

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)

Einundvierzigster Band

ALGESTAR
Satellitengestützte Geoidbestimmung
in der Schweiz mit GPS

Urs Marti

1990



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)

Einundvierzigster Band

ALGESTAR
**Satellitengestützte Geoidbestimmung
in der Schweiz mit GPS**

Urs Marti

1990

Adresse der Schweizerischen Geodätischen Kommission:

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

Redaktion des 41. Bandes:
U. Marti
Prof. Dr. Hans-Gert Kahle
Dr. B. Bürki

Druck: OWADRUCK, 3173 Oberwangen

Vorwort

Die Satellitengeodäsie hat in den letzten Jahren auch im Bereich der Schwerefeldbestimmung stark an Bedeutung gewonnen. International gefasste Resolutionen an der letzten Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) in Vancouver (1987) belegen, dass verstärkt Anstrengungen unternommen werden sollen, um nationale Geoide im Subdezimeter-Bereich zu bestimmen. Dies ist insbesondere für Hochgebirgsländer mit ihren stark variierenden Geopotentialwerten keine triviale Aufgabe. Hauptsächliche Methoden der Geoidbestimmung stammen traditionellerweise aus der Astrogeodäsie und der Gravimetrie, neuerdings auch aus der Satellitengeodäsie.

Im Zeitraum 1984-1986 wurden mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds (NF), der ETH Zürich und der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW) erstmalig in der Schweiz Radiowellenverfahren an Signalen von U.S. Navigationssatelliten erprobt, um geozentrische Stationskoordinaten in einem globalen Referenzsystem zu erhalten. Die internationalen Forschungsarbeiten erfolgten im Verlauf von 2 Unterprojekten: SWISSDOC und ALGEDOP.

Sie bildeten die Grundlage für ein NF-Nachfolgeprojekt, das wir ALGESTAR (Alpine Geoid by Satellite Timing and Ranging) genannt haben. In diesem Projekt wurde das GPS-System für Höhenmessungen eingesetzt. Es ermöglichte die Bestimmung von 40 gleichmässig über die Schweiz verteilten Stationen innerhalb von nur 4 Tagen. Durch den Vergleich der aus GPS resultierenden ellipsoidischen Höhen mit den Höhen der Schweizerischen Landesvermessung wurden Informationen über das Geoid der Schweiz erhalten. In relativ kurzer Zeit ist es dabei gelungen, seine Form mit einer Genauigkeit von etwa 10 cm in der ganzen Schweiz zu bestimmen. Durch die zukünftige Kombination aller Informationen, welche uns über das Schwerefeld in der Schweiz zur Verfügung stehen (GPS, Astro-geodätische Messungen, Schweremessungen, digitales Geländemodell) wird es sehr bald diskutierbar, ob das Geoid auch im Alpenraum mit einer Genauigkeit von ca. 1 cm bestimmt werden kann: Ein international erklärtes weltweites Ziel für die Neunziger Jahre.

Im Zuge der zukünftigen Anwendung des GPS in der Landesvermessung des Schweizerischen Bundesamtes für Landestopographie wird der von Herrn Dipl.Ing. U. Marti erarbeitete Grund-Datensatz zur satellitengestützten Geoidbestimmung eine wertvolle wissenschaftliche Basis bilden. Die SGK der SANW dankt Herrn Marti für seinen überdurchschnittlich grossen Einsatz, bereits 1/2 Jahr nach den Messungen mit den hier präsentierten Geoidberechnungen und -Darstellungen einen wesentlichen Beitrag zur Landesvermessung in der Schweiz geleistet zu haben. Dank gebührt aber auch den vielen Messteilnehmern aus dem In- und Ausland, sowie den in- und ausländischen Instituten, die ihre GPS-Empfänger mit grosser Bereitwilligkeit und unbürokratischer Hilfe dem ALGESTAR-Projekt zur Verfügung gestellt haben.

Es waren dies die folgenden Institute/Firmen:

- Firma WILD/Heerbrugg
- C.-H. Aeschlimann SA (GESTER)/Genève
- Institut de Géodésie et de Mensuration, EPF Lausanne
- Geodätisches Institut der Universität Stuttgart
- Institut für Allgemeine Geodäsie der Universität der Bundeswehr München
- Institut für Höhere Geodäsie der Technischen Universität Berlin
- Geodätisches Institut der Universität Karlsruhe
- Institut für Geodäsie & Photogrammetrie, ETH Zürich

und die folgenden Messkampagnenteilnehmer:

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| - C. Aeschlimann (GESTER) | - U. Marti (ETHZ) |
| - M. Bohren (Stud. ETHZ) | - A. Oswald (Stud. ETHZ) |
| - M. Cocard (ETHZ) | - J. Reinking (TU Berlin) |
| - F. Ettlin (ETHZ) | - I. Sancho (EPFL) |
| - H. Fischer (Uni Stuttgart) | - B. Scherer (UBW München) |
| - J. Haas (Karlsruhe) | - S. Schödl (Karlsruhe) |
| - L. Huguenin (EPFL) | - J. Siegerstetter (Uni Stuttgart) |
| - K. Krack (UBW München) | - F. Wicki (Stud. ETHZ) |

Alle haben sehr zum Gelingen des Projektes beigetragen!

Im Namen der Schweizerischen Geodätischen Kommission

Der Vizepräsident
F. Jeanrichard

Der Präsident
H.-G. Kahle

Préface

La géodésie spatiale a, au cours des dernières années, gagné en importance aussi dans le domaine de la détermination du champ de la pesanteur. Les résolutions prises lors de la dernière Assemblée générale de l'Union Internationale de Géodésie et Géophysique (IUGG) à Vancouver en 1987 indiquent que des efforts accrus doivent être faits pour déterminer les géoïdes nationaux avec une précision meilleure que le décimètre. Cette tâche n'est pas facile pour les pays de hautes montagnes dont les valeurs géopotentielles varient fortement. Les principales méthodes pour la détermination du géoïde proviennent, par tradition, de l'astrogéodésie et de la gravimétrie et, depuis peu, de la géodésie spatiale.

Entre 1984 et 1986, l'EPF de Zürich et la Commission Géodésique Suisse (SGK) de l'Académie Suisse des Sciences Naturelles ont entrepris pour la première fois en Suisse, avec l'appui du Fonds National (NF, un essai de détermination de coordonnées géocentriques dans un système de référence global à l'aide d'un procédé d'ondes radio émises par des satellites de navigation des E.U.). Ces travaux internationaux de recherche se sont déroulés en deux sous-projets sous les noms de SWISSDOC et ALGEDOP.

Ils ont formé la base pour le projet suivant du Fonds National que nous avons appelé ALGESTAR (Alpine Geoid by Satellite Timing and Ranging). Dans ce projet, le système GPS a été utilisé pour la détermination des altitudes. Il a été possible de déterminer en 4 jours 40 stations réparties sur toute la Suisse. Par la comparaison des altitudes ellipsoïdiques obtenues par GPS et des altitudes du réseau national de nivellement il est possible d'obtenir des informations sur le géoïde de la Suisse. On est parvenu, en un temps relativement court, à obtenir la forme du géoïde avec une précision d'env. 10 cm dans toute la Suisse. Avec la combinaison prochaine de toutes les informations à disposition sur le champ de la pesanteur (GPS, mesures astro-géodésiques, gravimétrie, modèle digital du terrain) il sera possible de discuter si le géoïde peut être déterminé avec une précision d'env. 1 cm dans la région alpine: un objectif d'intérêt international pour la décennie 1990.

Le jeu des données de base pour la détermination du géoïde par méthode spatiale, établi par M. U. Marti ing. dipl., formera une base scientifique utile pour les applications futures du GPS dans la mensuration nationale prévues par l'Office fédéral de topographie. La Commission Géodésique Suisse remercie monsieur Marti pour son engagement exemplaire et qui, une demi-année déjà après les mesures, a fourni un apport important à la mensuration nationale avec les calculs et représentations du géoïde présentés ici. Un merci également aux nombreux participants de Suisse et de l'étranger ainsi qu'aux divers instituts qui ont mis à disposition leurs récepteurs GPS avec complaisance et apporté un appui non-bureaucratique au projet ALGESTAR et dont la liste figure dans le texte allemand de la préface.

Au nom de la Commission Géodésique Suisse

Le vice-président
F. Jeanrichard

Le président
H.-G. Kahle



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Die Auswahl der Punkte	4
2.1 Kriterien für die Punktwahl	4
2.2 Gewählte Punkte.....	5
2.3 Bemerkungen über die Punktdichte	6
2.4 Tabelle der gemessenen Punkte.....	6
3. Die Messkampagne	8
3.1 Beteiligte Institutionen	8
3.2 Durchführung der Kampagne.....	9
3.3 Aufgetretene Probleme bei der Messung der Stationen	12
3.4 Erläuterungen zu den folgenden Diagrammen.....	13
4. Die GPS-Auswertung.....	18
4.1 Datenaufbereitung und Transfer	18
4.2 Bereitstellen der Satellitenbahnen.....	19
4.3 Code-Processing (Single Point)	20
4.4 Bilden der Phasen-Differenzen.....	21
4.5 Daten-Screening, Cycle-slip-Fixing.....	26
4.6 Näherungskordinaten.....	27
4.7 Meteo-Werte.....	28
4.8 Die Berechnung der Phasendifferenzlösung.....	32
5. GPS-Resultate	38
5.1 Vergleich der verschiedenen Fixpunktlösungen	38
5.2 Vergleiche einzelner Basislinien mit Resultaten anderer Kampagnen	39
5.3 Tabelle der definitiven GPS-Koordinaten mit innerer Genauigkeit.....	42
6. Die Aufbereitung der terrestrischen Höhen.....	43
6.1 Allgemeine Bemerkungen	43
6.2 Berechnung orthometrischer Höhen aus Nivellement und Schweredaten	43
6.3 Näherungsweise Bestimmung orthometrischer Korrekturen aus Massen	44
6.4 Die Alpenhebung	45
7. Die Berechnung des Geoides	47
7.1 Allgemeine Bemerkungen	47
7.2 Berechnung der Transformationsparameter	47
7.3 Geoidberechnung in den Stützpunkten.....	48
7.4 Interpolation der Geoidhöhen.....	49
8. Vergleiche mit bestehenden Geoiden der Schweiz.....	53
8.1 Vergleich mit dem astro-geodätischen Geoid von W. Gurtner.....	53
8.2 Vergleich mit dem gravimetrischen Geoid von A. Geiger	55
9. Schlussbemerkungen	57
Literaturverzeichnis.....	59



1. Einleitung

Die Kenntnis des Geoides ist eine wichtige Voraussetzung für die vollumfängliche Nutzung von GPS in der Landesvermessung. Bekanntlich werden die klassisch-terrestrischen Messungen im Erdschwerefeld ausgeführt. Für die Transformation zwischen terrestrischen und GPS-Messungen müssen die Geoidundulationen bekannt sein.

Durch den Vergleich der aus GPS resultierenden ellipsoidischen Höhen mit den Höhen der Schweizerischen Landesvermessung erhält man Informationen über das Geoid der Schweiz. Nach dieser Methode war auf Initiative von Prof. A. Marussi, Triest in den Jahren 1980 bis 1986 das Projekt ALGEDOP (Alpine Geoid Doppler Project) durchgeführt worden. Dabei sollte mit Hilfe des U.S. Navy Navigation System (NNSS) TRANSIT die Grobstruktur des Geoides der Alpen- und der Mittelmeerländer aus Dopplermessungen bestimmt werden. Im Rahmen dieses Projektes wurden von 1984 bis 1986 mit Unterstützung des Nationalfonds und der Geodätischen Kommission der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften auch 14 Punkte in der Schweiz gemessen [Wiget, Kahle, Geiger, 1986]. Diese Messungen und das daraus resultierende Geoid sind in [Geiger, Wiget, 1986] sowie in [Geiger, Müller 1987] dokumentiert. Das ALGEDOP-Projekt war eng mit der Kampagne SWISSDOC koordiniert, in dem Lagekoordinaten auf Triangulationspunkten bestimmt worden waren [Wiget, Geiger, Kahle, 1985].

Wegen der relativ geringen Genauigkeit des TRANSIT-Systems konnte die Bestimmung des Geoids allerdings nicht sehr genau durchgeführt werden (Fehler von mehr als 1 Meter dürften im Grossteil der Schweiz die Regel sein). Zudem sind wegen der geringen Punktdichte und weil mit 'direkt' beobachteten Geoidhöhen gearbeitet wurde (keine Einführung von Massenmodellen), keine Detailstrukturen im Verlauf des Geoides zu erkennen.

Das Nachfolgeprojekt zu ALGEDOP, das wir ALGESTAR (Alpine Geoid by Satellite Timing and Ranging) genannt haben, hatte zum Ziel, das erste satellitengestützte Geoid der Schweiz wesentlich zu verbessern. Um dies zu erreichen, benutzten wir das um mindestens einen Faktor 10 genauere NAVSTAR-GPS-System des U.S. Department of Defense. Durch den Einsatz von GPS wird es nun zum ersten Mal möglich sein, ein satellitengestütztes Geoid für die Schweiz zu rechnen, welches genauigkeitsmässig mit dem astro-geodätischen sowie dem gravimetrischen Geoid vergleichbar ist. Ein weiterer Vorteil von GPS gegenüber TRANSIT ist die Reduktion der Messdauer von 5 Tagen auf 4 Stunden pro Station. Somit konnte die gesamte Dauer für die Messung aller 40 ALGESTAR-Stationen auf 4 Tage beschränkt werden. Dass diese Messungen in so kurzer Zeit durchgeführt werden konnten, ist zudem zu einem grossen Teil der Beteiligung auswärtiger Institutionen zu verdanken, welche uns mit Geräten und/oder Operateuren unterstützten.

Ein weiterer Faktor, welcher die Genauigkeit gegenüber dem ALGEDOP-Geoid steigert, ist die grössere Punktdichte. Die 40 Punkte mit einem mittleren Abstand von ca 40 km ergeben einen repräsentativen Grobverlauf des Geoids über die ganze Schweiz. Die Detailstrukturen erhalten wir aus dem 500-Meter-Geländemodell der Schweiz und weiteren Massenmodellen, wie dies bereits in [Gurtner, 1978] sowie in [Marti, 1988] mit Lotabweichungsmessungen erfolgreich durchgeführt wurde. Wir werden auch hier die nach dem Abzug der Einflüsse aller bekannten Massenmodelle entstehenden Residualgeoidhöhen durch einen geeigneten Ansatz interpolieren.

Um die Geoidhöhen als Beobachtungen einführen zu können, benötigen wir neben den rein geometrisch bestimmten 3D-GPS-Koordinaten auch noch die vom Schwerepotential abhängigen orthometrischen Höhen aller GPS-Punkte. Da uns in diesem Projekt weder Zeit noch Mittel zur Verfügung standen, um die dazu nötigen Nivellements- und Schweremessungen durchzuführen, mussten wir die GPS-Messstationen auf Punkte legen, welche schon bekannte und genügend genaue Höhen aufwiesen. Besonders geeignet schienen uns zu diesem Zweck Triangulationspunkte, welche entlang der Hauptlinien des Landesnivellements liegen und an diese in den letzten Jahren angeschlossen wurden. Sie haben im Gegensatz zu den Nivellementsfixpunkten den Vorteil, dass uns auch ihre Lagekoordinaten zur Verfügung stehen und damit die zur Berechnung des Geoides im Schweizer Datum nötigen Transformationsparameter zwischen dem WGS84-System und dem System der Schweizerischen Landesvermessung auch aus den ALGESTAR-Messungen neu bestimmt werden können. Unter den auftretenden Problemen bei der Berechnung von orthometrischen Höhen aus Gebrauchshöhen sind unter anderen folgende Probleme zu nennen:

- Für die Berechnung der orthometrischen Korrektur braucht man sowohl die rohen nivellierten Höhen der Nivellements als auch die Schwerewerte entlang der Nivellementslinien bis zu einem Punkt mit bekannter orthometrischer Höhe. Nicht für alle Landesteile der Schweiz sind diese Informationen zum Zeitpunkt der Auswertung der ALGESTAR-Kampagne verfügbar.
- In gewissen Regionen der Schweiz (hauptsächlich Jura, Teile der Ostschweiz sowie einige Bündner Täler) wurde das Landesnivellement in den letzten 40 bis 50 Jahren nicht nachgemessen. Deshalb stehen nicht für alle Gegenden Triangulationspunkte mit aktuellen Höhen zur Verfügung. Der immer noch andauernde Prozess der Hebung der Alpen verursacht in diesen Zeiträumen Höhenunterschiede, welche nicht mehr vernachlässigbar sind. Die Einführung eines Modells der Hebungsraten ist zumindest zu prüfen.

Die Genauigkeit des aus GPS bestimmten Geoides lässt sich am besten durch einen Vergleich mit dem von W. Gurtner berechneten astro-geodätischen Geoid (gesamtschweizerisch das wohl immer noch beste) abschätzen. Unterschiede zu diesem sind allein eine Folge von Mess- und Interpolationsfehlern, da in beiden Auswertungen das gleiche Massenmodell verwendet wurde. Ein etwas unabhängigerer Vergleich ist mit dem neu gerechneten gravimetrischen Geoid von A. Geiger möglich. Eine Verwendung aller 3 Datensätze zu einer kombinierten Geoidbestimmung konnte in diesem Pilot-Projekt jedoch noch nicht realisiert werden. Dies bildet aber in Zukunft einen Schwerpunkt der Arbeiten an unserem Institut.

2. Die Auswahl der Punkte

Für eine GPS-gestützte Geoidbestimmung müssen für jeden Punkt 2 Höhen bekannt sein: Dies sind einerseits die aus den GPS-Messungen resultierenden ellipsoidischen Höhen und andererseits die aus terrestrischen Messungen erhaltenen orthometrischen Höhen. Die Geoidundulationen in den Messpunkten ergeben sich daraus durch einfache Differenzbildung.

2.1 Kriterien für die Punktwahl

Die Bestimmung der ellipsoidischen Höhen bildet einen Schwerpunkt des ALGESTAR-Projektes. Für die Auswahl der Punkte müssen für GPS-Messungen folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Es sollten nach Möglichkeit keine Hindernisse die direkte Visurlinie zu den Satelliten verdecken. Dies bedeutet, dass die Horizontabdeckung den Wert von 20° in der Regel nicht überschreiten sollte.
- Weil die GPS-Empfänger heute noch recht schwer sind, sollte die Station möglichst gut anfahrbar sein.

Da wir für das Projekt ALGESTAR weder Zeit noch Mittel zur Verfügung hatten, um auch die orthometrischen Höhen selbst zu bestimmen, mussten wir unsere Messstationen auf Punkte, deren orthometrische Höhen bekannt sind, einrichten. In erster Linie kamen die Fixpunkte des Schweizerischen Landesnivellements in Frage. Von diesen Punkten sind jedoch die Lagekoordinaten nie bestimmt worden. Für gleichzeitige Lageuntersuchungen werden diese aber zumindest näherungsweise benötigt. Deshalb haben wir uns entschlossen, den Grossteil unserer Stationen auf Triangulationspunkten 3. und 4. Ordnung zu setzen, die an das Landesnivellement angeschlossen sind. Dies bringt natürlich einen kleinen Verlust in der Genauigkeit der Höhe, doch dafür erhält man genügend genaue Lagekoordinaten.

Als zusätzliche Bedingungen an unsere Stationen ergeben sich somit:

- Die Messstation muss einen stabilen Untergrund aufweisen.
- Der Punkt sollte in den letzten 20 Jahren an das Landesnivellement angeschlossen worden sein.

Diese Forderungen ergeben sich auch aus dem immer noch andauernden Prozess der Alpenhebung, welcher bei grösseren Zeiträumen nicht mehr vernachlässigt werden darf. Da die Zeitbedingung nicht in allen Landesteilen erfüllt werden konnte, müssen wir eventuell eine Korrektur dieser Alpenhebung an unseren berechneten Geoidhöhen anbringen.

2.2 Gewählte Punkte

Neben den Triangulationspunkten haben wir insbesondere für Vergleichszwecke und um eine Verbindung zu den Messpunkten anderer Kampagnen herzustellen, auch Punkte anderer Art in die Messkampagne eingeschlossen:

- Um unser Netz in einem übergeordneten Netz zu lagern, wurden die 3 Punkte Zimmerwald (211), Chrischona (213) und Monte Generoso (228) des europäischen Referenznetzes (EUREF) (gemessen 1989) besetzt. Dies wird auch einen Vergleich der Genauigkeiten beider Messkampagnen erlauben., sobald die Auswertungen von EUREF vorliegen.
- Für Vergleichszwecke sind aus der GRANIT-Kampagne (1987) (bei welcher die Satellitenstation Zimmerwald in die grösseren tektonischen Einheiten der Schweiz rückversichert wurde) die Punkte Chasseral (207), Zermatt (215), Visp (216) und Lägern (221) in ALGESTAR einbezogen worden. Von den Punkten Zimmerwald und Monte Generoso sind zudem die Exzentrums-elemente zu den GRANIT-Stationen von der L+T bestimmt worden. Die beiden Punkte Visp und Zermatt sind zudem auch während des Diplomvermessungskurses 1987 gemessen worden.
- Durch die erneute Besetzung des Punktes Susten (210) sind auch die Stationen des Turtmann-Netzes mit ALGESTAR verbunden. [Rothacher et al. 1986, Geiger et al. 1986]
- Die 3 Punkte Grimsel (220), Lukmanier (225) und San Bernardino (230) sind identisch mit den Doppler-Stationen aus der ALGEDOP-Kampagne (1984-1986) [M. Müller 1989]. Von diesen Stationen liegen uns zwar keine Lage-Koordinaten vor, aber die Höhen der Bodenpunkte wurden während ALGEDOP durch Nivellieren bestimmt. Diese Punkte liefern einen guten Beitrag zu der neuen Geoidberechnung.

Weil die meisten GRANIT-Punkte und bis heute auch die EUREF-Punkte nur mit verminderter Genauigkeit zur Bestimmung des Geoides beitragen, verbleiben 35 Punkte mit nivellierten Höhen, welche mit cm-Genauigkeit zur Geoidbestimmung beitragen. Die Höhen der 5 übrigen Punkte wurden trigonometrisch bestimmt und erreichen die cm-Genauigkeit wahrscheinlich nicht. Mit vermindertem Gewicht tragen aber auch sie zur Geoidberechnung bei.

2.3 Bemerkungen über die Punktdichte

Es könnte eingewendet werden, dass die Anzahl von 40 Punkten über die ganze Schweiz zu gering ist, um die Detailstrukturen des Geoides zu bestimmen. Nun ist es aber so, dass für die Schweiz bereits einige gute Modelle der Massenverteilung an der Oberfläche und im Erdinnern existieren. Die Anteile, welche diese Massen auf das Geoid haben, können mit Hilfe des Bruns'schen Theorems berechnet werden. Falls nun diese Einflüsse von den 'beobachteten' Geoidundulationen subtrahiert werden, entsteht ein Residualfeld, welches einen relativ ruhigen Verlauf zeigt. Dieses kann nun auch über grössere Gebiete leicht interpoliert werden. Das Geoid erhält man danach durch Addition der Anteile der Modellmassen. Dies entspricht der in der Schweiz bereits mehrfach bewährten Remove-Restore-Technik, wie es zum Beispiel von Gurtner (1978) oder Marti (1988) bei Geoidbestimmungen aus Lotabweichungsmessungen erfolgreich angewendet wurde. Mit ihr gelingt es, detaillierte Geoidformen auch aus relativ wenigen Messungen zu berechnen.

Aus demselben Grund ist es auch nicht nötig, in den Alpenregionen eine grössere Punktdichte zu wählen als im Mittelland. Der Einfluss der bewegten Topographie wird durch Massenmodelle zum grössten Teil erfasst.

2.4 Tabelle der gemessenen Punkte

An dieser Stelle soll nur eine Liste der im Netz enthaltenen Punkte dargestellt werden. Eine Übersichtsskizze ist Abb.1 zu entnehmen. Neben den Landeskoordinaten steht für die Triangulationspunkte die Nummer der Landeskarte und die für dieses Kartenblatt gültige fortlaufende Numerierung der Punkte. Für die übrigen Punkte ist der Name der Kampagne angegeben, in welcher sie gemessen wurden.

Nr	Name	Y	X	Höhe	Punktbezeichnung L+T
201	Versoix	502350.00	125548.29	373.32	LK1281 252
202	Allaman	519392.97	147156.97	420.52	LK1242 249
203	Les Verrieres	531613.68	201543.13	1054.67	LK1162 805
204	Estavayer	556732.20	188115.80	488.07	LK1184 319
205	Forclaz	566803.85	106419.78	1061.37	LK1324 811
206	Albeuve	570189.11	150195.39	806.25	LK1245 135
207	Chasseral	571096.95	220267.86	1597.68	GRANIT-Punkt
208	Montignez	571760.03	260010.25	438.86	LK1135 129
209	Delémont	592358.96	244515.33	423.59	LK1086 351
210	Susten	616048.68	127958.02	676.46	TURT8 (Turtmann-Netz)
211	Zimmerwald	602030.68	191775.03	907.10	EUREF-Punkt Nr. 56
212	Burgdorf	614428.15	210481.74	542.68	LK1147 635
213	Chrischona	617306.25	268507.28	456.07	EUREF-Punkt Nr. 55
214	Kandersteg	617613.73	148678.62	1207.41	LK1247 742
215	Zermatt	623706.73	96020.41	1687.58	Niv.405 G12 (Zermatt.GPS 1987)
216	Visp	634005.91	126709.34	652.41	Niv.369 G2 (Visp.GPS 1987)
217	Reiden	639044.13	232131.44	456.95	LK1109 035
218	Brienz	646700.87	177636.12	565.34	LK1209 416
219	Horw	666263.12	207075.17	436.77	LK1150 566
220	Grimsel	669100.00	157230.00	2170.70	ALGEDOP 75
221	Lägern	672525.09	259423.96	852.96	GRANIT-Punkt
222	Altdorf	690779.61	190960.23	477.90	LK1192 104BP
223	Stetten	690850.69	288484.31	588.87	LK1032 006
224	Wollerau	697717.01	228002.66	513.14	LK1132 311BP
225	Lukmanier	704370.00	157720.00	1944.30	ALGEDOP 67.2
226	Wängi	712962.51	261577.76	486.48	LK1073 224
227	Dornhaus	720963.82	201157.66	593.45	LK1173 613
228	Monte Generoso	722649.14	87787.85	1692.65	EUREF-Punkt Nr. 58
229	Bellinzona	722418.26	118449.33	232.42	LK1313 008
230	San Bernardino	733050.00	150920.00	2079.16	ALGEDOP 67.1
231	Walenstadt	745131.31	218210.06	439.03	LK1135 135
232	Romanshorn	745582.93	271015.21	398.75	LK1055 104
233	Cazis	751443.89	180362.98	626.36	LK1215 120
234	Landquart	761731.48	203368.15	526.87	LK1176 085
235	Au	765933.35	254777.68	404.27	LK1076 228
236	Bivio	774277.55	148737.23	2147.65	LK1256 033
237	Brusio	804942.16	128082.44	965.14	LK1298 094
238	Lavin	803822.05	182936.61	1441.98	LK1199 S.A.420
239	Martina	827445.72	193499.28	1092.64	LK1199 141
240	Sta. Maria	828943.59	165778.88	1373.24	LK1239 233

3. Die Messkampagne

Die Messungen für das Projekt ALGESTAR wurden vom 27.-31. August 1989 durchgeführt. Durch den Einsatz von 16 WM102 Empfängern konnten die 40 Punkte in 4 Tagen gemessen werden.

3.1 Beteiligte Institutionen

Unterstützt wurden wir bei den Messungen von folgenden Firmen/Instituten:

- Firma WILD / Heerbrugg
- C.-H. Aeschlimann SA / Genève
- Institut de Géodésie et de Mesuration, EPF Lausanne
- Geodätisches Institut der Universität Stuttgart
- Institut für Allgemeine Geodäsie der Universität der Bundeswehr München
- Institut für Höhere Geodäsie der Technischen Universität Berlin
- Geodätisches Institut der Universität Karlsruhe

Art der Unterstützung :	EPFL Lausanne	2 Empfänger	2 Operateure
	Aeschlimann, Genève	3 Empfänger	1 Operateur
	WILD Heerbrugg	1 Empfänger	0 Operateure
	TU Berlin	2 Empfänger	1 Operateur
	Uni Karlsruhe	1 Empfänger	2 Operateure
	Uni BW München	2 Empfänger	2 Operateure
	Uni Stuttgart	2 Empfänger	2 Operateure

Wir danken allen am Gelingen dieser Kampagne beteiligten Personen für ihren geleisteten Einsatz und hoffen auf weitere gute Zusammenarbeiten.

Des weiteren danken wir den Kollegen vom Astronomischen Institut der Uni Bern (AIUB), dass sie uns die Infrastruktur in der Sternwarte Zimmerwald zur Verfügung gestellt haben und somit eine optimale Koordinationsstelle während den Messungen vorhanden war.

3.2 Durchführung der Kampagne

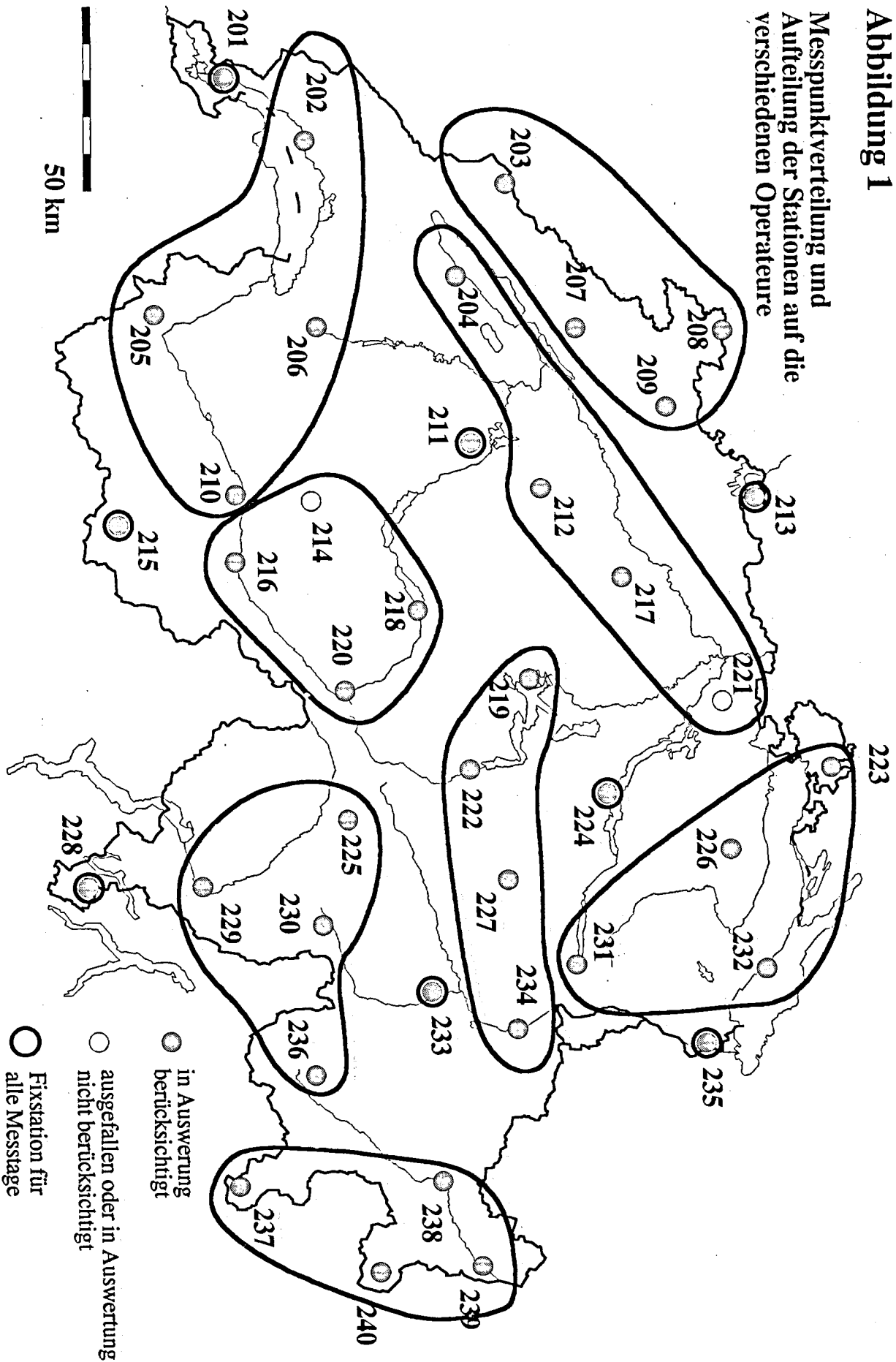
Das Konzept bei der Durchführung der Messungen kann durch folgende kurze Bemerkungen zusammengefasst werden:

1. Die Messdauer betrug pro Messtag 4 Stunden. Dies entspricht etwa der Zeitspanne, während welcher sich in Mitteleuropa mindestens 4 Satelliten gleichzeitig deutlich über dem Horizont befinden.
2. 8 der 40 Stationen werden an allen 4 Tagen beobachtet. Im Folgenden werden sie als Fixpunkte bezeichnet. Diese Stationen sind möglichst gleichmässig über das ganze Messgebiet verteilt. Sie sind entweder leicht anfahrbar oder es gibt in unmittelbarer Nähe eine Übernachtungsmöglichkeit. Bei einem Ausfall einer der übrigen Stationen wird eine der Fixstationen am letzten Tag nicht besetzt. Der Betreuer dieser Station misst dann eine der ausgefallenen Stationen.
3. Die übrigen 32 Stationen werden jeweils nur an einem Tag gemessen. Jeder Operateur, welcher diese Stationen betreut, muss somit jeden Tag zum nächsten Punkt umsetzen. Um die Reisezeiten, und somit auch die Benzinkosten, in Grenzen zu halten, wurden jedem Operateur 4 Punkte in einem möglichst kleinen geographischen Raum zugeteilt. Gegenüber einem Konzept, bei welchem jedem Messtag ein möglichst kleines Gebiet zugeordnet wird, hat dies den Vorteil, dass die ganze Messanordnung homogener ist und sich somit mögliche Verkippungen der GPS-Lösung an einzelnen Messtagen weniger gravierend auf die Gesamtlösung aller 4 Tage auswirken. Als Nachteile sind zu nennen, dass die durchschnittliche Länge einer Basislinie vergrössert und die Kommunikation zwischen den einzelnen Operateuren erschwert wird.

Auf den nächsten beiden Seiten (Abb.1 und Abb.2) ist der Ablauf der Messkampagne und die Aufteilung der Punkte auf die verschiedenen Operateure sowohl in einer Übersichtskarte als auch in Tabellenform dargestellt.

Abbildung 1

Messpunktverteilung und
Aufteilung der Stationen auf die
verschiedenen Operateure



Durchgeführte Messungen ALGESTAR

Gruppen Nr.	Messprogramm (Punktnummern)				Gerät	Operateur
	Tag 1 28. Aug.	Tag 2 29. Aug.	Tag 3 30. Aug.	Tag 4 31. Aug.		
1	211	211	211	211	ETH 175	U. Marti
2	201	201	201	201	GES 101	C. Aeschlimann
3	213	213	213	213	TUB 317	F. Wicki
4	215	215	215	215	GES 102	M. Coccard
5	224	224	224	220	ETH 166	M. Bohren
6	228	228	228	228	TUB 173	J. Reinking
7	235	235	235	235	UBW 126	K. Krack
8	233	233	233	233	US 208	J. Siegerstetter
9	202	206	205	210	EPF 183	I. Sancho
10	208	209	203	207	EPF 256	L. Huguenin
11	204	212	217	221	THK 122	S. Schödl
12	216	- - -	218	- - -	US 224	H. Fischer
13	223	226	232	231	UBW 127	B. Scherer
14	219	222	227	234	THK 138	J. Haas
15	225	229	230	236	ETH 164	A. Oswald
16	239	240	238	237	GES 105	F. Ettlin

Abbildung 2

3.3 Aufgetretene Probleme bei der Messung der Stationen

3.3.1 Erster Messtag

- Am 1. Tag sind nur sehr wenige Messungen vom Punkt Chrischona vorhanden. Zu Beginn gab es Probleme mit dem Antennenanschluss. Nach gut einer Stunde Messzeit klappte die Stromversorgung nicht mehr.
- Probleme mit der Stromversorgung gab es an diesem Tag auch in Visp (Pt. 216). Dies führte zu einem Unterbruch in den Daten von ca 40 Minuten. Bei der Auswertung zeigte sich später, dass die Messungen vor diesem Unterbruch nicht verwendet werden können.
- Der Unterbruch in den Daten von Stetten (Nr. 223) ist darauf zurückzuführen, dass die Daten von diesem Zeitraum nicht von Kassette eingelesen werden konnten.

3.3.2 Zweiter Messtag

- Am 2. Tag konnte wegen Schneetreibens der Punkt Grimsel (Nr. 220) nicht besetzt werden.
- Die Punkte Cazis (Nr. 233) sowie Burgdorf (Nr. 212) zeigen Datenlücken. Dies ist ein Folge von Schwierigkeiten beim Abspeichern der Messdaten auf die Daten-Kassetten.
- Später zeigte sich, dass in Burgdorf auf dem falschen Punkt beobachtet wurde. Die Koordinatendifferenzen zum Triangulationspunkt wurden zu einem späteren Zeitpunkt bestimmt.

3.3.3 Dritter Messtag

- Am 3. Tag gab es auf den Stationen Zermatt (Nr. 215), Cazis (Nr. 233) und Reiden (Nr. 217) zum Teil grössere Unterbrüche wegen Problemen mit den Daten-Kassetten.
- Der Unterbruch auf der Station San Bernardino (Nr. 230) ist auf Batterieschwierigkeiten zurückzuführen.
- Der Empfänger auf der Station Chrischona (Nr. 213) stellte ab und konnte nicht wieder neu gestartet werden.
- Auf den meisten Stationen fiel am 3. Tag der Satellit Nr. 9 aus.

3.3.4 Vierter Messtag

- Am 4. Tag wurde der Empfänger in Zimmerwald (Nr. 211) zu spät gestartet.
- In Versoix (Nr. 201) und in Cazis (Nr. 233) traten die Probleme bei der Beschriftung der Datenkassetten erneut auf.
- Auf der Station Lägern (Nr. 221) fiel während einem grossen Teil der Zeit die Frequenz L2 völlig aus. Zudem gab es auch hier Kassettenprobleme.
- In Kandersteg (Nr. 214) konnte der Empfänger nicht aufgestartet werden, so dass diese Station total ausfiel.
- Anstelle der Fixstation Wollerau (Nr. 224) wurde am 4. Tag der am 2. Tag ausgefallene Punkt auf der Grimsel gemessen.

3.4 Erläuterungen zu den folgenden Diagrammen

Einen groben Gesamtüberblick über die Qualität der Messungen kann man aus den Abbildungen 3 bis 6 auf den nächsten 4 Seiten gewinnen. Dort sind getrennt für jeden Messtag die Beobachtungsdauer mit der Anzahl der gemessenen Satelliten pro Minute aufgetragen. Dabei entspricht die gesamte Dicke des Balkens der Anzahl der beobachteten Satelliten. Oberhalb der Mittellinie ist dabei der Teil der Satelliten aufgetragen, bei welchem auf beiden Frequenzen Signale empfangen wurden. Schwarze Bereiche unterhalb der Mitte zeigen einen Datenverlust auf der L2-Frequenz an. Besonders auffällig ist in dieser Beziehung der Punkt Lägern (LAEG), welcher am 4. Tag gemessen wurde. Zunächst erkennt man sehr häufige Datenverluste auf der L2-Frequenz. Später konnte nur noch auf der L1-Frequenz gemessen werden. Diese Messungen können nicht mehr mit dem Standardverfahren ausgewertet werden.

Besonders störend wirken sich bei der Auswertung auch Messunterbrüche aus, in welchen kein einziger Satellit beobachtet werden konnte. Bei den Berechnungen zeigten sich die grössten Probleme vor allem bei Punkten mit grossen Lücken (z. B. Visp, Cazis, San Bernardino). Auch diese sind in den Grafiken deutlich erkennbar.

Abbildung 3 1. Messtag Montag 28. 8. 1989

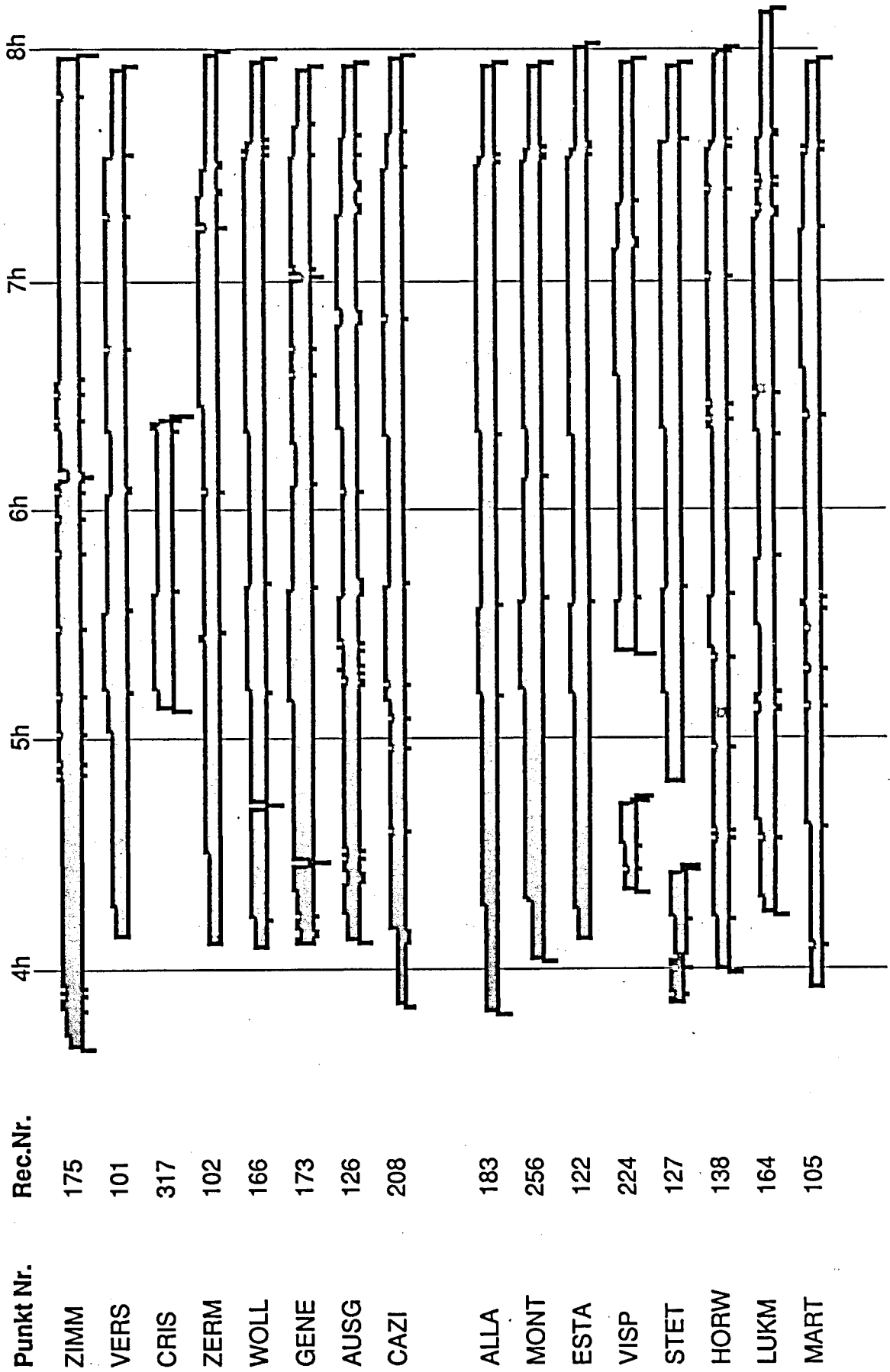


Abbildung 4 2. Messtag Dienstag 29.8.1989

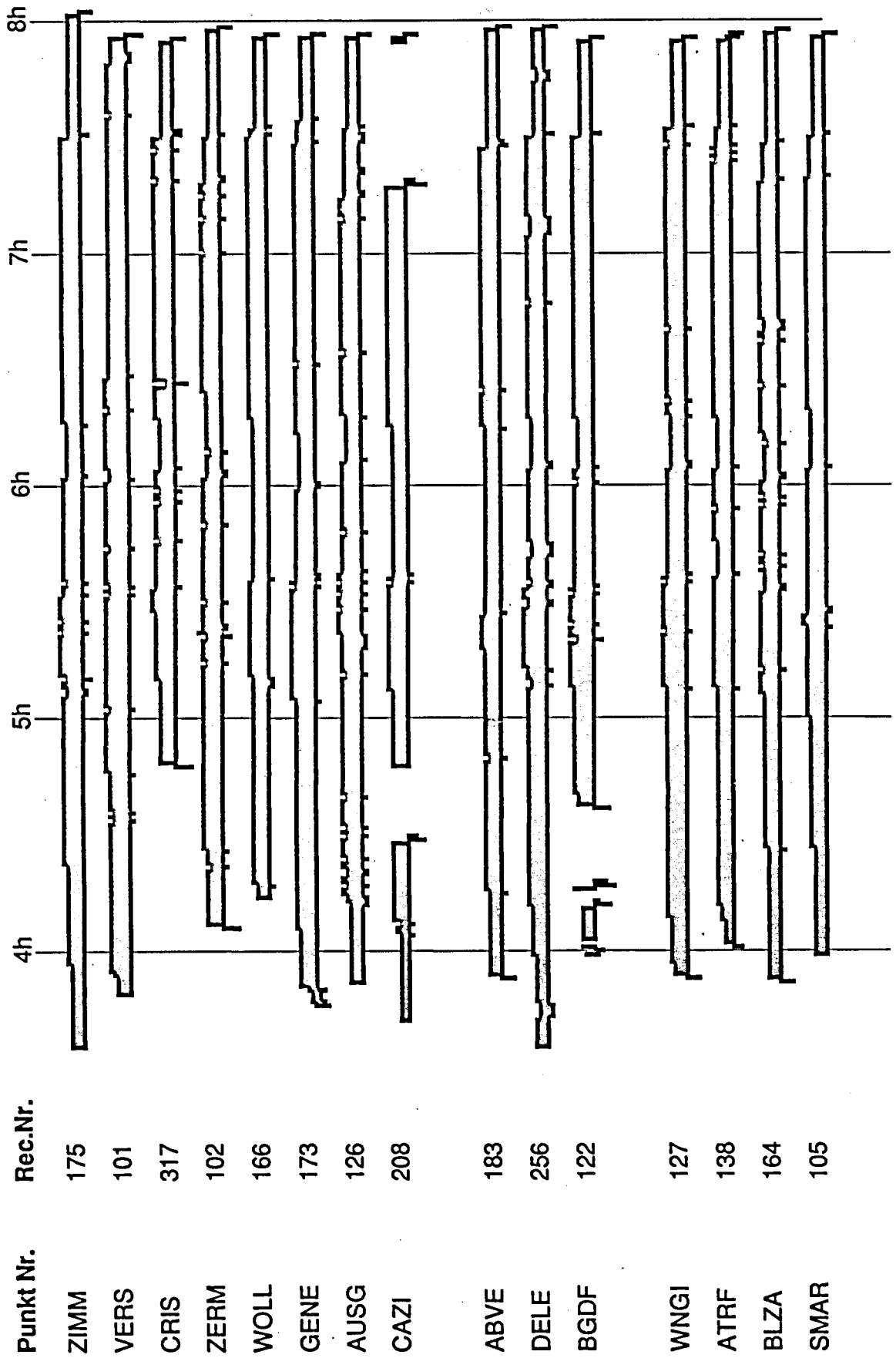


Abbildung 5 3. Messtag Mittwoch 30.8.1989

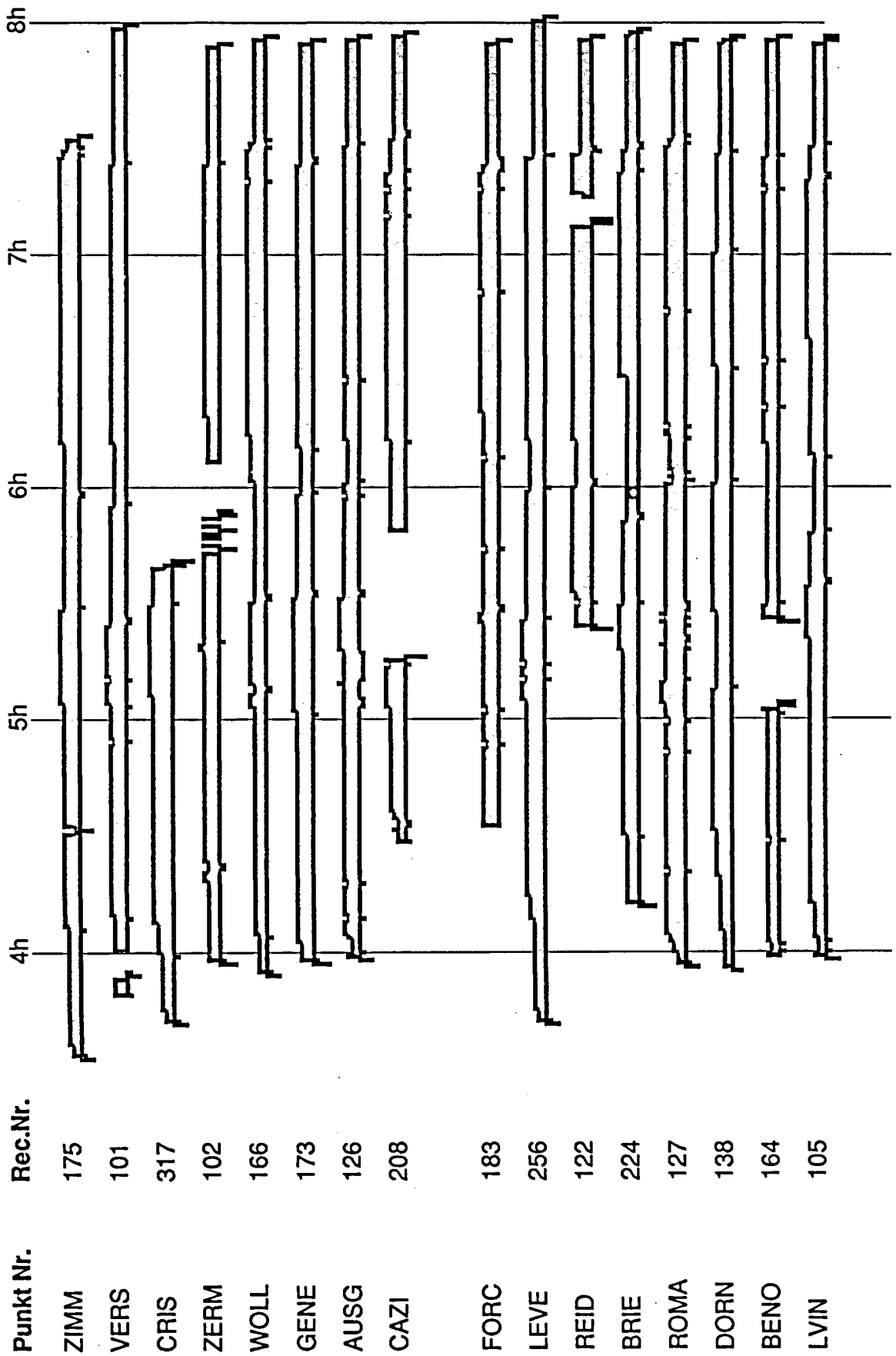
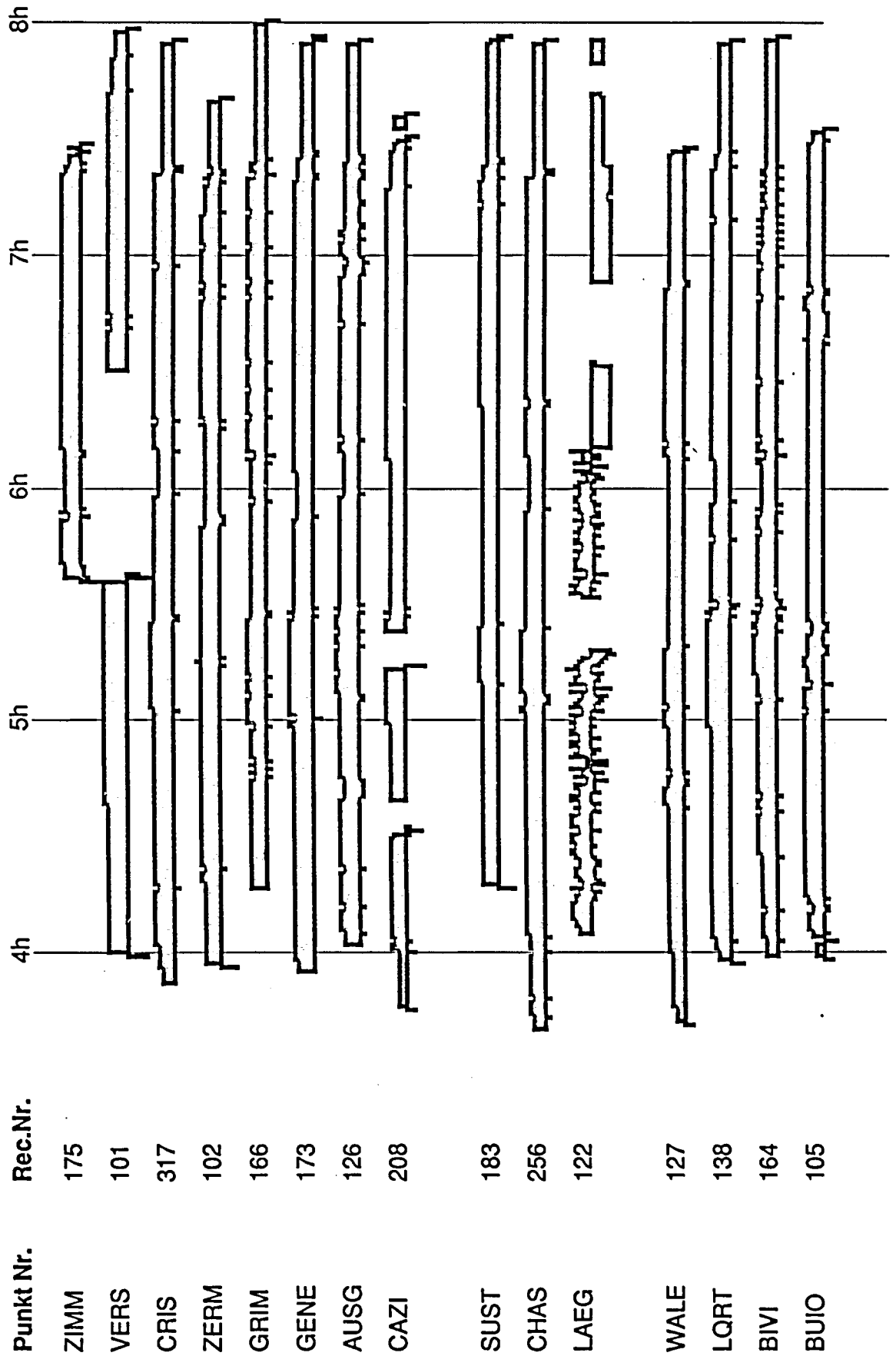


Abbildung 6 4. Messtag Donnerstag 30.8.1989



4. Die GPS-Auswertung

Die 39 gemessenen Stationen wurden für die Auswertung in 5 Gruppen unterteilt. Nämlich in die sogenannten Fixpunkte, welche an mehreren Tagen gemessen wurden, sowie in 4 weitere Gruppen für die restlichen Punkte des jeweiligen Messtages. In den ersten Schritten für die Auswertung (Transfer-, Orbit- und Preprocessing-Teil) ist diese Unterteilung jedoch noch ohne Belang.

4.1 Datenaufbereitung und Transfer

Die WM-102 Rohdaten wurden von den Kassetten mit dem Programm WMTRANSFER von M. Cocard direkt vom Empfänger auf einen MS-DOS Personal-Computer überspielt. In 80 % aller Files war diese Überspielung problemlos. Bei lückenhaften Aufzeichnungen versagte jedoch diese recht schnelle Methode oft. Deshalb musste für den Rest der Daten die sehr langsame, dafür aber zuverlässige Übertragung vom Kassettenlesegerät (MEMTEC) auf den PC angewendet werden.

Zur Konvertierung der WM-Rohdaten in die für die Auswerte-Programme (Bernese GPS-Software Version 3.1) des AIUB (Astronomisches Institut der Universität Bern) [Rothacher et al 1988] benötigten RINEX-Files, müssen diese Files zunächst in die PoPS-Datenbank eingelesen werden. Dort werden die für die Konvertierung benötigten Site-Measurement-Files, welche die Code- und Phasenmessungen enthalten, sowie die SATNAV-Files (diese enthalten Informationen über die Satellitenbahnen) erzeugt. Diese Dateien können anschliessend mit einem Programmsystem des AIUB in das international als Transfer-Format anerkannte RINEX-Format umgerechnet werden. Nach diesem Vorgang liegt nun für jede Messession ein RINEX-File vor, welches die Code- und Phasenmessungen enthält. Zudem enthält ein weiteres File die Ephemeriden aller für die Messungen verwendeten Satelliten.

Diese RINEX-Files, welche reine Text-Dateien sind, wurden nun auf die VAX des Rechenzentrums der ETH (ehemalige ZIR-VAX) überspielt.

Nun ist noch die Umformatierung vom RINEX-Format in das binäre Format, wie es in den Auswerte-Programmen des AIUB benötigt wird, durchzuführen. Nach diesem Vorgang liegen uns für jede Session pro Station 4 Dateien vor. Diese enthalten jeweils getrennt für die Code- und Phasenbeobachtungen ein File mit den eigentlichen Beobachtungen und ein File mit Zusatzinformationen (die sogenannten Header-Files). Nun kann mit der eigentlichen Auswertung begonnen werden.

4.2. Bereitstellen der Satellitenbahnen

Mit den beiden Programmen TABORB und DEFSTD werden die Kepler-Elemente der Satellitenbahnen aus den Broadcast-Ephemeriden mit einem Polynom-Ansatz gerechnet. Dabei kann einem beliebigen Zeitraum ein Bogen mit den 6 Bahnelementen zugewiesen werden. Empfohlen werden vom AIUB Bögen in der Länge von 3-5 Tagen. So machte ich erste Versuche mit einem einzigen Bogen über die ganze Messperiode von 4 Tagen. Dabei zeigte sich jedoch, dass die Residuen des gerechneten Bogens gegenüber den Broadcast-Ephemeriden zum Teil sehr starken täglichen systematischen Schwankungen unterworfen sind. Insbesondere der sich auf die Auswertungen besonders schwerwiegend auswirkende Fehler entlang der Bahn betrug bei Satellit Nr. 9 am 4. Tag mehr als 40 m. Satellit 8 zeigte am 3. und 4. Tag in den beiden anderen Komponenten Interpolationsfehler von über 30 m. Deshalb entschloss ich mich zur Einführung von einem Bogen pro Messtag. Dadurch konnten die Residuen der Standardorbits gegenüber den Broadcast-Ephemeriden in der Regel auf unter einen Meter gedrückt werden. Einzig in der Along-Track-Komponente des Satelliten 12 treten noch Residuen von bis zu 5 Metern auf. Diese Bahnen können fürs Erste als Näherungen für die Auswertung verwendet werden. Später im Programmablauf können sie als Unbekannte wieder neu einer Ausgleichung unterzogen werden.

Für Satellit 8 lagen für die ersten beiden Messtage keine Broadcast-Ephemeriden vor. Deshalb konnten für diese beiden Tage keine Standard-Orbits bestimmt werden. Dies bedeutet aber auch, dass in diesem Zeitraum keine Messungen dieses Satelliten ausgewertet werden können. Später in der Auswertung zeigte es sich, dass auch die Messungen der Tage 3 und 4 zu Satellit 8 keine brauchbaren Resultate zeigten. Deshalb wurden für diesen Satelliten überhaupt keine Standard-Orbits gerechnet.

Zudem fiel am 3. Messtag Satellit 9 für den Grossteil der Empfänger aus, so dass an diesem Tag nur noch Messungen zu total 5 Satelliten vorliegen und somit an diesem Tag mit schlechteren Ergebnissen zu rechnen ist.

4.3. Code-Processing (Single Point)

Die Auswertung der Code-Messungen geschieht mit dem Programm CODSP. Als Resultat erhält man geozentrische Koordinaten im WGS84-System, welche auf etwa 5m genau stimmen. Diese können im weiteren Programmablauf als Näherungskordinaten verwendet werden. Die mittleren Fehler der Single-Point-Lösungen sind in der folgenden Tabelle empfängerweise zusammengestellt. Dort erkennen wir, dass die Genauigkeit vom verwendeten Empfänger abhängt. Die berechneten Koordinaten sind in diesem Bericht nicht enthalten.

	Tag 1	Tag 2	Tag 3	Tag 4	
Geräte	Punkt Nr. sigma0	Punkt Nr. sigma0	Punkt Nr. sigma0	Punkt Nr. sigma0	Mittel
175	211 6.44	211 26.21	211 19.76	211 5.79	14.55
101	201 16.68	201 31.76	201 26.59	201 13.87	22.23
317	213 2.89	213 6.51	213 5.54	213 10.41	6.34
102	215 21.44	215 7.67	215 4.06	215 6.49	9.92
166	224 24.30	224 19.17	224 22.22	220 11.62	19.33
173	228 9.67	228 12.35	228 4.75	228 5.66	8.11
126	235 9.31	235 8.40	235 5.92	235 6.69	7.58
208	233 21.89	233 24.69	233 14.68	233 19.64	20.23
183	202 9.34	206 6.36	205 8.14	210 5.17	7.25
256	208 6.96	209 15.96	203 16.46	207 16.44	13.96
122	204 6.55	212 9.43	217 10.37	221 15.27	10.41
224	216 5.86	— —	218 10.04	— —	7.95
127	223 6.23	226 13.70	232 13.88	231 12.54	11.59
138	219 5.59	222 6.13	227 7.65	234 5.01	6.10
164	225 17.31	229 22.21	230 20.59	236 12.79	18.23
105	239 12.09	240 24.75	238 24.91	237 20.14	20.47

Tages-Mittel	11.41	15.69	13.47	11.17	12.80
--------------	-------	-------	-------	-------	-------

Als weiteres Resultat liefert CODSPS eine Reihenentwicklung für den Gang der internen Uhr des Empfängers. Dieser Schritt ist in dieser Phase bereits sehr wichtig, da die Uhrparameter im weiteren Ablauf des Auswerteverfahrens nicht mehr mit derselben Genauigkeit geschätzt werden können.

Die Berechnung der Single-Point-Lösungen war in den Fällen problematisch, wo der Empfänger während der Messungen abgestellt wurde, oder wo ein Unterbruch in den Messdaten von mehr als 15 Minuten vorkam. In diesen Fällen war es nötig, die Berechnung der Code-Lösung nur mit einem Teil der Messungen durchzuführen. In 2 Fällen mussten die Messungen in mehrere Teil-Files unterteilt werden, weil die Uhr-Informationen bei einem Unterbruch verloren gehen.

4.4. Bilden der Phasen-Differenzen

Bei der Bildung der Phasen-Differenzen, welche pro Basislinie 2 Files (wiederum Beobachtungen und Zusatzinformationen) erzeugen, wurde nach folgenden Kriterien vorgegangen:

1. Die Fixpunkte sollten direkt untereinander verbunden werden. Dabei wurden in der Regel alle Basislinien mit dem Punkt 211 (Zimmerwald) gebildet. Die längste so entstehende Basislinie (Zimmerwald - Au) beträgt ca. 175 km). Einzig am 4. Tag war eine Änderung dieses Konzeptes nötig. Der Grund war ein Datenausfall von 90 Minuten in Zimmerwald. An diesem Tag wurden die Basislinien so gebildet, dass die Distanzen möglichst kurz wurden.
2. Diejenigen Stationen, welche nur an einem Tag gemessen wurden, wurden an denjenigen Fixpunkt angeschlossen, welcher am nächsten liegt und zudem durchgehend fehlerfreie Messungen lieferte. Da einige Fixpunkte unter diesem Gesichtspunkt als Ausfälle zu betrachten waren, mussten Basislinien von bis zu 70 km eingeführt werden.

Die einzelnen gebildeten Basislinien sind getrennt für jeden Messtag in den folgenden 4 Abbildungen 7 bis 10 dargestellt.

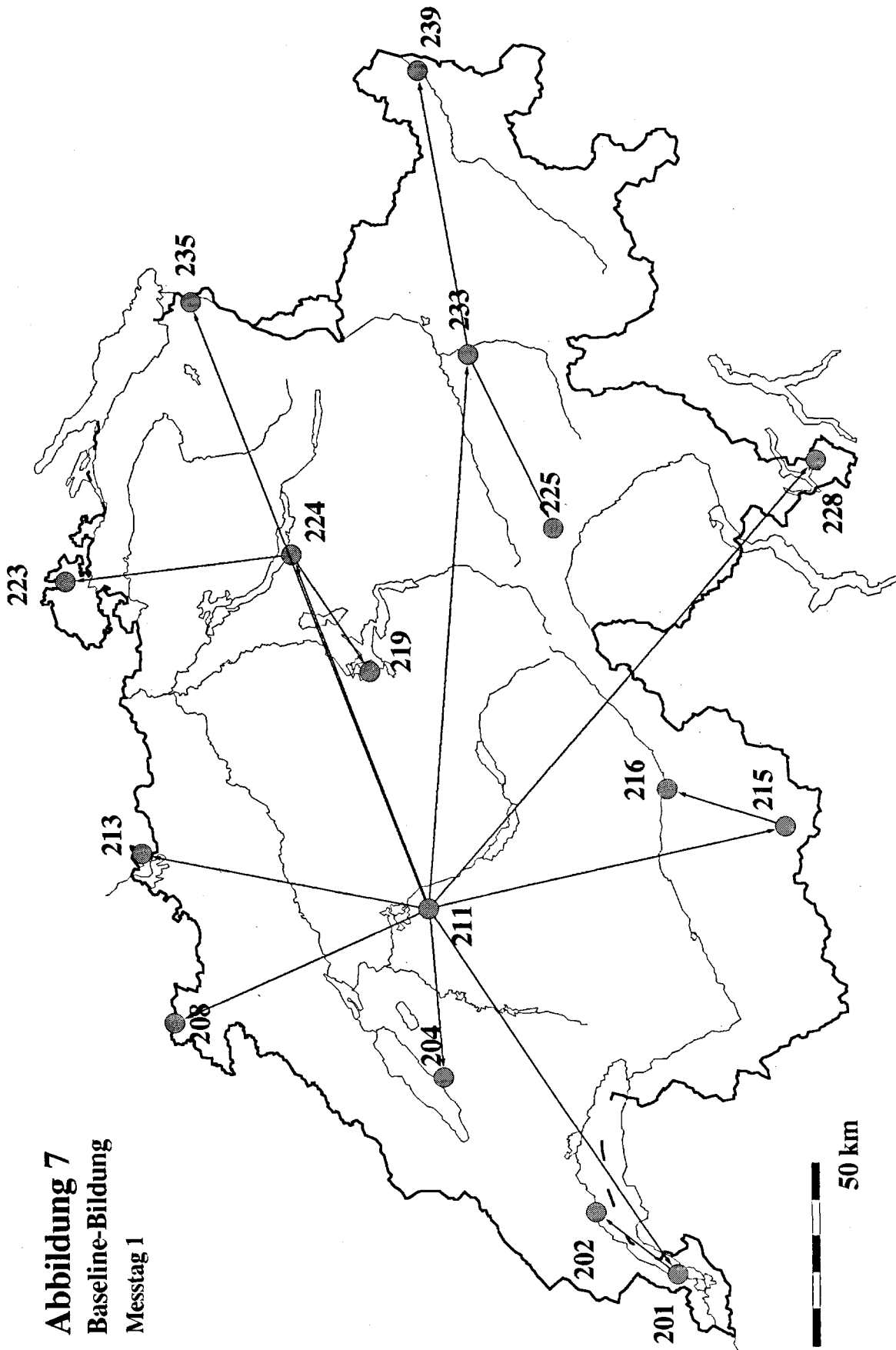


Abbildung 7
Baseline-Bildung
Messtag 1

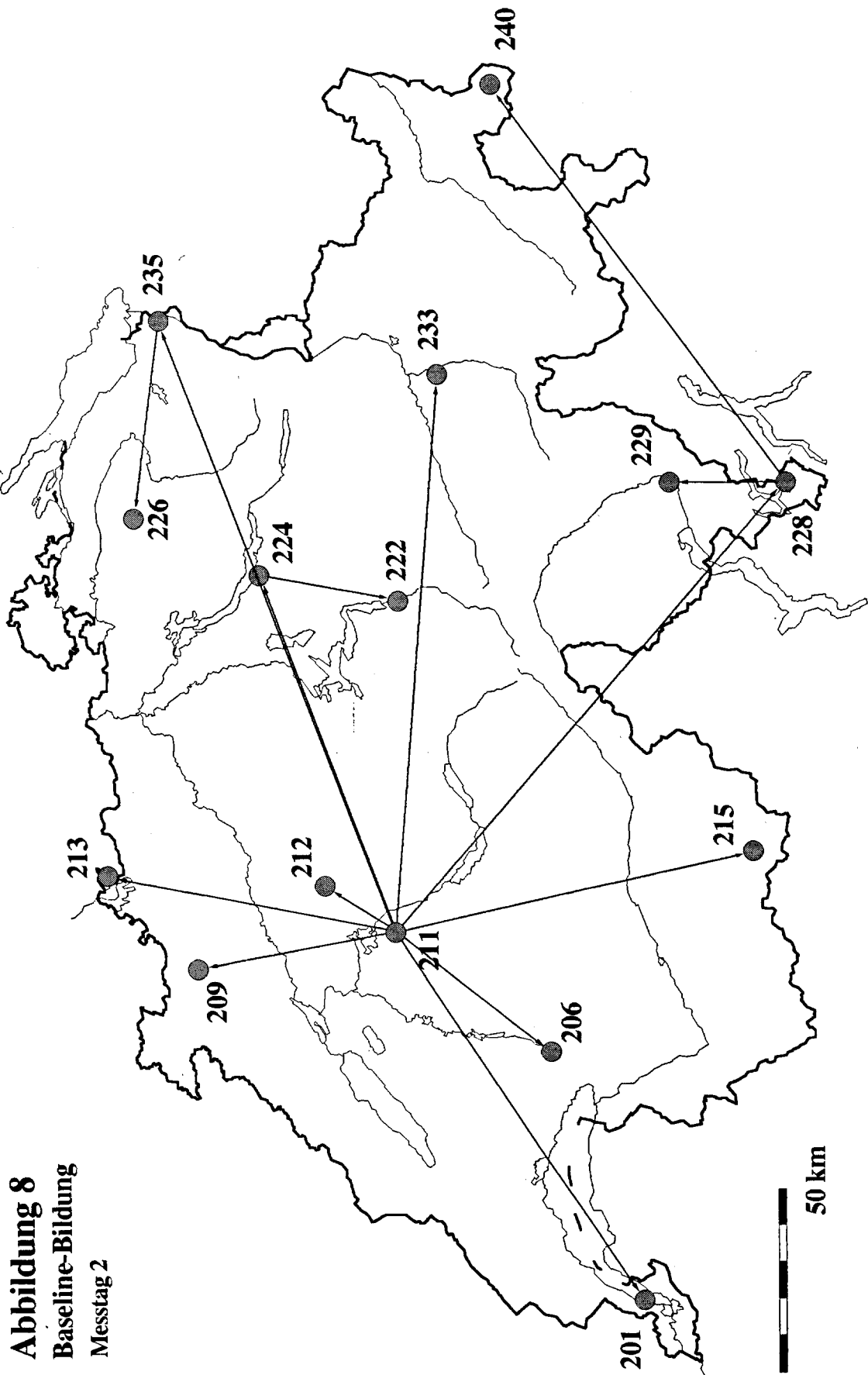


Abbildung 8
Baseline-Bildung
Messtag 2

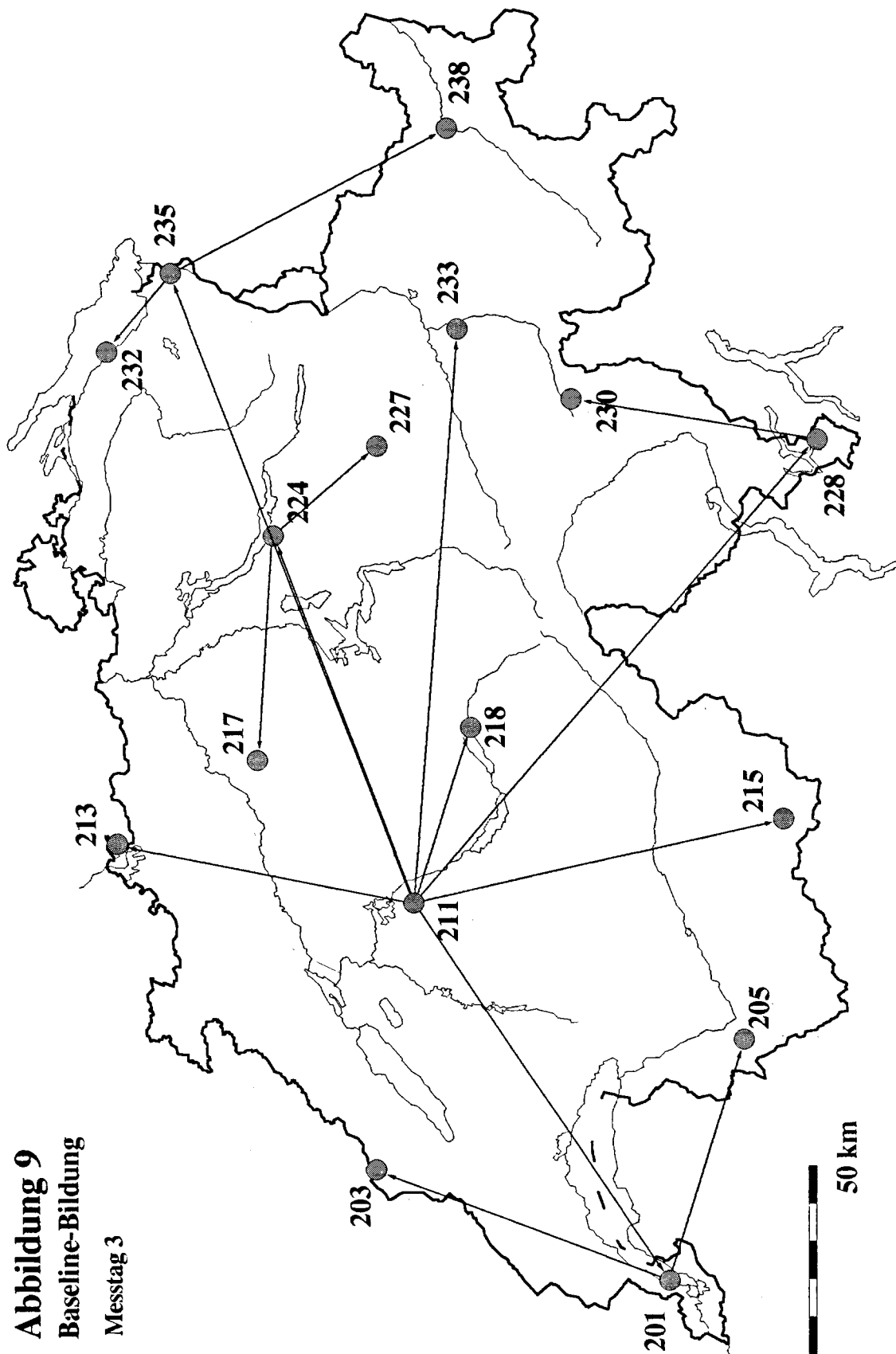


Abbildung 9
Baseline-Bildung
Messtag 3

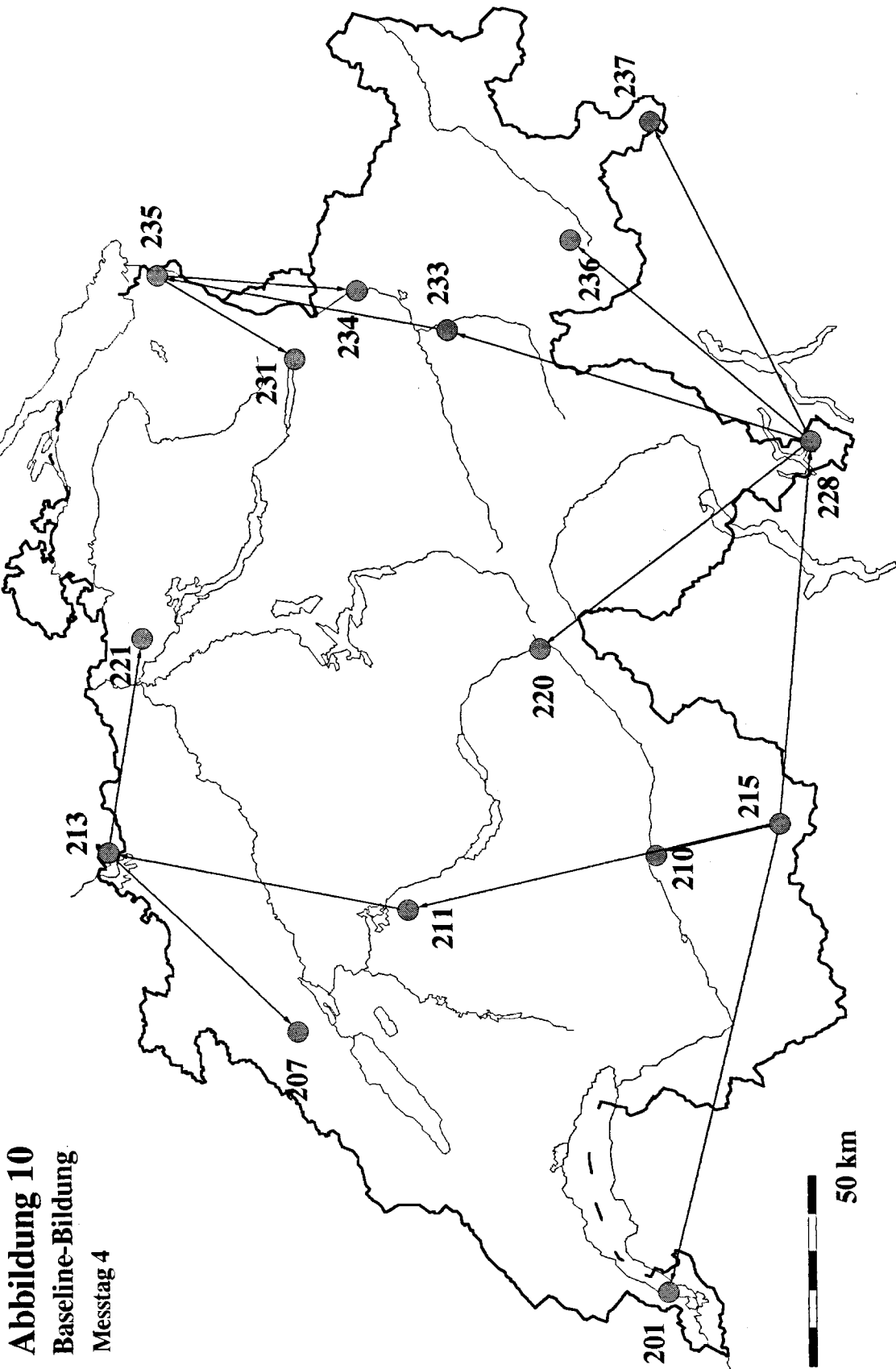


Abbildung 10
Baseline-Bildung
Messtag 4

4.5 Daten-Screening, Cycle-slip-Fixing

Die umfangreiche Arbeit des Data-Screening der Single-Difference-Files wurde mit dem Programm OBSTST durchgeführt. Nach dem Durchlaufen dieses Programmes müssen die einzelnen Basislinien in allen auszuwertenden Frequenzen oder Frequenzkombinationen (L1, L2, L3, L5) frei von Cycle-slips sein, um aus den Phasendifferenzmessungen ein sinnvolles Resultat zu erhalten. Standardmässig bin ich dabei folgendermassen vorgegangen:

Als erstes wurde die L1-Frequenz bearbeitet und alle aufgrund der Triple-Differenz-Lösung detektierten Cycle-Slips wurden als solche akzeptiert. Beobachtungen wurden in dieser Phase des Screenings nur eliminiert, wenn die Residuen der Triple-Differenz grösser als 3 mal den mittleren Fehler aller Beobachtungen und gleichzeitig den absoluten Wert von 0.3 Cycles überschritt. Das gleiche Verfahren wurde anschliessend für die Frequenz L2 angewendet. Beim Screening der L3-Frequenz wurde gleichzeitig nach L1- und L2-Slips gesucht. Jedoch wurden in diesem Stadium die detektierten Slips nicht mehr als solche akzeptiert, sondern es wurde versucht, diese durch Streichen von Beobachtungen zu eliminieren. Dies gelang in der Regel, falls nicht ein Satellit für mehrere Minuten keine Messungen lieferte. In diesen Fällen jedoch habe ich zum Teil auch grössere Messperioden (einige 10 Min) gestrichen. Dies war für mich der einzige Weg, um sicher zu sein, dass ich keinen Cycle-Slip in die weiteren Berechnungen mitschleppte. Die L5-Frequenz wurde nicht gescreent, denn es hat sich bald gezeigt, dass, wenn die übrigen Frequenzen frei von Slips sind, dies auch für L5 der Fall ist.

Nach Half-Cycles wurde nie gesucht, obwohl es bei einigen Basislinien zum Teil wirklich nach solchen aussah. Aber auch hier habe ich eher einmal einige Messungen zu viel gestrichen, als einen Half-Cycle einzuführen.

4.6 Näherungskordinaten

Als Näherungskordinaten wurden für alle Punkte die Single-Point Lösungen eingeführt. Es zeigte sich nach der Auswertung, dass diese alle besser als 10 m mit den Phasendifferenz-Lösungen übereinstimmten.

Für die absolute Lagerung der Gesamtlösung konnte nur der Punkt Zimmerwald (Nr. 211) verwendet werden, da die Auswertung der EUREF-Kampagne zum Zeitpunkt meiner Berechnungen noch nicht vorlag. Deshalb habe ich die Gesamtlösung an den Koordinaten des Laserpunktes in Zimmerwald fixiert. Verwendet wurden dabei das Mittel aller Lösungen des DUT/AEROSPACE vom Juli 1989. Diese differieren untereinander im Maximum um 10 cm. Zudem zeigen sie eine gute Übereinstimmung mit anderen Lösungen anderer Institutionen (IfAG 1986, NASA 1987, DUT/FOG 1989).

Für die Berechnung der Lagerungspunkte in Zimmerwald wurden folgende Daten verwendet:

Geoz. Koord. der Laserstation (DUT/AEROSPACE 1989) :

$$X = 4331283.650 \quad Y = 567549.490 \quad Z = 4633139.810$$

Landeskoordinaten der Laserstation :

$$y = 602026.489 \quad x = 191789.770 \quad h = 902.063$$

Landeskoordinaten der GPS-Station :

$$y = 602030.677 \quad x = 191775.031 \quad h = 907.099$$

Die Koordinatendifferenzen ergeben sich daraus im geozentrischen System zu:

$$\Delta X = -13.542\text{m} \quad \Delta Y = -5.996\text{m} \quad \Delta Z = +6.399\text{m}$$

und daraus die geozentrischen Koordinaten der GPS-Station, an welchen die Koordinaten der ALGESTAR-Kampagne angeschlossen werden :

$$X = 4331297.192 \quad Y = 567555.486 \quad Z = 4633133.411$$

Die Differenz zur Single-Point-Lösung nehmen folgenden Betrag an:

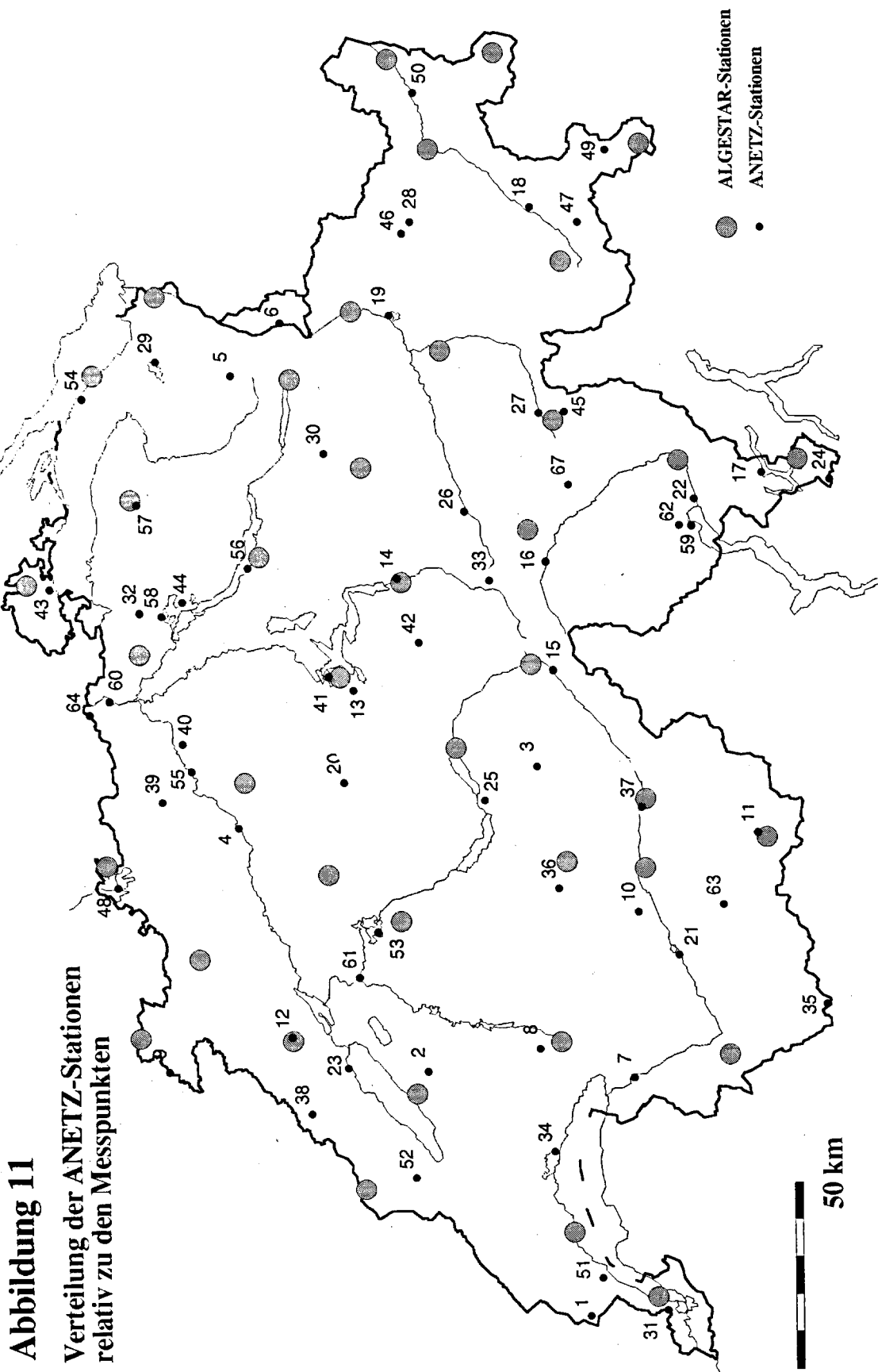
$$\Delta X = -0.924\text{m} \quad \Delta Y = +2.600\text{m} \quad \Delta Z = +2.667\text{m}$$

4.7 Meteo-Werte

In der Kampagne ALGESTAR spielt es eine Rolle, wie wir die Troposphäre berücksichtigen. Denn die Fehler in ihrer Modellierung wirken sich in erster Linie auf die Stationshöhen aus. Da während der Kampagne keine Stationsmeteo-Daten erhoben wurden, mussten diese Grössen aus Modellen ermittelt werden.

Einerseits stehen uns dazu die Standard-Modelle zur Verfügung, welche in der GPS-Software des AIUB fest implementiert sind. Dabei wird von über den ganzen Zeitbereich konstanten Werten für Druck, Temperatur und relativer Feuchte auf einer bestimmten Meereshöhe ausgegangen. Diese Werte werden dann auf die jeweiligen Stationshöhen extrapoliert. Somit ergeben sich die Stationsdaten als reine Funktion der Höhe. Die räumliche und zeitliche Änderung der Meteorologie wird nicht berücksichtigt. Die Berechnung einer Phasendifferenz-Lösung mit diesen Modelldaten liefert in der Regel gute Ergebnisse und hat zudem den grossen Vorteil, dass bei extremen Wetterlagen (z. B. Inversionslagen) an gewissen Stationen keine grob falschen Werte in die Berechnung einfließen, welche das Ergebnis verfälschen können. Zudem erspart man sich Kalibrationsprobleme mit den ungeeichten Messinstrumenten, welche uns in der Regel zur Verfügung stehen.

Für Modellierungen der Troposphäre in der Schweiz können die Daten des Automatischen Stationsnetzes (ANETZ) der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (SMA) verwendet werden. Die Daten der 67 ANETZ-Stationen werden seit 1978 auf der Datenbank ENAD, welche auf NOS/VE installiert ist, gesammelt und lassen sich relativ bequem abfragen. Somit erhält man für eine bestimmte ANETZ-Station die gesammelten 10Minuten- oder Stundenwerte für Druck, Temperatur und Feuchte (nach Bedarf auch noch sehr viele weitere Grössen). Die Verteilung der ANETZ-Stationen ist Abb.11 auf der nächsten Seite zu entnehmen.



Mit diesen Werten ist es nun möglich, ein Troposphärenmodell zu konstruieren, welches auch eine orts- und zeitabhängige Komponente aufweist. Bei der Modellierung der Meteorologie unserer GPS-Stationen sind wir folgendermassen vorgegangen: Wir wählten etwa 2-4 ANETZ-Stationen in der Umgebung der GPS-Station aus und extrapolierten daraus die Werte für ihre Höhe. Diese Werte wurden danach mit einem distanz- und einem höhendifferenzabhängigen Gewicht gemittelt. Dabei wurde darauf geachtet, dass nur solche ANETZ-Stationen verwendet wurden, welche höher als die GPS-Station gelegen sind. Dies hat den Grund darin, dass wir im Prinzip nicht die Meteorologie auf der Messstation, sondern diejenige entlang der Strecke Station - Satellit erfassen müssen. Da aber in den Tälern und Ebenen sehr oft Inversionslagen vorherrschen, ist es nicht sinnvoll, Werte von solchen Stationen zur Extrapolation auf einen höher gelegenen Punkt zu verwenden. Mit dieser Methode erhalten wir ein Modell, welches die Troposphäre oberhalb der Inversionsgrenze gut modelliert, aber die Inversion selbst vernachlässigt. Dies ist jedoch für die Modellierung der Atmosphäre günstiger als der umgekehrte Fall.

Für die Berechnung der Phasendifferenzlösung wurde sowohl mit dem Standardmodell der Berner-Software als auch mit dem Modell aus den ANETZ-Messungen gearbeitet. In Abb. 12 ist, der Auswertung etwas vorgegriffen, die Auswirkung der verschiedenen Modelle auf die Höhe des GPS-Resultates dargestellt. Im grössten Teil der Schweiz sind die Unterschiede kleiner als 5 cm. Einzig in der Brienersee-Region zeigen sich beträchtliche Unterschiede von mehr als 10 cm über relativ kurze Distanzen. Das Maximum konzentriert sich dabei um die ALGESTAR-Station in Brienz. Es ist also zu vermuten, dass die interpolierten Meteo-Daten für diese Station falsch sind. Einen Grund zu dieser Annahme konnte ich jedoch bis jetzt noch nicht entdecken. Aus den ANETZ-Stationen in Interlaken und auf dem Jungfrauoch sollte die Interpolation kein Problem darstellen. In weit geringerem Mass tritt das Phänomen auch in Bellinzona auf.

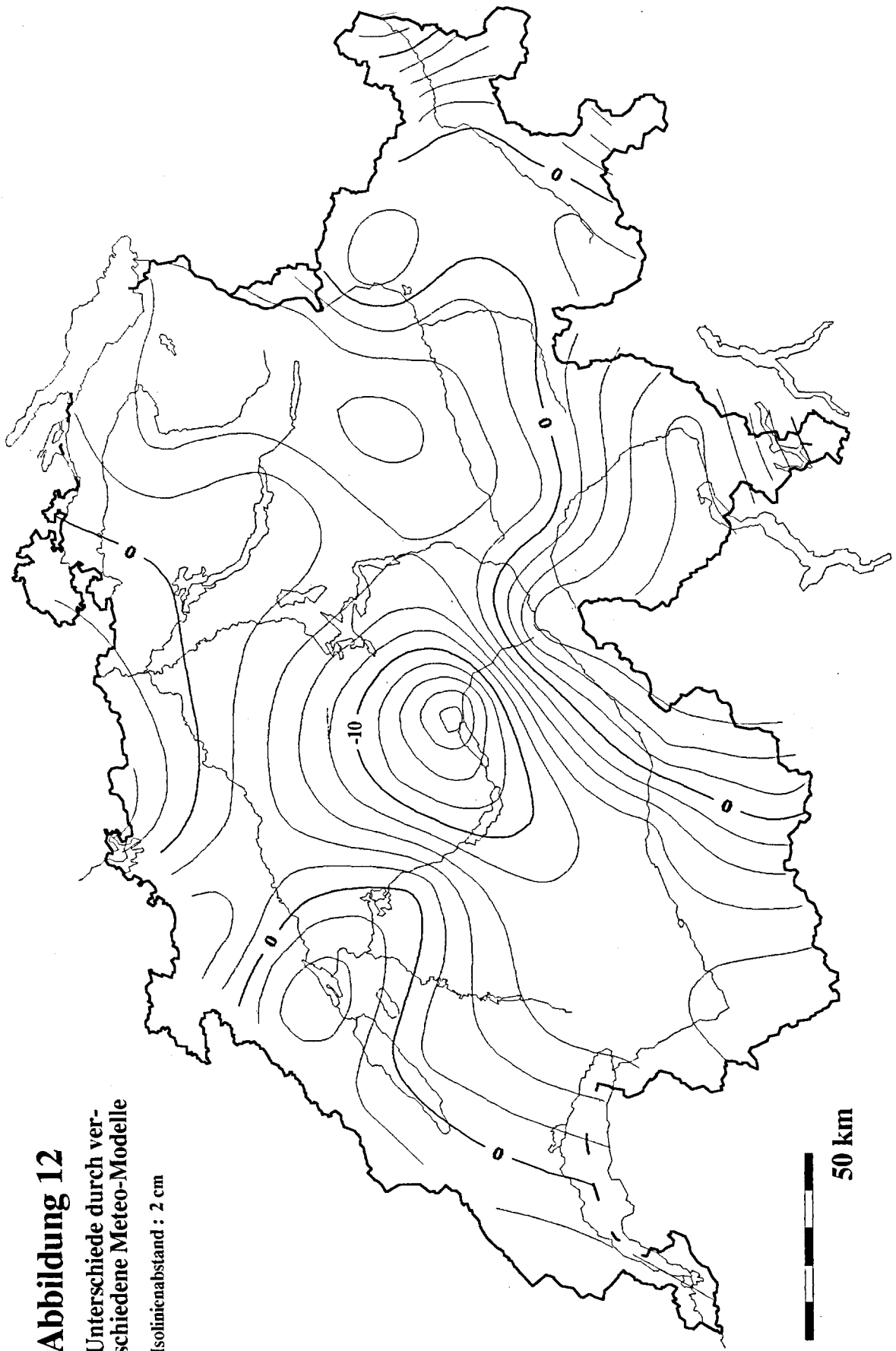


Abbildung 12

Unterschiede durch verschiedene Meteo-Modelle

Isolinienabstand : 2 cm

50 km

4.8 Die Berechnung der Phasendifferenzlösung:

Diese umfangreichen, sehr zeitintensiven Berechnungen wurden mit dem Programm GPSEST (AIUB) durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurden nur die Messungen auf den Fixpunkten für eine Berechnung eines Netzes verwendet, an welches anschliessend die übrigen Stationen angeschlossen wurden.

An 3 Tagen wurde auf allen 8 Fixstationen beobachtet. Am 4. Tag wurde der Punkt Wollerau (Nr. 224) abgezogen. Dies ergibt eine totale Anzahl von 27 auszuwertenden Baselines zwischen den Fixpunkten. Gelagert wird dieses Netz auf den unter Kap. 4.6 beschriebenen Koordinaten der Station Zimmerwald (211).

Die Berechnung der Lösung wurde in mehreren Teilschritten durchgeführt. Grundsätzlich wurden alle Beobachtungen zu Satelliten mit einer Elevation von weniger als 20° gestrichen. Als Meteomodell wurde während des ganzen Ablaufs das Saastamoinen-Standardmodell verwendet. Erst als die definitive Lösung mit diesem Modell vorlag, wurde ein letzter Berechnungsschritt mit den Daten aus den ANETZ-Stationen durchgeführt. Die hauptsächlichen Schritte seien hier kurz aufgelistet:

1. Mit den Single-Point-Lösungen als Näherungskordinaten wurde eine ionosphärenfreie L3-Lösung gerechnet, ohne dabei zu versuchen, die Ambiguities aufzulösen. Dies ergibt stark verbesserte Näherungskordinaten, welche nun auf einige wenige dm genau stimmen.
2. Es wurde nun versucht, mit einer L5-Wide-lane-Lösung die Ambiguities zu lösen. Dabei wurden ebenfalls alle Koordinaten frei gelassen. 80% der Ambiguities wurden dabei ohne grosse Schwierigkeiten mit der Sigma-dependent-Strategie gelöst. Weitere 10% konnten mit der Round-to-nearest-Integer-Strategie zuverlässig einem Wert zugeordnet werden. Bei den restlichen 10% fanden wir keine Lösung. Die etwa 12 Ambiguities treten allerdings in denselben 3 Basislinien (ZEVE243, ZICA241, ZIGE241) auf. Bei den ersten beiden Files sind grosse Beobachtungslücken vorhanden. Beim dritten File fand ich bis jetzt noch keine Erklärung für die schlechte Auflösung der Ambiguities. Auf jeden Fall wurden für die weiteren Berechnungsschritte diese 3 Basislinien nicht weiter verwendet.
3. In einem weiteren Schritt wurde mit den festgehaltenen Koordinaten versucht, die Bahnen der Satelliten zu verbessern. Es zeigte sich, dass es für ein relativ kleines Netz, wie es das ALGESTAR-Netz ist, nicht sinnvoll ist, alle 6 Bahnparameter und zusätzlich noch Parameter für den Strahlungsdruck zu schätzen. In der definitiven Lösung wurden nur noch 2 Parameter (Perigäumslänge und Perigäumsdurchgangszeit) berechnet.

4. Mit allen gelösten L5-Ambiguities wurde nun eine L4-Lösung berechnet. Dabei mussten natürlich alle Koordinaten festgehalten werden. Als Ergebnis erhielten wir ein einfaches Modell der Ionosphäre. Von den L1-Ambiguities wurden etwa 60% gelöst.

5. Alle bisherigen Ambiguities wurden für die neue L3-Lösung als bekannt vorausgesetzt. Berechnet werden neue Stations-Koordinaten. Zudem wurden einige zusätzliche L1-Ambiguities gelöst.

6. Die Schritte 4 und 5 werden einige Male iterativ durchgeführt. Als Ergebnis erhalten wir die definitive Lösung des Netzes der Fixpunkte unter der Verwendung von Standardmeteowerten. Etwa 12% der L1-Ambiguities konnten nicht gelöst werden.

7. Nun wurden die aus den ANETZ-Messungen gewonnenen Meteo-Werte eingeführt. Zur Lösung aus Schritt 6 ergibt sich eine maximale Differenz in der Höhe von ca 10 cm zwischen den Stationen Au (Nr. 235) und Chrischona (Nr. 213).

8. Zu Vergleichszwecken wurden noch die Lösungen der einzelnen Messtage allein berechnet. Die innere Genauigkeit der verschiedenen Tage war jeweils recht gut. Auf den ersten Blick stimmten die verschiedenen Tage jedoch sehr schlecht untereinander überein. Durch eine Verkipfung der Lösungen können sie jedoch gut ineinander übergeführt werden (maximale Klaffungen von weniger als 5 cm in Lage und Höhe).

Ein Überblick über die Resultate und Vergleichsrechnungen zwischen den einzelnen GPS-Lösungen der Fixpunkte ist auf den folgenden 3 Seiten in Tabellenform dargestellt. Dazu einige Erläuterungen:

Die ersten beiden Tabellen enthalten die 4 Tageslösungen mit ihren mittleren Fehlern, wie sie aus der Auswertung resultieren. Aus diesen mittleren Fehlern wurde ein Gewicht für die Bestimmung des Gesamtmittels berechnet. Die mit 'v1' bis 'v4' beschrifteten Kolonnen enthalten die Abweichungen der einzelnen Tageslösungen gegenüber dem Gesamtmittel.

In der 3. Tabelle sind die Mittel der beiden vorherigen Tabellen zusammengestellt. Daraus ergeben sich für jeden Punkt die Differenzen, welche durch das unterschiedliche Meteomodell verursacht werden. Der 3. Koordinatensatz resultierte aus einer Gesamtauswertung aller 4 Tage gemeinsam unter der Verwendung eines Standard-Meteo-Modelles. Die Differenzen zum Mittel aus den 4 Ein-Tages-Lösungen sind in der 4. Kolonne aufgelistet. Diese Differenzen betragen überall weniger als 4 cm.

Zusammenstellung der Tagesübungen

Fixstationen mit Standardmeteo

Punkt	Koord	Näherung	Tag 1 [m]	mF Tag1 [mm]	Tag2 [m]	mF Tag2 [mm]	Tag3 [m]	mF Tag3 [mm]	Tag4 [m]	mF Tag 4 [mm]	Mittel	mF des Mittels	V1	V2	V3	V4
ZIMM	X	4331290.00	7.19	0.00	7.19	0.00	7.19	0.00	7.19	0.00	4331297.19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ZIMM	Y	567550.00	5.49	0.00	5.49	0.00	5.49	0.00	5.49	0.00	567555.49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ZIMM	Z	4633130.00	3.41	0.00	3.41	0.00	3.41	0.00	3.41	0.00	4633133.41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ZIMM	H	950.00	6.00	0.00	6.00	0.00	6.00	0.00	6.00	0.00	956.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AUSG	X	4262460.00	6.81	10.00	6.88	13.00	6.90	14.00	6.67	19.00	4262466.83	0.041	0.021	-0.052	-0.070	0.161
AUSG	Y	723840.00	7.27	6.00	7.27	9.00	7.25	8.00	7.36	15.00	723847.27	0.016	0.001	0.002	0.021	-0.092
AUSG	Z	4674030.00	1.85	9.00	1.98	5.00	1.87	5.00	1.81	6.00	4674031.89	0.039	0.039	-0.091	0.022	0.083
AUSG	H	450.00	0.33	6.00	0.47	8.00	0.40	8.00	0.22	13.00	450.37	0.044	0.041	-0.103	-0.029	0.156
CAZI	X	4318800.00	0.80	9.00	0.68	19.00	0.40	20.00	0.72	17.00	4318800.73	0.075	-0.079	0.049	0.330	0.005
CAZI	Y	716600.00	5.87	6.00	5.97	12.00	6.30	18.00	5.84	13.00	716605.91	0.066	0.042	-0.057	-0.390	0.074
CAZI	Z	4623800.00	8.96	3.00	9.11	5.00	9.16	7.00	8.87	6.00	4623809.00	0.053	0.039	-0.114	-0.163	0.130
CAZI	H	670.00	5.28	6.00	5.32	12.00	5.20	14.00	5.15	11.00	675.26	0.032	-0.025	-0.061	0.056	0.102
CRIS	X	4273140.00	7.75	42.00	7.78	14.00	7.78	76.00	7.65	12.00	4273147.71	0.037	-0.045	-0.072	-0.078	0.059
CRIS	Y	575360.00	8.19	22.00	8.20	10.00	8.17	16.00	8.30	11.00	575368.23	0.031	0.037	0.029	0.060	-0.074
CRIS	Z	4684900.00	3.34	13.00	3.41	5.00	3.34	8.00	3.35	4.00	4684903.37	0.016	0.029	-0.040	0.030	0.015
CRIS	H	500.00	4.58	25.00	4.65	10.00	4.60	46.00	4.53	8.00	504.58	0.032	-0.002	-0.072	-0.021	0.047
GENE	X	4390110.00	3.23	10.00	3.00	12.00	3.13	14.00	3.22	15.00	4390113.15	0.056	-0.079	0.150	0.020	-0.077
GENE	Y	696880.00	4.01	6.00	4.10	8.00	4.03	8.00	3.91	12.00	696884.03	0.032	0.016	-0.079	-0.002	0.120
GENE	Z	4561130.00	2.58	3.00	2.59	4.00	2.61	5.00	2.52	5.00	4561132.58	0.015	-0.005	-0.010	-0.028	0.057
GENE	H	1740.00	0.85	6.00	0.71	8.00	0.81	8.00	0.80	10.00	1740.80	0.031	-0.052	0.091	-0.003	0.005
VERF	X	4391030.00	4.98	10.00	4.91	12.00	4.84	14.00	5.08	19.00	4391034.94	0.042	-0.038	0.033	0.105	-0.136
VERF	Y	474830.00	2.85	6.00	2.85	8.00	2.92	8.00	2.83	13.00	474832.86	0.018	0.017	0.014	-0.055	0.032
VERF	Z	4586670.00	6.27	3.00	6.15	4.00	6.27	6.00	6.39	7.00	4586676.24	0.040	-0.021	0.097	-0.028	-0.142
VERF	H	420.00	2.94	7.00	2.81	9.00	2.86	9.00	3.10	13.00	422.91	0.050	-0.036	0.098	0.052	-0.189
WOLL	X	4291840.00	2.94	9.00	2.93	12.00	2.78	13.00	.	.	4291842.90	0.047	-0.041	-0.027	0.119	.
WOLL	Y	658900.00	5.76	6.00	5.81	8.00	5.87	8.00	.	.	658905.80	0.032	0.042	-0.007	-0.068	.
WOLL	Z	4656980.00	9.88	3.00	9.98	4.00	9.95	5.00	.	.	4656989.92	0.031	0.040	-0.057	-0.023	.
WOLL	H	560.00	0.17	6.00	0.24	8.00	0.13	8.00	.	.	560.18	0.030	0.006	-0.063	0.053	.
ZERM	X	4397820.00	0.45	9.00	0.26	12.00	0.34	15.00	0.45	12.00	4397820.39	0.047	-0.059	0.133	0.048	-0.060
ZERM	Y	598100.00	4.16	6.00	4.20	8.00	4.08	9.00	4.06	11.00	598104.14	0.028	-0.016	-0.059	0.058	0.077
ZERM	Z	4567680.00	3.47	3.00	3.38	4.00	3.42	6.00	3.45	4.00	4567683.44	0.022	-0.036	0.062	0.019	-0.008
ZERM	H	1740.00	2.15	6.00	1.96	8.00	2.03	9.00	2.13	8.00	1742.08	0.046	-0.070	0.128	0.049	-0.042

Zusammenstellung der Tageslösungen

Fixstationen mit Meteo aus ANETZ-Daten

Punkt	Koord	Näherung	Tag 1 [m]	mF Tag1 [mm]	Tag2 [m]	mF Tag2 [mm]	Tag3 [m]	mF Tag3 [mm]	Tag4 [m]	mF Tag 4 [mm]	Mittel	mF des Mittels	V1	V2	V3	V4
ZIMM	X	4331290.00	7.19	0.00	7.19	0.00	7.19	0.00	7.19	0.00	4331297.19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ZIMM	Y	567550.00	5.49	0.00	5.49	0.00	5.49	0.00	5.49	0.00	567555.49	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ZIMM	Z	4633130.00	3.41	0.00	3.41	0.00	3.41	0.00	3.41	0.00	4633133.41	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ZIMM	H	950.00	6.00	0.00	6.00	0.00	6.00	0.00	6.00	0.00	956.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ALSG	X	4262460.00	6.77	10.00	6.85	13.00	6.81	14.00	6.56	21.00	4262466.78	0.044	0.009	-0.069	-0.031	0.213
ALSG	Y	723840.00	7.27	6.00	7.27	9.00	7.25	8.00	7.36	15.00	723847.27	0.014	0.003	0.004	0.016	-0.086
ALSG	Z	4674030.00	1.82	3.00	1.95	6.00	1.81	5.00	1.74	7.00	4674031.83	0.032	0.009	-0.125	0.016	0.092
ALSG	H	450.00	0.28	6.00	0.43	8.00	0.30	8.00	0.10	13.00	450.31	0.051	0.024	-0.126	0.004	0.211
CAZI	X	4318800.00	0.79	9.00	0.64	19.00	0.36	20.00	0.67	18.00	4318800.70	0.081	-0.091	0.056	0.345	0.031
CAZI	Y	716600.00	5.86	6.00	5.96	12.00	6.30	18.00	5.84	14.00	716605.91	0.067	0.046	-0.058	-0.393	0.065
CAZI	Z	4623800.00	8.94	3.00	9.11	5.00	9.13	7.00	8.85	6.00	4623808.98	0.054	0.039	-0.124	-0.151	0.135
CAZI	H	670.00	5.26	6.00	5.03	12.00	5.15	13.00	5.10	12.00	675.19	0.051	-0.069	0.159	0.038	0.085
CRIS	X	4273140.00	7.76	41.00	7.78	15.00	7.85	75.00	7.76	12.00	4273147.77	0.007	0.010	-0.011	-0.075	0.008
CRIS	Y	575360.00	8.18	21.00	8.19	10.00	8.15	16.00	8.31	11.00	575368.22	0.036	0.041	0.032	0.073	-0.085
CRIS	Z	4684900.00	3.34	13.00	3.41	5.00	3.39	8.00	3.46	4.00	4684903.43	0.019	0.088	0.020	0.038	-0.030
CRIS	H	500.00	4.59	24.00	4.65	10.00	4.68	46.00	4.69	8.00	504.67	0.015	0.081	0.016	-0.010	-0.019
GENE	X	4390110.00	3.19	9.00	3.00	12.00	3.16	13.00	3.20	16.00	4390113.14	0.045	-0.049	0.138	-0.020	-0.062
GENE	Y	696880.00	4.01	6.00	4.09	8.00	4.01	8.00	3.88	13.00	696884.02	0.032	0.008	-0.075	0.008	0.135
GENE	Z	4561130.00	2.56	3.00	2.59	4.00	2.63	5.00	2.50	5.00	4561132.57	0.021	0.009	-0.022	-0.057	0.066
GENE	H	1740.00	0.81	6.00	0.72	8.00	0.84	8.00	0.77	10.00	1740.79	0.026	-0.023	0.074	-0.050	0.023
VER5	X	4391030.00	5.02	9.00	4.90	12.00	4.80	14.00	5.04	20.00	4391034.95	0.050	-0.068	0.047	0.146	-0.093
VER5	Y	474830.00	2.85	5.00	2.85	8.00	2.93	8.00	2.82	14.00	474832.87	0.018	0.011	0.015	-0.060	0.050
VER5	Z	4586670.00	6.31	3.00	6.14	4.00	6.26	6.00	6.31	7.00	4586676.26	0.042	-0.053	0.114	-0.004	-0.056
VER5	H	420.00	3.00	7.00	2.80	9.00	2.83	9.00	3.02	14.00	422.91	0.056	-0.091	0.109	0.087	-0.107
WOLL	X	4291840.00	2.94	9.00	2.93	12.00	2.82	13.00	•	•	4291842.91	0.034	-0.029	-0.022	0.086	•
WOLL	Y	658900.00	5.76	6.00	5.80	8.00	5.85	7.00	•	•	658905.80	0.028	0.040	-0.003	-0.051	•
WOLL	Z	4656980.00	9.89	3.00	9.98	4.00	9.97	5.00	•	•	4656989.93	0.032	0.043	-0.051	-0.041	•
WOLL	H	560.00	0.18	6.00	0.25	8.00	0.17	8.00	•	•	560.19	0.022	0.016	-0.053	0.023	•
ZERM	X	4397820.00	0.42	9.00	0.29	12.00	0.34	14.00	0.52	13.00	4397820.40	0.045	-0.020	0.102	0.052	-0.125
ZERM	Y	598100.00	4.15	6.00	4.19	8.00	4.07	9.00	4.04	12.00	598104.13	0.029	-0.018	-0.055	0.059	0.090
ZERM	Z	4567680.00	3.44	3.00	3.40	4.00	3.42	5.00	3.50	5.00	4567683.44	0.017	-0.005	0.036	0.016	-0.058
ZERM	-H	1740.00	2.11	6.00	2.00	9.00	2.04	9.00	2.21	9.00	1742.09	0.041	-0.016	0.094	0.056	-0.116

Vergleich der Resultate der Fixpunktlösungen

Punkt	Koord	Mittel der 4 Ein-Tageslösungen			4-Tages-Gesamtlösung		
		Standard-Meteo Mittel	mF des Mittels	Differenz	Standardmeteo Lösung	m.F.	Differenz
ZIMM	X	4331297.192	0.000	0.000	4331297.192	0.000	0.000
ZIMM	Y	567555.486	0.000	0.000	567555.486	0.000	0.000
ZIMM	Z	4633133.411	0.000	0.000	4633133.411	0.000	0.000
ZIMM	H	956.002	0.000	0.000	956.002	0.000	0.000
AUSG	X	4262466.827	0.041	0.044	4262466.826	0.008	-0.002
AUSG	Y	723847.268	0.016	0.014	723847.294	0.005	0.026
AUSG	Z	4674031.888	0.039	0.032	4674031.914	0.003	0.026
AUSG	H	450.371	0.044	0.052	450.394	0.005	0.022
CAZI	X	4318800.725	0.075	0.081	4318800.732	0.008	0.007
CAZI	Y	716605.911	0.066	0.067	716605.909	0.005	-0.002
CAZI	Z	4623808.997	0.053	0.054	4623808.998	0.003	0.001
CAZI	H	675.255	0.032	0.051	675.265	0.005	0.010
CRIS	X	4273147.705	0.037	0.007	4273147.744	0.011	0.039
CRIS	Y	575368.225	0.031	0.036	575368.203	0.008	-0.023
CRIS	Z	4684903.366	0.016	0.019	4684903.377	0.004	0.011
CRIS	H	504.576	0.032	0.015	504.604	0.007	0.028
GENE	X	4390113.147	0.056	0.045	4390113.121	0.007	-0.026
GENE	Y	696884.025	0.032	0.032	696884.032	0.004	0.007
GENE	Z	4561132.577	0.015	0.021	4561132.578	0.002	0.001
GENE	H	1740.802	0.031	0.026	1740.781	0.005	-0.021
VERS	X	4391034.940	0.042	0.050	4391034.942	0.008	0.002
VERS	Y	474832.862	0.018	0.018	474832.854	0.005	-0.008
VERS	Z	4586676.244	0.040	0.042	4586676.223	0.003	-0.020
VERS	H	422.907	0.050	0.056	422.889	0.005	-0.018
WOLL	X	4291842.898	0.047	0.034	4291842.897	0.008	-0.001
WOLL	Y	658905.803	0.032	0.028	658905.805	0.005	0.002
WOLL	Z	4656989.922	0.031	0.032	4656989.931	0.003	0.009
WOLL	H	560.180	0.030	0.022	560.189	0.005	0.009
ZERM	X	4397820.389	0.047	0.045	4397820.353	0.007	-0.036
ZERM	Y	598104.140	0.028	0.029	598104.151	0.004	0.011
ZERM	Z	4567683.437	0.022	0.017	4567683.432	0.002	-0.006
ZERM	H	1742.083	0.046	0.041	1742.059	0.005	-0.024

Für die weiteren Berechnungen wurden die Lösungen der Fixstationen festgehalten und die anderen Stationen an dieses Netz angeschlossen. Dabei wurde noch einmal ähnlich vorgegangen, wie in den Punkten 1-8 des Fixpunktnetzes beschrieben. Allerdings wurden dabei die Satellitenbahnen sowie das Ionosphärenmodell nicht mehr verändert.

Für die Berechnung der endgültigen Lösung aller Stationen waren über 40 Durchgänge von GPSEST nötig, ohne die recht zahlreichen Irrwege und Fehlversuche mitzuzählen.

5. GPS-Resultate

5.1 Vergleich der verschiedenen Fixpunktlösungen

Der Vergleich zwischen den Gesamtlösungen über alle 4 Tage mit und ohne ANETZ-Meteo-Daten ergab folgende maximale Abweichungen:

Wie bei Variantenrechnungen mit verschiedenen Meteomodellen zu erwarten war, zeigten sich die grössten Differenzen in den Höhen. Falls wir die Höhe von Zimmerwald in beiden Varianten festhalten, so beträgt die grösste durch das Meteomodell verursachte Differenz 11.0 cm auf der Basislinie Au - Chrischona. Im Mittel betragen die Abweichungen weniger als 4 cm.

Auch in der Lage gab es einige Änderungen. Diese erreichten den Maximalbetrag von nicht einmal 2 cm. Eine Systematik bezüglich eines Massstabes der beiden Lösungen liess sich nicht feststellen.

Der mittlere Fehler einer einzelnen Single-Difference-Beobachtung lag bei beiden Lösungen ziemlich genau bei 4.0 cm. Dass die Lösung aus den ANETZ-Daten signifikant besser ist, konnte nicht nachgewiesen werden.

Der Vergleich zwischen der definitiven Lösung und einer sehr einfachen Variante ohne Bahnverbesserungen und Schätzung eines Ionosphärenmodelles und nur sehr rudimentären Auflösung der Ambiguities ergab maximale Abweichungen in der Höhe von bis zu 15 cm. Die Abweichungen in der Lage wurden dabei nicht genauer untersucht. Jedoch kann gesagt werden, dass die Änderungen der Raumdistanzen ausser in einem Fall den Wert von 10 cm nie überschritten. Es könnte also in einem Netz unserer Grössenordnung bei verminderten Genauigkeitsanforderungen (ca 10 cm) auf die aufwendigen Iterationen zwischen Bahnverbesserungen, Ionosphärenmodell-Schätzungen und Koordinatenberechnungen verzichtet werden.

Der Vergleich der definitiven Lösung mit den einzelnen Tageslösungen zeigte auf den ersten Blick zum Teil erschreckende Ergebnisse. Am 2. und am 3. Tag zeigten diese nämlich Abweichungen von bis zu 15 cm zur Gesamtlösung. Bei näherer Betrachtung erkannte man jedoch, dass die innere Geometrie mit der Gesamtlösung nur um maximal 5 cm nicht übereinstimmte. Die einzelnen Tageslösungen sind also gegenüber der Gesamtlösung verkippt und/oder verschoben. Einen Grund dafür konnte ich bis jetzt noch nicht erkennen. Ein Hinweis dazu ist vielleicht die am 3. Tag durch das Fehlen von Satellit 9 verursachte Änderung der Satellitenkonstellation. Vielleicht spielt auch eine Rolle, dass für jeden einzelnen Tag neue Satellitenbögen berechnet wurden und somit die innere Konsistenz des Gesamtnetzes etwas gestört wird. Beruhigend war dann allerdings die Mittelbildung der 4 einzelnen Tageslösungen. Dieses Mittel

unterschied sich von der Gesamtlösung nur noch um maximal 3 cm, sowohl in der Höhe als auch in der Lage.

5.2 Vergleiche einzelner Basislinien mit Resultaten anderer Kampagnen

Dieser Vergleich kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vollständig ausgeführt werden. Dazu fehlt mir in erster Linie noch die Auswertung der EUREF-Kampagne. Zudem dürfen die ALGESTAR-Messungen des Punktes Lägern (Nr. 221) nicht für Vergleichsrechnungen verwendet werden, da dort keine zuverlässigen Daten vorliegen.

In Tabellenform seien hier kurz die möglichen Vergleiche zusammengestellt.

Visp - Zermatt (GRANIT 1987/Diplomkurs 1987)

Basislänge ALGESTAR	32390.426 m
Basislänge DVK87	32390.472 m
Basislänge GRANIT (zentriert)	32390.523 m

Bereits die Differenzen zwischen der Lösung DVK87 und GRANIT87 sind beträchtlich. Dass die ALGESTAR-Lösung noch ausserhalb dieses Bereiches liegt, mag daran liegen, dass die Beobachtungen in Visp mit einem Gerät ausgeführt wurden, welches sich im Verlauf der Kampagne als nicht sehr zuverlässig erwies. Zudem hatten wir in Visp einen unangenehmen Unterbruch der Messungen zu beklagen.

Zimmerwald - Monte Generoso (GRANIT 1987)

Basislänge ALGESTAR	159277.524 m
Basislänge GRANIT (zentriert)	159277.456 m

Diese Abweichung liegt innerhalb der Spezifikationen der GPS-Genauigkeit

Zimmerwald - Chasseral (GRANIT 1987)

Basislänge ALGESTAR	42070.635 m
Basislänge GRANIT (zentriert)	42070.599 m

Wenn man berücksichtigt, dass der Punkt Chasseral nur während etwa 3 Stunden saubere Daten lieferte, so liegt auch diese Differenz innerhalb der zu erwartenden Genauigkeit.

Zimmerwald - Zermatt (GRANIT 1987)

Basislänge ALGESTAR 98194.971 m
 Basislänge GRANIT (zentriert) 98195.008 m

Auch diese Distanz zeigt eine gute Übereinstimmung beider Resultate.

Zimmerwald - Lägern (GRANIT 87)

Basislänge ALGESTAR 97714.636 m
 Basislänge GRANIT 97714.749 m

Wie schon weiter oben erwähnt, ist diese Differenz leicht zu verstehen, wenn man die lückenhaften Messungen auf der Lägern betrachtet und weiss, dass davon auch nur die L1-Messungen ausgewertet werden konnten.

Zusammenstellung aller Distanzvergleiche aus der GRANIT-Kampagne

Alle Distanzen wurden auf die Punkte der ALGESTAR-Kampagne zentriert, wobei die ALGESTAR-Lösung mit Standardmeteo verwendet wurde. (Der Vergleich mit den Ergebnissen unter Verwendung der ANETZ-Meteo ergab nur unwesentliche Abweichungen)

		Generoso	Chasseral	Zermatt	Lägern
Zimmerwald	GRANIT	159277.456	42070.599	98195.008	97714.749
	ALGESTAR	159277.524	42070.635	98194.971	97714.636
	Diff.	-6.8 cm	-3.6 cm	3.7 cm	11.3 cm
Generoso	GRANIT		201329.633	99296.403	178831.460
	ALGESTAR		201329.738	99296.485	178831.590
	Diff.		-10.5 cm	-8.2 cm	-13.0 cm
Chasseral	GRANIT			134954.642	108744.200
	ALGESTAR			134954.624	108744.085
	Diff.			1.8 cm	11.5 cm
Zermatt	GRANIT				170566.268
	ALGESTAR				170566.217
	Diff.				5.1 cm

Zusammenstellung der EUREF-Punkte

Für einen zu gegebener Zeit durchzuführenden Vergleich von ALGESTAR mit der EUREF-Kampagne sollen hier noch die Basislinien zwischen den in beiden Kampagnen gemessenen Punkte zusammengestellt werden.

		Zimmerwald	Chrischona
Chrischona	ΔX	58149.375 m	
	ΔY	-7812.694 m	
	ΔZ	-51770.297 m	
	Distanz	78246.537 m	
Monte Generoso	ΔX	-58815.947 m	-116965.322 m
	ΔY	-129328.607 m	-121515.913 m
	ΔZ	72000.852 m	123770.849 m
	Distanz	159277.515 m	209203.792 m

Die mittleren Fehler der Koordinatendifferenzen und der Basislinienlängen habe ich hier nicht aufgelistet. Aus der Ausgleichung resultierten sie im Bereich von 2-5 mm. Dies ist aber nach unserer Erfahrung nicht realistisch.

5.3 Tabelle der definitiven GPS-Koordinaten mit innerer Genauigkeit

Die innere Genauigkeit ist in mm angegeben. Nach unserer Erfahrung sind ihre Werte viel zu klein gegenüber dem zu erwartenden mittleren Fehler einer Koordinate. Diese rms-Werte sind hier nur aufgeführt, da grosse Zahlen dort auftreten, wo keine sauberen GPS-Messungen vorliegen.

Nr	Name	X	Y	Z	mF.X	mF.Y	mF.Z
201	VERS	4391034.9552	474832.7858	4586676.2246	4.9	2.6	4.2
202	ALLA	4373510.6659	489727.1097	4601792.3601	4.6	2.4	3.8
203	LEVE	4333192.8930	496777.5584	4639647.1392	5.4	2.7	5.5
204	ESTA	4339427.3744	522930.6238	4630218.4021	4.6	2.4	4.0
205	FORC	4397300.6469	540645.3280	4574416.2922	6.4	3.5	5.4
206	ABVE	4365310.3149	539881.5109	4604485.7288	5.6	2.6	3.9
207	CHAS	4315057.3482	534231.2050	4653025.5737	4.5	2.4	3.9
208	MONT	4285222.1223	531010.7544	4679124.5430	7.0	4.9	4.0
209	DELE	4293898.0260	552917.8041	4668671.3630	4.4	2.1	3.5
210	SUST	4375288.1507	587436.7730	4589093.6239	4.8	2.8	4.2
211	ZIMM	4331297.1920	567555.4860	4633133.4110	0.0	0.0	0.0
212	BGDF	4315818.5661	578037.1248	4645677.0250	5.1	3.2	4.5
213	CRIS	4273147.7758	575368.1723	4684903.3706	5.8	3.2	5.0
215	ZERM	4397820.3508	598104.1569	4567683.4267	4.3	2.2	3.4
216	VISP	4373794.6087	605351.7472	4588162.0943	7.8	6.6	7.3
217	REID	4296822.0231	600383.6463	4660212.1048	29.4	22.0	10.5
218	BRIE	4335390.4060	613142.8625	4623083.3366	5.5	2.9	4.9
219	HORW	4311342.0775	629731.2470	4642984.9736	4.4	2.4	3.7
220	GRIM	4348178.3274	637402.8530	4610083.3699	5.9	3.0	4.8
221	LAEG	4272643.4909	630994.8494	4678777.0381	6.3	3.2	5.1
222	ATRF	4319669.1642	655543.4279	4631792.7240	4.9	2.5	4.0
223	STET	4248652.2293	646335.1706	4698001.9766	5.4	3.5	4.7
224	WOLL	4291842.9801	658905.8151	4656989.9115	4.8	2.6	4.0
225	LUKM	4342768.7032	672275.0080	4609915.1577	5.0	2.6	3.9
226	WNGI	4265191.8614	670795.0750	4679533.5012	5.3	2.3	4.1
227	DORN	4308114.9702	684475.5391	4638477.7207	5.4	2.9	5.3
228	GENE	4390113.1633	696884.1016	4561132.5741	4.2	2.2	3.6
229	BLZA	4367244.4192	693646.0960	4581354.8938	12.8	8.3	4.2
230	BENO	4343682.4139	701367.8132	4604938.1652	19.3	18.5	8.3
231	WALE	4292165.7539	706758.5391	4649618.7622	6.9	2.7	4.8
232	ROMA	4253559.2696	702163.1967	4685356.4425	5.0	2.5	4.8
233	CAZI	4318800.8306	716606.0208	4623809.0292	5.2	3.2	4.7
234	LQRT	4300578.8940	724597.4397	4639278.4502	6.5	3.1	4.6
235	AUSG	4262466.8477	723847.3971	4674031.9308	4.3	2.2	3.9
236	BIVI	4339285.1838	742340.1936	4602770.0161	4.8	2.7	4.5
237	BUIO	4348730.3095	774450.2045	4587001.6940	7.5	3.9	5.2
238	LVIN	4309726.7861	768254.7931	4625103.6171	5.4	4.0	6.8
239	MART	4298251.8390	790560.8508	4631492.7164	14.5	9.4	4.8
240	SMAR	4318243.1152	794690.0304	4612666.2876	12.8	8.3	4.3

6. Die Aufbereitung der terrestrischen Höhen

6.1 Allgemeine Bemerkungen

Im allgemeinen stehen für die Stationen Höhenwerte zur Verfügung, welche von einem Anschluss an das Landesnivellementsnetz stammen. Diese Anschlussmessungen sind aber zu stark unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt worden. Die publizierten Höhen stimmen zudem nicht mit den zur Geoidberechnung gebrauchten orthometrischen Höhen überein. Um diese aus den Gebrauchshöhen zu erhalten, stehen uns zumindest 2 grundsätzlich verschiedene Methoden zur Verfügung, welche im folgenden kurz beschrieben sind.

6.2 Berechnung orthometrischer Höhen aus Rohnivellement und Schweredaten

Da zur Zeit noch nicht entlang aller Landesnivellementslinien der Schweiz Schweremessungen neueren Datums vorhanden sind, ergeben sich bei der Anwendung dieser Methode über die ganze Schweiz einige Probleme. Die Neuvermessung des Landesnivellements und auch die Schweremessungen entlang der Nivellementslinien sollten aber in den nächsten 2 Jahren abgeschlossen sein, so dass für eine zukünftige Neuberechnung des Geoides der Schweiz diese korrekte Methode angewendet werden kann.

- Als Ausgangshöhen dienen die geopotentiellen Knoten der in REUN (Réseau Européen Unifié de Nivellement) ausgeglichenen Knotenpunkte der Hauptlinien. Dies sind in der Schweiz ca 15 Punkte.
- Von diesen Knotenpunkten aus erhält man die geopotentiellen Knoten C der gesuchten GPS-Stationen durch Integration (Summation) der Schwerewerte entlang des Nivellementsweges nach der folgenden Formel:

$$C_{\text{neu}} = C_{\text{fix}} + \sum_{\text{fix}}^{\text{neu}} g \cdot \Delta h$$

Die geopotentiellen Knoten der Neupunkte ergeben sich also aus der Summe der Produkte von gemessenen Oberflächenschweren und den unkorrigierten Nivellementshöhenunterschieden.

- Die orthometrischen Höhen erhält man anschliessend aus den geopotentiellen Knoten durch Division durch die mittlere Schwere entlang der Lotlinie. Also

$$H_{\text{orth}} = \frac{C}{g}$$

Zur Berechnung der mittleren Schwere entlang der Lotlinie steht das Programm LOST von B. Wirth zur Verfügung. Es berechnet den gesuchten Wert aus einem Massenmodell der Schweiz,

wie es bereits Gurtner 1978 eingeführt hat. Dieses enthält ein 500-Meter-Raster der Topographie sowie ein Modell der Krusten-Mantelgrenze und des Ivreakörpers von jeweils 5 km Maschenweite.

Falls auf den Messstationen selbst keine Schweremessungen durchgeführt wurden, wie es zum Beispiel in ALGESTAR der Fall ist, können die orthometrischen Höhen durch ein Näherungsverfahren bestimmt werden, bei welchem praktisch kein Genauigkeitsverlust auftritt.

Wir berechnen die orthometrische Höhe eines Nivellements punktes mit gemessener Schwere, welcher nahe an der gesuchten Station liegt, nach dem oben beschriebenen Verfahren. Die Differenz zwischen dieser Höhe und der rohen nivellierten Höhe ergibt die orthometrische Korrektur. Falls nun unser Stationspunkt genügend nahe beim Nivellementsfixpunkt liegt (weniger als 2 km), kann dieselbe orthometrische Korrektur auch an der nivellierten Höhe des Stationspunktes angebracht werden.

6.3 Näherungsweise Bestimmung orthometrischer Korrekturen aus Massen

Für die Auswertung der ALGESTAR-Kampagne wurde ein näherungsweise Berücksichtigen der Nichtparallelität der Niveauflächen aus Massenmodellen gewählt. Dies hat den Grund in der bereits oben erwähnten Unvollständigkeit von Schwere- und Nivellementsdaten in einigen Gebieten der Schweiz.

Den wegunabhängigen Teil der orthometrischen Korrektur kann man aus einem Massenmodell allein rechnen. Dazu rechnet man das durch die Modellmassen verursachte Störpotential sowohl auf Höhe der Station sowie auch auf Meereshöhe. Der Potentialunterschied dividiert durch die mittlere Schwere ergibt eine Näherung für die orthometrische Korrektur. Der wegunabhängige Teil, welcher durch die Technik des Nivellements verursacht wird, geht dabei verloren. Dieser ist aber um eine Größenordnung kleiner und spielt bei unseren Genauigkeitsanforderungen nur eine untergeordnete Rolle.

Bei der Berechnung wurde wiederum das von Gurtner 1978 eingeführte Massenmodell verwendet. Durch die Einführung der neuesten Modelle, wie wir sie heute an unserem Institut zur Verfügung haben (verbesserte Modelle von Moho-Diskontinuität und Ivreakörper, neue Modelle der Po-Sedimente, des Molassebeckens des Mittellandes und der Wassermassen der Seen), nimmt natürlich die Genauigkeit der Berechnung zu. An ihrer Einführung in unser Programmsystem wird zur Zeit noch gearbeitet. Sie konnten für den Abschluss dieses Projektes noch nicht berücksichtigt werden.

6.4 Die Alpenhebung

Durch wiederholte Ausführung des Schweizerischen Landesnivellements zeigte sich, dass der Prozess der Alpenhebung immer noch andauert. Es zeigten sich signifikante Hebungsraten von bis zu 1.5 mm pro Jahr bezüglich des Mittellandes [Gubler et al. 1981], welche geophysikalisch interpretiert werden können [Geiger, Kahle, Gubler, 1986].

Da die Höhenbestimmungen der ALGESTAR-Stationen zu sehr unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt wurden (in einem Bereich von etwa 60 Jahren), muss die Modellierung der Alpenhebung zumindest in Betracht gezogen werden.

Massgebende Grössen sind dabei neben den Hebungsraten, die Zeitpunkte, an welchen die Messungen derjenigen Hauptnivellementslinie durchgeführt wurde, an welche die Triangulationspunkte angeschlossen sind. Das Datum der Einmessung der Triangulationspunkte selbst ist von untergeordneter Bedeutung, weil diese Punkte in der Regel sehr nahe bei den Nivellementslinien liegen und somit der Hebungsratenunterschied auf der kurzen Strecke zwischen Nivellementsfixpunkt und Triangulationspunkt vernachlässigt werden kann. Damit lassen sich die orthometrischen Höhen auf den einheitlichen Zeitpunkt der GPS-Messungen umrechnen.

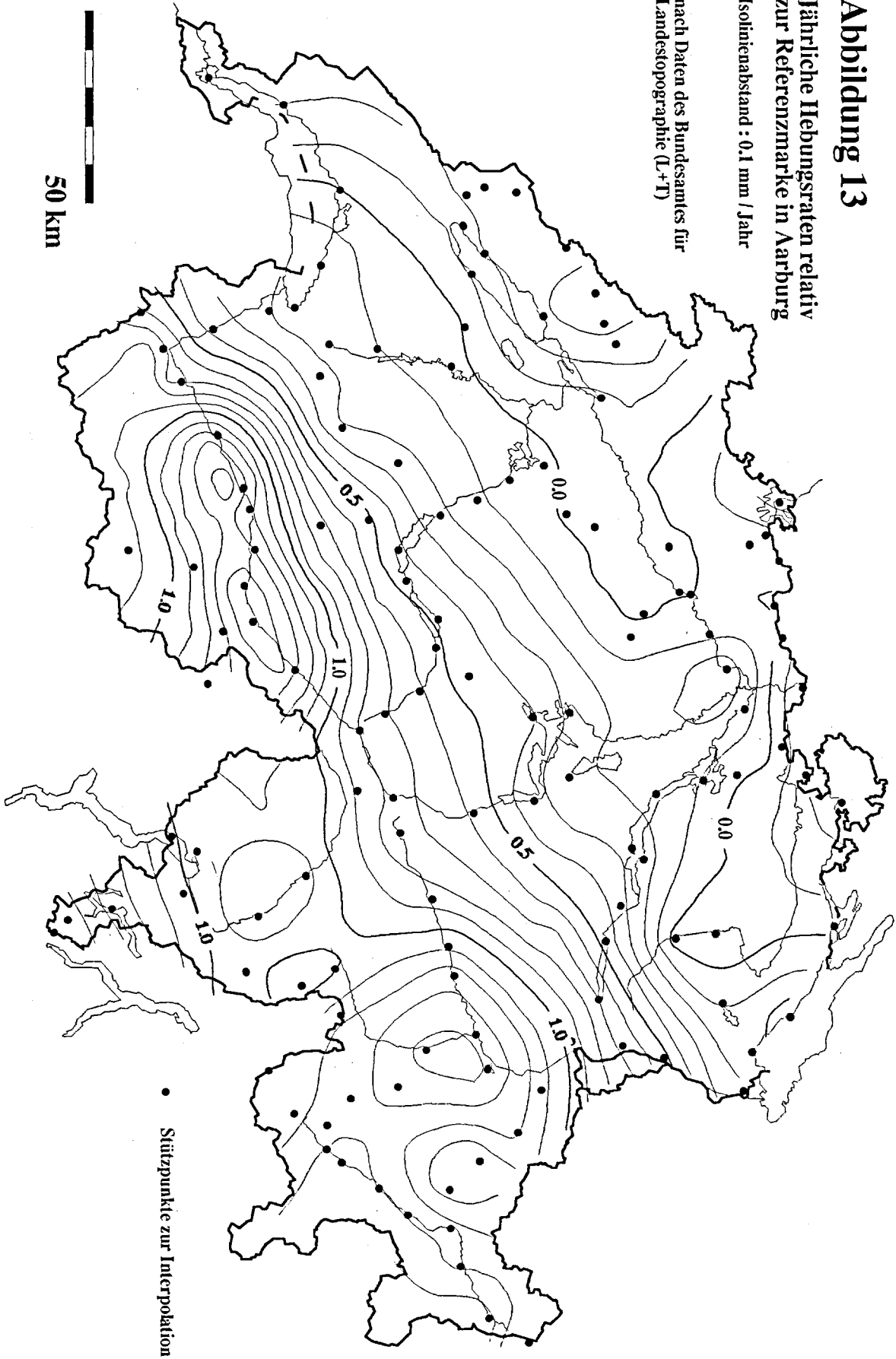
In Abb. 13 erkennt man, dass sich die Gebiete mit den grössten Hebungen (1.4 mm pro Jahr) im Rhonetal und in Graubünden befinden. Dort liegen aber glücklicherweise Nivellements neueren Datums vor. Somit ergeben sich im Zeitraum von der Ausführung des entsprechenden Nivellements bis zur Durchführung der ALGESTAR-Kampagne maximale Hebungen von 5 bis 8 cm im Engadin, den südlichen Bündner Tälern und im Glarner Land. In den übrigen Gebieten der Schweiz sind die Hebungsbeträge nirgends grösser als 1.8 cm (Jura). Die Grössenordnung der Hebungsraten zeigt jedoch, dass für eine Geoidberechnung aus älteren Nivellementshöhen, oder aus Anschlüssen an alte Nivellementslinien die Alpendynamik nicht vernachlässigt werden darf.

Abbildung 13

Jährliche Hebungsraten relativ zur Referenzmarke in Aarburg

Isolinienabstand : 0.1 mm / Jahr

nach Daten des Bundesamtes für Landestopographie (L+T)



7. Die Berechnung des Geoides

7.1 Allgemeine Bemerkungen

Die Geoidhöhen in den Messpunkten ergeben sich aus der Differenzbildung zwischen den ellipsoidischen Höhen, welche wir aus den GPS-Messungen erhalten, und den aus den Nivellementsmessungen gewonnenen orthometrischen Höhen.

Da wir vorläufig die Geoidhöhen im Schweizer Datum suchen, müssen die globalen geozentrischen Koordinaten aus dem WGS-84 System vorgängig transformiert werden. Die dazu nötigen Transformationsgrößen sind aber noch nicht genau genug bekannt. Sie müssen aus dem gleichen Datenmaterial vorgängig bestimmt werden.

7.2 Berechnung der Transformationsparameter

Der übliche Ansatz zur Transformation zweier kartesischer Koordinatensätze lässt sich am Einfachsten durch die folgende Schreibweise darstellen :

$$\overline{X}_2 = \overline{\Delta X} + m \cdot D \cdot \overline{X}_1$$

Der 2. Koordinatensatz wird als Funktion mit 7 Parametern (3 Translationen, 1 Massstabsfaktor, 3 Rotationen) des anderen Satzes dargestellt. Lösungen dieser Transformationsprobleme lösen wir an unserem Institut standardmässig mit dem Programm ATRA (Schmid, Heggli 1978).

Wir haben allerdings keine räumlich kartesischen Koordinaten der Punkte im Schweizerischen System zur Verfügung. Insbesondere beziehen sich die Höhen auf das Geoid, welches wir ja eigentlich bestimmen wollen. Nun ist dies aber nicht das erste Mal, dass eine Geoidbestimmung in der Schweiz durchgeführt wird. So brachten wir einzig zum Zweck der Bestimmung der Transformationsparameter an den orthometrischen Höhen die von Gurtner 1978 bestimmten Geoidhöhen an. Ohne diese Korrektur würden die Rotationsparameter um den Haupttrend der Geoidneigung verfälscht und direkte Vergleiche mit bestehenden Geoiden würden erschwert. Mit dieser Korrektur werden zudem die Restklaffen sehr viel kleiner, so dass grob falsche Messungen leichter erkannt werden.

Zur Berechnung konnten somit 31 Punkte mit in beiden Systemen vollständigen Koordinatensätzen verwendet werden. Daraus ergaben sich folgende Parameter:

$\Delta X =$	662.481 m	± 3.91 m
$\Delta Y =$	21.726 m	± 2.90 m
$\Delta Z =$	364.964 m	± 3.83 m
$m =$	1.0000057	± 0.00000038
$\alpha =$	0.64 cc	
$\beta =$	2.09 cc	
$\gamma =$	2.16 cc	

Die Restklaffen an den einzelnen Punkten betragen in der Regel weniger als 30 cm (ausser im Tessin und im Engadin). Als Mittel der Residuen ergab sich der Wert von 11.7 cm. Interessant an diesen Parametern ist der Massstabsunterschied von 5.7 ppm, der auch schon früher aufgedeckt worden ist [Bürki et al 1987]. Dies macht zum Beispiel auf die Distanz von Zimmerwald zum Monte Generoso ca 90 cm aus.

Als Vergleich wurden dieselben Parameter auch mit der GPS-Lösung unter der Verwendung eines Standard-Meteo-Modells gerechnet. Die Abweichungen zur oben angegebenen definitiven Lösung sind allerdings nicht signifikant.

7.3 Geoidberechnung in den Stützpunkten

Mit den unter 7.2 berechneten Parametern können nun die GPS-Lösungen vom WGS84- ins Schweizer System übertragen werden. Dies ist mit dem Transformationsprogramm TRAFO von M.V. Müller einfach zu realisieren. Anschliessend erhalten wir die Geoidundulationen in den Stützpunkten durch einfache Differenzbildung.

Da wir eine einfache Helmert-Transformation mit identischem Gewicht für alle Koordinaten durchgeführt haben, entspricht die Lagerung des Geoides nicht exakt derjenigen, wie sie Gurtner verwendet hat. Gurtner hat die Referenzhöhe des Geoides so angesetzt, dass die Undulation in Schwerzenbach den Wert 0 erhält. Aus der Transformation erhalten wir jedoch einen Wert von etwa 8 cm. Für den weiteren Verlauf der Betrachtungen wird dies aber nicht korrigiert.

7.4 Interpolation der Geoidhöhen

Wie wir bereits bei früheren Geoidberechnungen gesehen haben, ist es zweckmässig, zur Interpolation nicht die beobachteten Geoidhöhen zu verwenden, da sie stark mit der Topographie korreliert sind. Dies ergibt insbesondere in den Alpen sehr hochfrequente Undulationsunterschiede, welche schwer interpolierbar sind.

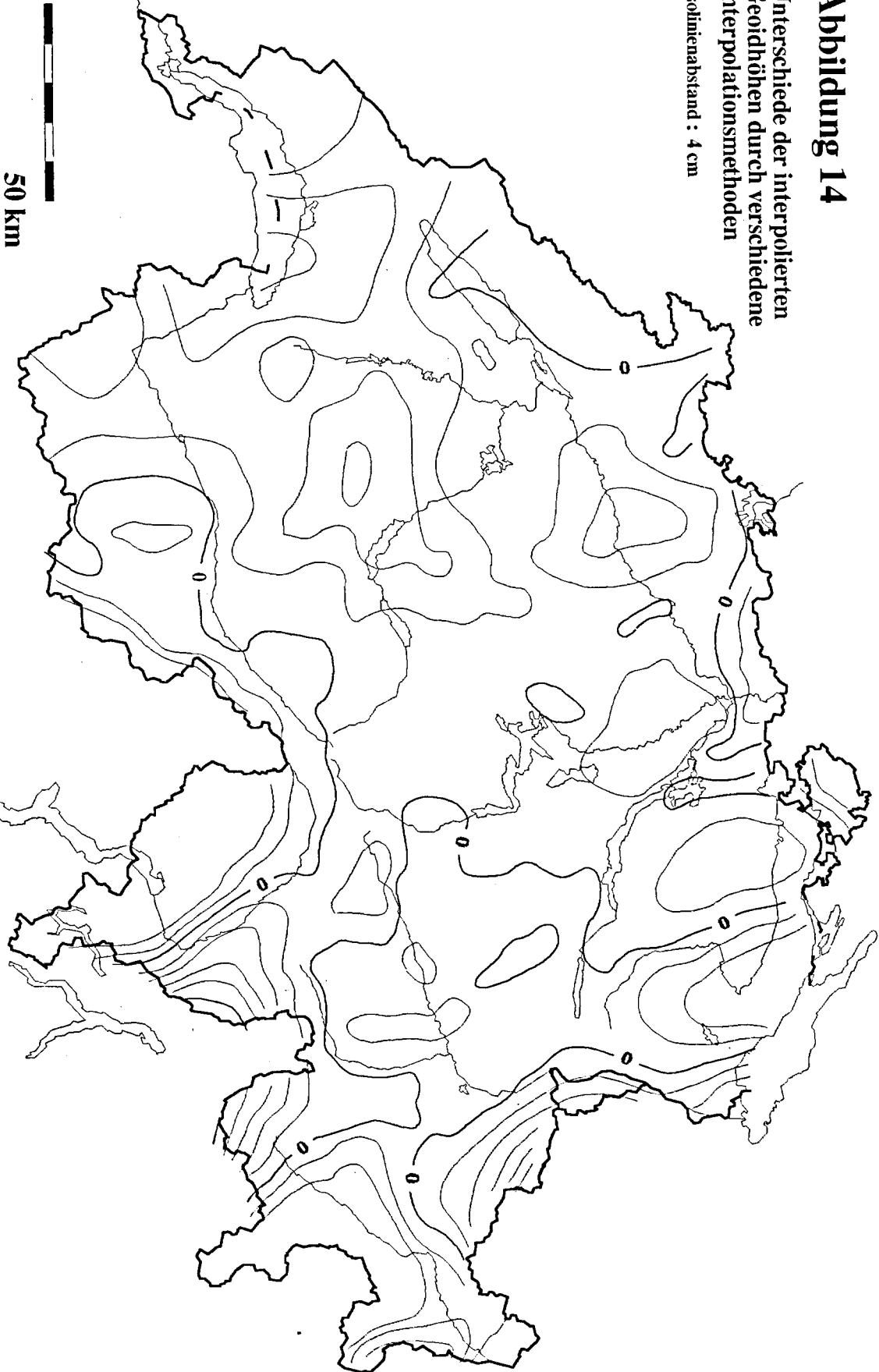
Die eine Möglichkeit zur Behebung dieses Nachteiles ist eine genügend hohe Messpunktdichte, welche auch erlaubt, die Detailstrukturen des Geoides zu erkennen. Mit dieser Methode wächst allerdings der Messaufwand rasch an, und der eigentliche Vorteil der GPS-Messungen geht verloren. Die Alternative dazu ist das Reduzieren der beobachteten Geoidhöhen um den Einfluss der bekannten Massen. Wiederum haben wir dazu das von W. Gurtner eingeführte Modell von Topographie, Moho-Diskontinuität und Ivreakörper verwendet. Ähnlich wie bei der Geoidbestimmung aus Lotabweichungsmessungen zeigen die reduzierten Grössen einen ruhigen Verlauf und können leicht interpoliert werden.

Die Interpolation selbst wurde mit dem im Handel erhältlichen Interpolations- und Darstellungsprogramm SURFER® (Version 4.0, Golden Software Inc.) ausgeführt. Dieses sehr vielseitige und nützliche Programm erlaubt unter anderem die Interpolation beliebig verteilter Werte auf ein regelmässiges Gitter nach zumindest 3 völlig unterschiedlichen Methoden. Die Wahl der Methode spielt allerdings für unser Resultat eine untergeordnete Rolle. In Abb. 14 ist der Vergleich zweier unterschiedlichen Interpolationen dargestellt. Die Unterschiede liegen innerhalb der Genauigkeit sowohl der mit GPS bestimmten ellipsoidischen als auch der berechneten orthometrischen Höhen.

Abbildung 14

Unterschiede der interpolierten
Geoidhöhen durch verschiedene
Interpolationsmethoden

Isolinienabstand : 4 cm

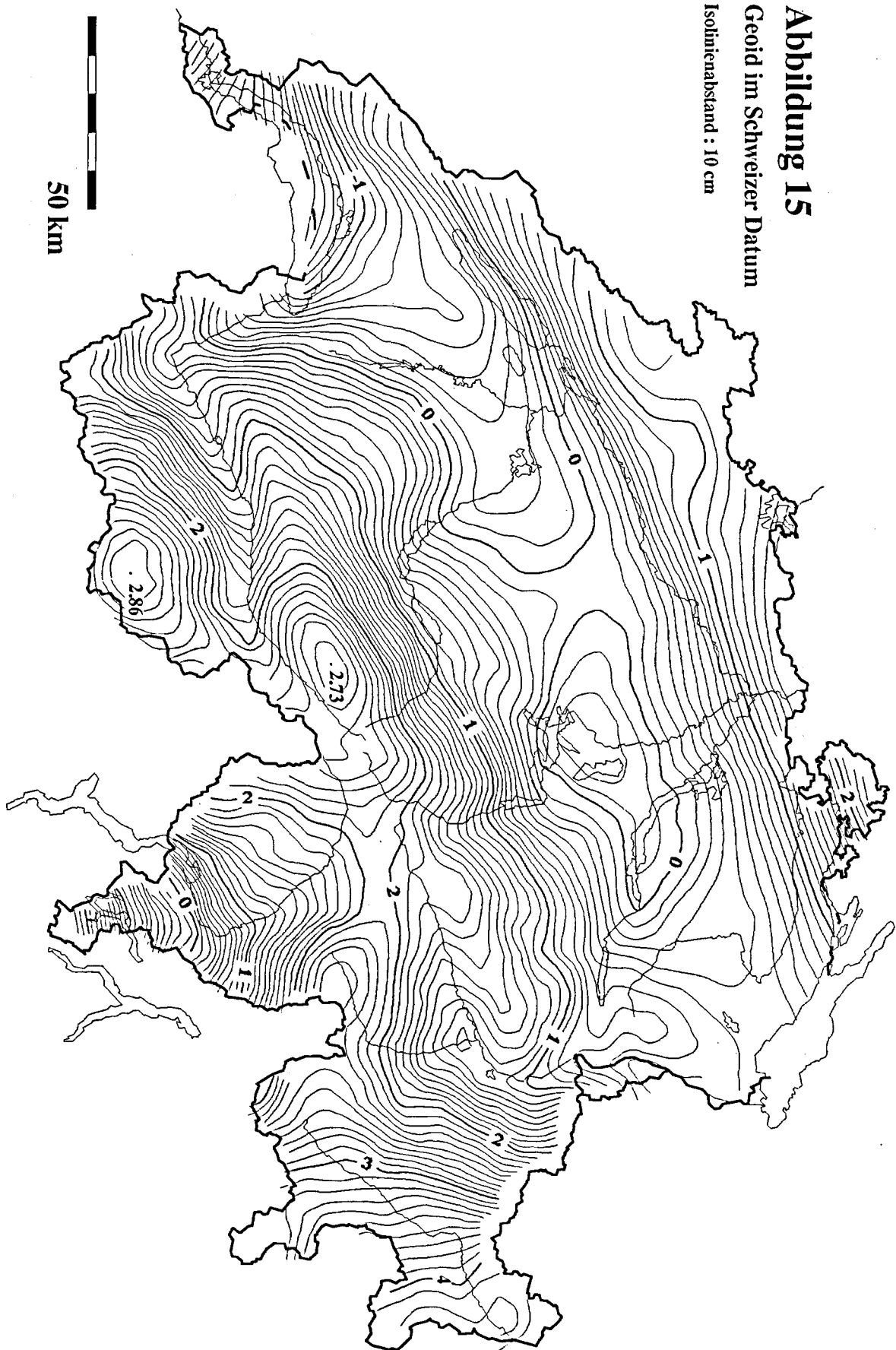


Nach der Interpolation wurden die Wirkungen der zuvor reduzierten Massenmodelle auf den berechneten Gitterpunkten berechnet und zum Cogeoid addiert. Damit erhält man das fein strukturierte Geoid, wie es in Abb. 15 dargestellt ist. Mit nur 38 Messpunkten, welche in nur 4 Tagen gemessen worden waren, kann ein Geoid berechnet werden, welches eine Genauigkeit von 10 bis 15 cm über das ganze Gebiet der Schweiz aufweist. Durch die Einführung eines verbesserten Massenmodells, durch eine sorgfältige Auswahl der Messpunkte und eine strenge Aufbereitung der Nivellementshöhen kann die Genauigkeit in Zukunft noch weiter verbessert werden.

Abbildung 15

Geoid im Schweizer Datum

Isolinienabstand : 10 cm



8. Vergleiche mit bestehenden Geoiden der Schweiz

8.1 Vergleich mit dem astro-geodätischen Geoid von W. Gurtner

Die Berechnung des ALGESTAR-Geoides stützt sich in 2 wesentlichen Teilen auf das Geoid von Gurtner. Einerseits wurde dasselbe Massenmodell in beiden Arbeiten verwendet. Dies hat zur Folge, dass die Differenzen der beiden Geoide ziemlich frei von kurzwelligen Anteilen sind. Unterschiede ergeben sich nur aus Messfehlern und den unterschiedlichen Interpolationsmethoden. Andererseits wurde das Gurtnergeoid bei der Berechnung der Transformationsparameter verwendet. Die beiden Geoide sind also so aufeinander gelagert, dass ihre Differenz minimal wird. Wie früher schon erwähnt, geht dadurch die absolute Lagerung des ALGESTAR-Geoides, mit der Höhe 0 in Schwerzenbach, verloren.

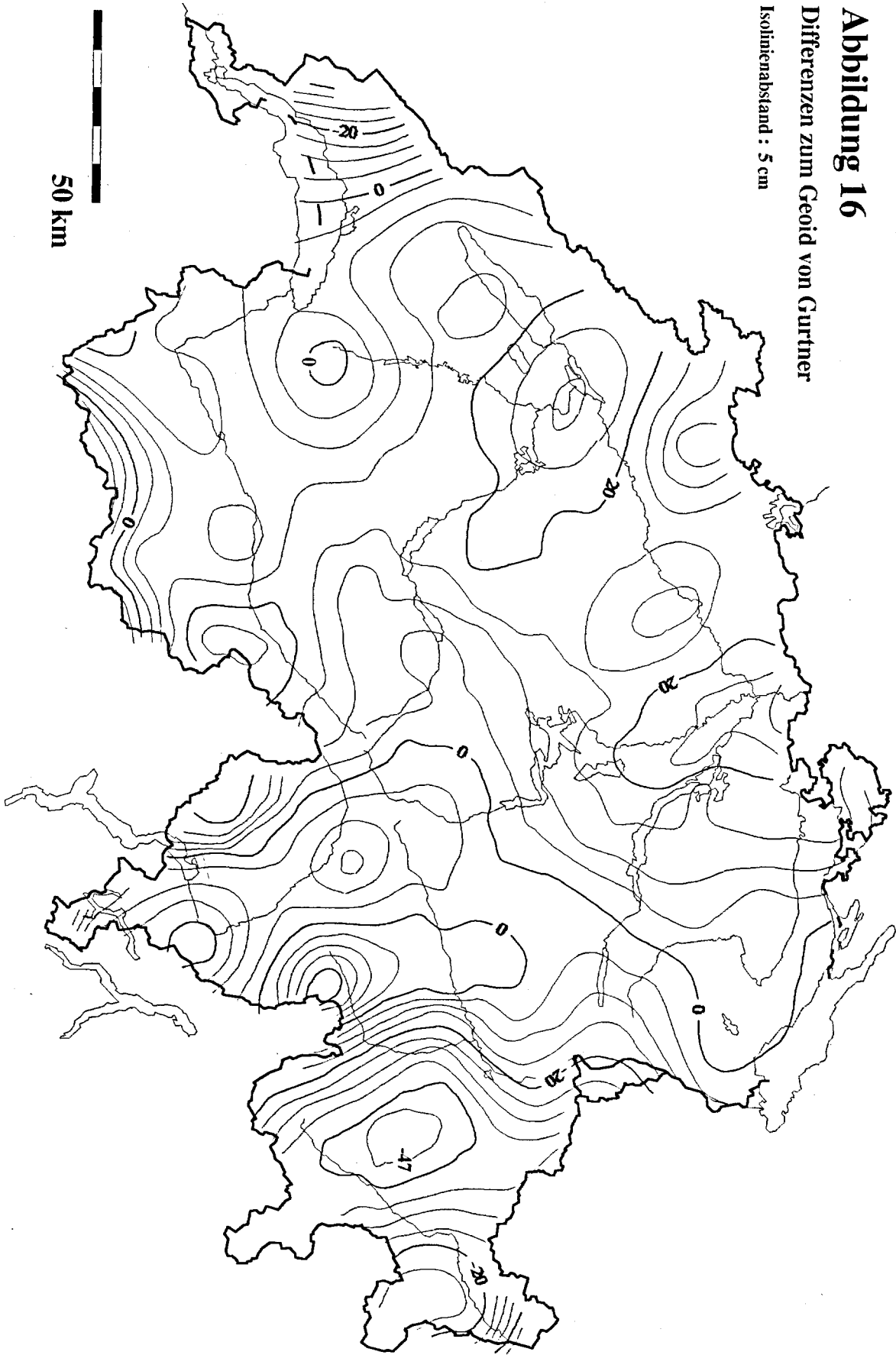
In Abb. 16 sind die Differenzen der beiden Geoidberechnungen aufgezeichnet. Negative Differenzen bedeuten, dass die Undulationen des ALGESTAR-Geoides kleiner sind als diejenigen des Gurtner-Geoides. Die wesentlichen Merkmale dieser Darstellung können kurz folgendermassen zusammengefasst werden:

- Im grössten Teil der Schweiz sind die Differenzen kleiner als 20 cm.
- Einzelne 'Augen' im Isolinienplan treten in verschiedenen Regionen auf. Diese sind erklärbar durch offenbar nicht sehr genaue Messungen einzelner ALGESTAR-Punkte (z.B. San Bernardino) oder dann ist in einzelnen Regionen die Messpunktdichte zu gering (z. B. Tessin). Die Abweichungen nehmen aber keine extrem hohen Werte an, welche erlauben würden, ein Geoid als grob falsch zu bezeichnen.
- Entlang des Rheintales und in Mittelbünden steigen die Differenzen bis zu 40 cm an. Hier vertraue ich allerdings meinen Auswertungen. In diesem Gebiet ist nämlich die Stützpunktdichte des astro-geodätischen Geoides äusserst gering. Zudem weiss man heute, dass Gurtners Stützpunkt in Chur mit einer um ca 3" falschen Lotabweichung eingeführt wurde. Dies bestätigte sich bereits bei der Geoidberechnung von A. Graf (Seminararbeit 1987) aus den Lotabweichungsmessungen der Osttraverse (NFP20).

Abbildung 16

Differenzen zum Geoid von Gurtner

Isolinienabstand : 5 cm



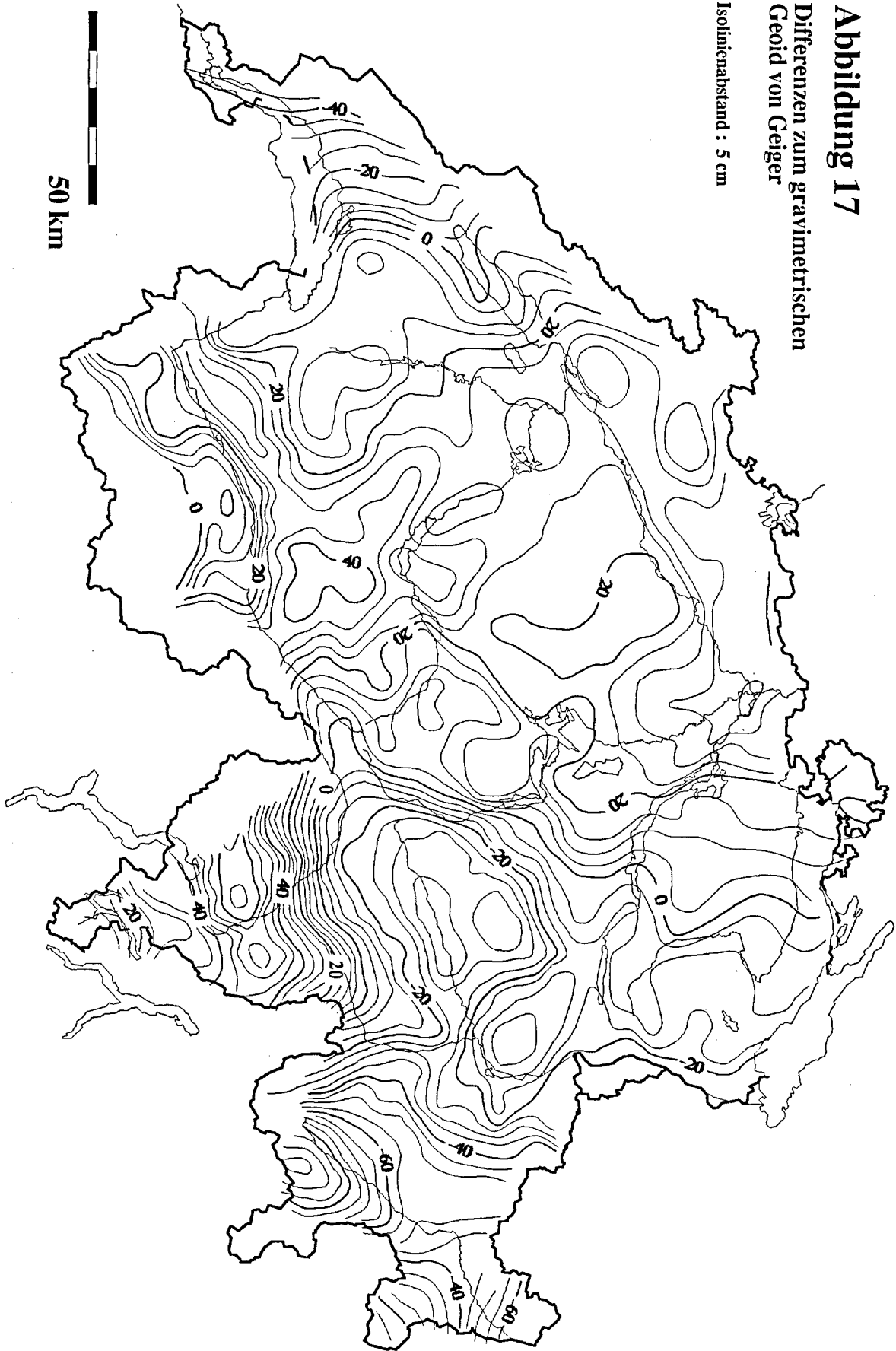
-
- Auch wenn wir alle diese erklärbaren Unterschiede eliminieren, so bleibt doch noch ein allgemeiner Trend der Differenzen bestehen. Wir sehen nämlich, dass diese vom Westen der Schweiz her bis in die Zentralschweiz ansteigen und von dort in Richtung Osten wieder eine abnehmende Tendenz zeigen. Im Moment ist mir dieses Verhalten noch nicht klar. Es gibt 2 sehr vage Vermutungen: Eine Möglichkeit ist eine unkorrekte Behandlung bei der Transformation der GPS-Koordinaten in das Schweizerische System der Landesvermessung. Die 2. Möglichkeit besteht darin, dass bei Lotabweichungsmessungen immer nur Geoidgradienten gemessen werden. Dadurch können über grosse Distanzen bei ungenügender Stützpunktdichte Fehler in der Geoidhöhe entstehen.

8.2 Vergleich mit dem gravimetrischen Geoid von A. Geiger

Die Hauptmerkmale der Differenzen (Abb. 17) sind ungefähr dieselben, wie sie sich schon beim Vergleich mit dem astro-geodätischen Geoid zeigten. Der grobe Verlauf der Differenzen ist etwa gleich. Die Unterschiede der beiden Geoiden nehmen allerdings grössere Beträge an als beim astrogeodätischen Geoid. Dies ist nicht verwunderlich, da das gravimetrische Geoid völlig unabhängig von den beiden anderen ist. Dies zeigt sich insbesondere auch darin, dass die Differenzen, als Folge der unterschiedlichen verwendeten Massenmodelle, viele hochfrequente Anteile aufweisen. In den Randgebieten (Wallis, Graubünden, z.T. auch Tessin) divergieren das gravimetrische und das satellitengestützte Geoid sehr rasch. Im Mittel betragen die Differenzen aber doch nur ungefähr 20 cm.

Abbildung 17Differenzen zum gravimetrischen
Geoid von Geiger

Isolinienabstand : 5 cm



9. Schlussbemerkungen

Das Pilotprojekt ALGESTAR-Projekt hat gezeigt, dass mit relativ geringem Aufwand aus Messungen zu GPS-Satelliten und vorhandenen Nivellementsdaten ein Geoid bestimmt werden kann, welches genauigkeitsmässig mit Geoidberechnungen aus gravimetrischen und auch astrogeodätischen Messungen vergleichbar ist. Durch die Messung von 40 Punkten in einem Zeitraum von nur 4 Tagen ist es gelungen, das Geoid mit etwa dm-Genauigkeit zu bestimmen.

Die Genauigkeit kann noch gesteigert werden, wenn die bereits existierenden verbesserten Massenmodelle in den Berechnungen berücksichtigt werden. Diesen Schritt werden wir an unserem Institut sehr bald vollziehen. Im Weiteren hat sich gezeigt, dass es nötig ist, jeden GPS-Punkt mindestens zwei Mal zu besetzen. Gerade bei diesen Messungen können viele Probleme auftreten, welche das Ergebnis verfälschen. Durch eine Messung allein können keine Resultate kontrolliert werden. In 1 bis 2 Jahren wird das GPS-System soweit installiert sein, dass auch bei unterschiedlichen Satellitenkonstellationen beobachtet werden kann. Damit lassen sich weitere systematische Fehlereinflüsse eliminieren. Zudem wird im selben Zeitraum die Neuvermessung des Landesnivellements inklusive Schweremessungen abgeschlossen sein. Damit kann auch die Berechnung der orthometrischen Höhen in der ganzen Schweiz exakt durchgeführt werden. Aus diesem Grund erwarten wir uns noch einmal eine wesentliche Verbesserung des satellitengestützten Geoides durch das grossangelegte Messprojekt des Bundesamtes für Landestopographie (L+T), welches bei grösserer Punktdichte als bei ALGESTAR unter anderem auch dieses Ziel verfolgt.

Für die Berechnung eines Geoides mit cm-Genauigkeit, wie dies eine Resolution der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) auch für Gebirgsregionen fordert, wird es allerdings kaum genügen, sich allein auf GPS-Messungen zu stützen. Vielmehr müssen dafür alle in der Schweiz vorhandenen Informationen über das Schwerfeld (Lotabweichungen, Schweredaten, Massenmodelle) gemeinsam ausgewertet werden. Zudem müssen in einigen Gebieten der Schweiz und im angrenzenden Ausland noch zusätzliche Messungen durchgeführt werden. Die Massenmodelle bedürfen ebenfalls noch einer Verbesserung. So wird zum Beispiel die Topographie bis heute immer noch mit einer einheitlichen Oberflächendichte über die ganze Schweiz berechnet. Wir erwarten durch die Einführung von regional verschiedenen Dichtewerten die wirksamste Verbesserung des Modells des Erdpotentials. Die Auswerteprogramme und zusätzlichen Informationen stehen zu einem grossen Teil schon zur Verfügung. Allerdings ist deren Integration in bereits bestehende Programme noch ausstehend. Zudem bereitet die gleichzeitige Verarbeitung so vieler Daten mit der Kollokationsmethode zur Zeit noch Mühe.

Die integrierte Geoidbestimmung unter Verwendung aller Geodaten ist Gegenstand einer zukünftigen gemeinsamen Anstrengung des AIUB, der L+T und des IGP im Rahmen der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK). Hierzu ist kürzlich eine SGK-Arbeitsgruppe etabliert worden, die auch die Kontakte zur internationalen Geoid-Kommission der IAG pflegen wird.

Zusammengefasst darf gesagt werden, dass das aus ALGESTAR resultierende Geoid eine zufriedenstellende Genauigkeit aufweist, besonders, wenn man die knappe Zeit berücksichtigt, die dazu zur Verfügung stand. Deshalb konnte wohl auch aus den Messungen noch nicht das optimale Resultat erreicht werden. Auf jeden Fall wurden einmal mehr die Möglichkeiten aufgezeigt, welche uns mit GPS zur Verfügung stehen. Bis zur Erreichung eines Geoides mit cm-Genauigkeit bleibt allerdings noch einiges zu tun.

Literaturverzeichnis

- Anderle R.J. : The Global Positioning System. Phil. Trans. R. Soc. London A 294, p. 395-406, 1980.
- Angus-Leppan P.V. : GPS-Prospects for Geodesy. Aust. J. Geod. Surv. No. 37, p.65-78, Dezember 1982.
- Beutler G., D.A. Davidson, R.B. Longley, R. Santerre, P. Vanicek, D.E. Welles: Some Theoretical and Practical Aspects of the Geodetic Positioning using Carrier Phase Difference Observations of GPS Satellites. MSZ No. 14, 1984
- Beutler G., W. Gurtner, I. Bauersima, R. Langley: Modelling and Estimating the Orbits of GPS Satellites. In: C. Goad (ed.), Proc. of 1st Int. Symposium on GPS, Rockville, Maryland, p.99-111. 1985.
- Bürki B., A. Geiger, H.-G. Kahle, W. Gurtner, P. Dunn: The Swiss Trans-Alpine Laser-Experiment Monte Generoso-Jungfrauoch-Zimmerwald. 12th NASA's CDP Meeting, JPL, Pasadena. 1987.
- Ehrnsperger, W., J.J. Kok: Status and results of the 1986 adjustment of the united european levelling network - UELN - 73. September 1986
- Geiger A.: Gravimetrisches Geoid der Schweiz: Potentialtheoretische Untersuchungen zum Schwerefeld im Alpenraum. Dissertation der ETHZ Nr. 9009. November 1989
- Geiger A., H.-G. Kahle, E. Gubler: Recent Crustal Movements in the Alpine-Mediterranean Region Analyzed in the Swiss Alps. Tectonophysics 130, p 289-298. 1986.
- Geiger A., H.-G. Kahle, D. Schneider, M. Rothacher, G. Beutler, W. Gurtner: Das GPS-Testnetz Turtmann: Netzanlage und Messkampagne 1985. VPK 7/1986.
- Geiger A., A. Wiget: Dopplermessungen für das Projekt ALGEDOP. Anwendung des U.S. Satelliten-Navigationssystems TRANSIT in der Schweiz. Teil 1: Messungen und Stationsprotokolle. IGP-Bericht Nr. 101, Januar 1986.
- Geiger A., M. Müller: Dopplermessungen für das Projekt ALGEDOP. Anwendung des U.S. Satelliten-Navigationssystems TRANSIT in der Schweiz. Teil 2: Auswertung und Interpretation. IGP-Bericht Nr. 138, November 1987.
- GOLDEN SOFTWARE INC.: SURFER® Version 4.0. Reference Manual.
- Graf A.: Astrogeodätische Geoidbestimmung auf der Ostraverse. Seminararbeit SS 1988. Prof. H.-G. Kahle. Betreuung B. Wirth.
- Gubler E., H.-G. Kahle, E. Klingelé, St. Müller, R. Oliver: Recent crustal movements in Switzerland and their geophysical interpretation. Tectonophysics 71. 1981. p. 125-152.
- Gurtner W.: Das Geoid der Schweiz. IGP-Mitteilungen Nr. 20, Februar 1978.
- Heiskanen, W.A., H. Moritz: Physical Geodesy. 1979

-
- Kahle H.-G. : Einführung in die höhere Geodäsie. Vorlesungsskriptum. Verlag der Fachvereine. 1988
- Kahle H.-G., A. Geiger, A. Wiget: Satellitengeodätische Methoden mit Hilfe von Radiowellenmessungen: TRANSIT und NAVSTAR/GPS. IGP-Bericht Nr. 109, Juli 1986.
- Marti U. : Astrogeodätische Geoidbestimmung in der Ivrea-Zone. IGP-Bericht Nr. 153. Juli 1988.
- Müller M.: SWISSDOC und ALGEDOP: Ein (beinahe schon) abgeschlossenes Kapitel der Satellitengeodäsie; das Jahrzehnt des Satelliten-Dopplerverfahrens in der Schweiz. VPK 8/1989.
- Oswald, A.: Geoidbestimmung, Ionian Sea Campaign. Diplomarbeit 1989. Prof. H.-G. Kahle. Betreuung B. Wirth, M. Müller
- Remondi B.W.: Using the Global Positioning System (GPS) Phase Observable for relative Geodesy: Modelling, Processing and Results. Ph.D. Diss., Center for Space Res., University of Texas at Austin. Pub. by NOAA, U.S. Dept. of Commerce. Mai 1984.
- Remondi B.W. : GPS Carrier-Phase: Description and Use. Bull. Géod. 59, p. 361-377. 1985.
- Rothacher M., G. Beutler, W. Gurtner, A. Geiger, H.G. Kahle, D. Schneider: The 1985 Swiss GPS Campaign. In: Proc. 4th Int. Symp. Sat. Pos. p. 979-992. 1986.
- Rothacher M., G. Beutler, W. Gurtner, T. Schildknecht: Documentation for the Bernese GPS Software Version 3.0. 1988.
- Rothacher M., W. Gurtner, G. Beutler, T. Schildknecht, I. Bauersima: Geodätische Verbindung der West- und Osttraverse: Stand der GPS-Auswertungen. Bericht Nationales Forschungsprogramm 'Geologische Tiefenstruktur der Schweiz' NFP 20. 1989.
- Scherrer R.: The WILD-MAGNAVOX GPS Primer. 1985.
- Schmid H.H., S. Heggli: Räumliche Koordinatentransformationen. IGP-Mitteilung Nr. 23. Juli 1978.
- Wiget, A., A. Geiger, H.-G. Kahle: Die Dopplermesskampagne SWISSDOC: Ein Beitrag zur Landesvermessung in der Schweiz. VPK 2/85. Februar 1985.
- Wiget. A., A. Geiger: Schweizerische Doppler-Messkampagne SWISSDOC 84. Anwendung des U.S. Satelliten-Navigationssystems TRANSIT in der Schweiz. Teil 2: Auswertungen und Ergebnisse. IGP-Bericht Nr. 113 November 1986.
- Wiget A., H.-G. Kahle, A. Geiger: ALGEDOP: Ein Beitrag zur satellitengestützten Geoidbestimmung in der Schweiz. VPK 5/86. Mai 1986.
- Wirth, B.: Terrestrischer Präzisionspolygonzug Visp-Zermatt. Kombination mit GPS. Auswertung und Zusammenstellung der im Diplomvermessungskurs 1987 erhobenen Messungen. IGP-Bericht Nr. 159. März 1989

Schweizerische Meteorologische Anstalt: Automatisierung der Beobachtungsnetze in der Schweiz. Kurzbericht der Projektgruppe PAN. MZA September 1978

Schweizerische Meteorologische Anstalt: Charakteristiken der ANETZ-Daten. Beiträge zum ANETZ-Daten Kolloquium vom 17. April 1985 in Zürich.



Anhang

Stationsprotokolle

**Alle Kartenausschnitte reproduziert mit Bewilligung des
Bundesamtes für Landestopographie vom 11. 5. 1990**



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer 201

Versoix

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 252/CN 1281
Bolzen
Gemeinde Versoix (GE)

Landeskoordinaten

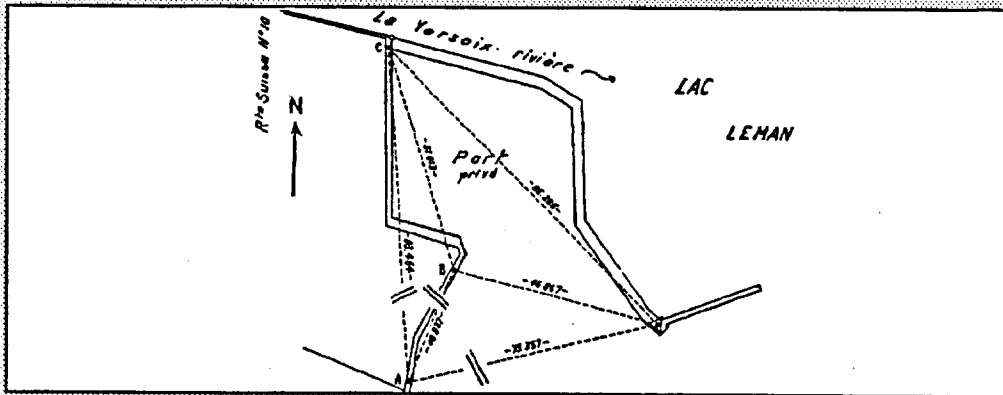
y: 502 350.00
y: 125 548.29
h: 373.32

Informationen :

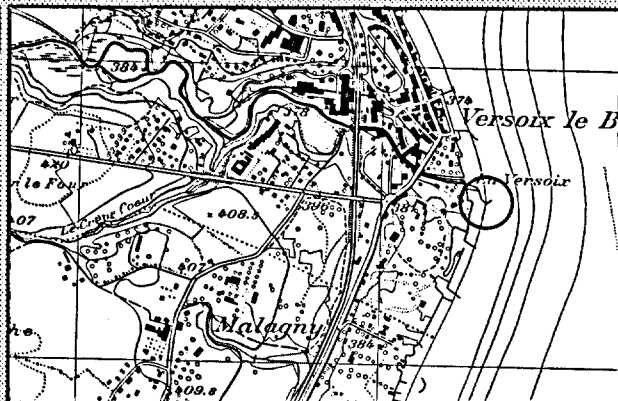
gemessen am 28.-31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 101
Eigentümer : GESTER (Genève)
Operateur : Charles Aeschlimann
GESTER

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1973
gegen Westen leichte
Abdeckung durch Bäume



LK 1281



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 202

Allaman

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 249/CN 1242
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Allaman (VD)

Landeskoordinaten

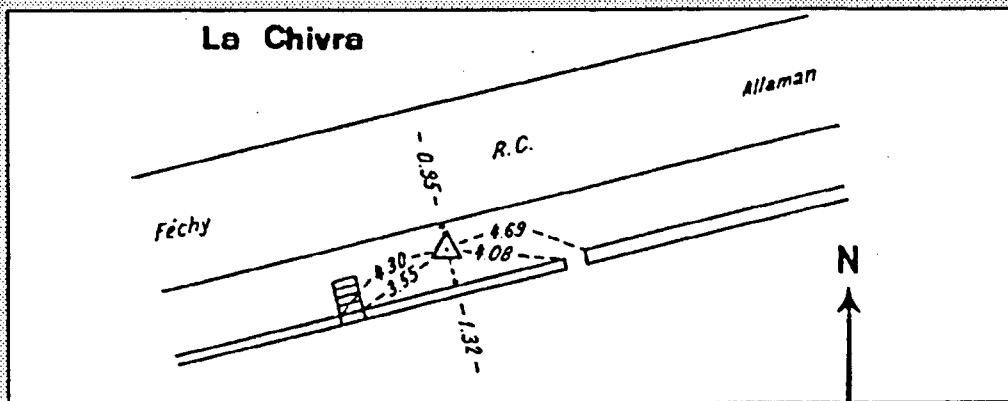
y: 519 392.97
x: 147 156.97
h: 420.52

Informationen :

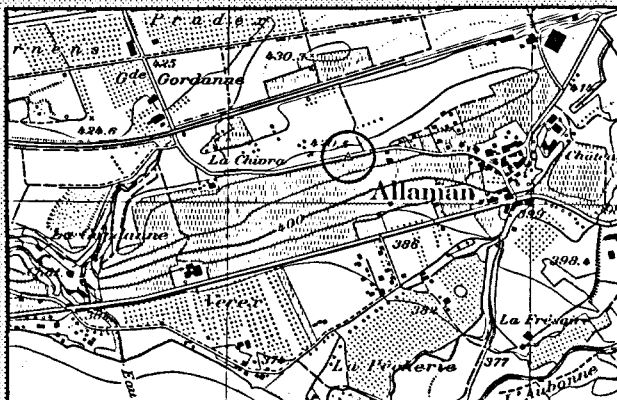
gemessen am 28. 8. 1989
WM 102 Nr. : 183
Eigentümer : EPF Lausanne
Operateur : Inès Sancho
EPF Lausanne

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1981



LK 1242



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 203

Les Verrières

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 805/CN 1162
Granitstein, bodeneben
Gemeinde La Brévine (NE)

Landeskoordinaten

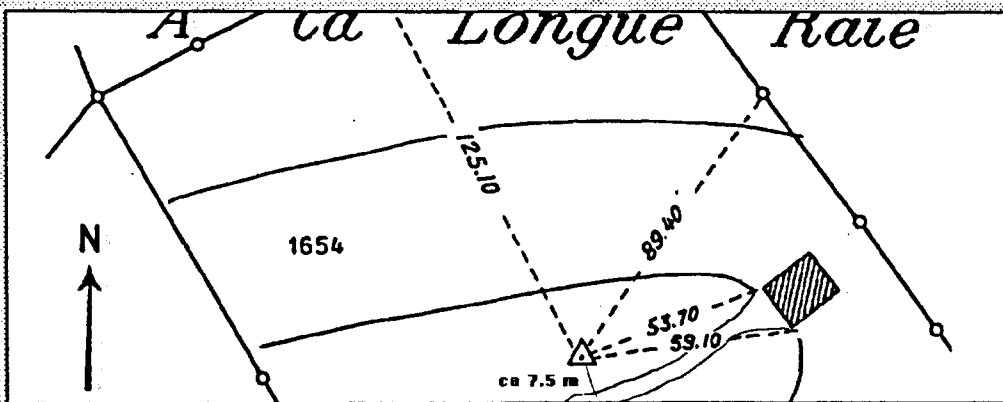
y: 531 613.68
x: 201 543.13
h: 1054.67

Informationen :

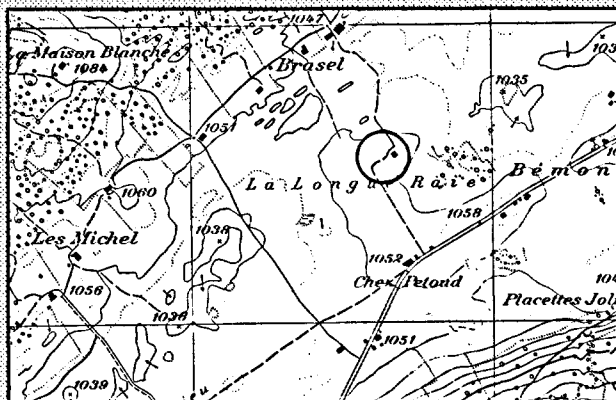
gemessen am 30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 256
Eigentümer : EPF Lausanne
Operateur : Laurent Huguenin
EPF Lausanne

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1927.



LK 1162



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 204

Estavayer

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 319/CN 1184
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Sévaz (FR)

Landeskoordinaten

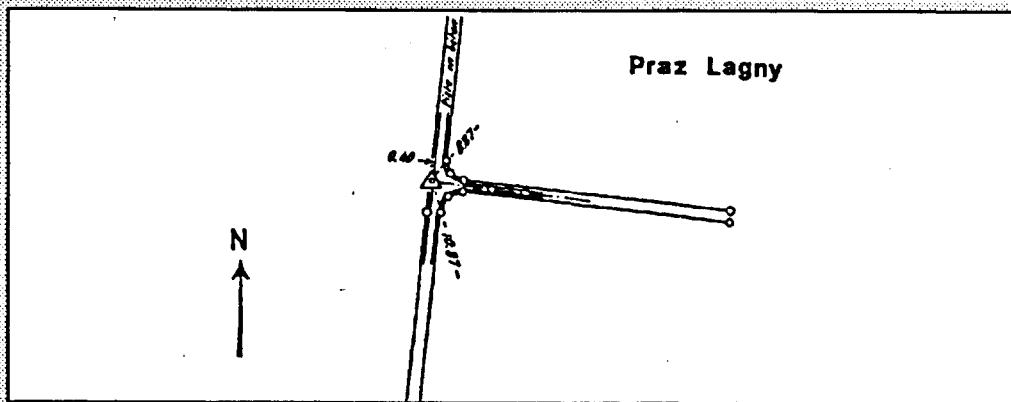
y: 556 732.30
x: 188 115.80
h: 488.07

Informationen :

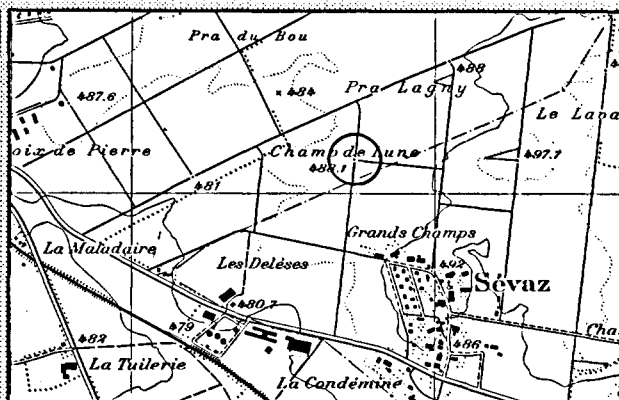
gemessen am 28. 8. 1989
WM 102 Nr. : 122
Eigentümer : TH Karlsruhe
Operateur : Silke Schödl
TH Karlsruhe

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1968



LK 1184



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 205

Col de la Forclaz

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 811/CN 1324
Bolzen
Gemeinde Salvan (VS)

Landeskoordinaten

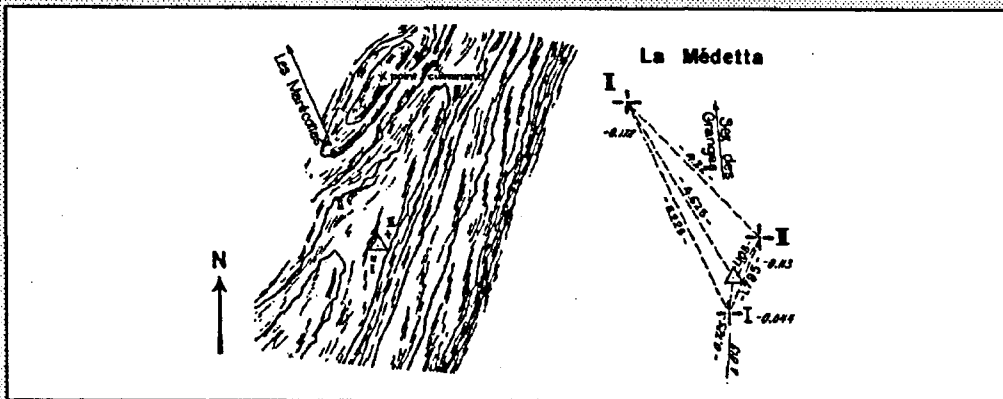
y: 566 803.85
x: 106 419.78
h: 1061.37

Informationen :

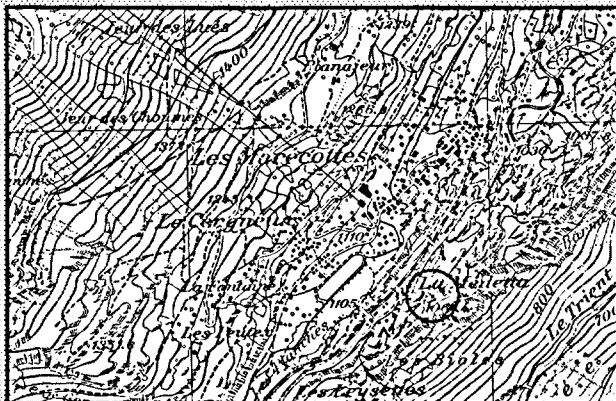
gemessen am 30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 183
Eigentümer : EPF Lausanne
Operateur : Inès Sancho
EPF Lausanne

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1922
Leichte Abdeckung durch
Bäume und Berge



LK 1324



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 206

Albeuve

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 135/CN 1245
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Albeuve (FR)

Landeskoordinaten

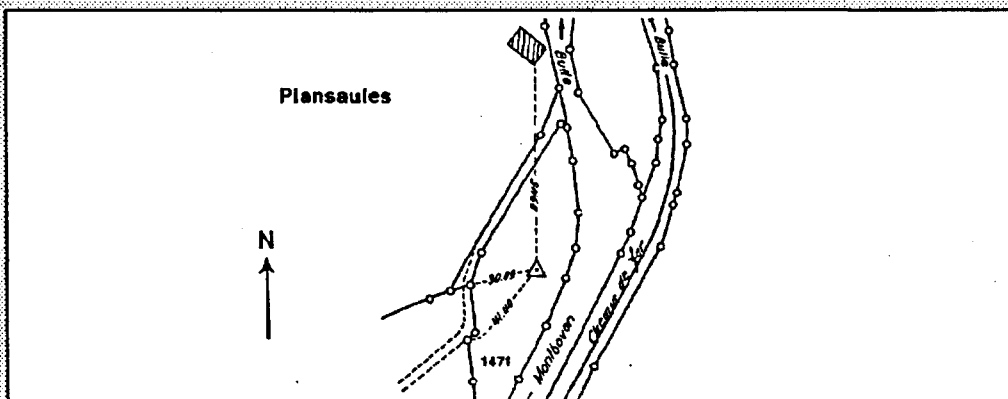
y: 570 189.11
x: 150 195.39
h: 806.25

Informationen :

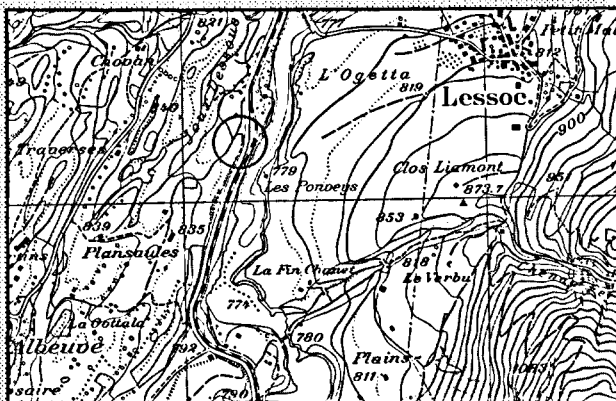
gemessen am 29. 8. 1989
WM 102 Nr. : 183
Eigentümer : EPF Lausanne
Operateur : Inès Sancho
EPF Lausanne

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1921



LK 1245



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 207

Chasseral

Nähere Bezeichnung :

GRANIT-Punkt (1987) (TI-Punkt)
Lochbolzen
Gemeinde Nods (BE)

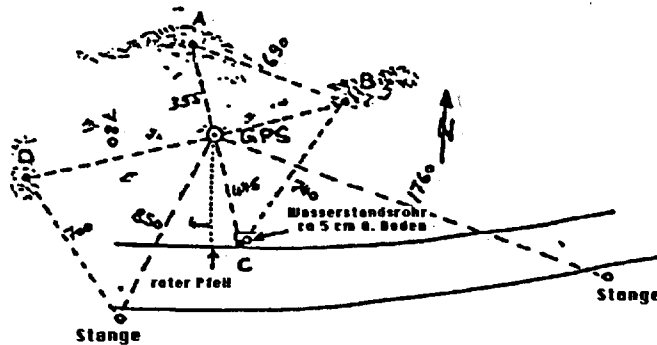
Landeskoordinaten

y: 571 096.95
x: 220 267.86
h: 1597.68

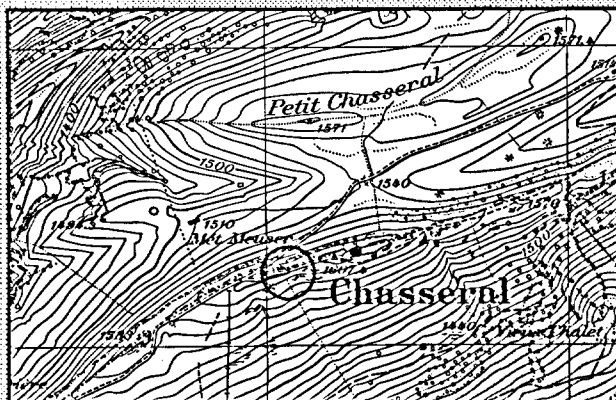
Informationen :

gemessen am 31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 256
Eigentümer : EPF Lausanne
Operateur : Laurent Huguenin
EPF Lausanne

Bemerkungen :



LK 1125



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 208

Montignez

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 204/CN 1065
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Montignez (JU)

Landeskoordinaten

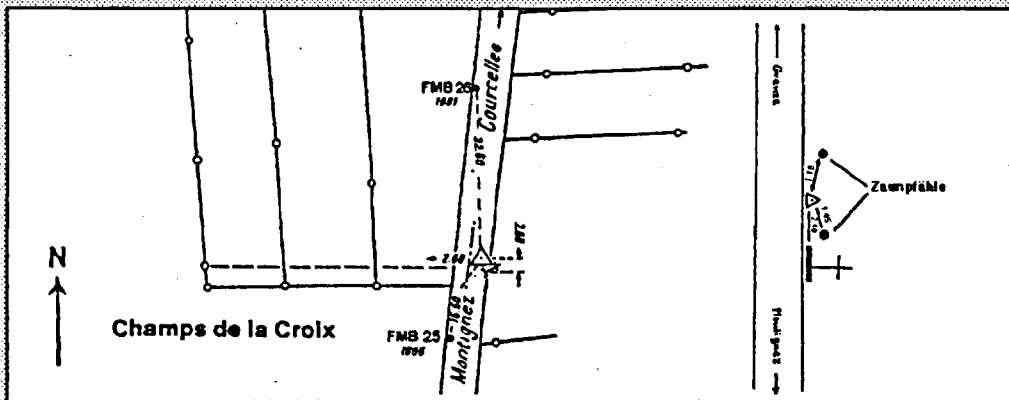
y: 571 760.03
x: 260 010.25
h: 438.86

Informationen :

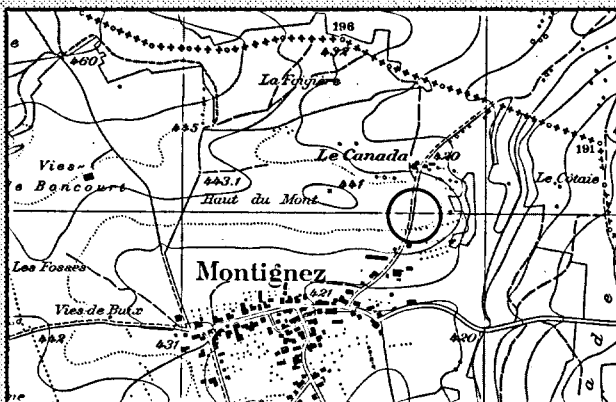
gemessen am 28. 8. 1989
WM 102 Nr. : 256
Eigentümer : EPF Lausanne
Operateur : Laurent Huguenin
EPF Lausanne

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1913



LK 1065



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 209

Delémont

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 351/CN 1086
Granitstein, 10 cm unter Boden
Gemeinde Delémont (JU)

Landeskoordinaten

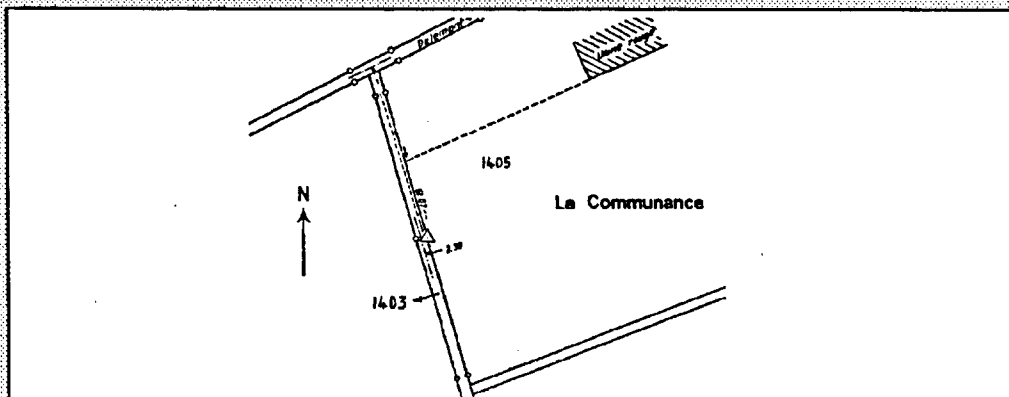
y: 592 358.96
x: 244 515.33
h: 423.59

Informationen :

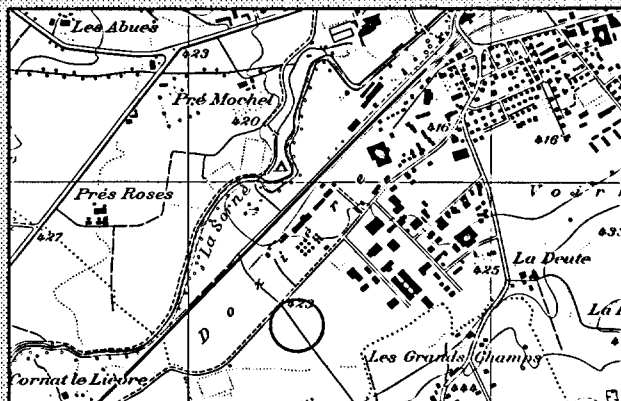
gemessen am 29. 8. 1989
WM 102 Nr. : 256
Eigentümer : EPF Lausanne
Operateur : Laurent Huguenin
EPF Lausanne

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1935



LK 1086



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 210

Susten

Nähere Bezeichnung :

Punkt Nr. 8 des Turtmann-Netzes
Lochbolzen in Betonsockel
Gemeinde Leuk (VS)

Landeskoordinaten

y: 616 048.68
x: 127 958.02
h: 676.46

Informationen :

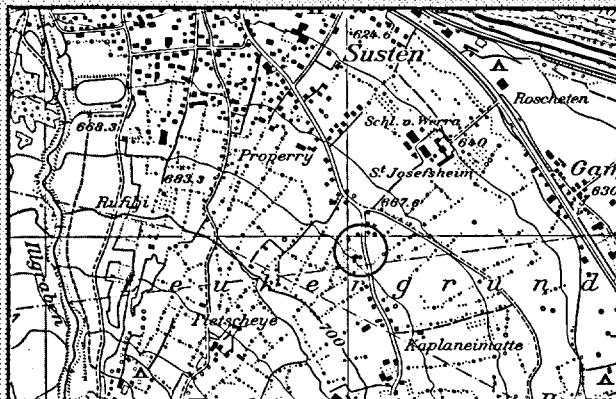
gemessen am 31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 183
Eigentümer : EPF Lausanne
Operateur : Inés Sancho
EPF Lausanne

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1987
Höhe bezieht sich auf die
Oberkante des Kappen-
bolzens

ohne Skizze

LK 1287



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 211

Zimmerwald

Nähere Bezeichnung :

EUREF-Punkt Nr 56
Mast
Gemeinde Zimmerwald (BE)

Landeskoordinaten

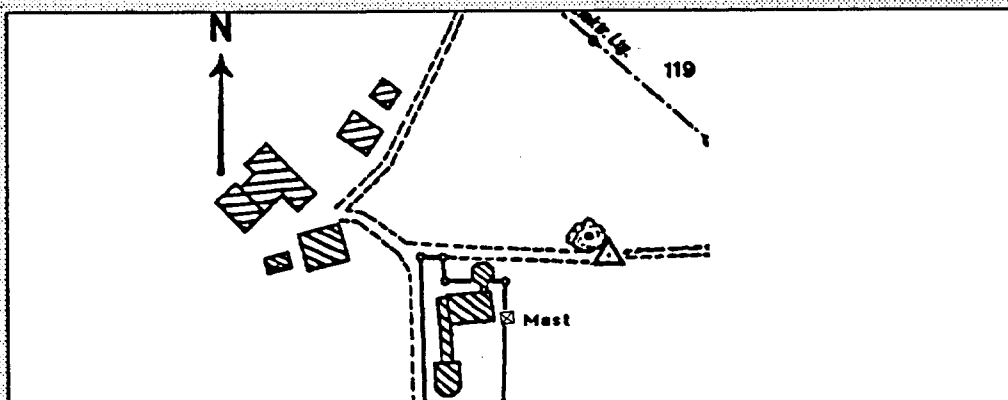
y: 602 030.68
x: 191 775.03
h: 907.10

Informationen :

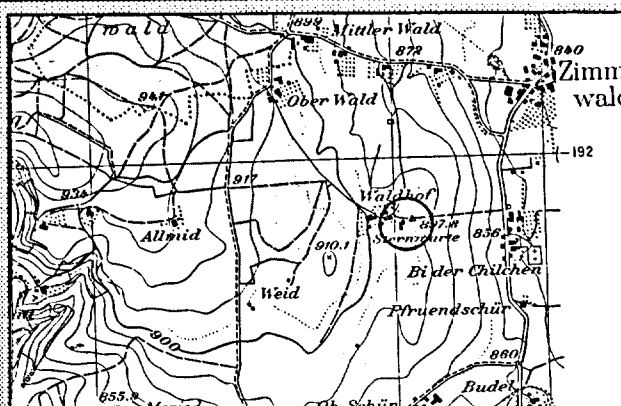
gemessen am 27.-31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 175
Eigentümer : ETH Zürich
Operateur : Urs Marti
ETH Zürich

Bemerkungen :

Die Koordinaten beziehen sich auf die Oberkante des Mastes.



LK 1186



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 212

Burgdorf

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 635/LK 1147
Granitstein, 12 cm unter Schacht
Gemeinde Burgdorf (BE)

Landeskoordinaten

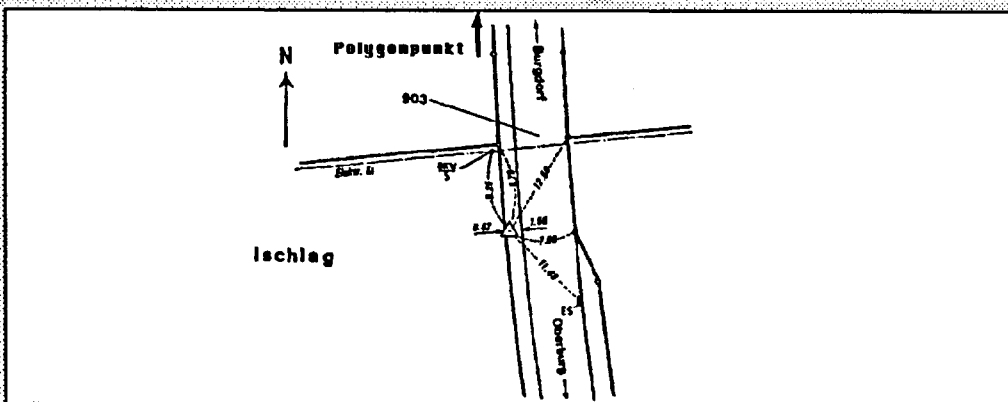
y: 614 428.15
x: 210 481.74
h: 542.68

Informationen :

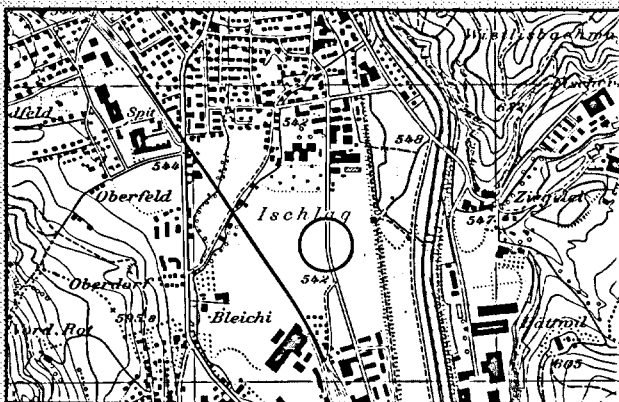
gemessen am 29. 8. 1989
WM 102 Nr. : 122
Eigentümer : TH Karlsruhe
Operateur : Silke Schödl
Th Karlsruhe

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1986
Stationiert wurde auf
einem PP 80 m nördl. des
TP. Die Höhe bezieht sich
auf den PP.



LK 1147



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer ⁹/₂₁ **213**

Chrischona

Nähere Bezeichnung :

EUREF-Punkt Nr. 55
Lochbolzen
Gemeinde Bettingen (BS)

Landeskoordinaten

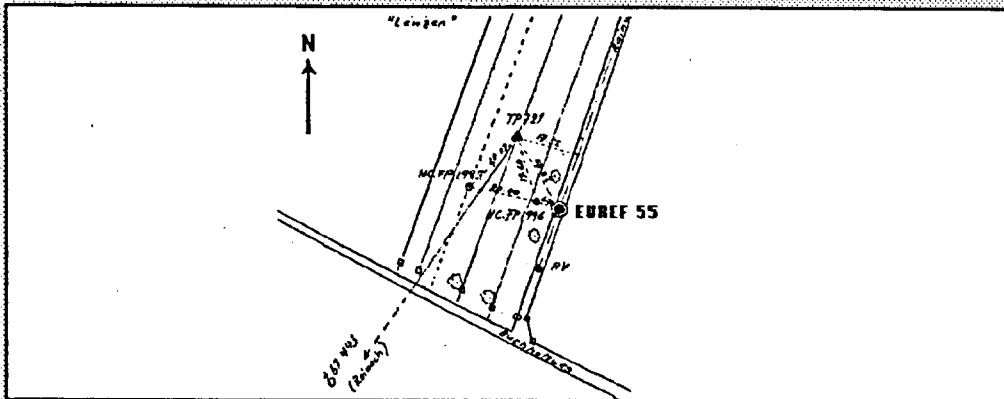
y: 617 306.25
x: 268 507.28
h: 456.07

Informationen :

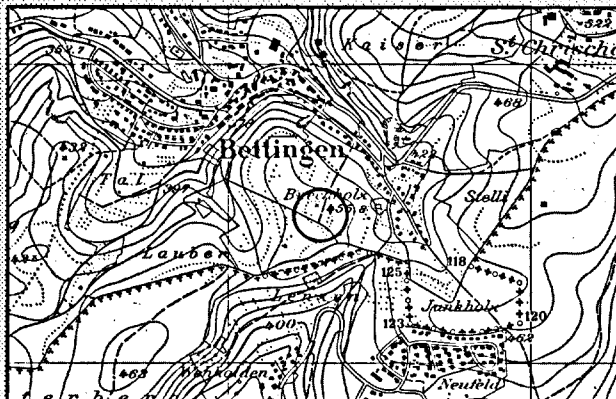
gemessen am 28.-31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 317
Eigentümer : TU Berlin
Operateur : Fridolin Wicki
ETH Zürich

Bemerkungen :

Punkt ist normalerweise
unter Kies vergraben.



LK 1047



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 214

Kandersteg

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 742/LK 1247
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Kandersteg (BE)

Landeskoordinaten

y: 617 613.73
x: 148 678.62
h: 1207.41

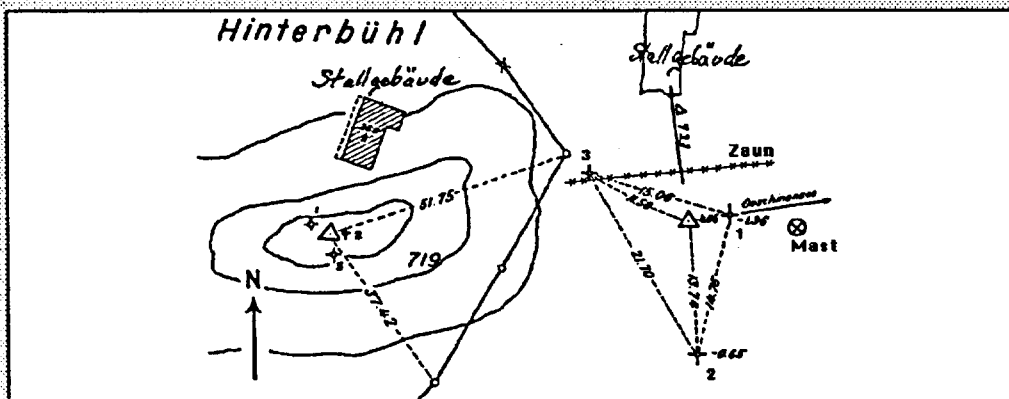
Informationen :

nicht gemessen

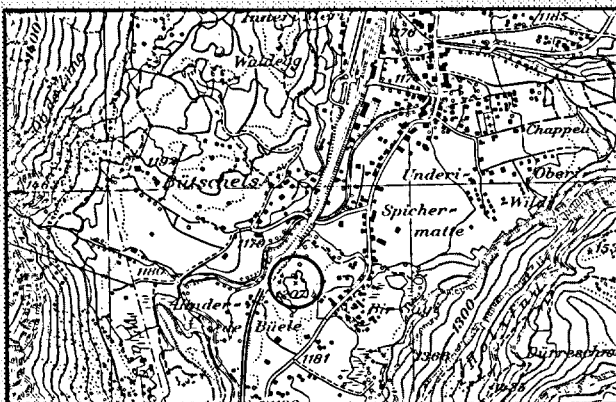
Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1952

ziemlich grosse
Abdeckungen in Richtung
West durch Bäume und
allgemein durch Berge



LK 1247



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer 215

Zermatt

Nähere Bezeichnung :

Punkt G12 des Netzes Visp-Zermatt (1987)
Lochbolzen
Gemeinde Zermatt (VS)

Landeskoordinaten

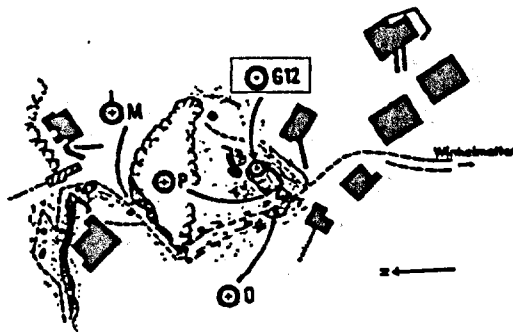
y: 623 706.73
x: 96 020.41
h: 1687.58

Informationen :

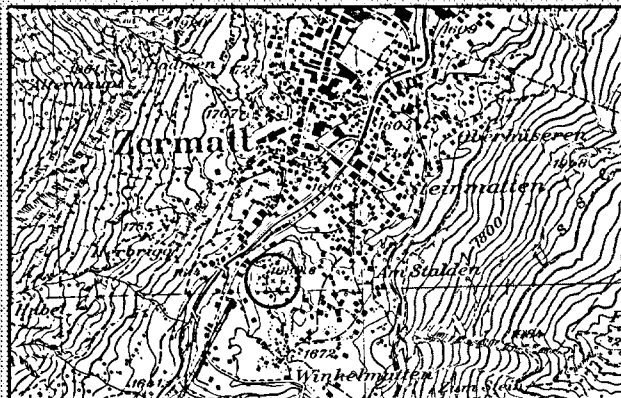
gemessen am 28.-31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 102
Eigentümer : GESTER (Genève)
Operateur : Marc Cocard
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1987



LK 1348



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer 216

Visp

Nähere Bezeichnung :

Punkt G2 des Netzes Visp-Zermatt (1987)
Lochbolzen
Gemeinde Visp (VS)

Landeskoordinaten

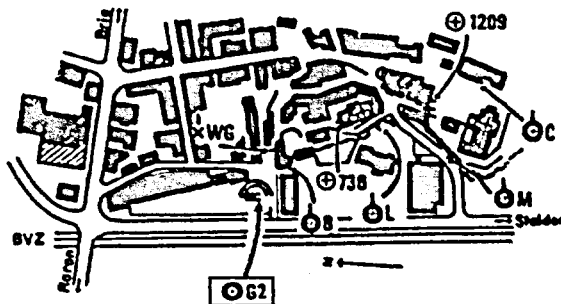
y: 634 005.91
x: 126 709.34
h: 652.41

Informationen :

gemessen am 28. 8. 1989
WM 102 Nr. : 224
Eigentümer : Uni Stuttgart
Operateur : Hans Fischer
Uni Stuttgart

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1987
gegen Nord-Osten
Abdeckung durch Häuser



LK 1288



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 217

Reiden

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 035/LK 1109
Granitstein, 10 cm unter Boden
Gemeinde Langnau (LU)

Landeskoordinaten

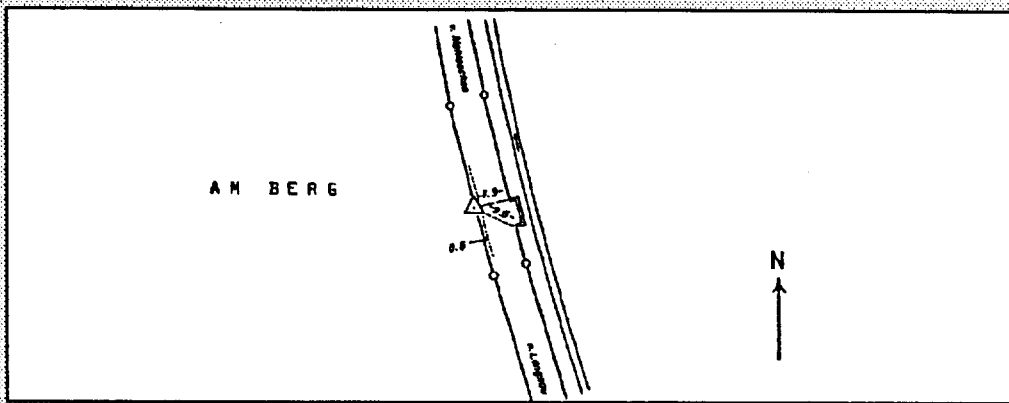
y: 639 044.13
x: 232 131.44
h: 456.95

Informationen :

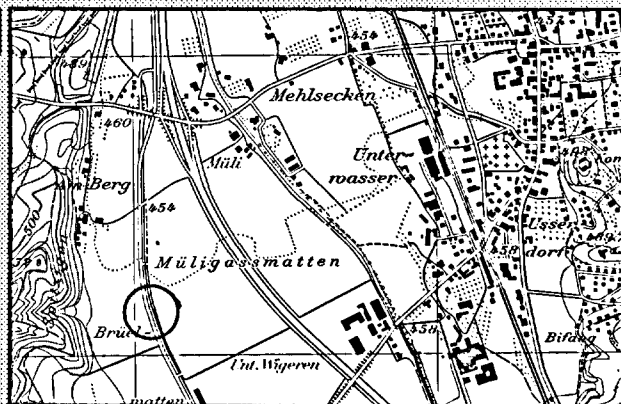
gemessen am 30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 122
Eigentümer : TH Karlsruhe
Operateur : Silke Schödl
TH Karlsruhe

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1974



LK 1109



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 218

Brienz

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 416/1209
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Brienz (BE)

Landeskoordinaten

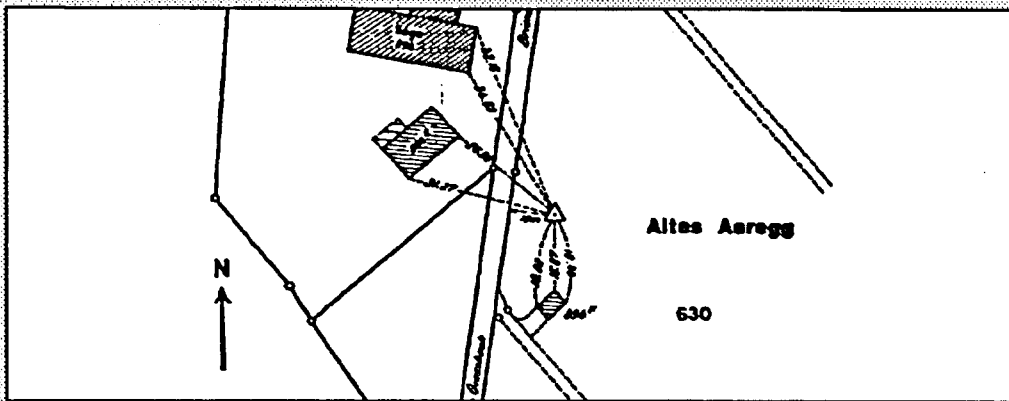
y: 646 700.87
x: 177 636.12
h: 565.34

Informationen :

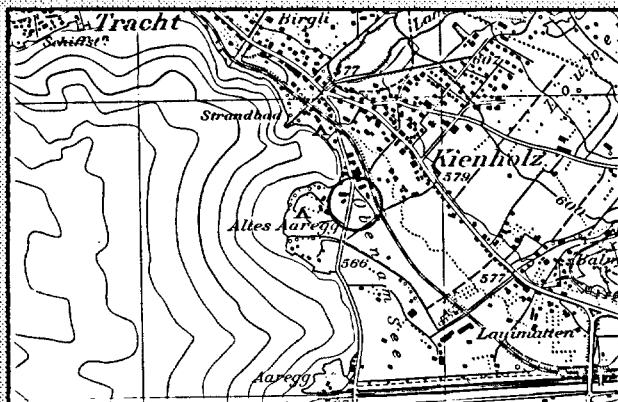
gemessen am 30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 224
Eigentümer : Uni Stuttgart
Operateur : Hans Fischer
Uni Stuttgart

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1984



LK 1209



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer 219

Horw

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 566/LK 1150
Lochbolzen
Gemeinde Horw (LU)

Landeskoordinaten

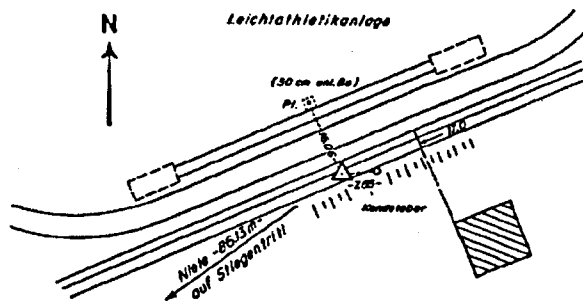
y: 666 263.12
x: 207 075.17
h: 436.77

Informationen :

gemessen am 28. 8. 1989
WM 102 Nr. : 138
Eigentümer : WILD Heerbrugg
Operator : Jürgen Haas
TH Karlsruhe

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1986
Leichte Abdeckung durch
Beleuchtungsmasten



LK 1150



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 220

Grimsel

Nähere Bezeichnung :

ALGEDOP-Punkt Nr. 75
Niete
Gemeinde Oberwald (VS)

Landeskoordinaten

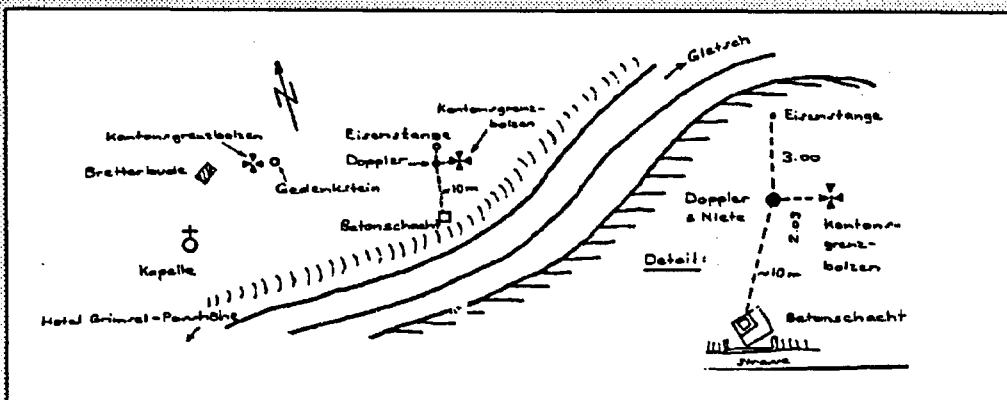
y: 669 100.00
x: 157 230.00
h: 2170.70

Informationen :

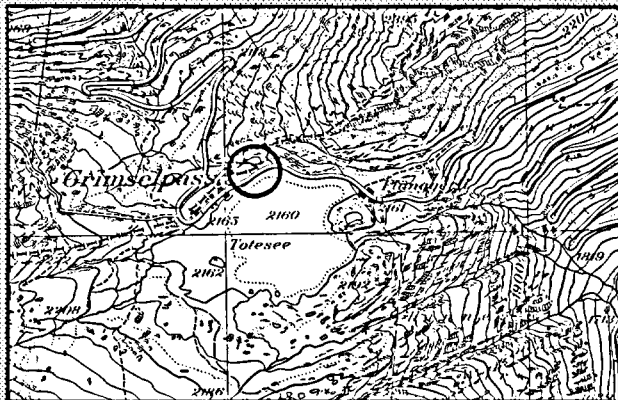
gemessen am 31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 166
Eigentümer : ETH Zürich
Operateur : Michel Bohren
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1985
keine Lagekoordinaten
vorhanden



LK 1250



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer 221

Lägern

Nähere Bezeichnung :

GRANIT-Punkt (1987) (TI-Punkt)
Lochbolzen
Gemeinde Boppelsen (ZH)

Landeskoordinaten

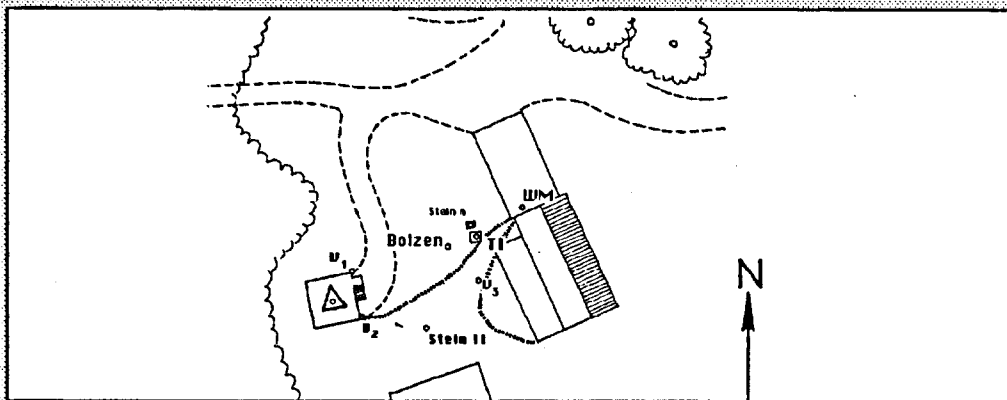
y: 672 525.09
x: 259 423.96
h: 852.96

Informationen :

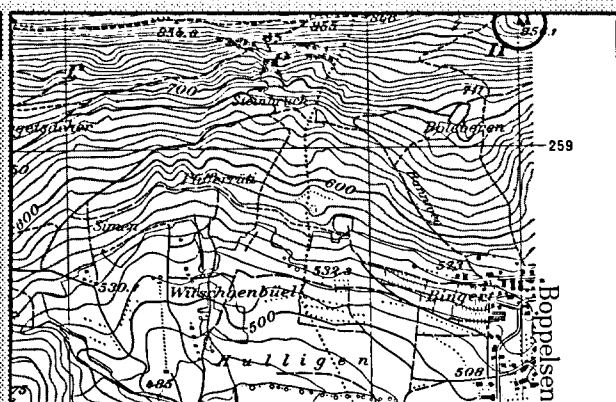
gemessen am 31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 122
Eigentümer : TH Karlsruhe
Operateur : Silke Schödl
TH Karlsruhe

Bemerkungen :

Abdeckung durch Bäume
ev. Störungen durch nahen
Sender möglich



LK 1070



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer **222**

Aldorf

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspt. 4. O. Nr. 104BP/OP 473
Lochbolzen
Gemeinde Attinghausen (UR)

Landeskoordinaten

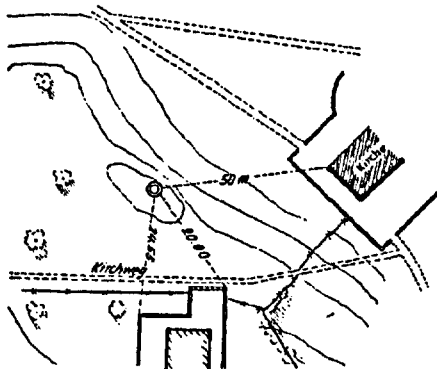
y: 690 779.61
x: 190 960.23
h: 477.90

Informationen :

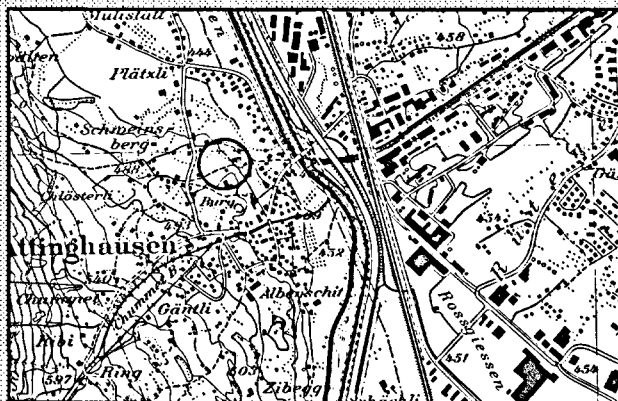
gemessen am 29. 8. 1989
WM 102 Nr. : 138
Eigentümer : WILD Heerbrugg
Operateur : Jürgen Haas
TH Karlsruhe

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1984



LK 1192



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 223

Stetten

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 006/LK 1032
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Stetten (SH)

Landeskoordinaten

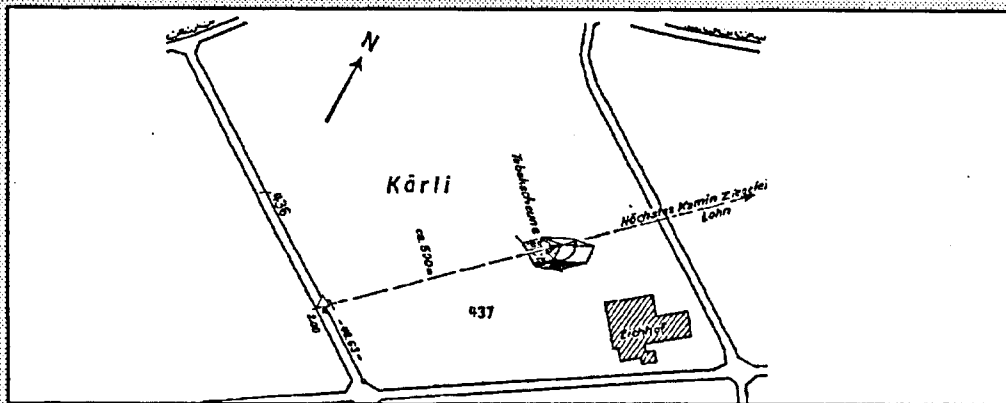
y: 690 850.69
x: 288 484.31
h: 588.87

Informationen :

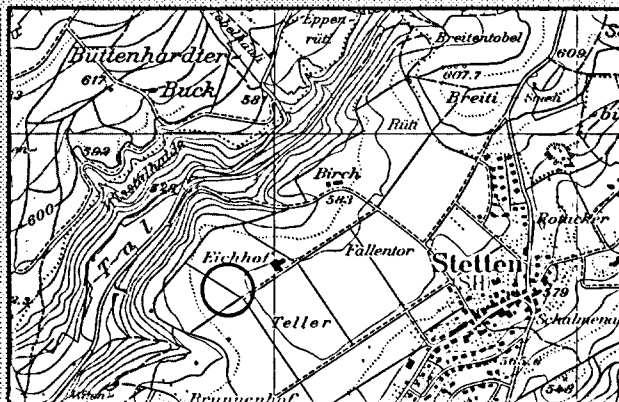
gemessen am 28. 8. 1989
WM 102 Nr. : 127
Eigentümer : UBW München
Operateur : Bernd Scherer
UBW München

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1974



LK 1032



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 224

Wollerau

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspt. 4. O. Nr. 311BP/LK 1132
Granitstein, 9 cm unter Schacht
Gemeinde Freienbach (SZ)

Landeskoordinaten

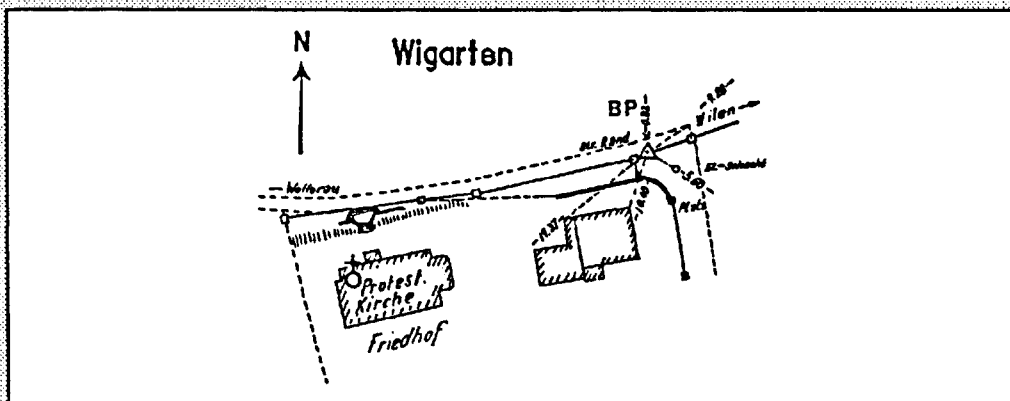
y: 697 717.01
x: 228 002.66
h: 513.14

Informationen :

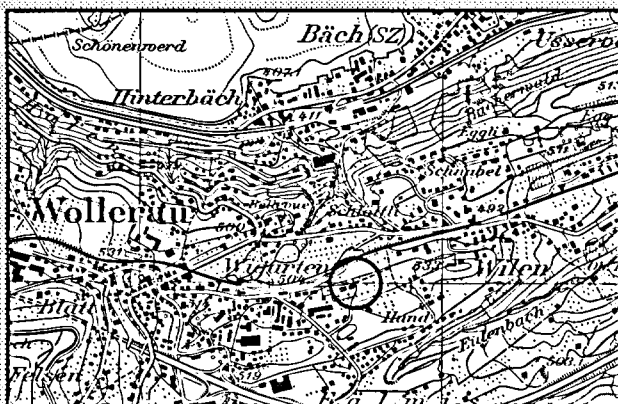
gemessen am 28.-30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 166
Eigentümer : ETH Zürich
Operateur : Michel Bohren
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1983
leichte Abdeckung durch
Haus



LK 1132



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 225

Lukmanier

Nähere Bezeichnung :

ALGEDOP-Punkt Nr. 67.2
gemeisseltes Kreuz
Gemeinde Olivone (TI)

Landeskoordinaten

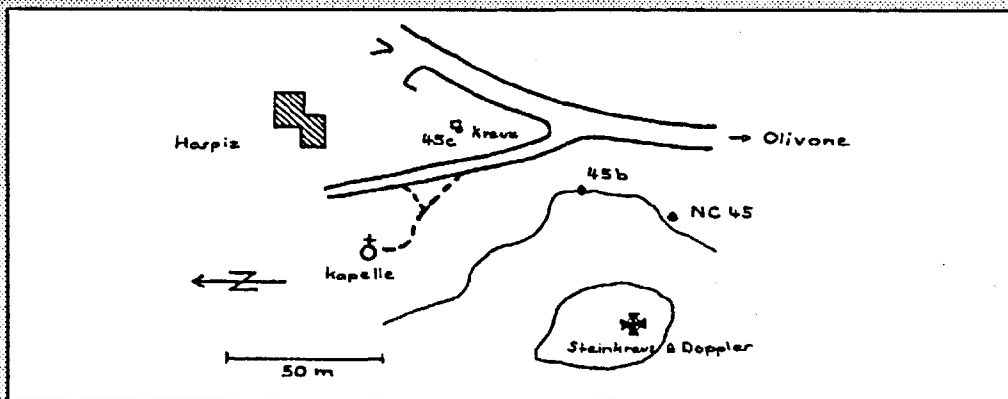
y: 704 370.00
x: 157 720.00
h: 1944.30

Informationen :

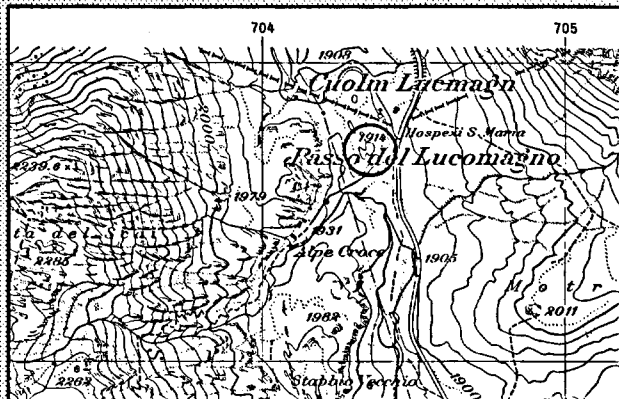
gemessen am 28. 8. 1989
WM 102 Nr. : 164
Eigentümer : ETH Zürich
Operateur : Armin Oswald
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1984
Abdeckung durch Berge



LK 1252



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 226

Wängi

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 224/LK 1073
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Wängi (TG)

Landeskoordinaten

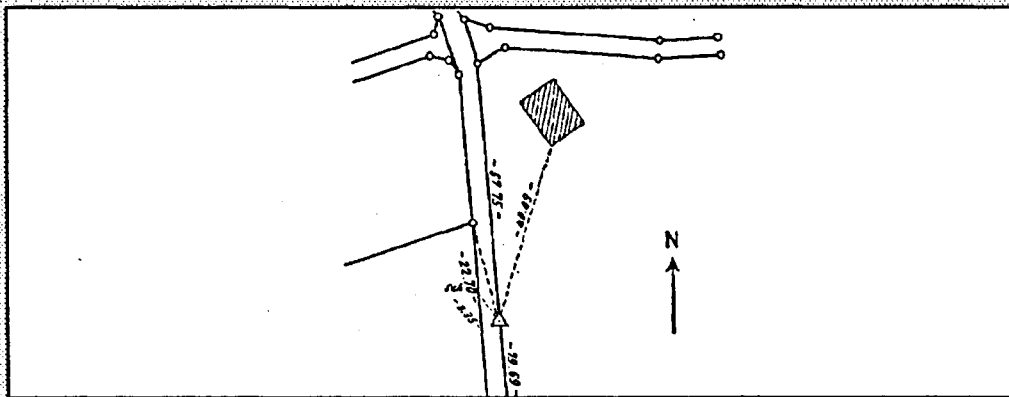
y: 712 962.51
x: 261 577.76
h: 486.48

Informationen :

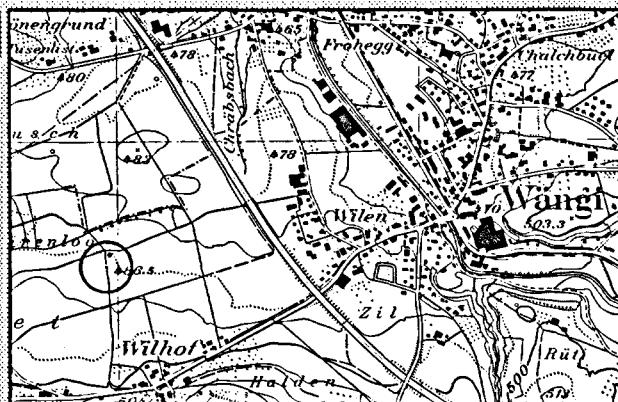
gemessen am 29. 8. 1989
WM 102 Nr. : 127
Eigentümer : UBW München
Operateur : Bernd Scherer
UBW München

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1958



LK 1073



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 227

Dornhaus

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 613/LK 1173
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Diesbach (GL)

Landeskoordinaten

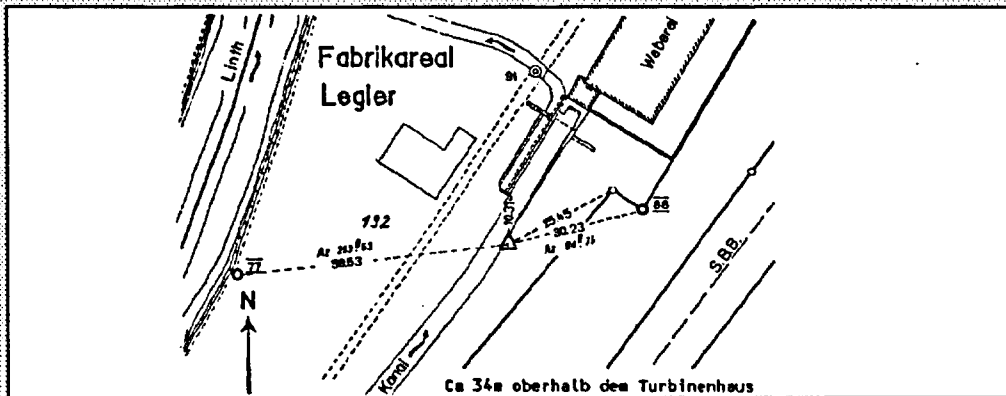
y: 720 963.82
x: 201 157.66
h: 593.45

Informationen :

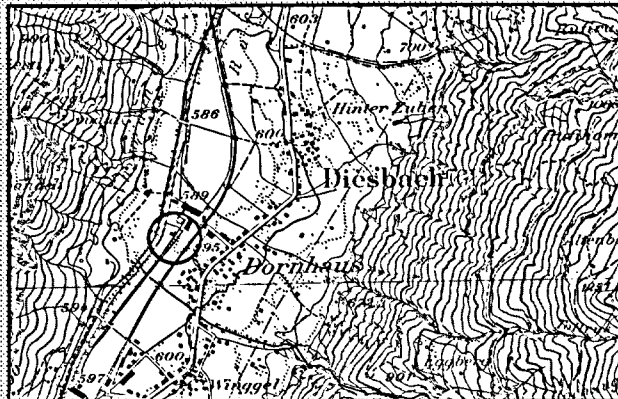
gemessen am 30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 138
Eigentümer : WILD Heerbrugg
Operateur : Jürgen Haas
TH Karlsruhe

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1924



LK 1173



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 228

Monte Generoso

Nähere Bezeichnung :

EUREF-Punkt Nr. 58
Lochbolzen
Gemeinde Rovio (TI)

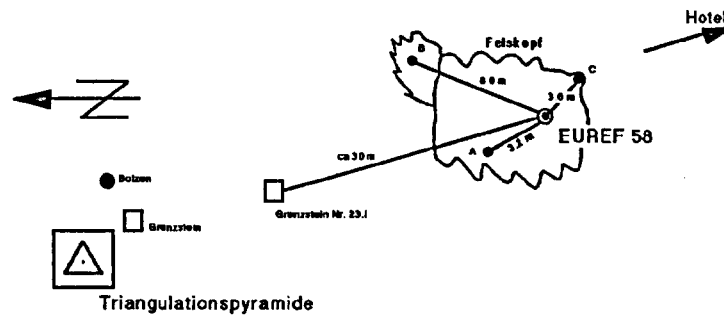
Landeskoordinaten

y: 722 649.14
x: 87 787.85
h: 1692.65

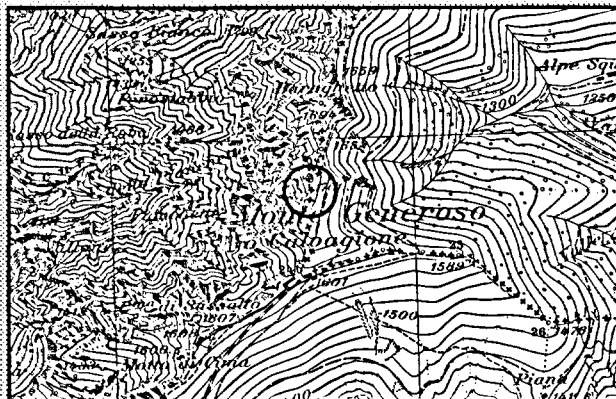
Informationen :

gemessen am 28.-31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 173
Eigentümer : TU Berlin
Operateur : Jörg Reinking
TU Berlin

Bemerkungen :



LK 1353



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 229

Bellinzona

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 8/Op 257
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Bellinzona (TI)

Landeskoordinaten

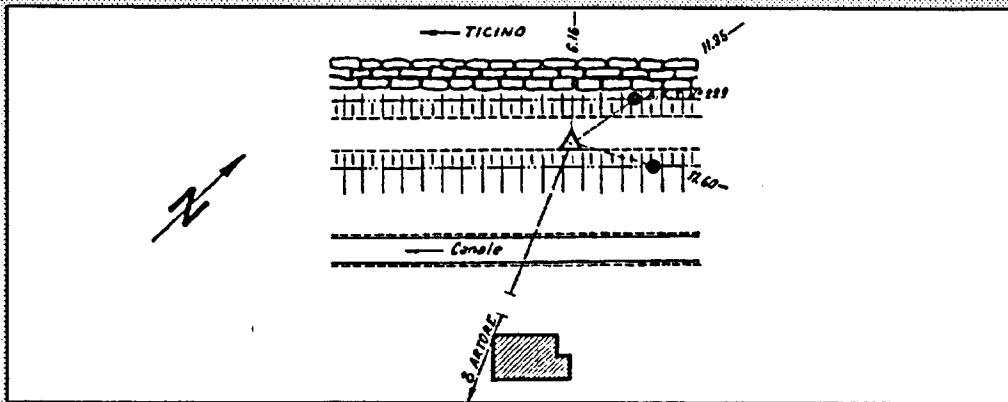
y: 722 418.26
x: 118 449.33
h: 232.42

Informationen :

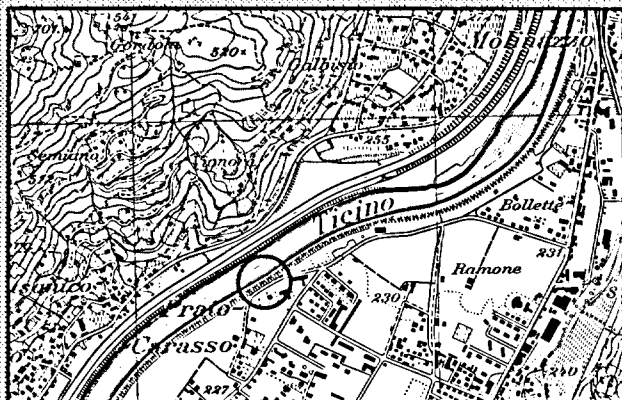
gemessen am 29. 8. 1989
WM 102 Nr. : 164
Eigentümer : ETH Zürich
Operateur : Armin Oswald
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1976
leichte Abdeckung durch
Leitungsmasten



LK 1313



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 230

San Bernardino

Nähere Bezeichnung :

ALGEDOP-Punkt Nr. 67.1
kleiner Bolzen
Gemeinde Mesocco (GR)

Landeskoordinaten

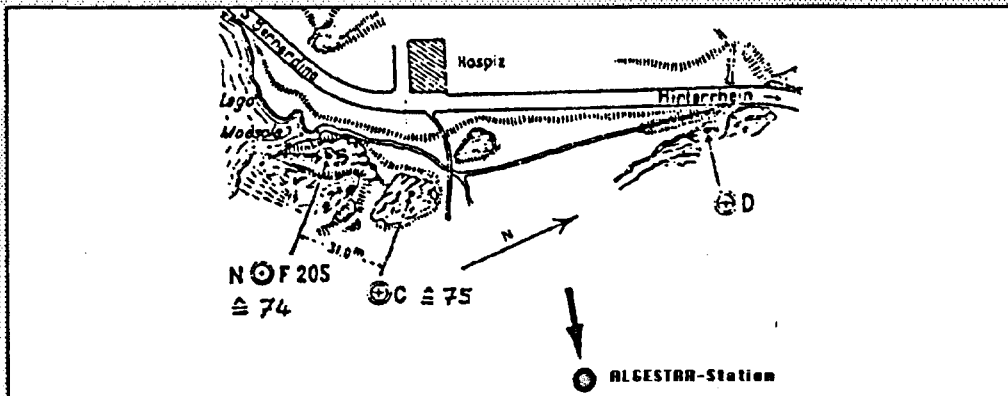
y: 733050.00
x: 150 920.00
h: 2079.16

Informationen :

gemessen am 30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 164
Eigentümer : ETH Zürich
Operateur : Armin Oswald
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1984



LK 1254



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 231

Walenstadt

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 135/LK 1135
Granitstein, 10 cm unter Schacht
Gemeinde Flums (SG)

Landeskoordinaten

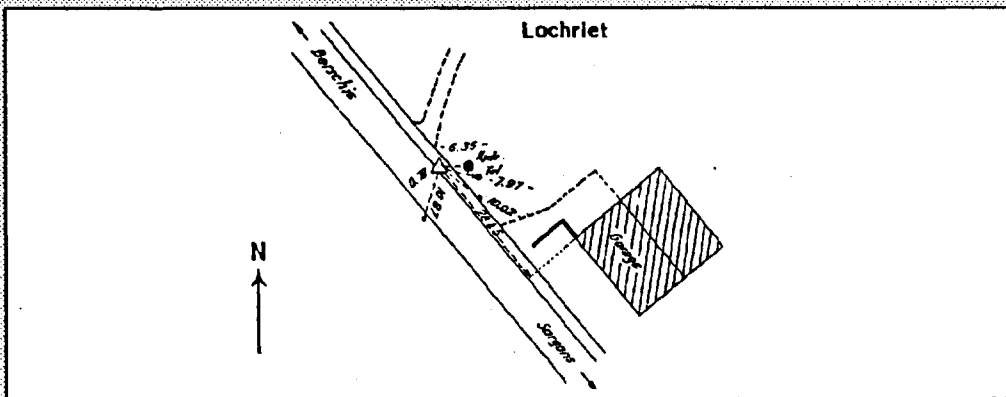
y: 745 131.31
x: 218 210.06
h: 439.03

Informationen :

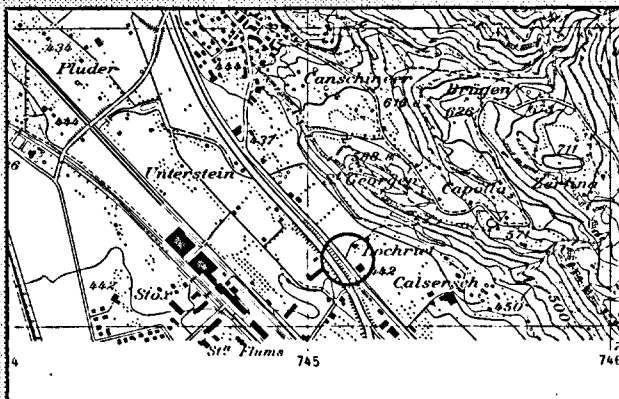
gemessen am 31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 127
Eigentümer : UBW München
Operateur : Bernd Scherer
UBW München

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1972
Leichte Abdeckung durch
Gebäude



LK 1135



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 232

Romanshorn

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 104/LK 1055
Granitstein, unter Gussdeckel
Gemeinde Romanshorn (TG)

Landeskoordinaten

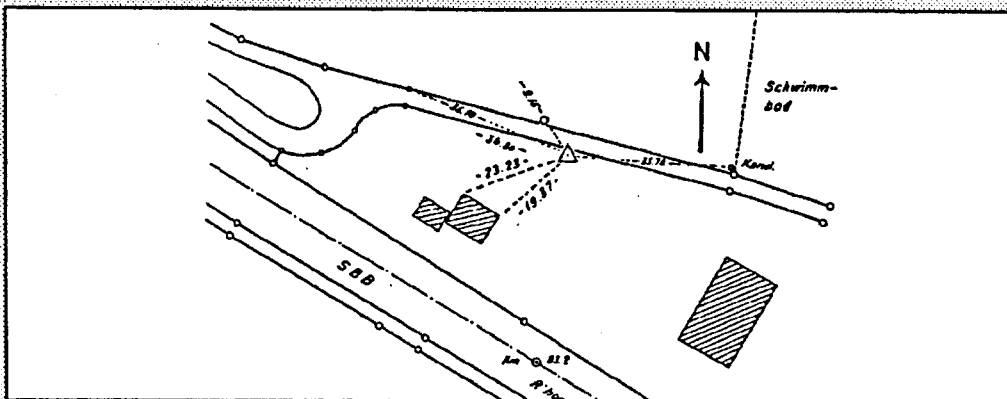
y: 745 582.93
x: 271 015.21
h: 398.75

Informationen :

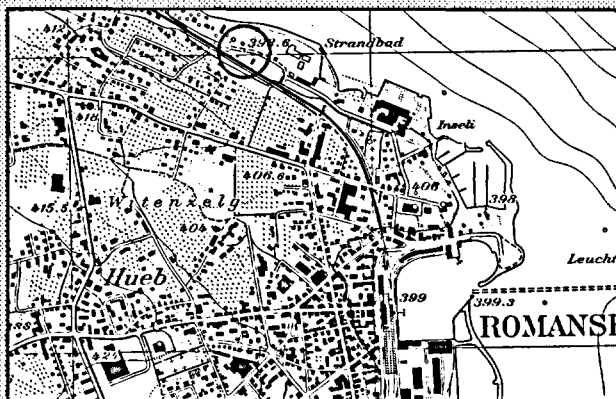
gemessen am 30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 127
Eigentümer : UBW München
Operateur : Bernd Scherer
UBW München

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1968
gegen Norden leichte
Abdeckung durch Bäume



LK 1055



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 233

Cazis

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 120/Op 359
Granitstein, 25 cm unter Boden
Gemeinde Cazis (GR)

Landeskoordinaten

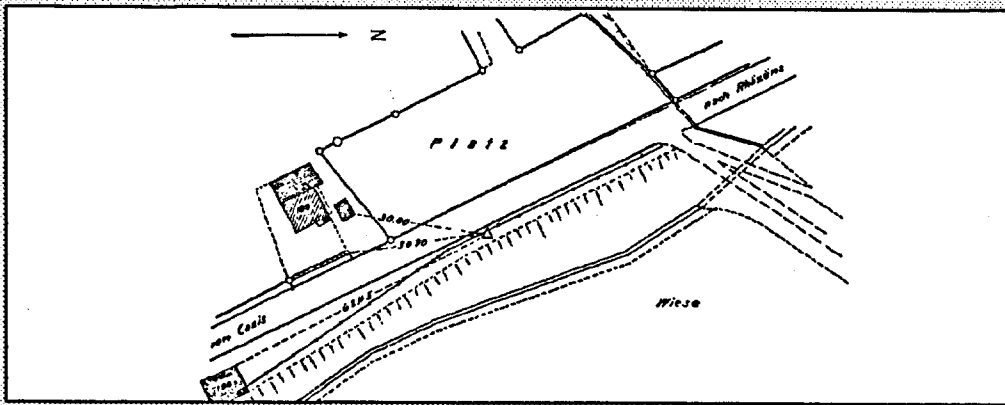
y: 751 443.89
x: 180 362.98
h: 626.36

Informationen :

gemessen am 28.-31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 208
Eigentümer : Uni Stuttgart
Operateur : Josef Siegerstetter
Uni Stuttgart

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1926
gegen Westen leichte
Abdeckung durch Bäume



LK 1215



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 234

Landquart

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 85/Op 342
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Igis (GR)

Landeskoordinaten

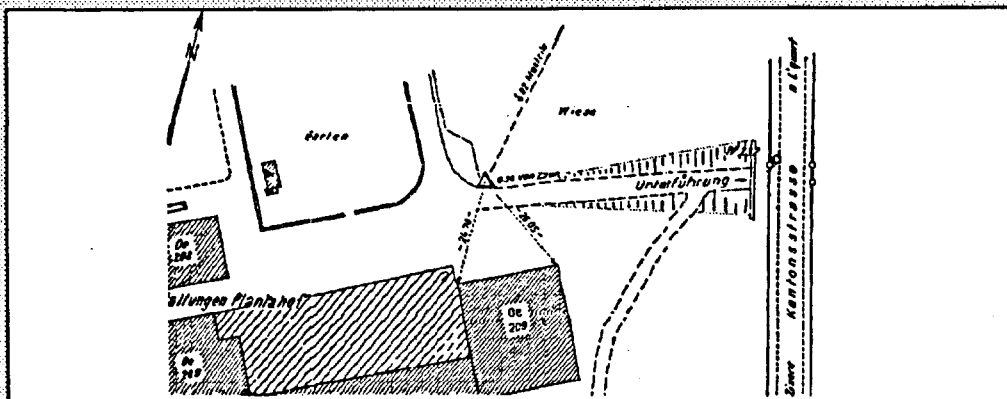
y: 761 731.48
x: 203 368.15
h: 526.87

Informationen :

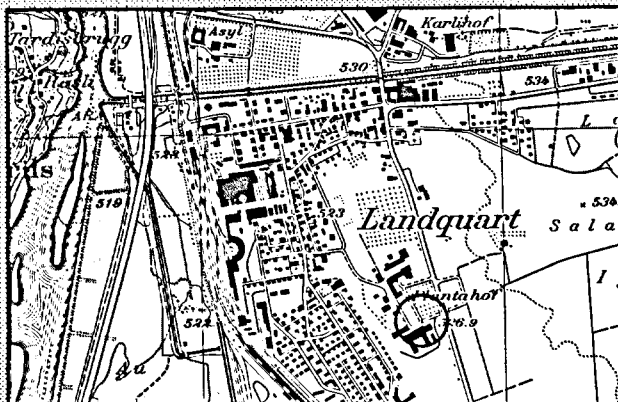
gemessen am 31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 138
Eigentümer : WILD Heerbrugg
Operateur : Jürgen Haas
TH Karlsruhe

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1975



LK 1176



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer 235

Au

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 228/LK 1076
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Au (SG)

Landeskoordinaten

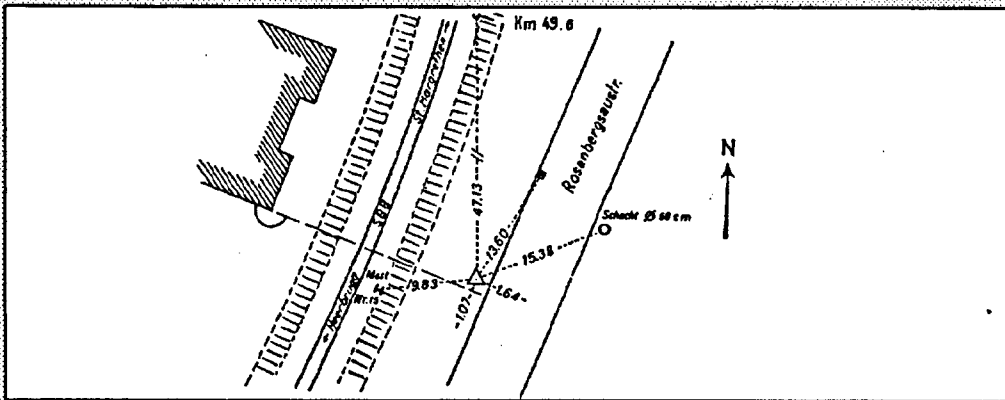
y: 765 933.35
x: 254777.68
h: 404.27

Informationen :

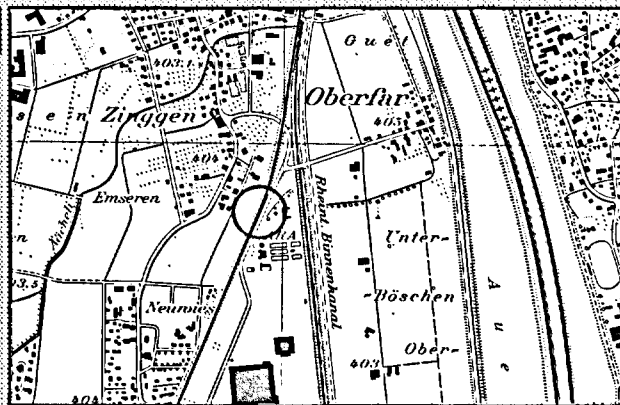
gemessen am 28.-31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 126
Eigentümer : UBW München
Operateur : Klaus Krack
UBW München

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1957
gegen Osten leichte
Abdeckung durch Bäume



LK 1076



ALGESTAR

GPS-Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 236

Bivio

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 33/LK 1256
Bolzen
Gemeinde Bivio (GR)

Landeskoordinaten

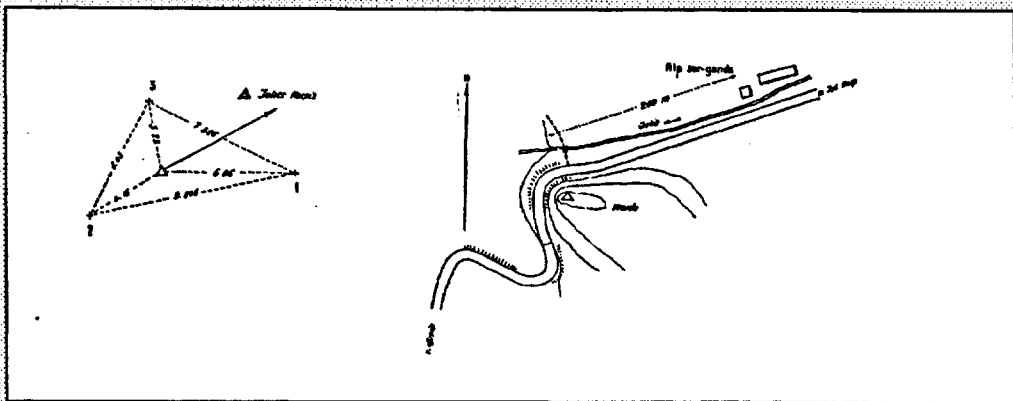
y: 774 277.55
x: 148 737.23
h: 2147.65

Informationen :

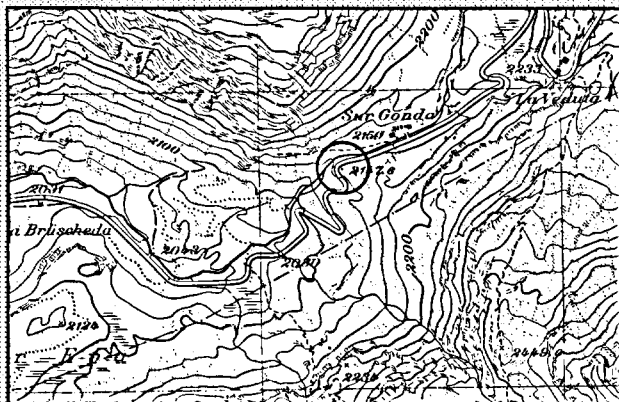
gemessen am 31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 164
Eigentümer : ETH Zürich
Operateur : Armin Oswald
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1933



LK 1256



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer 237

Brusio

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 94/Op 287
Bolzen in Schacht
Gemeinde Poschiavo (GR)

Landeskoordinaten

y: 804 942.16
x: 128 082.44
h: 965.14

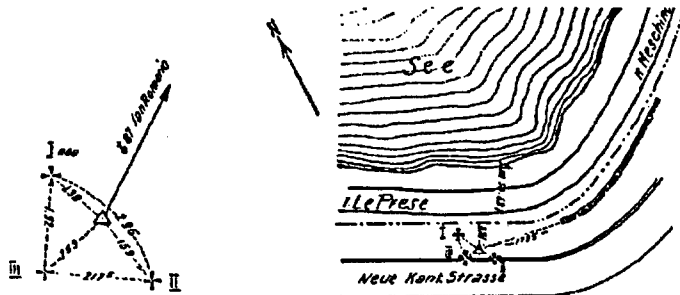
Informationen :

gemessen am 31. 8. 1989
WM 102 Nr. : 105
Eigentümer : GESTER (Genève)
Operator : Felix Ettl
ETH Zürich

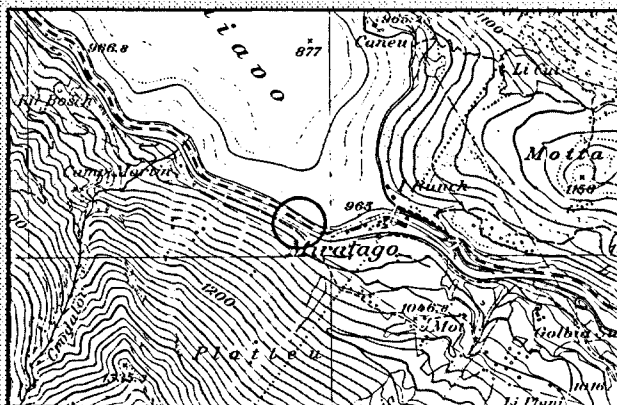
Bemerkungen :

Datum der letzten
Nivellierung unbekannt

Starke Abdeckung gegen
Süden



LK 1298



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 238

Lavin

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 3. Ordnung Lavin
Granitstein, 10 cm über Boden
Gemeinde Lavin (GR)

Landeskoordinaten

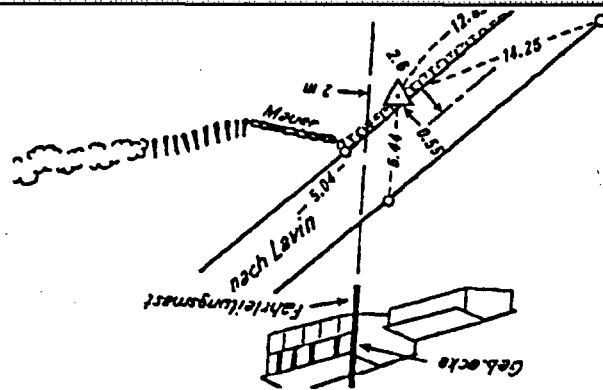
y: 803 822.05
x: 182 936.61
h: 1441.98

Informationen :

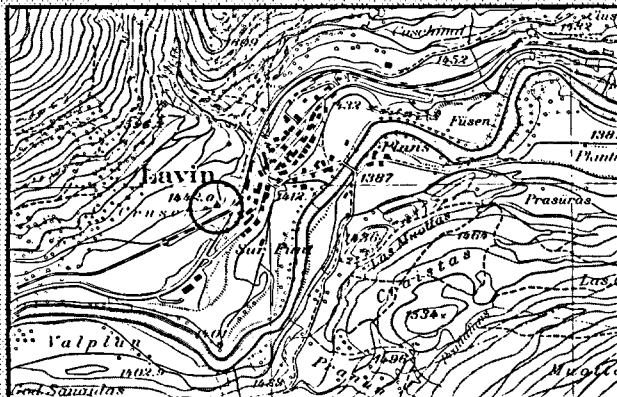
gemessen am 30. 8. 1989
WM 102 Nr. : 105
Eigentümer : GESTER (Genève)
Operateur : Felix Ettl
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1973
gegen Westen leichte
Abdeckung durch Bäume



LK 1198



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 239

Martina

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 141/Op 456
Granitstein, bodeneben
Gemeinde Tschlin (GR)

Landeskoordinaten

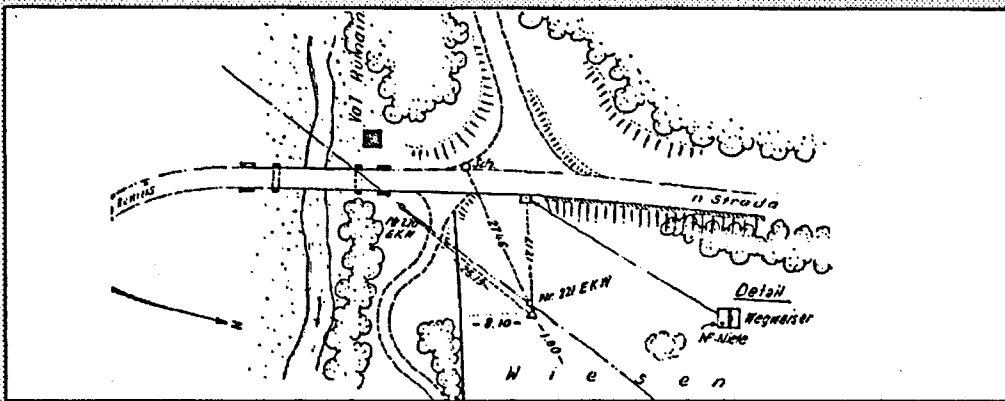
y: 827 445.72
x: 193 499.28
h: 1092.64

Informationen :

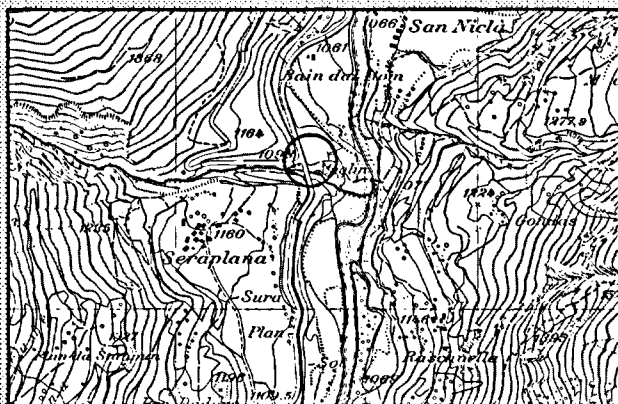
gemessen am 28. 8. 1989
WM 102 Nr. : 105
Eigentümer : GESTER (Genève)
Operateur : Felix Ettl
ETH Zürich

Bemerkungen :

letztmals nivelliert : 1976



LK 1199



ALGESTAR

GPS- Messkampagne zur Bestimmung des Geoides der Schweiz vom 27. - 31. August 1989

Punkt Nummer : 240

Santa Maria

Nähere Bezeichnung :

Triangulationspunkt 4. O. Nr. 233/Op 438
Granitstein, 2 cm über Boden
Gemeinde Sta. Maria

Landeskoordinaten

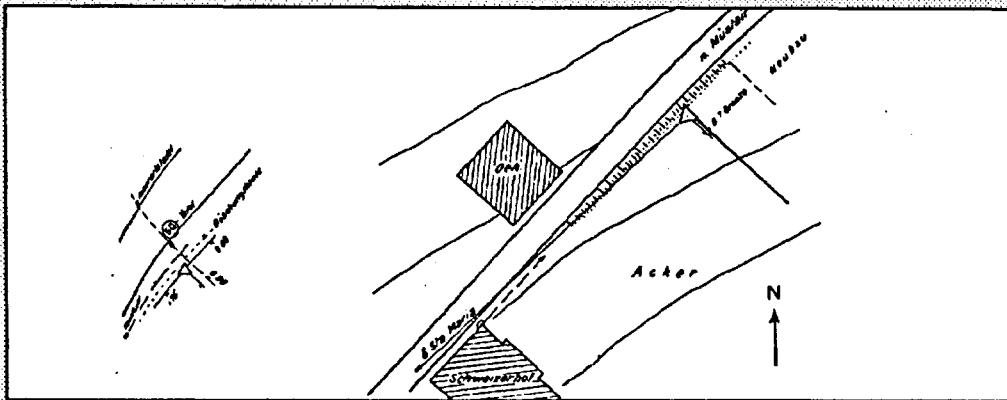
y: 828 943.59
x: 165 778.88
h: 1373.24

Informationen :

gemessen am 29. 8. 1989
WM 102 Nr. : 105
Eigentümer : GESTER (Genève)
Operateur : Felix Ettl
ETH Zürich

Bemerkungen :

nicht nivelliert



LK 1239

