur im Normalfall markant höher als einige Meter über dem Messpunkt, oder der Gipfel kann in Wolken oder Nebel gehüllt sein, während ein paar hundert Meter weiter weg die Sonne scheint.

### a) Flugzeuge und Organisation der Flüge

Prinzip: Aus diesen Gründen wurde versucht, die Meteorologiewerte Temperatur, Druck und Feuchtigkeit längs der ganzen Mess-Strahlen zu erfassen, indem (erstmalig in der Schweiz), Klein-Flugzeuge mit Meteo-Sonden auf die Messstrecken geschickt wurden. (Kampagnen ab 1983, noch nicht 1981).

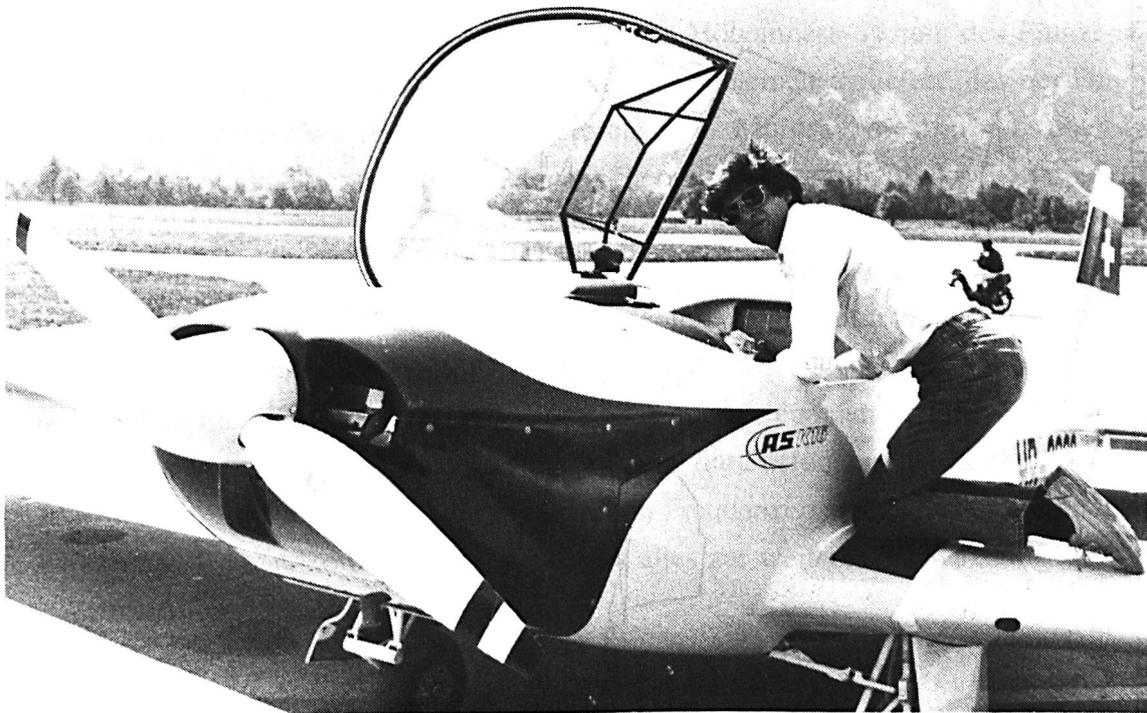
Flugzeuge: Verwendet wurden Kleinflugzeuge, so der zweiplätzig Motorsegler (HB-2038) des Institutes für Leichtbau und Seilbahntechnik der ETH Zürich, ein Segelflug-Schleppflugzeug vom Typ Piper (HB-OYB) und andere. Pro Messkampagne waren jeweils zwei Flugzeuge im Einsatz. Der Einsatz dieser Flugzeuge war für uns nicht ganz gratis aber sehr kostengünstig, da die Flüge den Piloten erwünschte Übungsgelegenheit boten.

Flugpläne: Allerdings können auch zwei Flugzeuge nicht alle Messstrecken gleichzeitig abfliegen - es wurden im allgemeinen 3 SIAL-Distanzen (mit 6 Geräten) und eine Distanz mit Geodimeter gleichzeitig gemessen. Die Flüge wurden so organisiert, dass alle Messstrahlen hintereinander möglichst gleichzeitig mit den Distanzmessungen abgeflogen

wurden. Das Meteo-Feld wird also regional und zeitlich erfasst und später örtlich und zeitlich interpoliert für die betroffenen Messstrahlen und Mess-Zeitpunkte.

*Bild 4.2 B: Flugzeuge für die Meteo-Erfassung*

Oben: *Motorsegler HB-2038*      Unten: *Schleppflugzeug Piper HB-OYB*



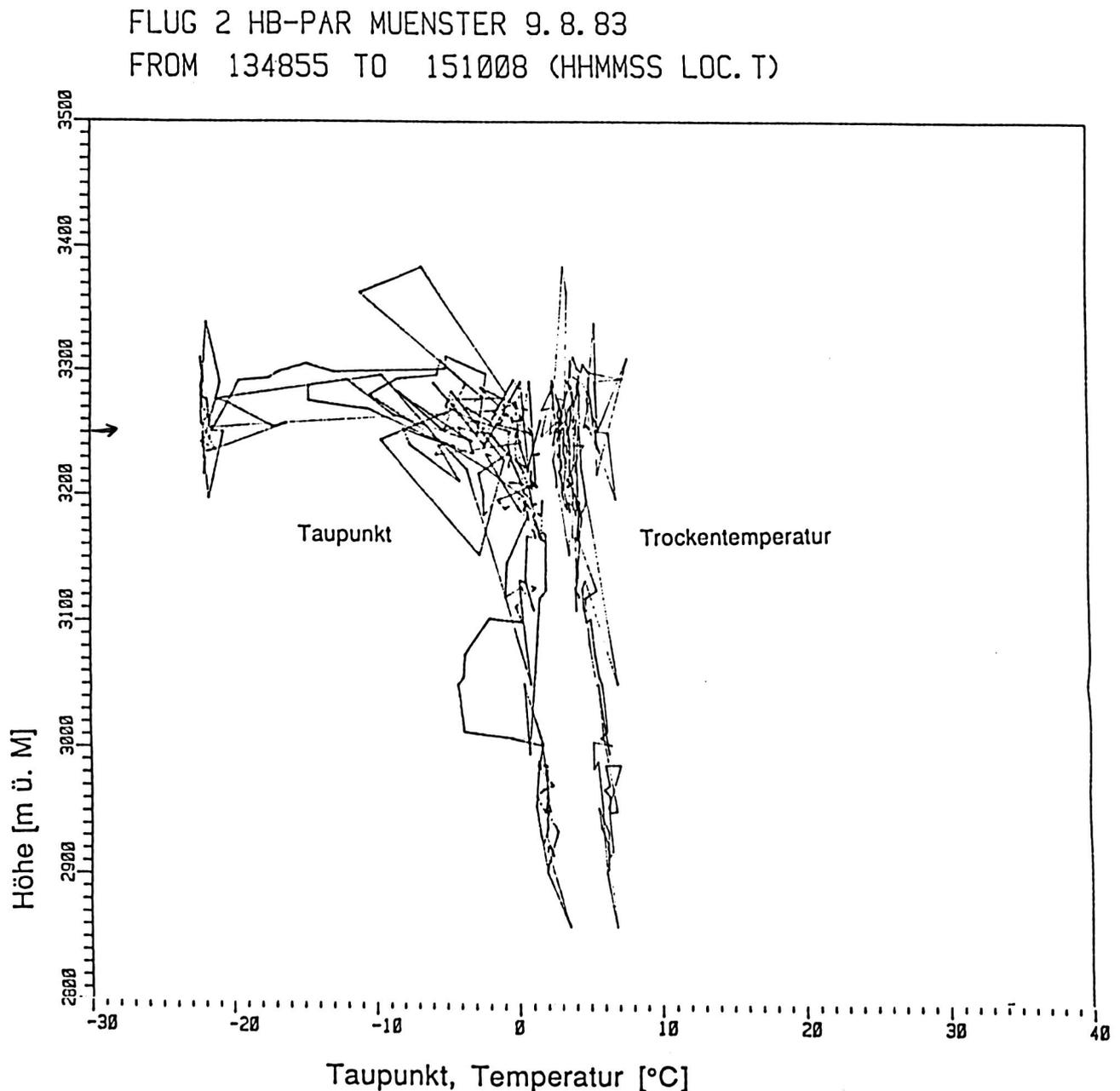


Fig. 4.2 C: Auswertung: Temperatur- und Taupunkt-Diagramm in Funktion der Höhe.

Meteo-Flug mit ATAR-Meteo-Sonde: Gotthardnetz 1983

Auf ca. 3250 m Höhe befindet sich eine Grenzschicht zwischen feuchter (unten) und sehr trockener Luft (oben). Auf dieser Höhe (siehe Bild) nimmt der Taupunkt um ca. 20 Grad und die Brechzahl für Mikrowellen um etwa 25 ppm ab, beim Uebergang von unten (feucht) nach oben (trocken), während die Trockentemperatur fast gleich bleibt. Wenn also nicht bekannt ist, ob der Mikrowellen-Messstrahl unter oder über dieser Schicht verlief, können die Resultate bis zu 25 ppm falsch sein!

#### b) Meteo-Sonde und Datenerfassung

Sonde: Die Meteorologiemessungen wurden mit einer Sonde (ATAR) der Firma Meteolabor in Wetzikon (Kt. Zürich) durchgeführt. Sie besteht aus den eigentlichen Messführlern und einer Einheit, welche die Messdaten abfragt und sie in Form von Frequenzen zwischen 0 und 10 kHz auf eine Tonbandkassette aufzeichnet.

Messung: Gemessen werden Druck, Temperatur und Taupunkt (ein Mass für die Luftfeuchtigkeit). Der Druckfühler ist am statischen Höhenmess-System des Flugzeugs angeschlossen; die Temperatur wird von einem Thermoelement geliefert, das am Flügel des Flugzeugs ausserhalb des Einflussbereichs des Motors befestigt ist, und als Feuchtefühler dient ein Taupunktspiegel, der ans Plexiglasfenster (innen) der Pilotenkanzel geklemmt ist und durch ein Röhrchen Aussenluft zugeführt erhält.

Registrierung: Diese drei Parameter werden laufend abwechslungsweise registriert, wobei ein Zyklus (die einmalige Messung von Druck, Temperatur und Taupunkt) 2.5 Sekunden dauert.

Während so die eine Spur der Tonbandkassette mit Meteodaten gefüllt wird, können auf der anderen Spur Kommentare über die Flughöhe, die Positionen, die Zeit, etc. aufgenommen werden. Im Büro werden die in Form von Frequenzen vorliegenden Meteodaten digitalisiert, die Tonbandkommentare notiert, und alles zur weiteren Verwendung auf den Computer übertragen. [Stuedler 1984, 9.5].

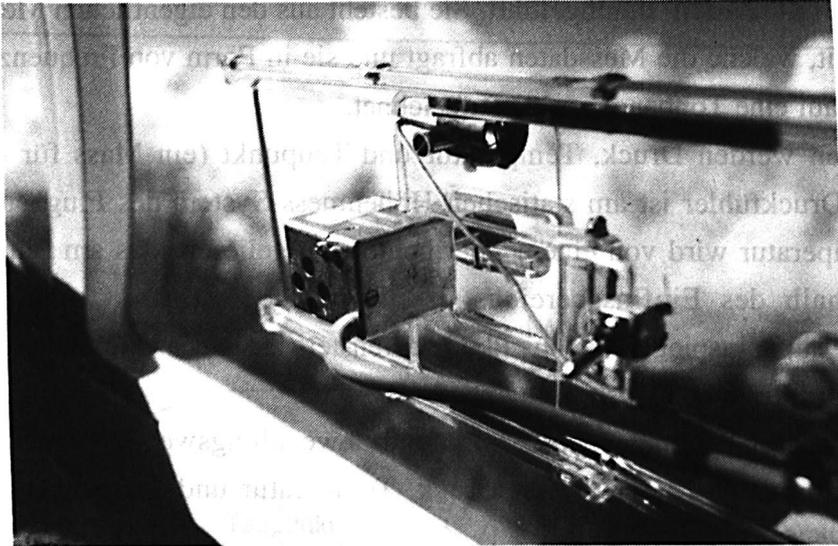
#### c) Position des Meteo-Flugzeugs im Raum

Im Idealfall sollte das sondentragende Flugzeug genau dem Messstrahl entlang fliegen. Anfängliche Versuche in dieser Richtung, bei denen das Flugzeug durch Beobachtung im Theodolit und mit Hilfe von Funk laufend auf den Messstrahl eingewiesen wurde, waren zum Scheitern verurteilt, weil wegen der Länge der Distanzen und den oftmals nicht sehr guten Sichtverhältnissen sich das Flugzeug bald aus dem Sichtfeld des Theodolits verlor.

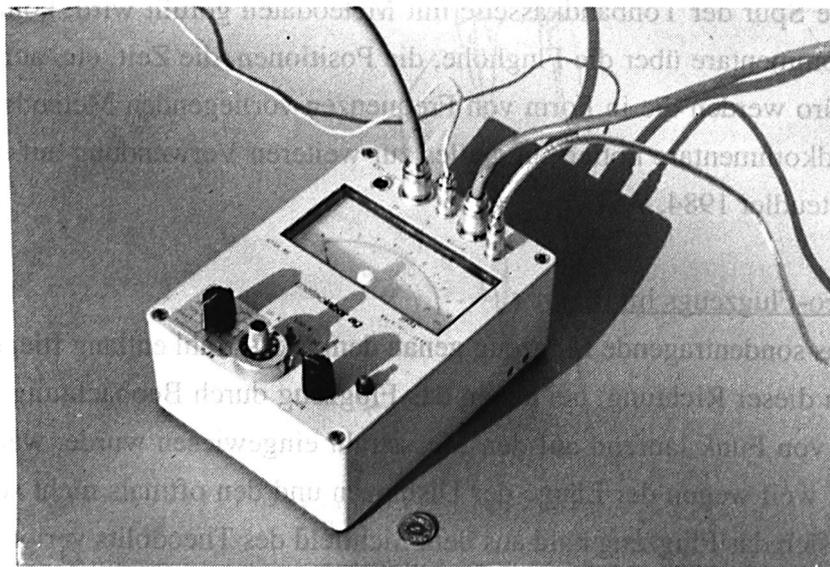
Man beschränkte sich deshalb darauf, die Position durch Bodennavigation und die Höhe aus dem registrierten Barometerdruck zu bestimmen. Die barometrischen Höhen wurden geeicht durch Vergleich mit bekannten Höhen, dies beim Starten und Landen und durch Vorbeiflüge an Berggipfeln (mit bekannten Höhen). Um bessere Werte für die Vertikal-Gradienten von Druck, Temperatur und Feuchte zu erhalten, welche für die genaue Reduktion der gemessenen Meteowerte auf den Messstrahl nötig sind, ist man entlang einer Wellenlinie von etwa 50 - 100 m Amplitude geflogen (sogenannter "Delfin-Flug").

**Bild 4.2 D: Meteo-Sonde ATAR für Meteomessungen aus dem Flugzeug**

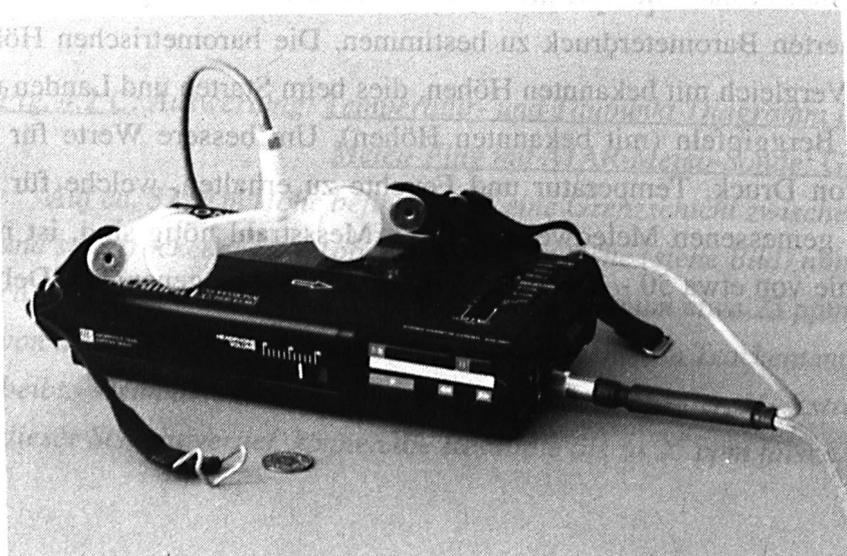
Der Fühler (Bild a) ist montiert an der Pilotenkanzel des Flugzeuges (HB 2038).



- a) **Fühler**  
am Seitenfenster  
eines Motorseglers  
montierte Sensoren  
für die **Messung** von
- **Temperatur**  
(Widerstandsdraht  
im schwarzen  
Metall-Zylinder  
oben)
  - **Feuchte/Taupunkt**  
(Taupunktspiegel im  
Aluminiumkästchen  
Mitte links, mit  
Plasticrohr aussen  
für die Luftzuführung)
  - **Druck**  
(nicht sichtbar)



- b) **Steuerkästchen**  
zum Multiplexen von
- **Druck,**
  - **Temperatur,**
  - **Taupunkt.**
- Eingänge:  
Drei Fühler
- Ausgang:  
Kassettengerät



- c) **Registrierung**  
auf Kassettengerät  
**SONY**
- **Daten:** frequenz-  
verschlüsselt ,
  - **Kommentare:**  
gesprochen mit  
Kehlkopfmikrofon  
(weiss)

### 4.3. Integraler Brechungsindex aus Flug-Meteo-Messungen

Für die meteorologische Distanz-Reduktion ist das Mittel des Brechungsindex der Luft über den ganzen Messweg der Distanzmessung massgebend: integraler Brechungsindex. Dieser wird aus den Erhebungen der Meteo-Sonde am Flugzeug berechnet.

Im folgenden sei die Idee der Methode (nach B. Neining) kurz zusammengefasst.

Einen guten Überblick über die Thematik gibt U. Schor [1992, 9.3] und der SGK-Bericht "Dreidimensionales Testnetz Turtmann, Teil I. [Jeanrichard 1992, 9.6], Abschnitt "Meteo-Erfassung und troposphärische Korrektur der Streckenmessungen" von B. Neining und R. Köchle.

Die Auswertungen, die leider etwas aufwendig sind, erfolgten schrittweise mit mehreren Programmen auf dem CDC-Grossrechner des Rechenzentrums der ETHZ (Computer Cyber von CDC mit dem Betriebssystem EMOS, ca. 1983-86).

Die Arbeit läuft in folgenden Schritten ab:

#### 1) Vorbereitung: Aufbereitung der Flug-Meteodaten

##### a) Daten-Aufbereitung

Bevor mit der Berechnung von Brechungsindices und der Distanzreduktion begonnen werden kann, müssen die Meteorologiedaten, die mit den Flugzeugen erfasst wurden, aufbereitet, geeicht und für die weitere Auswertung im benötigten Format bereitgestellt werden. Dazu werden erst die in Form von Frequenzen vorliegenden Daten in lesbare Meteodaten umgewandelt, dann, falls nötig mit Hilfe von vor und nach dem Flug am Boden gemachten Vergleichsmessungen geeicht und schliesslich unzuverlässige Daten und Ausreisser eliminiert. Es entsteht so ein Datenfile, dessen jede Zeile die folgenden Parameter enthält: Zeit, Druck, Höhe (aus Druck gerechnet), Temperatur, Taupunkt, sowie daraus gerechnet der Dampfdruck, der dann weiterverwendet wird.

##### b) Standort der Meteo-Messungen (Flugzeug)

Die Positionen des Flugzeuges mit der Meteo-Sonde werden bestimmt mit Hilfe der Landeskarte und der Kommentare, die der Beobachter im Zweisitzer-Flugzeug (z.B. Rico Breu, Adrian Ryf) auf Tonband gesprochen hat und dann ebenfalls auf einem File bereitgestellt. In einem Falle (Kampagne vom 6. 6. 1985) konnte ein Radio-Navigationssystem vom Typ OMEGA verwendet werden, das im Motorsegler (von Dr. A. J. de Orleans-Borbon, Spanien) eingebaut war. Die Positionen wurden laufend registriert und für die späteren Auswertungen verwendet. Falls für die Distanzreduktion neben den Flug-

Meteorologiedaten noch Stationsmeteorologiedaten beigezogen werden sollen, werden diese ebenfalls auf ein spezielles File geschrieben.

## 2) EDM-Strahlverlauf und integraler Brechungsindex

a) Überblick: Hier wird die Hauptarbeit der meteorologischen Distanzreduktion beschrieben: Es ist für die ganze Länge der Messstrecke zu bestimmen, wo der EDM-Messstrahl räumlich relativ zu den Meteo-Messungen liegt, die von der Sonde am Flugzeug registriert werden. Dann ist punktweise ein Brechungskoeffizient zu berechnen und das Mittel über die ganze Strecke zu bilden: das ergibt den integralen Brechungsindex, mit dem dann die meteorologische Reduktion der gemessenen Distanz durchgeführt wird.

Im folgenden wird beschrieben, wie die Berechnung dieses integralen Brechungsindex durchgeführt wird. Dies geschieht mit Hilfe eines Pascal-Programms names GEOATAR, das hiezu speziell entwickelt wurde. (B. Neiningen, Lab. f. Atmosphärenphysik LAPETH und D. Steudler, IGP).

Vorerst werden die Meteorologiedaten und die Positionsdaten zusammengefügt und auf ein Zwischenfile, das sogenannte MERGE-File geschrieben, das nun auf jeder Zeile eine Position des Meteo-Punktes (ATAR-Sonde) in Form von dreidimensionalen Koordinaten und zu dieser Position gehörende Meteomessungen enthält.

Im weiteren geht es um die räumliche (und zeitliche) Lage der Meteomessung im Laufe des Fluges relativ zum EDM-Messstrahl (und relativ zum Zeitpunkt der Distanzmessung).

b) Verlauf des Messstrahls: Als erste Annäherung wird ein Kreisbogen mit konstanter Strahlenkrümmung (bei Mikrowellen  $\kappa = 0.25$ ) gewählt. Um diesen Kreisbogen wird ein "Schlauch" mit quadratischem Querschnitt (200 m Seitenlänge) gelegt, auf den in wählbaren Abständen, normalerweise ein oder zwei Kilometer, aus den Meteorologiedaten an neun über den "Schlauch"-Querschnitt verteilten Stellen Brechungsindices interpoliert werden.

c) Die Interpolation aus den Meteo-Punkten erfolgt dabei vierdimensional (Raum und Zeit) anisotrop als gewichtetes Mittel. Im einzelnen wird für jeden Meteopunkt  $i$  in bezug auf jeden Schlauchpunkt  $k$  ein Gewicht definiert:  $g_{ik} = 1/D_{ik}^2$ , worin  $D_{ik}$ , die sogenannte Temperaturdistanz, vom horizontalen, vertikalen und zeitlichen Abstand mit unterschiedlichen Einflusszahlen abhängt (vergl. 4.5, S. 46 ff.). Die maximale Distanz, aus der noch Meteorologiedaten zur Interpolation verwendet werden sollen (Meteo-Einflussbereich), kann dabei eingeschränkt werden.

Die Interpolation sieht dann an den "Schlauch"-Querschnitten wie folgt aus:

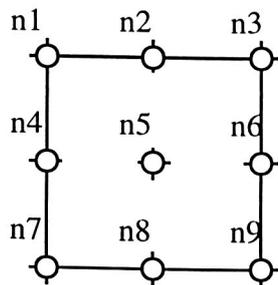


Fig. 4.3  
"Schlauch" mit genäherten Brechungsindices  $n_1$  bis  $n_9$   
Der Mittelpunkt des Schlauches stellt den genäherten Strahl dar. Der wahre Strahl verläuft irgendwo innerhalb des Schlauches.

Nun werden innerhalb des Schlauches Gradienten gerechnet und daraus (nach dem Brechungsgesetz) iterativ (horizontal und vertikal) der wahre Verlauf des EDM-Messstrahles bestimmt.

d) Als Resultat dieses Vorgehens (mit dem Programm GEOATAR) erhält man folgende Größen: eine Darstellung des Strahlverlaufes, die Meteorologieverhältnisse und Brechungsindices entlang des Strahles, ferner Aussagen über die Entfernungen (Meteorologieeinflussbereiche), aus denen Meteorologiedaten beigezogen wurden, und natürlich das Hauptresultat: den integralen Brechungsindex über den EDM-Messweg und einen Wert für die um die atmosphärischen Einflüsse korrigierte Distanz.

#### e) Weitere Auswertungen

Die nun vorliegenden Resultate werden weiter verarbeitet: die interpolierten Meteorodaten können auf Plots dargestellt werden (Temperatur, Taupunkt in Funktion der Höhe: vgl. Fig. 4.2, S. 34), mehrere Messungen der gleichen Distanz werden gemittelt und ihre Gewichte für die Ausgleichung nach der weiter unten, in Abschnitt 4.5. beschriebenen Methode bestimmt.

### 4.4. Distanzreduktionen: Einflüsse von Meteorologie und Geometrie

#### 1) Meteorologische Distanzreduktion

##### a) Distanz-Reduktion nur mit Stations-Meteorodaten

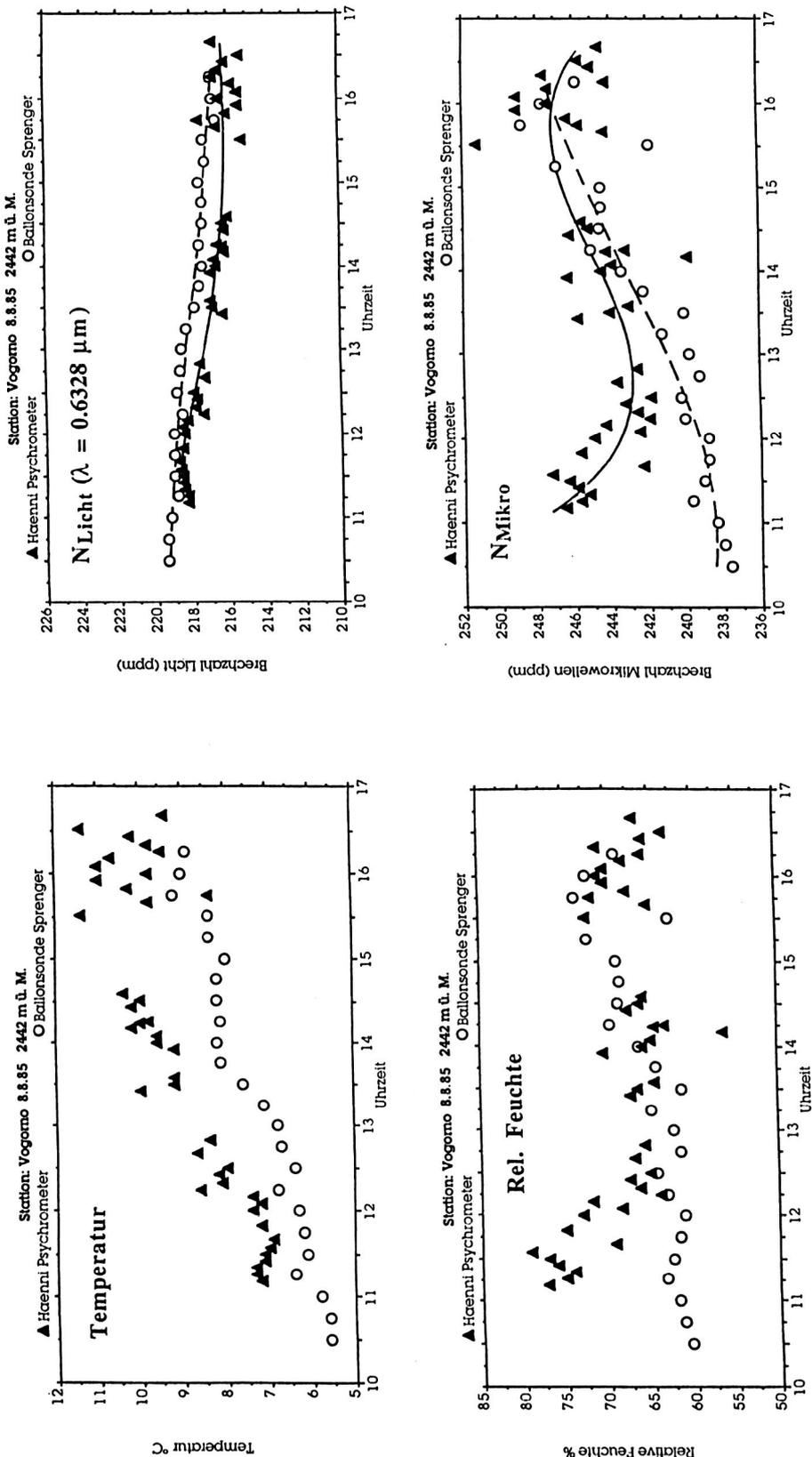
Die Distanz-Messungen, bei denen keine Flugzeug-Meteorologiedaten vorhanden sind, das heisst praktisch alle Geodimeter-8-Distanzen (mit 6 Ausnahmen), sowie die SIAL-Messungen aus dem Jahre 1981, werden nach den konventionellen (bekannt\*) Reduktionsformeln für Licht-, bzw. Mikrowellen mit Hilfe der Stations-Meteorologie korrigiert.

(\*Formeln von Barrell und Sears für Lichtwellen, Essen und Froome für Mikrowellen).

Siehe z.B. [Steinegger, Elmiger 1984, 9.1] S.32 ff.

Man beachte:  
 1) die grosse systematische Abweichung (bis 8 ppm) für  $N_{\text{Mikro}}$  am Vormittag (Bodenfeuchte?),  
 2) die relativ grosse Streuung der Einzelwerte für  $N_{\text{Mikro}}$  um die ausgleichende Kurve: Psychrometer  $\pm 1.9$  ppm, Ballonsonde  $\pm 1.4$  ppm.  
 Die gemessenen Distanzen wurden mit den N-Werten der ausgleichenden Kurve reduziert.

Fig. 4.4A.  
 Meteorologischen und resultierenden Brechzahlen N. Mit Psychrometer am Boden auf 1.50 m und mit Ballonsonde auf 50 m Höhe gemessen.



### *Kontrolle, Mittelung und Interpolation der Stations-Meteo-Daten*

Die erhobenen Werte der Stations-Meteorologie wurden vor ihrer Verwendung kontrolliert und gemittelt: Um grobe Messfehler oder lokale und zeitliche Variationen besser entdecken bzw. mitteln zu können, wurden alle Meteo-Messungen für jede Station und jeden Messtag graphisch dargestellt. Dann wurde für beide Messgeräte (Psychrometer und Rotronic) die Brechzahl  $N$  aus rohen Meteo-Daten gerechnet und ebenfalls in Diagrammen dargestellt. Einzelne Ausreisser bei den  $N$ -Werten wurden weggelassen und die restlichen  $N$ -Werte interpoliert durch Einlegen einer glatten Kurve von Hand – dies pro Station und meist für einen ganzen Messtag, in Einzelfällen für einen halben Messtag, wenn am Nachmittag andere Wetterverhältnisse auftraten als am Vormittag, was sich im Verlauf der  $N$ -Kurve zeigt. (Beispiel Fig. 4.4 A, S. 40)

### b) Distanz-Reduktion mit Flug-Meteo-Daten

Alle anderen Distanzen (SIAL 1985, 1986, sowie 6 Geodimeterdistanzen in den Teilnetzen "Gotthard" und "Süd") werden mit Hilfe des integralen Brechungsindex aus der Flugzeugmeteorologie korrigiert.

### c) Distanz-Reduktion mit Flug- und Stations-Meteodaten kombiniert

Die Wetterverhältnisse waren nicht bei allen Messkampagnen gleich ideal für die Anwendung obiger Methode. So lag beispielsweise bei den Messungen von 1983 in der Gotthardregion während einer Schönwetterlage eine Inversionsschicht ungefähr auf der Höhe der Gipfel (alle um 3000 m.ü.M.), zwischen denen Distanzen gemessen wurden, mit der Folge, dass trotz Abfliegen der Messstrahlen nicht immer klar ist, ob nun der Strahl über oder unter der Inversionsgrenze verlief (vgl. Fig. 4.2 C, S. 34). Für diesen einen Tag werden deshalb die auf den Stationen erfassten Meteorologiedaten für die Distanzreduktion als Stützwerte miteinbezogen. Bei den anderen Kampagnen zeigt sich, dass die Berücksichtigung der Stations-Meteodaten die Resultate eher verschlechtert, denn sie beeinflussen rechnerisch den Brechungsindex weit über ihren ziemlich lokalen Gültigkeitsbereich hinaus. Sie werden deshalb normalerweise zur Reduktion nicht verwendet.

**Zwischen-Resultat:*****Einfluss der Meteo-Erfassung (Flug, Station) auf die Distanzreduktion***

Auf die Frage: *Lohnt sich der Mehraufwand der Meteo-Erfassung mit Flugzeugen?* ergibt sich die Antwort aus der folgenden Tabelle 4.4.B.

Die Flugzeug-Meteo bringt gegenüber der Stations-Meteo im Mittel folgende relativen Änderungen  $\Delta D/D$  an den reduzierten Distanzen (in ppm), wobei die Streuung sich auf einen Einzelwert bezieht:

*Tab. 4.4.B Distanz-Änderungen durch Flugmeteo gegenüber Stationsmeteo*

Netz	EDM	$\Delta D/D$ ppm	$\pm$ Streuung ppm	D Mittel km	Anz. Dist.
Nord	SIAL	+4.5	2.4	39	15
Lägern-Titlis	SIAL	+4.3	3.2	48	4
Gotthard	SIAL	+3.1	1.7	27	10
Gotthard	Geodim.	-0.2	1.3	27	4
Süd	SIAL	+2.3	1.8	30	16
Süd	Geodim.	-1.3	1.6	38	2
Mittel für SIAL		+3.3 $\pm$ 0.5	2.2	34	45
Mittel für Geodimeter		- 0.5 $\pm$ 0.5	1.3	31	6

***Meteo-Erfassung bei elektronischen Distanzmessungen: Folgerungen***

Für die Praxis ergeben sich damit die folgenden Resultate:

Die genauere aber aufwendigere Erfassung der Meteo durch Messung mit einem Flugzeug bewirkt an den reduzierten Distanzen folgende Änderungen:

a) Mikrowellendistanzen (SIAL) werden um  $3.3 \pm 0.5$  ppm länger.

Diese Verlängerung ist zuverlässig bestimmt. Im Einzelfall können sich Abweichungen ergeben von 2.2 ppm (Standardabweichung), bzw. max. Änderungen von +8.6 ppm bis -2.4 ppm.

b) Geodimeter-Distanzen ändern sich kaum; es besteht zwar eine leichte Tendenz zur Verkürzung bei genauer Meteoerfassung um den Betrag  $- 0.5 \pm 0.5$  ppm.

Die Streuung der Einzelwerte ist  $\pm 1.3$  ppm.

Folgerung: Es bestätigt sich also die schon länger gehegte Vermutung, dass Geodimeter-Distanzen auch bei einfacher Meteoerfassung nur auf den Endpunkten einer Messstrecke (auf  $\pm 0.5$  ppm genau) schon praktisch richtig sind.

## 2) Geometrische Distanzreduktion

Nach der atmosphärischen Korrektur werden die Distanzen zentriert und geometrisch auf das Ellipsoid reduziert:

- Zentrierung: Korrekturbeträge durch Vergleich der Längen (zentrisch, bzw. exzentrisch) der entsprechenden schiefen Raumdistanzen aus Näherungskordinaten.
- Geometrische Reduktion: in bekannter Weise über ellipsoidische Punkthöhen.

Diese Berechnungen erfolgten auf einem Personalcomputer HP-9816 mit dem Program GEOD.

## 4.5. Mittelwerte und Gewichte der Distanzen

### 1) Allgemeines Vorgehen bei der Mittelbildung und Gewichtung

Hier geht es darum, für die Netzausgleichung (Kap. 5) die benötigten Mittel der Distanzen für eine Strecke und ihre Gewichte bereitzustellen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die physikalische Korrelation von Messungen, die (nacheinander) bei ähnlichen Meteo-Bedingungen gemacht werden, sowie die Art der Meteo-Erfassung.

#### Zur physikalischen Korrelation der elektronischen Distanz-Messungen:

Messungen bei gleichen oder ähnlichen Wetterverhältnissen sind nicht unabhängig sondern systematisch verfälscht (korreliert). Der systematische Einfluss auf die Distanzen kann durch gute Meteoerfassung, wie oben dargestellt, grösstenteils eliminiert werden. Die Gewichte von Mitteln aus solchen (korrelierten) Messungen bei gleichen Bedingungen sind aber - gegenüber physikalisch vollständig unabhängigen Messungen - zu reduzieren

Über welchen Zeitraum sind Distanz-Messungen (durch gleiche systematische Meteo-Einflüsse) physikalisch korreliert? Massgebend ist die Konstanz der Wetterlage während den Messungen.

In unserem Fall erstreckten sich die Messungen der einzelnen Distanzen meistens über einen ganzen Tag, wobei im Normalfall am Vormittag und am Nachmittag das gleiche Messprogramm ablief. Man wollte damit erreichen, dass zu zwei Tageszeiten mit wenn möglich etwas verschiedenen meteorologischen Bedingungen gemessen wurde, sodass sich Meteo-Einflüsse etwas ausmitteln können. Messungen, die bei etwa gleichbleibender Meteorologie stattfanden (und damit physikalisch korreliert sind), werden zu einem sogenannten Gruppenmittel mit einem bestimmten Gruppengewicht zusammengefasst; im Normalfall erhält man so zwei Halbtagesmittel für eine Messstrecke.

Diese Gruppenmittel (die als gegenseitig unabhängig, d.h. nicht korreliert angenommen werden), werden dann zum Gesamtmittel mit entsprechendem Gesamtgewicht vereinigt.

Das Gesamtmittel wird zusammen mit dem Gesamtgewicht als eine "Distanzmessung" in die Ausgleichung eingeführt.

Der Normalfall (mit je zwei Halbtagesmitteln) kam in den Jahren 1983, 1985 und 1986 (Flug-Meteo und Stations-Meteo) zur Anwendung. Dagegen wurde im ersten Mess-Jahr 1981 (nur Stations-Meteo) nur ein einziges Gruppenmittel über die ganze Messzeit von 3 Tagen gebildet, da das Wetter über diese drei Tage sehr einheitlich war. Hier ist dieses Gruppenmittel dann gerade das Gesamtmittel.

Diese Zusammenfassungen zu Gruppen- und Gesamtmitteln, bzw. Gruppen- und Gesamtgewichten erfolgen gestützt auf die deutschen EDM-Richtlinien [AdV 1982, 9.3]. Die mittleren Fehler der mit Stationsmeteorologie reduzierten Distanzen werden ebenfalls nach diesen Richtlinien bestimmt.

Für die mit Flugzeugmeteorologie reduzierten Distanzen kommt ein spezielles Verfahren zur Anwendung, wie es weiter unten in Abschnitt 3) beschrieben wird.

## 2) Gewichte der mit Stations-Meteorologie reduzierten Distanzen

### A) *Gruppenmittel*

Die zu einer Gruppe gehörenden Distanzmessungen werden arithmetisch gemittelt, man erhält das Gruppenmittel  $G_i$ . Das dazu gehörende Gruppengewicht  $p_i$  setzt sich zusammen aus den Einflüssen für die *Länge der Distanz* und die *Anzahl Messungen*.

#### a) Gewichtsfaktor für die Länge der Distanz und EDM-Typ

Der distanzabhängige Anteil des Gewichtes beträgt

$$p_D = s_0^2 / s_D^2$$

wobei

$$s_0 = 1 \text{ m (Meter) und } s_D = a + b \cdot D$$

mit:

D = Distanz in m

a = fester Anteil des mittleren Fehlers

b = distanzabhängiger Teil

Gewählt:

SIAL

0.03 m

2 ppm\*

Geodimeter

0.01 m

1 ppm

\*Dieser Anteil gilt bei Reduktion von SIAL-Distanzen mit Stationsmeteorologie. Für die Reduktion mit Flugzeugmeteorologie wird ein detaillierteres Verfahren zur Bestimmung dieses Anteiles gewählt, das im folgenden Abschnitt 3) beschrieben wird.

#### b) Gewichtsfaktor für die Anzahl Messungen mit Berücksichtigung der physikalischen Korrelation

$$p_M = \frac{n}{1 + (n - 1) r} p_\lambda \quad \text{Gewichtsverhältnis Gruppe / Einzelmessung}$$

mit:

- $P_M$  = Gewicht des Mittels von  $n$  Messungen unter Berücksichtigung der Korrelationen bezogen auf  $p = 1$  einer Einzelmessung. Die Korrelation bewirkt eine Reduktion des Gewichtes; statt des Gewichtes  $n$  ergibt sich der kleinere Wert aus der Formel.  
 $n$  = Anzahl der physikalisch korrelierten Messungen, die zu einer Gruppe zusammengefasst werden sollen (1 Messung ist beim Geodimeter eine Einzelmessung, beim SIAL das Mittel von 6 Ablesungen)  
 $p_\lambda$  = Faktor abhängig von der Messwellenlänge : 1.0 für SIAL und Geodimeter  
 $r$  = Korrelationskoeffizient der Messungen: für SIAL: 0.75, für Geodimeter: 0.60

*Beispiel:*

Für  $n = 3$  Messungen ergäbe sich ohne Korrelation der Messungen ein Gewicht von 3. Mit Berücksichtigung der Korrelation ergibt sich nach obiger Formel für das Geodimeter nur  $p = 1.36$  und für den SIAL  $p = 1.20$ .

### c) Gewicht des Gruppenmittels

Aus den beiden Faktoren a) und b) ergibt sich das Gewicht  $p_i$  für das Mittel  $G_i$  einer korrelierten Distanzgruppe für die Netzausgleichung:

$$p_i = p_D * P_M$$

### **B) Gesamtmittel** (aller gemessenen Distanzen einer Strecke)

Die oben berechneten  $n$  Gruppenmittel  $G_i$  und Gruppengewichte  $p_i$  werden (unter der Annahme, dass sie voneinander unabhängig sind) nach der bekannten Formel für das allgemeine arithmetische Mittel zum Gesamtmittel  $M$  und Gesamtgewicht  $p$  zusammengefasst:

$$\text{Gesamtmittel } M = \frac{\sum (p_i G_i)}{\sum p_i} \quad \text{Gesamtwicht } p = \sum p_i$$

Das so errechnete Gesamtmittel mit dem entsprechenden Gesamtgewicht wird dann in die Netzausgleichung (Kap.5) eingeführt.

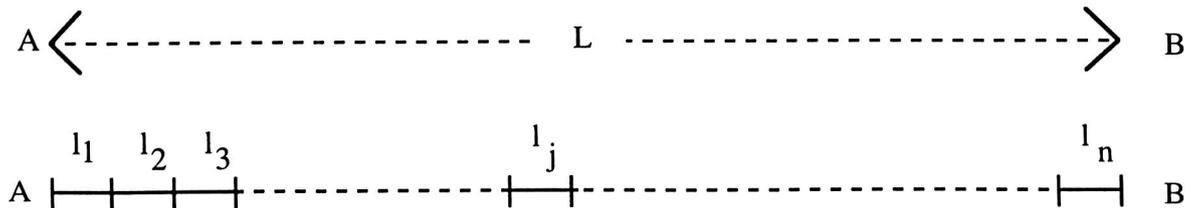
## **3) Gewichte der mit Flug - Meteorologie reduzierten Distanzen**

### **A) Normaler Gewichtsansatz**

In der ersten Auswerte-Phase haben wir versucht, die Gewichte der mit Flugmeteo reduzierten SIAL- und Geodimeter-Distanzen möglichst zutreffend (aus der wirklichen Meteorfassung für jede einzelne Strecke) zu bestimmen. Hierzu haben wir den im folgenden beschriebenen Gewichtsansatz entwickelt und die Resultate dann in den ersten Netzausgleichungen mit dem Programm KONHEL und später mit dem Programm LTOP verwendet. In einer zweiten Auswertephase haben wir für die wenigen (6) Geodimeterdistanzen mit Flugmeteo dann einen einfacheren Ansatz verwendet (siehe weiter unten unter B), der für die massgeblichen Berechnungen (nur noch) mit dem Programm LTOP verwendet wurde.

Zunächst beschreiben wir hier den ursprünglichen, normalen Gewichtsansatz (der sich im Rückblick als etwas aufwendig erwiesen hat):

Die meteorologische Korrektur einer EDM-Distanz mit Flugzeug-Meteorologie erfolgt in Strecken-Abschnitten, wobei die Meteoparameter für jeden Abschnitt aus den zur Verfügung stehenden Meteodaten interpoliert werden. Die Gewichte der einzelnen Meteomesspunkte können horizontal, vertikal und zeitlich frei gewählt werden.

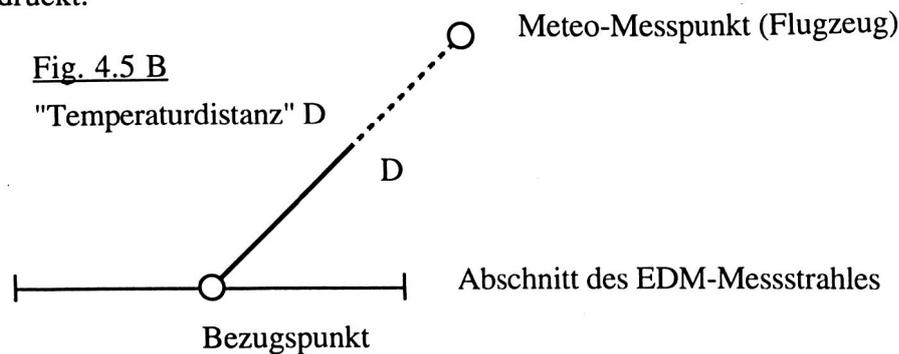


*Fig. 4.5. A EDM-Messstrahl* L = Gesamtlänge des Strahles  $l_j$  = Längen-Abschnitte

Bei der Berechnung der Gewichte für Distanzen (reduziert mit Flug-Meteo) werden die folgenden Einflüsse berücksichtigt:

a) "Temperaturdistanz" D (vergl. 4.3, S. 38 f.):

Als Hilfsmittel für die Berechnung des Distanzgewichtes wird zur Interpolation von Meteodaten auf den Messstrahl die sogenannte "Temperaturdistanz" D verwendet (im Programm GEOATAR). Sie besagt, wie weit weg (örtlich und zeitlich) die Meteorologie-Messpunkte liegen, die auf einen EDM-Abschnitt interpoliert werden und wird in °C ausgedrückt.



"Temperaturdistanz" D errechnet aus Horizontaldistanz, Höhen- und Zeitunterschied:

$$D^2 = \left(\frac{s}{s_0}\right)^2 + \left(\frac{h}{h_0}\right)^2 + \left(\frac{t}{t_0}\right)^2$$

Ort: s                      h                      Zeit: t

wobei:

s: Horizontaldistanz (in km) zwischen Meteo-Flugzeug und Strahlabschnitt

h: Höhenunterschied (in m)

t: Zeitunterschied zwischen EDM-Messung und Meteo-Messung in Stunden (h)

und die spezifischen Temperaturdistanzen:

$s_0$ : horizontal in km/°C

$h_0$ : vertikal in m/°C

$t_0$ : zeitlich in h/°C

Die spezifischen "Temperaturdistanzen" sind eigentlich Reichweiten für die Korrelation der Temperatur und zeigen an, über welche Interpolationsabstände horizontal, vertikal und zeitlich der Qualitätsverlust einer Messung der gleiche ist. Die Werte können bei der Distanzreduktion mit dem Programm GEOATAR frei gewählt werden. Für die Berechnungen der Alpentravese wurden bei allen Distanzen die folgenden *Erfahrungswerte* verwendet: horizontal 30 km/°C, vertikal 100 m/°C, zeitlich 1 h/°C, das heisst: Man nimmt an, dass die gleiche Unsicherheit von 1 °C resultiert, wenn man einen Meteorologiemesswert über 30 km horizontal, oder über 100 m vertikal oder über eine Zeitdifferenz von einer Stunde interpoliert.

Auswirkung von Interpolationsfehlern: Ein Fehler von 1 °C an der Temperatur bewirkt bei der meteorologischen Korrektur an einer EDM-Distanz einen Fehler von 1 ppm. Man kann deshalb aus der Temperaturdistanz direkt abschätzen, wie stark sich Interpolationsfehler auf die korrigierte EDM-Distanz auswirken.

Vereinfachung: Genau genommen müsste man jeden Messwert der ATAR-Sonde (Druck, Temperatur und Taupunkt) in allen Messpunkten  $i$  mit dem entsprechenden Gewicht versehen (die reziproke Temperaturdistanz im Quadrat) und im Bezugspunkt auf dem Messstrahl das gewichtete Mittel bilden. Um den Rechenaufwand in erträglichen Grenzen zu halten, wurde das Verfahren vereinfacht: es wurde immer nur die kürzeste Temperaturdistanz berücksichtigt, d.h. der Messpunkt mit dem grössten Einfluss. Für jeden Abschnitt  $j$  wurde  $D_j \min$  ausgewählt und mit  $D_j$  bezeichnet.

#### b) Mittl. Distanzfehler aus Meteorologie-Unsicherheit

(i) Mittlerer Fehler eines Strecken-Abschnittes  $l_j$ :

$$\sigma_j^2 = \left( \gamma D_j l_j \right)^2 + \left( 0.5 \text{ppm } l_j \right)^2 \quad \text{wobei } \gamma = 1 \text{ ppm} / ^\circ\text{C}$$

Anteile: (a) (b)

(a) von der Meteodaten-Interpolation abhängiger Teil

(b) "fester Anteil": Unsicherheit der registrierten Sondenwerte

(ii) Mittl. Fehler der Gesamtstrecke aus den Strecken-Abschnitten

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_j + \dots + l_n \quad \text{EDM-Strecke}$$

$$\sigma_L^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_j^2 + \dots + \sigma_n^2$$

Die Varianz (mittl. Fehler im Quadrat) der EDM-Strecke, mit  $\sigma_L$  als mittlerem Fehler der Gesamtstrecke aus der Unsicherheit der Meteoerfassung, ist damit:

$$\sigma_L^2 = \sum_j (\gamma D_j l_j)^2 + \sum_j (0.5 \text{ppm } l_j)^2$$

c) Einfluss der EDM-Instrumentenfehler  $\sigma_I$

Man muss die zufällige Komponente  $\sigma_f$  des Frequenzfehlers berücksichtigen, weil während der Messung (die Messfrequenz) nicht kalibriert wurde.

Es ergibt sich daraus der mittlere Fehler an der Strecke L:

$$\sigma_I = \sigma_f / f * L \quad \text{mit} \quad \sigma_f / f = 0.5 \text{ ppm beim SIAL}$$

Der Zentrierfehler und die Unsicherheit der Additionskonstanten des Instrumentes haben über die grossen Längen der gemessenen Distanzen relativ einen vernachlässigbaren Einfluss.

d) Kombination von Instrumentenfehler und Meteofehler

Aus den Einflüssen b) und c) folgt der mittlere Fehler und das Gewicht der EDM-Gesamtstrecke (einmal gemessen):

$$\sigma_G^2 = \sigma_L^2 + \sigma_I^2 \qquad p_G = 1 / \sigma_G^2$$

e) Mehrere Messungen der gleichen Strecke:

In manchen Fällen wurden Strecken innerhalb von wenigen Stunden mehrere Male gemessen. Solche Strecken sind statistisch stark korreliert, wobei die Korrelationen im einzelnen nicht bekannt sind. Aus diesem Grunde wurde auf die übliche gewichtete Mittelbildung verzichtet.

Stattdessen wurde das *einfache* Mittel  $L_m$  gebildet, mit dem Gewicht  $p_{L_m}$  nach folgenden Regeln:

- Standardabweichung einer einmal gemessenen Strecke L  $\sigma_m = (1/n) \cdot \sum \sigma_{G_i}$   
(also der Durchschnitt von n Messungen mit Standardabweichung  $\sigma_{G_i}$ ) :

- Gewicht einer einmal gemessenen Strecke:  $p_{\sigma_m} = 1 / \sigma_m^2$

- Gewicht einer gemittelten Strecke (Gruppe)  $p_{L_m} = p_M = g \cdot p_{\sigma_m}$

mit

Gruppenmittel  $L_m = (1/n) \cdot \sum L_i$

und Gruppengewicht g korrelierter Strecken nach

deutschen EDM-Richtlinien [AdV 1982, 9.3], vgl. S. 44:  $g = n / [1+(n-1).r]$

f) Gesamtmittel der Distanzen

Die Vereinigung der einzelnen Gruppenmittel und Gruppengewichte zu Gesamtmitteln und Gesamtgewichten (für die Netzausgleichung) erfolgt analog wie bei den Distanzen, die mit Stationsmeteorologie reduziert wurden (oben unter 2) S. 45).

g) Verwendung dieses Gewichts-Ansatzes

Dieser etwas aufwendige Gewichtsansatz A wurde für die Auswertung aller SIAL- und Geodimeter-Distanzen mit Flug-Meteorologie verwendet. (Für die 6 Geodimeterdistanzen mit Flug-Meteo allerdings nur in der ersten Berechnungsphase, während später der folgende einfachere Ansatz B verwendet wurde.)

### ***B) Vereinfachter Gewichtsansatz für Geodimeter-Distanzen mit Flug-Meteo***

Bei einer nachträglichen Beurteilung der Netzausgleichungen (Kap. 5) hat es sich gezeigt, dass die mit Flug-Meteodaten reduzierten Geodimeter-Distanzen im Vergleich zu den übrigen Distanzen zu gut beurteilt werden, wenn man ihre Gewichte nach dem oben beschriebenen Ansatz berechnet: die so gerechneten mittleren Fehler  $s_D$  sind im Verhältnis zu den übrigen Distanzen etwa 2 bis 3 mal zu klein, die entsprechenden Gewichte also um einen Faktor von 4 - 9 zu gross.

Es wurde (für diese 6 Geodimeter-Distanzen mit Flug-Meteo) daher der folgende *einfache Ansatz* für die mittl. Distanz-Fehler gewählt:  $s_D = \pm (10 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm})$

Der distanzabhängige Anteil von nur 0.5 ppm begründet sich durch die bessere Meteo-Erfassung (mit Flugzeug) längs des ganzen Messtrahls. (Wenn Meteo-Werte aber nur auf den Stationen vorliegen, verwendet man bei Geodimetermessungen den Distanz-Faktor 1.0 ppm).

Für die betroffenen Geodimeter-Distanzen mit Flugmeteo ergeben sich damit folgende mittl. Distanzfehler a priori für die beiden Ansätze A (aufwendig) und B (einfach):

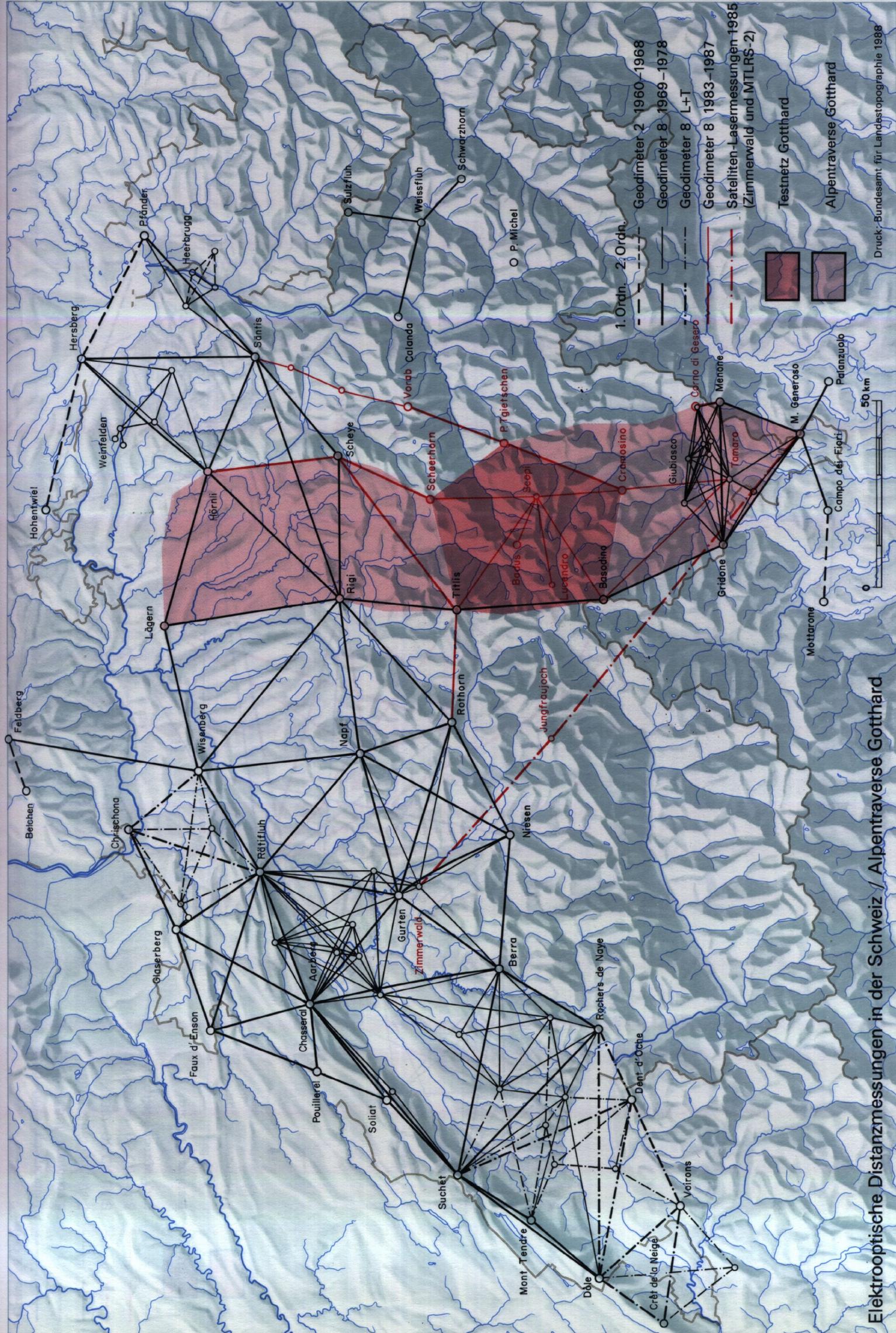
*Tab. 4.5 : Geodimeterdistanzen mit Flugmeteo: mittl. Fehler a priori*

Visur	D km	Mittl. Fehler $s_{D(A)}$ $s_{D(B)}$		Verhältnis $s_{(B)} / s_{(A)}$
Titlis-Scopi	37.4	12	29	2.4
Badus-Scopi	13.9	10	17	1.7
Basodino-Tamaro	45.9	11	33	3.0
Basodino-Scopi	32.9	11	26	2.4
Cramosino-Tamaro	28.9	11	24	2.3
Lucendro-Scopi	24.0	11	22	2.0

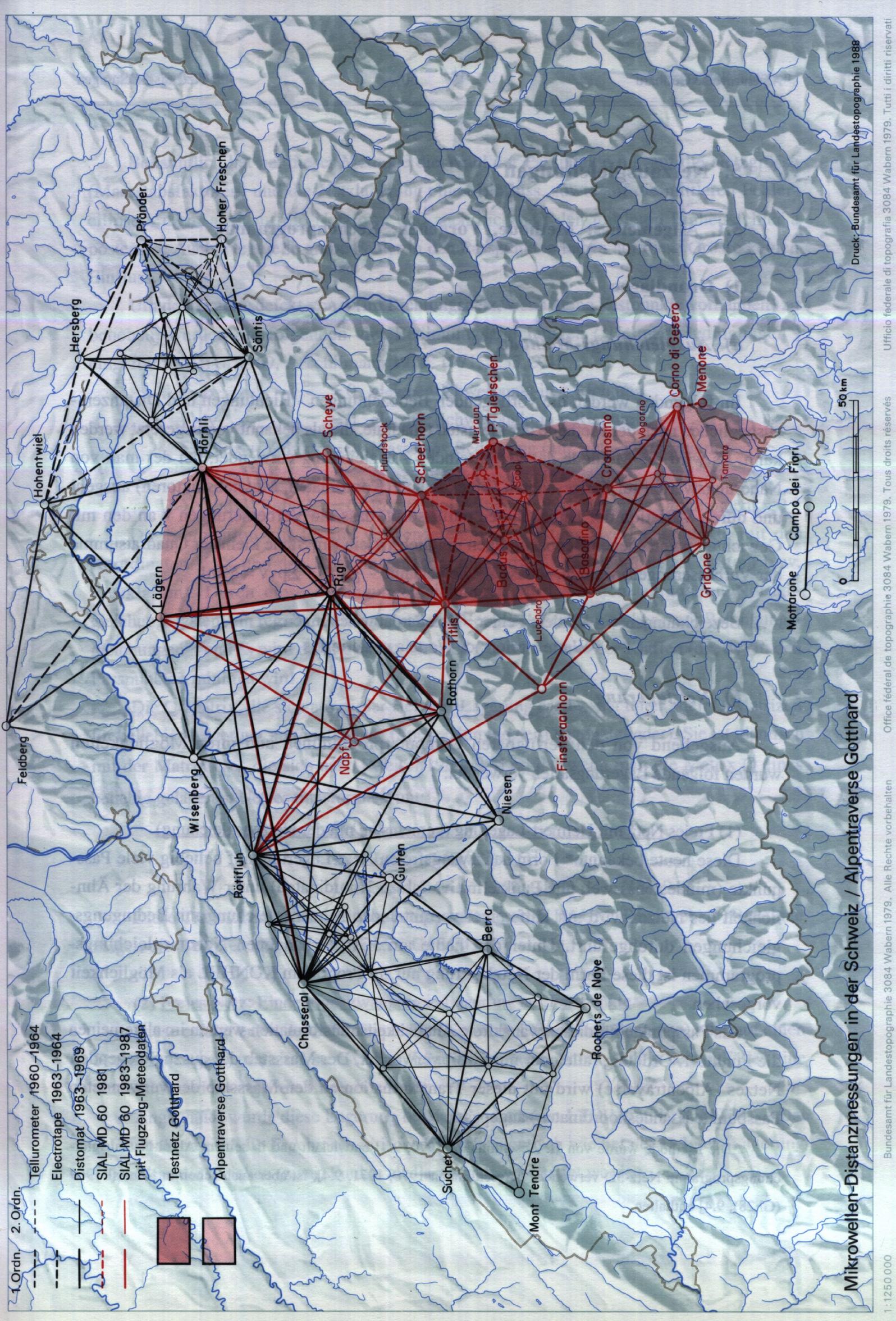
Damit sind die massgebenden Mittelwerte der Distanzen und ihre mittleren Fehler bzw. Gewichte. für die Netzausgleichungen bereitgestellt.

## **4.6. Resultate der Distanzmessungen und -reduktionen**

Das Resultat der oben beschriebenen Arbeiten (Distanzreduktionen, Mittelbildung, Gewichtung) in der Alpentravese ist ein Satz von 94 (bzw. definitiv 97) Distanzen mit den zugehörigen Gewichten bzw. mittleren Fehlern. Für die Ausgleichungen werden diese Distanzen in 6 verschiedene Gruppen aufgeteilt, denen je eine individuelle Massstabsunbekannte zugeordnet wird. Eine Zusammenstellung der Distanzen (mit Erläuterungen, nachträglichen Gewichtsanpassungen und kleinen Korrekturen) findet man im Anhang A2 (Tab. 4, S. 180 ff.).

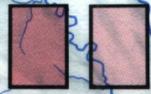


**Elektrooptische Distanzmessungen in der Schweiz / Alpen traverse Gotthard**



1. Ordn.  
2. Ordn.

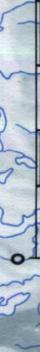
- Tellurometer 1960-1964
- Electrotape 1963-1964
- Distomat 1963-1969
- SIAL MD 60 1981
- SIAL MD 60 1983-1987 mit Flugzeug-Meßdaten



Testnetz Gotthard  
Alpentransverse Gotthard

Mikrowellen-Distanzmessungen in der Schweiz / Alpentransverse Gotthard

0 50 km



Mottarone Campo dei Fiori

## 5. Netzausgleichungen

### 5.1. Allgemeines: Methode, Vorgehen, Rechenprogramme

#### 1) Grundlagen

##### *a) Ausgleichungs-Methode*

Im folgenden werden die vorliegenden Beobachtungen - Richtungen und Distanzen - ausgeglichen nach der Methode der kleinsten Quadrate, die als bekannt vorausgesetzt werden kann. Es wird die Methode der vermittelnden Ausgleichung verwendet, bei der man von Näherungswerten für die gesuchten Unbekannten (Koordinaten, Masstabsfaktoren) ausgeht und durch Variation der Unbekannten dafür sorgt, dass die Verbesserungen  $v$  an den mit Gewichten  $p$  versehenen Beobachtungen möglichst klein (im Sinne kleinster Quadratsumme der Verbesserungen) werden, sodass - wie bekannt - gilt:  $\sum p v^2 = \text{Min!}$

Bezeichnungen: Mittlere Fehler = Standardabweichungen:  
Werte a priori:  $\sigma$ , Werte a posteriori:  $s$

##### *b) Netzlagerung*

Ausgehend von den verfügbaren Computerprogrammen und ihren Möglichkeiten wurden folgende Lagerungsarten verwendet:

###### (1) Freies Netz mit Helmert-Lagerung (gemeinsam mit der Netzausgleichung)

Diese heute bekannte\* Form der zwangsfreien Netz-Lagerung auf beliebig viele Passpunkte (mindestens zwei, alle Punkte mit variablen Koordinaten) unter Wahrung der Ähnlichkeit des Netzes wird mit Hilfe einer vermittelnden Netzausgleichung mit Bedingungs-gleichungen durchgeführt. Unter den heute am IGP vorhandenen Netzausgleichungs-programmen ist diese Form der Netzlagerung nur im Programm KONHEL als Möglichkeit vorgesehen.

Als Passpunkte für diese zwangsfreie Ähnlichkeitstransformation werden im allgemeinen die Punkte 1. Ordnung (alle oder nur zwei) verwendet. Der Masstab des auszugleichenden Netzes (Alpentravese) wird mit dieser Transformation an den Masstab der verwendeten Passpunkte (Landeskoordinaten) angepasst.

\*Die Methode wurde von H. Aeschlimann [1970, 9.4] entwickelt und in seinem Algol-Netzausgleichungsprogramm Netz-3D verwendet [Aeschlimann 1970, 1971, 9.4], ist aber auch schon in [Meissl 1969 (Gl.28), 9.4] enthalten.

Bekanntlich hat bei dieser Methode die Wahl der Passpunkte nur auf die Netzgrösse (Massstabsfaktoren) und die Netzlagerung einen Einfluss, sowie auf die mittleren Fehlerellipsen, nicht aber auf die Netzform und auch nicht auf den mittleren Einheitsfehler a posteriori. Auch eventuelle grobe Fehler in den Passpunkten haben auf diese Grösse keinen Einfluss.

Um den Datumsdefekt von 4 (im Richtungsnetz, wenn keine Festpunkte vorhanden) zu beheben, werden die folgenden vier Bedingungsgleichungen ("Helmert-Bedingungen") eingeführt [Meissl 1969, Aeschlimann 1970, 1971, S.33, 9.4]:

$$\begin{aligned}\sum dx &= 0 && \text{gleicher Schwerpunkt in x-Richtung} \\ \sum dy &= 0 && \text{gleicher Schwerpunkt in y-Richtung} \\ \sum (X \cdot dx + Y \cdot dy) &= 0 && \text{Massstabs-Bedingung (nur wenn Distanzen mit} \\ &&& \text{Massstabsfaktoren vorhanden)} \\ \sum (Y \cdot dx - X \cdot dy) &= 0 && \text{Rotations-Bedingung: Resultierendes Drehmoment} = 0\end{aligned}$$

Die Summation gilt für die verwendeten (mindestens zwei) Passpunkte mit den Koordinaten  $Y, X$  und den Koordinatenänderungen  $dy, dx$  (altes auf neues System bzw. Restklaffen). Durch diese Bedingungsgleichungen wird aus dem singulären Normalgleichungssystem ein reguläres Gesamtsystem ("Vermittelnde Ausgleichung mit Bedingungsgleichungen") und es wird dafür gesorgt, dass die Quadratsumme der Klaffen ( $dx, dy$ ) in den Passpunkten minimal wird.

Die Q-Matrix, die sich aus dieser Helmert-Lagerung ergibt, hat unter allen Q-Matrizen für beliebige Lagerung *minimale Spur*. (Spur = Summe der Diagonalglieder). Sie ist identisch mit der Matrix  $Q_M$ , die sich nach [Meissl 1969, 9.4] ergibt, wenn man die Matrix  $Q$  eines beliebig gelagerten Netzes transformiert mit

$$\begin{aligned}Q_M &= H \cdot Q \cdot H^T \\ \text{mit } H &= I - G \cdot (G^T \cdot G)^{-1} \cdot G^T \\ \text{und } G &\text{ aus [Meissl 1969, Gl.(2) oder (13), 9.4]}\end{aligned}$$

Diese Transformation wurde ins Computer-Programm RAUMTRI eingebaut. Resultate zeigen die Beispiele: Fig. 5.2.C, Fig.5.3.C (S.74, 90).

## (2) Freies Netz: Eindeutige, zwangsfreie Lagerung auf Festpunkte

Diese erfolgt entweder auf 2 Fixpunkte (Gewählt: Lägern und Generoso) oder auf einen Fixpunkt (Lägern) und ein festes Azimut (Lägern-Generoso), womit sich in beiden Fällen eine eindeutige und zwangsfreie Lagerung ergibt.

Angewandt wurde diese Lagerung bei den Programmen LTOP (und RAUMTRI). - Bei 2 Fixpunkten sind die Ergebnisse in jeder Hinsicht identisch wie bei der Helmert-Lagerung (1), sofern die gleichen (zwei) Punkte als Passpunkte verwendet werden.

### c) *Koordinaten, Lotabweichungen, Geoidhöhen*

**Koordinaten:** Als Näherungs-Koordinaten wurden die heutigen Landeskoordinaten (L+T) und die üblichen Gebrauchshöhen H verwendet. Aus diesen ergeben sich die ellipsoidischen Höhen  $h = H + N$ , mit N als Höhen des Geoides über dem Ellipsoid. Die ellipsoidischen Höhen h dienen zur Reduktion der Richtungen und der Distanzen auf das verwendete Referenz-Ellipsoid, das Bessel-Ellipsoid im schweizerischen Datum (1903) mit dem

Nullpunkt Bern:  $B_0 = 46^\circ 57' 08.66''$   $L_0 = 7^\circ 26' 22.50''$ .

Bei den Punkten 1. Ordnung werden die gleichen Punkt-Zentren verwendet, die auch in der "Europäischen Triangulation" (ursprünglich: RETrig siehe [Keller 1969, Poder 1989], heute: EUREF) Verwendung finden, sodass direkte Vergleiche möglich sind.

(Werte siehe Tab. 5.1, S. 53)

**Lotabweichungen / Geoidhöhen N:** Diese wurden mit dem Computerprogramm LAG [Gurtner, Elmiger 1980, 9.5] berechnet. Dieses Programm berechnet Lotabweichungen aus sichtbaren und unsichtbaren Massen mit den Anteilen

1) Topographie:

a) Nahzone (20 km) mit 500m-Raster (ein feineres Raster von 100 m bzw. 50 m in der Stationsumgebung ist grundsätzlich möglich, wurde aber hier nicht verwendet, weil die benötigten Höhenraster-Daten meist nicht vorhanden waren),

b) Fernzone im 10 km-Raster.

2) Moho-Diskontinuität und Ivrea-Zone [Gurtner 1978, 9.2]

und verwendet astronomische Lotabweichungen als Stützwerte (Verwendet: 121 Punkte mit 204 Stützwerten) für eine Prädiktion der gesuchten Lotabweichungen nach der Methode der Kollokation. (Diese beziehen sich auf Geographisch Nord beim Netzausgleichungsprogramm KONHEL bzw. auf Kartennord beim Programm LTOP.)

Da im Netz Alpentravese alle Visuren ziemlich flach verlaufen, ist die Unsicherheit der Lotabweichungen und Geoidhöhen nicht kritisch für die Reduktion der Messungen auf das Ellipsoid. (Die Genauigkeit ist etwa  $\pm 3''$  für die Lotabweichungen, für Geoidhöhen etwa  $\pm 10$  cm für grössere Distanzen, für kleinere wesentlich besser).

### 2) **Praktisches Vorgehen bei der Netzberechnung**

Die Ausgleichung der Alpentravese erfolgte aus praktischen Gründen in mehreren Phasen, weil sich die Arbeiten (Messungen und Auswertungen) über 10 Jahre hinzogen, wobei die Datenkontrollen und Teilausgleichungen möglichst bald, schon im Anschluss an die jeweiligen Mess-Kampagnen gemacht wurden.

## Alpentraverse Gotthard: Verwendete Landeskoordinaten

Tab. 5.1

Nr.	Punktname	Y	X	H <sub>Orthom</sub>	N <sub>Geoid</sub>	ξ	LA	η
<i>Punkte 1. Ordnung</i>		m	m	m	m	cc	cc	
CH04	Lägern	72506.71	59415.88	856.11	0.61	-29.6	10.2	
CH05	Hörnli	113528.96	47763.24	1132.98	0.25	-6.3	-9.8	
CH13	Rigi	79520.05	12273.44	1797.52	-0.17	35.4	-11.6	
CH14	Scheye	117987.14	13204.37	2258.86	0.76	30.4	0.4	
CH19	Titlis	76311.90	-19418.64	3238.29	1.74	49.0	-10.8	
CH20	Scheerhorn	106100.61	-12849.02	3294.54	1.77	30.4	-26.0	
CH29	Six Madun (Badus)	93825.76	-35796.09	2928.07	2.17	10.4	-5.4	
CH30	Piz Tgietschen	121127.01	-32694.63	2857.65	1.97	18.1	-0.2	
CH39	Basodino (Z.1981)	79178.46	-59460.52	3272.44	2.24	-24.4	17.4	
CH40	Gridone	93480.66	-91294.69	2188.06	0.98	-31.9	50.7	
CH41	Cramosino (Z.1981)	108090.56	-64387.84	2717.92	1.46	-9.3	22.1	
CH63	Menone	131864.73	-90557.56	2244.47	-0.03	-53.4	3.9	
CH65	Monte Generoso*	122656.14	-112130.77	1701.32	-2.09	-67.8	-15.2	
249	Corno di Gesero	130689.06	-83702.04	2227.14	0.39	-22.1	-16.0	
CH = RETRIG-Punkt, Zentrum identisch (Ausnahmen: Basodino, Cramosino)								
<i>Punkt 2. Ordnung</i>								
148	Albis	82732.74	35616.03	878.99	-0.23	-7.8	5.0	
149	Pfannenstiel	93647.44	38275.11	800.12	-0.20	-13.9	1.9	
150	Forch	91968.34	42080.33	695.12	-0.12	-7.9	4.4	
151	Brütten	93040.80	58941.26	640.91	0.38	-21.6	2.4	
155	Schauenberg	107662.51	57568.19	891.63	0.36	-12.1	-0.4	
166	Bachtel	109404.07	39148.92	1110.25	0.03	-16.9	-19.8	
168	Stöckerli	104762.75	24033.79	1247.40	0.07	38.3	-7.2	
169	Mythen	95022.97	9523.99	1898.65	0.34	11.4	-38.7	
170	Hundstock-Süd	94684.67	-3025.14	2181.52	0.91	18.2	-40.3	
171	Urirotstock	83617.05	-9349.95	2928.34	1.20	65.2	0.6	
172	Buochserhorn	75376.45	-135.24	1806.78	0.27	65.8	-25.2	
216	Dammastock (altes Z.)	75216.11	-33725.24	3629.91	2.40	21.2	15.6	
217	Pizzo di Lucendro	82908.37	-45248.61	2962.66	2.32	-13.9	20.3	
218	Bristenstock (altes Z.)	94972.39	-23050.52	3072.48	1.77	45.4	-17.9	
219	Piz Muraun	112288.94	-29967.42	2897.28	1.91	33.1	-9.2	
221	Böser Faulen	114685.04	2888.36	2801.77	1.21	30.0	-0.3	
246	Ponci. d. Freccione	126446.36	-52048.47	3202.43	2.03	-40.4	-15.1	
250	Pizzo di Claro	124510.51	-71656.23	2720.20	1.00	-54.2	-20.1	
251	Pizzo di Vogorno	112173.63	-78045.71	2442.26	0.89	-45.9	-4.7	
252	Monte Tamaro	110364.96	-93176.51	1961.46	-0.08	-35.7	13.6	
253	Monte Cramalina	91393.68	-76660.40	2321.93	1.58	-7.6	34.5	
254	Sasso Rosso	98174.96	-65562.63	2735.51	1.67	-19.1	3.9	
255	Scopi-West	106613.70	-41259.27	3187.00	2.07	-13.1	-0.2	
256	Pizzo Massari	95579.35	-52061.47	2759.70	1.97	-6.6	6.8	
351	Lema (nur im D-Netz)	107916.80	-100259.81	1619.85	-0.65	14.4	-39.9	

Bemerkungen:

LA: ±ca.3 cc

a) Koordinaten: Quelle: Aktuelle Landeskoordinaten (L+T)- 1. Ordnung: Basodino, Cramosino: *neue* Punktzentren (1981) verwendet.

\*Monte Generoso: eigentlich Punkt 2.Ordnung, heute praktisch 1.Ordnung.

- 2.Ord.: Dammastock und Bristenstock : Richtungen und Distanzen der Alpentraverse wurden auf die alten Koordinaten (gemäss obiger Liste) zentriert. Die in den Ausgleichungen erhaltenen ΔY und ΔX dieser Punkte beziehen sich auch auf die alten Koordinaten. (Neue Zentrumskoordinaten 1982: nicht verwendet) - Hundstock: Exzentrum Süd wird hier verwendet.

b) Höhen: Gebrauchshöhen L+T (ca. orthometrisch)c) Lotabweichungen (LA: ξ, η) in cc, bezüglich Geograph.Nord (nötig f. Programm KONHEL)

Programm LAG, IGP-Version 3

(leicht verschieden von L+T-Version, aber Werte sind hier nicht kritisch).

Zuerst wurden nur die Teilnetze (Nord, Gotthard und Süd) gerechnet, und zwar vorerst nach Richtungen und Distanzen getrennt. Dann folgte die Berechnung von Zusammensetzungen der Teilnetze (Gotthard-Nord und Gotthard-Süd), sowie schlussendlich das Gesamtnetz, vorerst ebenfalls nach Richtungen und Distanzen getrennt. Im vorliegenden Bericht ist hauptsächlich vom Gesamtnetz die Rede.

### 3) Computer-Programme für die Netzausgleichung

Je nach den vorhandenen Möglichkeiten im Laufe der 10-jährigen Berichtsperiode wurden die Netze der Alpen traverse mit verschiedenen Programmen ausgeglichen:

In der ersten Auswertungs-Phase wurde mit dem Algol-Ausgleichungsprogramm KONHEL (IGP: N. Wunderlin) gerechnet, welches (als einziges Programm) die Ausglichen von korrelierten Beobachtungen gestattete. Als (etwa 1988) alle Berechnungen (bis auf kleine Korrekturen und die definitiven Versionen) schon durchgeführt waren, wurde an der ETH ein Computer-System-Wechsel durchgeführt und das genannte Programm konnte nicht mehr benutzt werden. Es wurde dann das Netzausgleichungs-Programm LTOP des Bundesamtes für Landestopographie [Gubler, Schneider 1988, 9.5], welches sehr nützliche statistische Testaussagen (Zuverlässigkeit) macht, an der ETH installiert und verwendet. Schliesslich wurde für gewisse Kontrollen und Vergleiche auch noch ein dreidimensionales Netzausgleichungs-Programm RAUMTRI [Schneider, Wunderlin 1981, Erweiterung von R. Köchle, 9.5] benutzt.

#### *a) Netz-Ausgleichungen mit dem Programm KONHEL*

Das Programm KONHEL (Korrelierte Netzausgleichung mit Helmertttransformation auf dem Ellipsoid) dient zur Ausglichen von geodätischen Netzen auf dem Ellipsoid. Es wurde von N. Wunderlin (erste Version von W. Keller) für die Zwecke der europäischen Triangulation schon in den 60er Jahren geschaffen und später weiterentwickelt und ist in der Programmiersprache Algol-60 geschrieben [Wunderlin 1973, 9.5]. Die Korrelation von Beobachtungen – insbesondere die Korrelation der Richtungen aus den Stationsausgleichungen – kann berücksichtigt werden. Die Netzlagerung kann mit Hilfe einer Helmertrtransformation gleichzeitig mit der Netzausgleichung durchgeführt werden.

Computer: Control Data (CDC) Computer Cyber 174 am Rechenzentrum der ETH Zürich (von 1970 bis 1988 in Betrieb) mit dem ETH-Betriebssystem EMOS.

Eingabedaten für die Netz-Ausgleichungen sind die Grössen:

- Ellipsoidparameter  $a$ ,  $e$  : für das Bessel-Ellipsoid, das in der Schweiz verwendet wird.
- Netz-Punkte: Ellipsoidische Näherungskordinaten Breite und Länge ( in cc), gerechnet (im Schweiz. Datum) aus den aktuellen Landeskoordinaten.

- Punkthöhen (für Richtungsreduktionen auf das Ellipsoid):  
Die ellipsoidischen Höhen  $h$  ergeben sich aus den orthometrischen Gebrauchshöhen  $H$  (L+T) und den Geoidhöhen  $N$  (gerechnet mit dem Programm LAG):  $h = H + N$
- Lotabweichungen, gerechnet mit dem Programm LAG [Gurtner/Elmiger 1980, 9.5], dienen zur Reduktion der Richtungen auf die Ellipsoidnormale.
- Messungen:  
Richtungen aus den Stationsausgleichungen,  
Distanzen, reduziert auf das Ellipsoid.
- Massstabsfaktoren (als zusätzliche Unbekannte) für die verschiedenen Distanzgruppen.
- Gewichte:  
Richtungen: Gewichte und Korrelationen aus den Stationsausgleichungen,  
Distanzen: Gewichte, berechnet wie in Kap. 4.5 beschrieben.

#### Lagerung:

Die Netze werden mit Hilfe einer Helmert-Transformation (gleichzeitig mit der Ausgleichung durch zusätzliche Bedingungsgleichungen) auf die Passpunkte gelagert (zwei, nämlich Lägern und M.Generso, bzw. alle Punkte 1. Ordnung).

#### Gewichtseinheit:

Als mittlerer Fehler der Gewichtseinheit a priori wird eingeführt:  $\sigma_0 = 10.0$  [cc, m].

Rechnungseinheiten: zentesimale Sekunden [cc bzw. Dezi-Milligon] und Meter [m].

#### Bedeutung der Gewichtseinheit:

- Bei der Winkelmessung entspricht Gewicht 1 einer Winkelmessung (in zwei Lagen). Aus Vorausgleichungen ergab sich der entsprechende mittlere Fehler der Gewichtseinheit zu etwa  $\pm 10$  cc.
- Bei der Distanzmessung: Die Gewichtseinheit entspricht hier einer fiktiven Distanzmessung mit einem a priori mitt. Fehler von  $\sigma_0 = \pm 10$  m. Da in der ursprünglichen Gewichtsrechnung für die Distanzen (Kap.4.5) ein  $\sigma_0$  von  $\pm 1$  m angenommen wurde, mussten die Gewichte auf die neue Gewichtseinheit von 10 statt 1 [m] umgerechnet werden, wobei  $p_{\text{neu}} = p_{\text{alt}} * 100$ , weil  $p_i = \sigma_0^2 / \sigma_i^2$  :

Beispiel aus Tab. 4, S. 182 (erste Zeile in der Tabelle):

Distanz Lägern-Rigi, SIAL-Distanz 1985 mit Flugmeteo reduziert :  $p = 393 * 100$ .

Entspricht einem mittl. Distanzfehler a priori von  $\sigma_D = \sigma_0 / \sqrt{p} = 10 \text{ m} / \sqrt{39300} = 0.05 \text{ m} = 50 \text{ mm}$ .

Zudem werden die Gewichte von einzelnen Distanzgruppen (Masstabsfaktoren 1 und 2 im Netzteil Gotthard) unter sich noch besser aufeinander abgestimmt auf Grund von Vorausgleichungen. (siehe Tab.4 in Anhang A2, S. 180 ff.)

Im Programm KONHEL hat der gewählte Wert  $\sigma_0 = 10$  [cc, m], ausser der Festlegung der Gewichte, keinen weiteren Einfluss auf die Ausgleichung, sondern dient nur zur Berechnung von statistischen Kenngrößen wie:

- Mittl. Fehler einer Verbesserung  $\sigma_v = \sigma_0 \cdot \sqrt{Q_{vv}}$  ;  $Q_{vv}$  aus der Netzausgleichung.  
Hieraus folgt die normierte Verbesserung (Mehrfache des mittleren Fehlers), d.h. der Quotient  $v / \sigma_v$
- Standardisierte Verbesserung, bezogen auf das Gewicht 1:  $v_i' = v_i \cdot \sqrt{p_i} = \sigma_0 \cdot v_i / \sigma_i$

Als Resultate der Netzausgleichung mit dem Programm KONHEL erhält man:

- den mittl. Fehler der Gewichtseinheit a posteriori  $s_0$ ,
- die Verbesserungen (absolut und normiert) und die ausgeglichenen Messungen,
- die Koordinatenunbekannten und deren mittlere Fehler,
- die ausgeglichenen Koordinaten (Breite und Länge in cc),
- die mittleren Fehlerellipsen der Netzpunkte,
- die Massstabsfaktoren der einzelnen Distanzgruppen und ihre mittleren Fehler.

### ***b) Netz-Ausgleichungen mit dem Programm LTOP***

Dieses Programm zur vermittelnden Ausgleichung von Lage- und Höhennetzen wurde vom Bundesamt für Landestopographie entwickelt [Gubler, Schneider 1988, 9.5] und ist heute in der Schweiz stark verbreitet. Am IGP steht es (mit komfortabler Benützung) erst seit Ende 1988 zur Verfügung (ein Verdienst von Prof. A. Carosio und seinen Mitarbeitern).

Das Programm verarbeitet als Beobachtungen: Richtungssätze, Azimutbeobachtungen und Distanzen für Lagenetze (in neuern Versionen auch Koordinaten und Koordinatendifferenzen), für Höhennetze auch Höhenwinkel und Höhendifferenzen. Hier werden allerdings nur Lagenetze berechnet.

Die Möglichkeit der Eingabe von korrelierten Beobachtungen ist hier nicht vorgesehen. Die Güte der Beobachtungen wird nicht durch Gewichte sondern durch Vorgabe von individuellen mittleren Fehler angegeben. (Die KONHEL-Gewichte werden deshalb - für diese Anwendung - in mittlere Fehler umgerechnet).

Das Programm LTOP rechnet entweder im ebenen Koordinatensystem (erste Versionen) oder (in späteren Versionen) auch auf dem Ellipsoid. In unseren Berechnungen verwenden wir nur das ebene Projektionssystem. Lotabweichungen und Geoidhöhen werden (auf Wunsch) zur Reduktion der Messungen berücksichtigt.

Resultate: Das Programm LTOP liefert die gleichen Resultate wie das Programm KONHEL, gibt aber darüber hinaus wertvolle statistische Testgrößen an, die bei der Beurteilung der Resultate und beim Aufdecken von groben Fehlern helfen. (Siehe weiter unten, Punkt 4)

Verwendete Programmversionen: 88.2 und 89.3 (am Schluss noch 90.1).

Benützte Computer: ETHZ: Vax 8600, am IGP zuerst Microvax II-Computer, heute IBM RISC 6000.

Beispiele: Siehe Anhang (S.185 ff.) und Tabellen 5.2, 5.3, 5.4

Für weitere Angaben siehe die Gebrauchsanleitung [Gubler, Schneider 1988, 9.5]

### ***c) Netz-Ausgleichungen mit dem Programm RAUMTRI***

Es ist dies ein von D. Schneider und N. Wunderlin ursprünglich am IGP entwickeltes Programm zur Ausgleichung von dreidimensionalen Netzen in einem geozentrisch-kartesischen Koordinatensystem. (Die verwendete Version wurde von R. Köchle ergänzt und auf dem CDC-Computer der ETH mit Betriebssystem NOS-VE installiert). [Schneider/Wunderlin 1981, 9.5].

Neben den drei räumlichen Koordinaten rechnet das Programm beim Vorliegen der nötigen Beobachtungen auch die drei Orientierungswinkel des lokalen Lotsystems und erlaubt

das Einführen von Massstabsfaktoren und Refraktionskoeffizienten als Unbekannte. In einer Erweiterung von R. Köchle gibt es auch Landeskoordinaten der Punkte und die Fehlerellipsen in allen drei Projektionsebenen aus - diese in der durch die Ausgleichung gegebenen Form und zusätzlich nach einer Meissl-Transformation der Q-Matrix (mit minimaler Spur). [Meissl 1969, Wolf 1978 (S. 171), van Mierlo 1980, 9.5].

Dieses Programm wurde in den frühern Phasen der Arbeit (als LTOP hier noch nicht zur Verfügung stand) zur unabhängigen Kontrolle der Resultate des Programmes KONHEL benutzt, später zur Bestimmung von Fehlerellipsen nach einer Meissl-Transformation.

In dieser Alpentravese liegen keine Höhenmessungen vor. Zur Bestimmung der Höhen im Netz (die formell nötig ist) wurden die ellipsoidischen Höhen der Punkte ( $h = H+N$ ) und die geographischen Längen und Breiten (gerechnet mit Hilfe von Lotabweichungen aus Massen mit Programm LAG) mit hohem Gewicht als Beobachtungen eingeführt.

Die Resultate der Berechnungen decken sich mit denen der beiden andern benützten Programme.

#### **4) Statistische Aussagen: Modelltest und Zuverlässigkeits-Indikatoren**

Zur Beurteilung der Netzausgleichungen werden, besonders mit dem Programm LTOP, Tests und Indikatoren verwendet, die im folgenden nur kurz beschrieben sind. Nähere Angaben über die Anwendung findet man bei [Carosio 1990, 9.4], [Gubler 1990, 9.5], über die mathematischen Grundlagen in [Baarda 1968, 9.4] und [Carosio 1983, 1990, 9.4].

##### ***a) Globaler Modelltest***

Mit einem Fisher-Test wird geprüft, ob das verwendete mathematische und stochastische Modell insgesamt angenommen werden kann oder verworfen werden muss. Bei richtiger und vernünftiger Anwendung eines guten und geprüften Ausgleichungsprogrammes muss das mathematische Modell im allgemeinen nicht angezweifelt werden. Es geht dann meist nur noch darum festzustellen, ob in den eingegebenen Daten (Koordinaten, Messungen nach der Aufbereitung und Reduktion) noch grobe Fehler enthalten sind und ob die mittleren Fehler a priori insgesamt etwa richtig (entsprechend den Erwartungen a priori bzw. Erfahrungen) eingeführt worden sind.

Praktisch massgebend ist der Quotient  $Q$  des mittleren Fehlers der Gewichtseinheit  $s_0$  a posteriori (aus der Ausgleichung) zum a priori angenommenen Wert  $\sigma_0$ :  $Q = s_0 / \sigma_0$ .

Wenn der erhaltene Wert vom Erwartungswert 1 stark abweicht, muss das Modell verworfen werden, andernfalls besteht kein Anlass hiezu.

Der Modelltest benützt als Testvariable das Quadrat von  $Q$ , d.h. den Quotienten aus empirischer Varianz (a posteriori) und a priori angenommener Varianz. Numerisch massgebend ist der Freiheitsgrad (Überbestimmung) der Ausgleichung und das gewählte Sicherheitsniveau  $S$  (Vertrauens-Wahrscheinlichkeit). Üblicherweise wählt man  $S = 95\%$ , also ein Irrtumsrisiko von  $5\%$ . (Die Überbestimmung ist in unseren Netzen: Richtungsnetz 127, Distanznetz 52 / 53, kombiniertes Netz 215.)

Beispiel: Bei einer Überbestimmung von 100 und bei einer Sicherheit von  $95\%$  ist der Grenzwert für den mittl. Fehler-Quotienten nach oben  $Q = 1.11$  (und nach unten  $0.90$ ). Liegt der erhaltene Wert ausserhalb dieses Bereiches (kritisch: grösser als der obere Wert), muss das Modell (keine groben Fehler in den Messungen, Gewichte richtig geschätzt) verworfen werden, wobei es in  $5\%$  der Fälle irrtümlich verworfen werden kann. (Der andere Fall, die Unterschreitung des unteren Grenzwertes, ist nicht kritisch: das Modell stimmt dann zu gut bzw. die mittl. Fehler der Beobachtungen wurden zu pessimistisch beurteilt.)

Zur Beurteilung des Tests wird im Programm LTOP noch berechnet, wie gross die Wahrscheinlichkeit ist, dass die Modellannahmen richtig sind und bei Unterschreitung eines Grenzwertes (Wahrscheinlichkeit mind.  $20\%$ ) eine Warnung ausgegeben.

### ***b) Varianz-Komponenten***

Im Programm LTOP wird für die verschiedenen Beobachtungsgruppen (Richtungen, Distanzen mit verschiedenen Massstabsfaktoren etc.) auch ein mittlerer Gruppenfehler der Gewichtseinheit und ein  $Q$ -Wert für die Beobachtungsgruppen berechnet. Man kann dann beurteilen, welche Gruppe von Messungen den erwarteten Genauigkeiten entspricht (bzw. Fehler oder schlecht gewählte Gewichte enthält), wie gross die Überbestimmung einer Gruppe ist, und ob die Gewichtsverhältnisse der verschiedenen Beobachtungsgruppen (Richtungen, verschiedene Distanztypen) unter sich stimmen.

Der mittlere Gruppen-Fehler wird (in bekannter Weise) berechnet aus der Fehlerquadratsumme der Verbesserungen dieser Gruppe und der betreffenden "Überbestimmung" d.h. Teilredundanz der Gruppe, die sich ergibt als Summe der Einzel-Redundanzen aller Beobachtungen der Gruppe:  $r_g = \sum z_i$ .

Weicht ein mittlerer Gruppen-Fehler-Quotient  $Q_i$  vom Erwartungswert 1 stark ab, so kann auf Fehler in den Beobachtungen dieser Gruppe oder auf falsche Gewichte (von einzelnen Beobachtungen oder von einer Gruppe relativ zur andern) geschlossen werden.

Beispiele: Tab. 5.2 S. 70, Tab. 5.3 S. 86, speziell Tab. 5.4 S. 101.

(alle aus dem Programm LTOP)

### c) *Zuverlässigkeits-Indikatoren*

Im Programm LTOP werden Indikatoren ausgegeben, die bei der Beurteilung des Netzes und bei der Suche von groben Fehlern nützlich sind. (Bei der Fehlersuche wird vorausgesetzt, dass lokal je nur ein grober Fehler auftritt). Ferner kann abgeschätzt werden, wie gross der Einfluss von nicht entdeckten Fehlern in den Beobachtungen auf die Koordinaten ist.

Massgebend zur Berechnung dieser Indikatoren sind die Kofaktorenmatrix der Beobachtungen  $Q_{ll} = P^{-1}$  (gerechnet als Inverse der Gewichtsmatrix  $P$  der Beobachtungen) und die entsprechende  $Q$ -Matrix der Verbesserungen  $Q_{vv} = Q_{ll} - A \cdot Q_{xx} \cdot A^T$ , wobei

$A$ : Koeffizientenmatrix der Verbesserungsgleichungen und

$Q_{xx}$ : Kofaktorenmatrix der Unbekannten  $x$  der vermittelnden Ausgleichung, in der die gegenseitige Kontrolle der Messungen zum Ausdruck kommt (Netzgeometrie und lokale Überbestimmung).

Folgende *Indikatoren* werden benützt:

#### A. Beurteilung des Netzes

##### A1: Lokale Zuverlässigkeit

(1) *der lokale Zuverlässigkeits-Indikator*  $z_i = q_{v_i v_i} / q_{l_i l_i}$

ist der Quotient aus dem  $i$ -ten Diagonalelement der Kofaktorenmatrix der Verbesserungen und der Beobachtungen und liegt zwischen 0 und 1 bzw. 0 und 100 %. Der Wert gibt an, wie gut eine Messung durch andere Messungen kontrolliert ist: Ein Wert 0 bedeutet keine Kontrolle, 100 maximale Kontrolle; als genügend werden 25% betrachtet, normal sind Werte von 25 - 60 %.

Die Zahl  $z_i$  wird auch als Teil-Redundanz dieser Messung bezeichnet.

Die Summe aller  $z_i$  ergibt gerade die Überbestimmung (Freiheitsgrad  $f = n - u$ ) des Netzes:

$$\sum z_i = f$$

A2: Äussere Zuverlässigkeit der erhaltenen Koordinaten

(2) Einzel-Einfluss eines nicht entdeckten Fehlers auf die Koordinaten:  $k_i$  ( $k_w$ )

Bei einer schlecht kontrollierten Messungen (mit kleinem  $z_i$ ), interessiert die Frage, welchen Einfluss ein unentdeckter grober Fehler (der Grösse  $\nabla_{ji}$ ) an dieser Messung auf die relative Lage der beiden Punkte, die mit der Messung verbunden sind, haben würde. Der Wert  $k_i$  (a priori) ist die Antwort auf diese Frage ( $k_w$ : a posteriori)

(3) Max. Gesamteinfluss aller Fehler: Zuverlässigkeits-Rechteck:  $N_A, N_B, Azi(N_A)$

Der maximale Einfluss von (allen möglichen) unentdeckten groben Fehlern (der Grösse  $\nabla_{ji}$ ) an den Messungen auf die Koordinaten eines Neupunktes wird angegeben durch ein Zuverlässigkeitsrechteck mit den Halbachsen  $N_A$  und  $N_B$  und der Ausrichtung  $Azi(N_A)$ , innerhalb dessen sich solche unentdeckte grobe Fehler auf die Koordinaten auswirken können [Burnand, in Carosio 1990, 9.4].

B. Beurteilung der Messungen

(4) Normierte (standardisierte) Verbesserung:  $w_i = v_i / s_{vi}$ ,

wobei  $s_{vi}$  aus der  $Q_{vv}$ -Matrix gerechnet wird:  $s_{vi} = s_o \cdot \sqrt{q_{vi} v_i}$ ,

Die normierte Verbesserung ist dimensionslos und erscheint als Vielfaches des mittleren Fehlers der Verbesserung (a posteriori, d.h. aus der Ausgleichung, inkl. Auswirkung der gegenseitigen Kontrolle durch das Netz).

Je grösser die normierte Verbesserung, umso wahrscheinlicher ist ein grober Fehler an der betreffenden Messung. (Im allgemeinen akzeptiert man Beobachtungen mit normierten Verbesserungen unter 2.5 als richtig, mit einem Irrtumsrisiko von 5 %.)

(5) Wahrscheinliche Grösse eines groben Fehlers:  $g_i = -v_i / z_i$ :

Bei der Fehlersuche ist es interessant zu wissen, wie gross der gesuchte Fehler etwa sein müsste, um ein bestimmtes  $w_i$  zu erzeugen. Der Indikator  $g_i$  gibt die Antwort auf diese Frage.

(6) Grenzwert für nicht entdeckbare grobe Fehler an der Messung  $l_i$ :  $\nabla_{ji}$  (Nabla  $l_i$ )

Grobe Messfehler können (mit dem vorgewählten Irrtumsrisiko von meist 5%) nur entdeckt werden, wenn sie grösser sind als dieser Grenzwert.

## 5.2 Ausgleichung des Richtungsnetzes

### I. Allgemeines

Zunächst betrachten wir hier das reine Richtungsnetz "Alpen traverse" (mit 38 Punkten); die verwendeten Richtungen sind das Resultat der Stationsausgleichungen aus dem Kapitel 3.

1) Netz und Messungen: Der Netzplan ist in Fig. 5.2A (S.69) dargestellt. Als Beobachtungen werden in die Netzausgleichungen eingeführt: die stationsausgeglichenen Richtungen, die bei jeder Station auf einen beliebigen Referenzpunkt orientiert sind. Aus den Stationsausgleichungen ergibt sich für jede Richtung ein individuelles Gewicht, und die Korrelation der Richtungen aus diesen Ausgleichungen ist in der vollen Gewichtsmatrix der Richtungen nach Helmert enthalten. (Siehe Tab. 3.3, Anhang A1, S. 174 ff.)

2) Computerprogramme: Wie schon erwähnt, wurden alle Berechnungen zuerst mit dem Programm KONHEL durchgeführt, um auch die Korrelation der Richtungen berücksichtigen zu können, später auch mit dem Programm LTOP, wo dies nicht möglich ist.

3) Gewichtseinheit: Als mittlerer Fehler der Gewichtseinheit a priori wird der Wert  $\sigma_0 = 10.00$  verwendet: der auf Grund von Vorausgleichungen etwa zu erwartende mittlere Fehler eines einmal in zwei Lagen gemessenen Winkels.

4) Netz-Lagerung: Das Netz wird mit Hilfe einer Helmerttransformation (gleichzeitig mit der Netzausgleichung) auf alle (14) Punkte 1.Ordnung gelagert, bzw. in einer zweiten Variante auf die beiden Punkte Lägern und Generoso. Im zweiten Fall erhält man das gleiche Resultat, wenn man die beiden Punkte als fest einführt, da es sich in beiden Fällen um eine zwangsfreie Lagerung handelt.

#### 5) Kenngrossen der Netzausgleichungen

n Beobachtungen, u Unbekannte, r = 4 Bedingungsgleichungen für die Helmerttransformation (3 beim Richtungsnetz), Freiheitsgrad  $f = n - u$  bzw.  $n - u + r$ .

Mittl.Fehlerquotient a posteriori / a priori  $Q = s_0 / \sigma_0$  ( $\sigma_0 = 10$  cc)

*Tab. 5.2 A Ausgleichung der Richtungsnetze: Kenngrossen*

Netz	Kurzname	Anzahl Punkte			Beob. Überbest.		m.F. a post.	
		1.O.	2.O.	Total	n	f=n-u+r	$s_0$	Q
Nord	N	6	12	18	107	57	9.55	0.96
Gotthard	G	6	6	12	65	33	10.66	1.07
Süd	S	6	6	12	61	29	8.58	0.86
Nord + Gotthard	GN	10	18	28	173	93	10.11	1.01
Süd + Gotthard	SG	10	12	22	129	67	10.33	1.03
<b>Alpen traverse</b>	AT	14	24	38	237	127	10.06	1.01
	* ohne Korrel. der Richtungen (sonst immer mit)						10.48*	1.05

Aus organisatorischen Gründen (Messung in Phasen, Fehlersuche, Berechnung) wurde die Alpen traverse in drei Teilnetze aufgeteilt: Teil Nord, Teil Gotthard und Teil Süd.

Vorerst werden alle drei Teile getrennt ausgeglichen, anschliessend je zwei Teile zusammengefasst und ausgeglichen und schlussendlich die ganze Alpen traverse mit allen Richtungen ausgeglichen.

## II. Ausgleichung der Richtungsnetze: Wichtigste Resultate

Die wichtigsten Resultate der Ausgleichung sind weiter hinten (S.70 ff.) und im Anhang B1, S. 185-191 dargestellt. Es lassen sich die folgenden Aussagen machen:

### 1) Globaler Modelltest

Der mittl. Fehler der Gewichtseinheit ist  $s_0 = 10.06$  cc bei Berücksichtigung der Korrelation der Richtungen, bzw. 10.48 cc wenn keine Korrelationen berücksichtigt werden (Wert a priori 10.00). Der mittl. Fehlerquotient  $Q$  ist damit 1.01 bzw. 1.05. (Ein Wert nahe bei 1 ist zu erwarten, weil ein realistischer, aus Vorausgleichungen bestimmter a priori-Wert benützt wurde).

Aus den Stationsausgleichungen (siehe 3.3.1) wäre allerdings ein kleinerer Wert von nur 1.7" bzw. 5.3 cc zu erwarten gewesen. Hätte man diesen Wert als Gewichtseinheit eingeführt, so hätte sich ein mittl. Fehlerquotient  $Q = s_0 / \sigma_0$  (mittl. Fehler a posteriori zu mittl. Fehler a priori) von fast 2 ergeben – statt 1, bei einem mit 95% Sicherheit tolerierbaren Grenzwert von 1.1. Der globale Modelltest wäre also eindeutig nicht erfüllt und das verwendete Modell wäre theoretisch abzulehnen. Bei nur einer Gruppe von Beobachtungen ist die Wahl von  $s_0$  und der resultierende Wert für  $Q$  aber praktisch ohne Bedeutung.

Dieses Verhältnis (wesentlich grössere mittl. Fehler a posteriori als a priori geschätzt) entspricht bei der Ausgleichung von Richtungsnetzen in der Landesvermessung aber der Erfahrung, wenigstens wenn die mittleren Fehler a priori nur aus den Stationsausgleichungen geschätzt werden, ohne weitere mögliche systematische und zufällige Fehler zu berücksichtigen wie Seitenrefraktion, Zentrierfehler, Restfehler der verwendeten Lotabweichungen etc.

#### Qualität der verschiedenen Netzteile :

Die beiden Netzteile Nord und Süd (Tessin) sind bezüglich Qualität der Richtungsmessungen leicht besser als der Netzteil Gotthard; allerdings ist der Unterschied nicht signifikant.

## 2) Genauigkeit einer gemittelten Richtung aus der Netzausgleichung

a) Aus unserer Netzausgleichung ergeben sich folgende Werte für die mittleren Fehler  $s_R$  der gemittelten Richtungen, wenn man diese aus den durchschnittlichen Gewichten (Tab. 3.3.B, S. 20) dieser Richtungen berechnet nach  $s_R = s_o / \sqrt{p_R}$ .

Ordnung	Gewicht	Mittl. F. Richtung $s_R$
1.	47.1	1.5 cc = 0.5"
2./ 3.	22.8	2.1 cc = 0.7"
Alle	28.5	<b>1.9 cc = 0.6"</b>

b) Zum Vergleich: Aus Dreieckschlüssen (siehe Tab. 3.3.C, S. 20) hat sich ein mittlerer Richtungsfehler  $s_R$  von  $\pm 2.1$  cc ergeben. (Hieraus würde sich mit einem durchschnittlichen Richtungsgewicht von  $p_R = 28.5$  für die Gewichtseinheit ein Wert  $s_o = s_R \cdot \sqrt{p_R} = 11.2$  cc ergeben).

Die Dreieckschlüsse liefern also nicht zu günstige sondern ziemlich zutreffende Werte für die tatsächliche Genauigkeit von Richtungen.

## 3) Grösste Richtungsverbesserungen aus der Ausgleichung

Die grössten Verbesserungen (absolut und normiert) der Richtungen aus der Ausgleichung des reinen Richtungsnetzes sind im folgenden zusammengestellt für die beiden Fälle mit bzw. ohne Berücksichtigung der Korrelation der Richtungen aus den Stationsausgleichungen

Angegeben sind die Werte

$v_i$ : Verbesserung, absolut in cc,

$w_i = v_i / s_{v_i}$ : normierte Verbesserungen,

d.h. Vielfache der mittl. Fehler der Verbesserungen (a posteriori)

$z_i$ : lokale Zuverlässigkeit der Messung (in Prozent).

Bei allen Berechnungen wird der gleiche Datensatz (Richtungen und ihre Gewichte) verwendet. Korrelationen der Richtungen können allerdings, wie erwähnt, nur mit dem Programm KONHEL berücksichtigt werden:

*Tab. 5.2 B : Richtungsnetz: Grösste Verbesserungen aus der Ausgleichung*

A. Programm KONHEL, mit und ohne Richtungs-Korrelation (Berechnungs-Var.AT)

B. Programm LTOP, Berechnung ohne Korrelationen (Var. R1)

Verbesserung  $v_i$ : in cc,  $w_i$ : normiert (Mehrfache des mittl. Fehlers an der Verbess.)

Visur von	nach	A mit Korrel.		A ohne Korrel.		B ohne Korrel.		
		$v_i$	$w_i$	$v_i$	$w_i$	$v_i$	$w_i$	$z_i$
<i>Von Punkten 1. Ordnung</i>		cc	-	cc	-	cc	-	-
Scheerhorn	Rigi	+2.2	<b>+3.0</b>	+2.2	<b>+3.0</b>	+2.2	+3.0	46
Scheerhorn	Muraun	-6.2	-2.5	-6.8	-2.7	-6.8	-2.7	75
Badus	Titlis	-1.6	-2.5	-1.8	-3.0	-1.8	<b>-3.1</b>	29
Cramosino	Vogorno	-5.2	-2.4	-4.6	-2.2	-4.6	-2.2	71
<i>Von Punkten 2./3. Ordnung</i>								
Albis	Hörnli	-8.4	-2.9	-8.3	-3.0	-8.3	-3.0	88
Sasso Rosso	Basodino	<b>+11.1</b>	+2.3	<b>+9.1</b>	+2.1	<b>+9.0</b>	+2.1	68
Muraun	Scheerhorn	+3.0	+2.9	+2.6	+3.0	+2.6	+3.0	26

Der Vergleich zeigt:

- Die grössten normierten Verbesserungen sind nur 3.1 (mal so gross wie die mittl. Fehler der Verbesserungen a posteriori). Etwas grössere normierte Verbesserungen als der üblicherweise angenommene Grenzwert von 2.5 haben nur 3 bzw. 4 Richtungen. Das Richtungsnetz ist also nicht ganz frei von (nicht schwerwiegenden) Fehlern, doch können diese akzeptiert werden im Hinblick auf das Alter der Messungen und die Tatsache, dass sie heute nicht mehr bereinigt werden können.

- Korrelation der Richtungen: Ob sie berücksichtigt wird oder nicht, ergeben sich fast die gleichen Verbesserungen (Vergleich erfolgte mit dem Programm KONHEL)

- Die beiden Computerprogramme KONHEL und LTOP ergeben bei gleichem Datensatz (keine Korrelationen) die gleichen Ergebnisse, bis auf kleine Rundungsfehler.

#### 4) Genauigkeit der Punktbestimmung

Frage: Wie genau lassen sich Punkte in einem reinen Richtungsnetz bestimmen, wenn wie hier alle Messungen auf Punkten 1. und 2. Ordnung berücksichtigt werden?

Wir betrachten die folgenden Fälle:

##### a) Maximaler mittl. Punktfehler

Bei einer Netzlagerung in den beiden Endpunkten ergeben sich für die grosse Halbachse der mittl. Fehlerellipse die Maximalwerte (a posteriori, LTOP, Netz R1)

Punkte 1. Ordnung : 198 mm bei Punkt Scheerhorn

Punkte 2. Ordnung: 208 mm bei Punkt Dammastock

b) Punkt-Genauigkeit in Netzmitte

Für das in den beiden Endpunkten Lägern und Generoso gelagerte Netz verwenden wir als Genauigkeitsmass das *Mittel von vier Punkten* 1.Ordnung, die etwa in der Netzmitte liegen: *Titlis, Scheerhorn, Badus/Six Madun und Tgietschen*.

Aus den mittl. Fehlerellipsen dieser Punkte ergeben sich folgende mittl. Lagefehler absolut (mm) bzw. relativ (in ppm = 1/10<sup>6</sup>), bezogen auf den Abstand von etwa 90 km zu den beiden Endpunkten des Netzes Lägern und Generoso. (Die Hauptachsen  $m_A$  der Fehlerellipsen liegen etwa in der Längsrichtung des Netzes; Werte a posteriori):

*Tab. 5.2 C: Richtungsnetz: Punktgenauigkeit in Netzmitte*

Var.	Lagerung	Längsfehler		Querfehler		Korrel.	Progr.
		mm	ppm	mm	ppm		
A :	14 Punkte (alle) 1.O.	± 82	0.9	± 63	0.7	mit	KONHEL
B1:	2 Punkte: Lägern, Generoso	±199	2.2	±140	1.6	mit	KONHEL
B2:	do, ohne Korrel. d. Richtg.	±196	2.2	±118	1.3	ohne	LTOP/KO
C:	Lagerung auf <u>alle</u> Punkte	± 72	0.8	± 92	1.0	ohne	RAUMTRI

Folgerungen:

- Lagerung: Bei 14 statt nur 2 Helmert-Lagerungspunkten ergeben sich (wie zu erwarten) kleinere mittl.Punktfehler: diese fallen auf 40 % des Wertes mit 2 Lagerungspunkten.

- Korrelation der Richtungen: Etwas unerwartet ist die Feststellung, dass sich eine leicht höhere Punktgenauigkeit (kleinere mittlere Fehler) für die ausgeglichenen Koordinaten ergibt, wenn man auf die Korrelation der Richtungen verzichtet. Dies gilt besonders für die Genauigkeit in Querrichtung des Netzes).

Der Sachverhalt wird aber verständlich, wenn man bedenkt, dass man die Genauigkeit der Messungen überschätzt, wenn man keine Korrelationen annimmt: Nur ideale Messungen sind frei von Korrelationen (gegenseitig unabhängig), reale Messungen sind leider etwas schlechter, nämlich korreliert, also systematisch gegenseitig voneinander abhängig. Dieser Fall ist ungünstiger und führt demzufolge zu grösseren Unsicherheiten an den Resultaten. Die Berücksichtigung der vorhandenen Korrelationen führt daher zu grössern aber realistischeren mittleren Punktfehlern. Der Einfluss der Korrelation ist aber nicht sehr gross.

c) Distanz-Genauigkeit über das ganze Richtungs-Netz (bei einseitiger Lagerung)

Um diese Frage abzuklären, wurde das reine Richtungsnetz nur im Norden (zwangsfrei) gelagert auf den beiden Punkten Lägern und Hörnli (Var. R2). Im südlichen Endpunkt des

Netzes (Generoso) ergibt sich dann eine mittl. Punktfehlerellipse mit Halbachsen von

$$A = 634 \text{ mm}, B = 406 \text{ mm}, \text{ Azimut (A)} = 383 \text{ Gon} \quad (\text{vergl. Fig. 7.1, S. 143}).$$

Der relative Distanzfehler von  $\pm 634 \text{ mm}$  auf die Distanz Lägern-Generoso von 178.8 km ist somit  $\pm 3.5 \text{ ppm}$ , also ziemlich hoch. Es ist aber einleuchtend, dass mit einem so schlanken Richtungsnetz und bei nur einseitiger Lagerung sich eine solche Distanz nur schlecht bestimmen lässt. Es wird sich unter 5.3 zeigen, dass das reine Distanznetz in dieser Beziehung wesentlich (etwa 9 mal) genauer ist als das reine Richtungsnetz.

#### d) Helmert-Lagerung auf sämtliche Netzpunkte (Fig. 5.2.C, S. 74)

Die Q-Matrix dieser Lagerung hat nach [Meissl 1969, 9.4] minimale Spur (vgl. 5.1.1b). In den Fehlerellipsen der Netzpunkte kommt deutlich zum Ausdruck, wie das Richtungsnetz die Punkte in Richtung quer zur Traverse relativ genau und in Richtung entlang der Traverse relativ ungenau fixiert. Man vergleiche damit die entsprechende Figur 5.3.C auf S. 90 für das Distanznetz.

### 5) Zuverlässigkeit der Punktbestimmung

Kleinere Fehler an den Messungen, die mit den statistischen Tests nicht aufgedeckt und eliminiert werden können, bewirken an den Koordinaten Änderungen, die im Bereich der Zuverlässigkeits-Rechtecke mit grosser Halbachse  $N_A$  liegen können.

Für das Richtungsnetz, das in den beiden Endpunkten Lägern und Generoso gelagert ist, ergeben sich folgende grösste Werte für  $N_A$  (Werte a priori): siehe Fig. 5.2.B auf S.73

Punkte 1. Ordnung: Basodino	$N_A = 403 \text{ mm}$
Punkte 2. Ordnung: Cramalina	$N_A = 425 \text{ mm}$
Mittelwert der 4 Punkte in Netzmitte	$N_A = 337 \text{ mm}$

Je grösser die Zuverlässigkeits-Rechtecke im Vergleich zu den Fehlerellipsen sind, umso unzuverlässiger ist ein Netz. Hier sind, für die gewählten Punkte in Netzmitte, die Zuverlässigkeits-Rechtecke nur ca. 1.8 mal grösser als die mittl. Fehlerellipsen (Werte a posteriori). Das Netz als Ganzes ist also ziemlich zuverlässig.

### 6) Einfluss der Korrelation der Richtungen auf die Koordinaten

Wir betrachten diesen Einfluss an **Beispielen**:

Die folgende Tabelle zeigt die entstehenden Differenzen in den ausgeglichenen Koordinaten, wenn man die Korrelation der Richtungen (aus den Stationsausgleichungen) berücksichtigt:

Differenzen:

dY, dX: absolut (in mm), Vorzeichen: "mit Korrelation" *minus* "ohne Korrelation".

rY, rX relativ (in Prozent) zu den mittl. Punktfehlern (mit Korrelation)

*Tab. 5.2 D Einfluss der Korrelationen im Richtungsnetz*

Punkt	Differenz (Koord.) dY dX [mm]		Mittl.Fehler				Diff. Relativ	
			mit Korrel. mY mX [mm]		ohne Korrel. mY mX [mm]		rY	rX
						[% d. mittl. F.]		
Rigi	-11	- 2	121	148	102	151	9	1
Hörnli	-22	+15	155	117	147	103	14	13
Titlis	+21	+ 6	159	183	133	183	13	3
Basodino	+21	+15	166	180	144	176	13	8
Scheye	- 7	0	171	165	156	159	4	0
Cramosino	-31	- 5	124	164	105	164	25	3
Sasso Rosso	-36	-21	145	166	133	164	25	13
Mittel	±23	±12	149	160	131	157	15	8
Mit bzw. ohne Korrel.			100%	100%	88%	98%		

Folgerungen: Der Einfluss der Richtungs-Korrelation lässt sich zusammenfassen :

a) Einfluss auf die Koordinaten:

Die Korrelation der Richtungen hat auf die Koordinaten nur einen kleinen Einfluss: die Änderungen betragen höchstens 36 mm bzw. 25 Prozent des mittl. Koordinatenfehlers, im allgemeinen aber wesentlich weniger.

*Die Korrelation der Richtungen kann also praktisch vernachlässigt werden.*

b) Einfluss auf die Punktgenauigkeit:

Die Punktgenauigkeit in Querrichtung (Richtung Y) des Netzes ist ohne Korrelation höher (mittl. Fehler nur 88 %) als mit Korrelation (!). Dies ist natürlich (wie schon erwähnt) eine optimistische Täuschung: das Resultat der irrtümlichen Annahme, die Richtungen seien unkorreliert. Die mittleren Fehler ohne Korrelation sind daher etwas zu günstig; die Berücksichtigung der Korrelation ergibt realistischere, d.h. grössere mittlere Punktfehler.

Folgerung: Wenn man die Korrelation der Richtungen bei der Netzausgleichung ignoriert (aus praktischen Gründen, weil ein entsprechendes, aufwendigeres Computerprogramm fehlt), sollte man daran denken, dass die so erhaltenen mittl. Punktfehler leicht (um 2 bis 12 %) zu günstig sind. Die Koordinaten sind aber höchstens um Werte verfälscht die einem Viertel der Fehlerellipsen entsprechen.

## 7) Richtungsnetz: Vergleiche

### a) Programm-Vergleiche

Die Programme KONHEL, LTOP und RAUMTRI ergeben die gleichen ausgeglichenen Koordinaten bis auf Differenzen von 9 mm bei mittl. Punktfehlern bis zu 20 cm. Die kleinen, praktisch unbedeutenden Differenzen sind vermutlich das Resultat von kleinen Rundungen bei der Umwandlung von Gewichten (KONHEL) in mittlere Fehler (LTOP).

### b) Vergleich mit heutigen Landeskoordinaten (siehe auch Kap. 6.1)

Die Koordinaten unseres Richtungsnetzes Alpen traverse können mit Hilfe einer Helmerttransformation mit den alten Landeskoordinaten verglichen werden. Beide Koordinatensätze, unsere neuen und die alten, sind aus den gleichen Richtungsmessungen hervorgegangen, beziehen sich auf die gleiche Epoche, aber unterscheiden sich im Umfang der Beobachtungen und in der Strenge der Ausgleichung:

Die alten Landeskoordinaten sind in bekannter Weise [Zölly 1948, 9.2] aus den Winkelmessungen im Netz 1. Ordnung entstanden: Lokale Netzausgleichung nur mit Richtungen (ohne Korrelationen) zu Punkten 1. Ordnung; Ausgleichung nicht in einem Guss, sondern Punkte 2. und 3. Ordnung durch gezwängte Punkteinschaltung in das lokale Teilnetz 1. Ordnung. Dagegen sind bei unseren neuen Koordinaten alle Messungen auf Punkten 1. und 2. Ordnung (und teilweise zu Punkten 3. Ordnung) berücksichtigt und die Ausgleichung ist streng erfolgt.

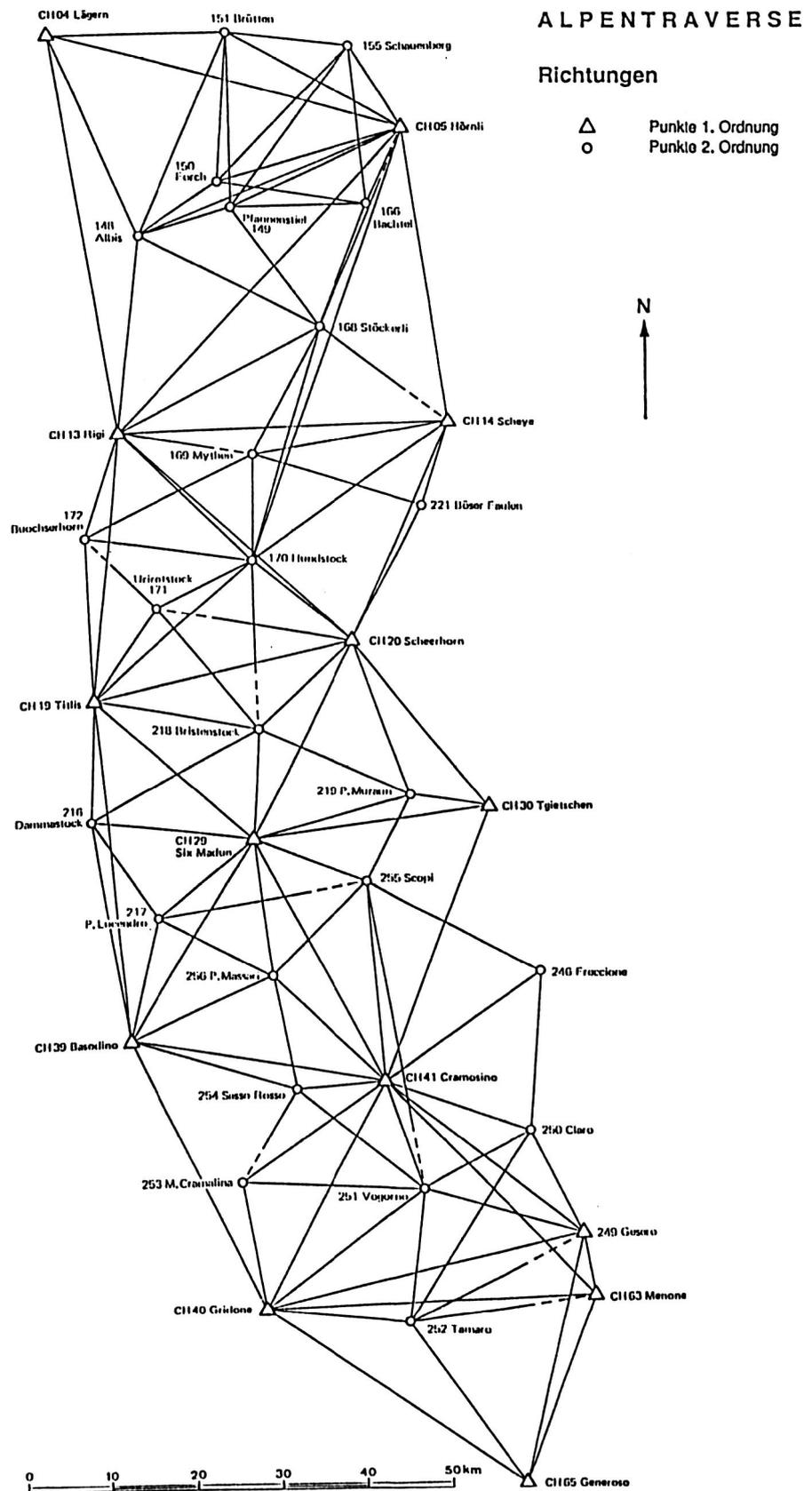
Nach der Helmerttransformation unseres Netzes auf die alten (aktuellen) Landeskoordinaten der Punkte 1. Ordnung ergibt sich eine mittlere Restklaffe von 10 cm bei mittleren Punktfehlern bis etwa 20 cm. Die grösste Differenz (bei allen Punkten inkl. 2. O.) tritt beim Punkt Scheye auf und beträgt 25 cm bei einem mittleren Punktfehler von 16 cm in der betreffenden Richtung. (Siehe Kap. 6.1, Fig. 6.1 A, S. 126)

Die Übereinstimmung der Netzberechnungen aus zwei verschiedenen Epochen kann also als sehr gut bezeichnet werden, besonders wenn man an die weniger strengen Verfahren bei der Bestimmung der alten Landeskoordinaten denkt. Gesamthaft gesehen ist die Genauigkeit der alten Punktbestimmungen - aus dem Anfang dieses Jahrhunderts! - erstaunlich gut.

Beilagen auf den nächsten Seiten:

	<u>Seite</u>
Fig. 5.2 A Netzplan Richtungen	69
Tab. 5.2 LT1 Statist. Angaben, ausgegl. Koordinaten, Fehlerellipsen (LTOP)	70
Fig. 5.2 B Verschiebungen, Fehlerellipsen, Zuverlässigkeits-Rechtecke	73
Fig. 5.2 C Fehlerellipsen nach Meissl-Transformation	74
<u>Anhang B1</u>	
Tab. 5.2 LT2 Abrisse nach Ausgleichung (Beispiele zu Test-Indikatoren)	185ff.

*Fig. 5.2 A: Netzplan Richtungsnetz*



Tab. 5.2 LTI: Ausgleichung Richtungsnetz mit Programm LTOP: Wichtigste Resultate



LAGE				HOEHE		LAGE - NEUPUNKTE: ANZAHL = 36			
M. FEHLERQUOT. TOTAL:						HOERNL	RIGI	SCHEYE	TITLIS
OHNE RUNDUNG (Q^)	1.05	N. B.				BASODI	GRIDON	CRAMOS	MENONE
SCHLUSSKONTROLLE	1.05	N. B.				FORCH	BRUETT	SCHAUE	BACHTE
WAHRSCH. DASS Q >/< Q^:	20.5%	N. B.				URIROT	BUOCHS	DAMMAS	LUCEND
ANZAHL BEOBACHTUNGEN	237	0				FRECCI	CLARO	VOGORN	TAMARO
ANZAHL UNBEKANNTE	110	0				MASSAR			
UEBERBESTIMMUNGEN	127	0				SCHEER	BADUS	TGIETS	
SIGNIFIKANTE STELLEN	.0	6,6				GESERO	ALBIS	PFANNE	
MAX. M. KOORD. FEHLER	208.0 MM	.0 MM				STOECK	MYTHEN	HUNDST	
ITERATIONEN (MAX.)	2 ( 4)	0 ( 4)				BRISTE	MURAUN	BOESFA	
MAX. AEND. LETZTE IT.	.0 MM	.0 MM				CRAMAL	SASSO	SCOPI	
ABBRUCHSCHRANKE	20.0 MM	20.0 MM							
RECHENZEIT	5.9 SEK.	(CPU)							
Y,X,H NACH RUNDUNG	4	DEZ.							
ANZAHL STATIONEN	38								
BEOBACHTUNGSZEILEN	237								

MITTLERE FEHLER DER BEOBACHTUNGSGRUPPEN: RICHTUNGEN (MF:1KM):		ANZAHL	A PRIORI	SCHLUSS	QUOT.	REDUND.
		237	3.0 CC	3.1 CC	1.05	127.000

VOLLSTAENDIGES KOORDINATEN- UND HOEHEN-VERZEICHNIS								NAEHERUNGSKOORDINATEN UND -HOEHEN				
PUNKT	TYP	Y	X	H	GEODHOEHE	ETA	XI	PUNKT	TYP	Y	X	H
		M	M	M	M	CC	CC			M	M	M
NULLBERN		.000	.000	.000	.000	.0	.0	HOERNL		113528.960	47763.240	1132.980
LAEGER		72506.710	59415.880	856.110	.610	10.6	-29.4	RIGI		79520.050	12273.440	1797.520
HOERNL		113528.709	47763.515	1132.980	.250	-9.7	-6.3	SCHEYE		117987.140	13204.370	2258.860
RIGI		79520.049	12273.501	1797.520	-.175	-11.6	34.8	TITLIS		76311.900	-19418.640	3238.290
SCHEYE		117987.086	13204.732	2258.860	.764	-.2	30.4	SCHEER		106100.610	-12849.020	3294.540
TITLIS		76312.077	-19418.688	3238.290	1.743	-11.4	48.8	BADUS		93825.760	-35796.090	2928.070
SCHEER		106100.638	-12848.981	3294.540	1.767	-26.6	30.0	TGIETS		121127.010	-32694.630	2857.650
BADUS		93825.708	-35796.047	2928.070	2.172	-4.8	10.5	BASODI		79178.460	-59460.520	3272.440
TGIETS		121127.121	-32694.570	2857.650	1.973	.5	17.9	GRIDON		93480.660	-91294.690	2188.060
BASODI		79178.478	-59460.569	3272.440	2.235	17.7	-24.5	CRAMOS		108090.560	-64387.840	2717.920
GRIDON		93480.650	-91294.703	2188.060	.981	51.2	-31.1	MENONE		131864.730	-90557.560	2244.470
CRAMOS		108090.632	-64387.862	2717.920	1.459	23.6	-9.0	GENERO		130689.060	-83702.040	2227.140
MENONE		131864.755	-90557.435	2244.470	-.025	5.0	-53.3	ALBIS		82732.740	35616.030	878.990
GENERO		122656.140	-112130.770	1701.320	-2.086	-13.9	-68.1	PFANNE		93647.440	38275.110	800.120
GESERO		130689.088	-83701.945	2227.140	.391	-15.5	-22.5	FORCH		91968.164	42080.380	695.120
ALBIS		82732.700	35616.112	878.990	-.232	5.1	-7.8	BRUETT		93040.662	58941.338	640.910
PFANNE		93647.354	38275.263	800.120	-.198	2.2	-13.9	SCHAUE		107662.314	57568.299	891.630
FORCH		91968.164	42080.380	695.120	-.122	4.6	-7.8	BACHTE		109403.885	39149.149	1110.250
BRUETT		93040.662	58941.338	640.910	.381	2.7	-21.6	STOECK		104762.673	24034.093	1247.400
SCHAUE		107662.314	57568.299	891.630	.362	-.2	-12.7	MYTHEN		95022.917	9524.156	1898.650
BACHTE		109403.885	39149.149	1110.250	.026	-19.5	-17.2	HUNDST		94684.665	-3025.047	2181.520
STOECK		104762.673	24034.093	1247.400	.074	-7.9	38.2	URIROT		83617.138	-9349.852	2928.340
MYTHEN		95022.917	9524.156	1898.650	.339	-38.9	10.8	BUOCHS		75376.544	-135.191	1806.780
HUNDST		94684.665	-3025.047	2181.520	.905	-40.6	17.6	DAMMAS		75216.235	-33725.155	3629.910
URIROT		83617.138	-9349.852	2928.340	1.202	-.3	65.2	LUCEND		82908.411	-45248.509	2962.660
BUOCHS		75376.544	-135.191	1806.780	.271	-26.1	65.5	BRISTE		94972.391	-23050.491	3072.480
DAMMAS		75216.235	-33725.155	3629.910	2.395	16.4	21.1	MURAUN		112288.883	-29967.301	2897.280
LUCEND		82908.411	-45248.509	2962.660	2.322	20.9	-13.7	BOESFA		114685.011	2888.622	2801.770
BRISTE		94972.391	-23050.491	3072.480	1.766	-17.3	45.5	FRECCI		126446.438	-52048.245	3202.430
MURAUN		112288.883	-29967.301	2897.280	1.910	-8.6	33.0	CLARO		124510.588	-71656.258	2720.200
BOESFA		114685.011	2888.622	2801.770	1.207	-.9	30.0	VOGORN		112173.655	-78045.697	2442.260
FRECCI		126446.438	-52048.245	3202.430	2.033	-14.3	-40.7	TAMARO		110364.959	-93176.494	1961.460
CLARO		124510.588	-71656.258	2720.200	.999	-19.0	-54.6	CRAMAL		91393.718	-76660.400	2321.930
VOGORN		112173.655	-78045.697	2442.260	.885	-3.9	-46.0	SASSO		98175.069	-65562.676	2735.510
TAMARO		110364.959	-93176.494	1961.460	-.084	14.3	-35.5	SCOPI		106613.688	-41259.191	3187.000
CRAMAL		91393.718	-76660.400	2321.930	1.582	34.6	-7.1	MASSAR		95579.420	-52061.387	2759.700
SASSO		98175.069	-65562.676	2735.510	1.667	4.2	-19.0					
SCOPI		106613.688	-41259.191	3187.000	2.073	-.1	-12.9					
MASSAR		95579.420	-52061.387	2759.700	1.967	7.4	-6.4					

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE ETH 1987  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:54  
 SEITE 3

-----  
 KOORDINATEN UND HOEHEN, NEUPUNKTE MIT AENDERUNGEN UND MITTL. FEHLERELLIPSEN  
 \*\*\*\*\*

PUNKT	TYP	Y	X	H	DY	DX	DH	MFA	MFB	MFAZ	MFH	MESSELEM.
		M	M	M	MM	MM	MM	MM	MM	G	MM	LAGE HOE.
NULLBERN		.000	.000	.000								0 0
LAEGER		72506.710	59415.880	856.110								8 0
HOERNL		113528.709	47763.515	1132.980	-251.1	275.1		151.2	96.9	-81.7		21 0
RIGI		79520.049	12273.501	1797.520	-1.0	61.2		158.9	89.1	-25.7		19 0
SCHEYE		117987.086	13204.732	2258.860	-53.8	362.3		187.1	120.5	-50.0		13 0
TITLIS		76312.077	-19418.688	3238.290	176.6	-48.2		193.6	117.5	-27.6		18 0
SCHERR		106100.638	-12848.981	3294.540	27.8	39.3		198.0	114.6	-29.8		19 0
BADUS		93825.708	-35796.047	2928.070	-51.5	43.1		195.5	109.5	-29.2		22 0
TGIETS		121127.121	-32694.570	2857.650	111.2	60.4		197.8	129.7	-30.4		8 0
BASODI		79178.478	-59460.569	3272.440	17.7	-49.0		191.8	122.0	-35.9		16 0
GRIDON		93480.650	-91294.703	2188.060	-9.8	-12.9		135.2	88.9	-55.1		16 0
CRAMOS		108090.632	-64387.862	2717.920	72.2	-21.6		171.4	92.0	-24.3		26 0
MENONE		131864.755	-90557.435	2244.470	24.7	124.6		102.4	66.1	22.5		9 0
GENERO		122656.140	-112130.770	1701.320								8 0
GESERO		130689.088	-83701.945	2227.140	27.8	94.7		120.4	74.2	10.3		13 0
ALBIS		82732.700	35616.112	878.990	-39.7	82.3		106.7	73.4	-33.9		14 0
PFANNE		93647.354	38275.263	800.120	-86.2	152.5		117.3	80.4	-56.7		12 0
FORCH		91968.164	42080.380	695.120	-175.9	50.5		109.2	85.0	-65.9		10 0
BRUETT		93040.662	58941.338	640.910	-137.8	78.5		105.4	62.6	-85.3		12 0
SCHAUE		107662.314	57568.299	891.630	-195.6	108.5		135.6	94.1	-88.0		10 0
BACHTE		109403.885	39149.149	1110.250	-184.6	228.5		149.0	99.3	-66.9		9 0
STOECK		104762.673	24034.093	1247.400	-77.4	303.1		161.5	97.0	-46.1		15 0
MYTHEN		95022.917	9524.156	1898.650	-53.5	166.0		167.2	104.3	-33.4		11 0
HUNDST		94684.665	-3025.047	2181.520	-4.7	92.6		184.7	104.0	-30.8		19 0
URIROT		83617.138	-9349.852	2928.340	87.7	98.0		188.9	108.9	-27.0		8 0
BUOCHS		75376.544	-135.191	1806.780	93.7	48.6		180.3	107.1	-23.1		9 0
DAMMAS		75216.235	-33725.155	3629.910	125.3	84.9		208.0	123.3	-26.9		10 0
LUCEND		82908.411	-45248.509	2962.660	41.0	101.1		203.7	117.3	-28.7		9 0
BRISTE		94972.391	-23050.491	3072.480	1.1	29.2		196.3	111.8	-29.1		13 0
MURAU		112288.883	-29967.301	2897.280	-57.4	118.6		201.3	120.5	-33.2		10 0
BOESFA		114685.011	2888.622	2801.770	-28.9	262.4		198.4	133.6	-33.6		6 0
FRECCI		126446.438	-52048.245	3202.430	78.1	224.8		197.2	117.9	-11.7		6 0
CLARO		124510.588	-71656.258	2720.200	78.3	-28.2		159.6	87.8	-7.6		10 0
VOGORN		112173.655	-78045.697	2442.260	25.0	12.6		139.0	79.1	-22.7		15 0
TAMARO		110364.959	-93176.494	1961.460	-1.5	15.7		105.4	62.2	-35.6		10 0
CRAMAL		91393.718	-76660.400	2321.930	38.5	.4		168.7	118.0	-43.9		7 0
SASSO		98175.069	-65562.676	2735.510	109.1	-46.0		178.9	112.3	-35.2		9 0
SCOPI		106613.688	-41259.191	3187.000	-11.5	79.5		200.8	110.3	-27.1		12 0
MASSAR		95579.420	-52061.387	2759.700	69.8	82.8		190.2	111.5	-28.8		12 0

L+T → R1

## AEUSSERE ZUVERLAESSIGKEIT UND MITTLERE FEHLERELLIPSEN A PRIORI

PUNKT	TYP	NA	NB	AZI (NA)	NH	NR.A	NR.B	NR.H	DY	DX	DH	MFA	MFB	MFAZ	MFH
		MM	MM	G	MM				MM	MM	MM	MM	MM	G	MM
HOERNL		342.9	220.3	301.7		15	53		-251.1	275.1		144.1	92.3	-81.7	
RIGI		345.8	211.0	296.2		15	5		-1.0	61.2		151.4	84.9	-25.7	
SCHEYE		308.3	242.9	315.3		15	23		-53.8	362.3		178.3	114.8	-50.0	
TITLIS		311.0	262.0	2.4		23	95		176.6	-48.2		184.5	111.9	-27.6	
SCHEER		302.9	254.2	12.9		23	15		27.8	39.3		188.7	109.2	-29.8	
BADUS		338.4	191.2	366.9		124	15		-51.5	43.1		186.2	104.3	-29.2	
TGIETS		395.0	309.2	179.3		171	219		111.2	60.4		188.5	123.6	-30.4	
BASODI		403.0	274.3	371.7		124	184		17.7	-49.0		182.8	116.2	-35.9	
GRIDON		308.1	256.2	309.8		124	136		-9.8	-12.9		128.8	84.7	-55.1	
CRAMOS		399.7	177.9	364.8		124	184		72.2	-21.6		163.3	87.7	-24.3	
MENONE		233.3	190.8	382.8		136	140		24.7	124.6		97.6	63.0	22.5	
GESERO		253.6	187.6	381.2		136	140		27.8	94.7		114.7	70.7	10.3	
ALBIS		265.6	190.9	321.4		15	35		-39.7	82.3		101.7	69.9	-33.9	
PFANNE		283.1	213.9	313.3		15	53		-86.2	152.5		111.7	76.6	-56.7	
FORCH		268.1	225.2	312.3		15	53		-175.9	50.5		104.1	81.0	-65.9	
BRUETT		302.7	274.1	208.3		53	35		-137.8	78.5		100.4	59.6	-85.3	
SCHAUE		312.6	246.9	292.7		15	53		-195.6	108.5		129.2	89.6	-88.0	
BACHTE		327.4	204.9	309.5		15	53		-184.6	228.5		142.0	94.6	-66.9	
STOECK		313.1	187.9	314.2		15	23		-77.4	303.1		153.9	92.4	-46.1	
MYTHEN		309.3	224.4	304.8		15	23		-53.5	166.0		159.3	99.3	-33.4	
HUNDST		300.7	278.2	13.9		23	15		-4.7	92.6		176.0	99.1	-30.8	
URIROT		325.4	269.2	11.8		23	15		87.7	98.0		180.0	103.8	-27.0	
BUOCHS		316.3	252.9	292.3		15	23		93.7	48.6		171.8	102.1	-23.1	
DAMMAS		331.5	234.2	377.2		124	15		125.3	84.9		198.1	117.5	-26.9	
LUCEND		365.9	212.5	372.1		124	184		41.0	101.1		194.1	111.8	-28.7	
BRISTE		299.7	207.4	363.9		124	15		1.1	29.2		187.1	106.6	-29.1	
MURAUN		347.3	211.4	354.8		124	23		-57.4	118.6		191.8	114.8	-33.2	
BOESFA		394.9	286.2	214.2		77	15		-28.9	262.4		189.1	127.3	-33.6	
FRECCI		397.0	341.8	372.4		124	202		78.1	224.8		187.9	112.3	-11.7	
CLARO		338.2	154.7	379.6		124	184		78.3	-28.2		152.0	83.7	-7.6	
VOGORN		296.2	159.2	362.7		124	131		25.0	12.6		132.5	75.3	-22.7	
TAMARO		277.0	228.0	365.7		136	163		-1.5	15.7		100.4	59.3	-35.6	
CRAMAL		425.5	369.8	332.5		124	156		38.5	.4		160.7	112.5	-43.9	
SASSO		414.2	212.2	359.7		124	184		109.1	-46.0		170.5	107.0	-35.2	
SCOPI		371.5	190.5	363.7		124	171		-11.5	79.5		191.3	105.1	-27.1	
MASSAR		370.7	208.1	365.8		124	184		69.8	82.8		181.2	106.3	-28.8	

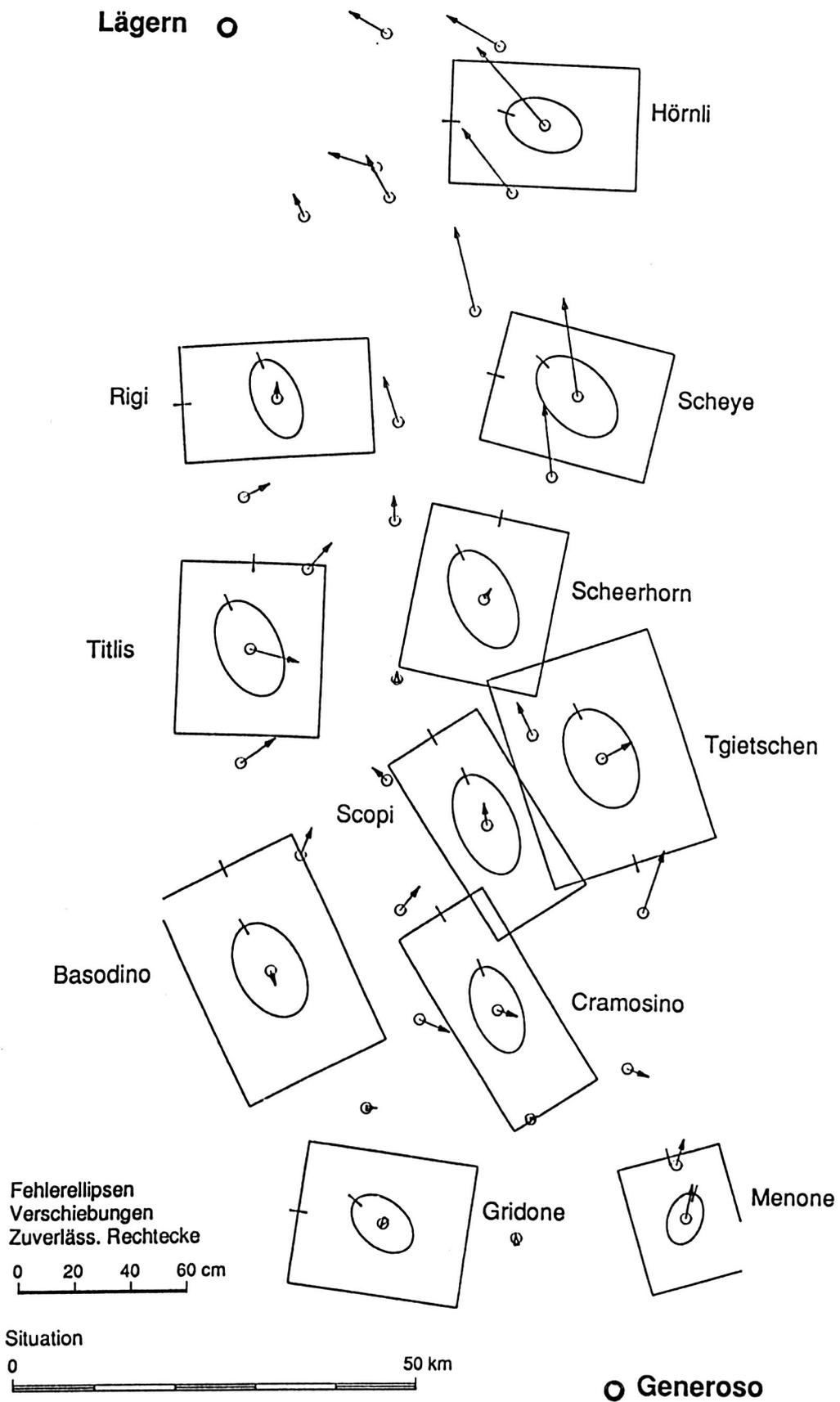
1 ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE GOTTHARD R1  
 TRIANGULATIONS PROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

## RELATIVE FEHLERELLIPSEN

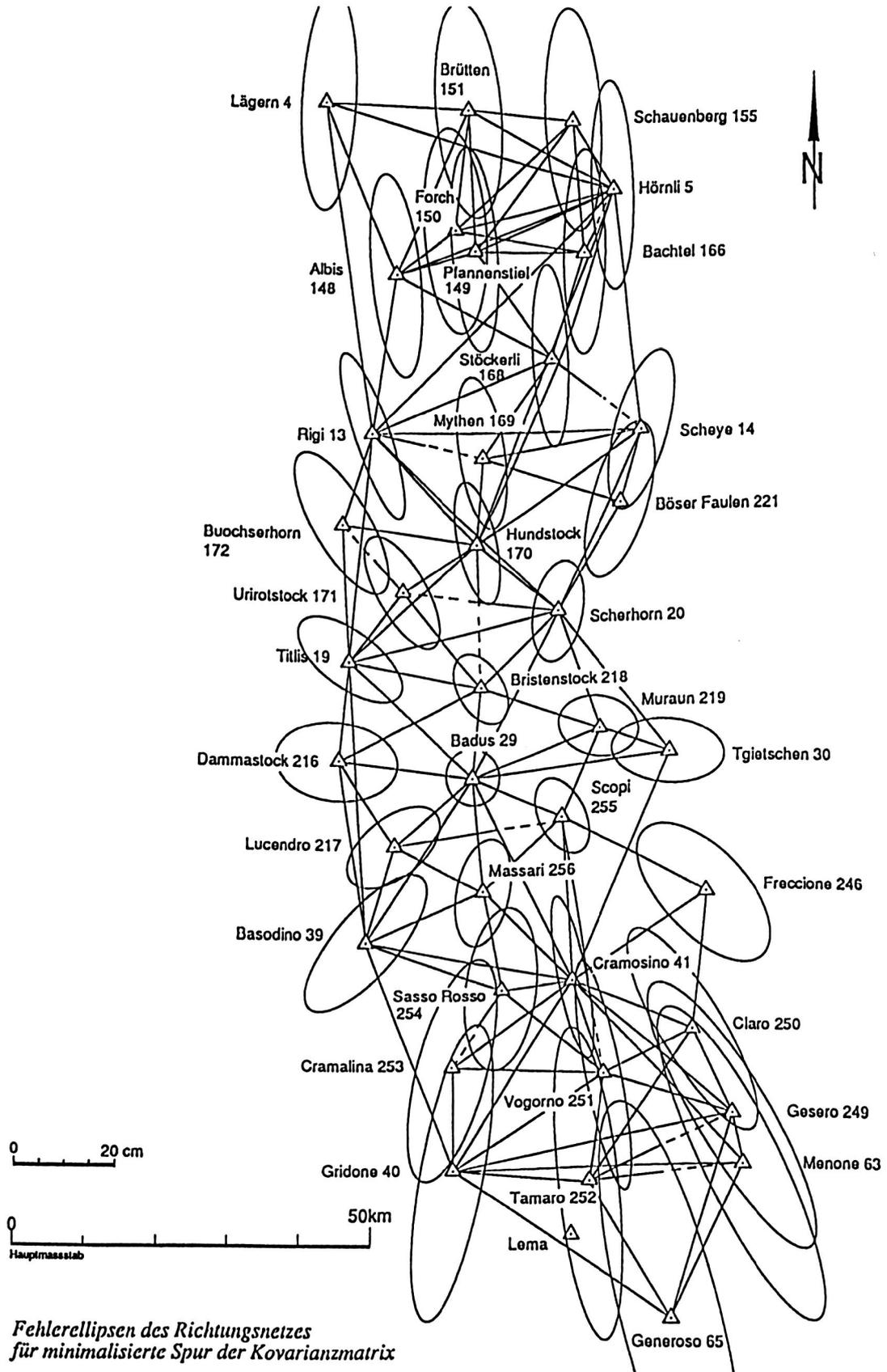
\*\*\*\*\*

PUNKT 1	TYP 1	PUNKT 2	TYP 2	MFA MM	MFB MM	MFAZ G
HOERNL		GRIDON		131.4	106.2	-44.5
HOERNL		TAMARO		129.4	116.6	-67.2
RIGI		GRIDON		129.6	96.9	-13.8
SCHEYE		TAMARO		145.1	108.2	-40.7
RIGI		BASODI		120.2	87.1	-13.4
SCHEYE		CRAMOS		132.4	106.2	-.6
RIGI		TITLIS		78.8	52.6	-3.5
CRAMOS		TAMARO		98.2	61.0	-13.5

**Fig. 5.2 B: Verschiebungen (zu L+T), Fehlerellipsen, Zuverlässigkeitsrechtecke**



**Fig. 5.2 C: Richtungsnetz: Fehlerellipsen für minimalisierte Spur der Kovarianzmatrix**



### 5.3. Ausgleichung des Distanznetzes

#### I. Allgemeines

1) Netz: Es ist aus allen im Raum der Alpentravese vorhandenen Distanzen aufgebaut (siehe Fig. 5.3 A1, 5.3 A2, S. 84, 85); die Richtungen werden hier noch nicht berücksichtigt. Dieses reine Distanznetz umfasst weniger Punkte, als das reine Richtungsnetz (Kap. 5.2), nämlich nur jene 21 Punkte, zu denen Distanzmessungen vorhanden sind (pro Punkt mindestens 3 Distanzen).

2) Messungen: Verwendet werden die neuen Distanzmessungen (SIAL und Geodimeter) aus den Jahren 1981-1986, ausgeführt speziell für diese Alpentravese, sowie weitere Geodimeter-Messungen aus den Jahren 1967 - 1977, aus Messkampagnen, die in Kap. 4.1 beschrieben sind.

Total sind 97 Distanzen vorhanden (alt 94, siehe unten); sie sind in Kap. 4.6 beschrieben, auf den Plänen S. 49a, 49b gezeigt und in Tab. 4 (S. 180 - 184) mit ihren Gewichten und mittl. Fehlern zusammengestellt.

Das tragende Gerüst dieses Netzes sind die erfahrungsgemäss sehr zuverlässigen Geodimeter-Distanzen, die in Fig. 5.3 A2 auf S. 85 dargestellt sind. Die SIAL-Distanzen, deren Massstäbe von den Meteo-Einflüssen her etwas unsicher sind, wurden gruppenweise in Teil-Netzen gemessen und mit je einem unbekanntem Massstabsfaktor in die Ausgleichung eingeführt. Es ergeben sich damit also eigentlich nicht Distanzen sondern Distanzverhältnisse, welche die Form des Distanznetzes bestimmen, während der Massstab des Netzes aus den zuverlässigsten Messungen, nämlich den Geodimetermessungen, bestimmt wird.

3) Massstabsfaktoren: Grundsätzlich wäre es erwünscht, für jeden EDM-Typ und jede Mess-Kampagne einen eigenen Massstabsfaktor als Unbekannte aus der Netzausgleichung zu bestimmen, um die unterschiedliche Auswirkung der Meteo-Einflüsse erfassen zu können. Da das reine Distanznetz aber nicht sehr stark überbestimmt ist (was bei Distanznetzen fast immer der Fall ist), kann dies aber zu unsicheren Resultaten führen. Folgende Varianten wurden ausprobiert:

- a) 3 Massstabsfaktoren für die drei Gruppen von Messungen:
  - 1 für SIAL-Distanzen mit Stations-Meteowerten,
  - 1 für SIAL-Distanzen mit Flugmeteo und
  - 1 für alle Geodimeterdistanzen mit Stations- und / oder Flug-Meteo
- b) 6 Massstabsfaktoren: Gewählte Lösung (siehe Tab. 4, S. 180 ff.):
  - 1 für SIAL-Distanzen mit Stationsmeteo
  - 4 für SIAL-Distanzen mit Flugmeteo bei 4 Mess-Epochen
  - 1 für alle Geodimeterdistanzen

c) 9 Massstabsfaktoren:

5 für die SIAL-Distanzen (wie unter b)

4 für Geodimeter-Distanzen: je einen für die Teilnetze Nord, Gotthard, Süd1 (Basodino bis Gridone, 1985) und Süd2 (ältere Messungen im Südtessin).

Gewählte Lösung: 6 Massstabsfaktoren:

Begründung: Das Modell der Variante a) wurde als zu wenig flexibel eingeschätzt.

Die Resultate der Variante c) wurden als zu wenig zuverlässig betrachtet bezüglich Massstabsübertragung über das ganze Netz, da die Geodimeter-Distanzen für sich allein schwach überbestimmt sind, und zufällige Fehler sich so zu stark auswirken könnten.

Für die massgebenden Berechnungen wurde daher Variante b) (6 Massstabsfaktoren) gewählt (Siehe Tab. 4, S. 180 ff.). Mit Hilfe der übrigen Varianten kann abgeschätzt werden, welchen Einfluss die Meteorologie der Messepoche und die Art der Meteoverfassung auf die resultierenden Massstabsfaktoren und Koordinaten haben.

4) Netz-Lagerung:

Sie erfolgte wie beim Richtungsnetz zwangsfrei:

- Im Normalfall auf die beiden Endpunkte Lägern und Generoso.

- Zur Bestimmung der Netzgenauigkeit (Punktfehlerellipsen) zusätzlich:

a) entweder auf alle 14 Punkte 1.Ordnung mit Hilfe einer Helmerttransformation,

b) oder mit einem Fixpunkt (Lägern) und einem festen Azimut zur Bestimmung der Distanzgenauigkeit über die Alpen.

c) Spezialfall: Leicht gezwängte Lagerung auf Lägern und Hörnli sowie Generoso zur Verbesserung der Zuverlässigkeit.

d) Lagerung auf alle Punkte nach Meissl - van Mierlo (wie skizziert unter 5.1.1. S.51)

Hier werden aber nur die resultierenden Fehlerellipsen dargestellt: Fig. 5.3 C, S. 90.

5) Kenngrossen für die Netzausgleichungen:

Damit ergeben sich im Normalfall folgende Werte für die Netzausgleichungen:

- Beobachtungen (siehe Tab.4, S. 180 ff.)

97 (alt 94) Distanzen, nämlich:

23 SIAL-Distanzen mit Stations-Meteorologie,

45 SIAL-Distanzen mit Flug-Meteo,

29 (alt 26) Geodimeter 8-Distanzen, mit Stations- oder Flugmeteorologie.

- Unbekannte

Fixpunktlagerung (LTOP): 38 Koordinaten (19 Neu-Punkte, inkl. Punkt Lema),

Helmert-Lagerung (KONHEL): 40 Koordinaten für 20 Punkte (ohne Punkt Lema),  
wovon mindestens 2 Passpunkte. Ferner 6 (evtl. 3 oder 9) Massstabsfaktoren.

- Bedingungsgleichungen ( $r = 4$ ) bei Lagerung mit Helmert-Transformation.
- Überbestimmung für 97 und 94 Distanzen und 6 Massstabsfaktoren:

$$\text{Fixpunkt-Lagerung (LTOP): } f = n - u = 97 - 44 = 53$$

$$\text{Helmert-Lagerung(KONHEL): } f = n - u + r = 94 - 46 + 4 = 52$$

Im ersten Fall (mit Programm LTOP) werden 3 weitere Distanzen (und ein Punkt Lema) benützt.

Bei gleicher Zahl von Neu-Punkten und Beobachtungen ergäbe sich natürlich die gleiche Überbestimmung, unabhängig von der Art der freien Netzlagerung.

#### 6) Nachträgliche Datenbereinigung und Gewichtsadjustierungen

Wie schon erwähnt wurde in der ersten Phase nur mit dem Programm KONHEL gerechnet und die ganze Berechnung abgeschlossen (wie sich später zeigte: leider nur vorläufig). Als dann das Programm LTOP in komfortabler Form an diesem Institut verfügbar wurde, zeigten sich die Vorteile dieses Programmes, insbesondere zum Auffinden von immer noch unerkannten Messfehlern und zur besseren Anpassung des statistischen Modells.

In einer zweiten Auswertephase wurde nur noch mit dem Programm LTOP gerechnet (das Programm KONHEL war wegen Computerwechsel und nicht mehr vorhandenem Algol-Compiler nicht mehr verfügbar). In dieser zweiten Auswertephase wurden im Südtessin 3 weitere, ältere Geodimeterdistanzen (zum Punkt Lema) eingeführt und es wurden kleine Fehler in den Messungen bereinigt und weitere Gewichtsadjustierungen vorgenommen, sowie eine Messung mit reduziertem Gewicht eingeführt. (Diese Änderungen sind unter 4.5.3B, S. 49 und in den Bemerkungen zu Tab. 4, S. 180/181 aufgeführt.)

Wir unterscheiden daher im folgenden zwei Datensätze (alt und neu):

A. Alter Datensatz: Erste Berechnungsphase: Berechnung mit dem Programm KONHEL  
94 Distanzen (enthalten noch kleine Fehler, Gewichte noch nicht optimal).

B. Neuer Datensatz: zweite Berechnungsphase mit Programm LTOP: 97 Distanzen.

Korrektur von 3 Geodimeterdistanzen (siehe auch S.181):

Titlis-Rigi -49 mm, \*Tgietschen-Cramosino -22 mm, \*Tamaro- Menone -6 mm)

und kleine Gewichtsadjustierungen. (\*Diese letzten zwei Änderungen sind in Kap. 7 "Krustendeformationen" nicht mehr berücksichtigt worden. Der Einfluss dürfte aber vernachlässigbar sein).

Die Resultate dieser zweiten Phase B (berechnet mit dem Programm LTOP) betrachten wir als definitiv. Die früheren Ergebnisse (Phase A) bieten aber die interessante Möglichkeit zum Abschätzen der Auswirkungen, die kleine Änderungen an den Messungen und ihren Gewichten auf die Resultate haben können: ein kleiner empirischer Zuverlässigkeitstest (im Sinne einer Stichprobe). Zum Vergleich wird etwa auf diese früheren Resultate (A) hingewiesen.

## II. Ausgleichung der Distanznetze: Resultate

### Hinweis:

Folgende Teil-Resultate sind weiter hinten dargestellt:

- Numerische Resultate der Ausgleichungen mit Programm LTOP  
Auszug in Beilagen Tab. 5.3 L, Rest (Abrisse) im Anhang B2, S. 192 -194
- Massstabsfaktoren: siehe Kap. 5.5
- Koordinatenunterschiede: siehe Kap. 6.1

### 1) Globaler Modelltest

Die als massgebend betrachtete Variante mit 6 Massstabsfaktoren ergibt mit den alten Daten (A, KONHEL, Variante DAT22) einen Wert von  $s_0 = 10.99$  m gegenüber dem a priori angenommenen Wert 10.0 m, also einen mittleren Fehler-Quotienten (a posteriori / a priori) von  $Q = 1.10$ . Das verwendete Modell könnte also (trotz kleinerer Fehler in den Beobachtungen und nicht optimal angepassten Gewichten) noch akzeptiert werden. Mit bereinigten Daten (B) und besser angepassten Gewichten (LTOP Var. D10) ergibt sich ein Quotient  $Q = 0.93$  (statt 1.0), vergl. Tab. 5.3 LT1, S. 86. Die Elimination eines kleinen Reduktionsfehlers (Geodimeter Rigi-Titlis 4.9 cm zu lang) und eine kleine Anpassung von Gewichten (Distanzgruppen 4 und 6) sowie die Reduktion des Gewichtes einer unsicheren Distanz (Geodimeter Generoso-Gridone) hat also die Genauigkeit spürbar verbessert.

Wie zu erwarten nimmt der mittl. Fehler der Gewichtseinheit  $s_0$  leicht ab mit der Anzahl der eingeführten Massstabsfaktoren (siehe Tab. 5.5, S. 118 ff.) – eine generelle Erscheinung: je mehr (sinnvolle!) Unbekannte in eine Ausgleichung eingeführt werden, umso "besser" stimmt die Ausgleichung: kleinere Verbesserungen, meist auch kleineres  $s_0$ , aber auch kleinere Überbestimmung und Zuverlässigkeit – aber die Resultate müssen dann oft als unsicher betrachtet werden: so hier die Ausgleichungen mit mehr als 6 Massstabsfaktoren.

### 2) Grösste Distanz-Verbesserungen aus der Ausgleichung

Die grössten Verbesserungen der verschiedenen Distanzgruppen ( $v_i$  absolut in cm,  $w_i$  normiert bzw. Mehrfache der mittl. Fehler) aus der Netzausgleichung sind:

- A. mit alten Daten (94 Distanzen, Programm KONHEL, Berechnung DAT22)
- B. mit neuen Daten (97 Distanzen, Programm LTOP, Berechnung D10)

Tab. 5.3 A: *Grösste Distanzverbesserungen aus der Ausgleichung (Distanznetz)*

Distanztyp	Distanz	A (alt)		B (neu)		
		$v_i$ [cm]	$w_i$	$v_i$ [cm]	$w_i$	$z_i$ [%]
SIAL Stat.Meteo SIAL Flug-Meteo	Titlis-Tgietschen	-8.9	1.4	-7.1	-1.1	76
	Basodino-Titlis	-14.2	3.0	+14.2	2.2	72
Geodimeter		+14.8	2.3	-11.8	-2.5	65
	Titlis-Rigi	+7.5*	<b>3.1*</b>	+4.6	<b>1.9</b>	43
	Generoso-Gridone	+5.2	2.1	+9.5	1.3	88

\* enthält noch einen kleinen Fehler (siehe oben)

Siehe auch den entsprechenden Vergleich im kombinierten Netz (5.4)

Die Verbesserungen sind insgesamt relativ klein: nur 3 Beobachtungen haben normierte Verbesserungen  $w_i$  grösser als 2.5 – Folgerung: Auch hier darf (vorläufig, bis zur Gesamtausgleichung des ganzen Schweizerischen Netzes, in der sich noch mehr gegenseitige Kontrollen ergeben werden) angenommen werden, dass das Netz (Datensatz B, nach durchgeführten Korrekturen) keine grösseren Fehler in den Daten mehr enthält.

### 3) Genauigkeit der Punktbestimmung

#### a) Maximale mittlere Punktfehler

Lagert man das Netz in den beiden Endpunkten, so sind die grössten Halbachsen der mittl. Punktfehlerellipsen

bei Punkten 1. Ordnung: 97 mm beim Punkt Scheerhorn

bei Punkten 2. Ordnung: 93 mm beim Punkt Hundstock

Relativ zu den beiden Fixpunkten in ca. 90 km Entfernung ergibt dies eine relative Genauigkeit von ca. **1 ppm**. Diese Werte sind etwa 10mal kleiner als die in [RAV 1987, 9.2] vorgesehene Toleranz (von 7 mm + 10 ppm) für die relative Genauigkeit von Punkten des LFP1 (alte Bezeichnung: Landes-Fixpunkt-Netz 1. bis 3. Ordnung).

#### b) Punkt-Genauigkeit in der Netzmitte:

Wie beim Richtungsnetz betrachten wir als Mass das Mittel der 4 Punkte

*Titlis, Scheerhorn, Badus, Tgietschen*

Es ergeben sich die folgenden mittleren Fehler absolut und relativ (zu einem der beiden Netz-Endpunkte Lägern und Generoso, im Abstand von je ca. 90 km) für die Lagerungsarten:

A. alle Punkte 1.Ordnung

B. die beiden Endpunkte Lägern und Generoso

C. alle Punkte:

Tab. 5.3 B: Distanznetz: Punktgenauigkeit in Netzmitte

Var.	Lagerung	Mittl. Längsfehler	Mittl. Querfehler
A.	alle Punkte 1.Ordnung (DAT21)	$\pm 2.9 \text{ cm} = 0.3 \text{ ppm}$	$\pm 4.4 \text{ cm} = 0.5 \text{ ppm}$
B.	2 Punkte (DAT22, D10)	$\pm 3.9 \text{ cm} = 0.4 \text{ ppm}$	$\pm 9.0 \text{ cm} = 1.0 \text{ ppm}$
C.	alle Punkte (Min.Spur Q-Matr.)	$\pm 2.4 \text{ cm} = 0.3 \text{ ppm}$	$\pm 3.6 \text{ cm} = 0.4 \text{ ppm}$

Im Fall A und C beziehen sich die mittl. Fehler (wie erwähnt) nicht auf die Endpunkte, sondern auf die Gesamtheit der verwendeten Passpunkte.

Ergebnisse:

- Die Genauigkeit in Längsrichtung ist höher als in Querrichtung, wie dies bei einem langen, schlanken Distanznetz zu erwarten ist.
- Im Genauigkeits-Vergleich Richtungsnetz zu Distanznetz ergeben sich (im Lagerungs-Fall B: Lagerung auf 2 Endpunkte) die Verhältnis-Zahlen

Längsfehler 4.4 : 1

Querfehler 1.3 : 1

Das reine Distanznetz ergibt also eine genauere Punktbestimmung als das reine Richtungsnetz, besonders in Längsrichtung des Netzes.

c) Punkt-Genauigkeit über das ganze Netz (bei einseitiger Netzlagerung)

Wird das Distanznetz im Punkt Lägern gelagert und dort ein genaues Azimut nach Generoso eingeführt und der Massstab des Geodimeters festgehalten (Variante D11), so ergibt sich für den Punkt Generoso eine mittl. Punktfehlerellipse mit den Halbachsen

$$A = 68 \text{ mm}, B = 2.6^* \text{ mm}, \text{ Azi}(A) = -18 \text{ Gon} = 381 \text{ Gon}$$

(\*B ist hier nicht Null, weil das Azimut nicht absolut fest, sondern aus programmtechnischen Gründen mit einem sehr kleinen mittl. Fehler von 0.01 cc eingeführt wurde).

Die relative Genauigkeit Lägern-Generoso ist damit  $68 \text{ mm} / 180 \text{ km} = 0.38 \text{ ppm}$ , also erstaunlich hoch, besonders im Vergleich zum reinen Richtungsnetz, das in dieser Hinsicht etwa 9 mal ungenauer ist.

Zu beachten ist aber, dass der Geodimetermassstab festgehalten, d.h. als fehlerlos betrachtet wurde. Die angegebene Unsicherheit ist also nur die Auswirkung von zufälligen Fehlern im Distanznetz bei festem Geodimetermassstab.

Absolute Genauigkeit der Distanz Lägern-Generoso

Zu den obigen zufälligen Fehlern kommt noch die Unsicherheit des Geodimetermassstabes von etwa 0.5 bis 1 ppm. Gesamthaft ergibt sich damit eine Unsicherheit für die **Distanz Lägern - Generoso (180 km) von (geschätzt) etwa  $\pm 1 \text{ ppm} = \pm 18 \text{ cm}$ .**

d) Helmert-Lagerung auf sämtliche Netzpunkte (Fig. 5.3 C, S. 90)

Die Q-Matrix hat dann nach [Meissl 1969, 9.4] minimale Spur (vgl. 5.1.1b, S. 50). Die grossen Achsen der Fehlerellipsen liegen, je nach lokaler Netzkonfiguration, manchmal mehr quer und manchmal mehr parallel zur Hauptrichtung der Traverse (Nord-Süd), dies im Gegensatz zum reinen Richtungsnetz, wo ausgeprägte N-S-Orientierung vorliegt. Die Punkte am nördlichen und südlichen Rand sind im Vergleich zum Richtungsnetz (Fig. 5.2 C, S. 74) etwa 8 bis 10 mal genauer fixiert.

#### 4) Zuverlässigkeit der Messungen und der Punktbestimmung

Vorbemerkung: Das vorliegende Distanznetz wurde nicht als reines Distanznetz, sondern als Ergänzung zu einem vorhandenen Richtungsnetz konzipiert. Für die Untersuchung der massgebenden Zuverlässigkeit muss daher das kombinierte Richtungs-Distanznetz (nächster Abschnitt 5.4) betrachtet werden.

Um die beiden Teil-Netze (nur mit Richtungen, bzw. nur mit Distanzen) miteinander vergleichen zu können, wird hier trotzdem das reine Distanznetz auch auf Zuverlässigkeit untersucht. Allgemein ist bekannt, dass reine Distanznetze im allgemeinen schwach überbestimmt und demzufolge meist relativ unzuverlässig sind. Die folgenden Angaben bestätigen diese Erwartung.

##### **Netzlagerung:**

Sie hat (wie bekannt) einen grossen Einfluss auf die Zuverlässigkeit. (Ein schwach überbestimmtes, unzuverlässiges Netz kann durch überbestimmte Lagerung zuverlässiger gemacht werden). Für Genauigkeitsbetrachtungen und für die Suche von groben Fehlern (mit statistischen Indikatoren) wird allerdings ein zwangsfrei gelagertes Netz vorausgesetzt. Wir betrachten daher im folgenden die beiden Fälle:

a) Freie Netz-Lagerung in den beiden Endpunkten Lägern und Generoso

Diese eindeutige, zwangsfreie Lagerung (die gleiche wie beim Richtungsnetz) ergibt die massgebenden statistischen Angaben über die innere Genauigkeit des Netzes und erlaubt eine unverfälschte Suche von groben Fehlern anhand der statistischen Indikatoren. Wie der Netzplan Fig. 5.3 A1/A2, S. 84/85 zeigt, ist die Überbestimmung besonders im Raum Lägern - Hörnli sehr klein - die Distanz Lägern-Hörnli ist praktisch nicht kontrolliert. Die Folge ist eine sehr unzuverlässige Bestimmung des Punktes Hörnli, und die ungünstige Auswirkung zeigt sich, nach Süden zwar etwas abgeschwächt, über das ganze Netz.

b) Leicht überbestimmte, zweiseitige Lagerung in den Punkten Lägern und Hörnli (Nord) und Generoso (Süd)

Wenn man zusätzlich noch den Punkt Hörnli\* als fest einführt - die Lagerung ist damit

leicht überbestimmt - ist die grösste Unsicherheit (die Kontrolle der Distanz Lägern-Hörnli) ausgeschaltet und die Zuverlässigkeit wird über das ganze Netz etwas verbessert, wenn sie auch so noch nicht sehr überzeugend ist.

\* Für Punkt Hörnli werden die Koordinaten aus der Ausgleichung mit Lagerung a) eingeführt. So ergeben sich die gleichen Koordinaten auch bei Lagerung b). Die statistischen Aussagen werden etwas günstiger, da die Überbestimmung um 2 höher wird ( $f = 55$  statt 53): Der mittlere Fehlerquotient  $Q$  wird neu 0.91 gegenüber 0.93 im Falle a). Die mittleren Punktfehler werden etwas kleiner (da mehr Fixpunkte) und die Zuverlässigkeit wird erhöht.

### Zuverlässigkeit

Wir betrachten nun die Zuverlässigkeit der Messungen und der resultierenden Koordinaten für die beiden beschriebenen Lagerungs-Fälle:

#### 1) Lokale Zuverlässigkeit der Messungen

Für die am schlechtesten kontrollierten Messungen ergeben sich folgende Indikatoren:

$z_i$ : lokaler Zuverlässigkeits-Indikator (Grad der gegenseitigen Kontrolle) [in Prozent]

$k_i$ : Einfluss eines nicht entdeckten groben Fehlers auf die Koordinaten des Endpunktes

**Tab. 5.3 C:** *Distanznetz: lokale Zuverlässigkeit:  
Beispiele von unzuverlässigen Messungen (im reinen Distanznetz)*

Lagerung Distanz	a) frei		b) leicht überbestimmt	
	$z_i$	$k_i$	$z_i$	$k_i$
Hörnli - Lägern	0	$\infty!$	87	0
Generoso - Menone	4	539	5	473
Gesero - Menone	2	600	2	543
Generoso - Lema	21	200	22	192
Lema - Gridone	22	166	22	165
Lema - Tamaro*	0	$\infty^*$	0	$\infty^*$
	%	[mm]	%	[mm]

\*Werte ohne Bedeutung, da Distanz in dieser Richtung (quer zum Netz) nicht entscheidend und Punkt Lema nur Hilfspunkt zur Einführung von drei Distanzen ist.

Die übrigen Geodimeterdistanzen haben bei beiden Lagerungen eine lokale Zuverlässigkeit  $z_i$  von 23 bis 90 Prozent, sind also genügend bis sehr gut kontrolliert.

#### 2) Äussere Zuverlässigkeit der erhaltenen Koordinaten: Zuverlässigkeits-Rechtecke

Der Einfluss nicht erkannter kleiner Messfehler an den Distanzen kann sich an den Koordinaten im Bereich der Zuverlässigkeits-Rechtecke auswirken, die im reinen Distanznetz - wie schon erwähnt - zum Teil sehr gross sind. Für die grosse Halbachse  $N_A$  dieser Rechtecke ergeben sich folgende Maximal-Werte:

**Tab. 5.3 D:** *Distanznetz: Äussere Zuverlässigkeit bei den kritischen Punkten*

Punkte	Netz-Lagerung	
	a) frei	b) leicht überbestimmt
	mm	mm
1. O. Hörnli	3210 (!)	0 (Fixpunkt!)
Menone	539	473
2./3.O. Hundstock	2245 (!)	205
Tamaro	452	366
Lema*	1797	1773
4 Punkte in Netzmitte (Mittel)	1824	184

**Vergleich Zuverlässigkeit / Genauigkeit:**

Die Zuverlässigkeits-Rechtecke sind hier (in Netzmitte) grösser als die mittleren Fehler-ellipsen um einen Faktor von

Fall a) 18.7      Fall b) 2.7

Als normal betrachtet man (als groben Richtwert) einen Faktor bis 3. Im Lagerungsfall a) ist die Zuverlässigkeit (im reinen Distanznetz) sehr ungenügend, im Lagerungsfall b) ergibt sich aber doch eine akzeptable Zuverlässigkeit für die Punktbestimmung, obwohl diese, wie oben in der Vorbemerkung erwähnt, nicht das Ziel dieser Distanzmessungen ist. (Das Netz wurde ja nicht als reines Distanznetz sondern als kombiniertes Richtungs- und Distanznetz angelegt).

Interessanter ist die Distanzübertragung von Nord nach Süd über die Alpen (siehe auch Kap. 6.3). Diese ist zwar etwas besser aber gesamthaft immer noch zu wenig zuverlässig bestimmt. Erst zusammen mit den Richtungen (oder später in einem gesamtschweizerischen Netz) ergeben sich zuverlässigere Aussagen.

Grund ist die relativ schwache Überbestimmung in den Geodimeterdistanzen, von denen einzelne, besonders im Raum Lägern und Hörnli, kaum oder sehr schwach kontrolliert sind. (Die SIAL-Distanzen sind weniger genau und tragen hiezu relativ wenig bei; immerhin beschränken sie, gemeinsam mit den Geodimeterdistanzen, die Grösse des kleinsten noch erkennbaren groben Fehlers besser als die reine Geodimeter 8-Netzgeometrie).

**5) Weitere Resultate:**

Weiter hinten sind unter separaten Kapiteln dargestellt:

a) Massstabsfaktoren: Ein wichtiges Ergebnis sind die resultierenden Massstabsfaktoren für die verschiedenen Distanzmesser. Sie sind in Kap. 5.5 zusammengestellt und dort gerade verglichen mit den entsprechenden Werten aus den kombinierten Netzausgleichungen. Auch Interpretationen und Folgerungen sind dort zusammengefasst.

b) Koordinatenvergleiche: Siehe Kapitel 6.1

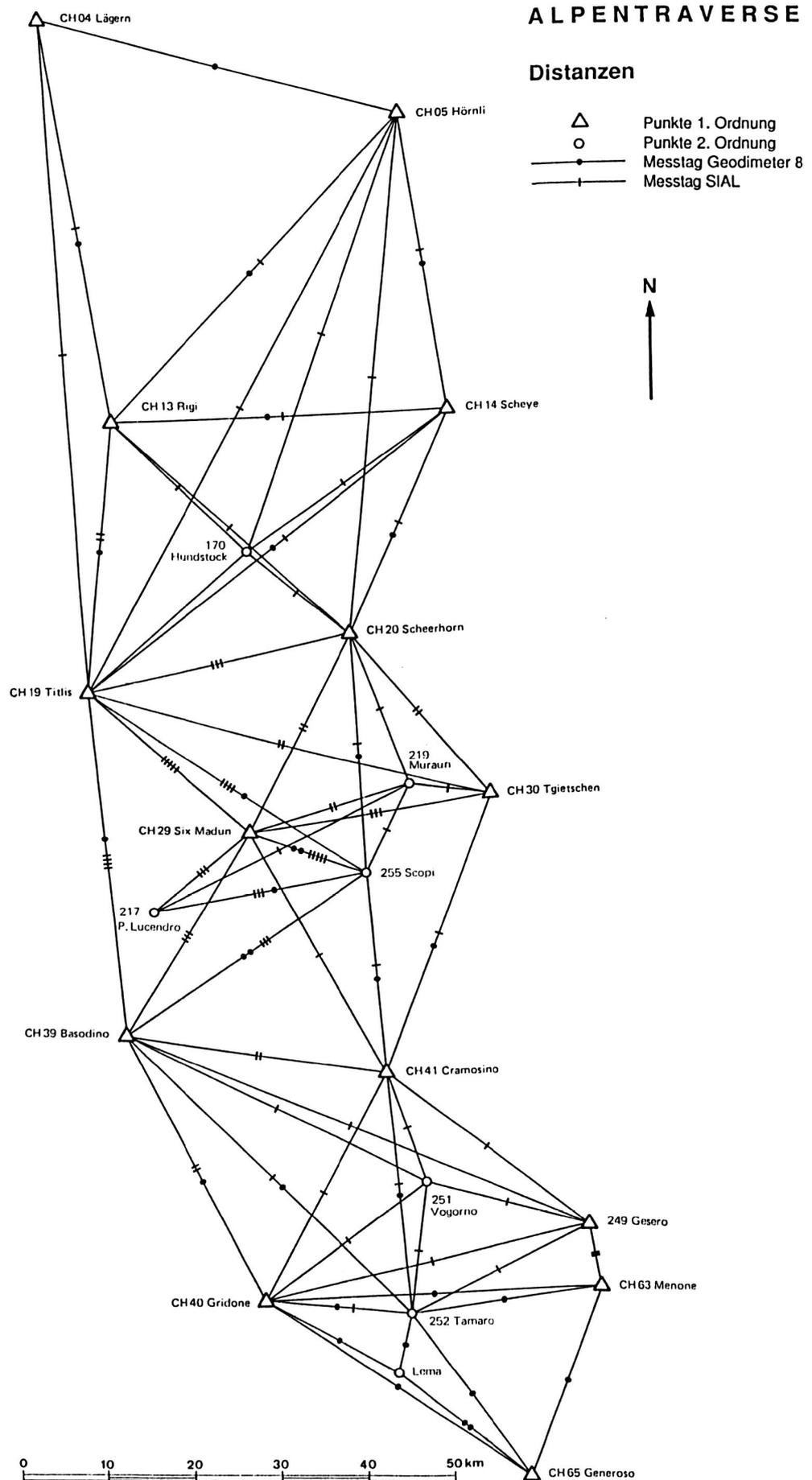
**Beilagen**

Fig. 5.3 A1	Netzplan: Alle Distanzen (Netzplan des reinen Distanznetzes)	S. 84
Fig. 5.3 A2	Netzplan nur Geodimeter-Distanzen	85
Tab.5.3 LT1	Wichtigste Resultate aus Netzausgleichung mit LTOP	86 f.
Fig. 5.3 B	Verschiebungen zu (R1), Fehlerellipsen	89
Fig. 5.3 C	Fehlerellipsen mit minimaler Spur der Kovarianzmatrix	90

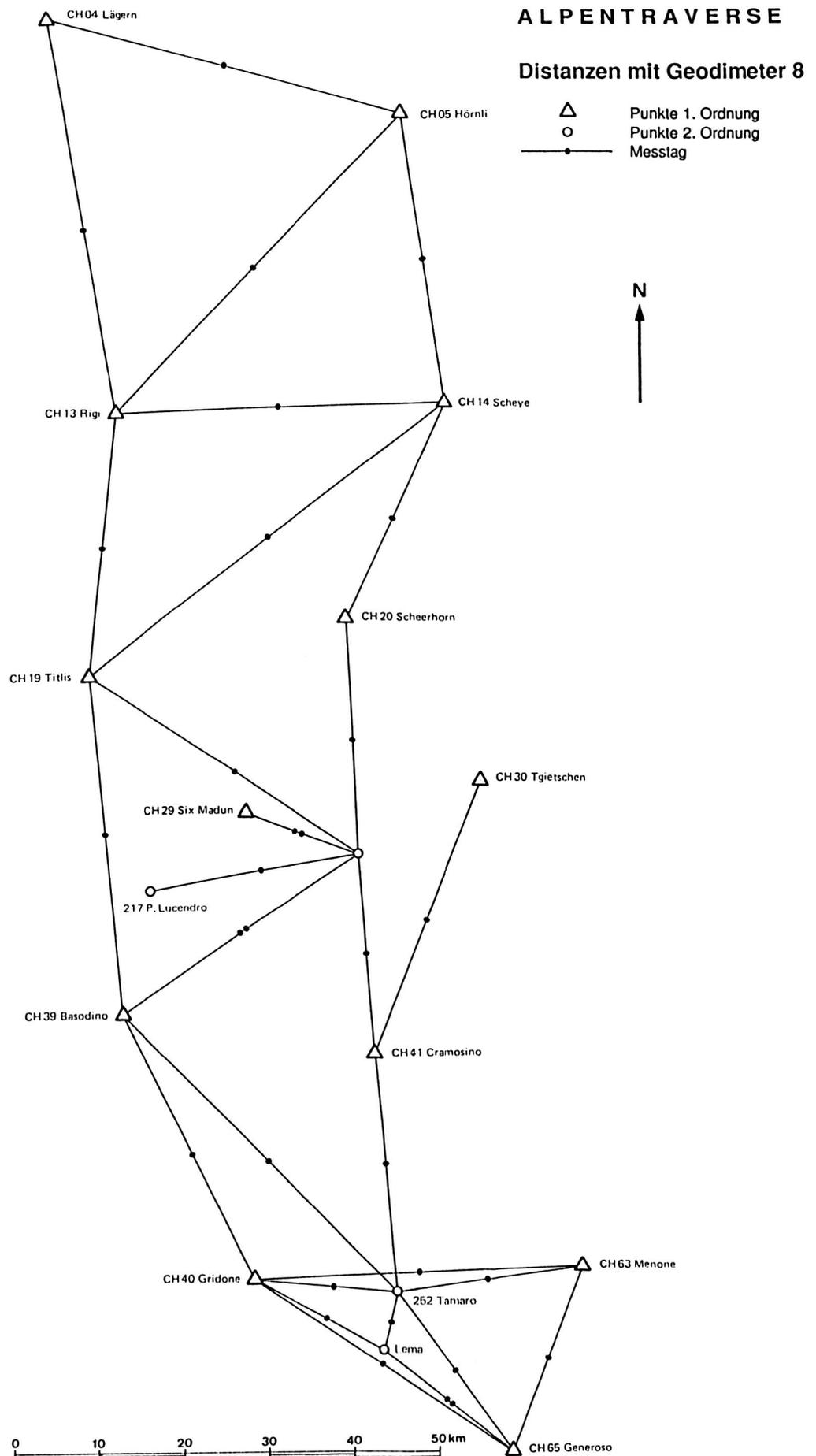
**Anhang B2:**

Tab. 5.3:	Distanz-Abrisse aus Netzausgleichung (Di-Netz, Var.D10b)	192 ff.
-----------	--	---------

**Fig. 5.3 A1: Netzplan Distanznetz: alle Distanzmessungen(SIAL und Geodimeter)**



**Fig. 5.3 A2: Netzplan Geodimeter-Distanzen**



Tab.5.3 LT1: Ausgleichung Distanznetz mit Programm LTOP: Wichtigste Resultate

	LAGE	HOEHE							
M. FEHLERQUOT. TOTAL:									
OHNE RUNDUNG (Q^)	.93	N. B.							
SCHLUSSKONTROLLE	.93	N. B.							
WAHRSCH. DASS Q </> Q^:	24.3%	N. B.							
ANZAHL BEOBACHTUNGEN	97	0							
ANZAHL UNBEKANNTE	44	0							
UEBERBESTIMMUNGEN	53	0							
SIGNIFIKANTE STELLEN	.1	6.6							
MAX. M. KOORD. FEHLER	97.0 MM	.0 MM							
ITERATIONEN (MAX.)	2 ( 4)	0 ( 4)							
MAX. AEND. LETZTE IT.	.0 MM	.0 MM							
ABBRUCHSCHRANKE	20.0 MM	20.0 MM							
RECHENZEIT	2.0 SEK. (CPU)								
Y,X,H NACH RUNDUNG	4 DEZ.								
ANZAHL STATIONEN	19								
BEOBACHTUNGSZEILEN	97								

D10

MITTLERE FEHLER DER BEOBACHTUNGSGRUPPEN:					ANZAHL A PRIORI	SCHLUSS	QUOT.	REDUND.			
DISTANZEN (MF FUER 1KM):											
MST-KORR IN PPM			ADD-KORR IN MM								
GR	MST	KORR	MF	ADD	KORR	MF					
1	1	-3.30	.61				23	32.0 MM	27.5 MM	.86	14.644
2	2	-5.04	.91				9	32.0 MM	31.2 MM	.98	6.576
3	3	-5.24	.64				17	32.0 MM	29.2 MM	.91	9.608
4	4	-5.42	.61				15	32.0 MM	31.9 MM	1.00	9.336
5	5	-4.49	.74				4	32.0 MM	25.7 MM	.80	2.442
6	6	-7.10	.38				29	11.0 MM	10.6 MM	.96	10.393

LAGE - NEUPUNKTE:	ANZAHL = 19					
HOERNL	RIGI	SCHEYE	TITLIS	SCHEER	BADUS	TGIETS
BASODI	GRIDON	CRAMOS	MENONE	GESERO	HUNDST	LUCEND
MURAUN	VOGORN	TAMARO	SCOPI	LEMA		

VOLLSTAENDIGES KOORDINATEN- UND HOEHEN-VERZEICHNIS

\*\*\*\*\*

PUNKT	TYP	Y	X	H	GEOIDHOEHE	ETA	XI
		M	M	M	M	CC	CC
NULLBERN		.000	.000	.000	.000	.0	.0
LAEGER		72506.710	59415.880	856.110	.610	10.6	-29.4
HOERNL		113528.507	47763.498	1132.980	.250	-9.7	-6.3
RIGI		79519.897	12273.658	1797.520	-.175	-11.6	34.8
SCHEYE		117986.839	13204.848	2258.860	.764	-.2	30.4
TITLIS		76311.863	-19418.269	3238.290	1.743	-11.4	48.8
SCHEER		106100.397	-12848.698	3294.540	1.767	-26.6	30.0
BADUS		93825.520	-35795.670	2928.070	2.172	-4.8	10.5
TGIETS		121126.940	-32694.177	2857.650	1.973	.5	17.9
BASODI		79178.197	-59460.159	3272.440	2.235	17.7	-24.5
GRIDON		93480.326	-91294.642	2188.060	.981	51.2	-31.1
CRAMOS		108090.241	-64387.576	2717.920	1.459	23.6	-9.0
MENONE		131864.761	-90557.155	2244.470	-.025	5.0	-53.3
GENERO		122656.140	-112130.770	1701.320	-2.086	-13.9	-68.1
GESERO		130689.021	-83701.659	2227.140	.391	-15.5	-22.5
HUNDST		94684.431	-3024.847	2181.520	.905	-40.6	17.6
LUCEND		82908.301	-45248.105	2962.660	2.322	20.9	-13.7
MURAUN		112288.667	-29966.943	2897.280	1.910	-8.6	33.0
VOGORN		112173.435	-78045.407	2442.260	.885	-3.9	-46.0
TAMARO		110364.801	-93176.456	1961.460	-.084	14.3	-35.5
SCOPI		106613.325	-41258.917	3187.000	2.073	-.1	-12.9
LEMA		107916.678	-100259.682	1619.850	-.650	14.4	-39.9

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TR AVERSE GOTTHARD D10  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 26. 2.1992 15:51  
 SEITE 3

-----  
 KOORDINATEN UND HOEHEN, NEUPUNKTE MIT AENDERUNGEN UND MITTL. FEHLERELLIPSEN  
 -----

PUNKT	TYP	Y	X	H	DY	DX	DH	MFA	MFB	MFAZ	MFH	MESSELEM.
		M	M	M	MM	MM		MM	MM	MM	G	MM
NULLBERN		.000	.000	.000	L+T → Di							0 0
LAEGER		72506.710	59415.880	856.110								4 0
HOERNL		113528.507	47763.498	1132.980	-452.8	258.5		73.1	41.6	29.9		8 0
RIGI		79519.897	12273.658	1797.520	-152.9	218.4		79.2	31.5	79.2		12 0
SCHEYE		117986.839	13204.848	2258.860	-301.2	478.4		86.7	46.7	58.3		9 0
TITLIS		76311.863	-19418.269	3238.290	-36.7	370.7		89.6	37.3	75.3		21 0
SCHEER		106100.397	-12848.698	3294.540	-212.7	321.8		97.0	37.8	78.3		12 0
BADUS		93825.520	-35795.670	2928.070	-240.0	420.3		88.3	35.1	73.0		13 0
TGIETS		121126.940	-32694.177	2857.650	-70.2	453.1		86.0	47.6	83.2		6 0
BASODI		79178.197	-59460.159	3272.440	-263.4	360.7		83.8	30.2	65.5		19 0
GRIDON		93480.326	-91294.642	2188.060	-334.1	48.3		63.3	25.5	52.0		11 0
CRAMOS		108090.241	-64387.576	2717.920	-319.3	263.8		80.1	26.2	76.6		12 0
MENONE		131864.761	-90557.155	2244.470	30.9	405.4		52.0	24.8	-75.6		4 0
GENERO		122656.140	-112130.770	1701.320								4 0
GESERO		130689.021	-83701.659	2227.140	-38.8	381.3		58.1	32.5	-90.2		6 0
HUNDST		94684.431	-3024.847	2181.520	-238.9	292.8		92.9	45.3	75.8		5 0
LUCEND		82908.301	-45248.105	2962.660	-69.4	504.7		87.9	57.0	67.9		7 0
MURAUN		112288.667	-29966.943	2897.280	-273.0	476.9		89.4	44.3	78.3		5 0
VOGORN		112173.435	-78045.407	2442.260	-194.7	303.5		69.2	29.9	74.2		5 0
TAMARO		110364.801	-93176.456	1961.460	-158.7	54.2		54.3	19.8	62.5		11 0
SCOPI		106613.325	-41258.917	3187.000	-375.4	352.9		83.5	31.9	76.0		17 0
LEMA		107916.678	-100259.682	1619.850	-121.6	127.7		53.8	18.3	53.2		3 0

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TR AVERSE GOTTHARD D12  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 9. 3.1992 10:59  
 SEITE 3

-----  
 KOORDINATEN UND HOEHEN, NEUPUNKTE MIT AENDERUNGEN UND MITTL. FEHLERELLIPSEN  
 -----

PUNKT	TYP	Y	X	H	DY	DX	DH	MFA	MFB	MFAZ	MFH	MESSELEM.
		M	M	M	MM	MM		MM	MM	MM	G	MM
NULLBERN		.000	.000	.000	R1 → Di							0 0
LAEGER		72506.710	59415.880	856.110								4 0
HOERNL		113528.507	47763.498	1132.980	-201.7	-16.6		73.1	41.6	29.9		8 0
RIGI		79519.897	12273.658	1797.520	-151.9	157.2		79.2	31.5	79.2		12 0
SCHEYE		117986.839	13204.848	2258.860	-247.4	116.1		86.7	46.7	58.3		9 0
TITLIS		76311.863	-19418.269	3238.290	-213.3	418.9		89.6	37.3	75.3		21 0
SCHEER		106100.397	-12848.698	3294.540	-240.5	282.5		97.0	37.8	78.3		12 0
BADUS		93825.520	-35795.670	2928.070	-188.6	377.2		88.3	35.1	73.0		13 0
TGIETS		121126.940	-32694.177	2857.650	-181.4	392.7		86.0	47.6	83.2		6 0
BASODI		79178.197	-59460.159	3272.440	-281.1	409.7		83.8	30.2	65.5		19 0
GRIDON		93480.326	-91294.642	2188.060	-324.3	61.2		63.3	25.5	52.0		11 0
CRAMOS		108090.241	-64387.576	2717.920	-391.5	285.4		80.1	26.2	76.6		12 0
MENONE		131864.761	-90557.155	2244.470	6.2	280.8		52.0	24.8	-75.6		4 0
GENERO		122656.140	-112130.770	1701.320								4 0
GESERO		130689.021	-83701.659	2227.140	-66.6	286.6		58.1	32.5	-90.2		6 0
HUNDST		94684.431	-3024.847	2181.520	-234.2	200.2		92.9	45.3	75.8		5 0
LUCEND		82908.301	-45248.105	2962.660	-110.4	403.6		87.9	57.0	67.9		7 0
MURAUN		112288.667	-29966.943	2897.280	-215.6	358.3		89.4	44.4	78.3		5 0
VOGORN		112173.435	-78045.407	2442.260	-219.8	290.9		69.2	29.9	74.2		5 0
TAMARO		110364.801	-93176.456	1961.460	-157.2	38.5		54.3	19.8	62.5		11 0
SCOPI		106613.325	-41258.917	3187.000	-363.9	273.4		83.5	31.9	76.0		17 0
LEMA		107916.678	-100259.682	1619.850	-121.6	127.7		53.8	18.3	53.2		3 0

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD D10  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 26. 2.1992 15:51  
 SEITE 4

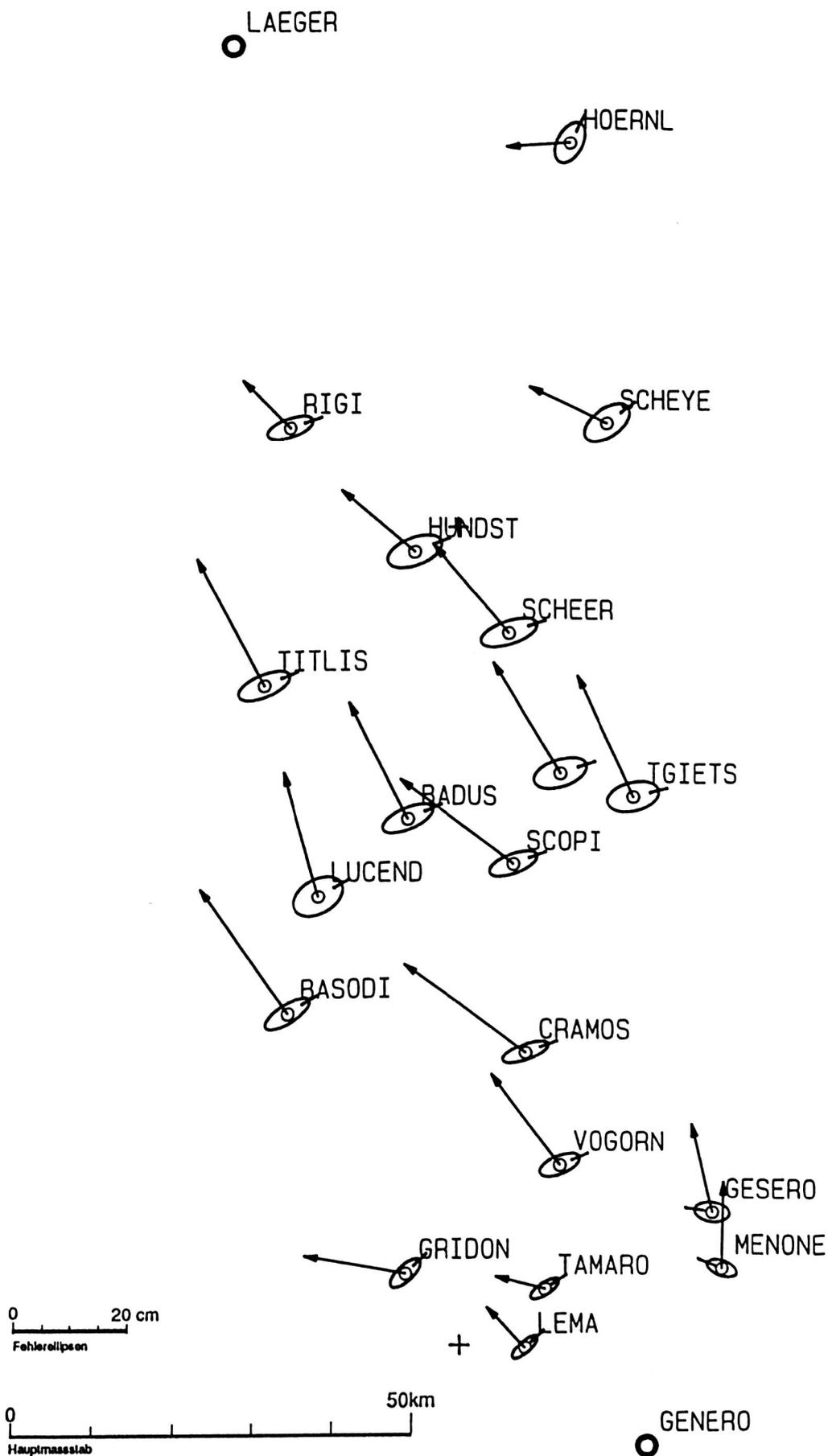
AEUSSERE ZUVERLAESSIGKEIT UND MITTLERE FEHLERELLIPSEN A PRIORI  
 \*\*\*\*\*

PUNKT	TYP	NA	NB	AZI (NA)	NH	NR.A	NR.B	NR.H	DY	DX	DH	MFA	MFB	MFAZ	MFH
		MM	MM	G	MM				MM	MM	MM	MM	MM	G	MM
HOERNL		3209.9	281.4	105.6		9	3		-452.8	258.5		78.8	44.9	29.9	
RIGI		2618.9	190.3	87.8		9	3		-152.9	218.4		85.4	34.0	79.2	
SCHEYE		2501.1	235.7	106.8		9	3		-301.2	478.4		93.5	50.4	58.3	
TITLIS		2072.4	188.1	79.6		9	3		-36.7	370.7		96.7	40.2	75.3	
SCHEER		2006.6	182.8	98.6		9	3		-212.7	321.8		104.6	40.8	78.3	
BADUS		1630.0	148.3	86.2		9	3		-240.0	420.3		95.3	37.8	73.0	
TGIETS		1585.8	252.3	107.9		9	45		-70.2	453.1		92.7	51.4	83.2	
BASODI		1364.8	123.9	65.2		9	3		-263.4	360.7		90.4	32.5	65.5	
GRIDON		716.4	110.5	48.6		9	47		-334.1	48.3		68.3	27.5	52.0	
CRAMOS		997.3	202.9	90.3		9	45		-319.3	263.8		86.4	28.3	76.6	
MENONE		538.9	467.0	40.2		45	9		30.9	405.4		56.1	26.8	-75.6	
GESERO		590.2	492.0	126.7		9	45		-38.8	381.3		62.6	35.1	-90.2	
HUNDST		2245.6	191.0	93.1		9	3		-238.9	292.8		100.3	48.9	75.8	
LUCEND		1554.6	265.2	75.0		9	94		-69.4	504.7		94.8	61.5	67.9	
MURAU		1653.2	214.9	101.1		9	45		-273.0	476.9		96.5	47.8	78.3	
VOGORN		712.5	228.3	90.1		9	45		-194.7	303.5		74.7	32.2	74.2	
TAMARO		452.4	105.3	57.5		45	9		-158.7	54.2		58.6	21.3	62.5	
SCOPI		1452.1	194.8	95.0		9	45		-375.4	352.9		90.0	34.4	76.0	
LEMA		1797.7	163.1	241.5		48	46		-121.6	127.7					

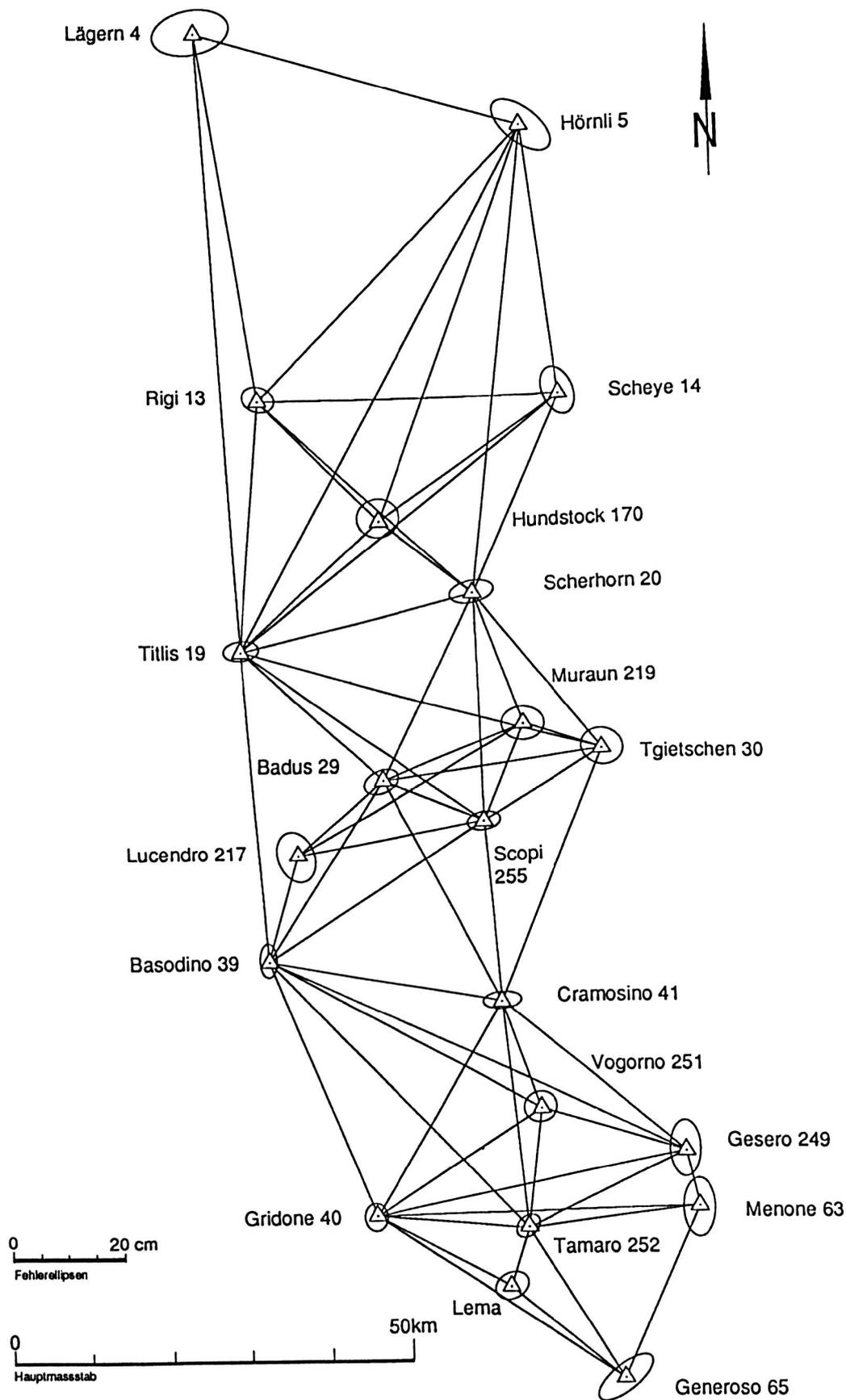
RELATIVE FEHLERELLIPSEN  
 \*\*\*\*\*

PUNKT 1	TYP 1	PUNKT 2	TYP 2	MFA	MFB	MFAZ
				MM	MM	G
HOERNL		GRIDON		71.7	49.0	65.0
HOERNL		TAMARO		69.8	52.0	55.5
RIGI		GRIDON		68.0	39.9	86.6
SCHEYE		TAMARO		74.1	47.1	70.6
RIGI		BASODI		59.3	32.7	88.8
SCHEYE		CRAMOS		69.6	48.4	94.2
RIGI		TITLIS		44.7	22.4	-97.8
CRAMOS		TAMARO		46.8	18.5	90.0

Fig. 5.3 B: Verschiebungen (zu R1). Fehlerellipsen



**Fig. 5.3 C: Distanznetz: Fehlerellipsen für minimalisierte Spur der Kovarianzmatrix**



*Fehlerellipsen des Distanznetzes für minimalisierte Spur der Kovarianzmatrix*

## 5.4 Kombinierte Netzausgleichungen

### I. Allgemeines

Die Alpentravese wird hier als kombiniertes Netz behandelt, wobei alle Messungen, Richtungen und Distanzen, in die Ausgleichung eingehen. Das Vorgehen bei der Netzausgleichung und die verwendeten Daten entsprechen dem bisher Gesagten und lassen sich mit folgenden Angaben kennzeichnen:

1) Netz: Es setzt sich zusammen aus dem Richtungsnetz (Fig. 5.2 A, S. 69) und dem Distanznetz (Fig. 5.3 A1, S. 84).

2) Messungen: Die Richtungen und Distanzen, die (in 5.2 und 5.3) separat ausgeglichen wurden, werden nun zu einer gemeinsamen Ausgleichung zusammengefasst. Wie schon bei den separaten Ausgleichungen sind die Richtungen streng auf das Ellipsoid reduziert mit Hilfe der Lotabweichungen und mit Berücksichtigung der Ellipsoidgeometrie (Richtungsreduktionen wegen Höhe Zielpunkt, Korrektur vom Normalschnitt auf die geodätische Linie). Ebenso sind die Distanzen auf das Ellipsoid reduziert (beim Programm KONHEL, beim Programm LTOP zudem ins Projektionssystem).

3) Gewichte: Für die Richtungen werden sie in allen Fällen unverändert aus dem reinen Richtungsnetz übernommen. Für die Distanzen gilt dies nur für den alten Datensatz (erste Phase A, Programm KONHEL); dagegen verwenden wir in der zweiten Berechnungsphase, wie schon bei der Ausgleichung des reinen Distanznetzes (5.3), leicht andere Daten und Gewichte:

#### 4) Datensätze:

Bei Messwerten und Gewichten der Distanzen ergeben sich die schon genannten kleinen Unterschiede (5.3, S. 77), bedingt durch zwei Auswertungsphasen:

A. Alter Datensatz, Berechnung mit Programm KONHEL

B. Neuer, bereinigter Datensatz, Berechnung mit Programm LTOP.

Die kleinen Änderungen im Fall B (siehe auch 4.5.3B, S. 49) sind: Korrektur der Geodimeter- Distanz Rigi-Titlis um + 49 mm; im Südtessin drei neue Geodimeterdistanzen zum Punkt Lema (sowie eine fiktive Richtung, damit dieser Hilfs-Punkt genügend bestimmt ist); ein neuer Gewichtsansatz bei Geodimeter-Distanzen mit Flugmeteo; eine kleine Gewichts Anpassung beim Massstabsfaktor 4; ein reduziertes Gewicht bei der Geodimeterdistanz Gridone-Generoso und schliesslich noch zwei kleine Korrekturen an den Geodimeterdistanzen Tgietschen-Cramosino (- 22mm) und Tamaro-Menone (- 6 mm).

Massgebend ist der neue Datensatz B. Zum Vergleich verweisen wir zum Teil aber auch auf die Ergebnisse der alten Daten A. Dies einerseits, weil sie ohnehin vorliegen (sie wurden in der ersten Berechnungsphase als endgültig betrachtet); andererseits bringt der Vergleich der Resultate beider Datensätze interessante Erkenntnisse über die Stabilität des geodätischen

Systems "Alpentaverse" im Sinne einer empirischen Zuverlässigkeits-Untersuchung: Man sieht - wenn auch nur in einem Einzelfall - um wieviel sich die Resultate ändern können, wenn die Ausgangs-Daten und die Gewichte von einzelnen Beobachtungsgruppen leicht verändert werden, sei es um kleine (zunächst nicht gefundene) Messfehler zu korrigieren oder die Gewichte gegenseitig besser anzupassen.

5) Netz-Lagerung: In allen hier beschriebenen Fällen wird das Netz frei gelagert, wie dies schon unter 5.2 und 5.3 beschrieben wurde:

a) Normalfall: Lagerung wiederum auf die beiden Punkte Lägern und Generoso. Ob diese beiden Punkte als Fixpunkte (Programm LTOP) oder als Passpunkte einer Helmerttransformation (Programm KONHEL) betrachtet werden, spielt keine Rolle. Damit ist sichergestellt, dass die Resultate anschaulich und einfach interpretiert werden können und dass auch ein Vergleich mit andern Computerprogrammen leicht möglich ist. Ferner ergeben sich bei dieser zwangsfreien Netzlagerung gute Zuverlässigkeits-Aussagen.

b) Spezialfälle der Netzlagerung: Zum Vergleich der resultierenden Lagegenauigkeit wird in einzelnen Fällen das Netz auf alle 14 Punkte 1.Ordnung mit "Helmert" gelagert. Zur Bestimmung des mittleren Distanzfehlers über das ganze Netz (Lägern-Generoso) erfolgt ferner eine freie Lagerung im Punkt Lägern, wobei noch ein genaues Azimut nach Generoso eingeführt und der Geodimetermassstab festgehalten wird.

#### 6) Kenngrößen der Netzausgleichungen

Beobachtungen: Daten: (A: alt) , B: neu

(237) 238 Richtungen, (94) 97 Distanzen, total n = (331) 338 Beobachtungen

Unbekannte: u = (76) 74 Koordinaten für (38) 37 Punkte, 38 Orientierungsunbekannte, Massstabsfaktoren: normal 6, (evlt. 3 oder 9), total (120) 118 Unbekannte.

Lagerung: Helmert mit 4 Bedingungsgleichungen (nur beim Programm KONHEL) oder 2 Fixpunkte (beim Programm LTOP)

Überbestimmung: f = (215) 217

#### Berechnungs-Varianten

Von den zahlreichen Ausgleichungs-Varianten werden hier die folgenden ausgewählt:

Netz	A. Alte Daten (KONHEL)	B. Neue Daten (LTOP)
Kombiniertes Netz (6 Massstabsfaktoren)	Var. AT22	K3, (K4)
Separate Ausgleichungen:		
- reines Richtungsnetz	Var. AT	R1, (R2)
- reines Distanznetz	Var. DAT22	D10, (D11)

## II. Kombiniertes Netz: Resultate der Netzausgleichungen

Wir beziehen uns, wie schon ausgeführt, auf die beiden Datensätze:

A. Alter Datensatz: Aus einer grossen Zahl von etwa zwei Dutzend Berechnungsvarianten (mit dem Programm KONHEL) werden hier nur die (ursprünglich) als massgebend betrachteten dargestellt.

B. Neuer Datensatz: Mit dem später bereinigten Datensatz und unter Verwendung des Programmes LTOP ergeben sich nicht wesentlich andere Ergebnisse aber etwas günstigere mittlere Fehler und eine bessere Übereinstimmung der verschiedenen Massstabsfaktoren.

### 1) Globaler Modelltest

A. Alter Datensatz: Kombiniertes Netz (Var. AT22 mit korrelierten Richtungen):

$s_0 = 11.66$ , gegenüber 10.0 a priori, also ein mittlerer Fehler-Quotient (a posteriori zu a priori)  $Q$  von 1.17. Folgerung: Der Modelltest ist nicht erfüllt, d.h. das Modell ist also abzulehnen. Tatsächlich enthalten die Daten noch (mindestens) einen Distanz-Fehler und die Gewichte sind noch nicht optimal gewählt (siehe oben).

Vergleicht man die separaten Netzausgleichungen mit der kombinierten Ausgleichung, so ergeben sich folgende mittl. Fehlerquotienten  $Q = s_0 / \sigma_0$  (a posteriori zu a priori)

Richtungen allein	$Q = 1.01,$
Distanzen allein (DAT22):	$Q = 1.10,$
Kombiniertes Netz	<b><math>Q = 1.17</math></b>

Wenn man die beiden Beobachtungsgruppen (Richtungen und Distanzen) zu einer Ausgleichung vereinigt, wird der mittlere Fehlerquotient grösser. Dies könnte folgende Ursachen haben:

- Die Beobachtungen enthalten noch Fehler, die erst in der kombinierten Ausgleichung zum Ausdruck kommen. Mögliche Fehler (in den reduzierten Beobachtungen und/oder den Gewichten) sind in erster Linie bei den Distanzen zu suchen, da hier die Fehlermöglichkeiten grösser sind und die gegenseitige Kontrolle der Messungen kleiner ist. - Das Resultat dieser Fehlersuche und Gewichts Anpassung ist im Datensatz B enthalten.

- Die beiden Beobachtungsgruppen (Richtungen und Distanzen, aus verschiedenen Epochen) sind nicht kompatibel: siehe auch unten.

B. Neuer, bereinigter Datensatz: (Progr. LTOP, Richtg. ohne Korrel., Variante K3):

Der mittl. Fehlerquotient beträgt für

das reine Richtungsnetz	$Q = 1.05$
das reine Distanznetz	$Q = 0.93$
das kombinierte Netz	<b><math>Q = 1.16</math></b>

Folgerung aus dem Modelltest: Auch mit bereinigten Daten und Gewichten ist der Modelltest für das kombinierte Netz immer noch nicht erfüllt – im Gegensatz zum reinen Richtungsnetz und zum reinen Distanznetz, d.h. obwohl Richtungen und Distanzen als im Prinzip frei von grösseren Fehlern angenommen werden können.

Auch kann ausgeschlossen werden, dass nur zufällig (trotz richtigen Modells) ein Wert  $Q$  von 1.16 statt 1.0 erreicht worden ist: die Wahrscheinlichkeit für diesen Zufall ist nur 0.1 % (LTOP, siehe Tab. 5.4 LTop, S. 101).

**Gründe** für den nicht erfüllten globalen Modelltest (für beide Datensätze):

Das Ansteigen des mittleren Fehlerquotienten  $Q$  für die kombinierte Ausgleichung gegenüber den Werten für die getrennten Ausgleichung von Richtungen bzw. Distanzen weist auf Zwänge zwischen Richtungen und Distanzen hin. (Da der Wert für  $Q$  nur mässig ansteigt, sind diese Zwänge aber wahrscheinlich nicht schwerwiegend). Eine Erklärung ist vielleicht in der Tatsache zu suchen, dass die Richtungen aus der Epoche 1908 - 1928 stammen, die Distanzen dagegen 70 Jahre später gemessen wurden, nämlich in der Epoche 1969 - 1986.

Es stellt sich hier die Frage, ob die Netzgeometrie der beiden Messperioden, die um ca. 70 Jahre auseinander liegen, geometrisch kongruent ist. Zu denken ist hierbei an Bewegungen von einzelnen Punkten im Laufe der Zeit oder Form- und Längenänderungen des ganzen Netzes oder einzelner Teile als Folge von rezenten Krustenbewegungen bzw. Alpenfaltungsprozessen. Diese Frage wird noch näher untersucht. Erste Anhaltspunkte ergeben sich beim Vergleich der erhaltenen Massstabsfaktoren in Abschnitt 5.5; eine genauere Untersuchung von regionalen Formänderungen folgt in Kap. 7.

Es wird sich zeigen, dass die Netze aus den beiden Messepochen (ca. 1910 bzw. 1980) mit grosser Wahrscheinlichkeit tatsächlich nicht kongruent sind. Allerdings sind die erhaltenen Form- und Grössenänderungen relativ klein und mit einer ziemlich grossen Unsicherheit behaftet. Kritisch wären Verschiebungen von einzelnen Punkten und Formänderungen des Netzes oder von Netzteilen, während eine lineare Grössenänderung des ganzen Netzes durch einen Massstabsfaktor erfasst werden kann und damit bei der Netzvereinigung keine Probleme bietet.

Im folgenden wird daher angenommen, dass eine Vereinigung der Messungen aus den beiden Epochen trotzdem sinnvoll ist und wenigstens zu einer brauchbaren Näherungslösung führt. Eine solche Vereinigung ist aus praktischen Gründen aber auch nötig, denn das Netz wurde als kombiniertes Richtungs- und Distanznetz konzipiert und nur so ist es genügend zuverlässig.

## 2) Varianz-Komponenten und Gewichtsverhältnisse

Bei der Vereinigung von verschiedenen Beobachtungsgruppen stellt sich immer die Frage, ob die Gewichte der einzelnen Gruppen untereinander zusammenpassen; andernfalls könnte auch aus diesem Grund der Q-Wert ansteigen. Zur Beurteilung dient das Kriterium: Alle Beobachtungsgruppen (Richtungen, Distanzen mit 6 verschiedenen Massstabsfaktoren) sollten an der resultierenden Gesamtvarianz entsprechend ihrer Gruppen-Redundanz (Summe der Teilredundanzen d.h. der  $z_i$ -Werte dieser Gruppe) beitragen, sodass sich für jede Gruppe ein mittlerer Fehlerquotient  $Q$  von 1.0 ergibt.

Im kombinierten Netz ergeben sich folgende mittlere Fehlerquotienten  $Q$  a posteriori zu a priori (Tab. 5.4 LTop, S.101):

- Richtungen: 1.18,
- Distanzen: Werte zwischen 0.72 (nur 4 Beobachtungen) und 1.18 (Geodimeterdist.)  
Mittelwert für alle Distanzen: 1.11,
- Gesamtwert für Richtungen und Distanzen: 1.16 (Der mittlere Wert  $Q_m$  folgt aus:

$$Q_m^2 = \sum (Q_i^2 z_i) / \sum z_i, \text{ mit den Einzelwerten } Q_i \text{ und ihren Teilredundanzen } z_i).$$

Die erhaltenen  $Q$ -Werte sind nicht ganz optimal, sie könnten durch kleine Gewichts-anpassungen verbessert werden. Die Erfahrung zeigt aber, dass solche kleine Anpassungen die Resultate nicht wesentlich verändern. Wenn man zudem noch die oben erwähnten, wahrscheinlichen Zwänge zwischen Richtungen und Distanzen in Betracht zieht (das Modell ist ja gesamthaft abzulehnen), und unter diesen Umständen auf eine (optisch) ideale gegenseitige Gewichts-anpassung verzichtet, so darf doch gefolgert werden:

- Die gewählten Gewichte zwischen Richtungen und Distanzen sind etwa richtig.
- Die Gewichte der Distanzgruppen unter sich können akzeptiert werden.

## 3) Grösste Verbesserungen nach der Ausgleichung

In den folgenden Tabellen 5.4 B/A sind die grössten Verbesserungen aus den Netzausgleichungen dargestellt (vollständige Abrisse im Anhang B3, S.195 ff), einerseits aus der kombinierten Ausgleichung, andererseits aus den separaten Ausgleichung der Richtungen und der Distanzen allein.

Bemerkungen zur umstehenden Tabelle der Verbesserungen mit statist. Indikatoren:

- Auswahl: Beobachtungen mit grossen Werten  $w_i$  (in irgend einer Ausgleichung)
- Reihenfolge: wie im Programm LTOP

Angaben:

- Verbesserungen  $v_i$  [in cc bzw. mm], normierte Verbesserungen  $w_i$ , etc.

**Tab. 5.4 B. Neuer Datensatz, Programm LTOP (Richtungen ohne Korrelation)**  
 Verbesserungen und statistische Indikatoren aus den verschiedenen Ausgleichungen

Beob.-Typ / Visur	Mf	$v_i$	$w_i$	$z_i$	$g_i$	$\nabla_i$	$k_i$
(Nr. Massstabsfaktor)							
<i>1) Separate Ausgleichung von</i>				Legende siehe S. 97			
<i>a) Richtungen</i>							
Albis-Hörnli		-8.3	<b>-3.0</b>	88	9	13	34
Forch-Hörnli		2.6	2.7	37	-7	11	115
Forch-Brüttenen		-2.5	-2.7	29	8	13	187
Scheerhorn-Titlis		0.9	1.0	56		7	97
Scheerhorn-Rigi		2.2	<b>3.0</b>	46	-4	7	108
Scheerhorn-Muraun		-6.8	-2.7	75	9	14	80
Uri Rotstock-Titlis		1.7	1.7	27		15	144
Cramosino-Vogorno		-4.6	-2.2	71		12	73
Sasso Rosso-Basodino		9.0	2.1	68		26	75
Badus-Titlis		-1.8	<b>-3.1</b>	29	6	8	163
Tgietschen-Cramosino		-2.7	-2.5	41		11	211
Dammastock-Basodino		2.4	2.4	35		12	173
Muraun-Tgietschen		-1.8	-2.7	20	9	14	115
Muraun-Scheerhorn		2.6	<b>3.0</b>	26	-9	14	221
<i>b) Distanzen</i>							
Titlis-Tgietschen	1	-70	-1.1	76		342	81
Titlis-Rigi	6	46	1.9	43		227	103
Cramosino-Basodino	1	33	0.8	62		278	90
Basodino-Tamaro	6	-48	-2.0	52		190	96
Basodino-Titlis	2	141	2.2	72		367	34
Basodino-Titlis	3	-117	<b>-2.5</b>	65	181	299	62
Tgietschen-Cramosino	6	-19	-0.8	36		263	164
Hörnli-Lägern	6	-3	-0.1	<b>0</b>		$\infty$	Nicht.Best.
<i>2) Kombinierte Ausgleichung (Richtungen und Distanzen)</i>							
<i>a) Richtungen</i>							
Albis-Hörnli		-8.4	<b>-3.0</b>	89	9	13	22
Forch-Hörnli		2.6	2.7	37	-7	11	110
Forch-Brüttenen		-2.5	-2.7	30	8	13	178
Scheerhorn-Titlis		2.5	2.4	74		6	19
Scheerhorn-Rigi		1.4	1.1	65		6	40
Scheerhorn-Muraun		-7.6	-2.8	88	8	13	31
Uri Rotstock-Titlis		2.8	2.8	30	-9	14	121
Cramosino-Vogorno		-6.8	<b>-3.0</b>	82	8	11	39
Sasso Rosso-Basodino		10.7	2.5	71		25	56
Badus-Titlis		-1.2	-1.5	53		6	53
Dammastock-Basodino		3.0	2.8	39	-7	11	146
Lucendro-Basodino		3.3	<b>3.1</b>	39	-8	11	91
Muraun-Tgietschen		-2.3	-2.9	28	8	12	81
Muraun-Scheerhorn		2.9	2.4	50		10	57
<i>b) Distanzen</i>							
Titlis-Tgietschen	1	-138	-2.1	85		323	33
Titlis-Rigi	6	74	<b>2.7</b>	58	-126	195	65
Cramosino-Basodino	1	120	2.5	79	-150	246	37
Basodino-Tamaro	6	-74	<b>-2.9</b>	60	122	176	64
Basodino-Titlis	2	157	2.4	76		356	20
Basodino-Titlis	3	-124	-2.5	73	170	281	45
Tgietschen-Cramosino	6	-78	<b>-2.8</b>	56	139	210	86
Hörnli-Lägern	6	8	0.4	<b>24</b>		382	267

Bedeutung der Symbole, die in den Tabellen und in den Abrissen des LTOP-Programmes, (Anhang B1, B2, B3: S. 185 ff.) verwendet werden:

- $v_i$  Verbesserung absolut (in cc bzw. mm)
- $w_i$  normierte Verbesserung: Vielfache d.mittl. Fehlers der Verbesserung (a posteriori)
- $z_i$  lokale Zuverlässigkeit der Beobachtung in Prozent:  
Grad der gegenseitigen Kontrolle der Messung
- $g_i$  Wahrscheinliche Grösse eines Fehlers an der Messung (cc, mm)
- $\nabla_i$  Grenze für nicht entdeckbare Fehler (cc, mm)
- $k_i$  Einfluss dieses Fehlers auf die relative Lage der beiden Punkte (mm)

Der Vergleich der Grössen in der obigen Tabelle 5.4 B zeigt z.B.:

- in der kombinierten Ausgleichung sind die Beobachtungen (natürlich) besser kontrolliert (Werte  $z_i$  grösser) und unerkannte Fehler wirken sich somit weniger aus ( $k_i$  kleiner).
- die Verbesserungen der kombinierten Ausgleichung sind ähnlich wie bei den separaten Ausgleichungen, doch ist der Einfluss von gegenseitigen Zwängen spürbar.
- die grössten normierten Verbesserungen erreichen Werte von 3.1: die Beobachtungen enthalten also keine *groben* Fehler (obwohl kleine Fehler immer möglich sind).

Zum Vergleich werfen wir einen Blick auf die entsprechenden Verbesserungen des alten Datensatzes mit kleinen Fehlern und nicht optimalen Gewichten (dies erlaubt Aussagen auf die Frage: Was machen kleine Fehler in den Daten aus?)

**Tab. 5.4 A. Alter Datensatz, Programm KONHEL (Richtungen mit Korrelation)**

Beob.	Visur	Sep. Ausgl.		Komb. Ausgl.	
		$v_i$	$w_i$	$v_i$	$w_i$
		cc		cc	
<u>Richtungen</u>					
1. - 1.Ordn.	Scheerhorn-Rigi	+2.2	<b>3.0</b>	+1.4	1.5
1. - 2.	Cramosino-Vogorno	- 5.2	-2.4	- 8.5	<b>-3.5</b>
2. - 1.	Albis-Hörnli	- 8.4	-2.9	- 8.4	-2.9
3. - 1.	Sasso Rosso-Basodino	<b>+11.1</b>	2.3	<b>+13.5</b>	2.8
		mm		mm	
<u>Distanzen</u>					
SIAL Stat.	Titlis-Tgietschen	- 89	-1.4	- 144	-2.1
SIAL Flug	Basodino-Titlis*	<b>+148</b>	2.3	<b>+165</b>	2.5
	do.	-142	-3.0	- 135	-2.7
Geodim.8	Titlis-Rigi**	+75	<b>3.1</b>	+108	<b>3.9</b>
	Gridone-Basodino	+63	1.9	+ 57	1.6
	Titlis-Cramosino	- 23	-1.0	- 65	-2.3

\*: Inversionsschicht auf Gipfelhöhe wahrscheinlich    \*\* noch vor Korrektur (49 mm zu kurz)

Der Vergleich der alten (A) mit den neuen Daten (B) zeigt:

Die Verbesserungen zeigen ein ähnliches Verhalten (Grösse und Vorzeichen), sind aber mit neuen, bereinigten Daten etwas kleiner.

**4) Genauigkeit der Punktbestimmung: Netze im Vergleich**

*Frage: Wie genau lassen sich die Punkte in der Alpen traverse bestimmen?*

Die Antwort ergibt sich aus den folgenden Beispielen, wobei wir die Resultate des kombinierten Netzes mit jenen der separaten Richtungs- bzw. Distanznetze vergleichen:

A) Wir betrachten zuerst eine Netzlagerung in den Endpunkten Lägern und Generoso:

a) Maximale mittl. Punktfehler *Tab. 5.4 C*

Netz	Punkt	Richtungsnetz	Distanznetz	Kombi-Netz
1. Ordnung	Scheerhorn	198 mm	97 mm	78 mm
2. Ordnung	Dammastock	208 mm		82 mm
	Hundstock		93 mm	75 mm
3. Ordnung	Bös Fulen			115 mm

b) Lagegenauigkeit der Punkte in Netzmitte

Als Testwert betrachten wir wieder das Mittel der vier Punkte (in der Mitte des Netzes)

*Titlis, Scheerhorn, Badus, Tgietschen.*

Hier ergeben sich folgende mittlere Punktfehler in bezug auf die gewählten Fixpunkte (Lägern und Generoso), absolut und relativ zur mittleren Distanz (von ca. 90 km) zu den Netz-Endpunkten: *Tab. 5.4 D Punktgenauigkeit in Netzmitte*

Netz	Richtg. Netz		Di-Netz		Komb. Netz	
	mm	ppm	mm	ppm	mm	ppm
Mittl. Längsfehler	196	2.2	40	0.4	37	0.4
Mittl. Querfehler	118	1.3	90	1.0	76	0.9
RAV-Toleranz		7.7		10		12
*RAV-Tol./ Ist		4.6		20		24

\*Die relative Genauigkeit ist also wesentlich höher (Faktoren von 4.6 bis 24 mal) als die in der Reform der amtlichen Vermessung der Schweiz [RAV 1987, 9.2] vorgesehene Toleranz von  $7\text{mm} + 10\text{ ppm}$ .

c) Relative mittl. Fehlerellipsen

*Tab. 5.4 E Relative mittl. Fehlerellipsen* Halbachsen A, B, Azimut von A: Azi(A)

Distanz	D km	Netz	A	B	Azi(A)	$m_D$ mm	$m_D$ ppm
Rigi-Titlis	32	Ri	79	53	- 4	79	2.5
		Di	45	23	-98	23	0.72
		Komb.	35	24	98	24	0.75

Rigi-Basodino	72	Ri	120	87	-13	120	1.7
		Di	60	33	89	33	0.45
		Komb.	49	34	83	36	0.51
Rigi-Gridone	105	Ri	130	97	-14	130	1.2
		Di	68	40	87	40	0.38
		komb.	55	40	84	43	0.40
Hörnli-Gridone	140	Ri	131	106	-45	117	1.1
		Di	72	49	65	59	0.42
		Komb.	62	50	67	55	0.39

Der mittl. Distanzfehler  $m_D$  in einer beliebigen Richtung ergibt sich als Radiusvektor der Fusspunktkurve der relativen mittl. Fehlerellipse in dieser Richtung

$$m_D^2 = A^2 \cos^2 \alpha + B^2 \sin^2 \alpha$$

worin  $\alpha$  der Winkel bezüglich der grossen Halbachse A ist: Tabelle: Azi(A).

B) Punkt-Genauigkeit über das ganze Netz (bei einseitiger Netzlagerung):

Aus einer Netzausgleichung mit Lagerung in einem Punkt (Lägern) und einem als fest eingeführten Azimut (Lägern-Generoso) ergibt sich ein mittl. Längsfehler über das ganze Netz (Distanz 178 km) von:

*Tab. 5.4 F Mittl. Längsfehler über das ganze Netz*

Fehler	Ri-Netz	Di-Netz	Komb. Netz	Einheit
mD abs.	634	68	68	mm
mD relativ	3.5	0.38	0.38	ppm
*RAV-Tol / Ist	2.9	26	26	Verhältnis

\* d.h. soviel-mal kleiner als Toleranz RAV(1987): 7 mm + 10 ppm

C) Folgerungen zur Punkt-Genauigkeit in den Netzen der Alpentravese:

- Die Längsgenauigkeit wird also fast ausschliesslich von den Distanzen bestimmt. Die Richtungen ergeben nur eine Erhöhung der Zuverlässigkeit, jedoch fast keine Genauigkeitssteigerung.

- Die Relativ-Genauigkeit über das ganze Netz ist erstaunlich hoch, besonders wenn diese relativ ausgedrückt wird: 0.4 ppm im Distanznetz und im kombinierten Netz, dagegen nur 3.5 ppm im reinen Richtungsnetz.

- Zu beachten ist aber: Da der Geodimetermassstab in der Netzausgleichung festgehalten wird (damit das Netz überhaupt bestimmt ist), bedeutet diese Unsicherheit nur die Auswirkung von zufälligen Messfehlern auf die Distanzübertragung über das ganze Netz. Fragt man nach der absoluten Distanzgenauigkeit über das ganze Netz, so müsste noch die Unsicherheit des eingeführten Geodimetermassstabes (0.5 bis 1.0 ppm) berücksichtigt werden, sodass sich gesamthaft eine Unsicherheit von etwa 1 ppm ergäbe.

## 5) Zuverlässigkeit im kombinierten Netz

### a) Zuverlässigkeit der Messungen

Im kombinierten Netz ist die gegenseitige Kontrolle der Messungen natürlich besser als bei den getrennten Ausgleichungen von Richtungen bzw. Distanzen. Trotzdem verbleiben noch 15 Beobachtungen mit einer lokalen Zuverlässigkeit von weniger als 25%. (Dies betrifft aber Punkte, auf die keine Distanzen gemessen wurden). Im allgemeinen kann aber die lokale Zuverlässigkeit doch als akzeptabel betrachtet werden. (Ein Spezialfall ist der Punkt Lema im Südtessin, der aber nur als Hilfspunkt für die Distanzen dient und sonst hier keine Bedeutung hat).

Anzahl der schwach kontrollierten Messungen in den drei Netzen:

Vergleich der Netze	Ri-Netz	Di-Netz	Komb.
Anz. $z_i$ kleiner 25 %:	20	7	15

### b) Resultierende Zuverlässigkeit der Punktbestimmung

Für die verschiedenen Ausgleichungen der Alpentravese *Richtungs-Netz*, *Distanz-Netz* und *kombiniertes Netz* ergeben sich die folgenden grössten Zuverlässigkeits-Rechtecke mit den Halbachsen  $N_A$  in mm:

*Tab. 5.4 G Zuverlässigkeits-Rechtecke (Halbachsen) für Ri-Netz, Di-Netz, komb.Netz*

Punkte	Netz>	Ri-Netz	Di-Netz	*Di3-Netz	Komb.Netz
1. O.	Hörnli	343	3210!	0	267 mm
	Basodino	403	1365	227	102 mm
2. O.	Muraun	347	1653	167	11 mm
	Cramalina	425	-	-	381 mm
1. O.	<i>Mittel 4 Punkte</i>	337			127 mm
Faktor *Mittl.Fehler		1.8			1.7 [Faktor]

Netz-Lagerung:

Normalfall: Lägern und Generoso: Ri-, Di- u. Komb.Netz

\*Di3: Lägern und Hörnli, Generoso

Diese Zuverlässigkeits-Rechtecke (Halbachsen  $N_A$ ) sind nur 1.7 mal grösser als die mittl. Punkt-Fehlerellipsen (a posteriori), also ziemlich klein, wenn man hier das reine Distanznetz ausser Betracht lässt (das ja nur als Ergänzung des Richtungsnetzes angelegt ist). Auch diese Zuverlässigkeitswerte liegen noch weit innerhalb der Toleranzen (für relative mittl. Fehler), welche die Reform der Amtlichen Vermessung in der Schweiz [RAV 1987, 9.2] vorschlägt: die hier erreichten Werte sind um Faktoren von 6 bis 15 mal kleiner (besser).

### 6) Resultate der Netzausgleichung

Netz:

Es besteht aus den Anteilen: Richtungsnetz Fig. 5.2.A (S. 69) und Distanznetz Fig. 5.3.A1 (S. 84).

Resultate:

Es folgen direkt anschliessend die wichtigsten Resultate der Netzausgleichung mit dem Programm LTOP (Tab. 5.4 LTop, direkt anschliessend); die Abrisse finden sich im Anhang B3, S. 195 - 204.

Die wichtigen Masstabsfaktoren werden im nächsten Abschnitt 5.5 zusammengestellt und interpretiert.

Tab. 5.4 LTop:

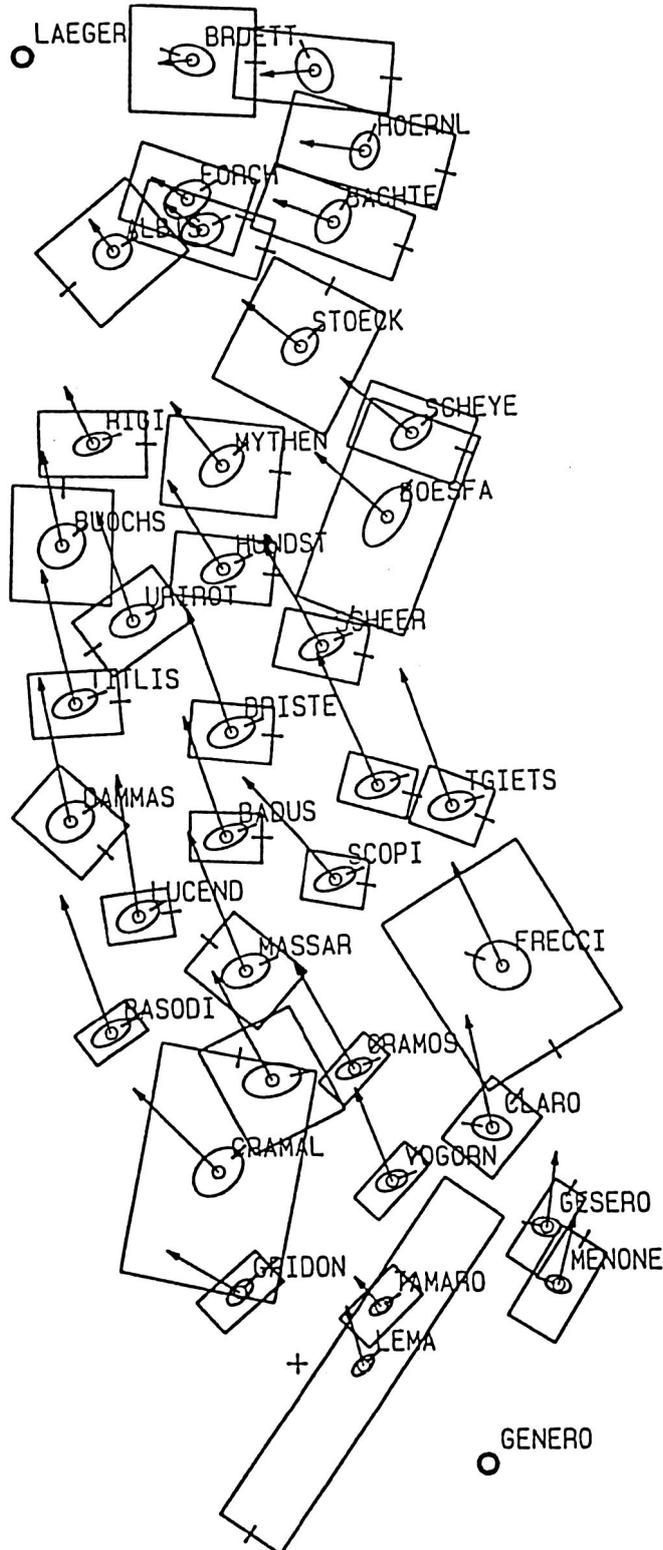
Komb. Netz: Wichtigste Resultate der Netzausgleichung mit dem Programm LTOP

ETH ZH INST. F. GEODAESIE		TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD (K3)		ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5	
TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP		VERS.: 90.1.2 - IBM		SEITE 1	
ALPENTRAVERSE ETH 1987					
*****					
	LAGE	HOEHE			
M. FEHLERQUOT. TOTAL:					
OHNE RUNDUNG (Q^)	1.16	N. B.			
SCHLUSSKONTROLLE	1.16	N. B.			
WAHRSCH. DASS Q >/< Q^:	.14**	N. B.			
ANZAHL BEOBACHTUNGEN	335	0			
ANZAHL UNBEKANNTE	118	0			
UEBERBESTIMMUNGEN	217	0			
SIGNIFIKANTE STELLEN	.1	6.6			
MAX. M. KOORD. FEHLER	114.4 MM	.0 MM			
ITERATIONEN (MAX.)	2 ( 4)	0 ( 4)			
MAX. AEND. LETZTE IT.	.0 MM	.0 MM			
ABBRUCHSCHRANKE	20.0 MM	20.0 MM			
RECHENZEIT	7.9 SEK.	(CPU)			
Y,X,H NACH RUNDUNG	4 DEZ.				
ANZAHL STATIONEN	57				
BEOBACHTUNGSZEILEN	335				
MITTLERE FEHLER DER BEOBACHTUNGSGRUPPEN:					
DISTANZEN (MF FUER 1KM):		ANZAHL	A PRIORI	SCHLUSS	QUOT. REDUND.
MST-KORR IN PPM		ADD-KORR IN MM			
GR	MST	KORR	MF	ADD	KORR MF
1	1	-3.90	.66	23	32.0 MM 36.8 MM 1.15 17.786
2	2	-5.90	1.07	9	32.0 MM 34.7 MM 1.08 7.286
3	3	-5.54	.65	17	32.0 MM 36.5 MM 1.14 12.488
4	4	-6.08	.66	15	32.0 MM 29.7 MM .93 11.712
5	5	-4.59	.81	4	32.0 MM 22.9 MM .72 2.566
6	6	-7.77	.38	29	11.0 MM 13.0 MM 1.18 14.910
RICHTUNGEN (MF:1KM):		238	3.0 CC	3.5 CC	1.18 150.251

Tab. 5.4 LTop setzt sich auf S.103 - 105 fort

**Fig. 5.4.B:** Komb.Netz: Verschiebungen (Koord.Unterschiede) zum Richtungsnetz (RI), Fehlerellipsen, Zuverlässigkeits-Rechtecke

Masstab: Situation Verschiebungen, Fehlerellipsen, Zuverlässigkeitsrechtecke  
 0 40 km 0 20 mm



Tab. 5.4 LTop (Fortsetzung von S. 101):

1 ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD K3 ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 1

-----  
 VOLLSTAENDIGES KOORDINATEN- UND HOEHEN-VERZEICHNIS

\*\*\*\*\*

PUNKT	TYP	Y	X	H	GEOIDHOEHE	ETA	XI
		M	M	M	M	CC	CC
NULLBERN		.000	.000	.000	.000	.0	.0
LAEGER		72506.710	59415.880	856.110	.610	10.6	-29.4
HOERNL		113528.502	47763.546	1132.980	.250	-9.7	-6.3
RIGI		79519.965	12273.687	1797.520	-.175	-11.6	34.8
SCHEYE		117986.863	13204.919	2258.860	.764	-.2	30.4
TITLIS		76311.984	-19418.253	3238.290	1.743	-11.4	48.8
SCHEER		106100.465	-12848.638	3294.540	1.767	-26.6	30.0
BADUS		93825.590	-35795.653	2928.070	2.172	-4.8	10.5
TGIETS		121126.973	-32694.123	2857.650	1.973	.5	17.9
BASODI		79178.333	-59460.123	3272.440	2.235	17.7	-24.5
GRIDON		93480.421	-91294.568	2188.060	.981	51.2	-31.1
CRAMOS		108090.452	-64387.511	2717.920	1.459	23.6	-9.0
MENONE		131864.818	-90557.213	2244.470	-.025	5.0	-53.3
GENERO		122656.140	-112130.770	1701.320	-2.086	-13.9	-68.1
GESERO		130689.126	-83701.705	2227.140	.391	-15.5	-22.5
ALBIS		82732.628	35616.218	878.990	-.232	5.1	-7.8
PFANNE		93647.236	38275.349	800.120	-.198	2.2	-13.9
FORCH		91968.055	42080.451	695.120	-.122	4.6	-7.8
BRUETT		93040.558	58941.328	640.910	.381	2.7	-21.6
SCHAU		107662.140	57568.286	891.630	.362	-.2	-12.7
BACHTE		109403.694	39149.223	1110.250	.026	-19.5	-17.2
STOECK		104762.497	24034.242	1247.400	.074	-7.9	38.2
MYTHEN		95022.762	9524.365	1898.650	.339	-38.9	10.8
HUNDST		94684.501	-3024.759	2181.520	.905	-40.6	17.6
URIROT		83617.034	-9349.497	2928.340	1.202	-.3	65.2
BUOCHS		75376.491	-134.885	1806.780	.271	-26.1	65.5
DAMMAS		75216.152	-33724.689	3629.910	2.395	16.4	21.1
LUCEND		82908.362	-45248.052	2962.660	2.322	20.9	-13.7
BRISTE		94972.264	-23050.090	3072.480	1.766	-17.3	45.5
MURAU		112288.702	-29966.868	2897.280	1.910	-8.6	33.0
BOESFA		114684.786	2888.837	2801.770	1.207	-.9	30.0
FRECCI		126446.291	-52047.914	3202.430	2.033	-14.3	-40.7
CLARO		124510.520	-71655.896	2720.200	.999	-19.0	-54.6
VOGORN		112173.546	-78045.395	2442.260	.885	-3.9	-46.0
TAMARO		110364.876	-93176.400	1961.460	-.084	14.3	-35.5
CRAMAL		91393.458	-76660.125	2321.930	1.582	34.6	-7.1
SASSO		98174.895	-65562.317	2735.510	1.667	4.2	-19.0
SCOPI		106613.411	-41258.852	3187.000	2.073	-.1	-12.9
MASSAR		95579.253	-52060.938	2759.700	1.967	7.4	-6.4
LEMA		107916.753	-100259.620	1619.850	-.650	14.4	-39.9

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD (K3)  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5  
 SEITE 3

-----  
 KOORDINATEN UND HOEHEN, NEUPUNKTE MIT AENDERUNGEN UND MITTL. FEHLERELLIPSEN  
 \*\*\*\*\*

PUNKT	TYP	Y	X	H	DY	DX	DH	MFA	MFB	MFAZ	MFH	MESSELEM.
		M	M	M	MM	MM	MM	MM	MM	G	MM	LAGE HOE.
NULLBERN		.000	.000	.000								0 0
LAEGER		72506.710	59415.880	856.110								12 0
HOERNL		113528.502	47763.546	1132.980	-457.6	306.2		63.2	44.0	27.5		29 0
RIGI		79519.965	12273.687	1797.520	-85.1	247.0		65.1	32.6	77.3		31 0
SCHEYE		117986.863	13204.919	2258.860	-276.8	549.1		74.4	42.8	57.8		22 0
TITLIS		76311.984	-19418.253	3238.290	84.3	386.9		77.1	37.6	75.8		39 0
SCHEER		106100.465	-12848.638	3294.540	-145.5	381.9		77.7	36.5	75.3		31 0
BADUS		93825.590	-35795.653	2928.070	-170.1	436.6		74.5	33.5	74.7		35 0
TGIETS		121126.973	-32694.123	2857.650	-36.6	507.3		76.4	41.6	82.9		14 0
BASODI		79178.333	-59460.123	3272.440	-127.2	396.8		71.7	31.9	65.3		35 0
GRIDON		93480.421	-91294.568	2188.060	-238.7	121.7		53.1	26.3	49.7		27 0
CRAMOS		108090.452	-64387.511	2717.920	-107.8	328.7		62.9	27.1	77.8		38 0
MENONE		131864.818	-90557.213	2244.470	87.9	347.2		42.5	27.0	-79.4		13 0
GENERO		122656.140	-112130.770	1701.320								12 0
GESERO		130689.126	-83701.705	2227.140	66.3	334.8		47.3	30.5	-88.4		19 0
ALBIS		82732.628	35616.218	878.990	-111.7	187.7		65.7	54.0	65.7		14 0
PFANNE		93647.236	38275.349	800.120	-203.8	239.4		69.2	51.3	69.7		12 0
FORCH		91968.055	42080.451	695.120	-285.3	120.6		81.0	51.6	64.3		10 0
BRUETT		93040.558	58941.328	640.910	-242.2	67.9		72.8	48.3	-77.4		12 0
SCHAUE		107662.140	57568.286	891.630	-369.5	96.2		75.7	57.1	-25.7		10 0
BACHTE		109403.694	39149.223	1110.250	-376.1	303.0		78.0	48.5	36.0		9 0
STOECK		104762.497	24034.242	1247.400	-253.4	451.9		69.0	48.0	52.0		15 0
MYTHEN		95022.762	9524.365	1898.650	-208.1	374.9		84.0	49.5	53.0		11 0
HUNDST		94684.501	-3024.759	2181.520	-168.6	381.0		74.9	39.2	71.8		24 0
URIROT		83617.034	-9349.497	2928.340	-15.8	452.5		81.1	44.9	71.1		8 0
BUOCHS		75376.491	-134.885	1806.780	41.1	354.9		81.9	65.7	55.4		9 0
DAMMAS		75216.152	-33724.689	3629.910	41.8	551.0		82.1	60.5	62.6		10 0
LUCEND		82908.362	-45248.052	2962.660	-8.4	557.8		74.6	42.0	68.6		16 0
BRISTE		94972.264	-23050.090	3072.480	-125.6	430.1		80.0	42.9	74.7		13 0
MURAUN		112288.702	-29966.868	2897.280	-237.6	552.2		76.2	38.5	80.7		15 0
BOESFA		114684.786	2888.837	2801.770	-254.3	477.0		114.4	55.0	39.8		6 0
FRECCI		126446.291	-52047.914	3202.430	-69.2	556.1		91.8	77.5	-77.7		6 0
CLARO		124510.520	-71655.896	2720.200	9.7	333.6		63.8	39.7	-90.1		10 0
VOGORN		112173.546	-78045.395	2442.260	-83.7	314.6		54.9	29.6	77.4		20 0
TAMARO		110364.876	-93176.400	1961.460	-84.4	110.1		43.5	21.6	63.8		22 0
CRAMAL		91393.458	-76660.125	2321.930	-221.8	275.3		93.7	63.2	51.5		7 0
SASSO		98174.895	-65562.317	2735.510	-64.8	313.3		92.9	52.2	87.8		9 0
SCOPI		106613.411	-41258.852	3187.000	-289.0	418.0		71.4	31.9	77.0		29 0
MASSAR		95579.253	-52060.938	2759.700	-96.8	531.9		80.6	49.9	73.1		12 0
LEMA		107916.753	-100259.620	1619.850	-47.4	189.8		45.1	21.5	52.8		4 0

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD K3  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

-----  
 RELATIVE FEHLERELLIPSEN  
 \*\*\*\*\*

PUNKT 1	TYP 1	PUNKT 2	TYP 2	MFA	MFB	MFAZ
				MM	MM	G
HOERNL		GRIDON		61.2	49.8	67.2
HOERNL		TAMARO		58.9	51.8	53.9
RIGI		GRIDON		55.2	39.6	83.8
SCHEYE		TAMARO		62.8	44.1	67.1
RIGI		BASODI		48.5	33.4	83.1
SCHEYE		CRAMOS		54.2	44.3	97.0
RIGI		TITLIS		35.2	23.8	97.7
CRAMOS		TAMARO		38.0	20.7	89.3

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD **K5**  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:34

SEITE 4

-----  
 AEUSSERE ZUVERLAESSIGKEIT UND MITTLERE FEHLERELLIPSEN A PRIORI

\*\*\*\*\*

PUNKT	TYP	NA	NB	AZI (NA)	NH	NR.A	NR.B	NR.H	DY	DX	DH	MFA	MFB	MFAZ	MFH
		MM	MM	G	MM				MM	MM	MM	MM	MM	G	MM
HOERNL		267.3	125.0	118.2		23	7		-206.5	31.1		54.7	38.1	27.5	
RIGI		172.9	107.6	100.3		23	7		-84.1	185.9		56.3	28.1	77.3	
SCHEYE		180.8	115.8	124.4		23	7		-222.9	186.8		64.3	37.0	57.8	
TITLIS		144.1	103.6	96.6		23	7		-92.1	435.1		66.7	32.5	75.8	
SCHEER		140.4	97.0	115.7		23	7		-173.1	342.6		67.2	31.5	75.3	
BADUS		113.6	80.5	103.1		23	7		-118.5	393.6		64.4	29.0	74.7	
TGIETS		110.6	98.7	125.0		23	316		-147.7	446.9		66.0	36.0	82.9	
BASODI		102.2	59.9	61.4		184	7		-144.8	445.9		62.0	27.6	65.3	
GRIDON		127.2	65.2	55.0		184	185		-228.9	134.6		45.9	22.8	49.7	
CRAMOS		112.0	55.4	48.5		184	23		-179.9	350.3		54.4	23.4	77.8	
MENONE		168.6	85.7	36.0		184	197		63.2	222.6		36.7	23.3	-79.4	
GESERO		148.3	57.6	37.8		184	185		38.5	240.1		40.9	26.4	-88.4	
ALBIS		192.7	154.6	256.0		55	23		-72.0	105.4		56.8	46.7	65.7	
PFANNE		209.9	103.1	120.8		23	60		-117.7	86.9		59.8	44.3	69.7	
FORCH		191.1	130.2	120.9		23	67		-109.4	70.1		70.0	44.6	64.3	
BRUETT		199.7	174.8	102.7		23	73		-104.4	-10.7		62.9	41.8	-77.4	
SCHAUE		250.9	115.0	107.4		23	73		-173.9	-12.3		65.4	49.4	-25.7	
BACHTE		242.4	112.9	124.3		23	7		-191.5	74.5		67.4	41.9	36.0	
STOECK		219.5	201.5	31.9		86	23		-176.0	148.9		59.6	41.5	52.0	
MYTHEN		183.1	147.7	107.9		23	29		-154.6	208.9		72.6	42.8	53.0	
HUNDST		159.1	104.1	108.4		23	7		-163.9	288.4		64.7	33.9	71.8	
URIROT		161.8	108.7	261.1		159	158		-103.4	354.5		70.1	38.8	71.1	
BUOCHS		187.0	161.6	3.8		110	23		-52.6	306.4		70.8	56.8	55.4	
DAMMAS		146.4	117.7	147.8		321	317		-83.3	466.1		71.0	52.3	62.6	
LUCEND		108.3	77.3	91.9		23	7		-49.2	456.7		64.5	36.3	68.6	
BRISTE		129.9	91.8	106.8		23	7		-126.5	400.9		69.1	37.1	74.7	
MURAUN		115.3	81.6	118.2		23	7		-180.1	433.6		65.9	33.3	80.7	
BOESFA		349.6	183.9	225.0		97	95		-225.3	214.7		98.9	47.6	39.8	
FRECCI		315.6	257.7	165.7		228	281		-147.2	331.4		79.4	67.0	-77.7	
CLARO		129.9	101.6	44.6		184	200		-68.5	361.8		55.2	34.3	-90.1	
VOGORN		124.3	53.7	48.9		184	185		-108.7	302.0		47.5	25.6	77.4	
TAMARO		124.9	66.1	51.7		184	183		-82.9	94.4		37.6	18.7	63.8	
CRAMAL		381.4	248.9	13.6		208	163		-260.3	274.8		81.0	54.6	51.5	
SASSO		187.9	163.1	371.0		235	285		-173.9	359.3		80.3	45.1	87.8	
SCOPI		101.1	79.8	112.0		23	184		-277.4	338.5		61.7	27.5	77.0	
MASSAR		149.2	124.1	346.1		269	324		-166.5	449.1		69.7	43.1	73.1	
LEMA		658.8	112.8	239.0		187	185		-47.4	189.8		39.0	18.6	52.8	

R1 → K5

K3: Koordinaten-Änderungen relativ zu Landeskoordinaten (L+T):

S. 104

K5: Koordinaten-Änderungen relativ zu Richtungsnetz (R1):

S. 105

## 5.5 Massstabsfaktoren aus den Netzausgleichungen

### I. Überblick

Ein Hauptziel beim Projekt "Alpentraverse Gotthard" war die Bestimmung von genauen Längen (Distanzen) im Schweizerischen Triangulationsnetz - quer über die Alpen im Bereich Jura (Lägern) - Gotthard - Tessin.

Der Längenmassstab des Netzes "Alpentraverse Gotthard" wird durch die Massstabsfaktoren bestimmt, die sich aus den Netzausgleichungen ergeben. Die erhaltenen Werte sind daher grundlegend, wenn man Aussagen über absolute Längen im heutigen Zeitpunkt und über Längenänderungen im Laufe der Zeit (Krustenbewegungen) machen will. Ferner ergeben sich aus den erhaltenen Resultaten interessante Erkenntnisse über die Genauigkeit der elektronischen Distanzmessung und über den Einfluss verschiedener Mess-Faktoren - wie Art der Meteo-Erfassung, Typ des EDM-Gerätes, etc. - auf die elektronische Distanzmessung.

Aus diesen Gründen versuchen wir im folgenden die erhaltenen Massstabsfaktoren zu interpretieren. Zuerst geht es um die Frage, warum sich überhaupt unterschiedliche Massstabsfaktoren aus den verschiedenen Ausgleichungen ergeben können, und dann um die praktische Bedeutung der Resultate.

Die erhaltenen Massstabsfaktoren sind in den Tab. 5.5 (S. 118ff.) zusammengestellt.

### Warum verschiedene Resultate für die Massstabsfaktoren ?

Zunächst fällt auf: Die erhaltenen Werte für die verschiedenen Massstabsfaktoren variieren stärker, als man dies auf der Basis von zufälligen Fehlern erwarten würde. Daher wollen wir uns kurz überlegen, aus welchen Gründen sich aus den Ausgleichungen grundsätzlich verschiedene Werte für die Massstabsfaktoren (bzw. Massstabs-Korrekturen) ergeben können.

Man kann sich die folgenden Ursachen für diese Erscheinung vorstellen:

#### A. Alpentraverse und Landes-Fixpunktnetz haben verschiedene Längen-Massstäbe

Die Alpentraverse und die verwendeten Fixpunkte haben nicht den gleichen Massstab: Der Massstab der Alpentraverse wird aus den Distanzmessungen bestimmt, wobei der Geodimetermassstab als massgebend betrachtet wird, während die Fixpunkte (bzw. die Passpunkte bei einer Helmert-Transformation) den Massstab des aktuellen, etwa 100 Jahre alten Landesnetzes im Gebiet der Alpentraverse aufweisen, wobei dieser Massstab regional etwas ändern kann.

#### B. Verschiedene Meteo-Einflüsse auf die elektronische Distanzmessung

Die Meteorologie wirkt sich auf die verschiedenen Distanzmesser-Typen (Mikrowellen- bzw. Laser) nicht gleich aus: Bei der Datenaufbereitung (Meteo-Reduktion der Distanzen, Kap. 4) wurden die wesentlichen Einflüsse - soweit sie durch Meteo-

Messungen a priori erfasst werden können - schon berücksichtigt. Weitere systematische Einflüsse kommen erst in der Netzausgleichung zum Ausdruck - Einflüsse, die durch die Wetterlage, die Art der Meteo- Erfassung, die Art der Berücksichtigung bei der Distanz-Reduktion oder andere Ursachen bedingt sind.

C. Auswirkung von Modellfehlern bei der Netzausgleichung:

Unter verschiedenen möglichen Modellfehlern betrachten wir die zwei folgenden:

a) Krustenbewegungen:

Ein wichtiger systematischer Fehler wäre eine eventuelle Nichtidentität der Netzgeometrie in den beiden Mess-Epochen (1. Epoche: Richtungsmessungen in den Jahren 1908 - 1928, 2. Epoche: Distanzmessungen von 1969 - 1986). In den ca. 70 Jahren zwischen den beiden Messepochen können sich einzelne Punkte verschoben haben oder die ganze Erdkruste kann sich gesamthaft oder regional mehr oder weniger deformiert haben. Das Ignorieren von solchen Krustenbewegungen im Ausgleichungs-Modell wäre ein geometrischer /mathematischer Modellfehler.

b) Korrelation von Beobachtungen:

Hier geht es um den Einfluss der (mathematischen) Korrelation der Richtungen (aus den Stationsausgleichungen), besonders um den Einfluss auf die Massstabsfaktoren im kombinierten Netz. Wenn diese Korrelationen in der Ausgleichung nicht berücksichtigt werden, dann liegt ein sogenannter stochastischer Modellfehler vor.

D. Fehler an den Beobachtungen (systematische und zufällige):

Sie können sich in den Ausgleichungen der verschiedenen Netze (je nach Netz-Konfiguration) ungleich auf die einzelnen Massstabsfaktoren auswirken. Dieser Effekt ist natürlich unerwünscht aber durch unvermeidliche Fehler (an den Messungen oder bei ihrer Reduktion) nicht ganz zu vermeiden. Durch eine gute Netzkonfiguration (genügend Ueberbestimmung bzw. gute innere Zuverlässigkeit der Messungen) sollte er schon a priori soweit als möglich in Grenzen gehalten werden.

Der Vergleich der Resultate aus unseren alten Daten (mit kleinen Fehlern) mit den Resultaten aus neuen, bereinigten Daten ergibt - im Sinne eines empirischen Einzel-Versuchs - Aufschluss über die mögliche Auswirkung solcher unerkannter Fehler.

## II. Interpretation der Resultate: Massstabsfaktoren und ihre Bedeutung

Wir betrachten nun die Einflüsse der genannten Modell- und Verfahrens-Fehler auf den Massstab, soweit möglich, im einzelnen. Leider ist eine eindeutige Trennung der verschiedenen Einflüsse schwierig, da alle kombiniert auftreten können.

## A. Längenmassstab der Alpentravese und des Landesnetzes

### 1. Bezugssysteme für die Massstabsfaktoren

Die Längen-Angaben (Massstäbe) der beiden Systeme Landesnetz und Alpentravese haben nicht das gleiche Bezugssystem: einerseits konventionelle Landeskoordinaten, andererseits aktuelle Distanzmessungen. (Aus formalen Gründen wurde der Massstab bei allen Ausgleichungen an die amtlichen Landeskoordinaten angepasst):

#### a) Landessystem: Massstab aus Landeskoordinaten

Massgebend sind in jedem Fall die verwendeten Landes-Koordinaten der Fixpunkte. Im Normalfall sind dies die zwei Punkte Lägern (im Norden) und Monte Generoso (im Süden); für gewisse Genauigkeitsbetrachtungen gilt die Gesamtheit aller 14 Punkte erster Ordnung der Alpentravese (bei Lagerung mit Helmert-Transformation). Da der Massstab des Landesnetzes lokal und regional variiert, gibt es, je nach gewählten Fix- bzw. Passpunkten, Unterschiede im Massstabsfaktor. In allen Fällen wird der Massstab für die ganze Alpentravese an den mittleren Landesmassstab der verwendeten Lagerungspunkte angeglichen.

Im zweiten Fall (14 statt 2 Passpunkte) ergibt sich eine Differenz von 0.3 ppm an den resultierenden Massstabskorrekturen: die (negativen) Korrekturen werden um diesen Betrag (absolut) grösser, wenn die Alpentravese auf alle 14 (statt nur 2) Punkte 1.Ordnung transformiert wird.

#### b) Alpentravese: Massstab aus Geodimeter-Messungen

Der Massstab wird hier bestimmt durch die gemessenen Geodimeter-Distanzen.

In der Netzausgleichung werden für die verschiedenen Distanztypen (je nach Gerät und Messepoche) verschiedene unbekannte Massstabsfaktoren eingeführt. Durch die Ausgleichung werden diese dann dem Massstab des Landesnetzes angepasst und gegenseitig aufeinander abgestimmt. Als massgebend wird hier der Massstab der Geodimeter-Distanzen betrachtet. Dieser ist wesentlich genauer als der Massstab der Mikrowellen-Messungen mit SIAL-Geräten, die praktisch (neben den Richtungsmessungen) nur zur Verstärkung der Netzform und wenig zu ihrer absoluten Grösse beitragen.

### 2. Vorzeichen und Grösse der Massstabsfaktoren

a) Vorzeichen: Alle Massstabskorrekturen (Angabe in ppm = mm pro km) sind negativ: der Massstab der gemessenen Alpentravese ist in allen Fällen zu verkleinern um Übereinstimmung mit dem Massstab der verwendeten Landeskoordinaten zu erhalten.

Somit: Die neue Alpentravese (Massstab aus Geodimetermessungen) ist grösser /länger als das alte Landesnetz bzw. das Landesnetz ist im Vergleich zur Alpentravese zu kurz.

#### b) Grösse der Massstabsfaktoren

Verwendet man nur die reinen Distanznetze (ohne Richtungen) zur Massstabsbestimmung, so ergeben sich für die Geodimeter-Distanzen in der Alpentravese folgende Massstabs-Korrekturen beim Übergang auf das Landesnetz: (Achtung: es handelt sich um

pauschale Werte, d.h. um mittlere Massstabskorrekturen für die ganze Alpentravese!)

*Tab. 5.5 A Massstabskorrekturen in der Alpentravese: Überblick über Grösse  
(Auszug aus Tab.5.5 Alt / Neu, weiter hinten S.118f.)*

Lagerung	M-Korrektur in ppm f. Geodimeter	
	alte Daten	neue Daten
- auf nur zwei Punkte (Lägern und Generoso):	-6.9 bis -7.6	<b>-7.1 bis -7.8</b>
- auf alle (14) Punkte 1. Ordnung:	-7.2 bis -7.9	(-7.4 bis -8.1)
<i>Einfluss von</i>	<i>Lagerung:</i>	<i>-0.3 ppm,</i>
	<i>alte-neue Daten:</i>	<i>-0.2 ppm</i>

Die Alpentravese – mit dem Massstab aus Geodimetermessungen – ist also im Mittel um ca. **7 bis 8 ppm** grösser (länger) als das Landesnetz im betroffenen Gebiet (Lägern-Gotthard- Tessin). Umgekehrt: Die Längen des Landesnetzes sind (hier) im Mittel um 7 - 8 ppm zu klein. (Die Aussage ist ziemlich zuverlässig, denn der Einfluss von fehlerhaften, alten Daten ist nur 0.2 ppm, wie der durchgeführte Test zeigt).

## **B. Meteo-Einflüsse auf die Distanzmessung**

Es geht hier, wie schon erwähnt, um weitere (versteckte, implizite) Meteo-Einflüsse, die erst in der Netzausgleichung zum Vorschein kommen, obwohl an den Distanzmessungen natürlich die üblichen Meteo-Reduktionen (Datenaufbereitung, siehe Kap. 4) angebracht wurden. Dass diese (impliziten, versteckten) Einflüsse sich ungleich auswirken, zeigt sich in den Unterschieden der verschiedenen aus den Netzausgleichungen erhaltenen EDM-Massstäbe:

### 1. Variation des Massstabes im Netz je nach EDM-Gerät und Messepoche

#### a) Ursachen für die Unterschiede in den erhaltenen Massstabsfaktoren. Möglich sind:

Unerfasste Meteo-Einflüsse: Eine solche Variation ist, wie oben schon erwähnt, möglich durch unterschiedliche Auswirkung der Meteo-Einflüsse (je nach Instrumententyp, Wetterlage, Meteoerfassung etc.) auf die verschiedenen Distanzmessverfahren und bei verschiedenen Messkampagnen – Einflüsse, die bei der Datenaufbereitung noch nicht erfasst wurden und sich erst in der Netzausgleichung bemerkbar machen. Kritisch sind in dieser Hinsicht besonders die Mikrowellen-Distanzmessungen (SIAL). Es war gerade ein Ziel der hier vorgelegten Untersuchungen, die mögliche Grösse solcher Einflüsse festzustellen.

Nebeneffekte: Bei der Beurteilung muss man sich bewusst sein, dass folgende Nebeneffekte auf die Massstabsfaktoren nicht auszuschalten sind:

(i) Wahl des Bezugssystems: Unkritisch ist die Wahl der Passpunkte, da sie den gleichen Einfluss auf alle Massstabsfaktoren hat; es ändern sich also sämtliche Massstabsfaktoren um den gleichen Betrag (z.B. 0.3 ppm wenn 14 statt 2 Passpunkte gewählt werden,

siehe oben). Dies gilt auch für den Fall der Lagerung mit einer Helmert-Transformation, bei der bekanntlich durch fehlerhafte Passpunkte wohl andere Massstabsfaktoren entstehen aber das *Verhältnis* der verschiedenen Massstäbe erhalten bleibt.

(ii) *Auswirkung von Mess-Fehlern auf die Massstabsfaktoren*

Kritisch und natürlich unerwünscht ist eine Auswirkung von (zufälligen, systematischen und kleinen, unerkannten groben) Fehlern an den Messungen (sei es bei der Datenerhebung oder bei der Reduktion der Messungen) auf die Massstabsfaktoren. Möglich ist dies, da besonders das reine Distanznetz nicht sehr zuverlässig bestimmt ist. Dies zeigt sich schon rein optisch auch darin, dass die verschiedenen Netzteile (Nord, Gotthard, Süd) nur über je zwei Punkte, also ziemlich schwach, miteinander verbunden sind.

b) Resultate: Streuung / Unsicherheit der erhaltenen Massstabsfaktoren

Wir betrachten hier nicht die absolute Grösse der Massstabsfaktoren sondern deren Unterschiede (Streuung) für die verschiedenen Distanzmessertypen und Messkampagnen.

Die Streuung (Diff. Max.- Min.) der Massstabsfaktoren aus den verschiedenen Netzausgleichungen (reine Distanznetze) erreicht in den Varianten mit 9 bzw. 6 Massstabsfaktoren (Mf) folgende Beträge ( in ppm):

*Tab. 5.5 B: Streuung (Max.-Min) der erhaltenen Massstabsfaktoren*

Distanz-Typ	Anzahl Mf*:	Alte Daten		Neue Daten	
		9 Mf	6 Mf	6 Mf	Bemerkg.
1) SIAL-Messungen		5.7	1.1	0.9	D-Netz
nur mit Flug-Meteo-Reduktion:		6.5	1.5	1.5	Komb.Netz
2) Geodimeter-Distanzen					
zuverlässige Messungen		4.4	0.0*	0.0*	*nur 1 Mf
(mit unsicheren Messungen)		(6.8 )	0.0*	0.0*	*nur 1 Mf

Keine (interne) Streuung ist möglich, bei nur 3 Massstäben : 2 für SIAL: Stations- bzw. Flug-Meteo und 1 Geodimeter-Massstab.

c) Kommentar / Beurteilung

Zwar ist bekannt, dass Mikrowellen-Distanzmessungen (bezüglich absolutem Massstab) immer etwas unsicher sind, doch überrascht bei den SIAL-Messungen die grosse Streubreite der Resultate (allerdings nur bei 9 Massstabsfaktoren). Auch bei den Geodimetermessungen ist man etwas erstaunt über die recht grosse Streuung, erwartet man doch eine absolute Genauigkeit von ca.1 ppm (bei kritischen Meteoverhältnissen vielleicht etwas mehr).

Gründe für diese unerwartete Erscheinung? Es muss angenommen werden, dass die schlechte Übereinstimmung der Massstabsfaktoren eine Folge der oben erwähnten Auswirkung von zufälligen und systematischen Fehlern (Fehlerfortpflanzung) im Netz ist, die je nach verwendetem Modell (Netz, Beobachtungen, Anzahl Massstabsfaktoren) verschieden sein kann. Ferner sind hier zum Teil auch zu wenig Messungen pro Distanzgruppe vor-

handen, und die vielen SIAL-Distanzen können auch die wenigen Geodimeter-Distanzen beeinflussen, falls mehrere Geodimeter-Massstäbe eingeführt werden.

Folgerung: Führt man 9 Massstabsfaktoren in die Ausgleichung ein, so müssen die erhaltenen Resultate als unzuverlässig betrachtet werden, auch wenn sich formell aus den Ausgleichungen mittlere Fehler an den Massstabsunbekannten von nur ca.  $\pm 1.5$  ppm ( $\pm 1.1$  bis  $\pm 2.2$  ppm) ergeben ( $2\sigma$ -Toleranz für die Differenz von 2 Massstäben wäre:  $2 \cdot 1.5 \cdot \sqrt{2} = 4.2$  ppm).

d) Massnahme: Einheitlicher Geodimeter-Massstab (für alle Netze und Kampagnen)

Um solche unerwünschten Effekte auf den Massstab zu verunmöglichen und um die praktische Zuverlässigkeit der Resultate zu erhöhen, wird in den weiteren Varianten (2 und 3) die Anzahl der Massstabsunbekannten reduziert: Es wird für alle Geodimetermessungen in allen Netzteilen und in allen Messepochen der gleiche Massstabsfaktor eingeführt, wobei man scheinbar etwas an Genauigkeit verliert aber dafür zuverlässigere Resultate erhält. Diese Annahme scheint auf Grund der bisherigen langjährigen Erfahrungen mit Geodimetermessungen berechtigt, hat sich doch bisher auch bei Messungen aus sehr verschiedenen Epochen eine gute Übereinstimmung der Geodimeter-Massstäbe ergeben.

Diese Massnahme ergibt nun eine wesentlich bessere Übereinstimmung der resultierenden Massstabsfaktoren für SIAL-Distanzen (die mit Flug-Meteo reduziert sind). Die Streuung (Diff. Max.-Min.) liegt nun innerhalb 0.9 ppm (alte Daten: 1.1 ppm), d.h. innerhalb eines Bereiches von ca.  $\pm 0.5$  ppm. (siehe oben Tab. 5.5 B, S. 119).

2. Massstabs-Differenzen aus den Netzausgleichungen:

Unterschied der Mikrowellen- und Laser (Geodimeter)-Massstäbe

Nachdem alle Distanzen mit Flug-Meteo reduziert worden sind, ergeben sich aus einem Vergleich der reinen Distanznetze (um andere Einflüsse auszuschalten) folgende systematische Differenzen für die beiden Distanztypen (Auszug aus Tab. 5.5, S. 118 f.):

*Tab. 5.5 .C Differenz der Massstäbe Mikrowellen (SIAL) - Laser (Geodimeter)*

<i>Netz</i>	<i>Alte Daten</i>	<i>Neue Daten</i>
Nord	1.4 ppm	1.7 ppm
Gotthard	1.9 ppm	2.1 ppm
Süd	(2.5) ppm	(1.9) (unsicher: wenig Daten)
Gesamtmittel	1.8 ppm	<b>1.9 ppm</b>

Betrachtet man den Massstab der Geodimeterdistanzen als richtig, so ergibt sich (nach durchgeführter Flug-Meteo-Reduktion) aus den Netzausgleichungen:

*Mikrowellen-Distanzen sind (auch bei aufwendiger Flug-Meteo-Erfassung) im Mittel immer noch absolut zu kurz um 1.9 ppm.*

### 3. Art der Meteo-Erfassung: Lohnt sich Flug-Meteo gegenüber Stationsmeteo?

Frage: Lohnt sich der Aufwand, mit einem Klein-Flugzeug die Messstrecke abzufliegen, um die Meteorologie längs des ganzen Messstrahls zu erfassen, statt einfacher und wie üblich, nur auf den beiden Endpunkten einer Mess-Strecke die Meteo-Elemente zu erheben?

Zur Beantwortung dieser Frage sind alle Meteo-Einflüsse auf die Distanzmessung zu berücksichtigen nämlich:

- a) a priori Meteo-Distanzreduktion
- b) weitere Einflüsse aus den Netzausgleichungen

#### a) A priori-Einfluss auf die Meteo-Distanzreduktion

In Abschnitt 4.4.1 (S. 42) wurde festgestellt, dass durch die Meteo-Erfassung mit Hilfe von Flugzeugen gegenüber der gewöhnlichen einfachen Erfassung auf den beiden Endpunkten einer Messstrecke die Meteo-reduzierten Distanzen um folgende Beträge ändern:

- Geodimeterdistanzen werden (tendenziell, aber praktisch kaum ) kürzer um
  - 0.5 ppm  $\pm$  0.5 ppm. Oder: Geodimeterdistanzen, mit Stationsmeteo reduziert, sind tendenziell etwas zu lang, um ca. 0.5 ppm
- Mikrowellen-(SIAL)-Distanzen werden mit Flugmeteo eindeutig länger um
  - 3.3 ppm  $\pm$  0.5 ppm. (SIAL-Distanzen, wie üblich mit Stationsmeteo reduziert, sind um 3.3 ppm zu kurz).

#### b) Weitere Meteo-Einflüsse aus der Netzausgleichung (a posteriori)

Weitere Massstabsunterschiede (je nach EDM-Typ und Meteo-Methode), die bei der Daten-Reduktion nicht erfasst werden konnten, zeigen sich erst bei den Netzausgleichungen:

- SIAL-Distanzen, mit Flugmeteo reduziert, sind gegenüber Geodimeterdistanzen im Mittel der Alpentravese zu kurz um 1.9 ( $\pm$  ca.0.5) ppm (aus neuen, bereinigten Daten).

Ein direkter Vergleich (Flug-Meteo gegen Stations-Meteo) ist nur im Teilnetz Gotthard möglich, und hier sind die Resultate leider etwas unsicher (Diff.  $1.7 \pm 1.1$  ppm), bedingt durch eine zur Zeit der Messungen vorliegende Meteo-Inversionsschicht.

- Für Geodimeterdistanzen ist aus unseren Messungen ein Vergleich nicht möglich.

#### c) Gesamteinfluss der Meteorologie auf EDM-Messungen

Beide Einflüsse zusammengenommen (a priori aus Meteo-Reduktion und a posteriori, dh. aus Netzausgleichungen) ergeben: Distanzen, die nur mit Stationsmeteo statt mit genauerer Flug-Meteo reduziert sind, haben folgende absolute Fehler:

- Mikrowellen-(SIAL)-Distanzen sind absolut um 5.2 ( $\pm$  0.7) ppm zu kurz. (Distanzreduktion a priori: 3.3 ppm; aus Netzausgleichung bzw. a posteriori: 1.9 ppm; total 5.2 ppm)
- Geodimeterdistanzen sind eher etwas zu lang, allerdings nur um 0.5 ppm; mit andern Worten: sie sind auf ca.  $\pm$  0.5 ppm absolut richtig. (Wert aus a priori-Vergleich).

***Folgerungen: Flug-Meteo bei elektronischen Distanzmessungen?***

*Für Geodimeter-Distanzen ist eine (recht aufwendige) Flug-Meteo- Erfassung nicht nötig: auch bei einfacher Stationsmeteo ist der Restfehler nur etwa 0.5 ppm (die Distanzen sind zu lang).*

*Bei Mikrowellendistanzmessungen ist der Einfluss aber erheblich: 3.3 ppm schon bei der a priori-Datenaufbereitung (Die gemessenen Distanzen sind soviel zu kurz). Nach dieser Reduktion sind Mikrowellendistanzen immer noch um  $1.9 \pm 0.5$  ppm zu kurz.*

*Sinnvoll sind also Mikrowellendistanzen auch bei aufwendiger Flug-Meteo-Erfassung nur, wenn sie mit einer genaueren Methode der Distanzmessung (Laser-Distanzen bzw. heute GPS-Messungen) kombiniert werden können.*

### **C. Auswirkung von Modell-Fehlern auf den Massstab: Krustenbewegungen / Korrelation der Richtungen**

Die Frage ist hier: Wie wirken sich solche Modell-Fehler, je nach gewählter Netzausgleichung, auf die resultierenden Massstabsfaktoren aus?

Unter möglichen Modellfehlern betrachten wir :

- 1) Änderung der Netzgeometrie durch rezente Krustenbewegungen im Laufe der 70-jährigen Messperiode
- 2) Einfluss der Korrelation der Richtungen (aus Stationsausgleichungen) auf den Massstab.

#### **1. Einfluss von Krustenbewegungen auf den Massstab**

##### 1) Problem

Da zwischen Richtungsmessungen und Distanzmessungen ca. 70 Jahre vergangen sind, stellt sich die Frage: Sind die Netze der beiden Epochen (Richtungsmessungen ca. 1910, Distanzmessungen ca. 1980) geometrisch überhaupt identisch oder sind dazwischen gesamthafte bzw. regionale und lokale Netzdeformationen (tektonische Krustenbewegungen) oder / und einzelne Punktverschiebungen aufgetreten?

Diese ziemlich umfassende Frage soll hier vorläufig nur pauschal untersucht und auf die vereinfachte Frage reduziert werden: Ist zwischen den beiden Messepochen *gesamthaft* eine Längen- oder Formänderung aufgetreten? (Eine detailliertere, regionale Untersuchung folgt in Kapitel 7).

Zu bedenken ist: Richtungsmessungen bestimmen bekanntlich nur die Form, nicht aber die Grösse eines Netzes.

Die Richtungen wurden ca.70 Jahre früher gemessen als die Distanzen. Wenn sich in dieser Zeit die Netzgrösse in allen Richtungen gleichmässig (ähnlich) verändert hat, so ist eine Kombination mit Distanzmessungen aus einer andern Epoche kein Problem, da es sich nur um

eine Massstabsänderung über das ganze Gebiet handelt. Hat aber eine Formänderung stattgefunden, d.h. haben sich die Distanzen nicht in allen Richtungen gleich verändert (z.B. eine Verkürzung der Alpen in Nord-Süd Richtung bei gleicher oder vergrößerter Ausdehnung in Ost-West-Richtung), so wird die damit verbundene Formänderung des Netzes bei der Kombination von Richtungen aus der frühern Epoche mit Distanzen aus einer spätern Epoche zu Zwängen bei der Netzausgleichung und zu Änderungen an den Unbekannten (Koordinaten, Massstabsfaktoren) führen. Noch komplexer wird der Sachverhalt, wenn die Deformationen auch regional und richtungsmässig verschiedenen sind.

## 2) Untersuchungs-Methode

Zur Abklärung der gestellten Frage wird hier untersucht, wie sich diese Kombination von Richtungen und Distanzen (aus zwei verschiedenen Epochen) auswirkt auf die Grössen:

a) mittl.Fehler der Gewichtseinheit, b) Änderung der Massstabsfaktoren.

Verglichen wird das kombinierte Netz (kritische Mischung aus 2 Epochen) mit dem reinen Richtungs- bzw. reinen Distanznetz (aus je einer Epoche).

3) Resultate: Der Vergleich der beiden Netzausgleichungen (a: nur alte Richtungen, b: alte Richtungen und neue Distanzen) ergibt:

a) Der mittl.Fehler der Gewichtseinheit a posteriori (aus der Netzausgleichung)

ist bei kombinierten Netzen in allen Fällen leicht grösser als bei reinen Distanznetzen. Dasselbe gilt für den Vergleich kombinierter Netze mit reinen Richtungsnetzen. Numerisch ist die Vergrößerung allerdings relativ klein, ca. 10 bis 20 %. Immerhin ist damit eine Nichtkongruenz der Netze aus beiden Epochen angedeutet, obwohl sie mit Sicherheit nicht festgestellt werden kann.

b) Änderung der Massstabsfaktoren durch Vereinigung von Richtungen und Distanzen

Die Massstabsfaktoren der kombinierten Netze (genüber dem Landesnetz) sind im allgemeinen (absolut) grösser als die entsprechenden Werte der reinen Distanznetze. (Aus reinen Richtungsnetzen lässt sich, wie schon oben erwähnt, kein Massstabsfaktor bestimmen).

Die Kombination der Richtungen aus der früheren Epoche mit den Distanzen aus der späteren Epoche in der Netzausgleichung bewirkt also eine Vergrößerung (Verlängerung) der Alpentravese. Hätte das alte Richtungsnetz nur die Grösse (nicht die Form) geändert, so wäre ein solcher Einfluss nicht möglich, da er mit einer Massstabsänderung voll aufgefangen werden könnte. Es muss also geschlossen werden, dass das Richtungsnetz (gesamthaft und pauschal betrachtet) eine Formänderung erfahren hat und dass es früher schlanker und mehr in die Länge gezogen war. (Idee: Das schlankere, längere Richtungsnetz drückt dem Distanz-Netz seine Form auf und bewirkt so eine Verlängerung des kombinierten Netzes).

### Folgerung:

*Zur Zeit der Richtungsmessungen (ca. um 1910) war die Alpentravese wahrscheinlich grösser (länger) als zum Zeitpunkt der Distanzmessungen (ca. 1980).*

c) Grösse der Längenänderung (Krustendeformation?)

Numerisch ergeben sich (durch die kombinierte Ausgleichung) folgende Änderungen an den Absolutbeträgen der Massstabsfaktoren:

- SIAL-Messungen:	Stationsmeteo : Teilnetz Gotthard:	(+ 0.6 ± 0.9 ppm)
	Flugmeteo: Mittel aller Teilnetze:	+0.5 ± 0.5 ppm
- Geodimeter-Messungen (alle):		<b>+0.7 ± 0.6 ppm</b>

4) Beurteilung der Längenänderung bzw. Krustendeformation

a) Die erhaltenen Werte für die Längenänderung (0.5 bis 0.7 ppm) sind - gemessen an den mittleren Fehlern - sehr unsicher, aber doch mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 60 bis 70 % eher Realität als Fiktion.

b) Eine weitere Frage ist zu überlegen: Bedeuten die erhaltenen Zahlen die gesamte Längenänderung oder nur einen Anteil davon?

Es ist anzunehmen, dass durch die gemeinsame Ausgleichung von Messungen aus verschiedenen Epochen mit unterschiedlichen Massstäben bzw. Netzformen ein mittlerer Massstab aus *beiden* Epochen bestimmt wird, wobei die Mittelung sich nach dem Gewicht der Messungen beider Epochen richtet. Da die Distanzmessungen wesentlich grösseres Gewicht haben als die Richtungsmessungen, ist anzunehmen, dass der andere Massstab der Richtungsmessungs-Epoche sich in einer kombinierten Ausgleichung nur zum Teil in einem andern Massstab des kombinierten Netzes niederschlägt.

Mit andern Worten: Die angegebenen Zahlen sind wahrscheinlich nur ein Teil der gesuchten Massstabs-Änderung zwischen den beiden Messepochen.

Oder: Zur Zeit der Richtungsmessungen (1910) war die Alpentravese mindestens 0.7 ppm (wahrscheinlich aber mehr), länger als zur Zeit der Distanzmessungen.

*Folgerung: Gesamthaft haben sich die Alpen zwischen den beiden Punkten Lägern und Generoso im Laufe von 70 Jahren also um mindestens 0.7 ppm = 12 cm verkürzt.*

Wie zuverlässig ist diese Aussage?

Leider relativ unsicher. Zwar ist der mittl. Fehler des massgebenden Geodimeter-Massstabes aus der (kombinierten oder auch reinen Distanz-) Ausgleichung relativ klein, je ca. ± 0.4 ppm. Die Längenänderung von 0.7 ppm ergibt sich aber aus dem Vergleich mit dem Richtungsnetz (ohne Massstabsangabe!). Wie in Abschnitt 5.2 gezeigt wurde, kann mit reinen Richtungsmessungen die Länge Lägern-Generoso aber nur auf ± 3.5 ppm genau bestimmt werden, wobei noch mindestens eine absolute Länge festgehalten werden muss (in diesem Beispiel die Distanz Lägern-Hörnli).

Der festgestellte Effekt könnte auch das Resultat von andern Einflüssen sein, z.B. der Auswirkung von systematischen Einflüssen der Seitenrefraktion bei der Winkelmessung.

### 5) Vergleich mit weiteren Untersuchungen

Weitere Untersuchungen zu diesem Thema, besonders im Hinblick auf regionale Netzdeformationen, werden im Kap. 7 angestellt.

Es wird sich dort (allerdings mit einer ziemlich grossen Unsicherheit) ergeben, dass die Distanzen über die Alpen in der gleichen Zeit von ca. 70 Jahren teils kürzer, aber auch teils länger geworden sind: Gesamthaft wären folgende Distanzänderungen in 70 Jahren eingetreten:

*Tab. 5.5 D: Krustendformationen /Längenänderungen  
im Bereich der Alpen traverse (Auszug aus Kap.7)*

Gebiet	Distanz	Änderung (cm)	Änderung relativ (ppm)
Lägern- Gotthard	97 km	- 18 cm	-1.9 ppm kürzer
Gotthard-Generoso	82 km	+ 98 cm	+12.0 ppm länger
<u>Total: Lägern-Generoso</u>	179 km	+ 70 cm	+ 3.9 ppm länger

*Hauptresultat (aus Kap. 7, aus der Analyse der regionalen Deformationen) :*

*Die Distanz Lägern-Generoso hat sich in 70 Jahren um 3.9 ppm = 70 cm verlängert.*

Dieses Resultat steht (leider) im Widerspruch zu unserer Schlussfolgerung aus diesem Kapitel 5.5: Hier ergibt sich (in der gleichen Zeit von ca.70 Jahren) eine Verkürzung der Gesamtdistanz von mindestens 0.7 ppm = 12 cm. (Pro memoria: Diese Längenänderung von 1910 bis ca 1980 wurde aus der Interpretation der Massstabsänderung - Richtungsnetz 1910 im Vergleich zum kombinierten Netz 1910 / 80 - gefolgert.)

Allerdings sind beide widersprechenden Deformationsaussagen für die Veränderung der Gesamtdistanz Lägern-Generoso - einerseits eine Verkürzung (aus Kap. 5.5), andererseits eine Verlängerung (aus Kap. 7) - wie schon erwähnt, ziemlich unsicher.

Eine mögliche Erklärung dieses Widerspruches läge vielleicht darin, dass die grosse Längenänderung im Südnetz sowohl längs als auch quer zur Traverse vorhanden ist, sich also rein geometrisch betrachtet als Ähnlichkeitsverformung ausdrückt und somit im Massstabsfaktor der Ausgleichung nicht erscheint.

## 2. Korrelation der Richtungen : Einfluss im kombinierten Netz

Die Frage heisst hier: Lohnt es sich, die Korrelation der Richtungen (aus den Stationsausgleichungen) in der kombinierten Netzausgleichung zu berücksichtigen? (Entwicklung eines Programmes, das dies gestattet und Durchführung der Arbeit).

Betrachten wir die Auswirkungen dieser Massnahme auf die folgenden Grössen:

a) Mittlerer Fehler der Gewichtseinheit

Die Berücksichtigung der Richtungs-Korrelationen ergibt im kombinierten Netz ein leicht besseres mathematisches Modell, wenn das Kriterium verwendet wird: kleinerer mittl.Fehler der Gewichtseinheit. Allerdings ist der Unterschied (von ca. nur 4% ) praktisch nicht signifikant. Im reinen Richtungsnetz dagegen wirkt die Richtungskorrelationen umgekehrt: hier hat sich ein grösserer Einheitsfehler bei Berücksichtigung der Korrelationen ergeben.

b) Einfluss auf die Punktkoordinaten

Es ergeben sich Koordinatenunterschiede von 10 bis 20 mm bei mittl. Koordinatenfehlern von 60 bis 200 mm, also Änderungen innerhalb von etwa 10% der Unsicherheit der Punkte. Diese Änderungen sind praktisch nicht von Bedeutung, besonders im Vergleich zu den viel grösseren Einflüssen möglicher Krustendeformationen im Verlauf der betrachteten Epoche.

c) Einfluss auf den Massstabsfaktor

Resultat: Hier ist es praktisch ohne Bedeutung, ob die Richtungen mit oder ohne Korrelation (aus den Stationsausgleichungen) in die Netzausgleichung eingeführt werden.

*d) Folgerung*

*Gesamthaft gesehen ist die Berücksichtigung der Korrelation der Richtungen (aus den Stationsausgleichungen) nicht unbedingt erforderlich, obwohl die statistischen Aussagen etwas zuverlässiger werden, wenn man diese Korrelationen berücksichtigt.*

#### **D. Einfluss von Beobachtungsfehlern auf den Massstab**

Der Vergleich der alten, leicht fehlerhaften Daten mit noch nicht optimalen Gewichten mit neuen, bereinigten Daten und besser aufeinander abgestimmten Gewichten (siehe Kap. 4.4.1 und oben) ergibt (im Sinne eines Testes):

- Diese Fehler bewirken am mittleren Massstabsfaktor nur eine Änderung von 0.2 ppm.
- Geodimeter- und Mikrowellen-Massstäbe passen mit bereinigten Daten etwas besser zusammen.
- Die grundsätzlichen Erkenntnisse aus der Untersuchung über die Anzahl der Massstabsfaktoren (9, 6, 3) bleiben erhalten.

Gesamthaft gesehen scheint also unser Distanznetz für Massstabs-Aussagen doch recht unabhängig von zufälligen Fehlern bzw. recht zuverlässig zu sein. Allerdings ist dies nur ein empirischer Versuch zum Thema Zuverlässigkeit, und eine gewisse Skepsis gegenüber den erhaltenen Resultaten bleibt bestehen.

Beilage: Tab. 5.5 : Massstabs-Faktoren aus den Netzausgleichungen (S. 118 - 120).

### Tabellen 5.5: Massstabs-Faktoren aus Netzausgleichungen (Erläuterungen auf S. 120)

Bedeutung des Massstabsfaktors:

Massstabsfaktor  $M_f = 1 + m$ ;  $m = \text{Massstabskorrektur in ppm} = 10^{-6}$

Alpentravese \* Massstabsfaktor = Landesnetz (Alpentravese + M-Korr. = Landesnetz)

**Tab. 5.5 A: Massstabskorrekturen aus *alten*\* Daten** (Programm KONHEL)

\* mit kleinen Fehlern

Variante Anz. Massstabsf. Beobachtg. Korrelation (Ri)	1a 9 Dist.	1b 9 Komb. mit	2a 6 Dist.	2b 6 Komb. mit	2c 6 Komb. ohne	3a 3 Dist.	3b 3 Komb. mit	Anz. Dist.	
$Q = s_0 / \sigma_0$ Überbestimmung f	1.01 49	1.12 212	1.10 52	1.17 215	1.23 215	1.09 55	1.17 218		
<b>Netz</b>	<b>Nr.Mf</b>		<b>Massstabskorrekturen m</b>						
<u>SIAL (Stat.Meteo)</u> G 81 1	-3.3	-4.1	-3.1	-3.8	-3.7	-3.0	-3.7	23	
<u>SIAL (Flug-Meteo)</u> N 86 4 N1 85 5 G 83 2 S 85 3	-3.3 -2.3 -5.1 -8.0	-2.8 -1.0 -5.9 -9.3	-5.5 -4.7 -5.0 -4.4	-6.2 -4.7 -5.6 -4.8	-6.1 -4.8 -5.7 -4.8			15 4 9 17	
<b>Gewogenes* Mittel</b>	-5.4	-5.7	<b>-4.9</b>	<b>-5.4</b>	<b>-5.4</b>	-4.9	-5.2	45	
<u>Geodimeter</u> N div. 8 G div. 7 S 85 6 S1 div. 9 Gew*. Mittel / alle ohne ( )	-4.5 -6.8 (-11.3) -8.9 (-7.2) -6.6	-3.7 -7.6 (-13.0) -12.0 (-8.2) -7.6	nur 1 Mf.			nur 1 Mf.			8 8 3 7 26
<b>Differenzen</b>	<b>SIAL minus Geodimeter (in gleichen Netzteilen)</b>								
SIAL (Stat.Meteo) - Geodim. Nur Netz Gotthard	3.5	3.5	3.8	3.8	3.9	3.8	3.8	23/8	
SIAL (Flug-Meteo) - Geod. Teilnetz N G S	1.2 1.7 (3.3)	0.9 1.7 (3.7)	1.4 1.9 (2.5)	1.4 2.0 (2.8)	1.5 1.9 (2.8)			8 8 3	
<b>Gewogenes* Mittel</b>	1.7	1.7	<b>1.8</b>	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>	1.9	2.3	19	

Bem.: \*Gewicht : p = Anz. Distanzen ( ) := Resultat unsicher, da nur 3 Distanzen

**Tab. 5.5 B: Massstabskorrekturen aus neuen (bereinigten) Daten**

(Verwendetes Programm: LTOP)

Varianten: Hier nur massgebende Varianten mit 6 Massstabsfaktoren!  
 Richtungen: ohne Korrelationen (aus Stationsausgleichungen)

Variante: Anz. Massstabsf.: Beobachtungen: Korrel. d.Richtg.	2a 6 Dist. -	2c 6 Komb. ohne	Diff. 2c-2a =Einfluss der Komb.	Anz. Dist. .
Q = $s_o / \sigma_o$ Überbest. f	0.93 53	1.16 217		
<i>Netz</i> <i>Masst.f.&gt;</i> <i>                  </i> <i>Nummer</i>	m $s_m$	m $s_m$	Diff.	Anz.
<u>SIAL (Stat.Meteo)</u> G 81      1	-3.3 ±0.6	-3.9 ±0.7	-0.6	23
<u>SIAL (Flug-Meteo)</u> N 86      4 N1 85     5 G 83      2 S 85      3	-5.4 ±0.6 -4.5 ±0.7 -5.0 ±0.9 -5.2 ±0.7	-6.1 ±0.7 -4.6 ±0.8 -5.9 ±1.1 -5.6 ±0.7	-0.7 -0.1 -0.9 -0.3	15 4 9 17
Gewogenes Mittel*	<b>-5.2 ±0.3</b>	<b>-5.7 ±0.4</b>	<b>-0.5</b>	45
<u>Geodimeter</u> (nur 1 Mf)	<b>-7.1 ±0.4</b>	<b>-7.8 ±0.4</b>	<b>-0.7</b>	29
<i>Differenzen</i>	<i>SIAL minus Geodimeter (in gleichen Netzteilen)</i>			
Netz nur Gotthard	SIAL(Stat.Meteo) - Geodimeter 3.8                      3.9		0.1	23/8
Teilnetz N G S Gewogenes* Mittel	SIAL(Flug-Meteo) - Geodimeter 1.7                      1.7 2.1                      1.9 (1.9)                    (2.3)		0.0 -0.2 (0.4)	8 8 3 19
	<b>1.9</b>	<b>1.9</b>	<b>0.0</b>	

**Bemerkungen:**

\* Gewicht: p = Anzahl Distanzen  
 ( ) = unsicher, weil nur 3 vergleichbare Distanzen

Varianten: Die Varianten 1 (9 Massstabsfaktoren) und 3 (3 Massstabsfaktoren) wurden hier (mit neuen, bereinigten Daten) nicht mehr berechnet, da die alten Daten genügen, um den Einfluss der Anzahl der Massstabsfaktoren abzuklären.

Kolonne Diff.: Einfluss der Kombination (von Richtungen und Distanzen) statt nur Distanzen

**Erläuterungen zu den Tabellen 5.5: Massstabsfaktoren aus Netzausgleichungen***a) Berechnungs-Varianten*

(in Tabelle 5.5 A /B von links nach rechts)

Netz	Berechnung-Varianten			
	Alte Daten (5.5A) (Programm KONHEL)			Neue Daten (5.5B) (Progr.LTOP)
Anz.Massstabsfaktoren	9	6	3	6
a) reine Distanznetze:	1a=DAT20	2a=DAT22	3a=DAT24	2a=D10
b) Kombinierte Netze : Di + Ri <u>mit</u> Korrel. Di + Ri <u>ohne</u> Korrel.	1b=AT20	2b=AT22 2c=AT22oK	3b=AT24 2c=K3	

Varianten: Die Netzausgleichungen unterscheiden sich in der Anzahl der verwendeten Massstabsfaktoren für die Distanzen (9, 6, 3), sowie in einem Fall (2c) durch das Weglassen der Korrelation der gemessenen Richtungen.

Lagerung: immer auf die Punkte Lägern und Generoso. Der Massstab bezieht sich damit auf die Landeskoordinaten-Distanz zwischen diesen Punkten.

*b) Netzteile:* (von Norden nach Süden, bzw. in Tab. 5.5 A/B von oben nach unten)

Kurz	Netz	Region
N	Nord:	Lägern-Titlis
N1	Nord:	Kampagne Lägern-Rigi-Titlis
-----	Trennungslinie:	Titlis-Scheerhorn
G	Gotthard	Gotthard
-----	Trennungslinie:	Basodino-Cramosino
S	Süd :	Basodino-Gridone
S1	Süd:	Gridone-Generoso (ältere Messungen)

*c) Wahl der Massstabsfaktoren (Massstabs-Gruppen)*

Je nach Messgerät, Messepoche / Gebiet und für die Distanzreduktion verwendeter Meteorologie wurden folgende Massstabsfaktoren (Mf) eingeführt:

Nr. Mf	Gerät	Epoche Netz / Gebiet			Meteo für D-Reduktion	Anz.Dist.	
						Teil	Total
1	SIAL	1981	G	Gotthard	Station	23	23
2	SIAL	1983	G	Gotthard	Flug	9	
3	SIAL	1985	S	Süd	Flug	17	
4	SIAL	1986	N	Nord	Flug	15	
5	SIAL	1985	N1	Lägern-Rigi-Titlis	Flug	4	45
6	Geodim.	1985	S	Süd (Teil Nord)	Flug/Station	3	
7	"	div.	G	Gotthard	Flug/Station	8	
8	"	div.	N	Nord	Flug/Station	8	
9	"	div.	S1	Süd (Teil Süd)	Station Total	7/10	26/29* 94/97*

\*: Alte Daten, ohne Punkt Lema: 94 Dist.

Neue Daten, mit Punkt Lema: 97 Dist.

## 6. Alpentravese: Netz- und Massstabs-Vergleiche

In diesem Kapitel werden die Resultate der Ausgleichungen unseres Netzes "Alpentravese Gotthard" verglichen mit andern Netzen und andern Messmethoden:

- mit dem vorhandenen Landesnetz der Schweiz, (Kap.6.1)
- mit der Europäischen Triangulation, (6.2)
- mit Distanzmessungen über Satelliten (Satellite Laser Ranging), (6.3)
- mit Positions-Bestimmungen aus Satelliten-Messungen,
  - einerseits mit der Dopplermethode (6.4)
  - und andererseits mit dem Globalen Positionierungssystem GPS (6.5)

Bei den Vergleichen interessieren besonders die Massstabsverhältnisse und die Güte der Übereinstimmung der Netze, welche Rückschlüsse über die tatsächliche Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Netze erlauben.

### *Hilfsmittel*

Bei den Netzvergleichen wurden folgende Computerprogramme benützt:

- a) eigene Programme für Koordinatentransformationen, ebene und räumliche Helmert-Transformationen auf dem Tischcomputer HP9816
- b) Komponenten des Programmpaketes GEO am IGP [Carosio 1992, 9.5] auf Computer IBM RISC 6000:
  - Programm TRANSINT (Transformationen und Interpolationen) für ebene Helmert- Transformationen.
  - Programm ATRA / Helm3d: Räumliche Ähnlichkeits-Transformationen (Helmert 3D) nach [H. Schmid und S. Heggli 1978, 9.5]
  - Programm VEKTRA: Verschiedene Koordinatentransformationen

### 6.1 Alpentravese: Vergleiche intern und mit dem Landesnetz

Wir betrachten hier die Resultate der Netzausgleichungen mit dem Programm LTOP für die drei Varianten des Netzes "Alpentravese":

- Reines Richtungsnetz (Variante R1)
- Reines Distanznetz (Variante D10)
- kombiniertes Netz aus Richtungen und Distanzen (Variante K3).

Wir vergleichen zuerst das Richtungsnetz mit dem Landesnetz (das in seiner Struktur auch ein Richtungsnetz ist), und dann die weiteren Varianten (Distanznetz, komb. Netz) mit dem Richtungsnetz.

Der Vergleich erfolgt über eine ebene Helmert-Transformation (mit 4 Parametern: 2 Translationen, 1 Drehung, 1 Massstabsfaktor). Als Passpunkte dienen 14 Punkte erster Ordnung (ohne Punkt Gesero aber mit Punkt Scopi), die allen Netzen gemeinsam und zugleich gut bestimmt sind.

Bei den Masstabskorrekturen sind zwei hintereinandergeschaltete Schritte zu beachten:

a) Netzausgleichung mit LTOP: der massgebende Masstabsfaktor  $Mf_1$  (für Geodimeterdistanzen) transformiert die Distanzmessungen auf die beiden verwendeten Fixpunkte Lägern und Generoso (d.h.auf den Masstab der aktuellen Landeskoordinaten dieser Punkte).

b) Helmert-Transformation: Dieser Masstabsfaktor  $Mf_2$  transformiert das Resultat der Netzausgleichung auf 14 Punkte 1. Ordnung (statt nur auf 2 Punkte wie bei a).

c) Der gesamte Masstabsfaktor  $Mf$  bezieht sich somit auf 14 Punkte 1.Ordnung mit den aktuellen Landeskoordinaten. Er ist das Produkt der beiden Faktoren  $Mf_1, Mf_2$ ; die gesamte additive Korrektur  $m$  ist die Summe der beiden kleinen Korrekturen  $m_1, m_2$ :

$$Mf = Mf_1 * Mf_2 = 1 + m = (1+m_1) * (1+m_2) = 1 + m_1 + m_2 \quad (+m_1*m_2: \text{sehr klein})$$

Resultate: Die folgende Tabelle 6.1 zeigt die erhaltenen Resultate aus den Helmert-Transformationen (berechnet mit Programm TRANSINT)

- Masstab-Korrekturen (mit mittl. Fehlern),

- mittl. Koordinatenfehler, gerechnet aus den Restklaffen der beiden Koordinatensätze (wenn beide Koordinatensätze als gleichwertig betrachtet werden, ist die mittl. Restklaffe zwischen entsprechenden Koordinaten  $\sqrt{2}$  mal grösser, am 2d-Vektor zwischen entsprechenden Punkten 2 mal grösser);

Max. Klaffe (2dim.) zwischen zwei Punkten (max.bei Punkt)

- zum Vergleich die mittleren Punktfehler aus der Netzausgleichung (Mittel für 4 Punkte in Netzmitte: Titlis, Scheerhorn, Badus, Tgietschen) in Längs- und Querrichtung zur Alpentravese:

Tab. 6.1: Vergleich Alpentravese mit Landesnetz und intern: Masstab, Koordinaten

Netz 2 Fixp.	Transf. nach 14 P.	<u>Masstabs-Korrektur</u> aus			mittl. <u>Koordf.</u> mm	Max.(mm) <u>Klaffe</u> bei Pkt.	<u>Mittl.Punkt.</u>	
		LTOP $Mf_1$ ppm	Helmert $Mf_2$ ppm	$Mf$ Total ppm			Längs mm	Quer mm
Ri-Netz <b>Diff.</b>	Land	(-7.1)*	- 0.7 ±0.5	(-7.8) (±0.5)	± 71	250 Scheye	±196	±118
Di-Netz	Land	-7.1 ±0.4	- 0.1 ±0.8	-7.2 ±0.9	±116	380 Lägern	± 39	± 90
Di-Netz <b>Diff.</b>	Ri-Netz	-7.1 ±0.4	+ 0.6 ±0.8	-6.5 ±0.9	±106	350 Generoso	± 39	± 90
Komb.	Ri-Netz	-7.8 ±0.4	+ 0.6 ±0.7	-7.2 ±0.8	± 98	330 Generoso	±37	±76

\*Beim Richtungsnetz tritt hier kein Masstab(sfaktor) auf; es ist im Masstab bei der Ausgleichung bereits an die Strecke Lägern- Generoso angepasst.

Aus der Tabelle können folgende Schlüsse gezogen werden:

## 1) Massstabs-Vergleiche Alpentravese - Landesnetz

a) Vergleich Alpentravese - aktuelles Landesnetz (mit Gebrauchskordinaten):

Massgebend für diesen Vergleich sind die EDM(Geodimeter)-Distanzmessungen der Alpentravese, die im reinen Distanznetz benützt werden. Berücksichtigt man beide Massstabskorrekturen, die an den Messungen der Alpentravese angebracht wurden (1. aus der Netzausgleichung mit LTOP, 2. aus der Helmert- Transformation), und verwendet man beim Vergleich das gleiche Bezugssystem (Landessystem, bzw. Richtungsnetz), so ergibt sich:

- Richtungsnetz: Über die absolute Länge/Grösse kann keine Aussage gemacht werden. (Das Netz übernimmt den Massstab der verwendeten Fixpunkte. Lagert man das Alpentravese-Netz z.B. auf 14 statt auf 2 Punkte, so wird es um 0.7 ppm kleiner.)

- Distanznetz: Die "Alpentravese" ist länger als das Landesnetz um 7.1 bzw. 7.2 ppm (Vergleich mit 2 bzw. 14 Fixpunkten).

- Das kombinierte Netz ist um 7.8 bzw. 7.9\* ppm länger als das Landesnetz.

\* : 7.2 ppm grösser als das Richtungsnetz (mit 2 Fix-Punkten), dieses 0.7 ppm grösser als das Landesnetz (alle 14 Punkte 1.Ordnung).

Die Kombination von Richtungen und Distanzen bewirkt also eine Vergrösserung des Netzes um 0.7 ppm.

Ergebnis: Das Landesnetz ist im Gebiet der Alpentravese im Mittel zu kurz: um 7.1 ppm bezüglich der Punkte Lägern und Generoso, bzw. 7.2 ppm in bezug auf 14 Punkte 1.Ordnung im Gebiet der Alpentravese. (Es handelt sich hier um eine *mittlere* Massstabsabweichung im Gebiet der Alpentravese).

Regionale Massstabsdifferenzen: Für die drei Netzzeile Nord, Gotthard und Süd haben sich folgende Massstabsabweichungen gegenüber dem Landesnetz ergeben (Ausgleichung von Distanznetzen, Helmert-Lagerung auf alle Punkte 1.Ordnung der Region):

Netz-Teil Nord	- 2.1 ppm
Netz-Teil Gotthard	- 7.5 ppm
Netz-Teil Süd (Tessin)	-14.0 ppm

Im Süden (Tessin) ist also das heutige Landesnetz im Vergleich zu guten Geodimeter-Distanzmessungen um 14 ppm zu kurz, im Norden nur um 2 ppm.

Für die ganze Schweiz hat [Wirth 1990] bei 43 Vergleichspunkten (GPS-Messungen aus der ALGESTAR- und der GRANIT-Mess-Kampagne) eine mittlere Massstabsdifferenz von 6.6 ppm gefunden (Das Landesnetz ist um diesen Betrag zu klein).

*b) Alpentravese: interne Massstabs-Vergleiche:*

Transformiert man (wie oben beschrieben) die Netze auf das gleiche Bezugssystem (bzw. das eine Netz auf das andere), so ergibt sich aus Tab. 6.1:

Das Richtungsnetz\* (1910) ist 0.6 ppm länger als das Distanznetz (ca.1980), ebenso das kombinierte Netz.

\*Bemerkung: Obwohl vom Richtungsnetz kein absoluter Massstab bekannt ist, kann durch Vergleich von zwei Netzen - Richtungs-Netz einerseits, Distanz- bzw. Kombi-Netz andererseits - doch auf Massstabsänderungen, die durch die Netzform bedingt sind, geschlossen werden.

*Schlussfolgerung: Verkürzung der Alpentravese von 1910 bis 1980*

*Zum Zeitpunkt der Richtungsmessungen (ca.1910) war die Alpentravese (gesamthaft betrachtet) länger als zum Zeitpunkt der Distanzmessungen (ca. 1980), es fand also in den letzten 70 Jahren eine Verkürzung der Alpen in N-S-Richtung statt.*

(Die gleiche Schlussfolgerung wurde schon in Kap. 5.5 gezogen - sie steht leider im Widerspruch zu den Ergebnissen von Kap. 7.)

**2) Koordinaten-Vergleiche: Alpentravese - Landesnetz**

Die Frage heisst hier: Wie gut stimmt die neue Alpentravese (bez. Koordinaten) mit dem alten (heutigen) Landesnetz überein und wie gross sind die Differenzen zwischen den Ausgleichungsvarianten?

*a) Koordinaten-Änderungen aus den Netzausgleichungen*

Die Änderungen an den gegebenen Landeskoordinaten ergeben sich direkt aus den Netzausgleichungen (Näherungskordinaten sind die aktuellen Landeskoordinaten, Fixpunkte die Punkte Lägern und Generoso). Diese Änderungen sind je nach Art der Lagerung mit einer gewissen Willkür behaftet. Die Zahlen (DY, DX) findet man im Kap. 5:

Richtungsnetz S. 71, Distanznetz S. 87, kombiniertes Netz S. 104.

Dass diese Koordinatendifferenzen Beträge von einigen Dezimetern erreichen, ist zu erwarten: Die heute verwendeten Landeskoordinaten sind ja bekanntlich das Resultat einer historischen Entwicklung (Ausgleichung hierarchisch, in Phasen und nur in Teilnetzen), während die Alpentravese das Resultat einer strengen Netzausgleichung (mit mehr Beobachtungen, besonders auch Distanzen) darstellt.

Die grösste solche Änderung tritt beim Punkt 1.Ordnung Hörnli auf: Die Koordinaten dieses Punktes "verschieben" sich durch die Ausgleichung Richtung Lägern, um Beträge von 37 cm beim Richtungsnetz, 52 cm beim Distanznetz und 55 cm beim kombinierten Netz. Hauptgrund hierfür dürfte das Fehlen von Distanzen im alten Landesnetz sein, während in die

Alpentravese genaue Geodimeter-Distanzen eingeführt wurden. (Vielleicht spielt auch der inhomogene Massstab des aktuellen Landesnetzes eine Rolle).

*b) Vergleiche durch Helmert-Transformation:*

Wir vergleichen (siehe Tab.6.1, S.122) einerseits das Richtungsnetz und das Distanznetz der Alpentravese (AT) mit dem aktuellen Landesnetz (L+T-Koord.): äusserer Vergleich, dann (interner Vergleich) das Distanznetz und das kombinierte Netz mit dem Richtungsnetz.

Die resultierenden Koordinatendifferenzen zum Landesnetz (L+T) bzw. Richtungsnetz (AT) sind in den beigegefügteten Figuren 6.1 A, B, C (S. 126 - 128) dargestellt. – Aus dem Vergleich von je zwei Koordinatensätzen ergeben sich mittl. Restfehler an einer Koordinate von 7 bis 12 cm (siehe Tab. 6.1), bzw. mittl. Restklaffen (2-dimensional) von 14 cm bis 23 cm. Die grösste Restklaffe von 35 cm ergibt sich im Punkt Generoso (im AT-internen Vergleich Distanznetz zu Richtungsnetz).

Zur Beurteilung der Grösse dieser Differenzen bzw. Restklaffen ist die *Genauigkeit der Punktbestimmung* in beiden Netzen massgebend:

- Für die Alpentravese wurde in der obigen Tab. 6.1 (rechts) die mittl. Punktgenauigkeit für das Mittel von 4 Punkten in der Mitte des Netzes angegeben (Titlis, Scheerhorn, Badus/Six Madun, Tgietschen) und zwar in Längs- und in Querrichtung der Alpentravese. (Das Netz ist in den beiden Endpunkten Lägern und M.Generoso gelagert). In Längsrichtung ergeben sich etwa 20 cm (beim Ri-Netz) bis 4 cm (beim Di-Netz)

- Für das Landesnetz kann die entsprechende Punkt-Genauigkeit nur geschätzt werden: Die mittleren Punktfehler sind sicher etwas grösser als die Werte aus der neuen Alpentravese, d.h. mindestens 20 cm in Netzmitte.

Folgerung: Die Übereinstimmung beider Netze kann also als gut bezeichnet werden. (Am besten stimmt - wie zu erwarten - das Richtungsnetz mit dem Landesnetz überein, da es sich in beiden Fällen um reine Richtungsnetze handelt, die weitgehend das gleiche Beobachtungsmaterial verwenden.)

Die auftretenden Restfehler bzw. Klaffen haben einen regional systematischen Charakter, doch können sie (was ihre Grösse betrifft) gesamthaft als zufällig betrachtet werden, d.h. es sind bei keinen Punkten grobe Fehler (Punktverschiebungen, Nicht-Identität von Punkten) nachweisbar. Voraussetzung bei diesen Überlegungen ist die Annahme, dass es sich bei beiden verglichenen Netzen (Landesnetz bzw. Netze der Alpentravese) um das physikalisch gleiche Netz handelt, dass also von der Zeit von der Richtungsmessungen (ca. 1910) bis zur Epoche der Distanzmessungen in der Alpentravese (nach 1980) keine Krustendeformationen aufgetreten sind. Dies ist der Fall beim Vergleich der alten Landeskoordinaten zum neuen Richtungsnetz (Fig. 6.1A). Hier ist der systematische Verlauf der Restfehler methodisch bedingt : beim Richtungsnetz der Alpentravese mehr Messungen und eine andere Ausgleichung (mehr Messungen und Ausgleichung in einem Guss statt nur in Teilen).

*Fig. 6.1 A: Vergleich Landesnetz - Alpentravese (Richtungsnetz)*

Landeskoord.(alt) + Restklaffen/Verschiebungen = Richtungsnetz (Alpentravese)

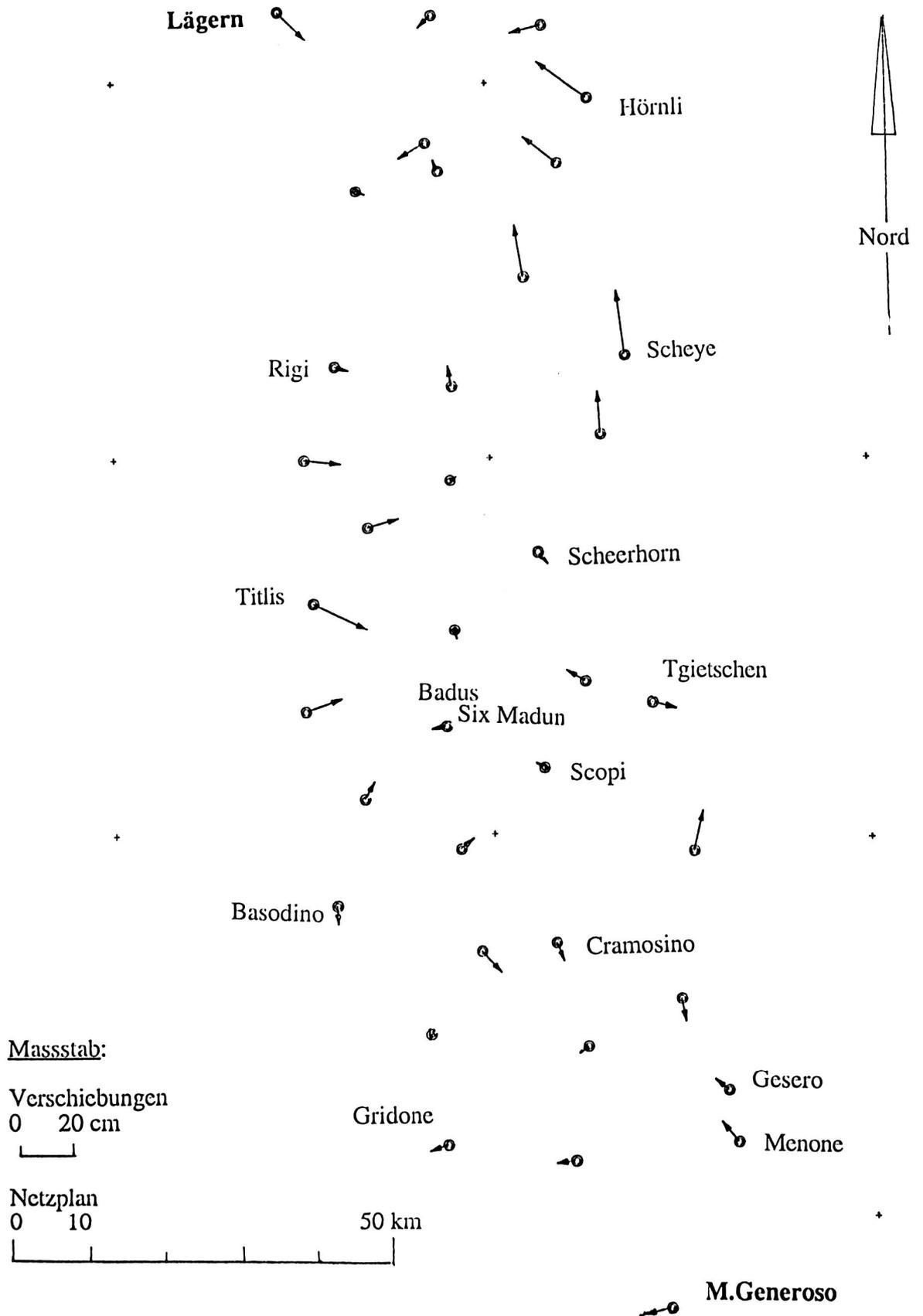


Fig. 6.1 B: Vergleich Alpentravese (intern) Richtungsnetz -> Distanznetz  
 Richtungs-Netz + Klaffe/Verschiebung = Distanz-Netz

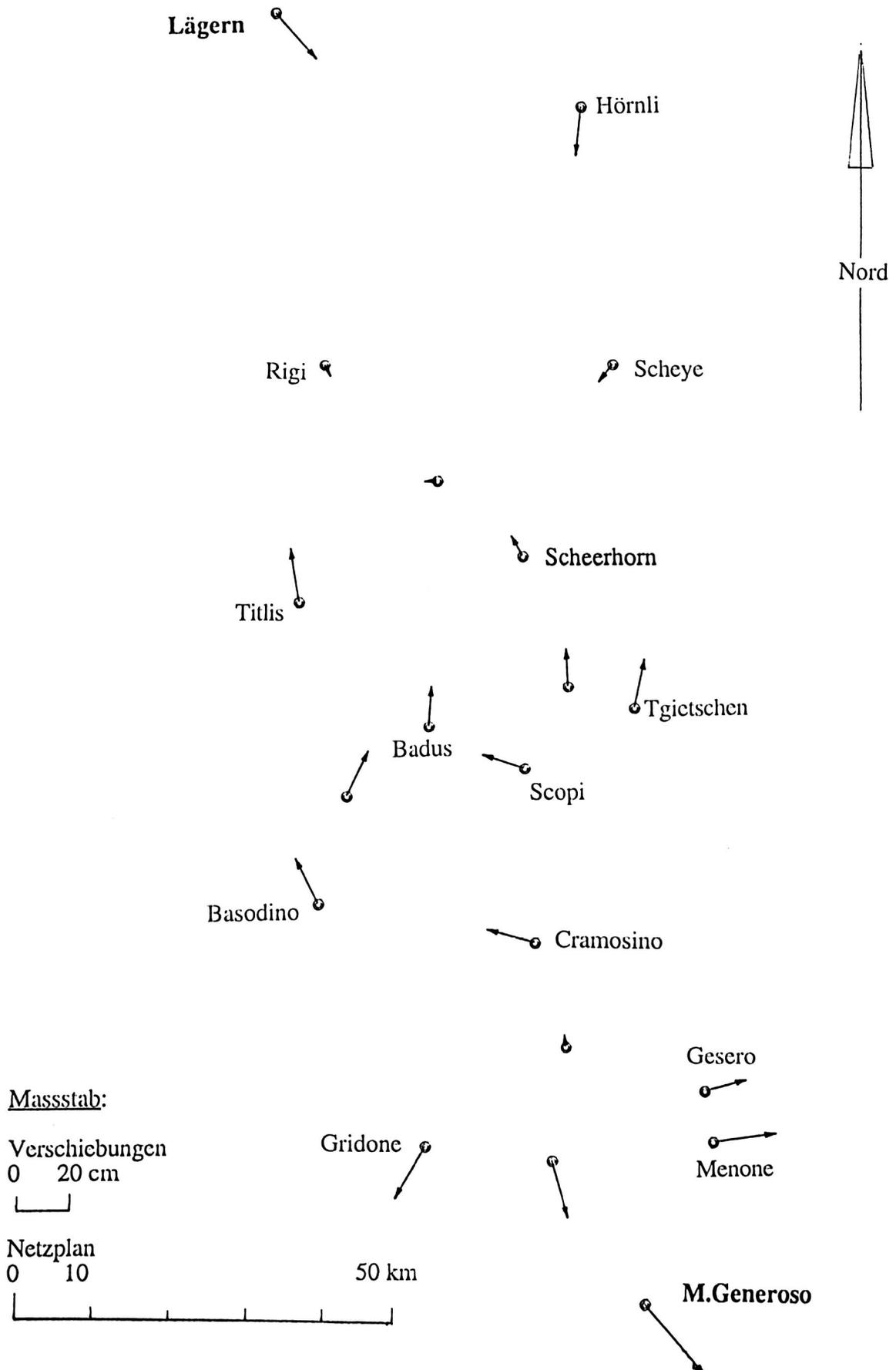
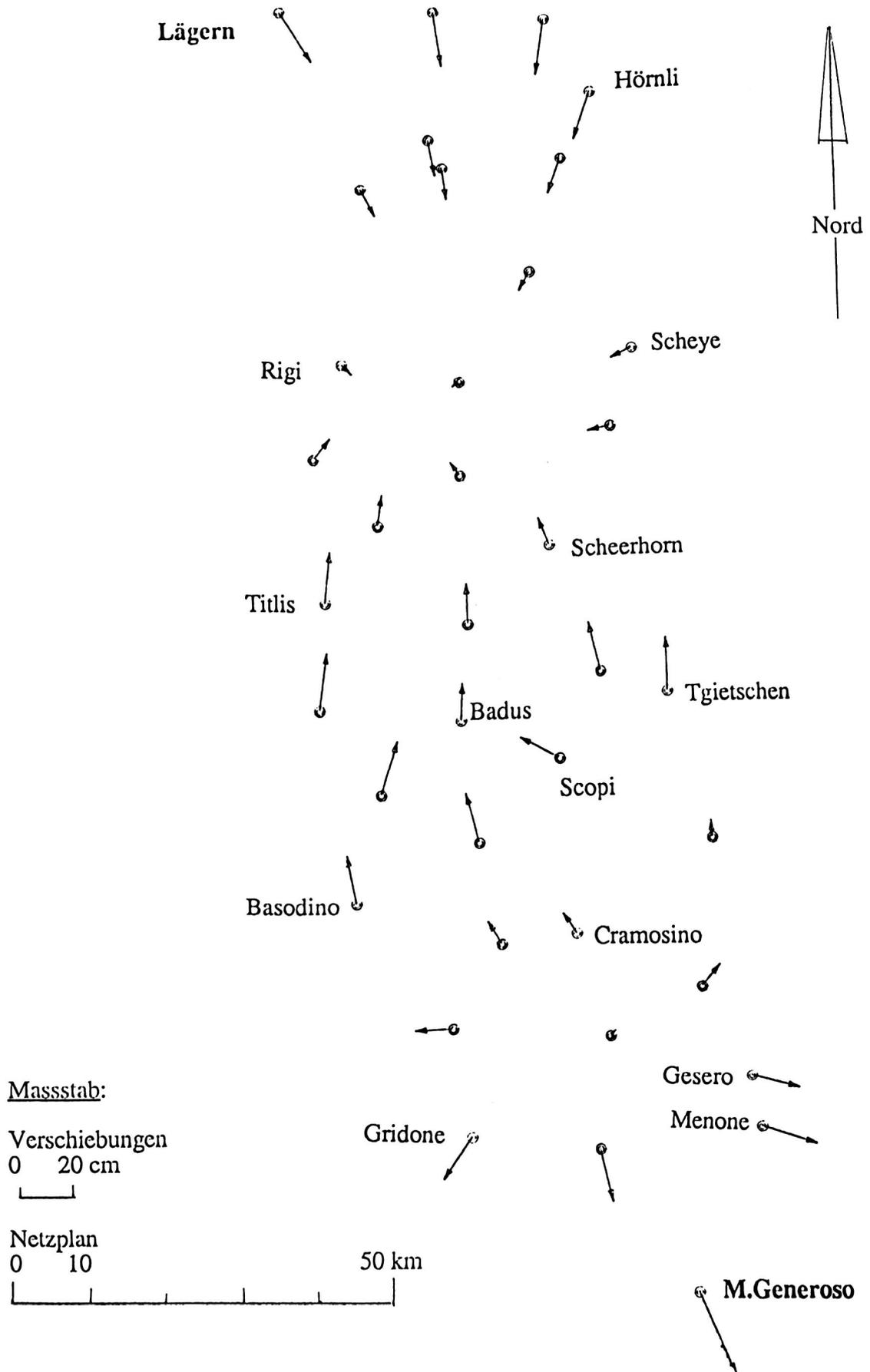


Fig. 6.1 C: Vergleich Alpentravese (intern)      Richtungsnetz -> Kombin. Netz  
 Richtungs-Netz + Klaffe/Versch. = Kombiniertes Netz



Beim AT-internen Vergleich des Richtungsnetzes mit dem Distanznetz (Fig. 6.1B) bzw. mit dem kombinierten Netz (Fig. 6.1C) sind als Ursache der Klaffen auch Krustendeformationen möglich (da Richtungen und Distanzen aus zwei verschiedenen Epochen stammen). Beim Betrachten der Verschiebungs-Bilder stellt man fest, dass die Punktverschiebungen einen regional systematischem Verlauf aufweisen und sehr wohl das Resultat von regionalen Krustendeformationen sein könnten, obwohl Methoden-Einflüsse nicht auszuschliessen sind. (Diese Frage von möglichen Krustendeformationen wird in Kap. 7 gründlicher untersucht).

## 6.2 Alpentravese und Europäische Triangulation

### 1) Europäische Triangulation: RETrig / ED87

Bedeutung: Die Gesamtausgleichung aller Europäischen Triangulationen erster Ordnung (RETrig = Réseau Européen Trigonométrique) war ein Projekt der Internationalen Assoziation für Geodäsie, das 1954 in Rom beschlossen und ca. 1987 abgeschlossen wurde. Es war das erste grosse Übungsbeispiel der internationalen Geodäsie für grosse, kontinentale Netzausgleichungen. Das Resultat dieser gesamteuropäischen Ausgleichung ist - neben der erstmaligen Erprobung der heute anerkannten Methode (heute Helmert-Block-Methode genannt) - ein Satz von Koordinaten, die auf das Internationale Ellipsoid (Hayford, 1924) bezogen sind und die Bezeichnung: "Europäisches Datum 1987: ED87" tragen.

#### Anteil der Schweiz an der Europäischen Triangulation:

Im "Block Schweiz" (dessen Begrenzung nicht mit dem schweizerischen Landesnetz identisch ist) wurden folgende Messungen in die Ausgleichung einbezogen (Siehe Bürki, in [Poder/Hornik 1989, 9.2]):

- Winkelmessungen auf den Punkten 1. Ordnung, gemessen und streng ausgeglichen nach der schweizerischen Sektormethode: 320 Richtungen.

- Distanzmessungen: 102 Laser-Distanzmessungen mit Geodimeter Modell 8: vorwiegend im schweizerischen Mittelland, über die Alpen ist nur ein Zug im Raum der Alpentravese vorhanden. (Dieser Mangel war ein Grund für die Inangriffnahme des Projektes Alpentravese Gotthard). Siehe Planbeilage Elektrooptische Distanzmessungen in der Schweiz (S.49a)

- Basisvergrößerungsseiten: Es werden die drei Basismessungen (Aarberg, Weinfelden, Giubiasco) der schweiz. Landesvermessung aus dem letzten Jahrhundert (1880) und die neue Basis Heerbrugg (1960) auf Seiten erster Ordnung übertragen und dann in die Netz-Ausgleichung eingeführt.

- Astronomische Beobachtungen: 17 Breiten, 9 Längen, 22 Laplace-Azimute:

Zur Verfügung stehen im Bereich der Alpentravese die folgenden 13 Punkte (alle 1. Ordnung, ausser Punkt Gesero):

**Tab. 6.2 A: Europäische Triangulation: ED87-Koordinaten**

Ellipsoid. Breite, Länge (Gon), H: Meereshöhe (Gebrauchshöhe L+T),  
N: Geoidhöhe (Europ.Datum ED) aus Programm LAG Version Vo,  
h: Ellipsoidische Höhe (ED)

Nr Name	Ell.Breite Gon	Ell.Länge Gon	Höhe H m	N m	h m
04 Lägern	52.7582 1159	9.3352 4164	856.11	-2.21	853.90
05 Hörnli	52.6353 3156	9.9365 4699	1133.04	-2.50	1113.48
13 Rigi	52.2862 2593	9.4293 3214	1791.52	-2.61	1794.91
14 Scheye	52.0310 4122	9.8114 7262	2258.86	-1.68	2257.18
19 Titlis	51.9699 2677	9.3765 1116	3239.30	-0.45	3237.84
20 Scheerhorn	52.0310 4122	9.8114 7262	3294.54	-0.46	3294.08
29 Badus	51.8037 7031	9.6275 2668	2927.88	+0.10	2928.17
30 Tgietschen	51.8298 7791	10.0244 0735	2857.39	-0.12	2857.53
39 Basodino (alt)	51.5693 8310	9.4105 5876	3273.87	0.30	3274.17
(neu)	51.5693 7730	9.4105 4821	3272.44	0.30	3272.74
41 Cramosino(alt)	51.5156 4052	9.8269 9572	2717.98	-0.45	2717.53
(neu)	51.5156 4212	9.8270 0323	2717.92	-0.45	2717.47
40 Gridone	51.2491 8287	9.6100 9754	2186.98	-0.80	2187.26
63 Menone	51.2494 1585	10.1619 3521	2244.47	-1.80	2242.67
65 Generoso	51.0357 6957	10.0233 3968	1701.32	-3.76	1697.56

**Bemerkungen:**

a) **ED87-Koordinaten:** Sie sind entnommen aus: "Definitive Lösung RETrig ED87: Liste der Retrig-Stationen im Block CH" (Ellipsoid.Koord. im ED87 und Meereshöhen), von B. Bürki, IGP-intern, Nov. 1988.

b) **Punkt-Zentren:**

Die Punkte der Alpentravese sind mit den alten **ED87-Zentren** identisch, mit zwei **Ausnahmen:**

Punkt	dY	dX	dH	d B	d L
Basodino:	- 0.58	- 0.73	-1.43 m	- 0.0580	- 0.1055 [cc = 10 <sup>-4</sup> Gon]
Cramosino:	+0.16	+0.52	-0.06 m	+0.0160	+0.0751

Durch Anbringen dieser Korrekturen (Werte aus den Punkt-Krokis des Bundesamtes für Landestopographie, Bern) an den Koordinaten der alten Zentren (ED) ergeben sich die neuen Punktzentren, die in der Alpentravese verwendet werden.

## 2) Vergleich Alpentravese - Europäische Triangulation

Für die **Alpentravese** verwenden wir auch hier die ausgeglichenen Koordinaten der mit dem Programm LTOP berechneten Netze (Werte siehe Kap. 5):

- Reines Richtungsnetz (Var. R1) (Die Massstäbe dieser Netze beziehen sich
- reines Distanznetz (Var. D10) auf die Landeskoordinaten der beiden Punkte
- kombiniertes Netz (Var. K3). Lägern und Generoso).

Der **Vergleich** der beiden Koordinatensätze wird im Raum durchgeführt mit Hilfe einer räumlichen Helmert-Transformation mit 7 Parametern.

### Resultate des Vergleichs Alpen traverse - Europäische Triangulation

Auch hier interessieren vorwiegend die Massstabsunterschiede ( $Mf_2$  aus dieser 3D-Helmert-Transformation) und die Güte der Übereinstimmung beider Netze, die in der mittleren Restklaffe zum Ausdruck kommt. Angegeben ist der mittlere Restfehler  $s_R$  an einer Koordinate; beide Datensätze werden als gleichwertig betrachtet, die Verbesserungen treten also an beiden Koordinaten-Sätzen auf, die räumliche Restklaffe (Distanz zwischen zwei Raumpunkten) ist  $\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} = 2.4$  mal grösser. (Zum Vergleich der mittlerem Restklaffe mit der Punktgenauigkeit ist der Wert  $s_L$  angegeben: die Punktgenauigkeit in Längsrichtung von 4 Vergleichspunkten in der Mitte der Alpen traverse, gerechnet aus unseren Netzausgleichungen).

*Tab. 6.2 B: Vergleich Alpen traverse\* → Europäische Triangulation (ED87)  
mit 3D-Helmert (13 Vergleichspunkte)*

Netz	Masstabsdiff.		Koordf. Pkt.-Gen.		Translationen		
	$Mf_2$ ppm	$\pm$ ppm	$s_R$ mm	$s_L$ mm	dX m	dY m	dZ m
Richtungsnetz	+6.1	$\pm 0.6$	$\pm 77$	$\pm 196$	731.3	112.9	493.1
Distanznetz	+6.7	$\pm 0.4$	$\pm 56$	$\pm 39$	729.0	111.7	490.5
Komb.Netz	+6.7	$\pm 0.4$	$\pm 51$	$\pm 37$	728.8	112.4	490.6

\* mit Massstab des Landesnetzes (Lägern-Generoso) Rechnung mit IGP-Programm GEO/Helm3d

#### Beurteilung:

##### a) Güte der Übereinstimmung:

Der mittlere Koordinatenfehler  $s_R$ , gerechnet aus Restklaffen, zeigt die Güte der Übereinstimmung beider Netze: Er beträgt 8 bis 5 cm (Richtungsnetz bzw. komb.Netz), die Punktgenauigkeit in der Netzmitte ist bei der Alpen traverse 20 bis 4 cm, bei der Europäischen Triangulation grob geschätzt etwa gleich gross. Die Übereinstimmung beider Netze kann also als recht gut bezeichnet werden. Auch grössere Differenzen würden noch "drin liegen", wenn man bedenkt, dass in den beiden Netzen nur zum Teil die gleichen Beobachtungen verwendet wurden – in der Alpen traverse mehr Richtungen (auch Punkte 2. Ordnung) und viele neue Distanzen aber keine astronom. Beobachtungen und keine Einbettung (Verstärkung) in ein grösseres, europäisches Netz.

##### b) Masstabs-Vergleich:

Um die ursprünglichen Distanzmessungen der Alpen traverse mit der Europäischen Triangulation (ED87) vergleichen zu können, sind beide eingeführten Massstabsfaktoren zu berücksichtigen: der erste ( $Mf_1$ ) aus der Netzausgleichung mit Angleichung an die Landeskoordinaten-Distanz Lägern-Generoso, der zweite ( $Mf_2$ ) aus der Helmert-Transformation der Alpen traverse auf die ED87-Koordinaten:

Tab 6.2 C Massstabsvergleich: Alpen traverse → Europäische Triangulation

$Mf_1$  aus LTOP,  $Mf_2$  aus 3d-Helmert,  $Mf_{tot.}$ : total (in ppm).

Netz	$Mf_1$	$Mf_2$	$Mf_{tot.}$	$\pm$
Richtungsnetz	(-7.1)*	+6.1	(-1.0)	( $\pm 0.6$ )
<b>Distanznetz</b>	$-7.1 \pm 0.4$	+6.7	<b>-0.4</b>	$\pm 0.6$
Komb.Netz	$-7.8 \pm 0.4$	+6.7	-1.1	$\pm 0.6$

\*Annahme

Massstab: Massgebend für den Vergleich Alpen traverse - ED87 ist bei der Alpen traverse wieder das Distanznetz, dessen Massstab durch die Geodimeterdistanzen bestimmt wird. Resultat: Diese Distanzen stimmen mit der Europäischen Triangulation um 0.4 ppm, also sehr gut überein.

Fazit: Die Alpen traverse ist um 0.4 ppm ( $\pm 0.6$ ) länger als die Europäische Triangulation..

Diese gute Übereinstimmung bestätigt die Abwesenheit von grösseren systematischen Fehlern in beiden Systemen. Allerdings durfte eine gute Massstabs-Übereinstimmung beider Netze erwartet werden, da in beiden Systemen der Massstab vorwiegend durch Geodimetermessungen bestimmt wird (in der Alpen traverse ausschliesslich, in der Europäischen Triangulation werden auch noch Basisvergrösserungsseiten benutzt, die aber nur ein kleines Gewicht haben; die astronomischen Messungen tragen fast nichts zur Massstabsbestimmung bei).

### 6.3 Vergleich mit Laser-Distanzmessungen über Satelliten (SLR)

Ein Vergleich der Distanzmessungen in der Alpen traverse mit genauen Laser-Distanzmessungen zu Satelliten ist interessant im Sinne einer relativ unabhängigen Genauigkeitsbeurteilung beider Typen von Distanzmessungen. Messungen zu Satelliten sind ja durch Meteo-Einflüsse weniger gestört (kürzere Distanzen in der kritischen untersten Atmosphäre) als terrestrische Distanzmessungen, die ausschliesslich in relativ bodennahen Schichten gemessen werden.

Laser-Distanzmessungen zu Satelliten wurden im Raum der Alpen traverse allerdings nicht durchgeführt, hingegen im Raum Bern (Zimmerwald) - Jungfraujoche - Generoso. Ein Vergleich der Messungen in der Alpen traverse mit diesen Distanz-Messungen im Raum Bern ist also nur indirekt möglich nämlich über die Europäische Triangulation.

Laser-Distanzmessungen via Satelliten: (SLR: Satellite Laser Ranging)

Im Jahre 1985 wurde die Distanz Zimmerwald - Monte Generoso indirekt bestimmt durch Messung der Distanz von Zimmerwald (Astronom.-geodätische Fundamentalstation der Schweiz) und Monte Generoso (Punkt 2. Ordnung im Süd-Tessin) nach dem LAGEOS-Satelliten (Laser Geodynamics Satellite, USA, 1976, Höhe ca. 5900 km, Durchmesser 60 cm,

bestückt mit 420 Reflektoren). Die Messungen wurden mit einem "Mobile Laser Ranging System" der Universität Delft /Holland durchgeführt unter Einbezug von GPS-Messungen. Der Versuch ist dargestellt in "The Swiss Trans-Alpine Laser Experiment" [Bürki/Geiger/Kahle, 1987, 9.3], die Resultate in Bürki in [Poder/Hornik, 1989, S.184, 9.2]:

Nach der Reduktion der Distanzmessungen zum Satelliten ins Landessystem bzw. ins Europäische System haben sich folgende Massstabsunterschiede bzw. lineare Differenzen ergeben:

*Tab. 6.3 Längen-Vergleich der Alpentravese mit Satellite Laser Ranging*

System	Abkürz.	Diff. Massstab ppm	Diff. Länge m	Bem.
b) Alpentravese (s.unten: b)	AT	(+1.5)		länger
a) Europäische Triangulation	ED87	+1.1	+0.182	länger
a) <b>Satellite Laser Ranging</b>	SLR	<b>0.0</b>		<b>Bezug</b>
c) Landesnetz (Zi'wald-Gen.)	Land	- 6.9	-1.104	kürzer

Folgerungen für den Massstab:

a) Die beiden genauen Laser-Massstäbe SLR und ED87 stimmen also recht gut (auf 1.1 ppm) zusammen. (Da auch der Massstab der Europäischen Triangulation im wesentlichen durch Laser-Distanz-Messungen bestimmt wird, darf dies erwartet werden.)

b) Die Alpentravese ist (siehe oben, 6.2 S.132) um 0.4 ppm länger als die Europäische Triangulation. Nimmt man an, dass diese in der Schweiz einen einigermaßen einheitlichen Massstab hat, dann ergibt sich, dass die Längen der Alpentravese um 1.5 ppm grösser sind als die Laser-Distanzmessungen zu Satelliten.

c) Der Vergleich mit dem Landesnetz entspricht den vorhandenen Kenntnissen über den Massstab unseres Landesnetzes und ist hier ohne Bedeutung. (Der Massstab des Landesnetzes ist historisch bedingt und weist, wie schon erwähnt, regional verschiedene Verzerrungen von ca. 2 bis 14 ppm auf, die nicht das Thema dieser Arbeit sind).

#### 6.4 Vergleich der Alpentravese mit Doppler-Satelliten-Messungen

Auch hier geht es um einen unabhängigen Massstabsvergleich und um eine Beurteilung der Genauigkeit der Alpentravese durch Vergleich mit einer unabhängigen Messmethode.

##### 1) Doppler-Messungen: Kampagne Swissdoc 1984

Zum Vergleich ziehen wir die Schweizerische Doppler-Messkampagne 1984 "Swissdoc 84" heran. Grundlage dieses Satelliten-Mess-Verfahrens ist das U.S.Navy Navigation Satellite System TRANSIT, bei dem die Positionsbestimmung auf der Messung und Aus-

wertung der Doppler-Frequenz-Verschiebungen der ausgesandten Satellitensignale beruht.

Ziele der Kampagne "Swissdoc 84" (Swiss Doppler Observation Campaign 1984) waren die Bestimmung von dreidimensionalen Stationskoordinaten in einem weltumspannenden Referenzsystem und von Transformations-Parametern für die Umrechnung von Schweizerischen Landeskoordinaten in ein globales Bezugssystem (WGS72). Die Messungen wurden 1984 im Rahmen eines Nationalfonds-Projektes durchgeführt auf 17 Stationen 1. Ordnung der Schweiz mit zwölf Satelliten-Empfängern vom Typ Magnavox MX 1502.

Vergleichspunkte: Im Gebiet der Alpentravese liegen die fünf Stationen: Lägern, Hörnli, Rigi (Exz.), Basodino und M. Generoso (Exz.).

Für den Koordinatenvergleich mit der Alpentravese benutzen wir die dreidimensionalen Koordinaten dieser fünf Punkte, die sich aus der Satellitenauswertung mit präzisen Ephemeriden und Verwendung des Troposphären-Modells nach Hopfield ergeben.

Siehe [Wiget/ Geiger 1985/86: IGP-Bericht 113, S. A.11, 9.6].

Die Landes-Koordinaten der Satelliten- Punkte finden sich im gleichen Bericht S. A.8.

## 2) Alpentravese-Koordinaten der Doppler-Messpunkte

Für den Vergleich verwenden wir wieder die Koordinaten der Alpentravese aus den Netzausgleichungen mit dem Programm LTOP (siehe Kap. 5):

- Reines Richtungsnetz (Variante R1),
- reines Distanznetz (Var. D10),
- kombiniertes Netz (Var. K3).

Diese Koordinaten beziehen sich auf die beiden Fixpunkte Lägern und Monte Generoso, mit den heutigen Landes-Koordinaten (Tab. 5.0). Zu beachten sind noch die teils ungleichen Zentren bei beiden Kampagnen: Bei der Alpentravese gelten die Punkt-Zentren der Landesvermessung, während die Doppler-Messungen bei den zwei Punkten Rigi und Generoso auf exzentrischen Punkten durchgeführt wurden.

Vor einem Vergleich der (geozentrischen, kartesischen) Doppler-Koordinaten mit den entsprechenden Koordinaten der Alpentravese müssen diese (wie schon vorher beschrieben, aber mit andern Zahlenwerten) wie folgt bereitgestellt werden :

a) Die Alpentravese-Koordinaten der exzentrischen Doppler-Stationen Rigi und Generoso erhalten wir aus den Zentrumskoordinaten durch Addition der folgenden Exzentrums-werte:

Punkt	dY	dX	dH
Rigi	-124.26	-102.89	-25.15 m
M.Generoso	-95.56	-357.66	-85.63 m

Sie resultieren aus einem Vergleich der Koordinatenliste für die Doppler-Punkte [IGP 113, S. A.8] mit unseren Zentrumskoordinaten (Tab. 5.0):

b) Die ellipsoidischen Höhen  $h$  dieser Punkte sind die Summen von Meereshöhen  $H$  und Geoidabständen  $N$ , gerechnet mit dem Programm LAG [Gurtner, Elmiger 1980, 9.5]:  
 $h = H + N$ .

c) Diese ebenen Koordinaten  $Y, X$  und Höhen  $h$  werden in bekannter Weise zuerst in ellipsoidische und dann in kartesische, geozentrische Koordinaten für das Schweiz. Datum (Bessel, CH 1903) umgerechnet.

### 3) Koordinatenvergleich Alpentravese - Dopplermessungen

Der Vergleich erfolgt wieder über eine räumliche Helmert-Transformation mit 7 Parametern: Drei Translationen  $dX, dY, dZ$ , drei Drehungen und ein Massstabsfaktor. Bei fünf Vergleichspunkten beträgt die Überbestimmung 8.

Von besonderem Interesse ist wiederum der resultierende Massstabsfaktor  $Mf_2$  mit seiner Unsicherheit und die Grösse des mittleren Koordinatenfehlers  $s_R$  (in einer Koordinatenrichtung) in den Vergleichspunkten. Zum Vergleich sind wiederum angegeben: die Punktgenauigkeit in Längsrichtung  $s_L$  der Alpentravese (4 Punkte in Netzmitte), ferner auch die drei Translationsbeträge  $dX, dY, dZ$  der Schwerpunkte (CH + Transl. = WGS72).

*Tab. 6.4 A : Vergleich Alpentravese → Dopplermessungen (Swissdoc84)*

Netz	Massstabsdiff.		Koordf. Pkt.-Gen.		Translationen		
	$Mf_2$	$\pm$	$s_R$	$s_L$	$dX$	$dY$	$dZ$
	ppm	ppm	mm	mm	m	m	m
Richtungsnetz	+7.9	$\pm 1.7$	$\pm 270$	$\pm 196$	680.8	-1.4	403.7
Distanznetz	+8.5	$\pm 1.4$	$\pm 209$	$\pm 39$	680.8	-1.3	403.6
Komb.Netz	+8.6	$\pm 1.2$	$\pm 190$	$\pm 37$	680.9	-1.3	403.6
Dopplermessg.				$\pm 370$			

Rechnung mit Programm Helmal HP9816

#### Beurteilung:

a) Die mittl. Koordinatenfehler (aus Restklaffen) liegen innerhalb der mittleren Punktfehler, wenn man bedenkt, dass die Dopplermessungen aus der Satellitenausgleichung mittl. Punktfehler von etwa  $\pm 370$  mm in Längs-Richtung der Alpentravese aufweisen, während sie bei der Alpentravese kleiner als 200 mm sind (siehe oben:  $s_L$ ).

b) Die Massstabsfaktoren beziehen sich auf die Alpentravese *nach* deren Anpassung auf die Landeskoordinaten der Punkte Lägern und M.Generoso.

Um die *ursprünglichen* Distanzmessungen der Alpentravese mit den Dopplermessungen vergleichen zu können, sind beide Massstabsänderungen zu addieren: die erste ( $Mf_1$ ) aus der Netzausgleichung (mit Anpassung auf die Festpunkte), die zweite ( $Mf_2$ ) aus der räumlichen Helmert-Transformation (Übergang Alpentravese auf Doppler-Punkte).

*Tab 6.4 B: Massstabskorrekturen Alpentravese → Dopplermessungen (Swissdoc84)*

Netz	Mf <sub>1</sub>	Mf <sub>2</sub>	Mf tot.	sMf tot.	[ppm]
Richtungsnetz	(-7.1)*	+7.9	(+0.8)	(±1.8)	*Annahme
<b>Distanznetz</b>	-7.1± 0.4	+8.5	<b>+1.4</b>	<b>±1.4</b>	
Komb.Netz	-7.8± 0.4	+8.6	+0.8	±1.3	

Für einen massgebenden Massstabs-Vergleich eignet sich (wie schon bisher) nur das reine Distanznetz. (Das Richtungsnetz hat den historisch bedingten Massstab der Landesnetz-Distanz Lägern-Generoso; das kombinierte Netz hat einen leicht verfälschten Masstab, bedingt durch die Kombination mit Messungen aus dem Anfang dieses Jahrhunderts).

#### Resultate:

- Die Distanzen der Alpentravese - mit Massstab aus meteorologisch reduzierten Geodimetermessungen - sind gegenüber den Doppler-Messungen zu kurz um **1.4 (±1.4) ppm**. (Dieser Wert ist also nicht zuverlässig bestimmt).

- Nebenbei: Es zeigt sich auch hier, dass das Richtungsnetz (ca. 1910) um ca. 0.6 ppm länger ist als das Distanznetz (ca. 1980). Siehe auch Kap. 5.5, 6.1 und 7.

## 6.5 Vergleich der Alpentravese mit GPS-Messungen

### 1) GPS-Messungen: GRANIT-Kampagne 1987

GPS-Koordinaten stehen - zur Zeit im Gebiet der Alpentravese - nur für drei Punkte zur Verfügung: Lägern, Titlis (Klein-Titlis) und Monte Generoso.

Auch spätere ab 1989 durchgeführte Messungen für das GPS-Landesnetz LV95 enthalten die gleichen drei Punkte 1. Ordnung (M.Generoso: historisch 2.Ordnung, von der Bedeutung her heute praktisch 1.O.); die meisten neuen LV95-Punkte fallen nicht mehr mit den alten Punkten 1./2. Ordnung zusammen.

Die Messungen stammen aus der ersten grossräumigen GPS-Kampagne, die in der Schweiz durchgeführt wurde unter der Bezeichnung GRANIT-Kampagne [Rothacher, Gurtner 1987, 9.6]. Der Name "Granit" steht symbolisch für die Absicht, die Schweizerische Satellitenstation Zimmerwald auf stabilen Gebirgspunkten der ganzen Schweiz zu verankern als grossräumige Rückversicherung der Station Zimmerwald, und das ganze schweizerische Landestriangulationsnetz an GPS-Punkte anzuschliessen.

Diese GPS-Messungen wurden durchgeführt im Rahmen eines Nationalen Forschungsprojektes Nr. 20 (NFP 20) von der Universität Bern und der ETH Zürich in der Zeit vom 16.-18. Juni 1987. Gemessen wurde auf 12 Punkten mit sieben GPS-Empfängern (TI-4100 von Texas Instruments) während je 4 Stunden pro Tag.

Die Auswertung erfolgte am Astronomischen Institut der Universität Bern mit der sogenannten "Berner GPS-Software", Version 3.1 mit Elimination des Ionosphären-Einflusses durch Kombination der Messungen mit den beiden Frequenzen L1 und L2, allerdings ohne zuverlässige Meteo-Daten für die Troposphären-Korrektur der GPS-Messungen.

Die Genauigkeit der GPS-Koordinaten wird gesamthaft auf etwa 1 cm geschätzt. Die Höhen sind etwas weniger genau, etwa 3 cm, doch sind die Höhen bei unserem Vergleich mit der Alpentravese ohne Bedeutung, weil hier nur Lage-Messungen verwendet werden.

## 2) Koordinaten der GPS-Punkte

Für die Alpentravese verwenden wir wiederum die Koordinaten der Netze: Reines Richtungsnetz (Variante R1), reines Distanznetz (Var. D10), kombiniertes Netz (Var. K3), wie sie sich aus den Netzausgleichungen mit dem Programm LTOP ergeben. Diese Koordinaten beziehen sich - wie schon oben - auf die heutigen Landes-Koordinaten der beiden Fixpunkte Lägern und Monte Generoso (Tab. 5.1, S. 53).

Zu beachten sind wiederum die ungleichen Zentren bei beiden Kampagnen: Bei der Alpentravese gelten die Punkt-Zentren der Landesvermessung, während die GPS-Messungen auf exzentrischen Punkten (z.B. Klein-Titlis statt Titlis-Zentrum) durchgeführt wurden. Die Landeskoordinaten der GPS-Punkte und ihre Meereshöhen wurden von der Landestopographie bestimmt. [Koordinatenliste L+T, Adrian Wiget, vom 23.2.1989].

Vor einem Vergleich der (geozentrischen, kartesischen) GPS-Koordinaten mit den Koordinaten der Alpentravese müssen diese bereitgestellt werden, wie folgt :

### A. Alpentravese-Koordinaten der GPS-Punkte:

a) Sie ergeben sich aus den Zentrumskoordinaten unserer Alpentravese-Ausgleichungen durch Addition der folgenden Exzentrumsbeträge (aus Koordinatenliste [Wiget 1989]):

Punkt	dY	dX	dH
Lägern	+18.378	+8.076	-2.159 m
Titlis -Klein-Titlis	-1073.267	-170.886	-197.887
M.Generoso	-163.685	-419.491	-101.665

b) Die ellipsoidischen Höhen  $h$  dieser GPS-Punkte sind die Summen von Meereshöhen  $H$  (Gebrauchshöhen) und Geoidabständen  $N$ , gerechnet mit dem Programm LAG [Gurtner, Elmiger]:  $h = H + N$ .

Es ergeben sich damit in der Alpentravese folgende Landeskoordinaten und Höhen (im Schweizer Datum) für die GPS-Exzentren (Tab. 6.5.A, unten).

c) Diese ebenen Koordinaten  $Y$ ,  $X$  und ellipsoidischen Höhen  $h$  werden zum Vergleich mit den GPS-Messungen in kartesische, geozentrische Koordinaten für das Schweiz. Datum (Bessel, CH 1903) umgerechnet.

**Tab. 6.5 A Alpentravese-Koordinaten der GPS-Messpunkte (1987) [m]**

Punkt	Var.	Y	X	H	N	h
Lägern	alle Var.	672525.088	259423.956	852.958	0.610	853.568
Generoso	alle Var.	722492.455	87449.739	1599.655	-2.134	1597.521
Klein-Titlis	Ri-Netz	675238.810	180410.426	3040.403	1.737	3042.140
	Di-Netz	675238.596	180410.845	do	do	do
	Komb.N	675238.717	180410.861	do	do	do

B. GPS-Koordinaten der drei Vergleichspunkte (geozentrisch, System WGS-84)  
(aus GPS-Messungen, GPS-Lösung v. 28.2.1989)

**Tab 6.5 B GPS-Koordinaten , geozentrisch (Granit 1987)**

Punkt	X	Y	Z [m]
Lägern	4272644.353	630995.082	4678778.008
Generoso	4390312.762	696750.067	4560833.100
Kl.Titlis	4331184.179	641404.336	4626589.358

Quelle: Geodät. Verbindung der West- und Osttraverse: Stand der Auswertungen.  
M.Rothacher, W.Gurtner, I.Bauersima. Astron. Institut der Uni Bern. (Kurzbericht, 1990)

### 3) Koordinaten-Vergleich Alpentravese - GPS-Messungen

Der Vergleich der beiden kartesischen Datensätze (Alpentravese bzw. GPS-Granit) erfolgt durch räumliche Helmert-Transformation mit sieben Parametern; bei nur drei Vergleichspunkten und 7 Unbekannten ist die Überbestimmung allerdings nur 2 und die Aussage damit nicht zuverlässig.

Bei der Transformation Alpentravese auf GPS-Punkte ergeben sich die folgenden Massstabskorrekturen  $Mf_2$  (mit Standardabweichungen) und mittleren Restklaffen  $s_R$  bei den Passpunkten. Zum Vergleich daneben die mittl. Punktfehler in Längsrichtung der Alpentravese  $s_L$  (Mittel von vier Punkten in Netzmitte). Ferner sind die drei Translationsbeträge  $dX$ ,  $dY$ ,  $dZ$  der Schwerpunkte der beiden Punkthaufen angegeben.

**Tab. 6.5 C Vergleich Alpentravese-GPS**

Rechnung mit Progr. Helmal auf HP9816

Netz	Massstabsdiff.		Koordf. Pkt.Gen.		Translationen		
	$Mf_2$	$\pm$	$s_R$	$s_L$	$dX$	$dY$	$dZ$
	ppm	ppm	mm	mm	m	m	m
Richtungsnetz	+6.8	$\pm 1.8$	$\pm 225$	$\pm 196$	+674.8	+15.4	+404.9
Distanznetz	+6.5	$\pm 0.4$	$\pm 45$	$\pm 39$	+674.8	+15.5	+404.8
Komb. Netz	+6.6	$\pm 0.5$	$\pm 60$	$\pm 37$	+674.9	+15.5	+404.8
GPS				$\pm 10$			

Der mittl. Koordinatenfehler (aus mittl. Restklaffen) nach der Transformation liegt nur leicht über den mittleren Punktfehlern aus den Lageausgleichungen der Alpentravese. (Die Genauigkeit der GPS-Auswertung ist wesentlich höher als die der terrestrischen Alpentravese, etwa  $\pm 10$  mm in Lage, kann also beim Vergleich praktisch vernachlässigt werden). Die Übereinstimmung der beiden Datensätze kann also als akzeptabel bezeichnet werden.

#### 4) Massstabsvergleich "Geodätische Alpentravese" und GPS-System

Um die *ursprünglichen* Distanzmessungen der Alpentravese mit den GPS- Messungen vergleichen zu können, sind wiederum beide Massstabskorrekturen zu berücksichtigen:

-  $Mf_1$  aus der Netzausgleichung

(mit Anpassung an die Landeskoordinaten der Punkte Lägern und Generoso)

-  $Mf_2$  aus der 3D-Helmert-Transformation Alpentravese auf GPS-System.

Es ergeben sich dann folgende Massstabsunterschiede (Alpentravese +  $Mf$ -Korr. = GPS) in ppm:

Tab. 6.5 D: Massstabsvergleich Alpentravese  $\rightarrow$  GPS

Netz	$Mf_1$ aus LTOP	$Mf_2$ 3D-Helmert	$Mf$ total an $Mf$ tot.	Mittl. F.
Richtungsnetz	(-7.1)*	+6.8	(-0.3)	( $\pm 1.8$ )
Distanznetz	-7.1	+6.5	<b>-0.6</b>	<b><math>\pm 0.5</math></b>
Komb.Netz	-7.8	+6.6	-1.2	$\pm 0.6$
Einfluss Komb.	-0.7	+0.1	-0.6	$\pm 0.6$

\*Annahme

#### Folgerungen

- Massgebend für einen Massstabsvergleich Alpentravese (terrestrisch) mit GPS-Messungen (zu Satelliten) ist das reine Distanznetz. Der Vergleich ergibt:  
Die Distanzmessungen der Alpentravese (mit dem Massstab aus Meteo-reduzierten Geodimeterdistanzen) sind um  $0.6 \pm 0.5$  ppm länger als das GPS-Netz
- Das Richtungsnetz, mit dem (mittleren) Massstab der Landeskoordinaten (Abstand Lägern- Generoso) ist wiederum leicht länger als das Distanznetz, allerdings nur 0.3 ppm, und dies sehr unsicher.
- Die Kombination von Richtungen und Distanzen in der Netz-Ausgleichung bewirkt eine Verlängerung des Massstabs um  $0.6$  bis  $0.7$  ppm. (Das kombinierte Netz ist länger als das reine Distanznetz): Vermutlich ist dies der Einfluss von Krustendeformationen im Zeitraum von 1910 bis 1980. (wie schon festgestellt in Kap. 5.5 C.1 Eine nähere Untersuchung folgt im Kap.7.)

## 6.6 Zusammenfassung: Massstabs-Vergleiche in der Alpentravese

Gesamthaft ergeben sich, als Resultat der bisherigen Untersuchungen, die folgenden Massstabs-Unterschiede zwischen den verschiedenen Netzen und Mess-Methoden:

*Tab. 6.6: Massstabs-Vergleiche aller Systeme in der Alpen-Traverse Gotthard*

Methode	System	Massstabs-Differenz in ppm			Bem.
		AT	SLR	Komb.	
Satelliten: Doppler	Swissdoc 84	+1.4		+1.4	länger
<b>EDM: Geodimeter</b>	<b>Alpentravese</b>	<b>0.0</b>	(+1.5)	<b>0.0</b>	<b>Bezug</b>
Europäische Triang.	ED87	-0.4*	+1.1*	-0.4	kürzer
Globales Pos.System	GPS / Granit 1987	-0.6		-0.6	"
Satelliten-Laser-Dist.	SLR 1985		<b>0.0</b>	-1.5*	"
Landestriangulation	Land (Alpentrav.)	-7.1		-7.2	"
Landestriangulation	Land (Ziwld-Gen.)		-6.9	-8.4	kürzer

\* Die beiden unabhängigen Systeme (1. AT: Alpentravese und 2. SLR-Messung Zimmerwald - Generoso) überlappen sich nur über die Europäische Triangulation. Von dieser kann (im Raum Alpentravese bis Bern / Zimmerwald) ein einheitlicher Massstab angenommen werden, wodurch ein Nullpunktsvergleich möglich wird. Mit einer Korrektur von -1.5 ppm können dann beide Systeme vereinigt werden auf das System der Alpentravese:

$$\text{SLR} - 1.5 \text{ ppm} = \text{AT} \text{ (oben: Kolonne Komb.)}$$

### Folgerungen aus den Massstabs-Vergleichen

#### a) Distanzmessungen der Alpentravese (absolute Genauigkeit)

*Der Massstab der Alpentravese (aus Geodimetermessungen) stimmt auf 0.4 ppm mit der Europäischen Triangulation (die Alpentravese ist länger) und auf 0.6 ppm mit dem GPS-System zusammen. (die Alpentravese ist länger).*

Die Übereinstimmung mit diesen beiden zuverlässigsten und daher massgebenden Systemen kann als sehr gut bezeichnet werden.

#### b) Satelliten-Messungen (unter sich)

*TRANSIT-Doppler-System und GPS-System passen im Gebiet der Alpentravese nur auf 2.0 ppm zusammen. Dopplermessungen sind länger als GPS-Messungen.*

Diese Aussage relativ unsicher, da nur 3 Vergleichspunkte zur Verfügung stehen.

#### c) Landesnetz (konventionell) - Alpentravese (neu)

*Die Landestriangulation hat im Gebiet der Alpentravese einen (historisch bedingten) Massstab, der im Mittel um 7.1 ppm zu kurz ist.*

Regional gibt es grosse Unterschiede: 2 ppm nördlich der Alpen, 14 ppm im Tessin.

Details siehe [Bruno Wirth 1990, 9.2].

## 7. Deformationen und Bewegungen der Erdkruste 1910 - 1980

### 7.1 Allgemeines

Aus verschiedenen Untersuchungen (Landesnivellement, Interpretation von Mikrobeben) ist bekannt, dass die Alpen auch heute noch tektonisch aktiv sind, was sich unter anderem auch in *horizontalen Verschiebungen* von Punkten äussern müsste. Es stellt sich daher die Frage, ob anhand von Messungen, die grob gesprochen am Anfang und Ende einer Zeitspanne von 70 Jahren auf dem schweizerischen Triangulationsnetz ausgeführt wurden, solche Verschiebungen nachweisbar sind. Frühere Versuche dieser Art (Habib 1966), bei denen man nur Winkelmessungen einbezog, sind gescheitert, weil die Genauigkeit der Netze zum Aufspüren der doch geringen Verschiebungsbeträge zu klein war. Mit der Alpen traverse 80 liegt nun in der Schweiz erstmals ein alpenüberspannendes, festgefügtes *Trilaterationsnetz* vor, dessen Genauigkeit jene des alten Triangulationsnetzes übertrifft, und das sich im Vergleich mit diesem durch günstigere Fehler- und Massstabsübertragung quer zum Alpenkörper auszeichnet. Das erleichtert den Nachweis kleiner Verschiebungsbeträge. Zudem bringt die um ein oder zwei Jahrzehnte spätere Messepoche den willkommenen Vorteil, dass Verschiebungen, falls vorhanden, im Vergleich mit frühern Untersuchungen wahrscheinlich grösser geworden sind.

Zur Ermittlung von Lageänderungen haben wir als Nullmessung ein *Richtungsnetz* (Fig. 5.2A, S. 69) beigezogen, das mit den originalen, um das Jahr 1910 ausgeführten Messungen der Landestriangulation neu ausgeglichen wurde und dieses mit einem *Distanznetz* (Fig. 5.3A, S. 84) verglichen, dessen Seiten im Laufe mehrerer Jahre (Schwerpunkt 1980) mit SIAL MD60 und Geodimeter 8 gemessen worden sind. Eine genauere Modellierung müsste das Datum der einzelnen Messungen berücksichtigen, doch wurde darauf im Sinne einer ersten Abschätzung verzichtet.

Die Fehlerellipsen (Fig. 7.1) zeigen, dass die Schwachstelle für den Vergleich beim Richtungsnetz liegt. Es erweist sich bei näherer Betrachtung als unmöglich, etwas über die Verschiebung einzelner Punkte im absoluten Sinn, in bezug etwa auf eine als fest angenommene Basis auszusagen. Die Orientierung einzelner Linien oder der Massstab von Teilfiguren ist im Richtungsnetz zu ungenau, um aus Unterschieden gegenüber dem Distanznetz auf signifikante Drehungen oder Längenänderungen zu schliessen (*Ausnahme*: südlichster Netzteil, siehe 7.6 und 7.7.4). Man möchte zum Beispiel gerne wissen, ob sich das Tessin und das Mittelland im Laufe der Zeit näher rücken, d.h. auf unser Netz bezogen, ob der Abstand Lägern-Generoso in den vergangenen 70 Jahren abgenommen (oder möglicherweise auch zugenommen) hat. Diese Strecke hat einen mittleren Fehler von etwa 30 cm im ausge-

gleichen Winkelnetz und von etwa 7 cm im ausgeglichenen Distanznetz. Um auf die Frage eindeutig mit ja zu antworten, müssten sich die Punkte um mindestens einen Meter gegeneinander verschoben haben, was einer jährlichen Bewegungsrate von 1.5 cm entspräche. So grosse Längenänderungen stellt man beim direkten Vergleich der Netze nicht fest.

Was bleibt ist die Möglichkeit, einzelne Teilfiguren, das sind aus dem Netz isolierte Punktgruppen auf Änderungen ihrer Form zu untersuchen. Einige dieser Gruppen liegen möglicherweise in Gebieten grösserer Deformationen, die jetzt - unvermischt - deutlicher zutage treten. Die vom Massstab und der Orientierung abstrahierte Gestalt solcher Figuren ist auch im Richtungsnetz genauer definiert, und erlaubt uns, schärfere Aussagen zu machen. Selbst bei diesem Vorgehen hat man, wie die Rechnung zeigt, keine grossen Reserven an Signifikanz. Immerhin gibt es im Alpenraum bei einigen Figuren Formänderungen, die deutlich über der Standardabweichung für zufällige Fehler liegen und auch geologisch einigermaßen plausibel sind.

## 7.2 Visuelle Beurteilung

Die Verschiebungen in Fig. 7.1 zeigen, wie die aus dem Distanznetz berechneten Punkte von jenen aus dem Richtungsnetz abweichen bei identischer Seite Lägern-Hörnli.

Im nördlichen Teil des Netzes bis zur Linie Titlis-Scheerhorn liegen ruhige Verhältnisse vor. Es sind keine grossen Verformungen oder Massstabsänderungen erkennbar, die auf signifikante Verschiebungen schliessen liessen. Eine leichte Nord-Süd-Kompression deutet sich im Dreieck Hundstock-Titlis-Scheerhorn an.

Weiter südlich wird das Bild spektakulärer. Im Gotthardnetz scheint das Gebiet zwischen Badus und der Linie Basodino-Cramosino in N-S-Richtung zu expandieren. Eine noch extremere N-S-Expansion wird in der südlichen Fortsetzung bis zum Generoso suggeriert, verbunden mit einer E-W-Expansion auf der Breite von Gridone-Menone. Beide Effekte zusammen wirken wie eine ähnliche Vergrösserung der Figur Gridone-Menone-Generoso, an der auch die Punkte Tamaro und Gesero teilhaben. Über die Signifikanz dieser Erscheinung sind in den Abschnitten 7.4 und 7.6 einige Gedanken entwickelt.

## 7.3 Formänderungsanalyse von Teilfiguren

Weil es sich im einen Fall um ein Richtungsnetz im andern Fall um ein Distanznetz handelt, gibt es keine direkt beobachteten Grössen, die man vergleichen könnte. Wir haben darum mit einer gewissen Willkür Teilfiguren über gemeinsame Punkte beider Netze ausgewählt, die eine kontinuierliche Kette von der Lägern nach dem Generoso bilden. Zur Untersuchung wurden zwei Varianten herausgegriffen: eine erste Anordnung mit fünf

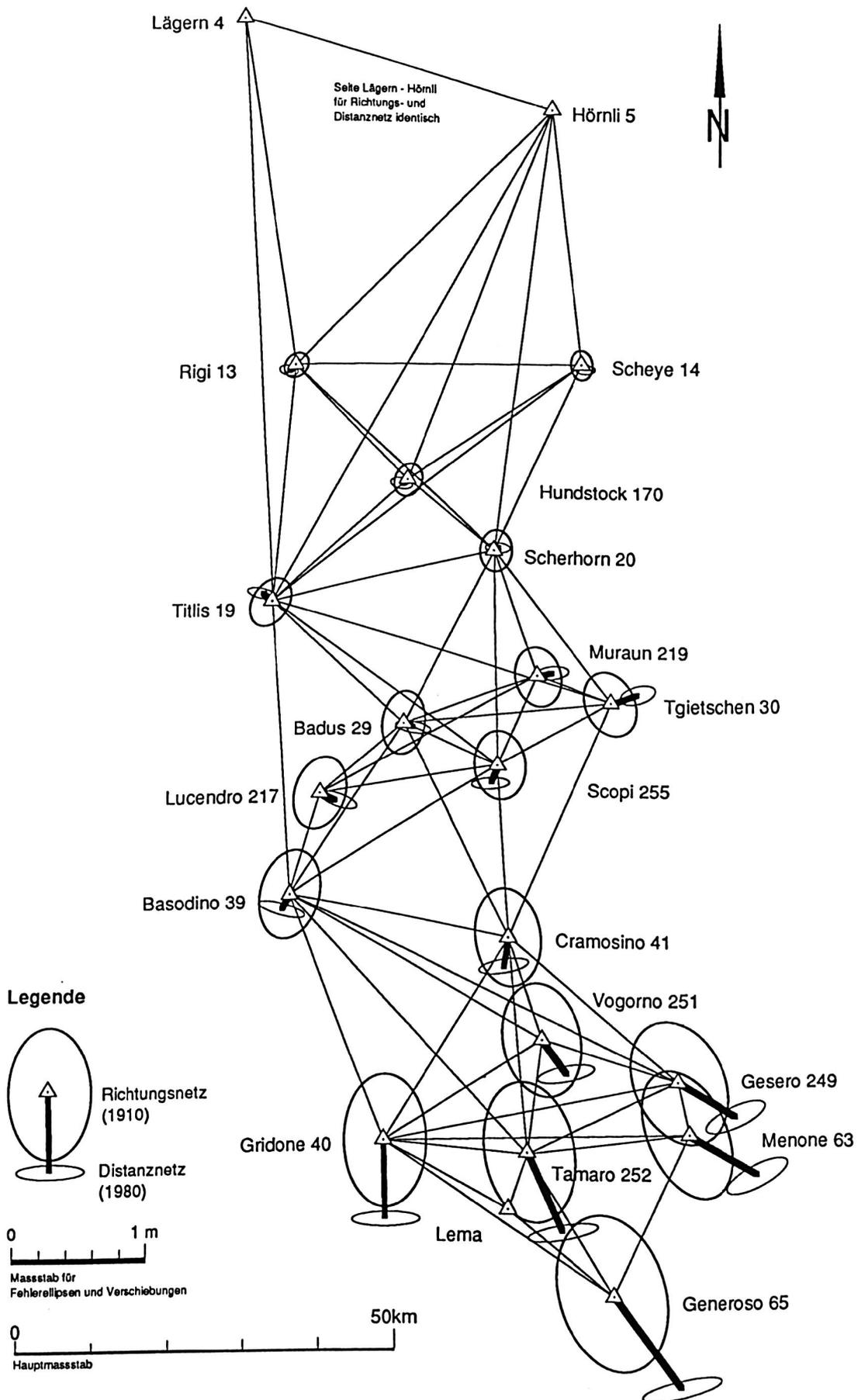


Fig. 7.1 Verschiebungen 1910 - 1980 mit Fehlerellipsen

grossen Polygonen und eine zweite mit einer etwas feineren Unterteilung (Fig. 7.5A und 7.5B).

Untersucht hat man auf lineare Verformungen der Figuren durch Abbildung der alten auf die neuen Koordinaten mittels einer linearen Koordinatentransformation (*Affintransformation*). Wo der überbestimmte Fall von mehr als drei Punkten vorlag, wurden die Klaffen nach kleinsten Quadraten minimalisiert. Die mathematischen Eigenschaften der Affintransformation sind im *Anhang C* zusammengestellt.

Die allgemeine lineare Transformation lässt sich aus einer Schiebung, einer Drehung, einer Massstabsänderung und einer flächeninvarianten affinen Dehnung aufbauen. Unter diesen Teiltransformationen hat für unsern Fall, wie schon erwähnt, - *mit Ausnahme des südlichsten Netzteils (!)* - nur die flächentreue affine Dehnung Aussicht auf Detektion; man kann also bestenfall nur eine Formänderung feststellen. Ist es gelungen, eine bestimmte geometrische Verformung nachzuweisen, sind immer noch mehrere physikalische Deutungen möglich. Ein Quadrat zum Beispiel, das sich zu einem Rechteck verformt, kann in der Längsrichtung gestreckt und in der Querrichtung gestaucht worden sein; es könnte aber auch nur die Länge sich ändern und die Breite festbleiben etc., oder es wäre sogar eine Scherung in Richtung der Diagonalen möglich, die bei kleinen Bewegungen ebenfalls ein Quadrat in ein Rechteck verformt (siehe Anhang C, Seite 210 ff.). Man darf also von der geometrischen Analyse keine endgültigen physikalischen Schlussfolgerungen erwarten.

#### 7.4 Verformungshypothesen und kritische Anmerkungen

Zweifelsohne zeigt der Alpenkörper als Ganzes betrachtet grossräumig gewisse Regelmässigkeiten im Verformungsbild, ähnlich etwa einem Spannungen unterworfenen Stück Metall. Andererseits erwartet man bei dem bekannten, komplexen Aufbau der Alpen viele Unregelmässigkeiten und Unstetigkeiten mit Zonen, in denen Kompression oder Dilatation oder auch Scherung vorherrscht oder wo mehrere Verformungstypen gemischt sind. Bei dieser Sachlage ist es keine einfache Aufgabe, aus einem Netz ziemlich grobmaschig über das Gelände verteilter Punkte - wie der hier vorliegenden Alpentravese - auf Grund geometrischer Messungen die wesentlichen Züge der Verformung herauszuschälen.

Man muss im Auge behalten, dass die Aufteilung der ganzen Traverse in Einzelfiguren sich nach der Lage der Messstationen, das heisst nach messtechnischen und geometrischen Gesichtspunkten richtet, nicht, wie es eigentlich sein sollte, nach geologisch-tektonischen und deshalb mit einer gewissen Willkür behaftet ist. Das Vorhandensein mehrerer Zonen unterschiedlicher Deformationszustände in ein und derselben Figur, von der man nur die Gesamtverformung beobachtet, ist nicht auszuschliessen, ja sogar wahrscheinlich. In

diesem Sinne ist die Analyse auf affine Deformation der Teilfiguren nur eine lineare Näherung an einen möglicherweise komplizierteren Sachverhalt.

Aus Notwendigkeit, weil der Verfasser dieser Zeilen nicht Geologe ist, müssen geologische Hintergründe fast ganz ausser acht gelassen werden. In der Analyse wird lediglich die heutige Form der Figuren mit jener vor 70 Jahren verglichen. Über die Art, wie die Änderung zustande kam, kann nur spekuliert werden. Insbesondere lässt sich aus der Verformung nicht eindeutig auf die verursachenden Kräfte und den heutigen Spannungszustand schliessen. Die Verformungen könnten z.B. elastisch erfolgt sein und im Laufe der Jahrzehnte sich beträchtliche Spannungen aufgebaut haben; es wäre aber auch denkbar, dass die Kruste praktisch spannungsfrei ist, weil plastisches Fliessen oder kleine Gleitbewegungen die sich aufbauenden Spannungen ständig ausgleichen. Mehr Licht in diese mechanischen Aspekte können Vergleiche mit mikroseismischen Untersuchungen werfen [Pavoni 1980, 1987, 9.7].

In dieser Arbeit werden zur Erklärung der festgestellten Verformungen folgende vier Hypothesen aufgestellt und im nächsten Abschnitt diskutiert:

- (1) Die Verformungen sind nur scheinbare, durch zufällige Messfehler vorgetäuscht.
- (2) Die Verformungen sind so, wie im Bild der Deformationsellipsen ablesbar.
- (3) Die Verformungen erklären sich als Kompression-Dilatation in Nord-Süd-Richtung.
- (4) Die Verformungen setzen sich zusammen aus einer Kompression-Dilatation normal zur Hauptstreichrichtung der Alpen (für das Gebiet der Schweiz als 73 gon angenommen) und Gleiten parallel dazu.

## 7.5 Ergebnisse der Formänderungsanalyse

### *a. Erklärungen zu den Verzerrungsellipsen*

In den Figuren 7.5A und 7.5B sind die untersuchten Netzteile und die dazugehörigen Verzerrungsellipsen dargestellt.

Die *Verzerrungsellipsen* zeigen, wie sich (stark übertrieben) ein Kreis unter der volumeninvarianten Affintransformation  $\mathbf{P}$  verformt (Anhang C, 4.a, 4.b, S. 207 ff.). Gezeichnet sind der Kreis als dünne Linie, die Verzerrungsellipse als dicke Linie und zwei ihr benachbarte Ellipsen (fein punktiert), welche den Bereich des mittleren Fehler der Verzerrungsellipse markieren. Weiter sind die grosse Achse der Ellipse und, fein punktiert, der mittlere Fehlerbereich ihrer Orientierung angegeben. Die mittleren Fehler an den Elementen sind nach der Monte-Carlo-Methode auf Grund des aus den Klaffen abgeleiteten mittleren Einheitsfehlers (Anhang C, Gl. 5.10) berechnet. Die spezifische Dehnung  $\gamma$  gibt an, um wieviel ppm sich die grosse Halbachse gegenüber dem Kreisradius verlängert, bzw. die

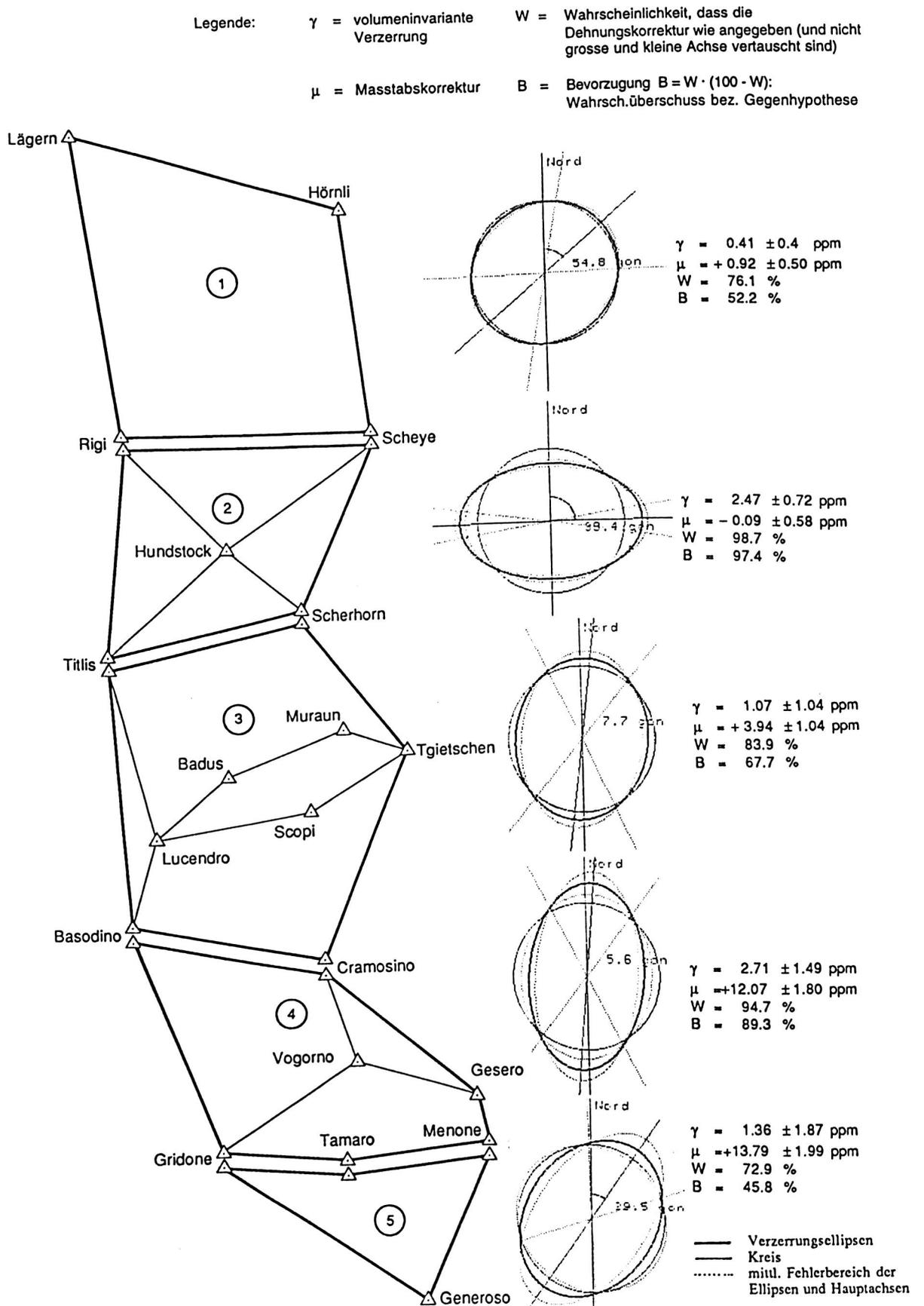


Fig. 7.5.A. *Verzerrungsanalyse von Netzteilen, Hauptaufteilung. Affine Transformation des Richtugsnetzes auf das Distanznetz, Verzerrungsellipsen.*

kleine Halbachse bei der Verzerrung verkürzt.

Die *Wahrscheinlichkeit*  $W$  dafür, dass in der angegebenen Richtung der grossen Achse Streckung und nicht etwa Stauchung stattgefunden hat, ist gleich der Wahrscheinlichkeit, dass der Dehnungsfaktor  $(1+\gamma)$  grösser als eins ist und wird a posteriori aus  $\gamma$  und dem m.F. von  $\gamma$  auf Grund einer t-Verteilung ermittelt. Dem neutralen Fall, bei dem die Ellipse ein Kreis bleibt, entspricht  $W = 50\%$ . Noch deutlicher wird der Sachverhalt bei Einführung der *Bevorzugung*  $B$ , die als  $B = W - (100\% - W) = 2W - 100\%$  definiert ist. Die Grösse  $(100\% - W)$  ist die (im allgemeinen kleine) Wahrscheinlichkeit, dass die Streckung, entgegen der Erwartung, doch in Richtung der kleinen Achse erfolgt ist. Bei  $B = 0\%$  ( $W = 50\%$ ) wird keine Richtung bevorzugt, im Extremfall  $B = 100\%$  ( $W = 100\%$ ) wäre die Bevorzugung der grossen Achse absolut.

### *b. Deformation der Teilfiguren*

Bei der *grobmaschigen* Aufteilung (Fig. 7.5A) wurde das Netz in fünf Teile zerlegt. Deren nördlichster und südlichster (Netzfigur 1 und 5) zeigen Verzerrungen geringer Signifikanz. Das kommt in den relativ kleinen Bevorzugungen von 52.2% und 45.8% zum Ausdruck und auch in den grossen Streuungen der Hauptachsrichtung. Für das Mittelland (Lägern - Rigi) und das Sottoceneri (Tamaro - Generoso) sind also keine *affine* Deformationen nachweisbar. Bemerkenswert im Netzteil 1 ist die fast kreisförmige Dehnungsellipse und der kleine Streubereich, woraus sich auf kleine Klaffen d.h. auf eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem alten Winkelnetz und dem modernen Distanznetz schliessen lässt. Im östlichen Mittelland scheint sich in den letzten 70 Jahren tektonisch nicht viel getan zu haben.

Eindeutigere Verhältnisse herrschen im Alpenraum. Dort zeigt der Netzteil 2 (Rigi - Titlis) eine Quetschung in ungefähr Nord-Süd-Richtung mit  $B = 97.4\%$  und der Netzteil 4 (Basodino - Gridone) eine entsprechende Streckung mit  $B = 89.3\%$ . Etwas weniger klar ist die Aussage auf dem Mittelstück, dem Gotthardnetz (Netzfigur 3, Titlis - Basodino), wo zwar eine Nord-Süd-Dilatation sichtbar wird, doch mit einer nicht allzu eindeutigen Bevorzugung von  $B = 67.7\%$ .

Mit einer *feineren Unterteilung* der Netzfiguren 2, 3 und 4 (Fig. 7.5B) wurde versucht, die Deformationen im Alpenraum genauer zu analysieren. Auf dem Stück um den Vierwaldstättersee (Netzfigur 2n, Rigi - Hundstock) lässt sich keine affine Verzerrung feststellen, dafür ist am Nordfuss des Gotthards, im Urnerland (Netzfigur 2s, Hundstock - Titlis) die N-S-Kompression mit  $B = 95.6\%$  umso eindeutiger. Im südlich anschliessenden Sektor, im Nordteil des Gotthardnetzes (Figur 3bo, Titlis - Badus), sind unklare Verhält-

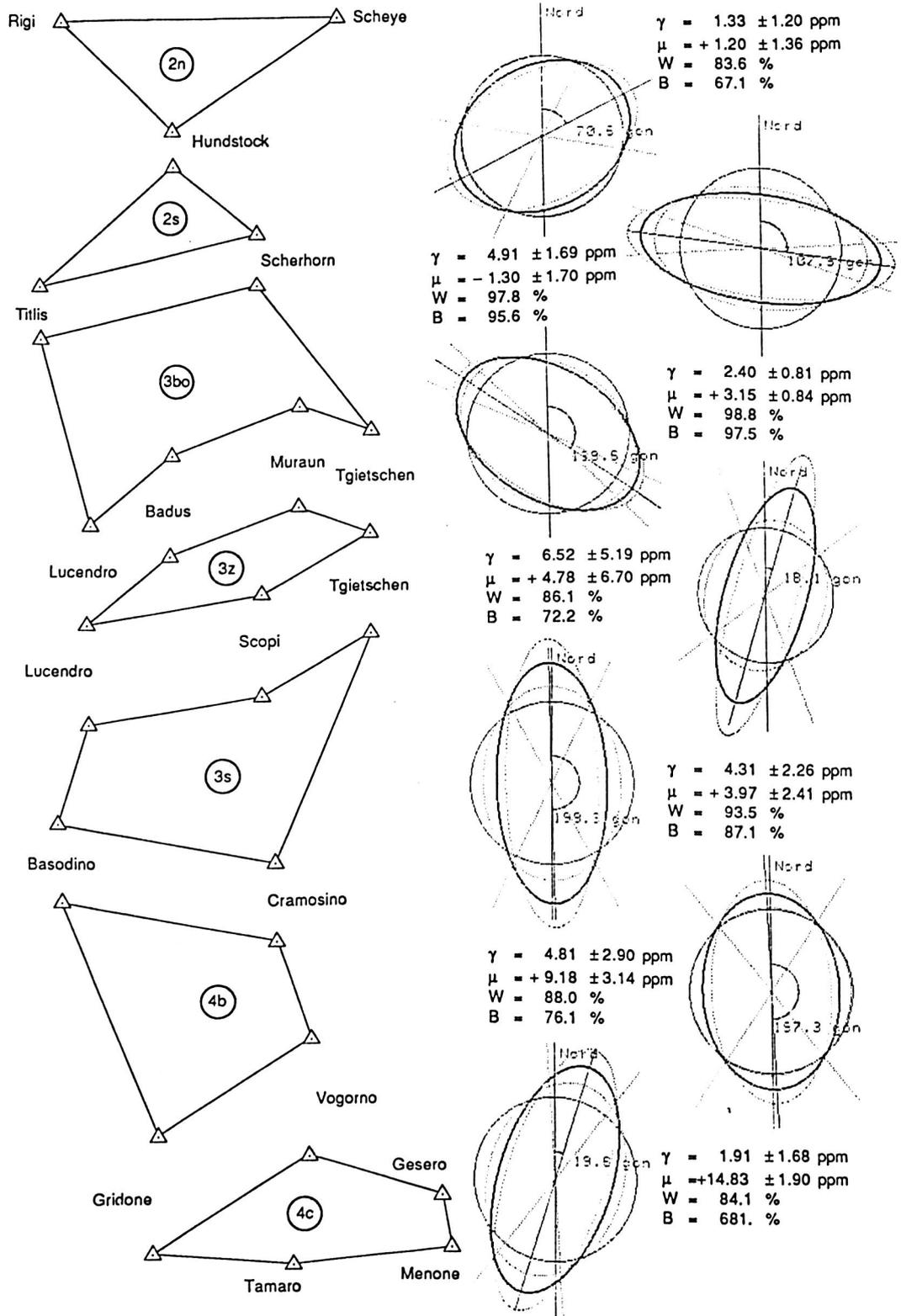


Fig. 7.5.B. *Verzerrungsanalyse von Netzteilen, Feinaufteilung. Affine Transformation des Richtungsnetzes auf das Distanznetz. Verzerrungsellipsen (Legende in Fig. 7.5A).*

nisse; man weiss nicht recht, soll man die Deformation als Streckung SE-NW interpretieren oder als Quetschung quer dazu. Der südliche Teil des Gotthardnetzes scheint gestreckt worden zu sein, wenn auch die Signifikanz nicht sehr gross ist (Netzfigur 3z, Badus - Scopi:  $B = 72.2\%$ , Figur 3s, Scopi - Cramosino:  $B = 87.1\%$ ). Fasst man allerdings die Netzteile 3z und 3s zusammen (nicht dargestellt) und lässt den Punkt Scopi, der schlecht mit den andern Punkten zusammenpasst, weg, so ergibt sich über diesen Raum eine eindeutige Streckung in Richtung N-S mit  $B = 98.8\%$ .

Über dem Sopraceneri bestätigt sich bei der Aufteilung der Netzfigur 4 die allgemeine N-S-Dilatation. Sie kommt im nordwestlichen Teil (Netzfigur 4b, Basodino - Vogorno) stärker zum Ausdruck als im südöstlichen Teil (Netzfigur 4c, Vogorno - Tamaro), wo die einsetzende Querdehnung (siehe 7.6) zusammen mit der Längsdehnung die Verformung als Massstabsänderung erscheinen lässt.

## 7.6 Die Dehnungen im südlichen Tessin

Aus den Affintransformationen ergibt sich ab der Linie Gridone-Menone für den südlichsten Netzteil zwischen 1910 und 1980 fast keine Formverzerrung, dafür eine Massstabsvergrösserung von 13.8 ppm. Ist dieser Massstabssprung zwischen zwei benachbarten Netzteilen signifikant? Wenn ja, dann müsste die Hypothese der unveränderten Querdimension (E-W) für diese Zone fallen gelassen werden.

Zur Beantwortung der Frage betrachten wir in der folgenden Tabelle 7.6A vier ausgewählte Strecken und deren Änderungen in der besagten Periode, wobei der Massstab im Richtungsnetz durch die aus dem Distanznetz übernommene Strecke Lägern-Hörnli gegeben ist (vergl. auch Fig. 7.6, S. 150).

Strecke	Länge km	Änderung $\Delta D$ Distanznetz (1980) minus Richt.netz (1910)		Relative Fehlerellipsen				Quotient $\Delta D/\sigma_D$ für Richtungs- netz
		mm	ppm	gr.Halbachse a $\equiv \sigma_D$ mm	ppm	kl.Halbachse b $\equiv \sigma_D$ mm	ppm	
Basod-Cramo	29.3	+42	+1.4	154	5.3	30	1.0	0.27
Grido-Menon	38.4	+508	+13.2	242	6.3	25	0.7	2.10
Grido-Genero	35.9	+459	+12.8	236	6.6	24	0.7	1.94
Vogor-Tamaro	15.2	+311	+20.4	106	6.9	24	1.6	2.93

Tabelle 7.6A. Streckenvergleich 1910-1980 (Projektionsdistanzen)  
im südlichen Netzteil.

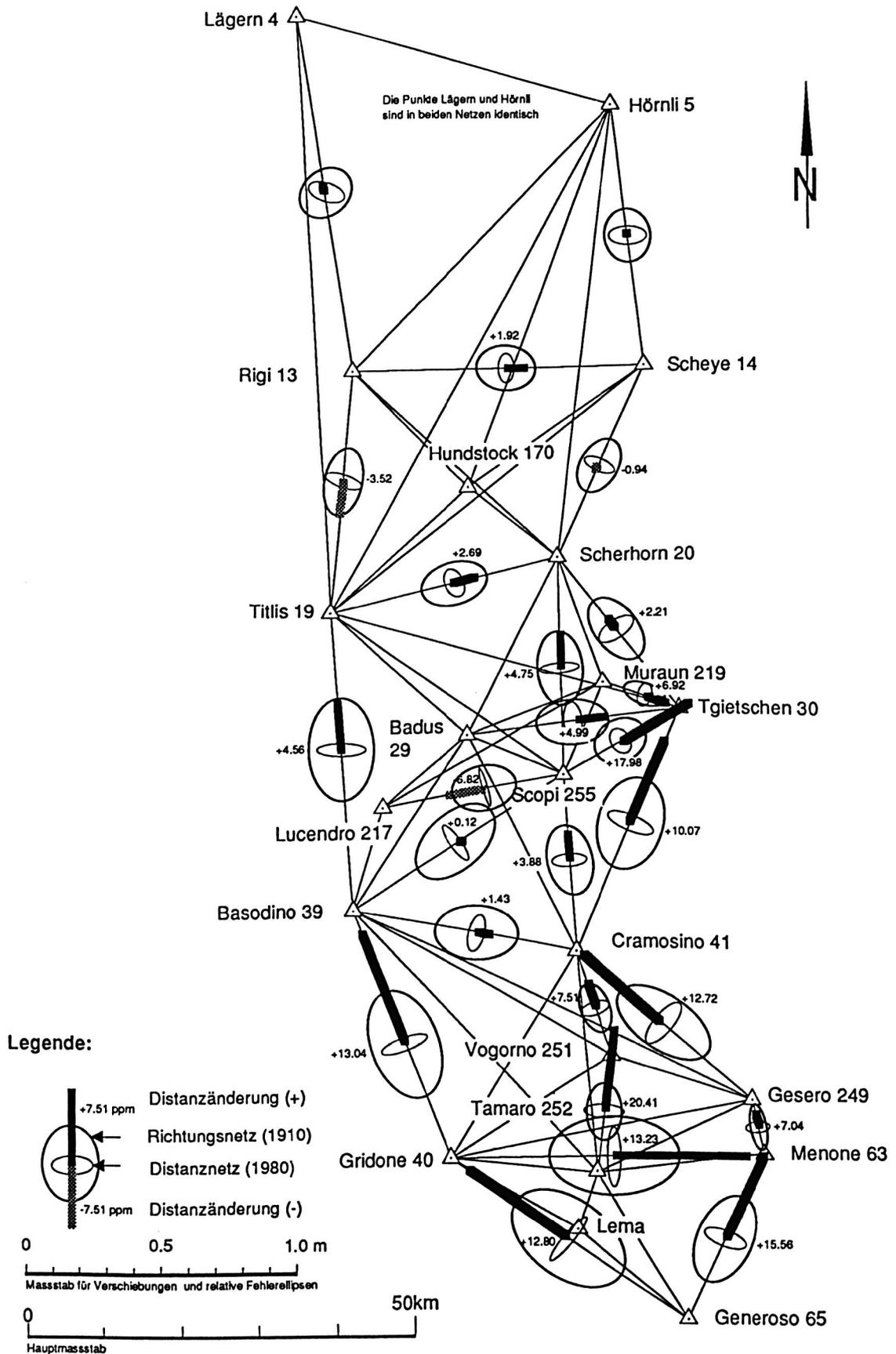


Fig. 7.6

*Distanzänderungen zwischen 1910 und 1980 mit relativen Fehlerellipsen für Richtungs- und Distanznetz. Die Seite Lägern-Hörnli wurde im Richtungsnetz aus dem Distanznetz übernommen.*

Man bemerkt als erstes, dass der mittlere Streckenfehler beim Richtungsnetz 5 bis 10 mal grösser ist als beim Distanznetz und deshalb das Richtungsnetz bei der statistischen Fehlerabschätzung allein massgebend ist. Weiter zeigen beim Richtungsnetz die grossen und beim Distanznetz die kleinen Halbachsen der Fehlerellipsen annähernd in Richtung der Dreiecksseiten (Fig. 7.6), somit darf beim Richtungsnetz die grosse Halbachse  $a$  und beim Distanznetz die kleine Halbachse  $b$  gleich dem mittleren Streckenfehler gesetzt werden.

Die Tabelle 7.6A weist für Gridone-Menone und Gridone-Generoso eine Distanzverlängerung von rund dem doppelten mittleren Fehler und für Vogorno-Tamaro sogar dem dreifachen mittleren Fehler nach, das entspricht Signifikanzniveaus von ungefähr 95% und 99.7%. Die Distanzverlängerungen sind also mit guter Sicherheit sowohl in Richtung N-S als auch E-W reell. Umgekehrt liegt die Verlängerung der Strecke Basodino-Cramosino weit innerhalb des Zufallsbereiches.

Statistisch noch eindeutiger wird die Aussage, wenn man sich nicht auf die weit weg liegende Seite Lägern-Hörnli, sondern auf eine benachbarte Seite mit ungefähr E-W-Ausdehnung bezieht und zum Beispiel den Unterschied in den Verlängerungen von Basodino-Cramosino und Gridone-Menone zwischen 1910 und 1980 betrachtet. Dies ist in Tabelle 7.6B geschehen, wo die mittleren Fehler aus den Q-Matrizen der Ausgleichung unter Berücksichtigung aller Korrelationen berechnet sind.

Raumstrecke	Basodino-Cramosino m	Gridone-Menone m
Länge 1910, Richtungsnetz	29346.689 ± 0.145	38400.680 ± 0.223
Länge 1980, Distanznetz	29346.735 ± 0.031	38401.197 ± 0.030
Änderung 1910 bis 1980	+0.046	+0.517
Unterschied der Änderungen: $u$	0.471	
Mittl. Fehler von $u$ : $\sigma_u$	±0.133	

Tabelle 7.6B. Vergleich der Strecke Basodino-Cramosino und Gridone-Menone 1910 und 1980.

Das Verhältnis  $u/\sigma_u$  ist 3.54 und die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Wert bei einer Normalverteilung erreicht oder überschritten wird 0.38 Promille.

Um sicher zu sein, dass der Effekt nicht auf lokalen Bewegungen von Basodino oder Cramosino beruht, ziehen wir auch die weiter nördlich liegende Seite Titlis-Scheerhorn zum Vergleich heran. Eine entsprechende Rechnung wie oben gibt  $u = 426$  mm,  $\sigma_u = 180$  mm,  $u/\sigma_u = 2.37$  und das Signifikanzniveau ist 1.8%. Der Schluss, dass die

Streckung in E-W-Richtung reell ist, bestätigt sich. Diese Folgerung wird weiter erhärtet, wenn man die Punkte Tamaro und Gesero zusätzlich zum Vergleich heranzieht. Die auf sie mündenden, in der Nachbarschaft von Gridone-Menone liegenden E-W-Linien zeigen Verlängerungen ähnlichen Ausmasses.

Als letztes Kriterium vergleichen wir einen Messwert aus dem letzten Jahrhundert für die Seite Gridone-Menone mit den moderneren Messungen. Es handelt sich um das Basisvergrößerungsnetz Giubiasco aus dem Jahr 1883/84, das von Wunderlin [1981, 9.2] mit den Originalmessungen neu berechnet wurde.

Jahr	Projektionsdistanz	Bemerkungen
1884	38391.357 ± 0.111	Vergrößerungsnetz Giubiasco, aus Wunderlin (1981), Var.1, Massstab aus Basis Giubiasco abgeleitet
1910	38391.318 ± 0.242	Richtungsnetz (LTOP, Var. R1), Massstab via Viereck Lägern-Hörnli-Rigi-Scheye aus Distanznetz übernommen
1910	38391.147 ± ?	aus offiziellen Landeskoordinaten
1980	38391.793 ± 0.025	aus Distanznetz (LTOP, Var. D10), Massstab: Geodimeter 8

*Tabelle 7.6C. Werte für die Triangulationsseite 1. Ordnung Gridone-Menone: 1884 - 1980*

Die Länge 1910 beruht auf der Annahme, dass sich die Distanzen im Viereck Lägern-Hörnli-Rigi-Scheye zwischen 1910 und 1980 nicht wesentlich geändert haben.

Interpoliert man die Längenänderung zwischen 1910 und 1980 linear rückwärts, so gelangt man für 1884 auf einen Wert von 38391.142 m, der um 0.215 m kleiner ist, als der aus damaligen Messungen bestimmte Wert. Die Differenz liegt innerhalb des einfachen mittleren Fehlers. Wenn sich aus den Messungen von 1884 und 1910 keine Bewegung ableiten lässt, so widersprechen sie doch auch nicht einer solchen zwischen 1910 und 1980.

Den kleinsten Wert für die Seite erhält man aus den Landeskoordinaten von Gridone und Menone. Er ist um 16.8 ppm kleiner als der Wert aus dem Distanznetz. Schon Fischer [1979, 9.2] macht auf den zu kleinen Massstab des Landesnetzes im Süden aufmerksam und gibt 18 ppm Unterschied im Vergleich mit der Geodimeter 8-Messung an. In der gleichen Publikation (Seite 13) benutzt Fischer eine Neuausgleichung des Schweizer Netzes 1. Ordnung durch N. Wunderlin zum Vergleich mit den Geodimeter-Distanzen, bei der das frei ausgeglichene Richtungsnetz durch eine Helmerttransformation im Massstab an RETRIG2 angepasst wurde. Der Massstab ist für dieses Netz im Gebiet Lägern 1 ppm grösser und im Gebiet Gridone 3 ppm kleiner als der Geodimetermassstab, das ergibt einen Unterschied von 4 ppm, während er in unserem Vergleich zwischen Richtungs- und Distanznetz 12 ppm

beträgt. Die Abweichung läuft zwar auf dieselbe Seite, doch ist der Grund für die beträchtliche Diskrepanz von 8 ppm nicht klar. Zu erwähnen wäre, dass neben der Netzkonfiguration auch das Beobachtungsmaterial nicht ganz identisch ist, weil wir für unser Richtungsnetz auch Punkte 2. Ordnung miteinbezogen haben.

*Schlussfolgerung:*

Statistische Überlegungen bestätigen die bei der visuellen Beurteilung geäußerte Vermutung, dass sich im Südteil des Netzes die Punkte in der Lage verschoben haben. Es handelt sich im Gebiet von Biasca bis zum Generoso um Streckungen von der Grössenordnung 10 ppm in Nord-Süd-Richtung und auf der Breite von Locarno um Streckungen vergleichbarer Grössenordnung in Richtung Ost-West. Ob die E-W-Verzerrung nördlich und südlich von Locarno auf ein grösseres Gebiet übergreift, lässt sich nicht entscheiden, da die nötigen Punkte fehlen. Vielleicht ist es kein Zufall, dass die E-W-Streckung direkt auf der *insubrischen Linie*, einer der grossen Verwerfungslinien im Alpengebiet, liegt. Auf eine vermehrte tektonische Aktivität im Bereich der insubrischen Linie könnte auch die übergrosse Streckung der Seite Vogorno-Tamara von etwa 20 ppm deuten, welche die Linie in N-S-Richtung kreuzt.

## 7.7 Diskussion möglicher Verformungshypothesen

Wir wollen im Lichte der vorangehenden Analysen die am Ende von 7.4 aufgestellten vier Hypothesen und den Sonderfall Tessin diskutieren.

*(1) Die Verformungen sind nur scheinbare, durch zufällige Messfehler vorgetäuscht.*

Das trifft mit grosser Wahrscheinlichkeit für das schweizerische Mittelland zu. Im Alpenraum dagegen deuten die grossen B-Werte auf reelle Verformungen im Laufe der letzten 70 Jahre hin. Verstärkt wird dieses Indiz durch die Tatsache, dass sich bei einer Gesamtausgleichung des Netzes nach Einbezug der Winkel in das Distanznetz die Qualität des Netzes verschlechtert (Mittlerer Fehlerquotient *a posteriori* zu *a priori* für das Distanznetz (S. 93):  $Q = 0.93$ , für das Winkelnetz:  $Q = 1.05$ , für das kombinierte Netz:  $Q = 1.16$ ).

*(2) Die Verformungen sind so, wie im Bild der Deformationsellipsen ablesbar.*

Das würde nur stimmen, wenn die Messungen frei von Fehlern wären. Was die *groben* Fehler anbelangt, hat man durch viele Kontrollen versucht, sie alle zu eliminieren. Im Falle der grob verfälschenden Fehler ist das sicher gelungen, doch muss man bei einem Werk dieses Umfangs, das sich über Jahrzehnte erstreckt und an dem viele Mitarbeiter beteiligt sind, wenigstens die Möglichkeit ins Auge fassen, dass einzelne *kleine*, vermeidbare Fehler

von der Grössenordnung der zufälligen Fehler unentdeckt geblieben sind (z.B. bei der Zentrierung der Messungen etc.). Solche Fehler könnten nichtexistente Verformungen vortäuschen.

Unvermeidbare, *zufällige* Fehler stecken bekanntlich in jeder genauen Messung und sorgen dafür, dass streng genommen jede auf Beobachtungen fussende Aussage ein durch Wahrscheinlichkeiten quantifizierbares Element des Zweifels enthält. Im Grenzfall, bei an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit, kann der Zweifel praktisch null sein. Derart klare Verhältnisse herrschen bei unsern Untersuchungen nicht; die Wahrscheinlichkeit, dass etwas im angegebenen Sinn passiert ist, liegt bei den eindeutigeren Verzerrungsfiguren im Alpengebiet zwischen rund 90 und 99%. Die Streubereiche, sowohl für den Dehnungsfaktor als auch für die Richtung der Hauptdehnung, sind ziemlich gross. Man müsste also in diesen Fällen sagen: Es hat eine Dehnung im angegebenen Sinn stattgefunden, aber ihre Grösse und Richtung sind nur ungenau angebbbar.

*(3) Die Verformungen erklären sich als Kompression-Dilatation in Nord-Süd Richtung.*

Bei Betrachtung der Deformationsfiguren fällt auf, dass dort, wo mit grosser Wahrscheinlichkeit Streckung oder Stauchung nachgewiesen wird, die Hauptachsen ungefähr in Nord-Süd-Richtung zeigen (wenn auch meist mit beträchtlicher Streuung). Es ist darum naheliegend, auf Nord-Süd-Dehnung der Figuren zu untersuchen. Wir arbeiten hier für die Gebiete nördlich von Biasca mit der Annahme, dass keine Scherung stattgefunden hat und die Dimension der Figuren in E-W-Richtung festbleibt. (Nach einer mündlichen Mitteilung von N. Pavoni ist diese Annahme einigermassen willkürlich.) Bei festgehaltener Querdimension setzt sich die Gesamtverformung nicht mehr aus einer Verlängerung  $\gamma$  in der Hauptrichtung und einer Verkürzung um den gleichen Betrag quer dazu zusammen, sondern einzig aus einer *Verlängerung um den doppelten Betrag*  $2\gamma$  in der Hauptrichtung (hier N-S). Das gilt natürlich auch für negative Verlängerungen, sprich Stauchungen.

*(4) Der Sonderfall Tessin*

Das oben gesagte trifft nicht für das Tessin südlich von Biasca bis zum Generoso zu. Hier sind die Längenänderungen nach 7.6 genügend gross, dass sie als signifikant nachgewiesen gelten können. Für die gesamte Längenänderung ist dann nicht das Dehnungsverhältnis allein, sondern die Summe von spezifischer Dehnung und Massstabskorrektur  $\gamma + \mu$  massgebend. Wir arbeiten für die beiden Netzteile 4c und 5 südlich des Vogorno mit dieser Hypothese und für den Netzteil 4b im Übergangsgebiet unmittelbar nördlich davon mit dem Kompromiss  $1.5\gamma + 0.5\mu$ . Zweifel bestehen über die Deutung der Querdehnung

(E–W). Ist sie eine lokale Erscheinung in der Umgebung der insubrischen Linie oder erstreckt sie sich über ein grösseres Gebiet? Im letzteren Fall würde sich (mit der N-S-Dehnung kombiniert) das ganze südliche Tessin in allen Richtungen gleichmässig strecken, was aus geologischen Gründen nicht sehr plausibel scheint.

*(5) Hypothese über die Nord-Süd-Verformung des Alpenkörpers im Gotthardprofil*

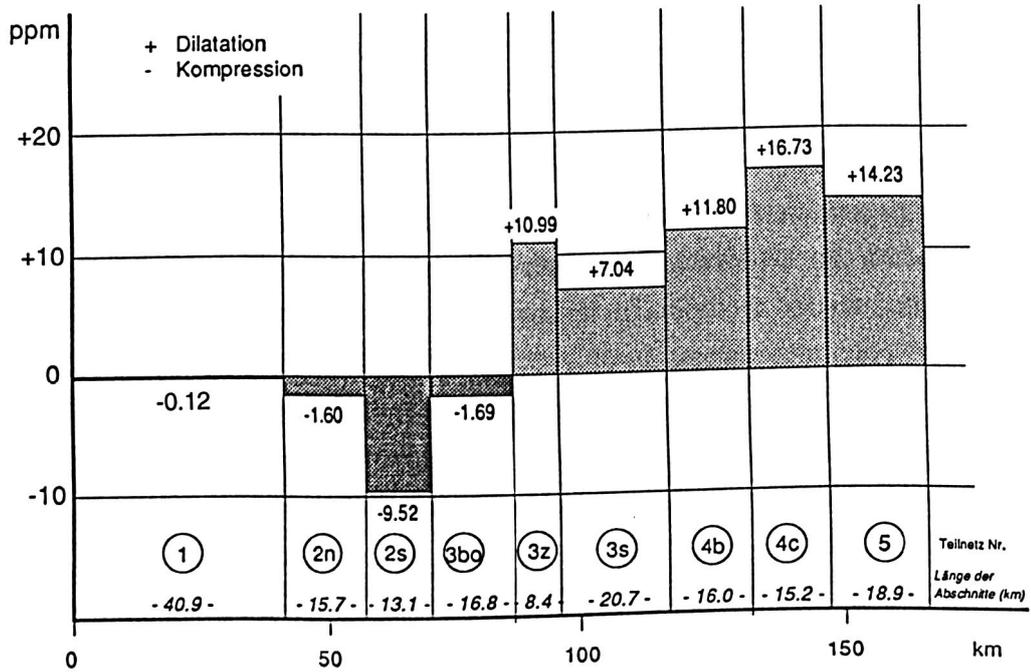
In der Tabelle 7.7 sind die Verhältnisse zahlenmässig und in Abb. 7.7 grafisch dargestellt. Grob gesehen findet man nördlich des Alpenkamms, also etwa vom Rigi bis zum Gotthard, Kompression und südlich davon Dilatation. Im gesamten überwiegt Dilatation, was bewirkt, dass die Strecke Lägern-Generoso im Laufe der letzten 70 Jahre länger geworden ist. Je nach der Art, wie man in Einzelfiguren unterteilt, kommt als Verlängerung 77 cm (bei der Feinunterteilung) oder 53 cm (bei der Grobunterteilung) heraus. Die grösste Stauchung stellt man im Gebiet um den Uri Rotstock im Raum etwa zwischen Sisikon und Amsteg, die grösste Ausdehnung im Gebiet der Magadinoebene fest. Wie aber oben erläutert, sind diese Aussagen mit ziemlichen Unsicherheiten behaftet, sowohl vom Betrag der ausgewiesenen Deformationen als auch von der Hypothese selber her.

Trennungslinie	Netzfigur	Distanz in N-S-Richtg.		Dehnung in N-S-Richtg.		Änderung d. Entfernung zu Lägern mm
	Nr.	Abschn. km	Gesamt km	relat. ppm	linear mm	
Lägern-Hörnli	1	40.8	0	-0.12	-5	0
Rigi-Scheye	2n	15.8	40.8	-1.60	-25	-5
Hundstock	2s	13.1	56.6	-9.52	-125	-30
Titlis-Scheerhorn	3bo	16.8	69.7	-1.69	-28	-155
Badus-Muraun	3z	8.4	86.5	+10.99	+92	-183
Scopi	3s	20.7	94.9	+7.04	+146	-91
Basodino-Cramosino	4b	16.0	115.6	+11.80	+189	+55
Vogorno	4c	15.2	131.6	+16.73	+254	+244
Tamaro	5	18.9	146.8	+14.23	+269	+498
Generoso			165.7			+767

**Tabelle 7.7. N-S-Verformung des Alpenkörpers im Gotthardprofil.**

*Die Werte sind mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet (siehe Text).*

Dehnung in Nord-Südrichtung 1910 - 1980



Aenderung der Entfernung zu Lägern 1910 - 1980

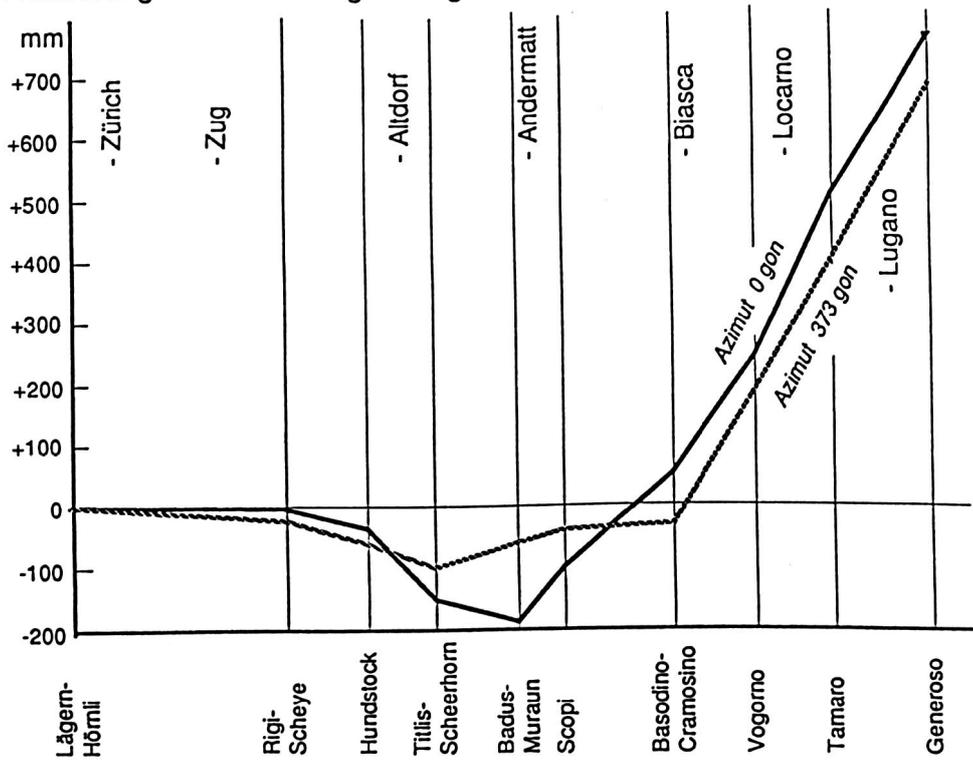


Fig. 7.7 Nord-Süd-Dilatation / Kompression der Alpen im Gotthardprofil zwischen 1910 und 1980.  
Die Ergebnisse beruhen zum Teil auf Hypothesen, siehe Text.

*(6) Zerlegung der Verformung in Komponenten bezüglich der Hauptstreichrichtung der Alpen*

Das Kartenazimut der Hauptstreichrichtung ist als 73 gon angenommen, daraus ergibt sich für die Hauptstossrichtung quer dazu ein Azimut von 373 gon. Aus seismischen Untersuchungen ist bekannt [Pavoni 1980a, 9.7], dass die Hauptachsen der die Mikrobeben auslösenden Spannungen ungefähr in der Hauptstossrichtung laufen. Da Spannungen und Verformungen eng zusammenhängen, ist es einen Versuch wert, die geodätisch gefundenen Verformungen in eine Dehnungskomponente parallel zur Hauptstossrichtung von 373 gon zu zerlegen und eine Scherungskomponente senkrecht dazu, d.h. parallel zur Hauptstreichrichtung. Die Umrechnung geschah mit Formeln (4.14) im Anhang C.

Das Ergebnis ist in Fig.7.7 als gestrichelte Linie dargestellt. Punkto Dehnung im Azimut 373 gon bietet sich ein ähnliches Bild wie im Falle der Hypothese (5), nämlich Stauchung nördlich des Alpenkamms und Ausdehnung südlich davon, wenn auch in vermindertem Ausmass. Die Deformationsbeträge in dieser Richtung sind verglichen mit der N-S-Richtung nur rund halb so gross. Die daraus resultierende Wanderung des Generoso relativ zur Lägern in Richtung 373 gon kommt bei der Feinaufteilung nur noch als rund 69 cm heraus, bei der Grobaufteilung als 52 cm. Mit den Dehnungen sind Scherungen verbunden und zwar der Regel nach so, dass in Zonen der Ausdehnung die südlichen Teile nach Westen, die nördlichen nach Osten gleiten und in Quetschzonen gerade umgekehrt. Diese Art Scherung passt im Süden mit der Scherrichtung der insubrischen Linie zusammen. Ob auch im Norden Verwerfungen mit passenden Scherungen geologisch festgestellt worden sind, entzieht sich der Kenntnis des Verfassers.

## **7.8 Schlussfolgerungen**

Wenn wir die diskutierten Hypothesen gegeneinander abwägen, gelangen wir zum Schluss, dass keiner gegenüber den andern der absolute Vorzug gegeben werden kann. Die Wirklichkeit ist wie fast immer komplizierter als die Theorie und enthält höchstwahrscheinlich ein Stück aus allen Hypothesen. Die Verformungen sind teilweise durch zufällige Messfehler vorgetäuscht, sie verlaufen in gewissem Grade wie die Verzerrungsellipsen anzeigen, der Alpenkörper dilatiert/komprimiert im Gotthardprofil ungefähr in N-S-Richtung aber Dilatation/ Kompression normal zur Streichrichtung der Alpen ist auch nicht auszuschliessen. Wir haben aus den Hypothesen eine gewisse Auswahl getroffen und kombiniert, so, wie es uns am plausibelsten erschien, und sind zu gewissen Ergebnissen gelangt, die

zukünftige Messungen vielleicht bestätigen oder eben auch nicht bestätigen werden. Am besten statistisch gesichert sind die Dehnungen im Südteil des Netzes.

Nach unserer Meinung hat die Hypothese (3) die grösste Plausibilität, die besagt, dass zur Zeit im Gotthardprofil der Alpenkörper in Nord-Süd-Richtung auf der Nordflanke komprimiert wird mit Schwerpunkt im Raume Sisikon-Amsteg und dass er auf der Südflanke dilatiert mit Schwerpunkt Magadinoebene. Insgesamt überwiegt die Dilatation. Demnach wären sich über die vergangenen 70 Jahre der Gotthardpass und die Lägern um rund 18 cm nähergerückt und hätten sich der Monte Generoso und die Lägern um rund 70 cm voneinander entfernt. Auf diese Werte ist man für das Netz von der Lägern bis nach Biasca allerdings nicht durch direkten Längenvergleich, sondern über die Formänderungen von Netzfiguren gelangt, indem man dort als Zusatzhypothese eine Querdehnung null eingeführt hat.

Mehr Klarheit in diese tektonischen Geschehnisse werden künftige Messungen auf Punkten der Alpentravese Gotthard bringen. Dank moderner Messverfahren (z.B. GPS), die bedeutend schneller und genauer als die klassische Winkelmessung sind, werden sich schlüssige Aussagen vielleicht schon in wenigen Jahren machen lassen. Das vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie in den Siebziger- und Achtzigerjahren gemessene Distanznetz bietet sich für spätere Vergleiche als recht zuverlässige und genaue Grundlage an. Im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung, wo ein Richtungsnetz beigezogen werden musste, werden sich in Zukunft absolute Längenänderungen direkt feststellen lassen.

## 8. Zusammenfassung

### 8.1 Überblick über das Netz (Kap. 1 und 2)

Netz: Die geodätische "Alpentravese Gotthard" ist ein konventionell-klassisches geodätisches Triangulations-Trilaterationsnetz, das sich in Nord-Süd-Richtung quer durch die Schweiz erstreckt vom Jura (Lägern) im Norden über das Schweiz. Mittelland und die Alpen (Gotthard) bis in den Süd-Tessin (Monte Generoso). Es hat eine Länge von etwa 180 km, eine Breite von ca. 40 km und enthält 38 Punkte 1. und 2. Ordnung der Schweiz. Landestriangulation. (siehe Überblicks-Karten S. 49ff.)

Messungen: Die Netzgeometrie wird bestimmt durch die alten Winkelmessungen der Schweiz. Landestriangulation aus den Jahren 1908 bis 1928, und durch neue elektronische Distanzmessungen, die zuerst in der Zeit von 1969 bis 1977 (Laserdistanzen) und dann 1981 bis 1986 speziell für dieses Netz ausgeführt wurden mit Laser- und Mikrowellen-distanzmessern, wobei spezielles Gewicht auf die Meteoerfassung gelegt wurde.

### 8.2 Ziele des Projektes (Kap. 1 und 2)

Mit dem Projekt "Alpentravese" wurden folgende Ziele verfolgt :

a) Verstärkung der Schweizerischen Landestriangulation.

Das Schweizerische Landestriangulationsnetz war bei Projektbeginn in Nord-Süd-richtung (quer zu den Alpen) in bezug auf den *Massstab* (Übertragung und Versteifung) nur sehr schwach bestimmt, nämlich ursprünglich (über die Netzgeometrie) aus den Basen Aarberg und Weinfeldern (Basis Giubiasco unberücksichtigt) und später (ab 1969) durch eine einzige Distanzverbindung (Geodimeterdistanzen in Polygonform, siehe Netzplan S. 49f). Für die Bedürfnisse der amtlichen Vermessung (der damaligen Zeit) mochte das genügen, nicht jedoch für neuere Zielsetzungen und Genauigkeitsanforderungen. Dieser eindeutige Mangel sollte beseitigt werden durch neue, möglichst genaue und genügend überbestimmte elektronische Distanzmessungen, um so eine zuverlässige Distanzübertragung über die Alpen zu gewährleisten und um auch die Epoche der "klassischen" Vermessung (mit Triangulationen und Trilaterationen) zu einem vernünftigen Abschluss zu bringen.

b) Elektronische Distanzmessung / Meteo-Erfassung:

Neben den genauen, bewährten aber etwas aufwendigen Laser-Distanzmessern (Geodimeter) sollten auch die (bequemen aber weniger genauen) Mikrowellen-Distanzmesser eingesetzt und besondere Methoden der Meteo-Erfassung erprobt werden: Meteo-Flüge auf den Messstrecken und Meteo-Vertikal-Profile mit Hilfe von Ballonsonden.

c) Strenge Gesamtausgleichung aller vorhandenen Messungen

Im Gegensatz zur früher erfolgten Ausgleichung in Teilnetzen und von hintereinander geschalteten, zum Teil eingezwängten Ausgleichungen von verschiedenen Ordnungen in

mehreren Phasen sollte nun eine strenge Ausgleichung aller Messungen (Winkel- und Distanzmessungen auf Punkten 1. und 2. Ordnung) in einem Guss durchgeführt werden, wobei auch verbesserte stochastische Modelle (z.B. Korrelationen von Messungen) zu berücksichtigen sind.

d) Bestimmung von tektonischen Bewegungen / Deformationen der Erdkruste:

Für spätere Vergleiche - mit neuen Messtechniken, insbesondere das (damals neue) Verfahren GPS, und als Basis zur Bestimmung von tektonischen Bewegungen bzw. Deformationen der Erdkruste - sollten zuverlässige Vermessungsgrundlagen aus der Epoche der "klassischen" Vermessung bereitgestellt werden.

### **8.3 Aufbereitung der alten Winkelmessungen: korrelierte Richtungen (Kap. 3)**

Die Winkel aus der Zeit von 1908 bis 1928 (gemessen nach dem Schweiz. Sektorverfahren), wurden neu bearbeitet und (im Gegensatz zu früher) streng ausgeglichen (Kap. 3) unter Einbezug aller Messungen auf Punkten 1. und 2. Ordnung (mit Zielpunkten auch zu Punkten 3. Ordnung), wobei sich aus der Ausgleichung korrelierte Richtungen ergeben, die dann in die verschiedenen Netzausgleichungen eingeführt werden.

Für die Messgenauigkeit erhielt man folgende mittl. Fehler ( $1^{\text{cc}} = 0.1 \text{ mgon}$ ):

a) für einen Winkel  $1.7''$  bzw.  $5.3^{\text{cc}}$ , demnach für eine Richtung  $1.2''$  bzw.  $3.8^{\text{cc}}$ .

b) Gemittelte Richtungen

- aus den *Stationsausgleichungen* (Sektormethode, wobei jede Richtung - über Winkel - 20 bis 50 mal eingemessen wurde):  $\pm 0.34''$  bzw.  $1.06^{\text{cc}}$
- aus *Dreieckschlüssen*:  $\pm 0.7''$  bzw.  $2.1^{\text{cc}}$  (Wert wie aus Netzausgleichungen)

Beurteilung: Die damals erreichte Messgenauigkeit ist bemerkenswert. Es ist zweifelhaft, ob man mit heutigen besten elektronischen Theodoliten eine höhere Genauigkeit erreichen könnte: Das Problem ist auch heute noch die Atmosphäre (Sicht, Seitenrefraktion etc.) und der betriebene Aufwand, nicht der verwendete Theodolit.

### **8.4 Distanzmessungen / Meteo-Erfassung (Kap. 4)**

Prinzip: Das tragende und massstabsbestimmende Gerüst der Alpentravese sind die elektronischen Distanzmessungen, besonders die zuverlässigen und genauen Messungen mit Laser-Geodimetern. Weniger genau und speziell von der Luftfeuchtigkeit abhängig sind die Messungen mit Mikrowellendistanzmessern, die aber einfach, rasch und auch bei schlechtem Wetter durchgeführt werden können. Besondere Anstrengungen wurden daher zur besseren Erfassung der Meteo-Parameter (Temp., Druck, Feuchtigkeit) auf dem Messstrahl unternommen, um daraus den integralen Brechungsindex für jede gemessene Distanz zu bestimmen: neben der üblichen Meteo-Erfassung auf den Stationen wurden Meteo-Messungen mit Kleinflugzeugen (auf den Messstrecken) und mit Ballonsonden (in Vertikalprofilen) ausgeführt.

Organisation: Die Distanzmessungen für die Alpentravese wurden in verschiedenen Messkampagnen von 1981 bis 1986 durchgeführt, meist im Rahmen von Diplomvermessungskursen der ETH, wodurch die Kosten sehr gering gehalten werden konnten.

Meteo-Einflüsse auf EDM-Messungen: Die etwas aufwendige Erfassung der Meteo durch Kleinflugzeuge bewirkt besonders an Mikrowellendistanzen grosse Längenänderungen von  $+ 3.3 \pm 0.5$  ppm (mit üblicher Stationsmeteo reduzierte Distanzen sind um soviel zu kurz), an den Laserdistanzen aber nur (unsichere) Änderungen von  $- 0.5 \pm 0.5$  ppm im umgekehrten Sinne: mit Stationsmeteo reduziert sind Geodimeterdistanzen eher zu lang (bzw. schon praktisch richtig). (S. 42)

Der spezielle Aufwand für die Bestimmung des integralen Brechungsindex durch Meteo-Erfassung auf dem Messstrahl (mit Hilfe von Kleinflugzeugen) hat sich, wie obige Zahlen zeigen, bei Mikrowellendistanzen gelohnt, bei Geodimeter-Distanzen bringt er aber nur eine kleine Verbesserung.

## 8.5 Netzausgleichungen (Kap.5)

### 1) Allgemeines

Die Ausgleichung aller vorhandenen Messungen (Winkel: als Satz von Richtungen ausgedrückt, und Distanzen) wurde in verschiedenen Phasen und mit verschiedenen Hilfsmitteln durchgeführt. Zuerst wurde ein IGP-Computer-Programm KONHEL benützt, das (als einziges vorhandenes Programm) auch die Verarbeitung von korrelierten Beobachtungen (Richtungen aus den Stationsausgleichungen) gestattet, später das vom Bundesamt für Landestopographie in Bern entwickelte Programm LTOP, welches sehr nützliche statistische Testgrössen angibt, aber nur nicht-korrelierte Beobachtungen verarbeitet. Die im Bericht dargestellten Beilagen stammen aus diesem Programm. (Kap. 5.1)

### 2) Ausgleichung des Richtungsnetzes (Kap.5.2)

Die Ausgleichung der Richtungen (mit und ohne Korrelation aus den Stationsausgleichungen) ergibt:

a) Richtungsgenauigkeit: Genauigkeit (mittl. F.) einer gemittelten Richtung

1. Ordnung:  $\pm 1.5$  cc, 2/3. Ordnung:  $\pm 2.1$  cc, alle Richtungen:  $\pm 1.9$  cc

b) Punktgenauigkeit: Genauigkeit der Punktbestimmung in der Netzmitte,

bei Lagerung in den beiden Netz-Endpunkten Lägern und Generoso:

in Längsrichtung des Netzes  $\pm 20$  cm bzw. 2.2 ppm

in Querrichtung des Netzes  $\pm 13$  cm bzw. 1.4 ppm

in bezug auf die gewählten Festpunkte in ca. je 90 km Distanz.

c) Genauigkeit der Distanzübertragung im Richtungsnetz:

Bei einseitiger Netzlagerung im Norden (Punkte Lägern und Hörnli) ergibt sich über das ganze Netz ein recht grosser mittl. Distanzfehler von  $\pm 63$  cm bzw. 3.5 ppm (was bei einem reinen Richtungsnetz mit schlanker Form nicht verwundert).

d) Die Korrelation der Richtungen (aus den Stationsausgleichungen) hat einen sehr kleinen Einfluss auf die Koordinaten von höchstens 36 mm bzw. ca. 25 % der mittl. Koordinatenfehler. Sie kann also ohne praktische Konsequenzen vernachlässigt werden.

3) Ausgleichung des Distanznetzes (Kap. 5.3)

Die verschiedenen Distanzgruppen (Geodimeter und SIAL-Distanzen, verschiedene Messepochen, versch. Methoden der Meteo-Erfassung) wurden in 6 Distanzgruppen zusammengefasst (eine noch feinere Aufteilung führte zu unzuverlässigen Ergebnissen). Als massgebend für den Massstab werden immer die Geodimetermessungen betrachtet, auch wenn ihr Massstab an den Massstab der verwendeten Fixpunkte mit den heute üblichen Landkeskoordinaten angepasst wird.

Distanz-Gewichte: Für die mittl. Fehler a priori bzw. die Gewichte der Distanzen wurden drei Faktoren berücksichtigt (Kap. 4.5, S. 43 ff):

a) Einzelmessung: Genauigkeit je nach Gerätetyp und Länge der Distanz D:  
Mikrowellendistanz:  $3 \text{ cm} + 2 \text{ ppm} * D$ ; Laserdistanz:  $1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm} * D$  (bei Stationsmeteo).

b) Mittelwerte von mehreren Messungen einer Strecke: hier wurde ein reduziertes Gewicht (S. 44) benützt, weil Distanzmessungen bei gleicher Wetterlage (innerhalb eines halben oder ganzen Tages) korreliert (systematisch beeinflusst) sind. So haben z.B. drei Messungen, die am gleichen (Halb-)Tag durchgeführt werden, nicht das Gewicht  $p = 3$  sondern nur  $p = 1.36$  bei Laser-Messungen (Geodimeter) bzw.  $p = 1.20$  bei Mikrowellen-Messungen.

c) Meteo-Erfassung. Ein gewisser Aufwand zur Bestimmung von zutreffenden Distanz-Gewichten je nach Art der Meteo-Erfassung (aus Stationsmeteowerten, aus Meteo-Messflügen oder kombiniert) wurde betrieben (S. 45 ff.). Er hat sich aber nur bei Mikrowellendistanzen gelohnt. Für Geodimeterdistanzen (mit Flugmeteo reduziert) wurde schliesslich ein einfacher, pauschaler Gewichtsansatz  $m_D = 10 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$  verwendet, der sehr brauchbare Ergebnisse geliefert hat..

Einige Resultate aus der Ausgleichung des Distanznetzes:

a) Punktgenauigkeit (mittl. Fehler) in Netzmitte (definiert wie oben: 2b):

in Längsrichtung:  $3.9 \text{ cm} = 0.4 \text{ ppm}$ , in Querrichtung:  $9.0 \text{ cm} = 1.0 \text{ ppm}$

b) Punktgenauigkeit über das ganze Netz  $\pm 6.8 \text{ cm} = 0.4 \text{ ppm}$

(bei einseitiger Lagerung wie oben: 2c):

c) erhaltene Massstabskorrekturen siehe unten: 8.6.4.

#### 4) Ausgleichung des kombinierten Netzes (Kap. 5.4)

Es zeigen sich in erster Linie (leichte) Zwänge zwischen den beiden Anteilen Richtungen (aus der Epoche 1910) und Distanzen (Epoche 1980): der Quotient  $Q = s_0 / \sigma_0$  (mittl. Fehler der Gewichtseinheit a posteriori / priori) steigt um ca. 16% an.

Vermutete Ursache: Krustendeformationen zwischen den beiden Epochen: Vergl. 6. 1

### 8.6 Resultate

Aus den Netzausgleichungen, Netz- und Masstabsvergleichen (Kap. 5 u. 6) folgt:

#### 1) Krustenbewegungen (aus Netzausgleichungen)

Die Kombination der beiden Beobachtungsgruppen (Richtungen und Distanzen) aus verschiedenen Epochen bewirkt eine systematische Vergrößerung der Masstabsfaktoren (Tab. 5.5B, S.119) im Sinne einer Vergrößerung/Verlängerung des ganzen Netzes: es muss angenommen werden, dass das Richtungsnetz (gemessen ca. 1910) um ca. 0.7 ppm  $\pm$  0.6 ppm länger gewesen ist als das neue Distanznetz (Messung ca. 1980), dass also im Verlaufe von 70 Jahren eine

*Verkürzung der Alpentravese um ca. 0.7 ppm  $\pm$  0.6 ppm (linear ca. 12 cm)*

stattgefunden hat. - Dieses Resultat ist etwas unsicher und steht leider im Widerspruch zu den Ergebnissen von Kap. 7. (siehe auch weiter unten: 8.7)

#### 2) Meteo-Einflüsse auf EDM-Distanzen

Diese Einflüsse wurden in zwei Stufen erfasst (S. 112 f.):

a) A priori: Meteo-Reduktion der gemessenen Distanzen: wie üblich bei der Datenaufbereitung, aber hier (soweit möglich) mit Flug-Meteo-Daten. (siehe Kap. 4.4 S. 39)

b) A posteriori: Aus den Netzausgleichungen folgt, dass Mikrowellendistanzen gegenüber Laserdistanzen immer noch (nach durchgeführter Meteo-Reduktion mit Flug-Meteodaten) zu kurz sind um 1.9 ppm ( $\pm$  0.5).

Damit ergeben sich an EDM-Distanzen, die nur mit Stationsmeteo-Daten reduziert sind, folgende Gesamt-Fehler (Einheit in ppm, Vorzeichen: Korrekturen an Messungen)

EDM-Typ	a) Flug-Meteo	b) Netzausgl.	Total	Messungen
Mikrowellen	+ 3.3 $\pm$ 0.5	+ 1.9 $\pm$ 0.5	+ 5.2 $\pm$ 0.7	zu kurz
Laserdistanzen	- 0.5 $\pm$ 0.5	nicht bestimmt	- 0.5 $\pm$ 0.5	zu lang

In Worten: *Mikrowellen EDM-Distanzen sind im Mittel um 5.2 ppm zu kurz, wenn sie nur mit üblichen Stations-Meteo-Daten reduziert werden.* Mit Flugmeteodaten ergibt sich eine Verbesserung um 3.3 ppm, ein weiterer systematischer Fehler von 1.9 ppm zeigt sich erst in einer Netzausgleichung, bei der auch Laser-Distanzen (Geodimeter) eingeführt werden. Diese sind schon nach der Reduktion mit einfacher Stationsmeteo fast richtig, nämlich nur um 0.5 ppm ( $\pm$  0.5) zu lang (Zahlen etwas unsicher).

### 3) Koordinaten-Unterschiede zu den heute aktuellen Landeskoordinaten

Direkt vergleichbar ist nur das Richtungsnetz der Alpentravese mit dem bestehenden Landesnetz (aus dem Anfang dieses Jahrhunderts): beide Netze enthalten nur Richtungen als Beobachtungen, der Unterschied besteht vorwiegend in einer besseren Ausgleichung des neuen Alpentravese-Richtungsnetzes. – Der Vergleich ergibt Koordinaten-Unterschiede von höchstens 37 cm (Hörnli) bei einer Netz-Lagerung in den beiden Endpunkten Lägern und Generoso; nach einer Helmert-Transformation auf alle Punkte (1. Ordnung) verbleibt ein mittl. Restfehler\* von 10 cm bei mittl. Punktfehlern\*\* bis 20 cm im Alpentravesenetz bzw. etwas grösseren Punktfehlern im alten Landesnetz. Die Übereinstimmung kann (im Vergleich zu den mittleren Punktfehlern) als recht gut bezeichnet werden und bestätigt die brauchbare Qualität des alten Landesnetzes.

\* Koordinatendifferenz \*\* grosse Halbachsen der Fehlerellipsen aus der Netzausgleichung

Für das Distanznetz und das kombinierte Netz: ergeben sich etwas kleinere aber etwa ähnliche Zahlen. Eine gewisse regionale Systematik der Koordinatenänderungen (Verschiebungen?) wird weiter unten (Kap. 7. Deformationen der Erdkruste) untersucht.

### 4) Masstabs-Vergleiche

- Massgebend für die neue Alpentravese ist der Massstab aus Geodimetermessungen.
  - Im Gebiet der Alpentravese ist die Landestriangulation im Mittel zu kurz um 7.1 bis 7.8 ppm. Regionale Massstabsabweichungen (mit gleichem Vorzeichen): nördlich der Alpen ca. 2.1 ppm, Gotthard-Region 7.5 ppm, südlich der Alpen ca. 14.0 ppm.
  - Der Massstab der Alpentravese stimmt sehr gut überein mit
    - der Europäischen Triangulation: diese ist um 0.4 ppm kürzer,
    - mit GPS-Messungen: diese sind um 0.6 ppm kürzer (im zweiten Fall sind aber nur 3 Vergleichspunkte vorhanden).
- Weitere wichtige Vergleichszahlen und Folgerungen findet man auf S. 140.

## 8.7 Deformationen und Bewegungen der Erdkruste 1910 - 1980 (Kap. 7)

Netze aus verschiedenen Epochen: Die im Rahmen der Alpentravese über mehrere Jahre (Schwerpunkt 1980) gemessenen Distanzen bilden ein *Distanznetz*, das sich über den ganzen Alpenkörper vom Jura (Lägern) bis ins Süd-Tessin (Monte Generoso) erstreckt und dessen 21 Punkte identisch mit Punkten 1. und 2. Ordnung des Schweizerischen Landesnetzes sind. Über dasselbe Gebiet lässt sich aus den ursprünglichen Winkelmessungen der Landestriangulation (Schwerpunkt ca. 1910) ein *Richtungsnetz* legen, das neben weiteren Punkten auch alle Punkte des Distanznetzes enthält.

Anlass für diese Deformationsanalyse: Wenn man die Richtungen und Distanzen aus beiden Netzen/Epochen als Gesamtnetz ausgleicht (Kap. 5.4), erhöht sich der Zwang

verglichen mit den Einzelnetzen (siehe oben 8.5.4). Das gibt Anlass zur Vermutung, es könnte sich die Lage einiger Punkte zwischen 1910 und 1980 verändert haben. Im Kap. 7 wird untersucht, ob aus dem Vergleich des Richtungsnetzes mit dem Distanznetz sich eine Systematik in der Änderung der Punktlage herauslesen lässt und ob darüber hinaus vielleicht eine tektonische Deutung möglich ist.

Methoden der Deformationsanalyse:

a) Wunsch-Methode: Ideal wäre es, wenn aus Koordinatenunterschieden in bezug auf einen festen Bezugsrahmen, z.B. der Seite Lägern-Hörnli, direkt auf Punktverschiebungen geschlossen werden könnte. Dazu müssten die Verschiebungsbeträge aber deutlich grösser sein als der durch das Messrauschen erzeugte Streubereich der Punkte. Das ist leider nicht der Fall. Ausserdem ist die Massstabsübertragung im Richtungsnetz schwach (etwa  $\pm 3.5$  ppm über das ganze Netz), sodass auch nichts über die Änderung von Punktabständen ausgesagt werden kann. Letzteres allerdings mit einer Ausnahme: vom Mittel- ins Süd-Tessin springt der Massstab im Vergleich der beiden Netze um signifikante 13 bis 20 ppm zwischen Netzteilen, die nur 30 km auseinanderliegen.

b) Verwendete Methode: Im übrigen Netz scheint nur die Analyse auf Formänderung einzelner Netzteile signifikante Aussagen zu ermöglichen. Anders als der Massstab ist ja die *Form* von Teilfiguren auch im Richtungsnetz stark bestimmt. Man hat also das Gesamtnetz in (willkürlich ausgewählte) Teilfiguren zerlegt (Fig. 7.5A, S. 146, Fig. 7.5B, S. 148) und mathematisch, mittels einer *Affintransformation* (Theorie: Anhang C) jede Teilfigur des Richtungsnetzes auf die entsprechende Figur des Distanznetzes transformiert. Von den sich ergebenden Transformationsparametern hat man die Verformungskomponente und, wie oben erwähnt, für den südlichsten Teil auch den Massstab berücksichtigt. Schiebungen und Drehungen wurden als nicht signifikant vernachlässigt.

c) Voraussetzungen: Für die weitere Deutung wurde - was tektonisch anfechtbar ist! - postuliert, die E-W-Dimension der Teilfiguren habe sich nicht verändert, das heisst, die gesamte Verformung werde durch Kontraktion/Dilatation in N-S-Richtung erzeugt, mit Ausnahme wieder des südlichsten Netzteils.

Resultate der Deformationsanalyse: Erhaltene Erdkrusten-Deformationen:

Unter diesen Voraussetzungen schält sich aus den Daten das folgende Bild für die Verformung des Alpenkörpers im Gebiet der Traverse in den 70 Jahren zwischen 1910 und 1980 heraus, wobei wir das Netz von Norden nach Süden betrachten: (Netzteile 1 bis 5, siehe Fig. 7.5 A, S. 146).

Man vergleiche auch die Fig. 7.7, S. 156 und die Zusammenfassung S. 116.

**Resultate : Erhaltene Erdkrusten-Deformationen**

- 1) Das Mittelland zwischen den Linien Hörnli-Lägern und Rigi-Scheye ist stabil geblieben.
- 2) Der nördliche Alpenraum etwa zwischen den Breitenkreisen von Rigi und Titlis wurde im Durchschnitt um 5 ppm komprimiert.
- 3) Südlich vom Gotthardpass setzt eine N-S-Dilatation ein, die sich gegen Süden verstärkt
- 4) und etwa auf der Linie Gridone-Menone (Locarno-Bellinzona) ihr Maximum von 17 ppm erreicht.
- 5) Die Linie Gridone-Menone hat eine Verlängerung von 13 ppm erfahren.  
Ob es sich dabei um Scherungen entlang der durch die Gegend laufenden Insubrischen Linie oder um eine E-W-Dilatation des Gebietes handelt, kann aufgrund des vor-liegenden Datenmaterials nicht entschieden werden.

Gesamt-Deformationen : Addiert man die Verformungen der Teilfiguren, so gelangt man zu Gesamtverschiebungen in bezug auf die festgehaltene Linie Hörnli - Lägern.

- Danach wären sich in der fraglichen 70-jährigen Periode (1910 - 1980) Andermatt und Zürich um 18 cm (ca. 2 ppm) näher gerückt,
- anderseits hätte sich Lugano von Zürich um 77 cm (ca. 4.5 ppm) weiter entfernt.

Einschränkungen: Es sei darauf hingewiesen, dass die obigen Schlussfolgerungen nicht zwingend sind. Erstens sind die statistischen Tests, auf denen die Folgerungen beruhen, in einigen Fällen nicht signifikant, wenn auch von ziemlich hoher Aussagekraft, zweitens ist die herangezogene Zusatzhypothese der Nullausdehnung E-W geologisch anfechtbar und drittens liegen die Netzpunkte für eine genaue Verformungsanalyse nicht dicht genug und vielleicht auch nicht an den entscheidenden Stellen.

Zusammenfassung: Erdkrustendeformationen in der Alpentraverse 1910 - 1980

Aus den Untersuchungen dieses Berichtes ergeben sich zwei sich widersprechende Antworten auf die Frage, ob und wie sich der Alpenkörper im Gebiet der Alpentraverse im Zeitraum von ca. 1910 bis ca.1980 deformiert hat:

A. Aus der kombinierten Netzausgleichung (Kap. 5.4) hatte sich als Hypothese ergeben: eine pauschale Verkürzung der Alpentraverse um ca. 12 cm bzw. 0.7 ppm.

B. Aus der etwas detaillierteren Deformationsanalyse des Kap.7 ergeben sich regionale Deformations-Aussagen (siehe oben). Für die gesamte Alpentraverse bedeuten diese eine Verlängerung um ca. 77 cm bzw. 4.5 ppm.

Welche der beiden Aussagen besser der Wirklichkeit entspricht, lässt sich auf Grund des etwas beschränkten Beobachtungs-Materials in der Alpentraverse allein nicht mit Sicherheit beantworten. Hypothese A ist statistisch relativ unsicher und beruht einzig auf der erhaltenen pauschalen Massstabsänderung bei der Vereinigung von Messungen aus zwei Epochen. Hypothese B erscheint uns etwas zuverlässiger aber keineswegs zwingend.

Sichere Aussagen werden erst möglich sein, wenn man die Untersuchungen auf ein grösseres Einzugsgebiet insbesondere die ganze Schweiz ausdehnt. Eine Grundlage dazu könnte die "Diagnose-Ausgleichung" der Schweiz bilden, die beim Bundesamt für Landestopographie in Bern demnächst beendet wird. Ebenfalls sind die Ergebnisse der neuen Landesvermessung LV95 abzuwarten.

**9. Literatur**\* : *besonders benutzt*

*Bei den Literaturverweisen im Text bezieht sich die letzte Ziffer auf die Gliederung hier im Verzeichnis, z.B. [Jeanrichard 1992, 9.6].*

**9.1 Alpentravese**

- \*Steinegger Br. 1984 Testnetz Gotthard (1. und 2. Ordnung)  
 \*Elmiger A. Winkelmessungen 1911-1916, Distanzmessungen SIAL 1981, Netzausgleichungen. IGP-Bericht Nr. 81, ETH Zürich, März 1984. (Erster Teil und Kernstück der Alpentravese).
- Elmiger A. 1991 Alpine Traverse St.Gotthard. Report on the Geodetic Activities in the years 1987 to 1991. SGK, Zürich 1991. (Presented to the IUGG XX Gen. Assembly Vienna Aug. 1991)

**9.2 Landesvermessung: Schweiz, Europa**

- Chablais H. 1988 Die geodätische Landesvermessung in der Schweiz, heute und  
 Gubler E. morgen. VPK 4/1988, S. 154-163  
 Schneider D.  
 Wiget A.
- Chaperon F. 1980f. Landesvermessung. Vorlesungsskript ETHZ, 1980-1992  
 Elmiger A.
- Fischer W. 1979 The Scale of the Swiss First Order Triangulation Net.  
 IGP-Bericht Nr. 30, Juni 1979
- Gurtner W. 1978 Das Geoid in der Schweiz.  
 IGP-Mitteilung Nr. 20, 1978
- Keller W. 1964 Untersuchungen eines Teils des schweizerischen Triangulations-  
 netzes erster Ordnung. Bericht an die SGK, Februar 1964
- Jeanrichard F. 1967 Neuausgleichung einiger Stationen 1. Ordnung.  
 Keller W. Bericht an die SGK, März 1967
- Keller W. 1968 Vorarbeiten zur Ausgleichung des Triangulationsnetzes 1. Ordng..  
 Bericht an die SGK, März 1968
- \*Keller W. 1969 Geometrische Netzausgleichung des schweizerischen Anteils am  
 europäischen Triangulationsnetz.  
 Bericht an die SGK, Februar 1969
- Poder K. 1989 The European Datum 1987 (ED87)  
 Hornik H. Report on the Symposium of the IAG Subcommission  
 (Hrsg.) for the New Adjustment of the European Triangulation (RETrig.)  
 Lisbon, May 1988. - München 1989.
- Bürki B. 1989 Beitrag: From ED79 to ED87.
- RAV 1987 RAV Reform der amtlichen Vermessung, Detailkonzept  
 Projektleitung RAV, Eidg. Justiz- und Polizeidepartement, Bern.  
 1990 Reform der amtlichen Vermessung (in der Schweiz).  
 Sondernummer der VPK, Sept. 1990

- Wirth Br. 1990 Lagevergleich GPS-Landeskoordinaten. Untersuchung der Verzerrungen im Landesnetz der Schweiz anhand der ALGESTAR- und GRANIT-Kampagnen. IGP.
- Wunderlin N. 1981 Die Neuausgleichung des Vergrößerungsnetzes der Basis Giubiasco. IGP-Bericht Nr. 49, Juni 1981 (Distanzen: S. 52)
- \*Zölly H. 1948 Geschichte der geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz. Bern, L+T, 1948

### 9.3 Elektron. Distanzmessung, Meteo-Erfassung

- \*AdV 1982 Richtlinien für die elektromagnetische Distanzmessung im Hauptdreiecksnetz (EDM-Richtlinien). AdV: Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. Hess. Landesvermessungsamt Wiesbaden
- Bürki B.  
Geiger A.  
Kahle H.G. 1987 The Swiss Trans-Alpine Laser-Experiment Monte Generoso-Jungraujoch-Zimmerwald. Paper zum 12. NASA's Crustal Dynamics Meeting.
- Doms K.P. 1980 Streckenmessung mit Licht- und Mikrowellen unter gleichzeitiger Erfassung der meteorologischen Daten im Messstrahl. AVN 1980, S.202-213
- Fischer W. 1967 Distance Measurement in the Swiss First Order Triangulation Network. IAG, Luzern, 1967 (Separatdruck), VPK, 1/1966
- Hurni L. 1987 Atmosphärische Effekte bei der Messung langer Distanzen mit Mikrowellen. IGP-Bericht Nr. 134.
- Majdanowa Z.  
u.a. 1981 Präzisionsmessung mit dem elektronischen Mikrowellen-Distanzmessgerät SIAL MD 60. VPK 7/1981
- Rüeger J.M 1990 Electronic Distance Measurement. Springer 1990.
- Ryf A. 1986 Distanzreduktion mit Flugzeugmeteo. IGP, interner Bericht.
- Schmitt R. 1981 Die Diagnoseausgleichung des deutschen Hauptdreiecknetzes, II. Strecken. DGK / B / 253
- Schor Urs 1992 Atmosphärensondierung mit Ballonsonden. IGP-Bericht Nr.206
- Schrefl W.  
Gerstbach G.  
Rössler W. 1981 Bestimmung des integralen Brechungsindex durch Befliegung des Messstrahls. Öst.Z.f.V. 1981: S.113-125, 1982: S. 144-145
- Stuedler D., 1984 siehe 9.5
- Wunderlin N. 1981 siehe 9.2

#### 9.4 Ausgleichsrechnung, statistische Testverfahren

- Aeschlimann H. 1970 Zur Berechnung von geodätisch bestimmten Verschiebungen. VI. Internat. Kurs f. Ingenieurvermessung, Graz 1970, Beitrag 5/1
- Aeschlimann H. 1971 Zur Genauigkeit geodätischer Verschiebungsmessungen. Dissertation ETH Nr. 4438, Zürich 1971, IGP-Mitteilung 13/1971
- Baarda W. 1968: A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks. Netherlands Geodetic Commission, Publ. on Geodesy, 2/5, 1968.
- Carosio A. 1983 Verfahren der multivariaten Statistik zur Beurteilung der Resultate und Zuverlässigkeit geodätischer Messsysteme. IGP-Mitt. Nr. 35, 1983
- \*Carosio A. 1990 Zuverlässigkeit in der Vermessung. Weiterbildungstagung 16.3.1990 an der ETH-Hönggerberg (Beiträge v. A. Carosio, Th. Burnand, B. Vogel, Chr. Just, u.a.)
- Conzett R. 1987 Fehlertheorie und Ausgleichsrechnung II, Vorlesungsskript.
- \*Helmert F.R. 1924 Die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. 3. Auflage, Berlin 1924
- \*Höpcke W. 1969 Einige Ergänzungen zur Theorie der Richtungsmessungen. ZfV 3/1969
- Meissl P. 1965 Über die innere Genauigkeit dreidimensionaler Punkthaufen. ZfV 1965, S.109 ff.
- \*Meissl P. 1969 Zusammenfassung und Ausbau der inneren Fehlertheorie eines Punkthaufens. DGK / A /Nr. 61, München, S.8-21
- van Mierlo J. 1980 Free Network Adjustment and S-Transformations. DGK/ B / Nr.252, S.41-54
- Pelzer H. 1974 Zur Behandlung singulärer Ausgleichsaufgaben. ZfV 1974, S.189
- Pelzer H. 1980 Beurteilung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit geodätischer Netze. In Pelzer (Hrsg.) Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, Stuttgart, 1980, S .273-304.
- Pelzer H. 1985 Überprüfung von Ausgleichsmodellen. In Pelzer (Hrsg): Geodät. Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II, Wittwer, Stuttgart, S. 121-152.
- Wolf H. 1978 Ausgleichsrechnung II, Aufgaben und Beispiele. Dümmler, Bonn, S.171.

#### 9.5 Computerprogramme, Stations- u. Netzausgleichung, Distanzreduktion, Lotabweichungen, etc.

- Carosio A. 1992 Die geodätische Programmsammlung GEO. Reihe: Die Software des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie (Lehrbereich 01). IGP, ETHZ, Zürich, November 1992.

- 
- \*Gubler E. 1988 Programmbeschreibung zum Programm LTOP Version 88. Bulletin des Rechenzentrums Nr. 17, Bundesamt für Landestopographie, Wabern/Bern, Okt. 1988
- Gubler E. 1990 Programmbeschreibung zum Programm LTOP Version 90.0. Bulletin des Rechenzentrums Nr. 18, L+T, Wabern, Aug. 1990
- \*Gurtner W. 1980 Computerprogramm LAG: Berechnung von Lotabweichungen und Geoidhöhen aus Massen durch Prädiktion, mit astronomischen Lotabweichungen als Stützwerten. Kurzbeschreibung 1980, (IGP-Bericht: noch nicht gedruckt)
- Keller W. 1978 Programmsystem Helmert / 77 zur Berechnung allgemeiner geodätischer Netze. W. Schneider AG, Chur, Februar 1978
- Marti Urs 1992 Untersuchungen an LAG und Beschreibung der neuen Version 5.0. IGP, ETH Zürich, interner Bericht, Jan. 1992
- Neininger B. Programm GEOATAR, IGP interne Dokumentation, ca. 1986.  
Stuedler D.
- Plazibat M. 1993 Benutzeranleitung LTOP (IGP-Version mit wahlweise robuster Ausgleichung). Publikation des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ, Zürich, Juli 1993  
Schaub E.  
Stengele R.  
Zanini M.
- Schmid H. 1978 Räumliche Koordinatentransformation. (enthält das Programm ATRA für die räumliche Ähnl.transf.). IGP-Mitteilung Nr. 23, Zürich 1978.  
Heggli S.
- Schneider D. 1981 RAUMTRI: Dreidimensionale Netzausgleichung in einem geozentrischen kartesischen Koordinatensystem. Programmbeschreibung, Benutzeranleitung. IGP-Bericht Nr.45. Erweiterung: R.Köchle, 1990.  
Wunderlin N.  
Köchle R.
- Stuedler D. 1984 METKOR. Ein Pascal-Programmpaket zur Berechnung des integralen Brechungsindex aus Sondenflügen bei der elektronischen Distanzmessung. IGP-Bericht, Nr. 87, Okt. 1984.
- \*Wunderlin N. 1968 Algol-Programm Stationsausgleichungen. IGP-interner Bericht (Erste Programmfassung von W. Keller).  
Keller W.
- \*Wunderlin N. 1973 DONHEL 73: Ausgleichung – eventuell in zwei Blöcken – von geodätischen Netzen in ellipsoidischen Koordinaten mit der Möglichkeit der Helmert-Lagerung. IGP, interner Bericht, September 1973. Neue Programm-Version: KONHEL (nur ein Block)
- Wunderlin N. 1983 STATAUS: Fortran-Programm für die Ausgleichung von Winkel- und Satzmessungen. Programmbeschreibung / Benutzeranleitung IGP-Bericht Nr. 72, Juni 1983
- Wunderlin N. 1987 Versuche zur Refraktionsbestimmung mit Hilfe der Kollokation. Fortran-Programm REFKOL, Beschreibung und Gebrauchsanleitung. IGP-Bericht Nr. 132, 1987

## 9.6 Satellitenmessungen

### 1) Doppler-Messungen: Swissdoc 84

Wiget A. 1985 Schweizerische Doppler-Messkampagne Swissdoc 84:  
Geiger A. 1986 Teil I : Messungen u. Stationsprotokolle. IGP-Bericht 99, 1985  
Teil II: Auswertung und Ergebnisse. IGP-Bericht 113, 1986

Wiget A. 1985 Die Doppler-Messkampagne SWISSDOC, ein Beitrag zur  
Geiger A. Landesvermessung in der Schweiz. VPK 2/1985.  
Kahle H.G.

### 2) GPS-Messungen: Testnetz Turtmann, Granit 1987, Diverse

Cocard M. 1987 Geodätische Auswertung von GPS-Messungen  
im GPS-Testnetz Turtmann, Wallis. IGP-Bericht 129, 1987.

Ettlin F. 1990 GPS-Messungen im Gotthardpassnetz und Vergleich mit den  
Cocard M. terrestrischen Messkampagnen von 1967, 1981/83  
IGP-Bericht 171, 1990

Geiger A. 1986 Das GPS-Testnetz Turtmann: Netzanlage und Messkampagne.  
Wiget A. VPK 7/1986

Jeanrichard F. 1992 Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985 - 1990. Teil I (Netz-  
(Herausg.) aufbau, terrestrische Messungen).  
Geod.-geophys. Arbeiten in der Schweiz, 45. Band, Zürich 1992

Rothacher M. 1987 Geodätische Verbindung der West- und Ost- Traverse:  
Gurtner W. (Granit 1987). Stand der GPS-Auswertungen.  
u.a. Astronom.Inst. d .Universität Bern, 1987.

Marti Urs 1990 ALGESTAR : Satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz  
mit GPS. SGK Band 41, 1990.

Schlatter Ph. 1991 Lagevergleich GPS - Schweiz. Landesnetz.  
Geodät. Seminar, Febr. 1991. IGP, interner Bericht.

## 9.7 Rezente Krustenbewegungen

Gubler E. 1981 Recent Crustal Movements in Switzerland and their geophysical  
Kahle H.G. interpretation.  
Klingelé E. Tectonophysics 71, 1981, p. 125-152.  
Müller St.  
Oliver R.

Geiger A. 1986 Recent Crustal Movements in the Alpine-Mediterranean Region,  
Kahle H.G. Analyzed in the Swiss Alps. Tectonophysics 130, p.289-298.  
Gubler E.

Habib Abdel- 1966 Studien über die Ermittlung von Krustenbewegungen in der  
Fattah A.M. Schweiz auf Grund der Triangulationen erster Ordnung.  
Diss. Nr. 3790, ETH Zürich, 1966. Juris Druck u. Verlag, Zürich.

- Jeanrichard F. 1969 L'état actuel de la recherche sur les mouvements de l'écorce terrestre en Suisse. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 39: 125 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission, Bern.
- Kakkuri J. 1992 On horizontal crustal strain in Finland. Bul.Géod.Vol.66, No.1.  
Chen R.
- Pavoni N. 1980a Comparison of focal mechanisms of earthquakes and faulting in the Helvetic zone of the Central Valais, Swiss Alps. Eclogae geol. Helv. Vol 72/2, S.551-558, Juli 1980
- Pavoni N. 1980b Crustal stresses inferred from fault plane solutions of earthquakes and neotectonic deformation in Switzerland. Rock Mechanics, Suppl.9, S.63-68, Springer 1980.
- Pavoni N. 1987 Zur Seismotektonik der Nordschweiz. Eclogae geol.Helv. Vol. 80/2, S.461-472, Aug. 1987.
- Reilly W.I. 1990 Crustal Strain in Switzerland 1870 - 1970. Geophys.J.Int. 1990, Vol.103, p.251-256.  
Gubler E.
- Savage J.C. 1973 Precision of Geolite Distance Measurements for Determining Fault Movements. Journal of Geophys.Res. 1973, S.6001-6008  
Prescott W.H.
- Schneider D. 1982 Complex Crustal Strain Approximation. Mitteilung Nr. 33, Institut f. Geodäsie u.Photogrammetrie, ETH Zürich

## Abkürzungen

DGK	Deutsche Geodätische Kommission, München.
GPS	Global Positioning System, Satelliten-Messverfahren, USA.
IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich
L+T	Bundesamt für Landestopographie, Wabern ,+Bern
SGK	Schweizerische Geodätische Kommission, L*T Bern / IGP ETH Zürich
VPK	Schweiz. Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik
ZfV	Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart

## 10. Anhang

### Überblick über die Beilagen:

<b>A. Messungen</b>	Umfang	Seite
A1. Tab. 3.3 Richtungssätze	(6 Seiten)	174 - 179
A2. Tab. 4 Distanzen	(5 Seiten)	180 - 184

### B. Netzausgleichungen mit Programm LTOP

Lage-Abrisse nach der Ausgleichung, mit statistischen Indikatoren  
(Erklärung siehe S.59, 60)

Netz	Umfang	Variante	Seite
B1. Richtungsnetz	(7 Seiten)	R1	185 - 191
B2. Distanznetz	(3 Seiten)	D10, D12	192 - 194
B3. Kombiniertes Netz	(10 Seiten)	K3, K5	195 - 204

### C . Theoretische Grundlagen:

Affintransformation (zu Kap. 7)	(10 Seiten)	205 - 214
---------------------------------	-------------	-----------

**Anhang A1, Tabelle 3.3****Alpentravese Gotthard: Richtungen aus Stationsausgleichungen**

Richtungen mit P-Matrizen aus den Stationsausgleichungen  
 (hier nur Richtungen, die im Netz Alpentravese wirklich eingeführt sind;  
 die Stat.Ausgleichungen selbst enthalten mehr Richtungen)  
 Reihenfolge: 1. Ordnung, 2. Ordnung, je von Nord nach Süd.

Station	Ziel	Richtung(Gon)	P <sub>ii</sub>	P <sub>ik</sub> (Ausserdiag.)			
<u>Punkte 1.Ordnung</u>							
Lägern	Rigi	0.0	35.06	0.63	-1.67	-5.28	
Lägern	Brütte	310.8722114	9.07	-4.55	0.07		
Lägern	Hörnli	327.0196021	25.10	-3.49			
Lägern	Albis	383.5670950	10.09				
-----							
Hörnli	Rigi	0.0	82.64	4.97	-5.22	1.28	-0.97 13.45 X
				4.62	-8.82	0.71	-10.0
Hörnli	Pfanne	23.0091460	17.00	0.36	-5.74	1.01	-2.29 0.93 X
				0.44	-3.45	0.00	
Hörnli	Albis	27.4385762	15.13	0.09	-7.64	0.97	0.33 0.16 X
				0.56	0.00		
Hörnli	Forch	34.9492997	9.07	0.26	-2.30	0.24	0.11 0.40 X
				0.00			
Hörnli	Lägern	68.9766883	24.03	-6.25	0.94	0.45	1.57 0.00
Hörnli	Brütte	83.1519472	42.34	-4.48	1.19	-0.79	0.00
Hörnli	Schauen	117.0305337	26.87	0.41	1.45	0.00	
Hörnli	Scheye	343.1876028	31.19	0.68	0.00		
Hörnli	Stöcke	373.8838219	27.41	0.00			
Hörnli	Hundst	373.9742426	10.00				
-----							
Rigi	Lägern	0.0	63.51	-7.31	-1.78	3.20	2.78 0.91 X
				1.60	5.63	15.27	0.78
Rigi	Albis	18.1087522	13.04	-4.54	0.18	0.15	0.05 0.09 X
				0.31	1.12	0.04	
Rigi	Hörnli	58.0443941	51.40	-0.90	-3.17	0.59	1.05 -4.30 X
				2.32	0.51		
Rigi	Stöcke	81.6449089	19.82	0.71	-4.77	0.41	-5.56 5.19 X
				0.20			
Rigi	Scheye	107.8607991	28.62	0.20	-13.6	1.25	-4.49 0.17
Rigi	Mythen	120.5757059	10.07	0.12	-4.59	1.47	0.06
Rigi	Scheer	157.6071466	24.20	0.72	-7.41	0.10	
Rigi	Hundst	159.6818953	34.53	-2.88	0.35		
Rigi	Titlis	215.8239200	139.9	-3.74			
Rigi	Buochs	229.9188253	10.05				
-----							
Scheye	BösFau	55.8872889	6.03	-2.50	0.22	0.08	0.52 0.38
Scheye	Scheer	63.4147855	41.80	-3.09	1.37	0.02	6.62
Scheye	Hundst	97.4364275	19.74	-4.39	-1.99	2.94	
Scheye	Mythen	126.0489104	11.21	-4.59	1.03		
Scheye	Rigi	134.6255500	44.25	-7.22			
Scheye	Hörnli	227.9983950	44.98				

X = Fortsetzung nächste Zeile

Station	Ziel	Richtung(Gon)	P <sub>ij</sub>	P <sub>ik</sub> (Ausserdiag.)					
Titlis	Rigi	0.0	47.81	-3.59	-5.47	-4.68	0.56	3.65	X
				5.71	0.86	-2.62			
Titlis	Urirot	33.5351222	8.03	0.15	-3.68	0.03	0.22	0.35	X
				0.05	0.02				
Titlis	Hundst	47.1977620	27.94	1.97	0.21	1.35	2.12	0.32	X
				0.14					
Titlis	Scheer	79.7590682	38.66	-5.56	-4.65	-2.54	0.68	0.30	
Titlis	Briste	105.8153083	12.05	-5.70	0.47	0.07	0.03		
Titlis	Badus	141.4441880	31.45	-9.94	0.46	0.21			
Titlis	Basodi	189.0282024	44.79	-7.28	0.32				
Titlis	Dammas	198.4443741	17.11	0.05					
Titlis	Buochs	390.4917547	7.02						
-----									
Scheer	Badus	0.0	68.59	-1.80	0.91	4.61	0.68	4.04	X
				5.46	1.01	-10.4	-5.16		
Scheer	Briste	21.4941596	25.07	-6.27	1.83	0.27	5.58	2.17	X
				0.40	0.64	0.33			
Scheer	Titlis	54.9102046	67.83	-5.81	-6.38	-5.23	4.96	0.92	X
				1.45	0.76				
Scheer	Urirot	78.5585392	27.62	0.24	-7.06	1.92	0.36	0.56	X
				0.29					
Scheer	Hundst	113.9669658	13.03	-5.27	0.28	0.05	0.08	0.04	
Scheer	Rigi	116.9345726	82.56	-9.15	1.09	1.72	0.90		
Scheer	Scheye	195.9782976	34.28	-5.58	0.67	0.35			
Scheer	BösFau	200.5198614	12.08	0.12	0.06				
Scheer	Tgiets	327.4724908	23.20	0.10					
Scheer	Muraun	346.6474123	12.05						
-----									
Badus	Titlis	0.0	81.15	-3.15	-7.53	0.83	6.22	1.57	X
				4.82	1.44	7.22	3.32	-2.68	
Badus	Briste	57.8460815	9.04	-3.60	0.03	-0.40	0.07	0.54	X
				0.06	0.60	0.14	0.14		
Badus	Scheer	83.4043154	45.45	-2.61	-4.32	0.74	0.02	0.68	X
				6.68	1.56	1.56			
Badus	Muraun	132.6669377	14.03	-10.4	10.06	0.53	0.06	0.59	X
				0.14	0.14				
Badus	Tgiets	144.9332781	55.03	-6.89	3.04	1.02	10.03	2.35	X
				2.35					
Badus	Scopi	177.8370436	15.12	-6.00	0.11	1.11	0.26	0.26	
Badus	Cramos	222.6727123	51.15	-6.08	0.04	2.11	2.11		
Badus	Massar	245.2965602	14.10	-5.98	0.24	0.24			
Badus	Basodi	287.4172738	51.03	-3.65	2.35				
Badus	Lucend	306.7033728	12.55	-5.45					
Badus	Dammas	359.1883047	12.55						
-----									
Tgiets	Cramos	201.4247102	36.14	-17.14	0.69	3.69			
Tgiets	Badus	269.3797283	55.98	-9.75	-10.34				
Tgiets	Muraun	295.6354392	21.22	-8.81					
Tgiets	Scheer	335.3235531	52.35						
-----									
Basodi	Badus	0.0000000	66.29	-4.35	3.13	1.24	9.42	-2.90	X
				-8.89	-7.56				
Basodi	Massar	37.7357849	13.18	-6.01	0.13	1.02	0.34	0.12	X
				0.26					
Basodi	Cramos	75.4628701	36.45	-6.26	-5.38	1.85	0.66	1.46	
Basodi	Sassor	84.5029639	13.10	-5.24	0.25	0.09	0.20		
Basodi	Gridon	137.8348547	40.80	1.91	0.68	1.50			
Basodi	Dammas	354.9904877	21.63	0.22	-6.50				
Basodi	Titlis	360.1656944	17.08	0.18					
Basodi	Lucend	381.0552033	18.39						

Station	Ziel	Richtung(Gon)	$P_{ij}$	$P_{ik}$ (Ausserdiag.)					
Gridon	Basodi	51.5135867	41.96	-5.28	-2.00	0.44	3.68	13.89	X
				1.11	3.89				
Gridon	Cramal	69.3775105	12.07	-5.18	0.05	0.38	1.43	0.11	X
				0.40					
Gridon	Cramos	110.0641497	65.19	-5.49	-11.77	-2.04	1.28	4.47	
Gridon	Vogorn	139.1436093	13.03	0.23	-6.12	0.07	0.25		
Gridon	Gesero	165.5832864	43.95	-1.66	-3.41	-8.94			
Gridon	Menone	177.1755105	112.72	-4.78	-2.24				
Gridon	Tamaro	185.4628849	19.18	-7.38					
Gridon	Genero	217.8787330	38.17						
-----									
Cramos	Basodi	0.0000000	72.32	-4.77	0.32	1.16	4.16	1.26	X
				1.18	2.48	2.65	1.07	9.78	X
				-5.03	-5.03				
Cramos	Massar	38.7811870	12.09	-5.41	0.08	1.07	0.09	0.08	X
				0.18	0.97	0.08	1.19	0.07	X
				0.07					
Cramos	Badus	59.7928960	34.00	-5.44	-2.72	0.61	0.57	1.19	X
				6.56	0.51	8.07	0.47	0.47	
Cramos	Scopi	85.1950753	12.08	-4.99	0.08	0.08	0.17	0.91	X
				0.07	1.12	0.07	0.07		
Cramos	Tgiets	114.0987083	71.26	-7.90	1.03	2.17	-0.06	0.94	X
				14.69	0.85	0.85			
Cramos	Frecci	151.5770269	16.09	0.09	0.18	0.99	0.08	1.22	X
				0.07	0.07				
Cramos	Claro	215.7859339	16.08	0.17	-7.07	0.07	1.15	0.07	X
				0.07					
Cramos	Gesero	234.2778179	24.35	1.95	0.15	-9.60	0.14	0.14	
Cramos	Menone	242.3075429	71.75	-6.16	0.23	0.77	0.77		
Cramos	Vogorn	270.7622960	16.07	-7.96	0.06	0.06			
Cramos	Gridon	320.9221976	69.26	-5.06	-5.06				
Cramos	Cramal	348.9021700	12.05	0.05					
Cramos	SassoR	381.7466540	12.05						
-----									
Menone	Genero	36.6921907	9.07	0.37	0.64	0.20			
Menone	Gridon	109.7837287	19.03	-2.45	-0.87				
Menone	Cramos	164.0585978	25.21	-1.02					
Menone	Gesero	200.1965901	7.63						
-----									
Genero	Gridon	0.0000000	60.65	-5.09	-1.25	3.37			
Genero	Tamaro	23.8957596	16.39	-6.55	1.66				
Genero	Gesero	78.0531605	33.34	-1.86					
Genero	Menone	86.2054590	35.06						
-----									
Gesero	Genero	0.0000000	40.89	-6.76	0.30	-5.44	7.93	-1.72	
Gesero	Gridon	69.6517753	27.74	-5.77	-4.24	6.15	1.76		
Gesero	Vogorn	101.3425645	12.03	-5.63	0.82	0.24			
Gesero	Cramos	127.4892238	47.39	3.79	2.81				
Gesero	Claro	152.2974627	65.80	6.25					
Gesero	Menone	371.6568605	21.79						
-----									

Station	Ziel	Richtung(Gon)	$P_{ij}$	$P_{ik}$ (Ausserdiag.)					
<u>Punkte 2.Ordnung</u>									
Albis	Hörnli	0.0	11.27	0.70	-4.13	0.76	0.58	-4.53	X
				0.23					
Albis	Pfanne	8.7046639	23.84	-3.73	1.99	1.53	-4.15	-7.39	
Albis	Stöcke	54.7320775	19.80	-3.55	1.88	4.75	0.75		
Albis	Rigi	132.6259330	16.14	1.64	4.14	0.66			
Albis	Lägern	298.0837102	20.26	-6.81	0.51				
Albis	Brütte	350.4089932	40.04	-6.72					
Albis	Forch	385.0406274	16.20						
-----									
Pfanne	Hörnli	0.0	42.94	-0.76	-0.10	7.61	0.99	-7.35	
Pfanne	Bachte	24.8199722	25.30	-6.53	-3.66	3.07	1.60		
Pfanne	Stöcke	86.1564685	35.23	-6.97	4.62	2.41			
Pfanne	Albis	213.1346306	30.84	-2.55	2.32				
Pfanne	Brütte	326.4796608	26.09	-6.87					
Pfanne	Schaue	368.3429417	21.11						
-----									
Forch	Hörnli	0.0	39.14	-1.06	5.62	3.86	-1.51		
Forch	Bachte	27.0113596	6.21	-1.86	1.49	0.16			
Forch	Albis	177.5314108	24.22	-1.88	0.87				
Forch	Brütte	320.4526571	33.59	-1.86					
Forch	Schaue	366.8287167	6.12						
-----									
Brütte	Hörnli	0.0	37.25	-4.43	2.94	-4.64	5.34	-3.48	
Brütte	Pfanne	66.3369052	16.58	-3.91	-3.38	1.98	2.05		
Brütte	Forch	72.2491099	25.04	-2.98	3.70	-0.18			
Brütte	Albis	94.6965688	38.47	-8.52	5.66				
Brütte	Lägern	169.6772858	44.72	6.94					
Brütte	Schaue	374.1653472	42.17						
-----									
Schaue	Hörnli	0.0	16.17	-4.81	0.10	0.51	1.30		
Schaue	Bachte	28.3241568	45.20	-3.28	-6.48	2.98			
Schaue	Pfanne	74.3215710	10.06	-5.69	0.79				
Schaue	Forch	84.7473231	22.51	-1.14					
Schaue	Brütte	140.2869337	52.83						
-----									
Bachte	Hörnli	0.0	20.65	0.80	3.58	0.47	-4.74		
Bachte	Stöcke	190.5367966	21.98	-6.59	0.58	4.01			
Bachte	Pfanne	268.0439747	57.77	-5.41	6.00				
Bachte	Forch	282.1749920	14.34	-3.64					
Bachte	Schaue	365.5689864	53.39						
-----									
Stöcke	Hörnli	0.0	37.67	3.67	0.70	2.13	0.33	-1.09	X
				2.50	-1.89				
Stöcke	Scheye	121.1542080	58.19	-5.12	-11.3	-1.76	7.45	3.15	X
				2.66					
Stöcke	Hundst	200.1698632	12.06	0.19	-5.33	0.54	0.23	0.19	
Stöcke	Mythen	215.1069216	24.59	-3.96	-2.36	0.69	0.59		
Stöcke	Rigi	249.7159778	46.01	-3.35	2.39	2.02			
Stöcke	Albis	308.2868182	29.56	-3.07	1.63				
Stöcke	Pfanne	335.2811228	10.81	-4.31					
Stöcke	Bachte	396.4384222	9.58						
-----									

Station	Ziel	Richtung(Gon)	$P_{ii}$	$P_{ik}$ (Ausserdiag.)				
Mythen	Scheye	0.0	23.29	-5.36	4.20	0.66	-4.73	
Mythen	BösFau	30.8376988	15.82	-3.92	0.33	2.13		
Mythen	Hundst	111.8329993	52.46	-1.36	2.66			
Mythen	Buochs	181.0270870	8.13	0.85				
Mythen	Stöcke	347.7523766	32.55					
-----								
Hundst	Scheye	0.0	30.32	-4.11	0.51	2.15	0.84	2.43 X
				4.86	1.03	-2.78	-5.22	
Hundst	Scheer	83.9668031	25.93	-4.66	-6.56	0.56	1.62	3.24 X
				0.69	2.82	0.52		
Hundst	Briste	137.8151691	10.06	-4.04	0.10	0.29	0.57	0.12 X
				0.49	0.09			
Hundst	Titlis	192.3489614	54.37	-3.42	-0.41	3.16	1.94	7.95 X
				1.47				
Hundst	Urirot	205.6767472	10.16	-4.53	0.94	0.20	0.82	0.15
Hundst	Buochs	248.1876589	17.37	-3.26	0.58	2.37	0.44	
Hundst	Rigi	289.0095543	35.46	-9.84	-2.26	0.88		
Hundst	Mythen	340.4450840	17.24	-5.00	0.19			
Hundst	Hörnli	361.3472561	29.12	-4.24				
Hundst	Stöcke	361.4266410	11.14					
-----								
Urirot	Titlis	0.0	27.76	-5.32	7.35	-3.57		
Urirot	Buochs	113.5925854	32.76	-4.47	7.46			
Urirot	Hundst	226.9910741	37.39	-6.79				
Urirot	Briste	315.9854602	32.17					
-----								
Buochs	Titlis	0.0	12.01	3.11	0.78	-2.31		
Buochs	Rigi	223.6031247	33.54	-6.61	0.17			
Buochs	Mythen	273.9956151	13.60	-2.71				
Buochs	Hundst	312.5446750	15.80					
-----								
Dammas	Titlis	136.1842491	47.52	-0.93	-1.43	0.62	6.37	
Dammas	Briste	199.7808682	19.58	-3.45	0.24	2.47		
Dammas	Badus	238.3731337	32.61	-3.62	-5.52			
Dammas	Lucend	293.8464438	8.04	-3.63				
Dammas	Basodi	321.5920991	33.36					
-----								
Lucend	Badus	0.0	37.10	-3.37	-1.99	9.08	1.52	
Lucend	Scopi	34.8161963	24.36	-5.96	-1.38	4.33		
Lucend	Massar	76.8363642	21.77	-2.00	3.75			
Lucend	Basodi	161.7687047	36.06	1.50				
Lucend	Dammas	307.9576913	32.97					
-----								
Briste	Scheer	0.0	30.77	-6.02	3.72	3.05	2.53	-0.97
Briste	Muraun	71.4288136	16.68	-6.72	1.05	3.28	1.73	
Briste	Badus	152.9478824	22.40	-4.03	0.14	3.24		
Briste	Dammas	215.6982186	15.61	0.04	2.66			
Briste	Titlis	259.4727262	46.75	2.31				
Briste	Urirot	303.1772726	24.38					
-----								
Muraun	Tgiets	100.4885583	41.94	-2.97	1.11	1.10	10.11	
Muraun	Scopi	211.0822484	8.10	-3.04	0.10	0.96		
Muraun	Badus	261.9658297	34.34	-2.99	1.34			
Muraun	Briste	305.6260293	8.11	-2.99				
Muraun	Scheer	359.3502370	34.34					
-----								

Station	Ziel	Richtung(Gon)	$P_{ij}$	$P_{ik}$ (Ausserdiag.)				
BösFau	Scheer	96.6497478	32.41	-4.06	7.98			
BösFau	Mythen	185.5808444	18.65	-5.66				
BösFau	Scheye	284.5812241	30.77					
-----								
Frecci	Claro	191.3805423	45.09	-3.70	-2.77			
Frecci	Cramos	247.4358759	13.41	-2.66				
Frecci	Scopi	316.8331457	34.38					
-----								
Claro	Gesero	0.0000000	125.54	-5.50	0.50	5.47	2.86	
Claro	Tamaro	67.1894676	26.13	-3.97	0.95	0.50		
Claro	Vogorn	99.7477864	66.16	-8.45	1.34			
Claro	Cramos	156.6996364	28.80	-10.58				
Claro	Frecci	236.4360781	22.22					
-----								
Vogorn	Cramos	0.0000000	29.76	-3.83	-1.84	1.54	-3.49	-1.58 X
				-4.65				
Vogorn	Claro	88.0718713	13.50	-3.24	0.65	1.06	1.45	0.15
Vogorn	Gesero	137.3698102	34.27	-3.68	-2.22	5.15	0.53	
Vogorn	Tamaro	226.0675935	13.86	-3.60	1.90	0.20		
Vogorn	Gridon	279.2394880	28.28	-1.89	0.32			
Vogorn	Cramal	322.7302389	28.23	-3.56				
Vogorn	SassoR	364.8534420	9.05					
-----								
Tamaro	Gridon	0.0000000	26.02	-1.54	1.97	6.45	1.90	-1.76
Tamaro	Vogorn	100.5094590	33.40	-2.33	1.75	2.58	7.11	
Tamaro	Claro	129.9554438	13.96	-1.85	0.93	2.56		
Tamaro	Gesero	165.1657333	38.35	-0.95	3.41			
Tamaro	Menone	185.2196738	12.90	-2.53				
Tamaro	Genero	256.3118201	31.83					
-----								
Cramal	Cramos	0.0000000	3.01	-1.07	0.67			
Cramal	Vogorn	44.5905500	2.75	-1.03				
Cramal	Gridon	131.3334932	8.47					
-----								
SassoR	Vogorn	0.0000000	3.96	-0.05	0.68	0.69	-0.68	
SassoR	Cramal	88.5572219	4.32	-0.86	0.71	0.64		
SassoR	Basodi	173.4232352	3.83	-1.37	0.40			
SassoR	Massar	241.5470077	3.92	-1.23				
SassoR	Cramos	346.1306284	3.31					
-----								
Scopi	Muraun	0.0000000	22.53	-4.57	0.99	0.75	6.07	-4.18
Scopi	Frecci	102.0704071	20.66	0.68	-5.49	-1.83	2.62	
Scopi	Vogorn	160.8018617	6.28	0.21	-2.29	1.07		
Scopi	Cramos	166.2917972	12.16	-4.71	0.81			
Scopi	Massar	221.0275068	36.44	0.57				
Scopi	Badus	296.0541627	23.13					
-----								
Massar	Cramos	0.0000000	3.87	-0.73	0.37	0.37	0.27	-0.66
Massar	SassoR	38.3821105	3.26	-0.78	0.28	0.20	0.26	
Massar	Basodi	123.4924923	3.94	-0.62	0.28	0.35		
Massar	Lucend	181.8792941	3.88	-0.73	0.35			
Massar	Badus	243.6360651	3.20	-0.75				
Massar	Scopi	301.1503627	3.82					

**Alpentravese Gotthard: Distanzen****Tabelle 4****Bemerkungen zu Tabelle 4 (S. 182): Distanzen in der Alpentravese**

Die Tab. 4 enthält

- die gemessenen Distanzen (mit ihrer Massstabs-Nummer) reduziert auf das Ellipsoid und ins Projektionssystem, bzw. auf die Raumpunkte (mit Instrumenten- und Signalhöhe 0),
- ihre mittleren Fehler  $s_D$  (wie verwendet im Programm LTOP),
- ihre Gewichte  $p_D$ , wie verwendet im Programm KONHEL, und angepasst an die Richtungsgewichte,
- die Anzahl der Messungen (Tage, bzw. Einzelmessungen) und das Messdatum.

***I. Distanz- und Massstabs-Gruppen***

Die Aufteilung in Distanzgruppen erfolgte nach Messgerät und Messperiode wie folgt (angegeben ist die Nummer des Massstabsfaktors):

<u>Gruppe/Massstabsfaktor</u>	<u>Anzahl</u>
<b><u>A. SIAL-Distanzen</u></b>	
<b><u>A1. SIAL-Distanzen. Reduktion nur mit Stations-Meteo</u></b>	
1 SIAL 1981, Gotthardnetz. (Hier stand noch keine Flugzeugmeteorologie zur Verfügung).	23
<b><u>A2. SIAL-Distanzen. Reduktion mit Stations- und Flug-Meteo</u></b>	
2 SIAL 1983, Gotthardnetz. Die Stationsmeteo wurde in diesem Falle zur Stützung der Flugzeugmeteo beigezogen, da letztere durch die ungünstige Wettersituation gewisse Unsicherheitsfaktoren aufwies: Ziemlich genau auf der Höhe der Gipfel lag eine Inversion, unterhalb der Grenzschicht betrug die Luftfeuchtigkeit 70 %, oberhalb nur gerade 15 %, also eine Änderung um mehr als 50 % innerhalb von wenigen Höhenmetern. Bei den Auswertungen war es zum Teil unmöglich, zu sehen, ob das Flugzeug die Meteo-Messungen oberhalb der Grenzschicht durchführte, währenddem der Messstrahl unterhalb lag, oder umgekehrt.	9
<b><u>A3. SIAL-Distanzen. Reduktion mit Flug-Meteo</u></b>	
3 SIAL 1985, im Südnetz (Tessin: Basodino - Tamaro)	17
4 SIAL 1986, im Nordnetz (Lägern-Titlis)	15
5 SIAL 1985, Punkte Lägern, Rigi, Titlis (Vertiefungsblock)	4 36
<b><u>B. Geodimeter-Distanzen</u></b>	
6 Geodimeter-8, alle Distanzen: Normal: Stationsmeteo; 6 Distanzen mit Flugmeteo Nachtrag: 3 Distanzen zum Punkt Lema (Süd-Tessin, 1977)	26  3 29
<b><u>Total aller Distanzen (Mittel v. Einzelmessungen) f. die Netzausgleichung:</u></b>	<b>94 /97</b>

## *II. Gewichtsnormierungen und kleine Korrekturen an den Messwerten*

### A1. Allgemeine Gewichts-Anpassungen

(schon im Programm KONHEL berücksichtigt, und dann übernommen für das Programm LTOP):

1. Anpassung der Distanzgewichte an die Richtungsgewichte durch Multiplikation mit 100 (Siehe 5.4)
2. Änderung der Distanzgewichte unter sich  
(aus Vorausgleichungen im Netzteil Gotthard)
  - a) Distanzgruppe 1 : Neues Gewicht =  $p_{\text{alt}} * 2.3225$  (mittl. F. ca. 1.5 mal kleiner)
  - b) Distanzgruppe 2 : Neues Gewicht =  $p_{\text{alt}} * 0.4306$  (mittl. F. ca. 1.5 mal grösser)

### A2. Zusätzliche (spätere) Anpassungen, nur im Programm LTOP:

- c) Distanzgruppe 4:  $s_D \text{ neu} = s_D \text{ alt} * 1.20$  im Netzteil Nord
- d) aus Distanzgruppe 6: 6 Geodimeterdistanzen mit Flugmeteo:  
Einfacher Ansatz:  $s_D = 10 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$
- e) Unsichere Distanzen (Geodimeter): Verdoppelung des mittleren Distanzfehlers:  
Generoso-Gridone:  $s_D = 76 \text{ mm}$  statt 38 mm

### B. Korrekturen an Messungen

- a) Korektur von Messungen: Distanz Rigi-Titlis (Geodimeter) 49 mm länger  
(ursprüngliche Reduktion mit falscher Höhe über dem Ellipsoid)
- b) Nachträgliche Korrektur von zwei Geodimeterdistanzen  
(nach Kontrolle durch L+T für Diagnoseausgleichung ):
  - Tgietschen-Cramosino: Distanz 22 mm kürzer (Angabe L+T)
  - Tamaro-Menone: Distanz 6 mm kürzer (Abschreibfehler).

### C. Nachträglich eingeführte Distanzen

In einer letzten Phase wurden im Netzteil Süd noch drei zusätzliche, schon früher (1977) gemessene Geodimeter-Distanzen (zum Punkt 3. Ordnung Lema) eingeführt, die zunächst übersehen worden waren. Dadurch ergibt sich dort (lokal) noch eine etwas höhere Zuverlässigkeit, während auf das Gesamtnetz diese Änderung praktisch ohne Bedeutung ist.

**Tabelle 4:**  
**Distanzen, meteorologisch korrigiert und zentriert, mittl. Fehler und Gewichte**

<u>Variante mit 6 Masstabsfaktoren</u>		Anz.	
1	SIAL 1981, Gotthardnetz, Stations-Meteo	23	Mittl. Fehler und
2	SIAL 1983, Gotthardnetz, Flugzeug-Meteo	9	Gewichte a priori:
3	SIAL 1985, Südnetz, Flugzeug-Meteo	17	$s_0 = \pm 1$ m (hier)
4	SIAL 1986, Nordnetz, Flugzeug-Meteo	15	$s_D = s_0 / \sqrt{p_D}$
5	SIAL 1985, Lägern-Rigi-Titlis, Flugzeug-Meteo	4	
6	Geodimeter-8, alle Distanzen, Stations-/Flugmeteo*	26/29	
	Total Distanzen (Mittelwerte)	94/97	

**Abgrenzung der Masstabsfaktoren:**

Die Strecke Titlis-Scheerhorn bildet die Grenze zwischen Nord- und Gotthardnetz,  
 die Strecke Basodine-Cramosino diejenige zwischen Gotthard- und Südnetz.

von	nach	Masst- variante	Distanz auf Ellipsoid KONHEL m	Distanz im Proj.system LTOP m	Raum- distanz LTOP m	m.F $s_D$ LT mm	Gew. $p_D$ KH	Tage/Messg. Anz.	Datum
<u>Von Punkten 1.Ordnung (von Nord nach Süd)</u>									
Lägern	Rigi	5	47660.337	47661.198	47679.435	50	393	1/12	6.6.85
Lägern	Titlis	5	78925.439	78926.329	78986.281	63	252	1/10	do
Lägern	Rigi	6	47660.530	47661.391	47679.628	58	30	1/1	22.10.69
Hörnli	Hundst	4	54171.424	54171.900	54195.512	70+	204	1/5	2.9.86
Hörnli	Rigi	4	49153.627	49154.235	49169.282	65+	237	1/6	do
Hörnli	Scheer	4	61065.424	61065.882	61124.708	73	188	1/1	do
Hörnli	Scheye	4	34844.808	34845.249	34872.242	58+	297	1/5	do
Hörnli	Titlis	4	76801.353	76801.898	76856.117	80+	156	1/4	do
Hörnli	Lägern	6	42643.440	42644.951	42650.900	45	492	1/3	18.10.71
Rigi	Scheer	4	36574.121	36574.145	36619.365	60+	278	1/2	2.9.86
Rigi	Scheye	4	38478.383	38478.460	38493.318	60+	278	1/4	do
Rigi	Titlis	4	31854.085	31854.123	31899.289	56+	319	1/3	do
Rigi	Titlis	5	31853.999	31854.037	31899.203	44	524	1/6	6.6.85
Rigi	Titlis	5	31853.972	31854.010	31899.176	46	467	1/6	do
Rigi	Scheye	6	38478.384	38478.461	38493.319	43	532	1/2	21.9.71
Rigi	Hörnli	6	49153.731	49154.339	49169.386	51	390	1/3	22.9.71
Scheye	Titlis	4	52925.309	52925.373	52957.039	68+	303	1/3	2.9.86
Scheye	Hörnli	6	34844.857	34845.298	34872.291	38	678	1/3	23.9.86
Scheye	Titlis	6	52925.459	52925.523	52957.189	51	379	1/6	do
Scheye	Scheer	6	28637.150	28637.170	28668.360	31	1019	1/7	do
Titlis	Scheer	1	30504.375	30504.474	30520.005	54	348	2/6	4-7.8.81
Titlis	Tgiets	1	46739.967	46740.365	46763.728	72	190	2/7	do
Titlis	Scopi	1	37351.995	37352.436	37370.792	62	262	2/6	do
Titlis	Scopi	2	37352.016	37352.457	37370.813	67	219	2/14	9.8.83
Titlis	Badus	2	23977.984	23978.215	23991.566	60	276	2/4	do
Titlis	Basodi	6	40143.800	40144.633	40164.281	42	572	1/4	11.11.77
Titlis	Scopi	6	37352.065	37352.506	37370.862	29*	1189	1/3	10.8.83
Titlis	Rigi	6	31854.023	31854.061	31899.228	36	778	1/3	11.11.77
									korrigierte Messung: 72

von	nach	Masst.- variante	Distanz auf Ellipsoid KONHEL m	Distanz im Proj.system LTOP m	Raum- distanz LTOP m	m.F s <sub>D</sub> LT mm	Gew. PD KH	Tage/Messg.	
								Anz.	Datum
Scheer	Tgiets	1	24892.459	24892.628	24908.288	47	453	2/6	4-7.8.81
Scheer	Muraun	1	18202.407	18202.515	18215.580	40	622	1/3	do
Scheer	Scopi	1	28414.680	28414.959	28429.327	51	383	1/6.	do
Scheer	Scheye	4	28637.081	28637.101	28668.291	55+	330	1/2	2.9.86
Scheer	Titlis	4	30504.351	30504.450	30519.981	72+	193	1/2	do
Scheer	Scopi	6	28414.758	28415.037	28429.405	31	1016	1/6	28.10.86
Badus	Titlis	1	23977.949	23978.180	23991.531	45	490	3/10	4-7.8.81
Badus	Scheer	1	26023.671	26023.874	26038.938	48	430	2/6	do
Badus	Tgiets	1	27476.708	27477.104	27489.228	51	385	1/4	do
Badus	Cramos	1	31951.882	31952.894	31966.709	57	311	1/3	do
Badus	Lucend	1	14440.468	14440.761	14447.178	36	792	1/3	do
Badus	Muraun	1	19361.154	19361.412	19370.007	40	615	2/6	do
Badus	Scopi	1	13905.783	13906.037	13914.851	33	906	3/12	do
Badus	Scopi	2	13905.779	13906.033	13914.847	57	309	2/6	9+.8.83
Badus	Lucend	2	14440.501	14440.794	14447.211	55	327	2/6	do
Badus	Basodi	2	27830.207	27830.999	27845.861	64	241	2/7	do
Badus	Scopi	6	13905.769	13906.023	13914.837	17*	3460	2/5	do
Tgiets	Cramos	1	34268.956	34269.983	34284.204	59	290	1/4	4-7.8.81
Tgiets	Muraun	1	9249.397	9249.509	9253.651	28	1247	1/8	do
Tgiets	Cramos	6	34269.164	34270.191	34284.412	38	696	1/3	14.8.86
			korr.:	34270.170	34284.390				
Basodi	Titlis	1	40143.567	40144.400	40164.048	65	237	1/5	4-7.8.81
Basodi	Scopi	1	32922.753	32923.790	32939.498	59	283	1/2	do
Basodi	Scopi	2	32922.835	32923.872	32939.580	69	209	2/11	9.10.83
Basodi	Titlis	2	40143.575	40144.408	40164.056	75	177	2/7	10.10.83
Basodi	Cramos	3	29327.692	29329.075	29346.680	42	575	1/2	8-9.8.85
Basodi	Gesero	3	56926.627	56930.246	56960.594	59	283	1/2	do
Basodi	Gridon	3	34897.329	34899.802	34929.124	43	534	2/11	do
Basodi	Tamario	3	45924.991	45928.331	45962.511	49	424	1/3	do
Basodi	Vogorn	3	37867.424	37869.637	37893.453	46	470	1/3	do
Basodi	Gridon	3	34897.377	34899.850	34929.172	45	504	?	do
Basodi	Titlis	3	40143.843	40144.676	40164.324	58	302	1/6	do
Basodi	Tamario	6	45925.158	45928.498	45962.678	33*	918	1/3	8.8.85
Basodi	Scopi	6	32922.926	32923.963	32939.671	26*	1479	2/3	do
Gridon	Tamario	3	16987.319	16989.095	16994.357	35	811	1/11	8-9.8.85
Gridon	Vogorn	3	22910.439	22912.461	22920.149	41	601	1/4	do
Gridon	Menone	6	38387.911	38391.811	38401.213	40	610	1/4	..8/9.75
Gridon	Basodi	6	34897.385	34899.858	34929.180	40	620	1/2	8.9.77
Cramos	Basodi	1	29327.601	29328.984	29346.589	53	350	1/3	4-7.8.81
Cramos	Scopi	1	23175.031	23175.838	23190.527	45	483	1/4	do
Cramos	Gesero	3	29725.865	29727.879	29741.430	42	573	1/6	8-9.8.85
Cramos	Gridon	3	30615.506	30617.808	30631.857	42	558	1/5	do
Cramos	Tamario	3	28876.474	28878.701	28897.005	41	609	1/4	do
Cramos	Vogorn	3	14254.329	14255.220	14262.778	34	858	1/4.	do
Cramos	Tamario	6	28876.579	28878.806	28897.110	25	1600	1/3	do
Cramos	Scopi	6	23175.121	23175.928	23190.617	27	1336	1/5	28.10.86
Genero	Gridon	6	35847.674	35852.247	35861.893	76*	173	1/4	17.9.76
Genero	Tamario	6	22588.003	22590.936	22595.998	28	1284	1/3	do
Genero	Menone	6	23453.952	23456.923	23467.531	27	1340	1/6	20.9.76
Genero	Lema	6	n.b.	18925.638	18928.095	23	n.b.?		

n.b.= nicht benützt

von	nach	Masst.- variante	Distanz auf Ellipsoid KONHEL m	Distanz im Proj.system LTOP m	Raum- distanz LTOP m	m.F s <sub>D</sub> LT mm	Gew. p <sub>D</sub> KH	Tage/Messg. Anz.	Datum
Gesero	Gridon	3	37972.137	37975.712	37985.228	49	423	1/7	8-9.8.85
Gesero	Tamaro	3	22422.188	22424.345	22431.110	41	581	1/3	do
Gesero	Vogorn	3	19358.812	19360.369	19367.084	36	751	1/13	do
Gesero	Menone	6x	6954.985	6955.634	6957.447	20	2624	1/2	do
(x: Wild Di20)									
<u>von Punkten 2.Ordnung</u>									
Hundst	Rigi	4	21540.954	21540.965	21551.105	48+	434	1/5	2.9.86
Hundst	Scheer	4	15061.052	15061.065	15108.632	46+	473	1/2	do
Hundst	Scheye	4	28397.425	28397.442	28407.388	53+	356	1/6	do
Hundst	Titlis	4	24623.208	24623.253	24656.349	52+	370	1/3	do
Lucend	Basodi	2	14692.975	14693.473	14703.430	55	328	2/9	9.8.83
Lucend	Scopi	2	24037.944	24038.497	24050.553	61	272	2/9	10.8.83
Lucend	Scopi	6	24037.965	24038.518	24050.574	22*	2066	1/1	do
Muraun	Lucend	1	33116.258	33116.841	33131.494	58	297	1/2	4-7.8.81
Tamaro	Vogorn	3	15237.461	15238.837	15250.338	35	826	1/9	8-9.8.85
Tamaro	Menone	6	21656.825	21659.071	21665.793	32	998	1/1	..8-9.75
			korr.:		21665.787				
Tamaro	Gridon	6	16987.354	16989.130	16994.392	23	1872	1/3	9.9.77
Scopi	Lucend	1	24037.814	24038.367	24050.423	48	430	1/2	4-7.8.81
Scopi	Muraun	1	12637.821	12638.020	12647.179	33	901	1/2	do
Lema	Gridon	6	n.b.	16993.662	17006.358	24	n.b.?		9.9.77
Lema	Tamaro	6	n.b.	7494.412	7503.461	15	n.b.?		9.9.77
n.b.=nicht benützt									

**Bemerkungen:****A. Mittl. Fehler (Progr. LTOP) / Gewichte der Distanzen (Progr. KONHEL)**

1. Gewichte an die Richtungsgewichte ( $s_0 = 10$ ) angepasst, das heisst mit einem Faktor 100 ( $= s_0^2$ ) multipliziert.

2. Zusätzlich wurden folgende Netz-interne Anpassungen vorgenommen (Gewichte bzw. mittl. F.):

- Distanzen mit Massstabsfaktor 1: Gewicht \* 2.3225 (mittl. Fehler ca.1.5 mal kleiner)
- Distanzen mit Massstabsfaktor 2: Gewicht \* 0.4306 (mittl. Fehler ca.1.5 mal grösser)

Neu bei Programm LTOP :  $s_D$  ( $p_D$  dementsprechend korrigiert):

- Distanzen mit Massstabsfaktor 4: Mittl. Fehler 1.2 mal grösser
- Geodimeter-8 mit Flug-Meteo:  $s_D = 10 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm}$  (6 Dist.)

Mark.

+

\*

3. Reduzierte Genauigkeit (unzuverlässige Messungen):  $s_D * 2$  (Generoso-Grid.)\*\*

**B. Korrektur an Messungen: Geodimeter: Titlis-Rigi (+ 49 mm), Tgietschen-Cramosino (- 22mm), Tamaro-Menone (- 6mm).****C. Messungen : Anzahl, Umfang**

Zweit-hinterste Kolonne rechts: Anzahl Messtage / Anzahl Messungen total, dabei bedeutet 1 Messung bei SIAL: je 6 Ablesungen hin und rück, bei Geodimeter: 1 Messung

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD R1 ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:54 T  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 6

LAGE - ABRISS (MIT AZIMUTREDUKTIONEN UND LOTABW.-KORREKTUR)

\*\*\*\*\*

MITTL. FEHLER A PRIORI VON REDUZIERTEN DISTANZEN, RICHTUNGEN UND AZIMUTEN

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR G/M	ZENTR.		A		B		C		M.F. F. 1KM		DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
				.00 MM	3.00 CC	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F.	ZI	NABLA % CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)			
	LAEGER		190.59891			-11.6			1.7							
1	RIGI	N	.00000*			2.2	.4	1.7	42	11	.4	190.59801	47661.209	172.	29.	
2	BRUETT	N	310.87221*			9.2	1.0	3.3	73	16	.3	101.47097	20539.435	136.	31.	
3	HOERNL	N	327.01960*			17.8	.7	2.0	58	11	.5	117.61920	42644.836	157.	49.	
4	ALBIS	N	383.56709*			4.0	-3.9	3.1	74	15	-1.5	174.16485	25903.664	93.	-158.	
	HOERNL	N	248.64320			10.4			1.4							
5	RIGI	N	.00000*			-9.3	-.5	1.1	50	6	-.7	248.64326	49154.146	93.	-40.	
6	PFANNE	N	23.00915*			-6.8	.5	2.4	81	11	.2	271.65276	22029.417	53.	18.	
7	ALBIS	N	27.43858*			-10.4	-2.4	2.6	88	11	-1.0	276.08153	33105.189	47.	-127.	
8	FORCH	N	34.94930*			-7.6	-2.1	3.3	89	15	-.7	283.59257	22296.975	55.	-74.	
9	LAEGER		68.97669*			-16.6	-.7	2.0	77	9	-.4	317.61920	42644.836	97.	-46.	
10	BRUETT	N	83.15195*			-8.1	.7	1.5	58	8	.6	331.79545	23338.890	124.	25.	
11	SCHAU	N	117.03053*			-2.2	.0	1.9	47	11	.0	365.67454	11425.776	113.	-1.	
12	SCHEYE	N	343.18760*			1.5	1.9	1.8	56	10	1.4	191.83218	34845.180	248.	103.	
13	STOECK	N	373.88382*			-2.6	.4	1.9	75	9	.2	222.52784	25296.815	58.	15.	
14	HUNDST	N	373.97424*			-4.2	.9	3.2	93	14	.3	222.61814	54171.728	44.	73.	
	RIGI	N	390.59688			12.4			1.0							
15	LAEGER		.00000*			-1.4	.3	1.3	32	10	.4	390.59801	47661.209	346.	22.	
16	ALBIS	N	18.10875*			1.2	1.2	2.8	73	14	.5	8.70712	23562.653	125.	46.	
17	HOERNL	N	58.04439*			7.1	.3	1.4	63	7	.3	48.64326	49154.146	155.	27.	
18	STOECK	N	81.64491*			4.1	-.1	2.2	75	11	-.1	72.24343	27847.829	100.	-6.	
19	SCHEYE	N	107.86080*			3.5	-1.3	1.9	75	9	-.8	98.45914	38478.307	107.	-80.	
20	MYTHEN	N	120.57571			1.1	-.3	3.2	59	17	-.1	111.17391	15744.771	177.	-8.	
21	SCHEER	N	157.60715*			-.4	-1.3	2.0	78	9	-.7	148.20511	36574.127	76.	-73.	
22	HUNDST	N	159.68190*			.2	-1.6	1.7	62	9	-1.2	150.27989	21540.919	90.	-53.	
23	TITLIS	N	215.82392*			.7	.6	.8	21**	7	1.5	206.42217	31854.136	210.	28.	
24	BUOCHS	N	229.91883*			-.1	-.8	3.2	71	16	-.3	220.51686	13082.213	104.	-17.	
	SCHEYE	N	163.83394			.1			1.4							
25	BOESFA	N	55.88729*			.5	1.6	4.1	80	19	.4	219.72145	10831.705	90.	27.	
26	SCHEER	N	63.41479*			.4	-.9	1.5	45	9	-.9	227.24870	28637.102	204.	-40.	
27	HUNDST	N	97.43643*			-1.2	1.6	2.3	76	11	.8	261.27042	28397.334	63.	71.	
28	MYTHEN	N	126.04891*			-2.6	.3	3.0	76	14	.1	289.88264	23257.251	114.	12.	
29	RIGI	N	134.62555*			-4.3	.7	1.5	55	8	.6	298.45914	38478.307	107.	40.	
30	HOERNL	N	227.99840*			-1.0	-.7	1.5	33	11	-.9	391.83218	34845.180	266.	-41.	
	ALBIS	N	76.08194			-5.5			1.5							
31	HOERNL	N	.00000*			9.7	-8.3	3.0	88	13	-3.0	9 76.08153	33105.189	34.	-434.	
32	PFANNE	N	8.70466*			3.1	-.2	2.0	56	11	-.1	84.78634	11233.910	65.	-4.	
33	STOECK	N	54.73208*			5.4	.6	2.2	58	12	.4	130.81407	24889.011	117.	23.	
34	RIGI	N	132.62593*			-.8	-1.2	2.5	48	15	-.7	208.70712	23562.653	186.	-45.	
35	LAEGER		298.08371*			-3.6	1.1	2.2	35	15	.8	374.16485	25903.664	261.	44.	
36	BRUETT	N	350.40899*			3.5	1.1	1.6	40	11	1.1					

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD R1 ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:54 T  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 7

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	ALBIS	N	76.08194													
----- (FORTSETZUNG) -----																
37	FORCH	N	385.04063*		2.7	2.6	2.5	68	13	1.3		61.12255	11273.001	59.	46.	
	PFANNE	N	71.65225		-2.4		1.5									
-----																
38	HOERNL	N	.00000*		6.8	.8	1.5	50	9	.7		71.65276	22029.417	85.	26.	
39	BACHTE	N	24.81997*		5.0	3.3	2.0	54	11	2.2		96.47280	15780.747	111.	81.	
40	STOECK	N	86.15647*		2.9	-1.6	1.7	26	14	-1.8		157.80861	18065.470	194.	-45.	
41	ALBIS	N	213.13463*		-3.2	.3	1.8	33	13	.3		284.78634	11233.910	108.	5.	
42	BRUETT	N	326.47966*		-.2	-.2	2.0	45	12	-.2		398.13162	20674.979	167.	-7.	
43	SCHAUE	N	368.34294*		5.1	-3.1	2.2	62	12	-1.8		39.99514	23846.181	128.	-117.	
	FORCH	N	83.59204		-5.0		1.7									
-----																
44	HOERNL	N	.00000*		7.7	2.6	1.6	37	11	2.7	-7	83.59257	22296.975	115.	91.	
45	BACHTE	N	27.01136*		5.7	.0	4.0	76	19	.0		110.60347	17680.399	103.	1.	
46	ALBIS	N	177.53141*		-2.9	-1.1	2.0	29	15	-1.0		261.12255	11273.001	118.	-19.	
47	BRUETT	N	320.45266*		.4	-2.5	1.7	29	13	-2.7	8	4.04399	16895.033	187.	-67.	
48	SCHAUE	N	366.82872*		6.0	1.8	4.0	84	18	.5		50.42104	22049.534	69.	64.	
	BRUETT	N	131.79495		-2.9		1.7									
-----																
49	HOERNL	N	.00000*		9.0	-1.2	1.6	55	9	-1.0		131.79545	23338.890	96.	-45.	
50	PFANNE	N	66.33691*		.2	.2	2.5	69	12	.1		198.13162	20674.979	85.	7.	
51	FORCH	N	72.24911*		-.4	2.6	2.0	55	11	1.7		204.04399	16895.033	109.	68.	
52	ALBIS	N	94.69657*		-4.1	.1	1.6	48	10	.1		226.49084	25501.377	138.	6.	
53	LAEGER		169.67729*		-9.7	-.1	1.5	19**	14	-.2		301.47097	20539.435	303.	-4.	
54	SCHAUE	N	374.16535*		7.0	-.4	1.5	33	11	-.5		105.96067	14685.978	170.	-10.	
	SCHAUE	N	165.67429		.1		1.9									
-----																
55	HOERNL	N	.00000*		2.5	-.1	2.5	60	13	.0		165.67454	11425.776	82.	-2.	
56	BACHTE	N	28.32416*		.7	-.7	1.5	38	10	-.7		193.99846	18501.301	150.	-20.	
57	PFANNE	N	74.32157*		-5.5	-1.9	3.2	84	14	-.6		239.99514	23846.181	43.	-71.	
58	FORCH	N	84.74732*		-6.2	.4	2.1	63	11	.3		250.42104	22049.534	96.	15.	
59	BRUETT	N	140.28693*		-6.4	.8	1.4	31	10	1.0		305.96067	14685.978	126.	19.	
	BACHTE	N	28.42726		21.0		1.7									
-----																
60	HOERNL	N	.00000		1.5	-.3	2.2	34	16	-.2		28.42948	9550.994	132.	-4.	
61	STOECK	N	190.53680*		-1.0	1.4	2.1	34	15	1.1		218.96619	15811.570	163.	34.	
62	PFANNE	N	268.04397*		-4.4	-.8	1.3	29	10	-1.1		296.47280	15780.747	120.	-20.	
63	FORCH	N	282.17499*		-5.0	-3.7	2.6	64	13	-1.8		310.60347	17680.399	128.	-104.	
64	SCHAUE	N	365.56899*		-.4	1.5	1.4	37	10	1.8		393.99846	18501.301	139.	44.	
	STOECK	N	22.52688		8.4		1.3									
-----																
65	HOERNL	N	.00000*		2.4	-1.3	1.6	46	10	-1.2		22.52784	25296.815	143.	-52.	
66	SCHEYE	N	121.15421		.3	-.2	1.3	9**	18	-.4		143.68195	17092.693	375**	-4.	
67	HUNDST	N	200.16986*		-.3	-3.0	2.9	86	13	-1.1		222.69726	28874.960	45.	-134.	
68	MYTHEN	N	215.10692*		-.2	2.4	2.0	58	11	1.6		237.63487	17475.730	88.	66.	
69	RIGI	N	249.71598*		-3.1	.4	1.5	44	9	.4		272.24343	27847.829	161.	16.	
70	ALBIS	N	308.28682*		-5.4	.7	1.8	46	11	.5		330.81407	24889.011	176.	26.	
71	PFANNE	N	335.28112*		-3.1	.7	3.0	77	14	.3		357.80861	18065.470	78.	20.	
72	BACHTE	N	396.43842*		1.3	-.9	3.2	79	15	-.3						

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD R1 ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:54 T  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 8

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BOEB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	BOESFA	N	135.14003		.9		1.9									
73	SCHEER	N	96.64975*		1.0	1.3	1.8	18**	18	1.8		231.79010	17926.618	243.	38.	
74	MYTHEN	N	185.58084*		-2.2	-2.6	2.3	37	16	-1.8		320.72048	20751.585	249.	-84.	
75	SCHEYE	N	284.58122*		.9	.2	1.8	13**	20	.3		19.72145	10831.705	219.	4.	
	MYTHEN	N	89.87825		41.7		1.6									
76	SCHEYE	N	.00000*		1.8	.4	2.1	48	13	.3		89.88264	23257.251	173.	15.	
77	BOESFA	N	30.83770*		.9	2.7	2.5	35	18	1.8		120.72048	20751.585	319.	87.	
78	HUNDST	N	111.83300*		.9	.2	1.4	20**	13	.4		201.71553	12553.761	132.	5.	
79	BUOCHS	N	181.02709*		-.9	.0	3.5	64	18	.0		270.90941	21892.532	169.	-2.	
80	STOECK	N	347.75238*		2.7	-2.1	1.8	37	12	-1.9		37.63487	17475.730	130.	-57.	
	BUOCHS	N	196.91091		27.8		1.9									
81	TITLIS	N	.00000*		1.6	.3	2.9	45	18	.2		196.91388	19306.177	157.	10.	
82	RIGI	N	223.60312*		.4	.1	1.7	23**	15	.2		20.51686	13082.213	161.	3.	
83	MYTHEN	N	273.99561*		.5	.7	2.7	67	14	.3		70.90941	21892.532	99.	22.	
84	HUNDST	N	312.54467*		-1.4	-1.1	2.5	55	14	-6		109.45811	19523.187	107.	-34.	
	HUNDST	N	61.26611		43.3		1.1									
85	SCHEYE	N	.00000*		.7	-.9	1.8	53	10	-.7		61.27042	28397.334	172.	-39.	
86	SCHEER	N	83.96680*		-.1	-1.1	2.0	40	13	-.9		145.23712	15061.012	147.	-26.	
87	BRISTE	N	137.81517		1.7	-4.1	3.2	76	15	-1.5		199.08537	20027.510	84.	-129.	
88	TITLIS	N	192.34896*		3.4	1.0	1.4	51	8	1.0		253.61983	24623.230	82.	38.	
89	URIROT	N	205.67675*		2.9	4.8	3.1	81	14	1.7		266.94795	12747.287	44.	95.	
90	BUOCHS	N	248.18766*		.0	.2	2.4	49	14	.1		309.45811	19523.187	206.	5.	
91	RIGI	N	289.00955*		-.2	-.8	1.7	52	10	-.6		350.27989	21540.919	103.	-25.	
92	MYTHEN	N	340.44508*		1.0	-.9	2.4	64	12	-.4		1.71553	12553.761	88.	-17.	
93	HOERNL	N	361.34726*		3.2	1.3	1.9	75	9	.8		22.61814	54171.728	104.	109.	
94	STOECK	N	361.42664*		2.1	-.3	3.0	86	13	-1		22.69726	28874.960	56.	-14.	
	TITLIS	N	6.42105		12.0		1.0									
95	RIGI	N	.00000*		.6	-1.4	1.4	48	8	-1.5		6.42217	31854.136	137.	-72.	
96	URIROT	N	33.53512*		.5	-3.8	3.5	82	16	-1.2		39.95704	12439.670	49.	-75.	
97	HUNDST	N	47.19776*		.3	-2.1	1.9	74	9	-1.3		53.61983	24623.230	58.	-81.	
98	SCHEER	N	79.75907*		-3.8	-.3	1.6	62	8	-.2		86.18091	30504.417	92.	-15.	
99	BRISTE	N	105.81531*		-2.7	.7	2.9	83	13	.3		112.23736	19010.453	50.	22.	
100	BADUS	N	141.44419*		-3.5	2.9	1.8	69	9	1.9		147.86639	23978.015	56.	109.	
101	BASODI	N	189.02820*		-.8	1.4	1.5	53	8	1.3		195.45051	40144.345	158.	89.	
102	DAMMAS	N	198.44437*		.7	1.6	2.4	64	12	.8		204.86685	14348.375	106.	36.	
103	BUOCHS	N	390.49175*		.8	-2.0	3.8	85	17	-.6		396.91388	19306.177	64.	-60.	
	SCHEER	N	231.26744		28.3		1.0									
104	BADUS	N	.00000*		1.8	-.2	1.2	50	7	-.2		231.27042	26023.869	81.	-8.	
105	BRISTE	N	21.49416*		1.3	-3.0	2.0	68	10	-1.8		252.76425	15096.645	65.	-72.	
106	TITLIS	N	54.91020*		3.6	.9	1.2	56	7	1.0		286.18091	30504.417	97.	42.	
107	URIROT	N	78.55854		1.5	-.3	1.9	66	10	-.2		309.82893	22754.157	112.	-10.	
108	HUNDST	N	113.96697*		.1	-1.3	2.8	78	13	-.5		345.23712	15061.012	66.	-31.	
109	RIGI	N	116.93457*		.5	2.2	1.1	46	7	3.0	-4	348.20511	36574.127	108.	127.	
110	SCHEYE	N	195.97830*		1.3	.0	1.7	54	10	.0		27.24870	28637.102	164.	0.	
111	BOESFA	N	200.51986*		.9	-1.2	2.9	75	14	-.5		31.79010	17926.618	109.	-33.	
112	TGIETS	N	327.47249*		-2.8	-1.6	2.1	57	12	-1.0		158.74232	24892.621	155.	-62.	

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE GOTTHARD R1  
 TRIANGULATIONS PROGRAM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:54 T  
 SEITE 9

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. MM	QUER. MM
	SCHEER	N	231.26744												
	(FORTSETZUNG)														
113	MURAUN	N	346.64741*		-1.5	-6.8	2.9	75	14	-2.7	9	177.91684	18202.507	80.	-195.
	BRISTE	N	52.76250												
114	SCHEER	N	.00000*		-1.8	1.0	1.8	38	12	.9		52.76425	15096.645	118.	23.
115	MURAUN	N	71.42881*		-3.4	-.4	2.4	52	14	-.2		124.19277	18646.800	137.	-11.
116	BADUS	N	152.94788*		.1	-1.1	2.1	41	14	-.8		205.71211	12797.034	118.	-22.
117	DAMMAS	N	215.69822*		5.7	-1.0	2.5	62	13	-.5		268.46302	22455.604	140.	-36.
118	TITLIS	N	259.47273*		3.3	-.3	1.5	35	11	-.4		312.23736	19010.453	133.	-10.
119	URIROT	N	303.17727*		1.0	1.3	2.0	51	12	.9		355.94184	17794.642	107.	36.
	URIROT	N	239.95664		.2										
120	TITLIS	N	.00000*		2.1	1.7	1.9	27	15	1.7		239.95704	12439.670	144.	33.
121	BUOCHS	N	113.59259		-3.8	.3	1.7	11**	21	.5		353.54889	12361.932	295**	5.
122	HUNDST	N	226.99107*		3.0	-.8	1.6	22**	14	-1.1		66.94795	12747.287	142.	-16.
123	BRISTE	N	315.98546*		-2.0	-.8	1.8	41	12	-.7		155.94184	17794.642	108.	-22.
	GRIDON	N	321.60987		-53.2										
124	BASODI	N	51.51359*		9.6	-2.4	1.5	34	11	-2.8	7	373.11886	34899.344	343.	-134.
125	CRAMAL	N	69.37751*		1.7	.3	2.9	33	21	.2		390.98225	14782.358	324**	6.
126	CRAMOS	N	110.06415*		-8.1	1.7	1.2	48	7	2.0		31.66805	30617.473	91.	81.
127	VOGORN	N	139.14361*		-11.8	-.8	2.8	82	13	-.3		60.74689	22912.105	70.	-30.
128	GESERO	N	165.58329*		-25.8	-1.9	1.5	66	8	-1.6		87.18507	37975.226	112.	-113.
129	MENONE	N	177.17551*		-27.4	.4	.9	30	7	.7		98.77735	38391.184	221.	21.
130	TAMARO	N	185.46288*		-12.6	-.7	2.3	69	11	-.4		107.06610	16988.849	86.	-19.
131	GENERO	N	217.87873*		-22.6	1.4	1.6	48	10	1.2		139.48115	35851.791	225.	76.
	MENONE	N	188.99144		-5.2										
132	GENERO	N	36.69219*		7.9	-2.4	3.3	70	16	-.9		225.68366	23456.499	95.	-88.
133	GRIDON	N	109.78373*		27.5	-.5	2.3	61	12	-.3		298.77735	38391.184	98.	-28.
134	CRAMOS	N	164.05860*		14.4	1.2	2.0	53	11	.8		353.05108	35356.124	57.	64.
135	GESERO	N	200.19659*		.7	.2	3.6	66	18	.1		389.18761	6955.569	66.	3.
	GENERO	N	339.47746		14.3										
136	GRIDON	N	.00000*		23.0	-.4	1.3	26	10	-.6		339.48115	35851.791	287.	-21.
137	TAMARO	N	23.89576*		9.4	-.3	2.5	74	12	-.1		363.37557	22590.655	63.	-10.
138	GESERO	N	78.05316*		-6.2	.7	1.7	58	9	.5		17.53151	29541.942	153.	32.
139	MENONE	N	86.20546*		-7.0	.1	1.7	46	10	.1		25.68366	23456.499	181.	3.
	GESERO	N	217.52928		16.0										
140	GENERO	N	.00000*		5.8	.4	1.6	44	10	.4		217.53151	29541.942	190.	19.
141	GRIDON	N	69.65178*		25.3	-1.2	1.9	69	9	-.8		287.18507	37975.226	112.	-72.
142	VOGORN	N	101.34256*		11.4	2.0	2.9	81	13	.8		318.87478	19360.124	55.	60.
143	CRAMOS	N	127.48922*		12.8	.8	1.5	62	8	.6		345.02146	29727.496	44.	35.
144	CLARO	N	152.29746*		2.7	-.4	1.2	31	9	-.6		369.82857	13537.815	173.	-9.
145	MENONE	N	371.65686*		-.9	-.5	2.1	27	17	-.4		189.18761	6955.569	125.	-5.

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL ALPENTRAVERSE GOTTHARD R ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:54 T  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

SEITE 10

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR G/M	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	CLARO	N	169.82712	19.8		1.5									
146	GESERO	N	.00000*	-5.5	.2	.9	14**	10	.6		169.82857	13537.815	147.	4.	
147	TAMARO	N	67.18947*	9.5	.7	2.0	69	10	.4		237.01958	25753.047	84.	28.	
148	VOGORN	N	99.74779*	8.3	-1.1	1.2	25**	10	-1.8		269.57760	13893.339	142.	-24.	
149	CRAMOS	N	156.69964*	8.6	2.6	1.9	51	11	2.0		326.52986	17956.741	96.	74.	
150	FRECCI	N	236.43608*	-1.2	-1.7	2.1	35	15	-1.4		6.26488	19703.342	266.	-54.	
	VOGORN	N	381.50587	4.0		1.4									
151	CRAMOS	N	.00000*	1.8	1.3	1.8	35	13	1.2		381.50657	14255.089	123.	28.	
152	CLARO	N	88.07187*	-6.2	.9	2.7	67	14	.4		69.57760	13893.339	72.	20.	
153	GESERO	N	137.36981*	-12.4	-6.6	1.7	32	12	-7		118.87478	19360.124	167.	-20.	
154	TAMARO	N	226.06759*	1.3	.6	2.7	63	14	.3		207.57405	15238.517	88.	15.	
155	GRIDON	N	279.23949*	12.8	-1.5	1.9	43	12	-1.2		260.74689	22912.105	161.	-53.	
156	CRAMAL	N	322.73024*	12.9	-.3	1.9	20**	17	-.3		304.23777	20826.061	426.	-9.	
157	SASSO	N	364.85344*	7.1	1.2	3.3	67	17	.5		346.36054	18755.965	141.	36.	
	TAMARO	N	307.06630	-14.9		1.5									
158	GRIDON	N	.00000*	11.7	1.2	2.0	30	15	1.0		307.06610	16988.849	188.	31.	
159	VOGORN	N	100.50946*	-.6	-1.6	1.7	37	12	-1.6		7.57405	15238.517	132.	-39.	
160	CLARO	N	129.95544*	-8.2	1.5	2.7	79	13	.6		37.01958	25753.047	75.	62.	
161	GESERO	N	165.16573	-13.7	1.2	1.6	34	11	1.3		72.22929	22424.034	212.	41.	
162	MENONE	N	185.21967	-15.0	-1.2	2.8	63	15	-.5		92.28286	21658.733	137.	-41.	
163	GENERO		256.31182*	-9.9	-.8	1.8	28	14	-.8		163.37557	22590.655	238.	-27.	
	CRAMAL	N	59.65246	-36.1		3.4									
164	CRAMOS	N	.00000*	-8.6	2.7	5.8	66	30	.6		59.64826	20722.020	93.	88.	
165	VOGORN	N	44.59055*	-12.6	-3.7	6.0	74	29	-.7		104.23777	20826.061	53.	-122.	
166	GRIDON	N	131.33349*	-1.1	.3	3.4	29	26	.1		190.98225	14782.358	128.	6.	
	CRAMOS	N	310.74741	-24.7		1.0									
167	BASODI	N	.00000*	13.9	-1.1	1.2	35	8	-1.6		310.74621	29329.011	201.	-53.	
168	MASSAR	N	38.78119*	5.5	-1.7	2.9	67	15	-.7		349.52650	17563.383	125.	-47.	
169	BADUS	N	59.79290*	5.8	.7	1.7	69	8	.5		370.53849	31952.776	61.	36.	
170	SCOPI	N	85.19508*	1.0	.9	2.9	76	14	.3		395.94021	23175.780	96.	31.	
171	TGIETS	N	114.09871*	-5.1	1.7	1.2	28	9	2.6	-6	24.84330	34269.736	284.	90.	
172	FRECCI	N	151.57703*	-7.8	1.4	2.5	37	17	.9		62.32132	22117.906	357.	47.	
173	CLARO	N	215.78593*	-8.9	-1.1	2.5	70	12	-.5		126.52986	17956.741	103.	-31.	
174	GESERO	N	234.27782*	-12.7	-.2	2.0	79	9	-.1		145.02146	29727.496	75.	-11.	
175	MENONE	N	242.30754*	-13.8	-.2	1.2	52	7	-.2		153.05108	35356.124	148.	-9.	
176	VOGORN	N	270.76230*	-2.0	-4.6	2.5	71	12	-2.2		181.50657	14255.089	73.	-104.	
177	GRIDON	N	320.92220*	9.2	.0	1.2	43	8	.0		231.66805	30617.473	166.	1.	
178	CRAMAL	N	348.90217*	9.7	1.8	2.9	65	15	.8		259.64826	20722.020	164.	58.	
179	SASSO	N	381.74665*	5.1	1.2	2.9	38	20	.6		292.49221	9984.918	199.	18.	
	BASODI	N	35.28650	-18.6		1.2									
180	BADUS	N	.00000*	-5.9	-.9	1.2	52	7	-1.0		35.28396	27830.756	53.	-38.	
181	MASSAR	N	37.73578*	-7.9	1.3	2.8	59	15	.6		73.01976	17992.743	168.	36.	
182	CRAMOS	N	75.46287*	-14.4	1.5	1.7	62	9	1.1		110.74621	29329.011	89.	67.	
183	SASSO	N	84.50296*	-9.9	1.9	2.8	70	14	.8		119.78680	19952.599	120.	59.	
184	GRIDON	N	137.83485*	-7.9	1.5	1.6	37	11	1.6		173.11886	34899.344	283.	85.	
185	DAMMAS	N	354.99049*	1.6	-3.7	2.2	67	11	-2.0						

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE ETH 1987  
 TRIANGULATIONS PROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:54 T  
 SEITE 11

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR G/M	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	BASODI	N	35.28650	(FORTSETZUNG)											
186	TITLIS	N	360.16569*	.9	.9	2.4	79	11	.4		395.45051	40144.345	98.	58.	
187	LUCEND	N	381.05520*	-1.9	-1.6	2.3	72	11	-8		16.33949	14693.368	62.	-37.	
	SCOPI	N	29.64852	.0		1.5									
188	MURAUN	N	.00000*	-1.4	1.3	2.1	25**	17	1.2		29.64851	12637.824	188.	26.	
189	FRECCI	N	102.07041*	-7.4	-1.1	2.2	39	15	-8		131.71809	22577.459	257.	-38.	
190	VOGORN	N	160.80186	-2.5	1.8	4.0	87	18	.5		190.45031	37204.305	49.	104.	
191	CRAMOS	N	166.29180*	-.6	-.6	2.9	67	15	-2		195.94021	23175.780	90.	-20.	
192	MASSAR	N	221.02751*	4.6	.7	1.7	24**	14	.8		250.67656	15441.585	213.	16.	
193	BADUS	N	296.05416*	3.8	-1.5	2.1	36	14	-1.2		325.70291	13906.055	136.	-33.	
	MASSAR	N	149.52739	-7.8		2.4									
194	CRAMOS	N	.00000*	-5.9	4.8	5.1	70	25	1.1		149.52650	17563.383	77.	133.	
195	SASSO	N	38.38211*	-1.3	-2.0	5.5	63	29	-5		187.90839	13748.534	157.	-44.	
196	BASODI	N	123.49249*	7.1	-.6	5.0	68	25	-1		273.01976	17992.743	98.	-16.	
197	LUCEND	N	181.87929*	4.5	.7	5.1	71	25	.2		331.40643	14386.444	67.	17.	
198	BADUS	N	243.63607*	.6	-3.0	5.6	76	27	-6		393.16245	16359.609	57.	-76.	
199	SCOPI	N	301.15036*	-3.4	-.8	5.1	72	25	-2		50.67656	15441.585	61.	-18.	
	FRECCI	N	14.88279	15.0		2.0									
200	CLARO	N	191.38054*	.7	-.2	1.5	17**	15	-3		206.26488	19703.342	288.	-6.	
201	CRAMOS	N	247.43588*	9.1	2.5	2.7	61	14	1.2		262.32132	22117.906	133.	86.	
202	SCOPI	N	316.83315*	7.2	-.7	1.7	20**	16	-1.0		331.71809	22577.459	292.	-26.	
	SASSO	N	146.36223	-4.4		2.6									
203	VOGORN	N	.00000*	-8.2	-4.2	5.0	67	25	-1.0		146.36054	18755.965	96.	-124.	
204	CRAMAL	N	88.55722	4.5	-1.8	4.8	40	32	-6		234.91927	13005.621	271.	-37.	
205	BASODI	N	173.42324*	8.7	9.0	5.1	68	26	2.1		319.78680	19952.599	75.	283.	
206	MASSAR	N	241.54701*	1.1	-5.1	5.1	48	30	-1.4		387.90839	13748.534	209.	-111.	
207	CRAMOS	N	346.13063*	-5.0	3.0	5.5	66	28	.7		92.49221	9984.918	80.	47.	
	BADUS	N	347.86570	5.0		.9									
208	TITLIS	N	.00000*	3.7	-1.8	1.1	29	8	-3.1	6	347.86639	23978.015	163.	-68.	
209	BRISTE	N	57.84608*	-.2	-1.4	3.3	79	15	-5		5.71211	12797.034	55.	-28.	
210	SCHEER	N	83.40432*	-2.4	1.4	1.5	55	8	1.3		31.27042	26023.869	110.	59.	
211	MURAUN	N	132.66694*	-4.6	-1.0	2.7	81	12	-4		80.53257	19361.381	63.	-32.	
212	TGIETS	N	144.93328*	-7.3	.4	1.3	39	9	.5		92.79879	27477.014	189.	16.	
213	SCOPI	N	177.83704*	-4.3	1.0	2.6	60	14	.5		125.70291	13906.055	111.	23.	
214	CRAMOS	N	222.67271*	-5.4	1.2	1.4	52	8	1.2		170.53849	31952.776	112.	61.	
215	MASSAR	N	245.29656*	-.7	-2.4	2.7	60	14	-1.2		193.16245	16359.609	137.	-62.	
216	BASODI	N	287.41727*	5.6	-.6	1.4	54	8	-.6		235.28396	27830.756	128.	-27.	
217	LUCEND	N	306.70337*	3.8	2.6	2.8	75	13	1.1		254.57021	14440.790	70.	59.	
218	DAMMAS	N	359.18830*	5.3	3.5	2.8	66	14	1.5		307.05538	18724.345	133.	102.	
	TGIETS	N	23.41844	-.5		1.3									
219	CRAMOS	N	201.42471*	4.7	-2.7	1.7	41	11	-2.5		224.84330	34269.736	211.	-145.	
220	BADUS	N	269.37973*	7.3	-.7	1.3	42	8	-.8		292.79879	27477.014	96.	-29.	
221	MURAUN	N	295.63544*	2.0	3.8	2.2	66	11	2.1		319.05441	9249.457	44.	55.	
222	SCHEER	N	335.32355*	2.8	1.0	1.4	30	11	1.4		358.74232	24892.621	236.	41.	

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE ETH 1987  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 9. 3.1992 11:54 T  
 SEITE 12

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR G/M	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. AUS KOORD. (G)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	DAMMAS	N	268.68443	-17.4		1.5								
223	TITLIS	N	136.18425*	-0.6	-0.3	1.5	22**	13	-0.5		4.86685	14348.375	181.	-8.
224	BRISTE	N	199.78087*	-4.0	-1.4	2.3	69	11	-0.8		68.46302	22455.604	81.	-51.
225	BADUS	N	238.37313*	-4.2	-0.2	1.8	43	11	-0.2		107.05538	18724.345	142.	-7.
226	LUCEND	N	293.84644*	-1.4	-4.0	3.5	80	16	-1.3		162.52859	13854.864	45.	-87.
227	BASODI	N	321.59210*	-1.2	2.4	1.7	35	12	2.4		190.27492	26038.642	173.	98.
	LUCEND	N	54.57280	-22.1		1.4								
228	BADUS	N	.00000*	-3.2	-0.6	1.6	36	11	-0.6		54.57021	14440.790	110.	-13.
229	SCOPI	N	34.81620	-7.9	-1.1	2.0	61	11	-0.7		89.38590	24038.611	93.	-40.
230	MASSAR	N	76.83636*	-5.1	-0.1	2.1	34	15	-0.1		131.40643	14386.444	200.	-2.
231	BASODI	N	161.76870*	1.2	.8	1.7	25**	14	.9		216.33949	14693.368	163.	18.
232	DAMMAS	N	307.95769*	2.4	.7	1.7	16**	17	1.0		362.52859	13854.864	253.	15.
	MURAUN	N	18.56536	9.0		1.4								
233	TGIETS	N	100.48856*	-2.3	-1.8	1.5	20**	14	-2.7	9	119.05441	9249.457	115.	-26.
234	SCOPI	N	211.08225*	2.4	-2.4	3.5	69	17	-0.8		229.64851	12637.824	92.	-47.
235	BADUS	N	261.96583*	4.9	.0	1.7	36	12	.0		280.53257	19361.381	130.	0.
236	BRISTE	N	305.62603*	3.6	1.2	3.5	81	16	.4		324.19277	18646.800	57.	35.
237	SCHEER	N	359.35024*	.9	2.6	1.7	26	14	3.0	-9	377.91684	18202.507	221.	73.

## STATISTIK

\*\*\*\*\*

20 ZI KLEINER 25.0 %, KLEINSTER WERT 8.6 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 66  
 3 KI GROESSER 14.0+ 20.0\*D, GROESSTER WERT 375.2 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 66  
 10 WI GROESSER 2.5, GROESSTER WERT 3.1 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 208  
 GRENZE ENTDECKB. FEHLER: 4.1, FEHLER 2. ART: 5.0 %

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE GOTTHARE D10  
 TRIANGULATIONS PROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 26. 2.1992 15:51 T  
 SEITE 9

LAGE - ABRISS (MIT AZIMUTREDUKTIONEN UND LOTABW.-KORREKTUR)  
 \*\*\*\*\*

MITTL. FEHLER A PRIORI VON REDUZIERTEN DISTANZEN, RICHTUNGEN UND AZIMUTEN

DISTANZ-GRUPPE	ZENTR.	A	B	C	M.F. F. 1KM
SI81GHSM 1	.00 MM	30.00 MM	2.00 MM/KM	.00 MM/KM2	32.00 MM
SI83GHFM 2	.00 MM	30.00 MM	2.00 MM/KM	.00 MM/KM2	32.00 MM
SI85SUFM 3	.00 MM	30.00 MM	2.00 MM/KM	.00 MM/KM2	32.00 MM
SI86NOFM 4	.00 MM	30.00 MM	2.00 MM/KM	.00 MM/KM2	32.00 MM
SI85LTFM 5	.00 MM	30.00 MM	2.00 MM/KM	.00 MM/KM2	32.00 MM
GEOD.8 6	.00 MM	10.00 MM	1.00 MM/KM	.00 MM/KM2	11.00 MM

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BOEB. GR	KORR. VERB.	M.F. ZI	NABLA	WI	GI	AZI.	AUS	DIST. AUS	KI	QUER.
			G/M	CC/MM	CC/MM	CC/MM	%	CC/MM	CC/MM	KOORD. (G)	KOORD. (M)	MM	MM

LAEGER DISTANZEN

1	RIGI	N	47661.198	5	-214.1	47.	50.0	52	288	1.3	190.59818	47661.031	73.
2	TITLIS	N	78926.329	5	-354.6	-46.	63.0	53	358	-1.0	196.92956	78925.929	23.
3	RIGI	N	47661.391	6	-338.2	-22.	58.0	34	413	-0.7	190.59818	47661.031	233.

HOERNL N DISTANZEN

4	HUNDST	N	54171.899	4	-293.6	-70.	70.0	64	362	-1.3	222.61827	54171.536	114.
5	RIGI	N	49154.235*	4	-266.4	18.	65.0	65	333	.3	248.64337	49153.986	123.
6	SCHEER	N	61065.882	4	-330.9	112.	73.0	75	350	1.8	207.76315	61065.663	79.
7	SCHEYE	N	34845.249*	4	-188.8	-17.	58.0	70	287	-0.4	191.83223	34845.043	88.
8	TITLIS	N	76801.897	4	-416.2	6.	80.0	75	383	.1	232.20568	76801.488	72.
9	LAEGER		42644.951	6	-302.6	-3.	45.0		0**UNEND.	NICHT BESTI	317.61931	42644.646	N. B

RIGI N DISTANZEN

10	SCHEER	N	36574.146	4	-198.2	29.	60.0	57	328	.6	148.20506	36573.977	130.
11	SCHEYE	N	38478.460	4	-208.5	-41.	60.0	64	309	-0.8	98.45920	38478.211	92.
12	TITLIS	N	31854.123*	4	-172.6	-69.	56.0	75	269	-1.4	206.42234	31853.881	41.
13	TITLIS	N	31854.037*	5	-143.1	-12.	44.0	68	220	-0.3	206.42234	31853.881	34.
14	TITLIS	N	31854.010*	5	-143.1	15.	46.0	71	226	.4	206.42234	31853.881	32.
15	SCHEYE	N	38478.461	6	-273.0	23.	43.0	43	273	.8	98.45920	38478.211	160.
16	HOERNL	N	49154.338*	6	-348.8	-4.	51.0	36	352	-0.1	48.64337	49153.986	247.

SCHEYE N DISTANZEN

17	TITLIS	N	52925.372	4	-286.8	64.	68.0	74	328	1.1	257.71801	52925.149	72.
18	HOERNL	N	34845.298*	6	-247.3	-8.	38.0	30	285	-0.4	391.83223	34845.043	224.
19	TITLIS	N	52925.522	6	-375.6	2.	51.0	62	267	.1	257.71801	52925.149	107.
20	SCHEER	N	28637.170*	6	-203.2	-19.	31.0	29	238	-1.1	227.24884	28636.948	190.

HUNDST N DISTANZEN

21	RIGI	N	21540.966	4	-116.7	-19.	48.0	37	328	-0.6	350.27997	21540.830	198.
22	SCHEER	N	15061.066	4	-81.6	-30.	46.0	33	332	-1.2	145.23687	15060.954	214.
23	SCHEYE	N	28397.441	4	-153.9	-12.	53.0	49	315	-0.3	61.27056	28397.275	154.
24	TITLIS	N	24623.252	4	-133.4	-50.	52.0	44	324	-1.4	253.62022	24623.069	163.

TITLIS N DISTANZEN

25	SCHEER	N	30504.474*	1	-100.5	-13.	54.0	55	301	-0.3	86.18118	30504.361	129.
26	TGIETS	N	46740.366	1	-154.1	-71.	72.0	76	342	-1.1	118.33474	46740.141	81.
27	SCOPI	N	37352.438	1	-123.1	-40.	62.0	82	283	-0.7	139.75918	37352.275	29.
28	SCOPI	N	37352.459	2	-188.2	5.	67.0	73	325	.1			

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE GOTTHARE D10  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 26. 2.1992 15:51  
 SEITE 10

T

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BOEB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
-----																
TITLIS		N	DISTANZEN		(FORTSETZUNG)											
-----																
29	BADUS	N	23978.215*	2	-120.8	-34.	60.0	78	281	-.6		147.86642	23978.061	31.		
30	BASODI	N	40144.635*	6	-284.9	0.	42.0	51	243	.0		195.45062	40144.350	108.		
31	SCOPI	N	37352.508	6	-265.1	32.	29.0	46	178	1.7		139.75918	37352.275	94.		
32	RIGI	N	31854.062*	6	-226.0	46.	36.0	43	227	1.9		6.42234	31853.881	103.		
SCHEER		N	DISTANZEN		-----											
33	TGIETS	N	24892.628	1	-82.0	23.	47.0	49	279	.7		158.74203	24892.569	142.		
34	MURAUN	N	18202.515	1	-60.0	-10.	40.0	43	253	-.4		177.91667	18202.445	141.		
35	SCOPI	N	28414.960	1	-93.7	-18.	51.0	77	240	-.4		198.85075	28414.849	37.		
36	SCOPI	N	28415.038	6	-201.6	12.	31.0	44	195	.6		198.85075	28414.849	105.		
37	SCHEYE	N	28637.101*	4	-155.2	2.	55.0	77	259	.0		27.24884	28636.948	47.		
38	TITLIS	N	30504.450*	4	-165.3	75.	72.0	75	343	1.2		286.18118	30504.361	82.		
GRIDON		N	DISTANZEN		-----											
39	TAMARO	N	16989.095*	3	-89.1	12.	35.0	74	169	.4		107.06611	16989.018	34.		
40	VOGORN	N	22912.462	3	-120.2	-18.	41.0	44	257	-.7		60.74654	22912.324	151.		
41	MENONE	N	38391.813	6	-272.4	-21.	40.0	54	225	-.7		98.77700	38391.519	105.		
42	BASODI	N	34899.861*	6	-247.7	31.	40.0	57	220	1.0		373.11919	34899.644	91.		
GENERO		N	DISTANZEN		-----											
43	GRIDON	N	35852.250	6	-254.4	95.	76.0	88	336	1.3		339.48091	35852.090	48.		
44	TAMARO	N	22590.938	6	-160.3	-4.	28.0	36	192	-.3		363.37525	22590.773	119.		
45	MENONE	N	23456.924	6	-166.5	2.	27.0	4**	576	.4		25.68338	23456.760	539**		
46	LEMA	N	18925.638	6	-134.3	-6.	23.0	21**	206	-.6		343.16421	18925.497	200.		
LEMA		N	DISTANZEN		-----											
47	GRIDON	N	16993.662	6	-120.6	-7.	24.0	22**	214	-.6		335.37830	16993.535	166.		
48	TAMARO	N	7494.412	6	-53.2	0.	15.0	0**UNEND.	NICHT BESTI			21.18478	7494.358	N. B		
GESERO		N	DISTANZEN		-----											
49	GRIDON	N	37975.714	3	-199.2	9.	49.0	64	253	.2		287.18479	37975.524	110.		
50	TAMARO	N	22424.345	3	-117.6	-7.	41.0	35	285	-.3		272.22876	22424.221	222.		
51	VOGORN	N	19360.370	3	-101.5	3.	36.0	40	236	.1		318.87464	19360.271	137.		
52	MENONE	N	6955.635	6	-49.4	1.	20.0	2**	619	.6		189.18696	6955.587	600**		
TAMARO		N	DISTANZEN		-----											
53	MENONE	N	21659.066	6	-153.7	12.	32.0	34	227	.6		92.28221	21658.924	154.		
54	GRIDON	N	16989.130*	6	-120.6	8.	23.0	50	135	.5		307.06611	16989.018	72.		
55	VOGORN	N	15238.838	3	-79.9	2.	35.0	44	218	.1		7.57367	15238.760	112.		
CRAMOS		N	DISTANZEN		-----											
56	GESERO	N	29727.881	3	-155.9	17.	42.0	39	277	.7		145.02101	29727.742	173.		
57	GRIDON	N	30617.809	3	-160.6	-10.	42.0	47	254	-.4		231.66771	30617.639	135.		
58	TAMARO	N	28878.703	3	-151.5	43.	41.0	71	201	1.2		194.98060	28878.594	39.		
59	TAMARO	N	28878.808	6	-204.9	-9.	25.0	37	169	-.6		194.98060	28878.594	114.		
60	VOGORN	N	14255.222	3	-74.8	-14.	34.0	49	202	-.6		181.50583	14255.133	99.		
61	BASODI	N	29328.985*	1	-96.7	35.	53.0	62	278	.8		310.74652	29328.923	90.		
62	SCOPI	N	23175.841	1	-76.4	2.	45.0	73	217	.1		395.94028	23175.766	41.		

NR	PUNKT	TYP	NP	OR/BEOB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
CRAMOS		N	DISTANZEN		(FORTSETZUNG)												
63	SCOPI	N	23175.931	6	-164.5	0.	27.0	34	192	.0			395.94028	23175.766	112.		
BASODI		N	DISTANZEN														
64	CRAMOS	N	29329.076*	3	-153.8	1.	42.0	49	248	.0			110.74652	29328.923	110.		
65	GESERO	N	56930.250	3	-298.6	-35.	59.0	73	285	-.7			128.00237	56929.916	59.		
66	GRIDON	N	34899.805*	3	-183.0	22.	43.0	69	215	.6			173.11919	34899.644	49.		
67	TAMARO	N	45928.335	3	-240.9	34.	49.0	68	246	.8			152.48007	45928.128	29.		
68	TAMARO	N	45928.502	6	-325.9	-48.	33.0	52	190	-2.0			152.48007	45928.128	96.		
69	VOGORN	N	37869.640	3	-198.6	34.	46.0	58	249	1.0			132.65698	37869.476	98.		
70	GRIDON	N	34899.853*	3	-183.0	-26.	45.0	71	221	-.7			173.11919	34899.644	46.		
71	TITLIS	N	40144.402*	1	-132.3	80.	65.0	75	310	1.4			395.45062	40144.350	48.		
72	SCOPI	N	32923.791	1	-108.5	40.	59.0	79	274	.8			62.70953	32923.722	38.		
73	SCOPI	N	32923.873	2	-165.9	15.	69.0	77	326	.3			62.70953	32923.722	29.		
74	TITLIS	N	40144.410*	2	-202.3	142.	75.0	72	367	2.2			395.45062	40144.350	34.		
75	SCOPI	N	32923.964	6	-233.6	-8.	26.0	29	199	-.6			62.70953	32923.722	148.		
76	TITLIS	N	40144.678*	3	-210.6	-118.	58.0	65	299	-2.5	182		395.45062	40144.350	62.		
SCOPI		N	DISTANZEN														
77	LUCEND	N	24038.368*	1	-79.2	51.	48.0	80	223	1.2			289.38612	24038.340	47.		
78	MURAUN	N	12638.020	1	-41.7	-13.	33.0	37	224	-.6			29.64899	12637.966	142.		
BADUS		N	DISTANZEN														
79	TITLIS	N	23978.180*	1	-79.0	-40.	45.0	70	222	-1.1			347.86642	23978.061	49.		
80	SCHEER	N	26023.874	1	-85.8	-28.	48.0	50	280	-.8			31.27042	26023.761	127.		
81	TGIETS	N	27477.104	1	-90.6	9.	49.0	58	266	.2			92.79875	27477.023	118.		
82	BASODI	N	27830.851	1	-91.7	18.	51.0	69	254	.4			235.28418	27830.777	67.		
83	CRAMOS	N	31952.896	1	-105.3	-23.	57.0	71	280	-.5			170.53893	31952.768	64.		
84	LUCEND	N	14440.761	1	-47.6	1.	36.0	55	201	.0			254.57007	14440.714	120.		
85	MURAUN	N	19361.412	1	-63.8	1.	40.0	55	223	.0			80.53260	19361.349	103.		
86	SCOPI	N	13906.038	1	-45.8	-57.	33.0	78	154	-2.0			125.70367	13905.935	25.		
87	SCOPI	N	13906.034	2	-70.1	-29.	57.0	90	249	-.5			125.70367	13905.935	14.		
88	LUCEND	N	14440.794	2	-72.8	-7.	55.0	76	261	-.1			254.57007	14440.714	73.		
89	BASODI	N	27831.000	2	-140.2	-83.	64.0	76	305	-1.5			235.28418	27830.777	43.		
90	SCOPI	N	13906.024	6	-98.7	10.	17.0	38	115	.9			125.70367	13905.935	71.		
TGIETS		N	DISTANZEN														
91	CRAMOS	N	34269.984	1	-113.0	44.	59.0	68	296	.9			224.84359	34269.915	71.		
92	MURAUN	N	9249.509	1	-30.5	1.	28.0	23**	240	.1			319.05412	9249.479	185.		
93	CRAMOS	N	34270.170	6	-243.2	-11.	38.0	36	263	-.5			224.84359	34269.915	164.		
LUCEND		N	DISTANZEN														
94	BASODI	N	14693.474	2	-74.0	6.	55.0	36	380	.2			216.34021	14693.405	271.		
95	SCOPI	N	24038.498*	2	-121.1	-37.	61.0	81	280	-.7			89.38612	24038.340	26.		
96	SCOPI	N	24038.519*	6	-170.6	-9.	22.0	28	173	-.7			89.38612	24038.340	172.		
MURAUN		N	DISTANZEN														
97	LUCEND	N	33116.841	1	-109.2	29.	58.0	76	275	.6							

## STATISTIK

\*\*\*\*\*

7 ZI KLEINER 25.0 %, KLEINSTER WERT .1 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 48  
4 KI GROESSER 14.0+ 20.0\*D, GROESSTER WERT N. B. BEI BEOBACHTUNG NUMMER 9  
GROESSTER BESTIMMBARER WERT 600.2 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 52  
3 WI GROESSER 2.5, GROESSTER WERT N. B. BEI BEOBACHTUNG NUMMER 9  
GROESSTER BESTIMMBARER WERT 2.5 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 76  
GRENZE ENTDECKB. FEHLER: 4.1, FEHLER 2. ART: 5.0 %

ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE GOTTHARD K3 ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 ANGLATIONS PROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 9

LAEGE - ABRISS (MIT AZIMUTREDUKTIONEN UND LOTABW.-KORREKTUR)  
 \*\*\*\*\*

MITTL. FEHLER A PRIORI VON REDUZIERTEN DISTANZEN, RICHTUNGEN UND AZIMUTEN  
 DISTANZ-GRUPPE ZENTR. A B C M.F. F. 1KM  
 SI81GHSM 1 .00 MM 30.00 MM 2.00 MM/KM .00 MM/KM2 32.00 MM  
 SI83GHFM 2 .00 MM 30.00 MM 2.00 MM/KM .00 MM/KM2 32.00 MM  
 SI85SUFM 3 .00 MM 30.00 MM 2.00 MM/KM .00 MM/KM2 32.00 MM  
 SI86NOFM 4 .00 MM 30.00 MM 2.00 MM/KM .00 MM/KM2 32.00 MM  
 SI85LTFM 5 .00 MM 30.00 MM 2.00 MM/KM .00 MM/KM2 32.00 MM  
 GEOD.8 6 .00 MM 10.00 MM 1.00 MM/KM .00 MM/KM2 11.00 MM  
 RICHTUNGEN .00 MM 3.00 CC 3.00 CC

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR	KORR.	VERB.	M.F.	ZI	NABLA	WI	GI	AZI.	AUS	DIST. AUS	KI	QUER.
			G/M	CC/MM	CC/MM	CC/MM	%	CC/MM		CC/MM	COORD. (G)	COORD. (M)	MM	MM	
	LAEGER		190.59897	-11.6		1.6									
1	RIGI	N	.00000*	2.2	.6	1.7	51	10	.5		190.59808	47661.012	25.	41.	
2	BRUETT	N	310.87221*	9.2	.8	3.3	78	15	.3		101.47101	20539.331	69.	26.	
3	HOERNL	N	327.01960*	17.8	.5	2.0	65	10	.3		117.61924	42644.628	25.	36.	
4	ALBIS	N	383.56709*	4.0	-3.9	3.1	76	15	-1.4		174.16491	25903.539	77.	-157.	
	LAEGER		DISTANZEN												
5	RIGI	N	47661.198	5 -218.7	33.	50.0	57	275	.9		190.59808	47661.012	49.		
6	TITLIS	N	78926.329	5 -362.2	-48.	63.0	54	355	-1.0		196.92946	78925.919	10.		
7	RIGI	N	47661.391	6 -370.1	-9.	58.0	56	321	-2		190.59808	47661.012	111.		
	HOERNL	N	248.64323	10.4		1.0									
8	RIGI	N	.00000*	-9.3	-.6	1.1	61	6	-.6		248.64328	49153.949	15.	-43.	
9	PFANNE	N	23.00915*	-6.8	.6	2.4	82	11	.3		271.65279	22029.313	53.	20.	
10	ALBIS	N	27.43858*	-10.4	-2.3	2.6	89	11	-1.0		276.08157	33105.037	43.	-122.	
11	FORCH	N	34.94930*	-7.6	-2.0	3.3	89	14	-.7		283.59260	22296.872	49.	-71.	
12	LAEGER	N	68.97669*	-16.6	-.6	2.0	84	9	-.3		317.61924	42644.628	43.	-38.	
13	BRUETT	N	83.15195*	-8.1	.7	1.5	63	8	.6		331.79548	23338.781	89.	27.	
14	SCHAU	N	117.03053*	-2.2	.0	1.9	49	11	.0		365.67457	11425.722	105.	0.	
15	SCHEYE	N	343.18760*	1.5	1.5	1.8	79	8	1.0		191.83217	34845.024	35.	84.	
16	STOECK	N	373.88382*	-2.6	.4	1.9	76	9	.2		222.52787	25296.694	50.	16.	
17	HUNDST	N	373.97424*	-4.2	1.2	3.2	95	14	.4		222.61820	54171.472	10.	99.	
	HOERNL	N	DISTANZEN												
18	HUNDST	N	54171.899	4 -329.3	-99.	70.0	79	325	-1.6		222.61820	54171.472	42.		
19	RIGI	N	49154.235*	4 -298.8	14.	65.0	78	304	.2		248.64328	49153.949	47.		
20	SCHEER	N	61065.882	4 -371.2	131.	73.0	80	337	2.0		207.76308	61065.642	40.		
21	SCHEYE	N	34845.249*	4 -211.8	-13.	58.0	78	272	-.3		191.83217	34845.024	51.		
22	TITLIS	N	76801.897	4 -466.8	24.	80.0	79	372	.3		232.20558	76801.454	31.		
23	LAEGER	N	42644.951	6 -331.2	8.	45.0	24**	382	.4		317.61924	42644.628	267.		
	RIGI	N	390.59691	12.4		.8									
24	LAEGER	N	.00000*	-1.4	.7	1.3	60	7	.7		390.59808	47661.012	120.	55.	
25	ALBIS	N	18.10875*	1.2	1.6	2.8	78	13	.6		8.70718	23562.575	94.	57.	
26	HOERNL	N	58.04439*	7.1	.3	1.4	78	7	.2		48.64328	49153.949	47.	22.	
27	STOECK	N	81.64491*	4.1	-.6	2.2	83	10	-.3		72.24342	27847.730	53.	-25.	
28	SCHEYE	N	107.86080*	3.5	-1.7	1.9	89	8	-1.0		98.45913	38478.169	22.	-103.	
29	MYTHEN	N	120.57571	1.1	-1.0	3.2	62	17	-.4		111.17387	15744.697	157.	-25.	
30	SCHEER	N	157.60715*	-.4	-2.5	2.0	90	9	-1.3		148.20502	36573.955	13.	-143.	

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE GOTTHARD K3  
 TRIANGULATIONS PROGRAM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 SEITE 10

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR G/M	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	RIGI	N	390.59691	(FORTSETZUNG)											
31	HUNDST	N	159.68190*	.2	-2.3	1.7	78	8	-1.6		150.27984	21540.790	41.	-79.	
32	TITLIS	N	215.82392*	.7	.9	.8	40	5	1.8		206.42224	31853.888	63.	45.	
33	BUOCHS	N	229.91883*	-.1	-.7	3.2	72	16	-.3		220.51690	13082.088	97.	-15.	
	RIGI	N	DISTANZEN												
34	SCHEER	N	36574.146	4	-222.3	31.	60.0	78	281	.6	148.20502	36573.955	42.		
35	SCHEYE	N	38478.460	4	-233.9	-57.	60.0	79	280	-1.1	98.45913	38478.169	41.		
36	TITLIS	N	31854.123*	4	-193.6	-41.	56.0	82	256	-.8	206.42224	31853.888	27.		
37	TITLIS	N	31854.037*	5	-146.2	-2.	44.0	72	215	-.1	206.42224	31853.888	27.		
38	TITLIS	N	31854.010*	5	-146.2	25.	46.0	74	221	.6	206.42224	31853.888	26.		
39	SCHEYE	N	38478.461	6	-298.8	6.	43.0	64	222	.2	98.45913	38478.169	76.		
40	HOERNL	N	49154.338*	6	-381.7	-7.	51.0	64	263	-.2	48.64328	49153.949	90.		
	SCHEYE	N	163.83397	.1			1.1								
41	BOESFA	N	55.88729*	.5	2.0	4.1	83	19	.5		219.72151	10831.679	63.	34.	
42	SCHEER	N	63.41479*	.4	-.7	1.5	64	8	-.6		227.24874	28636.940	43.	-31.	
43	HUNDST	N	97.43643*	-1.2	2.5	2.3	84	10	1.2		261.27053	28397.227	26.	110.	
44	MYTHEN	N	126.04891*	-2.6	.4	3.0	78	14	.1		289.88267	23257.180	87.	15.	
45	RIGI	N	134.62555*	-4.3	.3	1.5	70	7	.3		298.45913	38478.169	11.	20.	
46	HOERNL	N	227.99840*	-1.0	-1.1	1.5	56	8	-.9		391.83217	34845.024	73.	-58.	
	SCHEYE	N	DISTANZEN												
47	TITLIS	N	52925.372	4	-321.7	56.	68.0	82	312	.9	257.71788	52925.106	28.		
48	HOERNL	N	34845.298*	6	-270.6	-4.	38.0	45	234	-.1	391.83217	34845.024	125.		
49	TITLIS	N	52925.522	6	-411.0	-5.	51.0	74	246	-.1	257.71788	52925.106	58.		
50	SCHEER	N	28637.170*	6	-222.4	-8.	31.0	43	196	-.4	227.24874	28636.940	111.		
	ALBIS	N	76.08199	-5.5			1.4								
51	HOERNL	N	.00000*	9.7	-8.4	3.0	89	13	-3.0	9	76.08157	33105.037	22.	-437.	
52	PFANNE	N	8.70466*	3.1	-.3	2.0	57	11	-.2		84.78638	11233.862	64.	-5.	
53	STOECK	N	54.73208*	5.4	.4	2.2	65	11	.2		130.81410	24888.898	86.	16.	
54	RIGI	N	132.62593*	-.8	-1.0	2.5	56	14	-.6		208.70718	23562.575	125.	-38.	
55	LAEGER		298.08371*	-3.6	1.2	2.2	44	14	.8		374.16491	25903.539	193.	50.	
56	BRUETT	N	350.40899*	3.5	1.0	1.6	42	10	1.0		26.49088	25501.258	175.	42.	
57	FORCH	N	385.04063*	2.7	2.6	2.5	68	13	1.3		61.12259	11272.950	57.	46.	
	PFANNE	N	71.65228	-2.4			1.3								
58	HOERNL	N	.00000*	6.8	.8	1.5	52	9	.7		71.65279	22029.313	75.	27.	
59	BACHTE	N	24.81997*	5.0	3.3	2.0	54	11	2.2		96.47284	15780.672	105.	81.	
60	STOECK	N	86.15647*	2.9	-1.6	1.7	29	13	-1.8		157.80864	18065.386	193.	-46.	
61	ALBIS	N	213.13463*	-3.2	.4	1.8	33	13	.3		284.78638	11233.862	107.	6.	
62	BRUETT	N	326.47966*	-.2	-.2	2.0	46	12	-.2		398.13165	20674.881	158.	-8.	
63	SCHAU	N	368.34294*	5.1	-3.1	2.2	62	12	-1.8		39.99517	23846.068	130.	-116.	
	FORCH	N	83.59208	-5.0			1.6								
64	HOERNL	N	.00000*	7.7	2.6	1.6	37	11	2.7	-7	83.59260	22296.872	110.	91.	
65	BACHTE	N	27.01136*	5.7	.0	4.0	76	19	.0		110.60351	17680.317	107.	0.	
66	ALBIS	N	177.53141*	-2.9	-1.0	2.0	30	15	-.9		261.12259	11272.950	120.	-18.	
67	BRUETT	N	320.45266*	.4	-2.5	1.7	30	13	-2.7						

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVERSE GOTTHARD K3  
 TRIANGULATIONS PROGRAM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 SEITE 11

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR G/M	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	FORCH	N	83.59208	(FORTSETZUNG)											
68	SCHAUE	N	366.82872*	6.0	1.8	4.0	84	18	.5		50.42108	22049.430		70.	64.
	BRUETT	N	131.79499	-2.9		1.4									
69	HOERNL	N	.00000*	9.0	-1.3	1.6	55	9	-1.1		131.79548	23338.781		84.	-47.
70	PFANNE	N	66.33691*	.2	.2	2.5	72	12	.1		198.13165	20674.881		84.	5.
71	FORCH	N	72.24911*	-.4	2.6	2.0	56	11	1.7		204.04402	16894.953		114.	68.
72	ALBIS	N	94.69657*	-4.1	.2	1.6	52	9	.2		226.49088	25501.258		135.	8.
73	LAEGER		169.67729*	-9.7	-.1	1.5	28	12	-.1		301.47101	20539.331		182.	-3.
74	SCHAUE	N	374.16535*	7.0	-.5	1.5	33	11	-.5		105.96071	14685.909		166.	-11.
	SCHAUE	N	165.67433	.1		1.7									
75	HOERNL	N	.00000*	2.5	-.1	2.5	60	13	-.1		165.67457	11425.722		80.	-2.
76	BACHTE	N	28.32416*	.7	-.7	1.5	39	10	-.8		193.99850	18501.213		136.	-21.
77	PFANNE	N	74.32157*	-5.5	-1.9	3.2	85	14	-.6		239.99517	23846.068		46.	-71.
78	FORCH	N	84.74732*	-6.2	.5	2.1	64	11	.3		250.42108	22049.430		96.	16.
79	BRUETT	N	140.28693*	-6.4	.8	1.4	33	10	1.0		305.96071	14685.909		107.	19.
	BACHTE	N	28.42729	21.0		1.6									
80	HOERNL	N	.00000	1.5	-.2	2.2	34	16	-.2		28.42952	9550.948		124.	-4.
81	STOECK	N	190.53680*	-1.0	1.3	2.1	35	15	1.0		218.96622	15811.495		147.	32.
82	PFANNE	N	268.04397*	-4.4	-.8	1.3	29	10	-1.1		296.47284	15780.672		120.	-19.
83	FORCH	N	282.17499*	-5.0	-3.7	2.6	65	13	-1.8		310.60351	17680.317		129.	-104.
84	SCHAUE	N	365.56899*	-.4	1.5	1.4	37	10	1.8		393.99850	18501.213		140.	44.
	STOECK	N	22.52690	8.4		1.0									
85	HOERNL	N	.00000*	2.4	-1.2	1.6	53	9	-1.0		22.52787	25296.694		95.	-48.
86	SCHEYE	N	121.15421	.3	-.3	1.3	16**	14	-.7		143.68195	17092.633		232.	-9.
87	HUNDST	N	200.16986*	-.3	-2.3	2.9	89	13	-.8		222.69734	28874.825		33.	-105.
88	MYTHEN	N	215.10692*	-.2	2.8	2.0	63	10	1.8		237.63492	17475.668		89.	76.
89	RIGI	N	249.71598*	-3.1	.0	1.5	53	9	.0		272.24342	27847.730		93.	2.
90	ALBIS	N	308.28682*	-5.4	.7	1.8	52	10	.6		330.81410	24888.898		147.	28.
91	PFANNE	N	335.28112*	-3.1	.8	3.0	77	14	.3		357.80864	18065.386		77.	22.
92	BACHTE	N	396.43842*	1.3	-.8	3.2	80	15	-.3		18.96622	15811.495		57.	-20.
	BOESFA	N	135.14009	.9		1.8									
93	SCHEER	N	96.64975*	1.0	1.3	1.8	19**	17	1.7		231.79016	17926.480		213.	37.
94	MYTHEN	N	185.58084*	-2.2	-2.6	2.3	39	15	-1.8		320.72053	20751.516		249.	-85.
95	SCHEYE	N	284.58122*	.9	.3	1.8	14**	20	.4		19.72151	10831.679		208.	5.
	MYTHEN	N	89.87831	41.7		1.5									
96	SCHEYE	N	.00000*	1.8	.1	2.1	58	11	.1		89.88267	23257.180		97.	5.
97	BOESFA	N	30.83770*	.9	2.6	2.5	36	17	1.8		120.72053	20751.516		310.	86.
98	HUNDST	N	111.83300*	.9	.3	1.4	21**	13	.4		201.71559	12553.682		128.	5.
99	BUOCHS	N	181.02709*	-.9	.6	3.5	66	18	.2		270.90954	21892.397		153.	21.
100	STOECK	N	347.75238*	2.7	-2.1	1.8	39	12	-1.8		37.63492	17475.668		111.	-56.

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD K3 ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 12

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	BUOCHS	N	196.91099		27.8		1.9									
101	TITLIS	N	.00000*		1.6	.6	2.9	46	18	.3		196.91399	19306.046	142.	19.	
102	RIGI	N	223.60312*		.4	-.3	1.7	24**	14	-.3		20.51690	13082.088	144.	-6.	
103	MYTHEN	N	273.99561*		.5	1.1	2.7	69	13	.5		70.90954	21892.397	86.	37.	
104	HUNDST	N	312.54467*		-1.4	-.8	2.5	60	13	-.4		109.45822	19523.080	96.	-24.	
	HUNDST	N	61.26616		43.3		.9									
105	SCHEYE	N	.00000*		.7	-.3	1.8	72	9	-.2		61.27053	28397.227	55.	-12.	
106	SCHEER	N	83.96680*		-.1	-3.1	2.0	63	10	-1.9		145.23697	15060.970	60.	-73.	
107	BRISTE	N	137.81517		1.7	-5.9	3.2	84	14	-2.0		199.08524	20027.398	53.	-184.	
108	TITLIS	N	192.34896*		3.4	2.1	1.4	61	7	1.9		253.61999	24623.079	46.	80.	
109	URIROT	N	205.67675*		2.9	5.6	3.1	82	14	2.0		266.94809	12747.202	40.	113.	
110	BUOCHS	N	248.18766*		.0	.8	2.4	50	14	.5		309.45822	19523.080	199.	24.	
111	RIGI	N	289.00955*		-.2	-1.7	1.7	68	9	-1.2		350.27984	21540.790	48.	-58.	
112	MYTHEN	N	340.44508*		1.0	-.8	2.4	65	12	-.4		1.71559	12553.682	86.	-16.	
113	HOERNL	N	361.34726*		3.2	1.4	1.9	81	9	.8		22.61820	54171.472	44.	116.	
114	STOECK	N	361.42664*		2.1	.0	3.0	89	13	.0		22.69734	28874.825	39.	0.	
	HUNDST	N	DISTANZEN													
115	RIGI	N	21540.966	4	-130.9	-45.	48.0	71	236	-1.1		350.27984	21540.790	60.		
116	SCHEER	N	15061.066	4	-91.5	-4.	46.0	66	235	-.1		145.23697	15060.970	75.		
117	SCHEYE	N	28397.441	4	-172.6	-41.	53.0	75	254	-.9		61.27053	28397.227	55.		
118	TITLIS	N	24623.252	4	-149.7	-24.	52.0	74	251	-.5		253.61999	24623.079	55.		
	TITLIS	N	6.42116		12.0		.9									
119	RIGI	N	.00000*		.6	-1.8	1.4	66	7	-1.6		6.42224	31853.888	42.	-91.	
120	URIROT	N	33.53512*		.5	-2.9	3.5	84	16	-.9		39.95723	12439.598	42.	-57.	
121	HUNDST	N	47.19776*		.3	-1.5	1.9	81	9	-.9		53.61999	24623.079	30.	-59.	
122	SCHEER	N	79.75907*		-3.8	.2	1.6	79	7	.1		86.18106	30504.318	15.	8.	
123	BRISTE	N	105.81531*		-2.7	1.0	2.9	85	13	.4		112.23749	19010.426	39.	30.	
124	BADUS	N	141.44419*		-3.5	3.1	1.8	80	8	1.9		147.86651	23978.024	24.	118.	
125	BASODI	N	189.02820*		-.8	1.2	1.5	72	7	.9		195.45060	40144.331	34.	75.	
126	DAMMAS	N	198.44437*		.7	.3	2.4	71	12	.1		204.86682	14348.343	72.	6.	
127	BUOCHS	N	390.49175*		.8	-1.9	3.8	88	17	-.5		396.91399	19306.046	46.	-59.	
	TITLIS	N	DISTANZEN													
128	SCHEER	N	30504.474*	1	-118.8	-38.	54.0	80	250	-.8		86.18106	30504.318	37.		
129	TGIETS	N	46740.366	1	-182.1	-137.	72.0	85	323	-2.1		118.33472	46740.047	33.		
130	SCOPI	N	37352.438	1	-145.5	-74.	62.0	87	276	-1.3		139.75914	37352.218	17.		
131	SCOPI	N	37352.459	2	-220.4	-20.	67.0	75	321	-.3		139.75914	37352.218	13.		
132	BADUS	N	23978.215*	2	-141.5	-50.	60.0	82	274	-.9		147.86651	23978.024	19.		
133	BASODI	N	40144.635*	6	-311.8	8.	42.0	64	217	.2		195.45060	40144.331	70.		
134	SCOPI	N	37352.508	6	-290.1	1.	29.0	60	156	.0		139.75914	37352.218	55.		
135	RIGI	N	31854.062*	6	-247.4	74.	36.0	58	195	2.7	-126	6.42224	31853.888	65.		
	SCHEER	N	231.26743		28.3		.8									
136	BADUS	N	.00000*		1.8	-.7	1.2	66	6	-.7		231.27037	26023.798	40.	-28.	
137	BRISTE	N	21.49416*		1.3	-2.4	2.0	71	10	-1.5		252.76430	15096.571	57.	-58.	
138	TITLIS	N	54.91020*		3.6	2.5	1.2	74	6	2.4		286.18106	30504.318	19.	120.	
139	URIROT	N	78.55854		1.5	.5	1.9	72	9	.3		309.82899	22754.090	75.	16.	
140	HUNDST	N	113.96697*		.1	-2.7	2.8	85	13	-1.0		345.23697	15060.970	35.	-64.	

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE GOTTHARD K3  
 TRIANGULATIONS PROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 2. 3. 1992 15: 5 T  
 SEITE 13

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR G/M	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	SCHEER	N	231.26743	(FORTSETZUNG)										
141	RIGI	N	116.93457*	.5	1.4	1.1	65	6	1.6		348.20502	36573.955	40.	81.
142	SCHEYE	N	195.97830*	1.3	.5	1.7	72	8	.4		27.24874	28636.940	67.	24.
143	BOESFA	N	200.51986*	.9	-5	2.9	81	13	-2		31.79016	17926.480	73.	-15.
144	TGIETS	N	327.47249*	-2.8	-3.6	2.1	81	10	-1.9		158.74211	24892.554	45.	-141.
145	MURAUN	N	346.64741*	-1.5	-7.6	2.9	88	13	-2.8	8	177.91676	18202.420	31.	-216.
	SCHEER	N	DISTANZEN											
146	TGIETS	N	24892.628	1	-97.0	23.	47.0	70	232	.6	158.74211	24892.554	65.	
147	MURAUN	N	18202.515	1	-70.9	-24.	40.0	67	202	-7	177.91676	18202.420	60.	
148	SCOPI	N	28414.960	1	-110.7	-5.	51.0	84	231	-1	198.85071	28414.844	26.	
149	SCOPI	N	28415.038	6	-220.7	27.	31.0	55	173	1.2	198.85071	28414.844	70.	
150	SCHEYE	N	28637.101*	4	-174.1	13.	55.0	82	251	.3	27.24874	28636.940	36.	
151	TITLIS	N	30504.450*	4	-185.4	53.	72.0	88	318	.8	286.18106	30504.318	27.	
	BRISTE	N	52.76255	18.3		1.1								
152	SCHEER	N	.00000*	-1.8	1.1	1.8	44	11	.9		52.76430	15096.571	89.	25.
153	MURAUN	N	71.42881*	-3.4	-1.2	2.4	66	12	-6		124.19273	18646.738	73.	-34.
154	BADUS	N	152.94788*	.1	-1.9	2.1	46	13	-1.3		205.71207	12797.041	102.	-39.
155	DAMMAS	N	215.69822*	5.7	-4	2.5	66	13	-2		268.46313	22455.535	114.	-14.
156	TITLIS	N	259.47273*	3.3	.6	1.5	40	10	.6		312.23749	19010.426	98.	18.
157	URIROT	N	303.17727*	1.0	.5	2.0	55	11	.3		355.94180	17794.592	101.	13.
	URIROT	N	239.95672	.2		1.3								
158	TITLIS	N	.00000*	2.1	2.8	1.9	30	14	2.7	-9	239.95723	12439.598	121.	55.
159	BUOCHS	N	113.59259	-3.8	-2	1.7	12**	20	-4		353.54892	12361.862	278**	-5.
160	HUNDST	N	226.99107*	3.0	-2	1.6	24**	14	-3		66.94809	12747.202	123.	-4.
161	BRISTE	N	315.98546*	-2.0	-2.0	1.8	45	11	-1.7		155.94180	17794.592	102.	-56.
	GRIDON	N	321.60982	-53.2		.9								
162	BASODI	N	51.51359*	9.6	1.7	1.5	73	7	1.3		373.11923	34899.594	37.	94.
163	CRAMAL	N	69.37751*	1.7	.2	2.9	36	20	.1		390.98221	14782.502	303.	5.
164	CRAMOS	N	110.06415*	-8.1	.9	1.2	71	6	.9		31.66793	30617.686	23.	42.
165	VOGORN	N	139.14361*	-11.8	-2.3	2.8	93	12	-8		60.74670	22912.300	16.	-82.
166	GESERO	N	165.58329*	-25.8	-2.3	1.5	84	7	-1.7		87.18499	37975.509	20.	-137.
167	MENONE	N	177.17551*	-27.4	-6	.9	58	5	-9		98.77722	38391.478	42.	-36.
168	TAMARO	N	185.46288*	-12.6	.6	2.3	87	10	.3		107.06619	16988.999	25.	17.
169	GENERO	N	217.87873*	-22.6	1.4	1.6	81	7	1.0		139.48111	35852.055	41.	77.
	GRIDON	N	DISTANZEN											
170	TAMARO	N	16989.095*	3	-94.1	-2.	35.0	79	163	-1	107.06619	16988.999	27.	
171	VOGORN	N	22912.462	3	-126.9	-34.	41.0	70	203	-1.0	60.74670	22912.300	57.	
172	MENONE	N	38391.813	6	-298.2	-36.	40.0	71	196	-1.1	98.77722	38391.478	55.	
173	BASODI	N	34899.861*	6	-271.0	3.	40.0	67	202	.1	373.11923	34899.594	62.	
	MENONE	N	188.99129	-5.2		1.7								
174	GENERO	N	36.69219*	7.9	-1.7	3.3	80	15	-6		225.68358	23456.729	28.	-63.
175	GRIDON	N	109.78373*	27.5	-3	2.3	67	12	-2		298.77722	38391.478	11.	-21.
176	CRAMOS	N	164.05860*	14.4	1.0	2.0	57	11	.6		353.05091	35356.382	11.	53.
177	GESERO	N	200.19659*	.7	-2	3.6	72	18	-1		389.18741	6955.590	33.	-2.

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD K3 ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 14

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
GENERO			339.47741		14.3		1.3									
178	GRIDON	N	.00000*		23.0	-.2	1.3	52	7	-.2		339.48111	35852.055	22.		-13.
179	TAMARO	N	23.89576*		9.4	-.2	2.5	85	11	-.1		363.37551	22590.780	23.		-8.
180	GESERO	N	78.05316*		-6.2	.6	1.7	72	8	.4		17.53144	29542.183	17.		30.
181	MENONE	N	86.20546*		-7.0	-.2	1.7	69	8	-.1		25.68358	23456.729	29.		-6.
GENERO			DISTANZEN													
182	GRIDON	N	35852.250	6	-278.4	84.	76.0	91	329	1.2		339.48111	35852.055	27.		
183	TAMARO	N	22590.938	6	-175.4	17.	28.0	52	161	.9		363.37551	22590.780	70.		
184	MENONE	N	23456.924	6	-182.2	-13.	27.0	23**	231	-1.0		25.68358	23456.729	169.		
185	LEMA	N	18925.638	6	-147.0	-12.	23.0	32	169	-1.0		343.16453	18925.479	117.		
LEMA			DISTANZEN													
186	GRIDON	N	16993.662	6	-132.0	-7.	24.0	37	163	-.5		335.37838	16993.523	100.		
187	TAMARO	N	7494.412	6	-58.2	-1.	15.0	1**	644	-.8		21.18480	7494.352	652**		
GESERO			217.52916		16.0		1.2									
GENERO			.00000*		5.8	1.0	1.6	69	8	.8		217.53144	29542.183	41.		49.
189	GRIDON	N	69.65178*		25.3	-.8	1.9	81	9	-.5		287.18499	37975.509	13.		-47.
190	VOGORN	N	101.34256*		11.4	3.8	2.9	87	13	1.4		318.87483	19360.283	27.		115.
191	CRAMOS	N	127.48922*		12.8	.8	1.5	68	8	.6		345.02134	29727.734	24.		36.
192	CLARO	N	152.29746*		2.7	-1.0	1.2	37	8	-1.4		369.82838	13537.972	94.		-22.
193	MENONE	N	371.65686*		-.9	-1.2	2.1	40	14	-.9		189.18741	6955.590	77.		-13.
GESERO			DISTANZEN													
194	GRIDON	N	37975.714	3	-210.3	6.	49.0	81	225	.1		287.18499	37975.509	30.		
195	TAMARO	N	22424.345	3	-124.2	-15.	41.0	76	195	-.4		272.22906	22424.206	45.		
196	VOGORN	N	19360.370	3	-107.2	20.	36.0	63	187	.7		318.87483	19360.283	64.		
197	MENONE	N	6955.635	6	-54.0	10.	20.0	16**	209	1.2		189.18741	6955.590	174**		
CLARO			169.82692		19.8		1.3									
GESERO			.00000*		-5.5	.3	.9	16**	9	.9		169.82838	13537.972	121.		7.
199	TAMARO	N	67.18947*		9.5	-.7	2.0	85	9	-.4		237.01925	25753.278	18.		-26.
200	VOGORN	N	99.74779*		8.3	-.7	1.2	29	9	-1.0		269.57744	13893.402	130.		-15.
201	CRAMOS	N	156.69964*		8.6	2.7	1.9	63	10	1.8		326.52967	17956.838	60.		75.
202	FRECCI	N	236.43608*		-1.2	-2.2	2.1	41	13	-1.6		6.26464	19703.304	212.		-67.
VOGORN			381.50574		4.0		1.2									
203	CRAMOS	N	.00000*		1.8	.0	1.8	52	10	.0		381.50633	14255.155	60.		1.
204	CLARO	N	88.07187*		-6.2	.5	2.7	69	13	.2		69.57744	13893.402	68.		12.
205	GESERO	N	137.36981*		-12.4	1.1	1.7	52	10	.9		118.87483	19360.283	69.		33.
206	TAMARO	N	226.06759*		1.3	-.3	2.7	80	13	-.1		207.57384	15238.720	29.		-6.
207	GRIDON	N	279.23949*		12.8	-2.1	1.9	69	9	-1.3		260.74670	22912.300	31.		-77.
208	CRAMAL	N	322.73024*		12.9	-.2	1.9	23**	17	-.2		304.23765	20826.210	393.		-7.
209	SASSO	N	364.85344*		7.1	2.4	3.3	70	16	.9		346.36054	18756.052	132.		71.

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRAVVERSE GOTTHARD K3 ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 TRIANGULATIONS PROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 15

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS	KI MM	QUER. MM
	TAMARO	N	307.06615		-14.9		1.2									
210	GRIDON	N	.00000*		11.7	3.5	2.0	67	10	2.2		307.06619	16988.999		38.	94.
211	VOGORN	N	100.50946*		-6	-2.3	1.7	61	9	-1.7		7.57384	15238.720		41.	-54.
212	CLARO	N	129.95544*		-8.2	-3	2.7	82	12	-1		37.01925	25753.278		45.	-13.
213	GESERO	N	165.16573		-13.7	.4	1.6	66	8	.3		72.22906	22424.206		35.	13.
214	MENONE	N	185.21967		-15.0	-3.0	2.8	87	12	-1.1		92.28254	21658.893		23.	-100.
215	GENERO		256.31182*		-9.9	.2	1.8	64	9	.1		163.37551	22590.780		60.	8.
216	LEMA	N	314.11968		3.2	1.4	3.5	71	17	.5		221.18480	7494.352		48.	17.
	TAMARO	N	DISTANZEN													
217	MENONE	N	21659.066	6	-168.2	-5.	32.0	62	169	-.2		92.28254	21658.893		65.	
218	GRIDON	N	16989.130*	6	-131.9	0.	23.0	58	125	.0		307.06619	16988.999		54.	
219	VOGORN	N	15238.838	3	-84.4	-33.	35.0	62	184	-1.2		7.57384	15238.720		64.	
	CRAMAL	N	59.65240		-36.1		3.6									
220	CRAMOS	N	.00000*		-8.6	2.9	5.8	66	29	.6		59.64822	20722.129		94.	94.
221	VOGORN	N	44.59055*		-12.6	-4.3	6.0	76	29	-.8		104.23765	20826.210		49.	-140.
222	GRIDON	N	131.33349*		-1.1	.4	3.4	30	26	.2		190.98221	14782.502		121.	9.
	CRAMOS	N	310.74738		-24.7		.8									
223	BASODI	N	.00000*		13.9	1.2	1.2	73	6	1.2		310.74643	29328.993		23.	57.
224	MASSAR	N	38.78119*		5.5	1.4	2.9	75	14	.6		349.52679	17563.442		84.	39.
225	BADUS	N	59.79290*		5.8	2.4	1.7	83	8	1.6		370.53864	31952.788		27.	121.
226	SCOPI	N	85.19508*		1.0	-1.6	2.9	91	13	-.6		395.93994	23175.775		23.	-59.
227	TGIETS	N	114.09871*		-5.1	1.8	1.2	59	6	1.9		24.84329	34269.838		69.	94.
228	FRECCI	N	151.57703*		-7.8	2.6	2.5	41	16	1.6		62.32142	22117.922		319.	89.
229	CLARO	N	215.78593*		-8.9	-2.9	2.5	84	11	-1.3		126.52967	17956.838		45.	-81.
230	GESERO	N	234.27782*		-12.7	-1.3	2.0	87	9	-.7		145.02134	29727.734		34.	-59.
231	MENONE	N	242.30754*		-13.8	-1.6	1.2	68	6	-1.7		153.05091	35356.382		63.	-91.
232	VOGORN	N	270.76230*		-2.0	-6.8	2.5	82	11	-3.0	8	181.50633	14255.155		39.	-153.
233	GRIDON	N	320.92220*		9.2	-1.0	1.2	72	6	-1.0		231.66793	30617.686		35.	-49.
234	CRAMAL	N	348.90217*		9.7	1.6	2.9	69	14	.7		259.64822	20722.129		139.	52.
235	SASSO	N	381.74665*		5.1	1.9	2.9	39	19	1.0		292.49226	9984.911		191.	30.
	CRAMOS	N	DISTANZEN													
236	GESERO	N	29727.881	3	-164.7	18.	42.0	67	213	.5		145.02134	29727.734		64.	
237	GRIDON	N	30617.809	3	-169.6	47.	42.0	72	205	1.3		231.66793	30617.686		47.	
238	TAMARO	N	28878.703	3	-160.0	49.	41.0	80	190	1.4		194.98091	28878.593		25.	
239	TAMARO	N	28878.808	6	-224.3	9.	25.0	49	147	.5		194.98091	28878.593		68.	
240	VOGORN	N	14255.222	3	-79.0	13.	34.0	64	176	.5		181.50633	14255.155		59.	
241	BASODI	N	29328.985*	1	-114.3	122.	53.0	79	246	2.6	-153	310.74643	29328.993		37.	
242	SCOPI	N	23175.841	1	-90.3	24.	45.0	81	208	.6		395.93994	23175.775		28.	
243	SCOPI	N	23175.931	6	-180.0	24.	27.0	53	154	1.2		395.93994	23175.775		64.	
	BASODI	N	35.28670		-18.6		1.0									
244	BADUS	N	.00000*		-5.9	-1.7	1.2	64	6	-1.8		35.28408	27830.725		18.	-76.
245	MASSAR	N	37.73578*		-7.9	-1.1	2.8	75	13	-.5		73.01972	17992.724		79.	-32.
246	CRAMOS	N	75.46287*		-14.4	1.6	1.7	80	8	1.1		110.74643	29328.993		16.	75.
247	SASSO	N	84.50296*		-9.9	2.8	2.8	76	13	1.1		119.78709	19952.597		85.	87.
248	GRIDON	N	137.83485*		-7.9	3.3	1.6	72	8	2.4		173.11923	34899.594		37.	179.
249	DAMMAS	N	354.99049*		1.6	-4.1	2.2	82	10	-2.1		390.27507	26038.653		35.	-169.

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRVERSE GOTTHARD K3  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 SEITE 16

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BOEB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	BASODI	N	35.28670													
	(FORTSETZUNG)															
250	TITLIS	N	360.16569*		.9	-.3	2.4	89	11	-.1		395.45060	40144.331	15.		-17.
251	LUCEND	N	381.05520*		-1.9	.3	2.3	81	11	.1		16.33988	14693.403	31.		6.
	BASODI	N	DISTANZEN													
252	CRAMOS	N	29329.076*	3	-162.5	79.	42.0	72	205	2.2		110.74643	29328.993	45.		
253	GESERO	N	56930.250	3	-315.3	-11.	59.0	80	273	-.2		128.00247	56929.923	28.		
254	GRIDON	N	34899.805*	3	-193.3	-18.	43.0	77	203	-.5		173.11923	34899.594	34.		
255	TAMARO	N	45928.335	3	-254.4	-9.	49.0	80	227	-.2		152.48011	45928.072	18.		
256	TAMARO	N	45928.502	6	-356.7	-74.	33.0	60	176	-2.9	122	152.48011	45928.072	64.		
257	VOGORN	N	37869.640	3	-209.8	36.	46.0	73	222	.9		132.65704	37869.466	43.		
258	GRIDON	N	34899.853*	3	-193.3	-66.	45.0	79	210	-1.7		173.11923	34899.594	32.		
259	TITLIS	N	40144.402*	1	-156.4	85.	65.0	82	298	1.5		395.45060	40144.331	32.		
260	SCOPI	N	32923.791	1	-128.3	34.	59.0	86	264	.6		62.70943	32923.696	21.		
261	SCOPI	N	32923.873	2	-194.3	18.	69.0	81	317	.3		62.70943	32923.696	14.		
262	TITLIS	N	40144.410*	2	-236.9	158.	75.0	76	356	2.4		395.45060	40144.331	20.		
263	SCOPI	N	32923.964	6	-255.7	-11.	26.0	53	147	-.6		62.70943	32923.696	67.		
264	TITLIS	N	40144.678*	3	-222.4	-125.	58.0	73	281	-2.5	170	395.45060	40144.331	45.		
	SCOPI	N	29.64860		.0		1.4									
265	MURAUN	N	.00000*		-1.4	2.8	2.1	56	12	1.8		29.64873	12637.952	51.		55.
266	FRECCI	N	102.07041*		-7.4	-3.4	2.2	49	13	-2.2		131.71793	22577.577	183.		-120.
267	VOGORN	N	160.80186		-2.5	-1.7	4.0	91	17	-.5		190.45004	37204.366	15.		-100.
268	CRAMOS	N	166.29180*		-.6	-4.0	2.9	81	13	-1.5		195.93994	23175.775	23.		-145.
269	MASSAR	N	221.02751*		4.6	.0	1.7	32	12	.0		250.67656	15441.428	153.		-1.
270	BADUS	N	296.05416*		3.8	2.9	2.1	63	11	1.7		325.70343	13905.931	29.		63.
	SCOPI	N	DISTANZEN													
271	LUCEND	N	24038.368*	1	-93.6	92.	48.0	86	214	2.1		289.38610	24038.367	19.		
272	MURAUN	N	12638.020	1	-49.2	-19.	33.0	64	170	-.7		29.64873	12637.952	59.		
	MASSAR	N	149.52753		-7.8		2.6									
273	CRAMOS	N	.00000*		-5.9	6.4	5.1	73	25	1.5		149.52679	17563.442	53.		176.
274	SASSO	N	38.38211*		-1.3	-2.2	5.5	64	28	-.5		187.90850	13748.621	145.		-49.
275	BASODI	N	123.49249*		7.1	-2.3	5.0	74	24	-.5		273.01972	17992.724	48.		-66.
276	LUCEND	N	181.87929*		4.5	2.2	5.1	74	25	.5		331.40670	14386.345	50.		49.
277	BADUS	N	243.63607*		.6	-2.7	5.6	79	26	-.5		393.16261	16359.548	41.		-69.
278	SCOPI	N	301.15036*		-3.4	-2.0	5.1	74	25	-.5		50.67656	15441.428	49.		-49.
	FRECCI	N	14.88263		15.0		1.9									
279	CLARO	N	191.38054*		.7	-1.0	1.5	20**	14	-1.5		206.26464	19703.304	226.		-31.
280	CRAMOS	N	247.43588*		9.1	5.1	2.7	73	13	2.2		262.32142	22117.922	98.		176.
281	SCOPI	N	316.83315*		7.2	-.7	1.7	22**	15	-.9		331.71793	22577.577	242.		-25.
	SASSO	N	146.36235		-4.4		2.8									
282	VOGORN	N	.00000*		-8.2	-5.5	5.0	69	25	-1.3		146.36054	18756.052	86.		-161.
283	CRAMAL	N	88.55722		4.5	-1.6	4.8	42	31	-.5		234.91941	13005.738	251.		-32.
284	BASODI	N	173.42324*		8.7	10.7	5.1	71	25	2.5		319.78709	19952.597	56.		336.
285	MASSAR	N	241.54701*		1.1	-5.2	5.1	50	30	-1.5		387.90850	13748.621	194.		-113.
286	CRAMOS	N	346.13063*		-5.0	2.3	5.5	66	28	.5		92.49226	9984.911	78.		36.

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPENTRAVERSE GOTTHARD K3  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM

ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 SEITE 17

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BEOB. GR G/M	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
	BADUS	N	347.86576	5.0		.8								
287	TITLIS	N	.00000*	3.7	-1.2	1.1	53	6	-1.5		347.86651	23978.024	53.	-45.
288	BRISTE	N	57.84608*	-.2	-2.5	3.3	82	15	-.8		5.71207	12797.041	48.	-50.
289	SCHEER	N	83.40432*	-2.4	.2	1.5	77	7	.2		31.27037	26023.798	29.	8.
290	MURAUN	N	132.66694*	-4.6	-3.6	2.7	90	12	-1.4		80.53239	19361.334	23.	-108.
291	TGIETS	N	144.93328*	-7.3	-1.6	1.3	69	6	-1.5		92.79865	27476.991	46.	-69.
292	SCOPI	N	177.83704*	-4.3	5.6	2.6	86	12	2.3		125.70343	13905.931	25.	121.
293	CRAMOS	N	222.67271*	-5.4	2.0	1.4	75	7	1.7		170.53864	31952.788	36.	102.
294	MASSAR	N	245.29656*	-.7	-1.4	2.7	69	13	-.6		193.16261	16359.548	99.	-37.
295	BASODI	N	287.41727*	5.6	-.1	1.4	75	7	-.1		235.28408	27830.725	30.	-6.
296	LUCEND	N	306.70337*	3.8	2.1	2.8	83	13	.8		254.57022	14440.697	41.	47.
297	DAMMAS	N	359.18830*	5.3	5.4	2.8	71	14	2.3		307.05564	18724.318	109.	159.
	BADUS	N	DISTANZEN											
298	TITLIS	N	23978.180*	1	-93.4	-63.	45.0	80	208	-1.6	347.86651	23978.024	29.	
299	SCHEER	N	26023.874	1	-101.4	25.	48.0	78	225	.6	31.27037	26023.798	39.	
300	TGIETS	N	27477.104	1	-107.0	-6.	49.0	78	230	-.1	92.79865	27476.991	48.	
301	BASODI	N	27830.851	1	-108.4	-17.	51.0	79	237	-.4	235.28408	27830.725	35.	
302	CRAMOS	N	31952.896	1	-124.5	16.	57.0	83	260	.3	170.53864	31952.788	28.	
303	LUCEND	N	14440.761	1	-56.3	-8.	36.0	71	176	-.3	254.57022	14440.697	50.	
304	MURAUN	N	19361.412	1	-75.4	-2.	40.0	74	193	-.1	80.53239	19361.334	47.	
305	SCOPI	N	13906.038	1	-54.2	-53.	33.0	83	150	-1.8	125.70343	13905.931	19.	
306	SCOPI	N	13906.034	2	-82.1	-21.	57.0	91	247	-.4	125.70343	13905.931	10.	
307	LUCEND	N	14440.794	2	-85.2	-12.	55.0	84	248	-.2	254.57022	14440.697	31.	
308	BASODI	N	27831.000	2	-164.2	-110.	64.0	81	294	-1.9	235.28408	27830.725	22.	
309	SCOPI	N	13906.024	6	-108.0	15.	17.0	51	99	1.2	125.70343	13905.931	48.	
	TGIETS	N	23.41831		-.5		1.1							
310	CRAMOS	N	201.42471*	4.7	-1.5	1.7	67	9	-1.1		224.84329	34269.838	42.	-80.
311	BADUS	N	269.37973*	7.3	-.6	1.3	58	7	-.6		292.79865	27476.991	20.	-27.
312	MURAUN	N	295.63544*	2.0	3.6	2.2	70	11	2.0		319.05426	9249.484	35.	53.
313	SCHEER	N	335.32355*	2.8	.3	1.4	57	8	.2		358.74211	24892.554	47.	10.
	TGIETS	N	DISTANZEN											
314	CRAMOS	N	34269.984	1	-133.5	-13.	59.0	80	274	-.2	224.84329	34269.838	39.	
315	MURAUN	N	9249.509	1	-36.0	11.	28.0	38	188	.6	319.05426	9249.484	116.	
316	CRAMOS	N	34270.170	6	-266.1	-66.	38.0	56	210	-2.3	224.84329	34269.838	86.	
	DAMMAS	N	268.68453		-17.4		1.4							
317	TITLIS	N	136.18425*	-.6	-1.6	1.5	30	11	-1.9		4.86682	14348.343	114.	-36.
318	BRISTE	N	199.78087*	-4.0	-1.4	2.3	74	11	-.7		68.46313	22455.535	69.	-48.
319	BADUS	N	238.37313*	-4.2	1.4	1.8	55	10	1.0		107.05564	18724.318	107.	41.
320	LUCEND	N	293.84644*	-1.4	-6.0	3.5	84	16	-1.9		162.52848	13854.890	33.	-131.
321	BASODI	N	321.59210*	-1.2	3.0	1.7	39	11	2.8	-7	190.27507	26038.653	146.	122.
	LUCEND	N	54.57294		-22.1		1.2							
322	BADUS	N	.00000*	-3.2	-1.8	1.6	47	10	-1.7		54.57022	14440.697	67.	-42.
323	SCOPI	N	34.81620	-7.9	-.4	2.0	75	10	-.2		89.38610	24038.367	28.	-14.
324	MASSAR	N	76.83636*	-5.1	1.3	2.1	44	13	.9		131.40670	14386.345	143.	29.
325	BASODI	N	161.76870*	1.2	3.3	1.7	39	11	3.1	-8	216.33988	14693.403	91.	75.
326	DAMMAS	N	307.95769*	2.4	-1.8	1.7	38	11	-1.7		362.52848	13854.890	127.	-38.

ETH ZH INST. F. GEODAESIE TITEL: ALPEN TRVERSE GOTTHARD K3 ZUERICH, DEN 2. 3.1992 15: 5 T  
 TRIANGULATIONSPROGRAMM LTOP VERS.: 90.1.2 - IBM SEITE 18

NR	PUNKT	TYP NP	OR/BOB. G/M	GR	KORR. CC/MM	VERB. CC/MM	M.F. CC/MM	ZI %	NABLA CC/MM	WI	GI CC/MM	AZI. KOORD. (G)	AUS KOORD. (M)	DIST. AUS KOORD. (M)	KI MM	QUER. MM
			LUCEND	N	DISTANZEN											
327	BASODI	N	14693.474	2	-86.7	16.	55.0	73	266	.3		216.33988	14693.403		62.	
328	SCOPI	N	24038.498*	2	-141.9	11.	61.0	84	275	.2		89.38610	24038.367		14.	
329	SCOPI	N	24038.519*	6	-186.7	34.	22.0	52	127	2.2		89.38610	24038.367		60.	
			MURAUN	N	18.56524	9.0	1.2									
330	TGIETS	N	100.48856*		-2.3	-2.2	1.5	28	12	-2.8	7	119.05426	9249.484		81.	-32.
331	SCOPI	N	211.08225*		2.4	1.0	3.5	83	16	.3		229.64873	12637.952		30.	20.
332	BADUS	N	261.96583*		4.9	-.7	1.7	56	9	-.6		280.53239	19361.334		39.	-22.
333	BRISTE	N	305.62603*		3.6	2.0	3.5	84	16	.6		324.19273	18646.738		38.	58.
334	SCHEER	N	359.35024*		.9	2.8	1.7	50	10	2.4		377.91676	18202.420		57.	81.
			MURAUN	N	DISTANZEN											
335	LUCEND	N	33116.841	1	-129.0	36.	58.0	83	263	.7		269.46704	33116.748		35.	

## STATISTIK

\*\*\*\*\*

15 ZI KLEINER 25.0 %, KLEINSTER WERT .9 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 187  
 3 KI GROESSER 14.0+ 20.0\*D, GROESSTER WERT 651.6 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 187  
 13 WI GROESSER 2.5, GROESSTER WERT 3.1 BEI BEOBACHTUNG NUMMER 325  
 GRENZE ENTDECKB. FEHLER: 4.1, FEHLER 2. ART: 5.0 %

## Anhang C: DIE AFFINTRANSFORMATION

### 1. Definitionen

Die lineare Transformation des Vektorraumes  $x$  auf  $y$

$$y = Ax \quad (1.1)$$

( $x, y$  = Vektoren,  $A$  = quadratische Matrix der Dimension  $p$ ) bezeichnet man als *Affintransformation*. Sie ist ein Spezialfall der allgemeinen Linear- oder Affintransformation

$$y = Ax + b \quad (1.2)$$

bei der noch ein konstanter Vektor  $b$  (Nullpunktverschiebung) dazukommt.

Geometrisch kann man die Transformation als eine lineare Abbildung des  $n$ -dimensionalen Raumes in sich selbst deuten. Die Spaltenvektoren von  $A$  sind die durch die Transformation erzeugten Bilder der  $n$  Einheitsvektoren. Die gesamte Abbildung lässt sich aus einer Drehung und Dehnung bezüglich des Nullpunktes (Matrix  $A$ ) und einer Schiebung (Vektor  $b$ ) zusammensetzen. In der Geodäsie benutzt man die Transformation, wenn man zwei korrespondierende Punkthaufen möglichst gut zur Deckung bringen will und man Verzerrungen der Figur vermutet. Man sucht jene  $A$  und  $b$ , welche die Summe der Klaffenquadrate zwischen den einzelnen Punkten minimal werden lassen.

Ein Spezialfall ist die *Ähnlichkeitstransformation*, bei der zusätzlich Formtreue gefordert wird. Die Dehnung reduziert sich dann auf eine Massstabsänderung. Die mathematische Bedingung dafür ist  $A^T A = mI$ . Bringt man mit einer Ähnlichkeitstransformation zwei Punkthaufen nach kleinsten Quadraten zur Deckung, spricht man von *Helmerttransformation*.

### 2. Zerlegung in Drehung und Dehnung

Jede Affintransformation lässt sich auf zwei Arten aus einer (verallgemeinerten, einschl. Spiegelung) Drehung und einer Dehnung zusammensetzen. [Zurmühl, Falk 1984]. Algebraisch entspricht das der Zerlegung von  $A$  in die Matrixprodukte

$$A = RS_1 \quad \text{oder} \quad A = S_2R \quad (2.1)$$

worin

$$S_1 = S_1^T, \quad S_2 = S_2^T \quad (2.2)$$

symmetrische Matrizen (Dehnungsmatrizen) sind, und  $R$ , das der Beziehung

$$R^T R = R R^T = I \quad (2.3)$$

genügt, eine Orthogonalmatrix ist. Die Dehnungsmatrix  $S$  ist im allgemeinen verschieden, je nachdem, ob man von links oder rechts mit  $R$  multipliziert.

Zum Auffinden von  $\mathbf{R}$  und  $\mathbf{S}$  benützt man die grundlegende Beziehung zur Reduktion einer beliebigen quadratischen Matrix  $\mathbf{A}$  auf *Diagonalform*  $\mathbf{K}$

$$\mathbf{T}^T \mathbf{A} \mathbf{U} = \mathbf{K} \quad (2.4)$$

Darin ist  $\mathbf{U}$  die Matrix der Eigenvektoren von  $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$  und  $\mathbf{T}$  jene von  $\mathbf{A} \mathbf{A}^T$ . Als symmetrische Matrizen haben  $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$  und  $\mathbf{A} \mathbf{A}^T$  orthonormale Eigenvektoren

$$\mathbf{U}^T \mathbf{U} = \mathbf{U} \mathbf{U}^T = \mathbf{I}, \quad \mathbf{T}^T \mathbf{T} = \mathbf{T} \mathbf{T}^T = \mathbf{I} \quad (2.5)$$

$\mathbf{K}$  enthält als Diagonalglieder die positiven Quadratwurzeln der Eigenwerte von  $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$  und  $\mathbf{A} \mathbf{A}^T$  (gleiche Eigenwerte).

Indem man (2.4) nach  $\mathbf{A}$  auflöst und geeignet mit der Einheitsmatrix aus (2.5) erweitert, entsteht

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \mathbf{T} \mathbf{K} \mathbf{U}^T = \mathbf{T} \mathbf{U}^T \mathbf{U} \mathbf{K} \mathbf{U}^T = \mathbf{R} \mathbf{S}_1 \quad \text{und auch} \\ \mathbf{A} &= \mathbf{T} \mathbf{K} \mathbf{U}^T = \mathbf{T} \mathbf{K} \mathbf{T}^T \mathbf{T} \mathbf{U}^T = \mathbf{S}_2 \mathbf{R} \end{aligned} \quad (2.1)$$

mit

$$\mathbf{R} = \mathbf{T} \mathbf{U}^T, \quad \mathbf{S}_1 = \mathbf{U} \mathbf{K} \mathbf{U}^T, \quad \mathbf{S}_2 = \mathbf{T} \mathbf{K} \mathbf{T}^T \quad (2.6)$$

Wie man unmittelbar sieht, gelten (2.2) und (2.3). Damit ist die Zerlegung (2.1) bewiesen. Weiter gilt nach (2.1)

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} = \mathbf{S}_1^2, \quad \mathbf{A} \mathbf{A}^T = \mathbf{S}_2^2 \quad (2.7)$$

Für die praktische Rechnung wird man zuerst die Eigenvektoren

$$\begin{aligned} \mathbf{U} &= [\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_n] \quad \text{von } \mathbf{A}^T \mathbf{A} \quad \text{und} \\ \mathbf{T} &= [\mathbf{t}_1, \mathbf{t}_2, \dots, \mathbf{t}_n] \quad \text{von } \mathbf{A} \mathbf{A}^T \end{aligned}$$

berechnen und daraus

$$\mathbf{R} = \mathbf{T} \mathbf{U}^T, \quad \mathbf{S}_1 = \mathbf{R}^T \mathbf{A}, \quad \mathbf{S}_2 = \mathbf{A} \mathbf{R}^T \quad (2.8)$$

herleiten.

Man beachte, dass

$$\det(\mathbf{A}) = \pm \det(\mathbf{S}_1) = \pm \det(\mathbf{S}_2) \quad (2.9)$$

ist. Mit dem Massstabsfaktor

$$m = |\det \mathbf{S}_1|^{1/p} = |\det \mathbf{S}_2|^{1/p} \quad (2.10)$$

lassen sich  $\mathbf{S}_1$  und  $\mathbf{S}_2$  so normieren, dass die Dehnung volumenkonstant ist

$$\mathbf{S}_{10} = (1/m) \mathbf{S}_1, \quad \mathbf{S}_{20} = (1/m) \mathbf{S}_2 \quad (2.11)$$

Die Zerlegung von  $\mathbf{A}$  heisst dann

$$\mathbf{A} = m \mathbf{R} \mathbf{S}_{10} = m \mathbf{S}_{20} \mathbf{R} \quad (2.12)$$

### 3. Kleine Bewegungen

Bei kleinen Bewegungen sind die Transformationsmatrizen näherungsweise gleich der Einheitsmatrix  $\mathbf{I}$ . Man schreibt sie vorteilhaft als

$$\mathbf{A} = \mathbf{I} + d\mathbf{A}, \quad \mathbf{S}_1 = \mathbf{I} + d\mathbf{S}, \quad \mathbf{S}_2 = \mathbf{I} + d\mathbf{S}, \quad \mathbf{R} = \mathbf{I} + d\mathbf{R} \quad (3.1)$$

Die Kleinheit der Bewegung drückt sich dann darin aus, dass bei Produkten der Art  $(d\mathbf{R} d\mathbf{S})$  die Matrixelemente vernachlässigbar klein sind verglichen mit den Elementen von  $d\mathbf{R}$  und  $d\mathbf{S}$  selber. Damit vereinfachen sich die Gleichungen (2.1) zu

$$d\mathbf{A} = d\mathbf{R} + d\mathbf{S} \quad (d\mathbf{S} = d\mathbf{S}_1 = d\mathbf{S}_2) \quad (3.2)$$

und die ganze Bewegung setzt sich als lineare Überlagerung einer kleinen Drehung und einer kleinen Dehnung zusammen. Aus (2.2) und (2.3) folgen unmittelbar

$$d\mathbf{S}^T = d\mathbf{S} \quad d\mathbf{S} \text{ ist symmetrisch} \quad (3.3)$$

$$d\mathbf{R}^T = -d\mathbf{R} \quad d\mathbf{R} \text{ ist antimetrisch} \quad (3.4)$$

Das Problem der multiplikativen Zerlegung von  $\mathbf{A}$  reduziert sich hier auf das einfachere Problem der additiven Zerlegung von  $d\mathbf{A}$  in den symmetrischen und antimetrischen Anteil

$$\begin{aligned} d\mathbf{S} &= \frac{1}{2}(d\mathbf{A} + d\mathbf{A}^T) \\ d\mathbf{R} &= \frac{1}{2}(d\mathbf{A} - d\mathbf{A}^T) \end{aligned} \quad (3.5)$$

### 4. Die zweidimensionale Affintransformation

Die Matrix  $\mathbf{A}$  lautet ausgeschrieben

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

#### a. Eigenwerte und Eigenvektoren

Diese lassen sich explizit anschreiben.

Eigenwerte  $\lambda_1, \lambda_2$

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2}(a_{11} + a_{22}) \pm \sqrt{\frac{1}{4}(a_{11} - a_{22})^2 + a_{12}a_{21}} \quad (4.2)$$

Normierte Eigenvektoren  $\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2$

$$\mathbf{g}_1 = \begin{bmatrix} a_{12}/g_1 \\ (\lambda_1 - a_{11})/g_1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{g}_2 = \begin{bmatrix} a_{12}/g_2 \\ (\lambda_2 - a_{11})/g_2 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

mit

$$g_1^2 = (\lambda_1 - a_{11})^2 + a_{12}^2 \quad g_2^2 = (\lambda_2 - a_{11})^2 + a_{12}^2$$

Wichtiger als jene der Matrix  $\mathbf{A}$  sind die (immer reellen, nicht negativen) Eigenwerte und Eigenvektoren von  $\mathbf{S}_1$  und  $\mathbf{S}_2$ .

Sie geben Auskunft über die Deformation einer Figur bei der Transformation. Dies sei an  $\mathbf{S}_1$  veranschaulicht.

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{R}\mathbf{S}_1\mathbf{x} \quad (2.1)$$

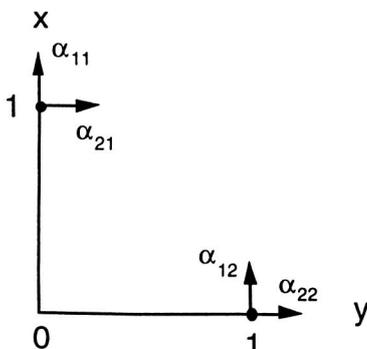
Hier wird eine Figur und *das mit ihr verbundene Koordinatensystem* zuerst mit  $\mathbf{R}$  gedreht und anschliessend mit  $\mathbf{S}_1$  affin verzerrt. Die immer senkrecht aufeinanderstehenden Eigenvektoren von  $\mathbf{S}_1$  sind im gedrehten System definiert und zeigen in Richtung der Hauptachsen der Verzerrung. Die Eigenwerte sind die immer auf den Hauptachsen liegenden Maxima und Minima des Dehnungsverhältnisses. Eigenwerte und Eigenvektoren berechnen sich analog zu (4.2) und (4.3). Die *Verzerrungsellipse* als transformiertes Bild eines Kreises veranschaulicht die Transformation  $\mathbf{S}_1$ . Ihre Achsen liegen in Richtung der Eigenvektoren und ihre Achslängen sind gleich den Eigenwerten.

## b. Zerlegung von $\mathbf{A}$ in Elementartransformationen

In der Darstellung

$$\mathbf{A} = \mathbf{I} + d\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1+\alpha_{11} & \alpha_{12} \\ \alpha_{21} & 1+\alpha_{22} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

lassen sich die Elemente  $\alpha$  als kleine Zuschläge deuten, um welche die Einheitsvektoren bei der Transformation geändert werden (Fig. A1).



*Fig. A1*

*Einheitsvektoren und  
transformative  
Änderungen*



$$\begin{aligned}\mu &= \frac{1}{2}(\alpha_{11} + \alpha_{22}) & \varepsilon &= \frac{1}{2}(\alpha_{12} + \alpha_{21}) \\ \gamma &= \frac{1}{2}(\alpha_{11} - \alpha_{22}) & \beta &= \frac{1}{2}(\alpha_{21} - \alpha_{12})\end{aligned}\quad (4.7)$$

$$\begin{aligned}\lambda_{1,2} &= 1 + \mu \pm \sqrt{\gamma^2 + \varepsilon^2 - \beta^2} \\ &= 1 + \mu \pm \sqrt{\gamma_{\max}^2 - \beta^2}\end{aligned}\quad (\text{Eigenwerte von } \mathbf{A}, \text{ vergl. (4.2) und (4.14)})$$

$$\lambda'_{1,2} = 1 + \mu \pm \gamma_{\max} \quad (\text{Eigenwerte von } \mathbf{S})$$

Die Transformationen  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{Q}$  und  $\mathbf{R}$  sind volumeninvariant (Determinante = 1, Glieder 2. Ordnung vernachlässigt), und  $\mathbf{M}$  und  $\mathbf{R}$  sind drehungsinvariant.

Aus den Elementarmatrizen lassen sich weitere spezielle Verformungsmatrizen aufbauen:

$$\begin{aligned}d\mathbf{S} &= d\mathbf{M} + d\mathbf{P} + d\mathbf{Q} & \text{Dehnung, siehe (2.1) und (3.2)} \\ d\mathbf{S}_0 &= d\mathbf{P} + d\mathbf{Q} = d\mathbf{S} - d\mathbf{M} & \text{volumeninvariante Dehnung, siehe (2.11)}\end{aligned}\quad (4.8)$$

### c. Äquivalenz von Dehnung und Scherung bei kleinen Verformungen

Bei der Untersuchung der Alpentravese auf Punktverschiebungen in Kap. 7.3 und 7.5 zerlegen wir  $\mathbf{A}$  in die einzelnen Komponenten nach (4.6). Leider sind die so erhaltenen  $d\mathbf{M}$  und  $d\mathbf{R}$  meist nicht aussagekräftig, weil Massstab und Orientierung des alten Netzes zu ungenau sind, um signifikante Vergleiche mit den neuen Messungen zuzulassen. Aussicht auf Erfolg verspricht höchstens die Analyse der Matrizen  $\mathbf{P}$  und  $\mathbf{Q}$ , mit denen man die Formänderung geeigneter Netzfiguren prüft. Es erweist sich, dass die Zerlegung von  $d\mathbf{S}_0$  in  $d\mathbf{P}$  und  $d\mathbf{Q}$  für ein gegebenes Koordinatensystem zwar eindeutig ist, sich aber bei einer Drehung des Systems die Anteile von  $d\mathbf{P}$  und  $d\mathbf{Q}$  ändern.

Um das zu zeigen, stellen wir die Transformationen mit  $\mathbf{P}$  und  $\mathbf{Q}$  in einem mit der Drehmatrix  $\mathbf{F}$  um den Winkel  $\phi$  gedrehtem Koordinatensystem dar.  $\mathbf{x}'$  und  $\mathbf{y}'$  seien die Vektoren im gedrehten System.

$$\mathbf{x} = \mathbf{F}\mathbf{x}', \quad \mathbf{y} = \mathbf{F}\mathbf{y}' \quad \text{mit} \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (\mathbf{F}^T \mathbf{F} = \mathbf{I}) \quad (4.9)$$

Dann lautet die Transformation  $\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}$  im neuen System

$$\mathbf{y}' = \mathbf{F}^T \mathbf{A} \mathbf{F} \mathbf{x}' \quad (4.10)$$

Die neue Transformationsmatrix ist

$$\mathbf{A}' = \mathbf{F}^T \mathbf{A} \mathbf{F} \quad \text{und es gilt auch} \quad d\mathbf{A}' = \mathbf{F}^T d\mathbf{A} \mathbf{F} \quad (4.11)$$

Angewandt auf  $d\mathbf{P}$  und  $d\mathbf{Q}$  aus (4.5) erhält man

$$d\mathbf{P}' = \gamma \begin{bmatrix} \cos 2\phi & -\sin 2\phi \\ -\sin 2\phi & -\cos 2\phi \end{bmatrix} \quad d\mathbf{Q}' = \varepsilon \begin{bmatrix} \sin 2\phi & \cos 2\phi \\ \cos 2\phi & -\sin 2\phi \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

Man erkennt, dass sich nun in beiden Matrizen Dehnungs- und Scherungsanteil mischen. Wenn man  $\phi$  in  $d\mathbf{P}'$  durch  $\phi-50$  und in  $d\mathbf{Q}'$  durch  $\phi+50$  ersetzt, sind die Strukturen der beiden Matrizen gerade vertauscht: Eine Dehnung bezüglich der ursprünglichen Achsen wird bezüglich der gedrehten Achsen zu einer Scherung und umgekehrt. Das leuchtet beim Betrachten der Fig. A2 ein: Die Verformung durch z.B. Doppelscherung  $d\mathbf{Q}$  kann auch durch Streckung in Richtung  $50$  gon und Stauchung in Richtung  $-50$  gon erzeugt werden.

Für den Spezialfall  $\phi = -50$  gon bei  $d\mathbf{P}'$  und  $\phi = +50$  gon bei  $d\mathbf{Q}'$  entstehen zum Beispiel

$$d\mathbf{P}' = \begin{bmatrix} 0 & \gamma \\ \gamma & 0 \end{bmatrix} \quad (\text{Scherung}) \quad d\mathbf{Q}' = \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 \\ 0 & -\varepsilon \end{bmatrix} \quad (\text{Dehnung}) \quad (4.13)$$

Die Elemente  $\gamma'$  und  $\varepsilon'$  der Matrix  $d\mathbf{S}_0' = d\mathbf{P}' + d\mathbf{Q}'$  in einem um  $\phi$  gedrehten System berechnen sich nach (4.8) und (4.12) als

$$\begin{aligned} \gamma' &= \gamma \cos 2\phi + \varepsilon \sin 2\phi \\ \varepsilon' &= \varepsilon \cos 2\phi - \gamma \sin 2\phi \end{aligned} \quad (4.14)$$

$$\gamma'^2 + \varepsilon'^2 = \gamma^2 + \varepsilon^2 = \gamma_{\max}^2 \quad (\text{invariant bei Drehung des Systems})$$

Wenn man das Koordinatensystem sucht, das die *allgemeine* volumeninvariante Verformungsmatrix  $d\mathbf{S}_0' = d\mathbf{P}' + d\mathbf{Q}'$  als reine Dehnungsmatrix erscheinen lässt, so muss man fordern, dass die Nebendiagonalglieder  $\varepsilon'$  von  $d\mathbf{S}_0'$  zu Null werden. Das führt für den Orientierungswinkel  $\phi$  auf den Ausdruck

$$\operatorname{tg} 2\phi = \frac{\varepsilon}{\gamma} \quad (\phi = \text{Richtung der Eigenvektoren von } \mathbf{S} \text{ und } d\mathbf{S}) \quad (4.15)$$

Folgerung:

*Volumeninvariante Dehnung und Doppelscherung sind bei kleinen Verformungen von den gewählten Achsen abhängige Beschreibungen desselben Sachverhalts. Durch geeignete Orientierung des Koordinatensystems kann eine Deformationsmatrix (Deformationstensor) immer sowohl als reine Dehnungs- wie auch als reine Scherungsmatrix dargestellt werden. Die Orientierung der Achsen unterscheidet sich für die beiden Fälle um 50 gon.*

#### d. Zerlegung einer Doppelscherung in eine Einzelscherung und eine Drehung

Eine Doppelscherung lässt sich folgendermassen aus einer Einzelscherung (z.B.  $dQ_y$  in  $y$ -Richtung) und einer Drehung  $dR$  aufbauen (vergl. Fig. A3)

$$dQ = dQ_y + dR \quad (4.16)$$

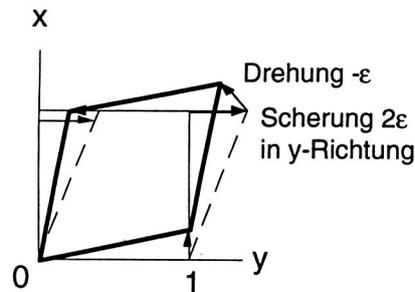
$$\begin{bmatrix} 0 & \varepsilon \\ \varepsilon & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \varepsilon_y & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\beta \\ \beta & 0 \end{bmatrix}$$

Für die Elemente gilt

$$\begin{aligned} \beta &= -\varepsilon \\ \varepsilon_y &= 2\varepsilon \end{aligned} \quad (4.17)$$

*Fig. A3*

Zwei aufeinanderfolgende Scherungen  $\varepsilon$  in  $x$ - und  $y$ -Richtung kann man äquivalent ersetzen durch eine Scherung  $2\varepsilon$  in  $y$ -Richtung und eine Drehung  $-\varepsilon$ .



#### e. Der Dehnungsfaktor in beliebiger Richtung bei kleinen Verformungen

Wir betrachten die (symmetrische) Dehnungsmatrix

$$S = I + dM + dP + dQ = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{12} & s_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & 1+\sigma_{22} \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

und untersuchen, wie sich bei der Transformation der Einheitsvektor  $\mathbf{i}_\theta$  in Richtung  $\theta$  ändert:

$$\mathbf{y}_\theta = S \mathbf{i}_\theta = \begin{bmatrix} 1+\sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & 1+\sigma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

Seine Länge wird zu

$$y_\theta = 1 + \sigma_{11} \cos^2\theta + \sigma_{22} \sin^2\theta + 2\sigma_{12} \sin\theta \cos\theta \quad (4.20)$$

Der normal auf  $\mathbf{i}_\theta$  stehende Vektor  $\mathbf{i}_{\theta+100}$  hat die transformierte Länge

$$y_{\theta+100} = 1 + \sigma_{11}\sin^2\theta + \sigma_{22}\cos^2\theta - 2\sigma_{12}\sin\theta \cos\theta \quad (4.21)$$

Die Differenz beider Längen ist

$$\begin{aligned} \Delta\sigma_\theta &= y_\theta - y_{\theta+100} = (\sigma_{11} - \sigma_{22}) \cos(2\theta) + 2\sigma_{12} \sin(2\theta) \\ &= 2[\gamma \cos(2\theta) + \epsilon \sin(2\theta)] = 2\gamma \end{aligned} \quad (4.22)$$

entsprechend (4.7) und (4.14). Dies ist die *spezifische Dehnungsdifferenz* in Richtung  $\theta$ . Für die Richtung  $\theta = 0$  vereinfacht sich das zu

$$\Delta\sigma_0 = \sigma_{11} - \sigma_{22} = 2\gamma \quad (4.23)$$

## 5. Affintransformation zwischen zwei Punkthaufen mit Minimalisierung der Klaffen

Ein Punkthaufen von  $n$  Punkten mit Ortsvektoren  $\mathbf{x}_k$  soll mit einer Affintransformation auf einen zweiten Haufen korrespondierender Punkte mit Ortsvektoren  $\mathbf{y}_k$  derart abgebildet werden, dass die Summe der Klaffenquadrate minimal wird. In der Praxis werden die Klaffen üblicherweise klein sein, was aber keine Vorbedingung für die mathematische Lösung ist.

Mit den Klaffen  $\mathbf{v}_k$  schreibt sich die Transformation

$$\mathbf{y}_k + \mathbf{v}_k = \mathbf{A} \mathbf{x}_k + \mathbf{b} \quad \text{für } k = 1 \dots n \quad (5.1)$$

Im folgenden wird der Index  $k$  für  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{y}$  und  $\mathbf{v}$  weggelassen.

Die Minimumsbedingung

$$\phi = \sum \mathbf{v}^T \mathbf{v} = \text{Min.} \quad (5.2)$$

wird durch Differenzieren zu

$$\frac{1}{2} d\phi = \sum \mathbf{v}^T d\mathbf{v} = \sum \mathbf{v}^T d\mathbf{A}\mathbf{x} + \sum \mathbf{v}^T d\mathbf{b} \equiv 0 \quad \text{für beliebige } d\mathbf{A} \text{ und } d\mathbf{b} \quad (5.3)$$

Daraus folgt aus dem zweiten Glied rechterhand  $\sum \mathbf{v} = \mathbf{0}$  und mit (5.1)

$$\mathbf{b} = \frac{1}{n} (\sum \mathbf{y} - \mathbf{A} \sum \mathbf{x}) \quad (5.4)$$

Mit Koordinaten, die je auf die Schwerpunkte der beiden Haufen bezogen sind, gilt  $\sum \mathbf{x} = \mathbf{0}$ ,  $\sum \mathbf{y} = \mathbf{0}$  und daraus

$$\mathbf{b} = \mathbf{0} \quad (\text{für Schwerpunktkoordinaten } \mathbf{x} \text{ und } \mathbf{y}) \quad (5.5)$$

In Worten:

*Der Schwerpunkt des x-Haufens wird auf den Schwerpunkt des y-Haufens transformiert.*

Im folgenden seien  $\mathbf{x}$  und  $\mathbf{y}$  Schwerpunktkoordinaten.

Aus dem ersten Glied rechterhand in (5.3) folgt

$$\sum \mathbf{v}_k^T d\mathbf{A} \mathbf{x}_k \equiv 0 \quad \text{für beliebige } d\mathbf{A} \quad (5.6)$$

Da uns im nächsten Schritt die Matrixschreibweise im Stiche lässt, gehen wir temporär auf Komponentennotation über. Gleichung (5.6) erscheint als

$$\sum_k \sum_{ij} v_{ik} da_{ij} x_{jk} = \sum_{ij} (da_{ij} \sum_k v_{ik} x_{jk}) \equiv 0 \quad \text{für beliebige } da_{ij}$$

Das kann nur gelten, wenn

$$\sum_k v_{ik} x_{jk} = 0 \quad \text{für alle } i, j \quad (5.7)$$

Wir bilden die Matrizen der Punkthaufen

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= [\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2 \dots \mathbf{x}_n] \\ \mathbf{Y} &= [\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2 \dots \mathbf{y}_n] \end{aligned} \quad (5.8)$$

und auch

$$\mathbf{V} = [\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2 \dots \mathbf{v}_n]$$

indem wir die Ortsvektoren zeilenweise aneinanderreihen. Das Gleichungssystem (5.1) erscheint dann als

$$\mathbf{Y} + \mathbf{V} = \mathbf{A} \mathbf{X} \quad (\mathbf{b} = \mathbf{0} \text{ bei schwerpunktbezogenen } \mathbf{x} \text{ und } \mathbf{y}) \quad (5.1a)$$

und (5.7) als

$$\mathbf{V} \mathbf{X}^T = \mathbf{0} \quad (5.7a)$$

Das  $\mathbf{V}$  aus (5.1a) in (5.7a) eingesetzt, ergibt als Lösung für  $\mathbf{A}$

$$\mathbf{A} = \mathbf{Y} \mathbf{X}^T (\mathbf{X} \mathbf{X}^T)^{-1} \quad (\mathbf{X}, \mathbf{Y}: \text{schwerpunktbezogen}) \quad (5.9)$$

Mit

$$s = \sqrt{\frac{\sum \mathbf{v}^T \mathbf{v}}{p(n-p-1)}} \quad \begin{aligned} n &= \text{Anzahl der Punkte im Haufen} \\ p &= \text{Dimension des Vektorraumes} \\ &\quad (\text{gewöhnlich 2 oder 3}) \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\sum \mathbf{v}^T \mathbf{v} = \text{spur}(\mathbf{V}^T \mathbf{V})$$

schätzen wir die Standardabweichung einer Koordinatendifferenz.

*Literatur:* R. Zurmühl, S. Falk: "Matrizen und ihre Anwendungen", 5. Auflage, Springer, Berlin 1984.

## **“Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz”**

**(Fortsetzung der Publikationsreihe “Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz”  
der Schweizerischen Geodätischen Kommission (ab Bd. 36):**

- 36 1984** Ein gravimetrisches Krusten-Mantel-Modell für ein Profil im nördlichen Alpenvorland bis an die Ligurische Küste. H. Schwendener. 160 Seiten.
- 37 1986** Les levés aéromagnétiques de la Suisse. E. Klingelé. 69 Seiten.
- 38 1986** Lokale Schwerefeldbestimmung und gravimetrische Modellrechnungen im Satelliten (GPS)- Testnetz “Turtmann” (Wallis). I. Bernauer, A. Geiger. 106 Seiten.
- 39 1989** 125 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission  
I. Bedeutung geodätischer Raumverfahren für Landesvermessung und Geodynamik. (R. Sigl)  
II. Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik. (H.-G. Kahle)  
III. L'état actuel de la recherche sur les mouvements de l'écorce terrestre en Suisse. (F. Jeanrichard)  
IV. Die Satellitengeodäsie im Dienste der globalen Geodynamik. (I. Bauersima)  
V. Die Veranstaltungen zum 125 Jahr-Jubiläum der Schweizerischen Geodätischen Kommission. (W. Fischer). 62 Seiten.
- 40 1989** Integrale Schwerefeldbestimmung in der Ivrea- Zone und deren geophysikalische Interpretation. B. Bürki. 186 Seiten.
- 41 1990** ALGESTAR satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz. U. Marti. 61 Seiten plus Punktprotokolle.
- 42 1990** Höhensysteme, Schwerepotentiale und Niveauflächen: Systematische Untersuchungen zur zukünftigen terrestrischen und GPS-gestützten Höhenbestimmung in der Schweiz. B. Wirth. 204 Seiten.
- 43 1990** Gravimetrisches Geoid der Schweiz: Potentialtheoretische Untersuchungen zum Schwerefeld im Alpenraum. A. Geiger. 231 Seiten.
- 44 1991** Rapid Differential Positioning with the Global Positioning System (GPS). E. Frei. 178 Seiten.
- 45 1992** Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985-1990 Teil I. F. Jeanrichard (Hrsg.)  
Autoren: A. Geiger, H.-G. Kahle, R. Köchle, D. Meier, B. Neiningen, D. Schneider, B. Wirth. 183 Seiten.
- 46 1993** Orbits of Satellite Systems in Space Geodesy. M. Rothacher. 243 Seiten.
- 47 1993** NFP 20. Beitrag der Geodäsie zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik. H.-G. Kahle (Hrsg.) Autoren: I. Bauersima, G. Beutler, B. Bürki, M. Cocard, A. Geiger, E. Gubler, W. Gurtner, H.-G. Kahle, U. Marti, B. Mattli, M. Rothacher, Th. Schildknecht, D. Schneider, A. Wiget, B. Wirth. 153 Seiten plus 90 Seiten Anhang.
- 48 1994** Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring: Urs Wild, 155 Seiten.
- 49 1994** Optical Astrometry of Fast Moving Objects using CCD Detectors: Thomas Schildknecht, 200 Seiten.
- 50 1995** Geodätische Alpen traverse Gotthard: A. Elmiger, R. Köchle, A. Ryf und F. Chaperon. 214 Seiten.