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)

Siebenundvierzigster Band

Volume 47

NFP20

BEITRAG DER GEODÄSIE ZUR GEOLOGISCHEN TIEFENSTRUKTUR UND ALPENDYNAMIK

H.-G. Kahle (Herausgeber)
U. Marti (Redaktion)

Autoren:

Ivo Bauersima
Gerhard Beutler
Beat Bürki
Marc Cocard
Alain Geiger
Erich Gubler
Werner Gurtner
Hans-Gert Kahle
Urs Marti
Bruno Mattli
Markus Rothacher
Thomas Schildknecht
Dieter Schneider
Adrian Wiget
Bruno Wirth

1993

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)

Siebenundvierzigster Band

Volume 47

NFP20

BEITRAG DER GEODÄSIE ZUR GEOLOGISCHEN TIEFENSTRUKTUR UND ALPENDYNAMIK

H.-G. Kahle (Herausgeber)
U. Marti (Redaktion)

Autoren:

Ivo Bauersima
Gerhard Beutler
Beat Bürki
Marc Cocard
Alain Geiger
Erich Gubler
Werner Gurtner
Hans-Gert Kahle
Urs Marti
Bruno Mattli
Markus Rothacher
Thomas Schildknecht
Dieter Schneider
Adrian Wiget
Bruno Wirth

1993

Adresse der Schweizerischen Geodätischen Kommission:

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

Redaktion des 47. Bandes:
U. Marti

Druck: OWADRUCK, 3173 Oberwangen

Vorwort

Nationales Forschungsprogramm 20 (NFP 20)
"Beitrag der Geodäsie zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik"

(Nationalfonds - Projekt Nr. 4.967 - 086.20).
Dieses geodätische Projekt gehört zum Nationalen Forschungsprogramm (NFP 20)

Geologische Tiefenstruktur der Schweiz.

Bereits im Upper Mantle Project in den 60er Jahren, später auch im Internationalen Geodynamik - Projekt, waren die Geowissenschafter in der Schweiz bemüht, die Geologie, Geophysik und Geodäsie in gemeinsamen Forschungsprojekten zusammenzubringen. Eines der erfolgreichen Beispiele solcher integrierter Anstrengungen war das Forschungsprogramm Schweizer Geotraverse Basel - Chiasso [Rybach und Lambert (eds.), 1980], das als Vorläufer der jetzt im NFP 20 bearbeiteten Alpen - Traversen angesehen werden kann.

Der Beitrag der Geodäsie geht auf Projektskizzen der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) zurück, die im Anschluss an eine nationale Informationstagung des Schweizerischen Landeskomitees für das Internationale Lithosphärenprojekt (CHILP) in Einsiedeln (März 1984) stattgefunden hatte. Ziel der geodätischen Forschungsarbeiten war es, einen Beitrag zur Dichtebestimmung der geologischen Tiefenstruktur entlang den drei Alpentraversen des NFP 20 zu leisten sowie die aktuelle Kinematik der noch andauernden Prozesse der Alpendynamik zu erfassen. Zur Lösung dieser Problemstellung haben sich 3 Institutionen zu einer gemeinsamen Forschergruppe zusammengeschlossen:

1) Das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich (IGP).
2) Das Bundesamt für Landestopographie (L + T)
3) Das Astronomische Institut der Universität Bern (AIUB)

Der vorliegende Band der SGK ist eine Dokumentation der ausgeführten Arbeiten. Die wissenschaftliche Redaktion der Einzelarbeiten wurde von Dr. B. Wirth vorgenommen. Die Gesamtbearbeitung besorgte Herr Dipl.-Ing. U. Marti. Beiden Autoren danken wir für die sorgfältige und kompetente Mitarbeit. Zu besonderem Dank sind wir zudem allen Autoren verpflichtet, ohne die dieser Band nicht so speditiv hätte herausgegeben werden können. Wir danken dem Schweizerischen Nationalfonds für die finanzielle Unterstützung. Darüber hinaus hat die Schweizerische Akademie für Naturwissenschaften (SANW) nötige Zusatzmittel im Rahmen internationaler Zusammenarbeit zur Verfügung gestellt. Auch die Druckkosten dieser Publikation wurden von der SANW übernommen, wofür wir unseren Dank aussprechen.

Direktor F. Jeanrichard
Bundesamt für Landestopographie
Vizepräsident der SGK

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

Préface

Programme national de recherche 20 (PNR 20)
"Contribution de la géodésie à l'exploration du soubassement géologique et de la dynamique des Alpes"

(Programme de recherche du Fonds national no 4.967 - 086.20)
Ce projet géodésique fait partie du programme national de recherche (PNR 20)

Exploration du soubassement géologique de la Suisse.

Déjà dans les années soixante, lors du projet "Upper Mantle" et ensuite également à l'occasion du projet international "Geodynamics", les géoscientifiques suisses s'étaient efforcés d'intégrer la géologie, la géophysique et la géodésie en des projets de recherches communs. Le programme de recherche concernant la Géotraverse suisse Bâle - Chiasso est l'un des exemples les plus fructueux de ces efforts d'intégration [Rybach et Lambert (eds.), 1980] et peut être considéré comme le précurseur de la transversale alpine faisant l'objet du PNR 20 actuel.

La contribution de la géodésie remonte à des ébauches de projet de la Commission géodésique suisse (CGS), élaborées à la suite d'une conférence d'information du Comité national suisse du projet "International Lithosphere Programm" (CHILP) à Einsiedeln en mars 1984. Le but des travaux de recherche en géodésie était de contribuer à la détermination de la densité du soubassement géologique le long des trois transversales alpines du PNR 20 et de mieux connaître la cinématique actuelle des processus de la dynamique alpine encore en cours. Trois institutions ont regroupé leurs chercheurs en vue de résoudre ce problème:

1) L'Institut de géodésie et photogrammétrie de l'EPF - Zürich (IGP)
2) L'Office fédéral de topographie (S+T)
3) L'Institut astronomique de l'Université de Berne (IAUB)

Le présent volume de la CGS constitue une documentation des travaux effectués. La rédaction scientifique des travaux individuels a été assurée par M. B. Wirth, dr ès sc. M. Urs Marti, ing. dipl., en a assumé la refonte générale. Nous remercions les deux auteurs de leur collaboration consciencieuse et compétente. Nous remercions particulièrement tous les auteurs des diverses contributions, sans lesquels ce volume n'aurait pas pu être publié aussi rapidement. Nous remercions également le Fonds national suisse de sa contribution financière. En plus, l'Académie suisse des sciences naturelles (ASSN) a mis des moyens supplémentaires à disposition dans le cadre de la collaboration scientifique internationale. L'ASSN a également pris les frais d'impression de cette publication à sa charge et nous l'en remercions chaleureusement.

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

Prof. Dr. H.-G. Kahle
IGP-EPF Zürich
Président de la CGS

Inhaltsverzeichnis

1. Projektkonzept 1

2. GRANIT 4
2.1 Einleitung 4
2.2 Messungen 6
2.3 Landeskoordinaten der GRANIT-Punkte 6
2.4 Technische Bemerkungen zur Auswertung 10
2.5 Resultate 11
2.6 Schlussfolgerungen 12
2.7 Geozentrische Koordinaten 13
2.8 Transformation von Landeskoordinaten CH-1903 in WGS-84 Koordinaten 14
2.9 WM 101 Messungen 18

3. Landesnivellements 22
3.1 NFP20: LN und GPS-Profil 1987: Visp - Zermatt 22
3.1.1 Geologische Beurteilung der Fixpunkte vom 6. - 8. 8. 1986 22
3.1.2 Vorbereitung der Linie Lalden - Visp - Zermatt 1987 24
3.1.3 Messung 25
3.1.4 Auswertung 28
3.1.5 Resultate 30
3.2 Technischer Bericht LN Bellinzona - Brissago 1987 31
3.2.1 Einleitung 31
3.2.2 Vorbereitung der Linie 31
3.2.3 Messung 34
3.2.4 Auswertung 35
3.2.5 Resultate 38
3.3 Rezente Vertikalbewegungen aus wiederholten Nivellements auf den Linien Bellinzona-Brissago und Visp-Zermatt 40
3.3.1 Einleitung 40
3.3.2 Linie Bellinzona - Brissago 40
3.3.3 Linie Visp - Zermatt 43
3.3.4 Profile 44

4. GPS Linie Visp - Zermatt 50
4.1 Punktverzeichnis 53
4.2 Instrumentarium 53
4.3 GPS-Messkampagne 1987 54
4.4 TZK3 Aufnahmen 57
4.5 Schweremessungen 58
4.6 Berechnungen 58
4.6.1 Orthometrische Höhen aus Nivellement und Schweredaten 58
4.6.2 Mit Korrektur der Lotkrümmungen 61
4.6.3 Vergleich der GPS- mit den terrestrischen Höhen 62
4.6.4 Störpotentialbestimmung 65
4.6.5 Mit Korrektur der Lotabweichungen 70
4.7 GPS-Messkampagne 1989 (L+T) 73
4.8 Dreidimensionale Ausgleichung 79
4.8.1 Einführung von GPS - Beobachtungen 79
4.8.2 Resultate der Ausgleichung 82
4.8.2.1 Die ausgeglichenen Koordinaten und ihre mittleren Fehler 83
4.8.2.2 Verbesserungen an den GPS-Koordinaten 88

5. Astro-geodätische Arbeiten 93
5.1 Einleitung 93
5.2 Reduktionen und Interpretation 96
5.2.1 Reduktionen 96
5.2.2 Interpretation 108
5.3 Vergleich mit LAG 110
5.4 Einbezug von einzelnen Schweredaten 114
5.5 Dichtewerte aus Schweredaten 114
5.6 Einbezug eines Molassemodells 115
5.7 Neue Berechnungen 115
5.7.1 Modelle 117
5.7.2 Beobachtungen 118
5.7.3 Ansatz 119
5.7.4 Ergebnisse 120
5.7.5 Berechnung mit Dichtepolynomen 121
5.7.6 Die Molasse 125

6. Lagevergleich GPS - Landeskoordinaten 131
6.1 Allgemeines 131
6.2 Mathematischer Hintergrund 133
6.3 Anwendung auf die Interpolation mittels Kollokation 140
6.4 Auswertungen 142

7. Literaturverzeichnis 150

Anhang

A1 GRANIT-Punktbeschreibungen

A2 Polygonzug Visp - Zermatt
A2.1 Terrestrische Rohmessungen
A2.2 Reduzierte und zentrierte Werte
A2.2 Schweremessungen
A2.4 Inputdaten für RAUMTRI
A2.5 Punktbeschreibungen der GPS-Hauptpunkte

A3 Astro-geodätische Arbeiten
A3.1 Rohdaten
A3.2 Einflüsse auf die Lotabweichungen
A3.3 Reduktion der Rohdaten
A3.4 Vergleiche mit prädizierten Lotabweichungen
A3.5 Stationsbeschreibungen

A4 Datensatz für die Analyse GPS - Landesnetz

1. Projektkonzept

H.-G. Kahle (IGP)

Das Nationale Forschungsprogramm 20 (NFP 20) "Geologische Tiefenstruktur der Schweiz" des Schweizerischen Nationalfonds hatte zum Ziel, die geologische Tiefenstruktur der Schweiz zu erforschen. Es umfasste die "Dritte Dimension" der Erdkruste unter den Alpen und deren Vor- und Rückland bis zu einer Tiefe von ca. 60 km. Das Programm sollte neue Grundlagen liefern in Bezug auf

- Rohstoff- und Energiequellen : Kohle, Petroleum, Erz und thermische Energie
- Subterrane Einrichtungen : Verkehrswege, Kraftwerke, Speicher
- Erdbebenrisiko : Verständnis und Voraussage
- Zirkulation von Tiefenwässern : Thermische Nutzung

Im NFP 20 sollten ausser der Massenverteilung auch die Kinematik des Bewegungsablaufes vom Beginn der Alpenbildung (vor ca. 100 Mio Jahren) bis zu den heute noch aktiven Krustenbewegungen rekonstruiert werden. Die Aktivitäten konzentrierten sich geographisch auf 3 Traversen: die Osttraverse Stein am Rhein - Splügen, die Westtraverse Biel - Sion - Zermatt und die Südtraverse Calancatal - Bellinzona - Lugano - Chiasso.

Insgesamt resultierten auf die Ausschreibung hin 26 Projekteingaben, die mit den Zielsetzungen des Ausführungsplanes übereinstimmten. NFP 20 legte den Schwerpunkt auf die Vibrationsseismik. Diese ist durch die Prospektion der Erdölfirmen nach Kohlenwasserstoff-Vorkommen weit entwickelt worden. Mit ihr können detaillierte Angaben über geologische Strukturen gemacht werden, wie sie mit kaum einer anderen geophysikalischen Methode möglich sind. Ausser der Vibro-Seismik wurden zusätzlich Nebenprojekte durchgeführt. Hierbei wurde auf ein möglichst breites Spektrum erdwissenschaftlicher Disziplinen (Geomagnetik, Gravimetrie, Geothermik, Petrophysik, Geodäsie) Wert gelegt. Die Untersuchung der Tiefenstruktur beginnt mit der physikalischen Definition und gegenseitigen Abgrenzung der primären Gesteinskörper. Als Untersuchungsmethoden dienen die Vibrations- und Reflexionsseismik, die Refraktionsseismik, die Gravimetrie und die Magnetik.

Auch die Schweizerische Geodätische Kommission (SGK) der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW) hat den Ausführungsplan eingehend beraten und die Empfehlung ausgesprochen, dass die am NFP 20 interessierten Geodäten ein gemeinsames Projekt einreichen sollten, das eine bestmögliche Koordinierung und Optimierung der geodätischen Arbeiten gewährleistet. Eine Arbeitsgruppe der SGK [Kahle, Gubler, Bauersima, 1986] hat als Beiträge der Geodäsie die folgenden zwei Schwerpunkte vorgeschlagen:

1. Einen Beitrag zur Dichtebestimmung der geologischen Tiefenstruktur entlang den drei Alpentraversen zu leisten und

2. Die aktuelle Kinematik der noch andauernden Prozesse der Alpendynamik zu bestimmen.

Mit modernen geodätischen Messtechniken können nicht nur statische Massenstrukturen vermessen, sondern auch dynamische Vorgänge detektiert werden. Fassen wir die Schwere- und Lotrichtungsmessungen unter dem Begriff **Schwerefeldbestimmung** zusammen, so wird diese mit den aus Präzisions-Nivellements und satellitengeodätischen Messungen gestützten Geoidberechnungen zum ersten Aspekt gerechnet. Für den zweiten Aspekt, die kinematischen Fragestellungen, sind die zeitlichen und räumlichen Änderungen der geodätischen Messgrössen von ausschlaggebender Bedeutung. Diese können durch wiederholte Präzisions-Nivellements und hochgenaue satellitengeodätische Verfahren (Global Positioning System (GPS)) erfasst werden. Ausgehend von diesen Überlegungen reichte die SGK folgenden gemeinsamen Forschungsplan der drei im Vorwort genannten Institutionen ein:

- Für die
  - Osttraverse — ca. 40 Punkte
  - Westtraverse (insb. Visp-Zermatt) — ca. 25 Punkte
  - Südtraverse — ca. 10 Punkte

  astrogeodätisch mit dem TZK3 - Messystem des IGP zu vermessen (Kap. 5).

- Nachmessung des 1930 von der L + T gemessenen Präzisionsnivellements auf der Linie Visp - Zermatt. Die 1930 ausgeführten Messungen sollten genau genug sein, um nach 57 Jahren Hinweise über relative Vertikalbewegungen der Erdkruste im Mattertal zu liefern (Kap. 3).

- Vermarkung von 12 Hauptpunkten des Nivellements Visp - Zermatt und Bestimmung ihrer ellipsoidischen Koordinaten mit GPS - Phasenbeobachtungen. Die ellipsoidischen Höhen bilden in Kombination mit dem Nivellement und den Schweremessungen die geometrische Referenz-Grundlage für die Bestimmung der Geoidundulationen. Darüber hinaus stellen die durch wiederholte GPS - Beobachtungen gewonnenen Koordinaten eine wertvolle Information über rezente Krustenbewegungen dar (Kap. 4).

- In einer Erweiterung des Projektes wurden mit einem Zusatzkredit zusätzliche GPS-Messungen ausgeführt: 12 ausgewählte Stationen auf der West- und Osttraverse (im Aarmassiv, Mittelland, Jura und Schwarzwald) wurden in internationaler Zusammenarbeit mit 6 ausländischen Institutionen [1] aus Deutschland und Österreich mit total 7 TI-4100 Zweifrequenz-GPS-Empfängern vermessen. Die Kampagne fand 1987 statt und wurde mit "GRANIT" bezeichnet (vgl. Figur 1). Die Messungen dienen teilweise als Basismessungen für den präzisen räumlichen Bezug zwischen der Ost- und der Westtraverse, teilweise als Rückversicherung der Satellitenbeobachtungsstation Zimmerwald in die kristallinen Massive und schliesslich als Wiederholungsmessung der Basislinie Zimmerwald-Jungfraujoch-Monte Generoso [Bürki et al., 1986], die praktisch parallel zur Hauptverkürzungsachse der Alpen verläuft. Diese Basis von 12 Punkten dient sowohl als Grundlage für spätere Wiederholungsmessungen als auch als Gerüst für Verdichtungsmessungen mit Ein-Frequenz-Empfängern (Kap. 2).

- In einer Projektverlängerung wurden 1989 zwei weitere Programmpunkte eingegeben: Die Dichteabschätzungen sollten aus allen in der Schweiz verfügbaren Lotabweichungen und Schwereanomalien nochmals durchgeführt werden, was die Aussagekraft der Resultate erheblich verbessern würde (Kap. 5). Der zweite Programmpunkt der Projektverlängerung betrifft den Vergleich der in Kap. 2 bestimmten GPS-Koordinaten aus der GRANIT Kampagne mit den offiziellen Landeskoordinaten. Dieser Vergleich erlaubt erste detaillierte Hinweise auf Deformationen des Triangulationsnetzes: Ein wichtiger erster Schritt in Richtung Detektion von regionalen Krustenbewegungen des Alpenraumes (Kap. 6).

1 Alfred Wegener Institut, Bremerhaven (AWI)
Geodätisches Institut Hannover (GIH)
Hochschule der Bundeswehr, Neubiberg (HSBW)
Institut für Erdmessung, Hannover (IEMH)
Observatorium Lustbüehl, Graz (OLU)
Technische Universität München (TUM)

2. GRANIT

Geodätische Rückversicherung der Astrostation Zimmerwald und Nullmessungen In den Traversen.

M. Rothacher, W. Gurtner, G. Beutler, T. Schildknecht, I. Bauersima (AIUB)
E. Gubler, A. Wiget (L+T)
A. Geiger, M. Cocard, H.-G. Kahle, B. Wirth (IGP)

2.1 Einleitung

Im Mai 1987 wurde von den drei Gesuchstellern zum Projekt "Geodäsie" innerhalb von NFP20 ein Antrag für einen Zusatzkredit eingereicht. Die sich auf beiden Alpentraversen konzentrierenden geologischen, geophysikalischen und geodätischen Untersuchungen sollten durch Herstellung eines präzisen geodätischen Bezuges in Lage und Höhe zwischen den beiden Traversen enger verbunden werden. Die ausgewählten 12 Stationen wurden damit zum festen geodätischen Gerüst für das Detektieren von rezenten Krustenbewegungen in der Schweiz. Durch den Einbezug der Stationen Zermatt und Jeizinen (VS) wurden das Schweizerische GPS-Testnetz Turtmann [Jeanrichard (Hrsg.), 1992] und die im NFP 20 vermessene Linie Visp-Zermatt mit dieser Kampagne in ein übergeordnetes landesweites Referenznetz eingebunden.

Der Anschluss des Netzes an die permanente Satellite Laser Ranging (SLR) - Station Zimmerwald bedeutet den heute genauestmöglichen Anschluss (wenige cm) an das globale WGS System. Die Station Zimmerwald steht auf Molasse, die im tektonischen Sinn gegenüber den Gebirgsstrukturen (Jura, Alpen) nicht stabil sein könnte. Durch die Wahl der übrigen Stationen (bestehende Punkte) im Aarmassiv, Jura und Schwarzwald könnte eine zukünftige Bewegung von Zimmerwald relativ zu diesen benachbarten Strukturen erfasst werden. Mit den Stationen Jungfraujoch und Monte Generoso zusammen bildet die Station Zimmerwald zudem die erste in der Schweiz mit SLR und GPS bereits 1985 sehr genau vermessene Basislinie parallel zur Hauptverkürzungsachse der Alpen. Die GRANIT-Messungen sind deshalb als erste Wiederholungsmessung dieser Basislinie zu werten.

Neben der bereits erwähnten Verbindung der Traversen kann dieses Netz gleichzeitig als Nullmessung zur Kontrolle der Relativbewegungen der tektonischen Grosstrukturen der Schweiz benutzt werden und einen Beitrag zum Themenkreis "Rezente Krustenbewegungen" liefern. Da von den ausgewählten Stationen die Landeskoordinaten bekannt sind oder bestimmt wurden, erfolgt ebenfalls ein Bezug von GPS zur Schweizerischen Landestriangulation.

Die Punkteverteilung ist in Abb. 1 dargestellt.

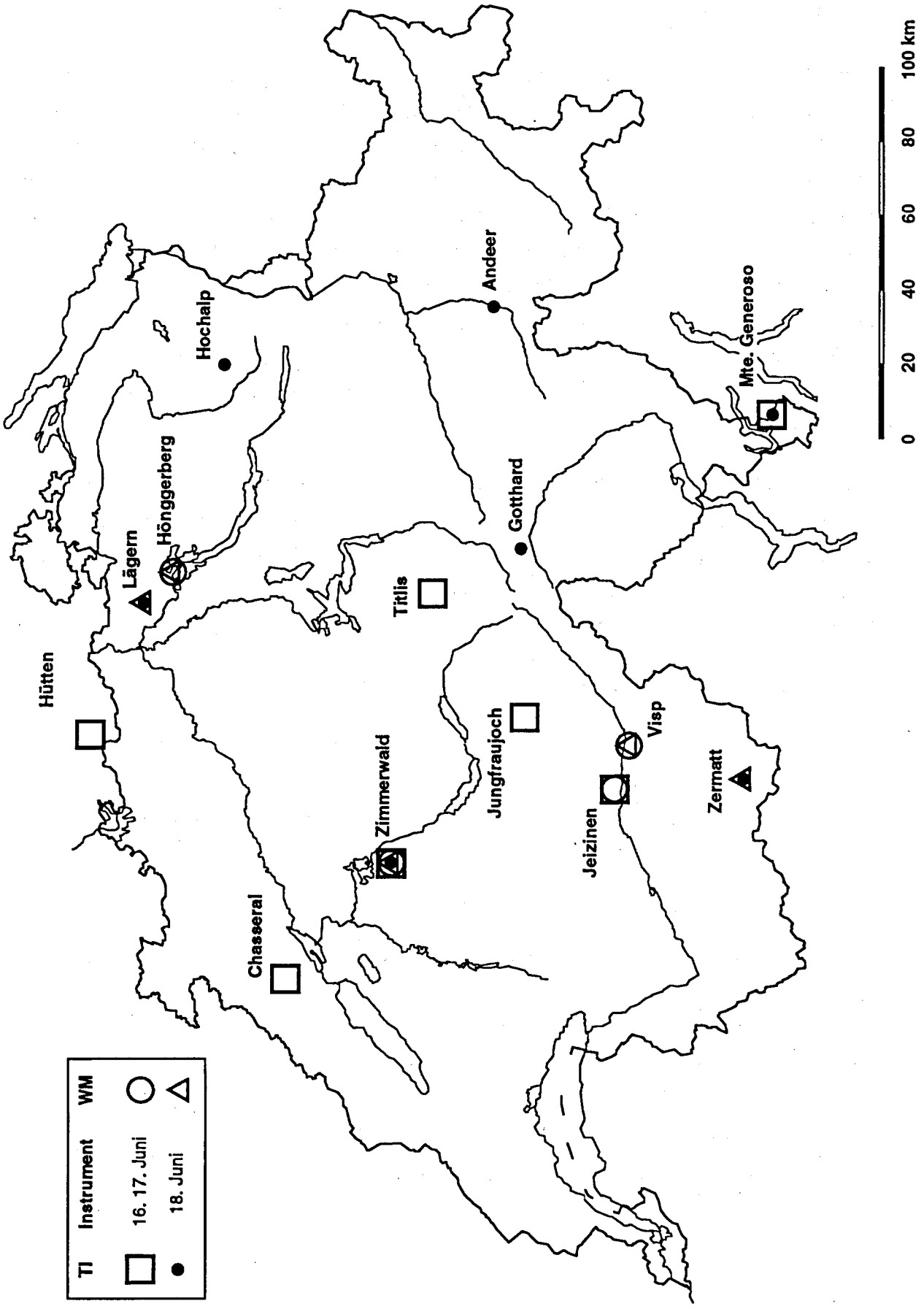


Abb. 1:Stationen der GPS-Kampagne GRANIT 1987

2.2 Messungen

Im Juni 1987 fand die erste (flächenhaft) grossräumige GPS-Kampagne in der Schweiz statt. Sieben TI-4100 GPS-Empfänger registrierten Daten während 4 Stunden pro Tag. Die 6 ausländischen Institutionen Alfred Wegener Institut, Bremerhaven (AWI), Geodätisches Institut Hannover (GIH), Hochschule der Bundeswehr, Neubiberg (HSBW), Institut für Erdmessung, Hannover (IEMH), Observatorium Lustbühel, Graz (OLU) und Technische Universität München (TUM) stellten die insgesamt sieben TI-4100 Empfänger samt Operateuren gratis zur Verfügung. Wir möchten an dieser Stelle den beteiligten Institutionen und Personen herzlich danken. Die Logistik der Messungen übernahmen die L+T (die sich auch finanziell an dem Projekt beteiligte), das AIUB und das IGP der ETH Zürich. Die nötigen Exzentrumseinmessungen und die dazugehörenden Berechnungen wurden von der L+T durchgeführt.

Die GPS Testkonfiguration erlaubte nur eine einmalige tägliche Session von ca. 4 Stunden Dauer ($12^h\ 30^m$ bis $16^h\ 30^m$ Lokalzeit). Innerhalb dieser Sessionen waren bis zu 6 Satelliten gleichzeitig sichtbar, aber durch die Beschränkung der TI Empfänger konnten maximal deren vier beobachtet werden. Gleichzeitige Messungen der ETH Zürich mit WM-101 Geräten werden in Kapitel 2.9 beschrieben.

2.3 Landeskoordinaten der GRANIT-Punkte

Die hier aufgelisteten Koordinaten stammen aus lokalen terrestrischen Messungen

	Landeskoordinaten CH1903		Gebrauchshöhe	Referenz für Höhe Höhe U.K. Ant. über Ref. GRANIT 16./17./18.6.1987
ZIMMERWALD				
PUNKT	Y M	X M	H M	
CH 99	602062.24	191792.87	897.84	
ZIMM.GPS (TI)	602017.430	191780.321	905.062	WILD-Teller 0.000/0.000/0.000
ZIMM.DOP (WM)	602025.228	191780.938	904.647	WILD-Teller 0.000/0.000/0.000
LASER48	602026.489	191789.764	902.065	
LASEREX	602026.315	191791.903	900.649	

M. GENEROSO

PUNKT	Y M	X M	H M	
CH 65	722656.14	87869.23	1701.32	
Marker D (TI)	722492.461	87449.748	1599.655	O.K. Marker D '89 2.248/2.246/2.243
GP 23Ioff	722658.40	87820.49	1694.95	(offiziell)
GP 23I (TI)	722658.398	87820.510	1694.956	(neu best 1988) '89

JUNGFRAUJOCH

PUNKT	Y M	X M	H M	
1249.202	641900.93	155280.95	3568.98	(offiziell)
202.EXZoff	641906.16	155280.55	3571.32	(offiziell)
202.EXZ	641906.202	155280.573	3571.282	(neu bestimmt 1987)
JUJO.GPS (TI)	641940.289	155288.218	3571.443	Bolzen bodeneben 1.100/1.100/ . . .
GPS.V1	641942.038	155290.036	3571.	
GPS.V2	641940.638	155289.917	3571.	
GPS.V3	641938.714	155288.665	3571.5	
GPS.V4	641924.375	155278.118	3572.	
GPS.V5	641938.851	155287.670	3571.5	

CHASSERAL

PUNKT	Y M	X M	H M	
CH 08	571223.01	220294.24	1607.40	
CHAS.GPS (TI)	571096.947	220267.864	1597.679	Kappenbolzen mit Kugel 1.315/1.313/...
GPS.A	571095.127	220271.112	1597.895	
GPS.B	571105.133	220273.973	1598.433	
GPS.C	571100.808	220265.872	1597.065	
GPS.D	571089.079	220263.886	1597.258	
CHAS.SW	569394.06	219068.99	1552.15	

HÜTTEN

PUNKT	Y M	X M	H M	
1049.006	637727.72	274944.06	unbek.	
HUET.GPS (TI)	637722.21	274948.45	unbek.	O.K. Bolzen 1.851/1.883/...

TITLIS
****

PUNKT	Y M	X M	H M	
CH 19	676311.90	180581.36	3238.29	
TIT.GPS (TI)	675238.633	180410.474	3040.403	Kappenbolzen ohne Kugel 1.212/1.212/...
ETH-E2	675322.645	180356.029	3061.616	
GPS.V1	675239.974	180409.039	3040.315	
GPS.V2	675236.706	180407.941	3040.142	
GPS.V3	675236.837	180410.271	3040.383	
GPS.V4	675228.199	180416.197	3033.575	

JEIZINEN
****

PUNKT	Y M	X M	H M	
JEIZ.GPS	621906.950 (TI)	130595.868	1525.362	Kappenbolzen ohne Kugel 1.355/1.355/...
JEIZ.GPS.E	621912.264 (WM)	130599.271	1526.516	Kappenbolzen ohne Kugel 1.339/1.338/...

Kugel -1.333 zu Niete TI: 0.0046 über Niete
Kugel.E -0.179 zu Niete WM(Kerbe): 1.1802 über Niete
(Kerbe 3.9cm über U.K. Ant)

LAEGERN
****

PUNKT	Y M	X M	H M	
CH 04	672506.71	259415.88	855.117	Bodenpunkt neu
LAEG.GPS (TI)	672525.088	259423.956	852.958	Kappenbolzen mit Kugel .../.../1.383 effekt. 1.381 ab Kugel 1.371 ab Niete
LAEG.WM (WM)	672530.999	259427.909	852.990	U.K. Antenne .../.../0.000
GPS.V1	672510.161	259413.441	853.416	
GPS.V2	672509.248	259419.467	853.894	
GPS.V3	672525.411	259418.172	851.993	
GPS.V4	672651.687	259446.001	844.750	
STEIN2	672518.902	259412.160	852.250	
STEINN	672524.707	259425.567	853.035	
BOLZEN	672521.651	259422.871	852.973	

ZERMATT
****

PUNKT	Y M	X M	H M	
1348.108	623706.50	96034.73	1689.528	
ZERM.G12	623706.750	96020.388	1687.566	Kappenbolzen ohne Kugel
(TI)				.../.../1.539
ZERM.P	623699.582	96017.695	1684.100	Niv.-Bolzen P
(WM)				.../.../1.382

ST. GOTTHARD
****

PUNKT	Y M	X M	H M	
GOTT.S	686416.24	156226.70	2109.29	
(TI)				.../.../0.877

ANDEER
****

PUNKT	Y [m]	X [m]	H [m]	
BAERENBURG	752258.27	162057.01	1091.33	
ANDE.GPS	752232.725	162014.719	1087.976	Einmessung IGP/ETHZ
(TI)				.../.../1.554
ANDEER.Ex	752234.170	162023.144	1088.553	Einmessung L+T 8.9.88
(Trimble)				(nicht versichert)
				S=0.256 berücksichtigt

HOCHALP
****

PUNKT	Y M	X M	H M	
HOCHALP	736984.12	237658.69	1521.53	1114.517
(TI)				.../.../0.823

TI-Ant: D = 17 cm, R = Ex = 8.5 cm
WM-Ant: D = 21 cm, R = Ex = 10.5 cm

Erstellt: 21.09.88 Wiget
Geändert: 06.10.88 Geiger
23.02.89 Wiget

2.4 Technische Bemerkungen zur Auswertung

Die GPS-Daten wurden am AIUB mit der Version 3.1 der Berner GPS-Software ausgewertet.

Ein Mangel der GRANIT-Kampagne ist im Umstand zu sehen, dass ausser der Station Zimmerwald keine Europäische VLBI oder SLR Station mit einem Zweifrequenzempfänger besetzt war. Dies hätte eine verlässliche und genaue Bahnbestimmung nach dem "Fiducial Point" Konzept ermöglicht. Aus diesem Grunde wurden in der Berechnung gleichzeitig zwei Bahnparameter pro Satellit (Along track Fehler und grosse Halbachse der Bahnellipse) bestimmt, um mögliche Systematiken von den Satellitenbahnen her zu verringern. Für jeden Satelliten wurde ein einziger Bogen über die ganzen drei Tage berechnet. Der Einfluss der Ionosphäre wurde eliminiert, indem die "ionosphärenfreie" Linearkombination L3 der Messungen in den beiden Frequenzen L1 und L2 verwendet wurde.

Obwohl Stationsmeteodaten erhoben wurden, wurde entschieden, sie nicht zu verwenden. Die alpenbedingten Wetterunterschiede zwischen nördlicher und südlicher Schweiz sind zu gross, als dass mit einem rein höhenmässig modellierten funktionalen Wetterverlauf gearbeitet werden könnte. Deshalb wurde im Ausgleichsverfahren pro Basislinie eine Zenittroposphärenkorrektur geschätzt, um die Effekte der Troposphäre zu reduzieren. Daneben wurde ein globales Meteomodell als a priori Modell verwendet.

Die ursprünglich mit einer 3 Sekunden Rate erhobenen Messungen wurden um einen Faktor 10 auf 30 Sekunden Daten reduziert.

Alle "Ambiguities" (Mehrdeutigkeiten der Form n · Wellenlänge) konnten auf ganze Zahlen aufgelöst werden, was gegenüber einer Lösung mit unaufgelösten "Ambiguities" zu einer Verbesserung der Resultate um ungefähr einen Faktor 4 führt.

Charakteristik des letzten Berechnungsganges:

Fixstation		Zimmerwald
Anzahl Stationen	=	12
Anzahl Sessionen	=	3
Anzahl Empfänger	=	7
Anzahl Doppeldifferenzen	=	18855
Anzahl Stationskoordinaten	=	33
Anzahl Bahnparameter	=	12
Anzahl Ambiguities	=	2
Anzahl Troposphärenparameter	=	18
Totale Anzahl unbekannter Parameter	=	65
RMS der einfachen Differenzen	=	1.6 cm
Max Zenittroposphärenkorrektur Jungfraujoch, Höhe = 3573 m)	=	-7 cm

2.5 Resultate

Als Resultat der GPS-Ausmessung erhalten wir die dreidimensionalen Koordinaten der vermessenen Punkte relativ zu einem festgehaltenen Punkt (Zimmerwald, wofür die BIH Werte des BTS-87 verwendet wurden). Da keine konventionell bestimmten Koordinaten von ähnlicher Genauigkeit vorhanden sind, gibt es keine direkte Vergleichsmöglichkeit, und es stellt sich die Frage: Wie genau sind diese GPS-Koordinaten? Eine Abschätzung der Genauigkeit erhält man durch die drei in den folgenden Abschnitten aufgeführten Grössen oder Vergleiche:

a) Formale mittlere Fehler der Koordinaten:

Die formalen mittleren Fehler relativ zu Zimmerwald betragen für die Gesamtlösung (alle 3 Tage) im Mittel etwa 1-2 mm in der Nord-Süd-, 1 mm in der Ost-West-Richtung, 7-14 mm in der Höhe und 1 mm in der Distanz. Diese Werte sind sicher zu optimistisch, da systematische Fehler in der Statistik vielfach keinen Niederschlag finden.

b) Wiederholbarkeit:

Am ersten und zweiten Tag der Kampagne wurden dieselben Punkte noch einmal vermessen. Die Differenzen zwischen den Lösungen für den ersten und den zweiten Tag sind (nach einer dreidimensionalen Translation zwischen den Lösungen) von der Grössenordnung 7 mm in der Nord-Süd-, 8 mm in der Ost-West-Richtung und 35 mm in der Höhe. Dass die Höhen der beiden Tageslösungen vergleichsweise schlecht übereinstimmen, lässt sich damit erklären,

dass für beide Tageslösungen unabhängig Bahnparameter geschätzt wurden. Da die Satellitenbahnen im wesentlichen die Orientierung des Netzes festlegen, sind die beiden Lösungen leicht gegeneinander verdreht. Wir kommen deshalb zum Schluss, dass mit zuverlässigen Meteodaten (keine Troposphärenparameter mehr nötig) noch mit Fehlern in der Höhe von etwa 2 cm zu rechnen ist.

c) Vergleich mit den GPS-Messungen von 1985

Die Basislinien Zimmerwald - Monte Generoso, Zimmerwald - Jungfraujoch und Jungfraujoch - Monte Generoso wurden 1985 mit nur 2 funktionierenden TI-4100 Empfängern schon einmal beobachtet. Durch die schwächere Satellitenkonstellation 1985 und infolge von Geräteproblemen war die damalige Datenausbeute schlechter als während der GRANIT-Kampagne:

13. Okt. 1985: Jungfraujoch - Monte Generoso	2^h Session,	4 Satelliten.
14. Okt. 1985: Zimmerwald - Monte Generoso	2^h Session,	5 Satelliten.
17. Okt. 1985: Zimmerwald - Jungfraujoch	4^h Session,	6 Satelliten.

Dennoch sind die Differenzen zwischen der Lösung 1985 und der Lösung 1987 sehr klein:

Basislinie	1985 [m]	1987 [m]	1987 - 1985 [mm]
Mt. Generoso-Jungfraujoch:	105365.000± 0.009	105365.015± 0.004	15 ± 10 mm
Mt. Generoso-Zimmerwald:	159391.776± 0.004	159391.779± 0.001	3 ± 4 mm
Zimmerwald-Jungfraujoch:	54172.169± 0.002	54172.168± 0.001	-1 ± 2 mm

2.6 Schlussfolgerungen

Bei einem Netz der Grösse 150 km x 200 km erreicht man mit GPS **in der Lage** mit vergleichsweise kleinem Aufwand eine relative Genauigkeit von **1 cm oder besser.** Stehen zuverlässige Meteodaten zur Verfügung, so ist **für die Höhe** mit einer Genauigkeit von **etwa 3 cm** zu rechnen.

2.7 Geozentrische Koordinaten (GPS-Lösung 28. Februar 1989)

Nr	Name	X	Y	Z
1	Andeer	4332240.710 ± 0.010	719165.151 ± 0.002	4611545.186 ± 0.010
2	Chasseral	4315057.495 ± 0.005	534231.184 ± 0.001	4653025.833 ± 0.005
3	Generoso	4390312.762 ± 0.006	696750.067 ± 0.001	4560833.100 ± 0.006
4	Gotthard Süd	4346458.905 ± 0.008	654661.217 ± 0.002	4609206.933 ± 0.008
5	Hochalp	4279916.118 ± 0.008	696965.447 ± 0.002	4663759.752 ± 0.008
6	Hütten	4266022.533 ± 0.005	595029.380 ± 0.001	4689507.807 ± 0.005
7	Jeizinen GPS	4373207.473 ± 0.005	593076.234 ± 0.001	4591517.312 ± 0.005
8	Jungfraujoch	4354193.700 ± 0.005	610815.526 ± 0.001	4609949.843 ± 0.005
9	Lägern	4272644.353 ± 0.007	630995.082 ± 0.002	4678778.008 ± 0.008
10	Titlis	4331184.179 ± 0.005	641404.336 ± 0.001	4626589.358 ± 0.005
11	Zermatt	4397820.526 ± 0.008	598104.072 ± 0.002	4567683.638 ± 0.008
12	Zimmerwald	4331293.882 fix	567541.590 fix	4633135.801 fix

GPS-Lösung:
- alle Tage gemeinsam (16. - 18. Juni 1987)
- "Ambiguities fixed"
- Grosse Halbachsen und Argument der Breite der Satellitenbahnen verbessert
- Schätzen einer Zenittroposphärenkorrektur pro Basislinie
- Koordinaten von Zimmerwald festgehalten im BTS87-System (Genaue Bezeichnung des Punktes: Zimmerwald GPS87)

Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Software und der Genauigkeitsuntersuchungen ist in [Beutler et al., 1989] zu finden.

2.8 Transformation von Landeskoordinaten CH-1903 in WGS-84 Koordinaten

Mit dem Einsatz des NAVSTAR-Global Positioning Systems (GPS) für Geodäsie und Navigation gewinnt das globale Bezugssystem WGS-84 immer mehr an Bedeutung. Damit Koordinaten von Punkten in der Schweiz in diesem Bezugssystem berechnet werden können, muss eine Transformation von den Landeskoordinaten (CH-1903) im Schweizerischen geodätischen Datum ins System WGS-84 durchgeführt werden. Im folgenden wird ein vorläufiger Parametersatz bestimmt, dessen Anwendung wir für die genannte Transformation empfehlen. Ein definitiver Parametersatz kann erst mit den Resultaten der Landesvermessung LV95 Mitte der neunziger Jahre publiziert werden.

Die Umrechnung von Projektionskoordinaten der Schweizerischen Landesvermessung in das World Geodetic System WGS-84 kann in mehrere Schritte unterteilt werden. Üblicherweise wird dabei nach folgendem Schema vorgegangen:

Gegeben: Projektionskoordinaten im Datum CH-1903 (Lage Y, X und Gebrauchshöhe H)

→ Umrechnung der ebenen Lagekoordinaten im Projektionssytem in geographische (ellipsoidische) Koordinaten (L, B) auf dem Ellipsoid von Bessel im Schweizer Datum CH-1903 [Bericht L+T: Schweizerisches Projektionssystem]

→ Berechnung der Höhen (h) über dem Bessel-Ellipsoid durch Addition der Geoidhöhen (N) [Gurtner, 1978] zu den Gebrauchshöhen (H): $h = H + N$

→ Umrechnung der ellipsoidischen Koordinaten (L, B, h) in dreidimensionale, relativgeozentrische kartesische Koordinaten (X', Y', Z')

→ Übergang vom lokalen Datum CH-1903 (Bessel-Ellipsoid) ins globale "geozentrische" Datum WGS-84 (WGS-Ellipsoid) mittels einer räumlichen Ähnlichkeitstransformation: X, Y, Z. Für den letzten Schritt der Umrechnung sollen in diesem Kapitel die Parameter einer räumlichen Koordinatentransformation mit drei Translationen, drei Rotationen und einem Massstabsfaktor angegeben werden. Diese Transformationsparameter wurden mit dem an der L+T installierten Programm ATRA [Schmid, Heggli, 1978] berechnet, dem folgendes mathematisches Modell zugrunde liegt:

$$X = dX + M\,D\,x$$

Dabei bedeuten:
Koordinaten X (X, Y, Z) (WGS-84 Koordinaten)
Koordinaten x (x, y, z) (lokale relativgeozentrische Koordinaten)
Translationsvektor dX (dX, dY, dZ) (in Bezug auf das X, Y, Z-System)
Massstabsfaktor M

$$\text{Drehmatrix } D = R_{3\gamma}\,R_{2\beta}\,R_{1\alpha} = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{vmatrix}$$

mit:

$$r_{11} = \cos\beta\cos\gamma$$
$$r_{21} = -\cos\beta\sin\gamma$$
$$r_{31} = \sin\beta$$

$$r_{12} = \cos\alpha\sin\gamma + \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma$$
$$r_{22} = \cos\alpha\cos\gamma - \sin\alpha\sin\beta\sin\gamma$$
$$r_{32} = -\sin\alpha\cos\beta$$

$$r_{13} = \sin\alpha\sin\gamma - \cos\alpha\sin\beta\cos\gamma$$
$$r_{23} = \sin\alpha\cos\gamma + \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma$$
$$r_{33} = \cos\alpha\cos\beta$$

Dabei sind die Winkel α, β, γ die (mitgedrehten) Drehwinkel um die drei Koordinatenachsen x(1), y(2), und z(3).

Die Transformationsparameter wurden aus dem Datensatz der GPS-Kampagne GRANIT 1987 [Beutler et al., 1989] berechnet. Das Output-Protokoll ist auf den folgenden Seiten zu finden. Dabei wurden die Koordinaten des alten GPS-Punktes der Satelliten-Beobachtungsstation Zimmerwald (Nr. 12 in der Berechnung) auf dessen Koordinaten im BTS87-System (BIH Terrestrial System) festgehalten.

Die aus ATRA resultierenden Transformationsparameter betragen:

DX	=	660.077 m	±	4.055 m
DY	=	13.551 m	±	4.816 m
DZ	=	369.344 m	±	3.914 m
Alpha	=	2.484 cc	±	0.417 cc
Beta	=	1.783 cc	±	0.455 cc
Gamma	=	2.939 cc	±	0.411 cc
M	=	1.00000566	±	0.00000052

Verschiedene Anwendungen dieser Transformationsparameter, vor allem in der Nordschweiz, weisen darauf hin, dass sich unter Voraussetzung der verwendeten BTS-87 Fixkoordinaten für die Station Zimmerwald in der ganzen Schweiz WGS-84 Koordinaten aus Landeskoordinaten mit einer Genauigkeit (1 Sigma) von besser als 1 m berechnen lassen.

PROGRAMM: ATRA VERSION FEBRUAR 1987 (L+T)

INPUT-PROTOKOLL

VERWENDETE STEUERKARTEN
GRANIT 1987: Terrestrisch (G Bessel) auf GPS (L3,all days,amb.fixed,broad.orb.,trop.para)
5555555 6000 111111000 11101 0.00000500 0.1E-34
(I1,3X,16,3F15.4)
(4X,I6,6F15.4)
(I1,3X,I6,3F15.4)
(4X,I6,6F15.4)
(I1,3X,I6,3F15.4)
(4X,I6,6F15.4)
(4X,I6 3F10.4)
(4X,I6 3F10.4)
(4X,I6,3F10.4)
EINGABE VON MITTLEREN FEHLERN

MITTLERER FEHLER DER GEWICHTSEINHEIT 0.0100

1. SYSTEM

NR	X	Y	Z	M_X	M_Y	M_Z
1	4331566.1851	719149.5327	4611140.4353	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
2	4314383.8329	534216.3370	4652620.2963	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
3	4389637.2897	696734.8597	4560428.7977	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
4	4345784.2349	654646.0360	4608801.7601	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
5	4279241.5994	696949.9084	4663354.7160	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
6	4265348.7068	595013.7570	4689102.4440	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
7	4372532.8727	593061.7628	4591111.9349	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
8	4353518.6906	610800.6935	4609544.3218	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
9	4271970.1986	630979.2585	4678372.9158	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
10	4330509.5794	641388.8982	4626184.1596	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
11	4397145.5254	598089.9252	4567278.2818	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00
12	4330619.5626	567526.7122	4632730.5931	0.2000E 00	0.2000E 00	0.2000E 00

2. SYSTEM

NR	X	Y	Z	M_X	M_Y	M_Z
1	4332240.7710	719165.2074	4611545.2870	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
2	4315057.5368	534231.1735	4653025.8610	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
3	4390312.7537	696750.1163	4560833.1220	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
4	4346458.9247	654661.2556	4609206.9743	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
5	4279916.1757	696965.4929	4663759.8612	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
6	4266022.5910	595029.3883	4689507.8995	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
7	4373207.4525	593076.2440	4591517.2856	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
8	4354193.6971	610815.5422	4609949.8505	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
9	4272644.3855	630995.1117	4678778.0768	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
10	4331184.2050	641404.3616	4626589.4145	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
11	4397820.4952	598104.0986	4567683.6030	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02
12	4331293.8820	567541.5900	4633135.8010	0.1000E-02	0.1000E-02	0.1000E-02

RAEUMLICHE TRANSFORMATION MIT 1 MASSSTABSFAKTOR
****

GRANIT 1987: Terrestrisch (G Bessel) auf GPS (L3,all days,amb.fixed,broad.orb.,trop.para)

	ALPHA	BETA	GAMMA	DX	DY	DZ	SX	SY	SZ
NW:	399.9994	0.0055	399.9998	129.279	-62.290	-420.890	1.00005510	1.00005510	1.00005510
1.IT:	400.0002484	0.0001786	0.0002939	660.057	13.554	369.325	1.00000566	1.00000566	1.00000566
2.IT:	400.0002484	0.0001783	400.0002939	660.077	13.551	369.344	1.00000566	1.00000566	1.00000566
3.IT:	400.0002484	0.0001783	400.0002939	660.077	13.551	369.344	1.00000566	1.00000566	1.00000566

ABBRUCHKRITERIUM TRANSLATIONSAENDERUNG = 0.00000500

DREHMATRIX:

1.000000000	0.000004617	-0.000002800
-0.000004616	1.000000000	0.000003903
0.000002800	-0.000003903	1.000000000

DETERMINANTE DER NORMALGLEICHUNGSMATRIX: 0.788137E-08 * 2 * E+18

KORRELATIONEN ZWISCHEN DEN TRANSFORMATIONSPARAMETRN:

	ALPHA	BETA	GAMMA	DX	DY	DZ	SX,SY,SZ
ALPHA	1.0000000	0.0587580	-0.3605540	0.0838910	-0.8382450	0.0587120	0.000000
BETA		1.0000000	-0.1264810	0.8273120	-0.1103330	-0.7843340	0.000000
GAMMA			1.0000000	-0.2029610	0.8068760	0.0620690	-0.000000
DX				1.0000000	-0.1331920	-0.3072280	-0.552838
DY					1.0000000	0.0403290	-0.067495
DZ						1.0000000	-0.611303
SX, SY, SZ							1.000000

FEHLERRECHNUNG:

NR	V_{XA}	V_{YA}	V_{ZA}	V_{XB}	V_{YB}	V_{ZB}	CODE
1	-0.4182	0.0513	0.0832	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.
2	-0.2331	0.0187	-0.1124	0.0000	-0.0000	0.0000	0.
3	0.0926	0.2261	-0.4073	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.
4	-0.1036	0.0361	0.1673	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.
5	0.1170	-0.3586	0.1410	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.
6	0.0463	0.1005	-0.0534	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.
7	-0.1302	-0.1612	0.0887	0.0000	0.0000	-0.0000	0.
8	0.3738	-0.0538	0.2848	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.
9	0.1154	0.1913	-0.1654	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.
10	0.0285	0.2165	0.1007	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.
11	0.0305	-0.2908	0.1448	-0.0000	0.0000	-0.0000	0.
12	0.0810	0.0240	-0.2720	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.

MITTLERER GEWICHTSEINHEITSFEHLER: 0.0070

MITTLERE FEHLER DER TRANSFORMATIONSPARAMETER:

ALPHA	BETA	GAMMA	DX	DY	DZ	SX	SY	SZ
0.0000417	0.0000455	0.0000411	4.055	4.816	3.914	0.00000052	0.00000052	0.00000052

2.9 WM 101 Messungen

Gleichzeitig mit den TI 4100 Messungen wurde mit bis zu 5 WM 101 gemessen, mit dem Ziel, die Ionosphärenkorrektur der Zweifrequenzgeräte (-Auswertung) zu übernehmen und damit die Einfrequenz-Auswertungen zu skalieren und die beiden weiteren Stationen Visp und HPV Dach (ETH Hönggerberg, Zürich) zu bestimmen. Häufig war einige Meter neben einem TI 4100 auf einem Exzentrum ein WM 101 aufgestellt und beide Geräte liefen gleichzeitig.

Beobachtungsplan: am 16. Juni wurden die Stationen Visp, Jeizinen und HPV-Dach stationiert. Am 17 Juni Visp, Jeizinen, Zimmerwald(Ex) und HPV-Dach. Am 18. Juni schliesslich HPV-Dach, Lägern(Ex), Zimmerwald(Ex), Zermatt(Ex) und Visp (vgl. Abb. 1).

Diese WM 101 Messungen wurden am IGP durch Dipl. Ing. M. Cocard mit POPS ausgewertet. Die einzelnen Messtage wurden in die folgenden Basislinien aufgeteilt:

16. Juni:	Visp	- Jeizinen
	Visp	- HPV-Dach
17. Juni:	Visp	- Jeizinen
	Jeizinen	- Zimmerwald
	Zimmerwald	- HPV-Dach
18. Juni:	HPV-Dach	- Lägern
	Lägern	- Zimmerwald
	Zermatt	- Zimmerwald
	Visp	- Zermatt

Vorerst wurden diese Basislinien einzeln ausgewertet:

Nr gelöst	Name	X	Y	Z	Amb	
14	Visp	4373773.751	605355.029	4588156.109	4	4
7	Jeizinen	4373184.117	593084.631	4591514.308		
14	Visp	4373773.753	605355.036	4588156.109	4	4
13	HPV-Dach	4277231.249	640038.621	4672945.665		
14	Visp	4373773.751	605355.029	4588156.109	5	5
7	Jeizinen	4373184.112	593084.629	4591514.313		
12	Zimmerwald	4331271.052	567552.508	4633129.868	5	5
7	Jeizinen	4373184.100	593084.619	4591514.302		
13	HPV-Dach	4277231.249	640038.621	4672945.665	5	4
12	Zimmerwald	4331271.044	567552.511	4633129.877		
13	HPV-Dach	4277231.249	640038.621	4672945.665	5	5
9	Laegern.Ex	4272619.431	631003.972	4678774.727		
12	Zimmerwald	4331271.052	567552.508	4633129.868	5	5
9	Laegern.Ex	4272619.421	631003.982	4678774.714		
12	Zimmerwald	4331271.052	567552.508	4633129.868	5	4
11	Zermatt	4397800.139	598100.249	4567673.127		
14	Visp	4373773.751	605355.029	4588156.109	4	4
11	Zermatt	4397800.096	598100.259	4567673.101		

Das heisst, bis auf die Linien HPV-Dach-Zimmerwald und Zimmerwald-Zermatt konnten alle Ambiguities aufgelöst werden.

Anschliessend wurde eine Gesamtlösung gerechnet, die folgende Resultate ergab:

Anzahl Beobachtungen	=	4328
Anzahl Parameter	=	39
Anzahl Ambiguities	=	24
RMS der Doppeldifferenz	=	0.028 M

Alle Ambiguities konnten hier gelöst werden. Nachfolgend sind die erhaltenen Koordinaten angegeben (Die Lagerung erfolgte auf dem Mittel der Single-Point-Lösungen):

Nr	Name	X	Y	Z
12	Zimmerwald	4331271.052	567552.508	4633129.868
14	Visp	4373773.751	605355.029	4588156.109
13	HPV-Dach	4277231.249	640038.621	4672945.665
7	Jeizinen	4373184.108	593084.626	4591514.307
9	Laegern.Ex	4272619.426	631003.977	4678774.721
11	Zermatt	4397800.110	598100.260	4567673.111

Der Vergleich der Lösungen aus den einzelnen Basislinienauswertungen mit der Gesamtlösung zeigten Abweichungen von nur einigen wenigen Millimetern. Die Resultate der Gesamtlösung wurden dann, wo nötig, um die geozentrischen Zentrierungsbeträge, welche aus den Landeskoordinaten berechnet wurden, auf die TI-Stationen von GRANIT zentriert.

Mit dem Programm ATRA [Schmid, Heggli, 1978] wurde diese WM101-Lösung schliesslich auf die TI-4100 Lösung des AIUB transformiert (Beide Koordinatensysteme wurden vorgängig um dieselbe Drehung um eine mittlere Länge und Breite der Schweiz in genähert topozentrische kartesische Koordinaten transformiert).

Folgende Werte wurden erhalten:

Räumliche Transformation mit 1 Massstabsfaktor

Granit WM101 6. 1987

	Alpha	Beta	Gamma	Dx	Dy	Dz	Sx	Sy	Sz
Nw:	.0000	.0001	400.0000	31.808	-116.317	-1274.317	1.00006604	1.00006604	1.00006604
1.It:	.0000141	.0000131	399.9999904	-9.473	-7.863	34.358	.99999749	.99999749	.99999749
2.It:	.0000141	.0000131	399.9999817	-9.472	-7.863	34.358	.99999749	.99999749	.99999749
3.It:	.0000141	.0000131	399.9999817	-9.472	-7.863	34.358	.99999749	.99999749	.99999749

Korrelationen zwischen den Transformationsparametern

	Alpha	Beta	Gamma	Dx	Dy	Dz	Sx,Sy,Sz
Alpha	1.000000	.629090	-.010626	.629034	-.999991	-.014469	0.000000
Beta		1.000000	-.007249	.999953	-.629083	-.003963	0.000000
Gamma			1.000000	-.002934	.008774	.000149	0.000000
Dx				1.000000	-.629027	-.008314	.004352
Dy					1.000000	.012633	.001836
Dz						1.000000	-.999817
Sx,Sy,Sz							1.000000

Fehlerrechnung:

Nr	V_{XA}	V_{YA}	V_{ZA}	V_{XB}	V_{YB}	V_{ZB}	Code
7	-.0004	.0044	.0441	0.0000	0.0000	-.0004	0.
9	-.0024	.0041	-.0031	0.0000	0.0000	0.0000	0.
11	.0029	.0013	-.0303	0.0000	0.0000	.0003	0.
12	-.0001	-.0098	-.0107	0.0000	.0001	.0001	0.

Mittlerer Gewichtseinheitsfehler: .0136

Mittlere Fehler der Transformationsparameter:

Alpha	Beta	Gamma	Dx	Dy	Dz	Sx	Sy	Sz
0.0000	0.0000	0.0000	.905	2.126	.647	.00000010	.00000010	.00000010

Zu Transformierende Punkte:

M.F. der Gewichtseinheit bezogen auf zu transformierende Punkte, .0500

System:	Nr	X	Y	Z	M_X	M_Y	M_Z
1.System:	12	-16095.2630	-66179.0830	6367360.3970	0.05	0.05	0.05
2.System:	12	-16105.9969	-66185.3751	6367378.7718	0.0082	0.0082	0.0137
1.System:	14	-81531.6350	-34935.6910	6367076.2620	0.05	0.05	0.05
2.System:	14	-81542.2092	-34942.0716	6367094.6171	0.0085	0.0085	0.0100
1.System:	13	42479.9180	13373.7830	6367008.2760	0.05	0.05	0.05
2.System:	13	42469.0250	13367.2998	6367026.6461	0.0122	0.0122	0.0153
1.System:	7	-77514.9390	-46996.4240	6367908.6390	0.05	0.05	0.05
2.System:	7	-77525.5216	-47002.7735	6367926.9955	0.0083	0.0083	0.0085
1.System:	9	50747.0580	5096.9750	6367242.2760	0.05	0.05	0.05
2.System:	9	50736.1455	5090.5139	6367260.6491	0.0125	0.0125	0.0139
1.System:	11	-112114.0750	-45588.8760	6367684.3150	0.05	0.05	0.05
2.System:	11	-112124.5709	-45595.2343	6367702.6646	0.0105	0.0105	0.0117

Die Rückdrehung der "topozentrischen" Koordinaten des "2. Systems" liefert die transformierten WGS-84 Koordinaten der WM 101 Auswertung, insbesondere die zur GRANIT-Lösung kompatiblen Koordinaten für die Stationen Visp(14) und HPV-Dach(13). Rechts sind die daraus berechneten schweizerischen Projektionskoordinaten angegeben.

Nr	X	Y	Z	Y	X	h
12	4331293.888	567541.601	4633135.809	602017.463	191780.068	904.503
14	4373794.733	605351.653	4588162.263	634005.625	126709.275	653.811
13	4277252.485	640035.178	4672951.611	680895.463	251255.045	543.150
7	4373207.444	593076.226	4591517.280	621906.799	130596.035	1526.718
9	4272644.353	630995.078	4678778.012	672525.244	259423.718	853.466
11	4397820.549	598104.074	4567683.659	623706.435	96020.490	1690.490

Nachfolgend sind nochmals die aus terrestrischen Messungen berechneten Landeskoordinaten aller Punkte mit den um das Schweizer Geoid korrigierten Höhen (Besselschen ellipsoidischen Höhen) sowie die daraus berechneten Besselschen geozentrischen Koordinaten aufgelistet.

Diese Zahlen dienen vor allem dazu, um in geozentrischen Systemen Zentrierungsrechnungen durchzuführen.

Punkt	Y	X	h	X	Y	Z
	Landeskoordinaten			geoz. Besselkoordinaten		
Ch 99 Zi	602062.240	191792.870	897.413	4330599.773	567569.322	4632733.891
Zimm.GPSTI	602017.430	191780.321	904.636	4330619.564	567526.712	4632730.594
Zimm.DopWM	602025.228	191780.938	904.221	4330617.825	567534.350	4632730.712
Laser48	602026.489	191789.764	901.639	4330609.522	567534.537	4632734.861
LaserEX	602026.315	191791.903	900.223	4330607.037	567534.037	4632735.289
Ch 65 Ge	722656.140	87869.230	1699.234	4389384.831	696869.049	4560791.299
Marker D TI	722492.455	87449.739	1597.521	4389637.252	696734.838	4560428.775
Gp 23I off	722658.400	87820.490	1692.859	4389414.869	696875.110	4560752.791
Gp 23ITI	722658.400	87820.511	1692.865	4389414.858	696875.109	4560752.810
1249.202	641900.930	155280.950	3571.322	4353527.519	610762.116	4609537.719
202.Exz off	641906.160	155280.550	3573.663	4353528.701	610767.563	4609539.118
202.Exz	641906.202	155280.573	3573.625	4353528.653	610767.599	4609539.106
Jujo.GPS TI	641940.289	155288.218	3573.787	4353518.690	610800.693	4609544.320
Ch 08 Chas	571223.010	220294.240	1608.102	4314355.282	534339.728	4652645.787
Chas.GPSTI	571096.947	220267.864	1598.382	4314383.836	534216.337	4652620.299
Chas.Sw	569394.060	219068.990	1552.829	4315439.712	532636.670	4651765.270
1049.006	637727.720	274944.060	502.134	4265087.322	594982.829	4688807.433
Huet.GPSTI	637722.210	274948.450	502.135	4265084.843	594976.948	4688810.417
Ch 19 Tit	676311.900	180581.360	3240.033	4330372.461	642456.196	4626436.124
Tit.GPS TI	675238.633	180410.474	3042.140	4330509.571	641388.897	4626184.151
ETH-E2	675322.645	180356.029	3063.358	4330551.752	641479.415	4626161.583
GPS.VL	675239.974	180409.039	3042.052	4330510.365	641390.352	4626183.092
GPS.V2	675236.706	180407.941	3041.879	4330511.491	641387.200	4626182.242
GPS.V3	675236.837	180410.271	3042.120	4330509.952	641387.134	4626184.013
GPS.V4	675228.199	180416.197	3035.311	4330502.242	641377.332	4626183.186
Jei.GPSTI	621906.950	130595.868	1526.771	4372532.873	593061.763	4591111.935
Jeiz.GPS.E	621912.264	130599.271	1527.926	4372530.522	593066.820	4591115.108
Ch 04 Lae	672506.710	259415.880	855.727	4271980.068	630962.038	4678369.203
Laeg.GPSTI	672525.088	259423.956	853.568	4271970.201	630979.259	4678372.918
Laeg.WM	672530.999	259427.909	853.600	4271966.522	630984.740	4678375.564
GPS.VI	672510.161	259413.441	854.026	4271980.240	630965.522	4678366.273
GPS.V2	672509.248	259419.467	854.504	4271976.280	630964.089	4678370.705
GPS.V3	672525.411	259418.172	852.603	4271973.739	630980.036	4678368.295
GPS.V4	672651.687	259446.001	845.359	4271931.232	631101.751	4678380.714
Stein2	672518.902	259412.160	852.860	4271979.198	630974.188	4678364.475
Steinn	672524.707	259425.567	853.645	4271969.127	630978.735	4678374.066
Bolzen	672521.651	259422.871	853.583	4271971.475	630975.959	4678372.224
1348.108	623706.500	96034.730	1692.283	4397136.676	598088.526	4567289.657
Zerm.G12 TI	623706.750	96020.388	1690.321	4397145.528	598089.925	4567278.284
Zerm.P WM	623699.582	96017.695	1686.855	4397146.010	598082.746	4567273.939
Gott.S TI	686416.240	156226.700	2111.541	4345784.220	654646.034	4608801.744
Bärenburg	752258.270	162057.010	1093.502	4331534.201	719171.199	4611171.420
Ande.GPS TI	752232.725	162014.719	1090.149	4331566.127	719149.523	4611140.373
Andeer.Ex	752234.170	162023.144	1090.726	4331560.235	719150.226	4611146.555
Hochalp TI	736984.120	237658.690	1522.179	4279241.592	696949.907	4663354.708

Im Anhang A1 sind die Beschreibungen der GRANIT-Stationen dargestellt.

3. Landesnivellements

E. Gubler, D. Schneider, B. Mattli (L+T)

3.1 NFP20: LN und GPS-Profil 1987: Visp - Zermatt

3.1.1 Geologische Beurteilung der Fixpunkte vom 6. - 8. 8. 1986

Teilnehmer: P. Heitzmann (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern)
A. Geiger (IGP, ETH-Zürich)
B. Mattli, Ch. Müller, D. Schneider (L+T)

KLASSIERUNG DER FIXPUNKTE (FP):

Objekt / Qualität	Fels		Bauwerk	
	F		B	
1	F1	Fels anstehend FP direkt in gesundem, anstehenden Fels versetzt	B1	Fundation F1 FP in stabilem Bauwerk das direkt im anstehenden Fels fundiert ist und dessen Bewegungen mitmacht
2	F2	Fels oder Felsblock nicht anstehend FP direkt in Fels oder Felsblock, Stabilität unsicher, oder Felsblock im Lockergestein, anstehender Fels leicht angewittert oder leicht zerklüftet	B2	Fundation F2 FP im stabilen Bauwerk im nicht anstehenden Fels oder im Lockergestein fundiert. Bewegungen in Folge Setzung der Lockersteinsfüllung möglich. Keine Setzungsanzeichen am Bauwerk (Risse)
3	F3	Fels instabil FP in nicht anstehendem Fels oder Felsblock. Schlecht im Lockergestein gelagert, rutschgefährdet stark verwittert oder stark zerklüfteter Fels	B3	Fundation schlecht (F3) FP in schlecht fundiertem oder in sich instabilem Bauwerk, Setzungsanzeichen wie Risse, Schräglage etc.

FP-Eignung für kinematische Untersuchung

(1): FP gut geeignet:
Relative Vertikalbewegungen dieser FP sind mit grosser Wahrscheinlichkeit auf Relativbewegungen des anstehenden Felsens zurückzuführen.

(2): FP eher gut geeignet:
Für das LN geeigneter FP, welcher auf vermutlich wenig setzungsempfindlichen Lockergesteinen liegt. Relative Höhenänderungen können nicht zweifelsfrei als relative Krustenbewegungen interpretiert werden.

(3): FP eher schlecht geeignet:
Für das LN noch brauchbarer FP, dessen Vertikalbewegungen aber mit grosser Wahrscheinlichkeit auf lokale Setzungen im Lockergestein eventuell auch Hangrutschungen zurückzuführen sind.

(4): FP unbrauchbar:
FP der sich im Rahmen der LN-Nachführung als instabil erwiesen hat und für Untersuchungen von rel. Krustenbewegungen unbrauchbar ist.

Äussere Einflüsse auf FP:

(E): Erschütterungen:
Durch Schwerverkehr, industrielle Anlage, Naturereignisse (z.B. Lawinen)

(G): Grundwasserspiegelschwankungen:
FP in Lockergestein fundiert und durch Auftriebskräfte bei Grundwasserspiegelschwankungen beeinflusst.

(R): Hangrutschung FP in vermuteter Rutschzone

(S): Lokale Senkungszone FP in vermutetem Senkungsgebiet (z.B. Soleausbeutung)

(U): Unterspülung durch Gewässer:
FP kann möglicherweise Senkungen durch Unterspülung des Untergrundes erleiden.

(V): Verschiedene andere Einflüsse:
Erosion, Witterungseinflüsse (z.B. Frost), Menschliche Einwirkung (z.B. Bauarbeiten oder mutwillige Beschädigung) etc.

3.1.2 Vorbereitung der Linie Lalden - Visp - Zermatt 1987

- Feld

Die nötigen Versicherungsarbeiten auf der neu zu messenden Linie wurden durch B. Mattli (L+T) und den Gehilfen Ch. Müller (temporär) im August und September 1986 ausgeführt. Die Feldvorbereitung wurde in zwei Arbeitsschritte unterteilt, nämlich in eine Rekognoszierungskampagne und in eine Versicherungskampagne.

- Rekognoszierung

-Begehung sämtlicher alten Nivellementsfixpunkte (FP) entlang der Linie, wobei 2 FP unbrauchbar oder zerstört waren (Herbriggen, Randa).

-Ergänzung der bestehenden FP-Gruppen mit zusätzlichen FP, wo möglich im anstehenden Fels (Visp, Neubrück, Stalden, Täsch, Zermatt "Dorf").

-Auswahl von Standorten für neue FP-Gruppen (Fels), da die alte Messanlage zum Teil sehr grosse Distanzen (bis zu 6 km) zwischen den Gruppen aufwies (Stalden-St.Niklaus, Herbriggen-Randa).

-Begehung der geplanten Messanlage mit Dr. P. Heitzmann (Adjunkt Geologie NFP 20) mit geologischer Beurteilung und Klassierung sämtlicher FP. Zugleich wurde auf Vorschlag des Geologen die Linie bis nach Lalden erweitert und mit zusätzlichen FP ergänzt (Lalden, Ackersand, St.Niklaus).

-Rekognoszierung von 12 Stationspunkten für GPS-Messungen durch D. Schneider (L+T) und A. Geiger (ETHZ), wo möglich, innerhalb oder in unmittelbarer Nähe der bestehenden FP-Gruppen. Dort, wo dies nicht möglich war, wurde die GPS-Station mit 1-3 zusätzlichen FP zu einer Gruppe erweitert (Staldbach, Mattsand, Täsch-Zermatt, Zermatt "Bielen").

- Versicherungsarbeiten

- Von den 13 alten FP-Gruppen wurden deren 10 mit Neupunkten ergänzt. Zusätzlich wurden 10 neu FP-Gruppen versichert.

- Insgesamt sind 4 zerstörte oder unbrauchbare FP ersetzt, sowie 41 Bolzen als Ergänzung zur bestehenden Messanlage gesetzt worden. Von diesen 41 Neupunkten wurden 12 mit Kappenbolzen als Nivellementsfixpunkte und zugleich GPS-Stationspunkte versichert

(Zentrierung für GPS- oder terr. Messung mit einem mittleren Zentrierfehler <0.5 mm möglich).

- Als provisorische Zwischenpunkte wurden 137 Nieten gesetzt.

Der Zeitaufwand für die Versicherungsarbeiten war um einiges grösser, als dies sonst für Linien des Landesnivellements üblich ist. Allein das Setzen der 12 Kappenbolzen beanspruchte 4 Arbeitstage. Die Lage der einzelnen Fixpunktgruppen sind in Abb. 2 skizziert.

- Büro

Das Höhenverzeichnis HV 171 wurde erstmals mit dem Programm NIVED in Form einer Punktdatei erstellt (Siehe Bulletin Nr. 16 des Rechenzentrums L+T). Mit wenigen Ausnahmen mussten sämtliche Krokis neu gezeichnet werden. Infolge der vielen Neupunkte mussten die Blätter (27, 38-43) des ENV Kanton Wallis deutscher Teil umnumeriert und neu zusammengestellt werden. Zwei Feld-Punktkarten Nr. 269 wurden gezeichnet und auf Leinwand aufgezogen. Als Arbeitsgrundlage für die Operateure im Feld wurde eine Dokumentation bestehend aus HV, Punktkarte, Krokis und Anleitung Datenerfassung zusammengestellt.

3.1.3 Messung

- Vorbereitungen

Die eingesetzten NEDO-Lattenpaare wurden beim Eidg. Amt für Messwesen (EAM) mit dem Interferometer geeicht. Die Resultate der Eichung sind im Ordner "Mirenvergleichung 84-87" zusammengestellt und im Geodäsiearchiv der L+T abgelegt. In der Woche vor der Messung wurden die Instrumente und die Niveaus der Latten geprüft, sowie die Nullpunktfehler der Latten bestimmt.

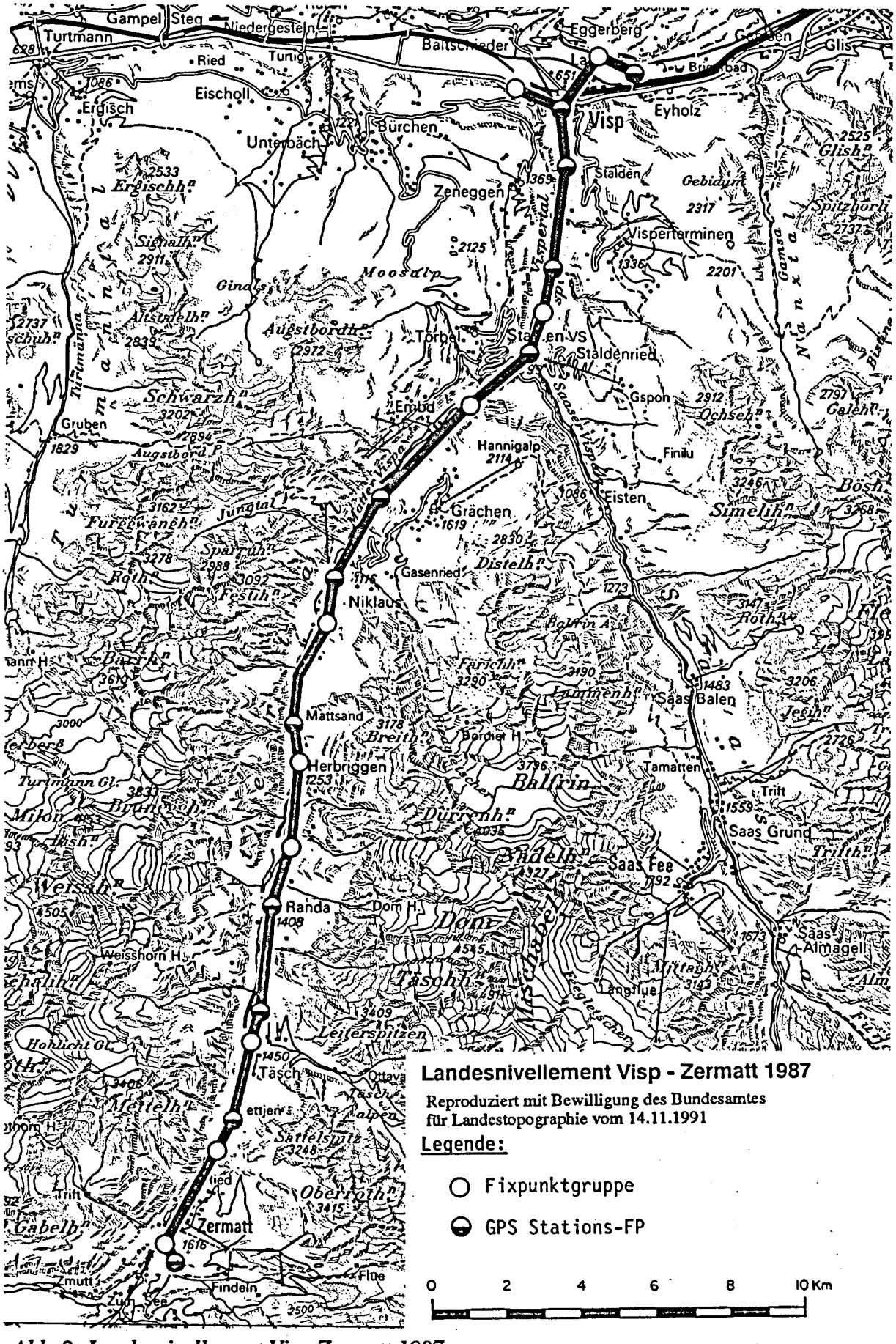


Abb. 2: Landesnivellement Visp-Zermatt 1987

- Organisation LN 87.2

Die Messungen wurden mit dem im Landesnivellement zur Zeit üblichen Instrumentarium durchgeführt:

-Automatisches Nivellier Wild NA2 mit Planplattenmikrometer und magnetischer Abschirmung

-NEDO Invar-Nivellierlatten
-Bodenplatte Willimann
-Epson HX-20 für Datenerfassung

Folgende Operateure und Instrumente wurden eingesetzt:

Gruppe	Operateur	NA2 Nr.	Latten Nr.	Epson Nr.
1	D.Schneider	39	61/62	1
2	B.Mattli	40	63/64	2

Zur Verkehrsregelung war ein Detachement von 6 Str Pol Sdt aufgeboten.

- Feldkampagne

Die Messungen wurden in der Zeit vom 13.-31.7.87 durchgeführt. Es wurde eine Strecke von 42 km Länge (ohne Abzweigungen) und 1040 m Höhendifferenz nivelliert.

Auf dem Gelände der Lonzawerke in Visp wurden die Messungen durch sehr starke Vibrationen beeinträchtigt, die teilweise sogar bis nach Lalden spürbar waren. Die beiden grossen Strassenbrücken unter- resp. oberhalb Stalden mussten wenigstens während den Ablesungen gänzlich für den Verkehr gesperrt werden. Als sehr mühsam erwies sich die Messung auf den Felsenhügel von "Bielen" in Zermatt, da diese Punktgruppe, ohne einen grossen Umweg zu machen, nur über einen steilen und schmalen Fussweg erreichbar ist (kurze Visuren, schlechte Umstellpunkte).

Die Nachmessungen blieben im Rahmen des Üblichen, auffallend ist einzig die Tatsache, dass in der dritten Messwoche keine Teilstrecke ein zweites mal gemessen werden musste. Offenbar sind "gute" Messresultate nicht nur von den atmosphärischen Bedingungen abhängig, sondern auch von der Schnelligkeit und Zuverlässigkeit (Bodenplatte) der eingesetzten Gehilfen.

Am Ende einer Messwoche wurden die im HX-20 gespeicherten Daten bei der L+T auf die Prime Rechenanlage überspielt. Die Messungen wurden provisorisch ausgewertet

(Linienberechnung und Messprotokolle). Anhand der Outputs konnten somit im Felde alle Messungen auf ihre Vollständigkeit (Punktcode, Lattencode, Lattennummer und Temperaturen) und Richtigkeit (Grobe Fehler, Toleranzüberschreitungen) kontrolliert werden.

3.1.4 Auswertung

Gleich anschliessend an die Feldkampagne wurden die verwendeten Lattenpaare beim EAM noch einmal geeicht.

Die Datenfiles der beiden Messgruppen wurden mit geringem Zeitaufwand, gemäss den Korrekturangaben der Operateure, bereinigt. Damit sichergestellt werden konnte, dass die Messungen keine groben Fehler enthalten, wurde eine provisorische Berechnung der Linie durchgeführt, und ein Vergleich mit den alten Höhen der FP angestellt.

- Definitive Berechnung

Beobachtete Höhen (freie Linienberechnung)

Bei der Auswertung der Messungen wurde das Programm LNAUS (Version 88) für die Erstellung der Messprotokolle und die Berechnung der beobachteten Höhen eingesetzt. Mit diesem Programm werden die Lattenkorrektionen (Massstab, Ausdehnungskoeffizient, Lattenfuss) automatisch berechnet und korrigiert. Zudem wird ein mittlerer Einsinkeffekt der Latten-Umstellpunkte (Asphalt oder Beton) berechnet, der auf der ganzen Linie berücksichtigt wird . Die Version 88 des Programm LNAUS berechnet neu auch die beobachteten Höhen der Punkte in den Abzweigungen und erzeugt ein Resultatfile (P File), in das die berechneten Höhen geschrieben werden.

Referenzpunkt der freien Linienberechnung ist der Punkt T4H G an der Hauptstrasse zwischen Visp und Raron (1 km westlich von Visp).

Ausgleichung (gezwängte Linienberechnung)

Da es sich bei der Messung 1987 um ein einseitig angehängtes Nivellement handelt (Ref.punkt nur am Linienanfang) kann wie bei der Erstmessung 1930 keine gezwängte Linienberechnung (ausgeglichene Höhen) durchgeführt werden. Die beobachteten Höhen entsprechen deshalb direkt den publizierten Höhen.

- **Nachführung und Aktenausfertigung**

Mit dem Programm NIVLA (Bull. 16) sind die berechneten Höhen aus dem Resultatfile (P File) in die HV-Datei 171 übertragen worden. Mit dem gleichen Programm wurden aus dem HV-File die neuen Höhen und die Lagebeschreibung der FP in die LNV-Datei des Kantons Wallis deutscher Teil (VS D) übertragen.

Die Blätter des ENV sind mit den Programmen NIVENVC und NIVENV erstellt und auf Transparent ausgedruckt worden.

Die Messprotokolle sind im Nivellementbuch 848 abgelegt und archiviert.

Die alten FP sind durch E. Gubler (L+T) mit den Messungen von 1930 und 1987 auf signifikante Relativbewegungen untersucht worden.

STATISTIK (LINIE UND ZWEIGE):

SUMME A+B(ROH):	ANZ: 162		1.34203 CM
SUMME A+B(KORR.):	ANZ: 162		-0.15466 CM
SUMME A+B(KORR.,ABSCHN. MIT ASPH.-UP):		ANZ: 129	0.08686 CM
SUMME A+B(KORR.,ABSCHN. OHNE ASPH.-UP):		ANZ: 33	-0.24152 CM
ANZ. UP BZW. ASPHALT-UP:			1507., 985.
MITTL. MIREN-EINSINKRATEN A PRIORI (/UP BZW./ASPH.UP):			-6.0 -12.0 MIKRON
MITTL. REST-MIREN-EINSINKRATE A POST. (/UP.):			1.0 MIKRON
ANZAHL BEOB. DH:	457		
ANZAHL UNBEK. DH:	225		
FREIHEITSGRAD:	232		
SUMME PVV:	547.0271		
M.F.(A POST.):	1.5355		

FEHLERRECHNUNG (NUR LINIE):

ANZAHL ABSCHNITTE:		N =	162
SUMME DH (HIN):	(CM)	A =	103579.3213
SUMME DH (RUECK):	(CM)	B =	-103579.4760
SUMME DH (MITTEL):	(CM)	DH =	103579.3986
SUMME DIFF.:	(CM)	A+B =	-0.1547
SUMME DIST.:	(KM)	D =	41.693
SUMME ((A+B)**2/D):		Q =	0.5419
MITTLERER KM-FEHLER:	(MM)	M =	0.29

3.1.5 Resultate

Fixpunkt	TYP	BEZ		1)	2)	3)	Geologie/Bemerkungen	H
Lalden	155a	T4H	A	F1	1	-	Kalk, zerklüftet, gut. hinter Turnhalle	651.788
Lalden	156a	T4H	D	F1	1	-	dito	651.673
Lalden	366	T5V	G1	B2	3	-	Fundament Kanaleinlauf	650.200
Lalden	157	H3H	189	B1	1	-	Fundamentblock, Kapelle	656.478
Lalden	367	T4H	E	F1	1	-	Gneis, gut. Finnubach an der Strasse Lalden-Baltschieder	649.045
Lalden	368	T4H	Z	F1	1	-	dito	648.464
Visp-Raron	163	T4V	F	F1	1	-	Bündnerschiefer, gut	652.117
Visp-Raron	164	T4H	G	F1	1	-	dito	651.443
Visp-Raron	165	T4V	H	F1	1	-	dito	651.517
Visp	158	H3H	736	B1	1	-	Bündnerschiefer, zerklüftet, Bürgerkirche auf Felshügel fundiert	664.089
Visp	159	H3H	1209	B1	1	-	Bündnerschiefer, stark zerklüftet, Gebäude auf Felshügel St.Martini	663.918
Visp	160a	T4H	C	B1	1	-	dito	664.145
Visp	161	T4H	B	F1	1	-	Bündnerschiefer, gut	652.309
Visp	162	D2H	WG	F1	1	-	dito	655.033
Visp	Alt	H3H	737	F1	1	-	Bündnerschiefer, etwas weniger gut	652.648
Visp	369	T5V	G2	B2	3	G	Mauer, Einstellhalle	652.408
Visp	370	T4H	L	F1	1	-	Bündnerschiefer, gut, am Fuss Felshügel Bürgerkirche	653.177
Visp	371	T4H	M	F1	1	-	Bündnerschiefer, stark zerklüftet, am Fuss Felshügel St.Martini	652.551
Staldbach	372	T5V	G3	B3	4	E,V	Kleine Mauer, Einfahrt Bauhof	662.127
Staldbach	373	T4H	Y	F1	1	-	Quarzit+Dolomitband in Bündnerschiefer, gut	663.888
Staldbach	374	T4H	X	F1	1	-	dito	663.355
Staldbach	214	H2H	766	F1	1	-	Prasinit-Einlagerung in Bündnerschiefer, gut	662.794
Neubrück	215	H3H	678	B1	1	E,U	Bündnerschiefer Quader, Tunnelportal	-
Neubrück	216	H3H	855	B1	1	E,U	dito	688.524
Neubrück	217	H3H	856	B1	1	E,U	dito Mauerwerk, Kapelle	695.368
Neubrück	375	T5V	G4	B2	2	E,U	alte Brücke, Widerlager auf anstehendem Fels	695.585
Neubrück	376	T4H	W	F1	1	-	Bündnerschiefer etwas zerklüftet, gut	697.475
Ackersand	377	T4H	U	F1	1	-	Bündnerschiefer, gut	708.407
Ackersand	378	T4H	V	F1	1	-	dito , besser	707.835
Stalden	218a	T4H	D	B2	2	-	vorgelagerte Kuppe, unsicher ob wirklich anstehend, ev. Sackung	793.702
Stalden	219	T4V	B	B2	2	-	dito	790.345
Stalden	220a	T4V	C	F2	2	-	dito	795.087
Stalden	375	T5V	G4	F2	2	-	grosser nicht anstehnder, aber gut eingebetteter Block	822.611
Stalden	380	T4H	T	F1	1	-	Chlorit-Gneis, sehr gut	798.159
Kalpetran (Leenine)	381	T4H	S	F1	1	-	Gneis, sehr gut	944.957
Kalpetran (Leenine)	382	T4H	R	F1	1	-	dito	946.912
Kalpetran (Leenine)	383	T4H	Q	F1	1	-	Gneis, gut, Klüfte	947.181
Kalpetran (Leenine)	...	HP.	GPS	-	-	-	nur exzentr. versichert	-
Selli	221	T4V	922	F3	3	R,V	Felsblock, gut eingebettet	1072.815
Selli	222	T4V	A	F3	3	R,V	Felsblock	1077.006
Selli	223	T4V	F	F3	3	R,V	dito	1078.310
Selli	384	T5V	G6	F3	3	R,V	dito, mit TP-Bolzen	1075.703
St.Niklaus	224	T4H	A	B2	3	-	Lockergestein, ungünstig	1114.327
St.Niklaus	225a	T4H	E	B2	3	-	dito	1115.819
St.Niklaus	226	H1V	277	F2	2	-	Felsblock nicht anstehend aber wahrscheinlich ziemlich stabil	1096.374
St.Niklaus	385	T5V	G7	F2	2	U,V	grosser Block am Wasser wahrscheinlich stabil	1093.536
Stock (St.Niklaus)	386	T4H	P	F2	2	-	sehr grosser Quarzitblock nicht anstehend, wahrscheinlich stabil	1133.510
Stock (St.Niklaus)	387	T4H	O	F2	2	-	dito	1134.047
Mattsand (Holzji)	227	T4V	E	F3	4	V	Felsblock zwischen Bäumen sehr zweifelhaft, Wurzeldruck	1228.403
Mattsand (Holzji)	228	T4V	F	F3	4	V	dito	1228.868
Mattsand	388	T4V	N	B2	3	G,E	Kanal-Schachtmauer Stabilität unsicher	1232.992
Mattsand	389	T5V	G8	B2	3	G,E	Wehr-Pfeiler Stabilität unsicher	1232.971
Herbriggen	229	T4H	923	B3	4	-	Kirchturm. Senkungen seit 1930	1262.971
Herbriggen	230a	T4H	K	B2	3	-	Gebäude, Stabilität unsicher	1261.952
Herbriggen	231	T4H	B	F2	2	-	grosser Felsblock, nicht anstehend, wahrscheinlich recht stabil	1256.981
Lärch	390	T4V	J	F1	1	-	Gneis, gut	1372.258
Lärch	391	T4H	H	F1	1	-	dito	1375.107
Randa	232	T4V	C	B2	2	-	Fundamentmauer, Gebäude	1408.542
Randa	233	T4V	A	F2	2	-	grosser Felsblock, nicht anstehend aber wahrscheinlich relativ stabil	1410.092
Randa	392	T5V	G9	B2	3	-	ARA, Klärbecken, Senkung wahrscheinlich	1404.036
Randa	393	T4H	Z	B2	3	-	ARA, Betriebsgebäude, Senkung wahrscheinlich	1403.664
Randa	234a	T4H	Y	B2	3	E	nördl. Widerlager, neue Strassenbrücke, Setzungen sehr wahrscheinlich	1408.967
Täsch	394	T5V	G10	F3	3	-	Felsblock, kaum stabil	1438.729
Täsch	235	T4H	E	B2	3	-	Mauerquader, Kirchturm Senkung wahrscheinlich	1450.975
Täsch	236	T4H	F	B2	3	-	Mauerquader, Schulhaus Senkung wahrscheinlich	1455.901
Täsch	237	T4H	A	B2	3	-	Sockel, Ferienheim Senkung wahrscheinlich	1439.919
Täsch	395	T4H	X	F1	1	-	Gneis, gut	1446.258
Täsch	396	T4H	W	F1	1	-	dito	1449.523
Schlangengruebe	397	T4H	V	F1	1	-	feingefälteter Gneis, sehr gut	1520.570
Schlangengruebe	398	T4V	U	F1	1	-	dito	1522.034
Schlangengruebe	399	T5V	G11	F1	1	-	dito	1527.862
Täsch-Zermatt (Meiggern)	238	T4V	C	F3	3	-	verkeilte Felsblöcke von Bergsturz	1527.587
Täsch-Zermatt (Meiggern)	239	T4V	D	F3	3	-	dito	1525.678
Zermatt	240	H3H	1431	B2	3	-	Sockel, Stationsgebäude ev. Senkung	1605.402
Zermatt	241	H3H	1432	B1	1	-	Amphibolit, Englische Kirche, Sockel, auf Fels fundiert	1621.899
Zermatt	242	T4H	926	B3	4	-	Kath. Kirche, Sockel. Senkungen seit 1930	1616.473
Zermatt	243	T4H	A	B3	4	-	dito, Turmsockel	1616.484
Zermatt	244	T4H	C	B3	4	-	Gemeindehaus, dito	1616.582
Zermatt	400	T4H	R	F1	1	-	Amphibolit, unterhalb der Englischen Kirche	1613.446
Zermatt	401	T4V	Q	F1	1	-	dito, südlich der Englischen Kirche	1618.890
Zermatt	402	T4H	M	F1	1	-	Amphibolit-Felshügel, Wand am Stationenweg	1673.164
Zermatt	403	T4V	O	F1	1	-	gleicher Hügel, Platte anstehend, südlich Weg	1682.368
Zermatt	404	T4V	P	F1	1	-	gleicher Hügel, Platte südl., unterhalb	1684.100
Zermatt	405	T5V	G12	F1	1	-	gleicher Hügel, Platte anstehed	1687.582

3.2 Technischer Bericht LN Bellinzona - Brissago 1987

3.2.1 Einleitung

Ausser dem Teilstück Bellinzona-Brissago sind im Kanton Tessin in den Jahren 1970-79 alle Hauptlinien des Landesnivellements ein zweites Mal gemessen worden.

Das bestehende Nivellement Bellinzona-Brissago aus dem Jahre 1919 überquert zwischen Solduno und Ascona die Insubrische Linie (Geologische Störung). Deshalb bestand im Rahmen des NFP 20 das Interesse, dieses Nivellement nachzumessen, um aus dem Vergleich von alten und neuen Messungen auf relative Vertikalbewegungen schliessen zu können.

Aus diesen beiden oben genannten Gründen wurde die Linie Bellinzona Brissago kurzfristig in das Messprogramm 1987 aufgenommen.

3.2.2 Vorbereitung der Linie

- Feld

Die nötigen Versicherungsarbeiten auf der neu zu messenden Linie wurden durch B. Mattli (L+T) und die Gehilfen E. Beyeler (L+T) und Ch. Müller (temporär) im Frühling 1987 ausgeführt. Die Feldvorbereitungen waren in zwei Perioden unterteilt. Im März fand eine Rekognoszierung der Linie statt und im Mai wurden die neuen Bolzen (Nivellementsfixpunkte) und die Nieten (Zwischenpunkte) gesetzt. Vor Beginn der Arbeiten fand beim Kant. Vermessungsamt (KVA) eine Besprechung über die geplanten Messungen statt. Dabei wurde vereinbart, alle Kant. Nivellementsfixpunkte, die an der Linie oder in derer unmittelbarer Nähe sind, in die Messungen der L+T einzubeziehen. Zudem wurde vom KVA der Wunsch geäussert, die zahlreichen Flügelstiftpunkte der Landeshydrologie (LH) zwischen Bellinzona und Brissago, die zum grossen Teil unmessbar sind (2.5-4.5m über Boden), im ENV zu streichen oder durch neue Bolzen zu ersetzen.

- **Rekognoszierung**

- Begehung sämtlicher alten Nivellementsfixpunkte (FP) entlang der Linie, wobei 23 FP zerstört oder unbrauchbar waren. Von diesen 23 FP waren 13 Flügelstiftpunkte der LH. Für 10 dieser unmessbaren Punkte wurde ein neuer Standort rekognosziert, wo möglich, immer am bisherigen Versicherungsobjekt.

- Ergänzung der bestehenden FP-Gruppen mit zusätzlichen FP im anstehenden Fels (Carasso, Sementina-Gudo, Gordola-Minusio). Ergänzung von einzelnen FP mit zusätzlichen Punkten zu einer FP Gruppe (Solduno-Ascona, Solduno-Ponte Brolla).

- Auswahl von Standorten für neue FP-Gruppen im Fels in Cugnasco und zwischen Cugnasco-Gordola zur Verdichtung der Punktabstände.

- Begehung der geplanten Messanlage mit dem Geologen Dr. P. Heitzmann mit geologischer Beurteilung und Klassierung sämtlicher FP (Siehe Tabellen). Zugleich wurde auf Wunsch des Geologen die Linie mit einer Abzweigung von ca. 1.5 km Länge in Richtung Maggiatal ergänzt. Mit dieser Erweiterung sind unmittelbar nördlich des Verlaufes der Insubrischen Linie für Folgemessungen gute Felspunkte vorhanden, südliche der Insubrischen Linie sind in Ascona bereits alte FP im Fels vorhanden.

- **Versicherungsarbeiten**

- Insgesamt sind 32 neue Bolzen gesetzt worden. 22 Bolzen als Ersatz von zerstörten oder unbrauchbaren FP, 10 Bolzen als Ergänzung der bestehenden Messanlage. Zwischen Solduno und Ponte Brolla wurde ein bestehender Kant. FP (D1H 90d) ins ENV aufgenommen, und in Brissago wurde ein zerstörter FP mit einer Niete der LH ersetzt.

- Als provisorische Zwischenpunkte wurden 83 Nieten gesetzt.

- **Büro**

Das Höhenverzeichnis HV 172 wurde mit dem Programm NIVED in Form einer Punktdatei erstellt (Siehe Bulletin Nr. 16 des Rechenzentrums L+T). Diverse Krokis mussten neu gezeichnet oder ergänzt werden. Infolge der vielen Neupunkte wurden die Blätter (32-34,40) des ENV Kanton Tessin umnumeriert und neu zusammengestellt. Zwei Feld-Punktkarten Nr. 270 wurden gezeichnet und auf Leinwand aufgezogen. Als Arbeitsgrundlage für die Operateure im Feld wurde eine Dokumentation bestehend aus HV, Punktkarte, Krokis und Anleitung Datenerfassung zusammengestellt.

Die Lage der Fixpunktgruppen sind in Abb. 3 dargestellt

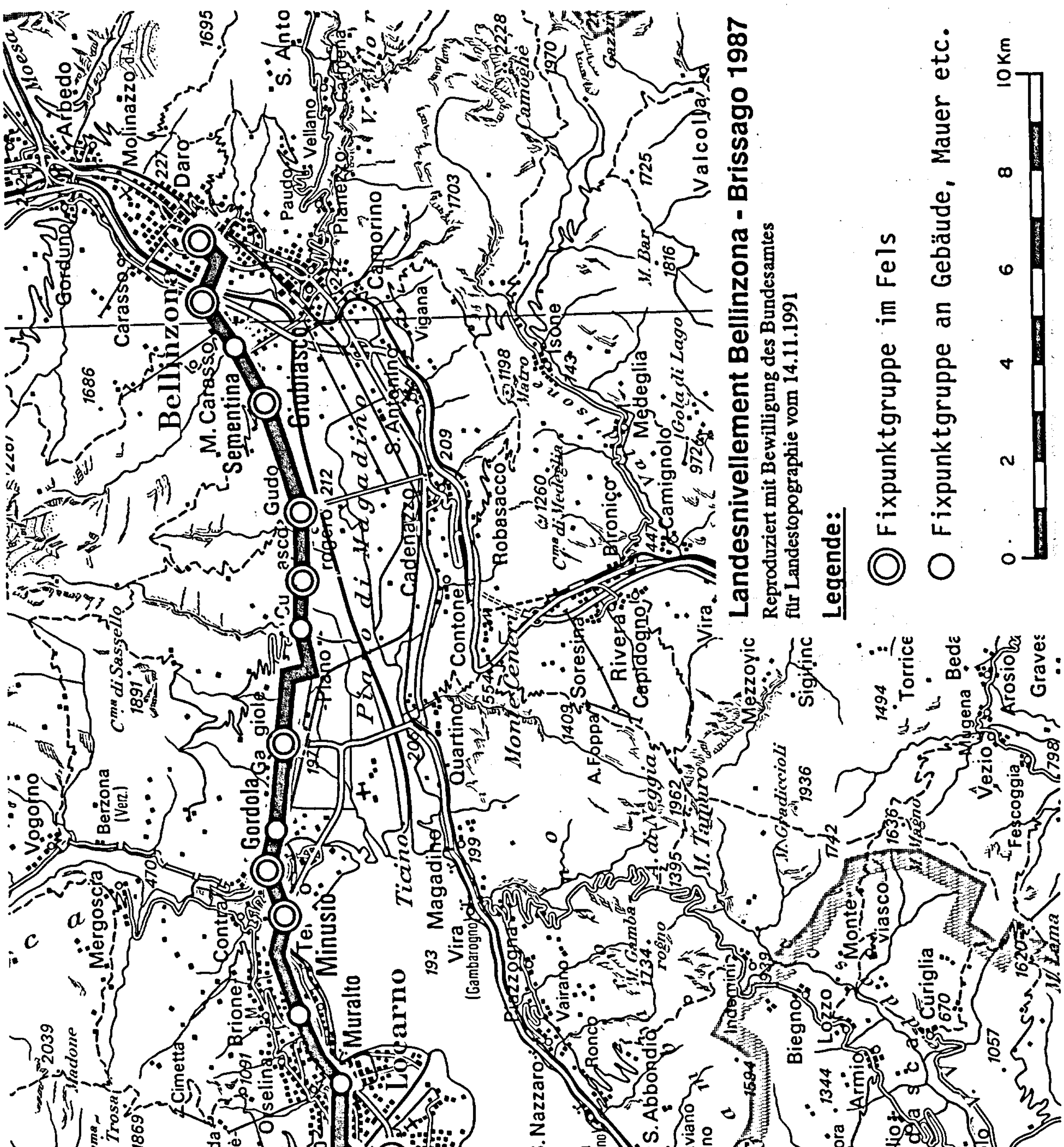


Abb. 3: Landesnivellement Bellinzona - Brissago 1987

3.2.3 Messung

- Vorbereitungen

Die eingesetzten NEDO-Lattenpaare wurden beim Eidg. Amt für Messwesen (EAM) mit dem Interferometer geeicht. Die Resultate der Eichung sind im Ordner "Mirenvergleichung 84-87" zusammengestellt und abgelegt. In der Woche vor der Messung wurden die Instrumente und die Niveaus der Latten geprüft, sowie die Lattenfüsse bestimmt.

- Organisation LN 87.3

Die Messungen wurden mit dem im Landesnivellement zur Zeit üblichen Instrumentarium durchgeführt:

-Automatisches Nivellier Wild NA2 mit Planplattenmikrometer und magnetischer Abschirmung

-NEDO Invar-Nivellierlatten
-Bodenplatte Willimann
-Epson HX-20 für Datenerfassung

Folgende Operateure und Instrumente wurden eingesetzt:

Gruppe	Operateur	NA2 Nr.	Latten Nr.	Epson Nr.
1	B.Mattli	41	61/62	1/3
2	A.Perret	42	63/64	2/4

Zur Verkehrsregelung war ein Detachement von 6 Str Pol Sdt aufgeboten.

- Feldkampagne

Die Messungen wurden in der Zeit vom 21.9.-9.10.87 durchgeführt. Es wurde eine Strecke von 33 km Länge (ohne Abzweigungen) nivelliert.

In der ersten Woche wurden die Messungen durch die hochsommerlichen Temperaturen etwas erschwert (starkes Flimmern). In der zweiten und dritten Woche herrschten meistens ideale Messbedingungen.

Sehr viele Teilstrecken mussten in den ersten 10 Arbeitstagen nachgemessen werden. Auffallend war dabei, dass die Nachmessungen praktisch immer mit den Resultaten der ersten Messung von Gruppe 2 übereinstimmten. Die Toleranzüberschreitungen aus Hin- und Rückmessungen waren nicht wie sonst üblich auf den Einsinkeffekt der Latten zurückzuführen. Da die Messung mit dem Epson HX-20 erfasst werden, sind auch Messfehler praktisch ausgeschlossen. Vermutlich haben die beiden unerfahrenen Messgehilfen von Gruppe 1 ihre Latten nicht immer sauber gestellt. Die alten Flügelstiftpunkte der LH wurden, sofern irgendwie möglich, noch einmal in die Messungen einbezogen um auch bei diesen FP einen Vergleich zwischen 1919 und 1987 zu erhalten.

Am Ende der zweiten Messwoche wurden die in 4 Epson HX-20 gespeicherten Daten bei der L+T auf die Prime Rechenanlage überspielt. Die Messungen wurden provisorisch ausgewertet (Linienberechnung und Messprotokolle). Anhand der Outputs konnten somit im Felde alle Messungen der ersten zwei Wochen auf ihre Vollständigkeit (Punktcode, Lattencode, Lattennummer und Temperaturen) und Richtigkeit (Grobe Fehler, Toleranzüberschreitungen) kontrolliert werden.

3.2.4 Auswertung

Gleich anschliessend an die Feldkampagne wurden die verwendeten Lattenpaare beim EAM noch einmal geeicht.

Die Datenfiles der beiden Messgruppen wurden mit geringem Zeitaufwand, gemäss den Korrekturangaben der Operateure, bereinigt. Damit sichergestellt werden konnte, dass die Messungen keine groben Fehler enthalten, wurde eine provisorische Berechnung der Linie durchgeführt und ein Vergleich mit den alten Höhen der FP angestellt.

- Definitive Berechnung

Beobachtete Höhen (freie Linienberechnung)

Bei der Auswertung der Messungen im Juli 1988 wurde das Programm LNAUS (Version 88) für die Erstellung der Messprotokolle und die Berechnung der beobachteten Höhen eingesetzt. Mit diesem Programm werden die Lattenkorrektionen (Massstab, Ausdehnungskoeffizient, Lattenfuss) automatisch berechnet und korrigiert. Zudem wird ein mittlerer Einsinkeffekt der Latten-Umstellpunkte (Asphalt oder Beton) berechnet, der auf der ganzen Linie berücksichtigt wird . Die Version 88 des Programm LNAUS berechnet neu auch die beobachteten Höhen der Punkte in den Abzweigungen und erzeugt ein Resultatfile (P File), in das die berechneten Höhen geschrieben werden.

Referenzpunkt der freien Linienberechnung ist der Punkt T4V B in Bellinzona.

- Ausgleichung (gezwängte Linienberechnung)

Für die gezwängte Linienberechnung des LN 1919 wurden je ein FP in Bellinzona, Locarno und Valmara Landesgrenze) festgehalten. Die Höhe des Referenzpunktes in Bellinzona stammte aus dem LN von 1918. Für die beiden anderen Referenzpunkte wurde die Höhe aus dem Catalogues des Hauteurs (CdH) und dem Versicherungsnivellement (VN) von 1902 abgeleitet. Nachträglich wurden 1924 die beobachteten Höhen zwischen Locarno und Valmara mit einem neuen Referenzpunkt in Brissago ausgeglichen, dessen Höhe aus der Seespiegelmessung von 1923 der LH abgeleitet wurde.

Für die Ausgleichung der Messungen von 1987 erschien das Vorgehen von 1919 bzw. 1924 nicht sehr sinnvoll, da vor allem die Höhen der beiden Referenzpunkte in Locarno und Brissago, deren Höhenbestimmung aus dem letzten Jahrhundert stammt, nicht als sicher betrachtet werden können. Das Nivellement von 1987 wurde aus diesem Grunde nur einseitig angehängt (Ref.punkt am Linienanfang) und die beobachteten Höhen entsprechen daher den publizierten (ausgeglichenen) Höhen. Die Höhenänderungen der FP dürfen deshalb auf Grund der beiden unterschiedlichen Berechnungsarten von 1919 und 1987 nicht in allen Fällen als Senkungen interpretiert werden.

- Nachführung und Aktenausfertigung

Mit dem Programm NIVLA (Bull. 16) sind die berechneten Höhen aus dem Resultatfile (P File) in die HV-Datei 172 übertragen worden. Mit dem gleichen Programm wurden aus dem HV-File die neuen Höhen und die Lagebeschreibung der FP in die LNV-Datei des Kantons Tessin übertragen.

Die Blätter des ENV sind mit den Programmen NIVENVC und NIVENV erstellt und auf Transparent ausgedruckt worden.

Die Messprotokolle sind im Nivellementbuch 849 abgelegt und archiviert.

Die alten FP sind durch E. Gubler (L+T) mit den Messungen von 1919 und 1987 auf signifikante Vertikalbewegungen untersucht worden.

STATISTIK (LINIE UND ZWEIGE):

SUMME A+B(ROH):	ANZ: 122	0.35820 CM
SUMME A+B(KORR.):	ANZ: 122	0.00706 CM
SUMME A+B(KORR.,ABSCHN. MIT ASPH.-UP):	ANZ: 42	-0.02326 CM
SUMME A+B(KORR.,ABSCHN. OHNE ASPH.-UP):	ANZ: 80	0.03032 CM
ANZ. UP BZW. ASPHALT-UP:	1056., 166.	
MITTL. MIREN-EINSINKRATEN A PRIORI (/UP BZW./ASPH.UP):		-3.0 -5.0 MIKRON
MITTL. REST-MIREN-EINSINKRATE A POST. (/UP.):		-0.1 MIKRON

ANZAHL BEOB. DH:	427
ANZAHL UNBEK. DH:	202
FREIHEITSGRAD:	225
SUMME PVV:	743.0381
M.F.(A POST.):	1.8172

FEHLERRECHNUNG (NUR LINIE):

ANZAHL ABSCHNITTE:		N =	122
SUMME DH (HIN):	(CM)	A =	-3616.5335
SUMME DH (RUECK):	(CM)	B =	3616.5405
SUMME DH (MITTEL):	(CM)	DH =	-3616.5370
SUMME DIFF.:	(CM)	A+B =	0.0071
SUMME DIST.:	(KM)	D =	33.175
SUMME ((A+B)**2/D):		Q =	0.3412
MITTLERER KM-FEHLER:(MM)		M =	0.26

3.2.5 Resultate

Fixpunkt	TYP	BEZ		1)	2)	3)	Geologie/Bemerkungen	H
Bellizona	175	T4V	A	Fl	1	-	Amphibolit Zone von Bellinzona 0.06 (00) 0.4m 0.02 (00) 1.0m	240.895
Bellizona	176	T4V	B	Fl	1	-	dito 0.06 (00) 0.3m	241.893
Bellizona	177	H3H	579	Fl	1	-	dito	230.793
Bellizona	178	T1V	93	B2	2	-	Wehrstein am Gebäude 0.5 (00) 0.2m	227.668
Bellizona	179	T4H	43	B2	2	-	Gebäudesockel	226.948
Bellizona	180	T4H	44	B3	3	-	Gebäudesockel, Treppe setzt sich mehr als das Gebäude. Gebäude weist Risse auf	228.446
Bellizona	181a	H3H	1569	-	-	-	Nicht beurteilt	-
Carasso-Monte Carasso	184a	T4H	L	Fl	1	-	Gneis, Zone von Mergoscia 184 zerstört 1970, ersetzt	230.799
Carasso-Monte Carasso	185	H2V	775	F2	3	E	dito	230.127
Carasso-Monte Carasso	186	H3H	799	B2	3	E	Steinquader in Türpfosten	231.667
Carasso-Monte Carasso	187	H2V	776	Fl	1	-	Gneis, leicht zerklüftet Zone von Mergoscia 0.1 (00) 0.2m	231.923
Monte Carasso	188a	T4H	M	B2	2	E	Brückenwiderlager 188 zerstört 1977, ersetzt	259.628
Monte Carasso	189a	T4H	O	B2	2	E	dito 189 zerstört 1975, ersetzt	259.611
Sementina-Gudo	191	T4V	D	Fl	1	-	Gneis, Zone von Orselina 0.03 (00) 1.0m mit Stuhl auf Trottoir 0.07 (00) mit Sprung direkt auf Fels	223.844
Sementina-Gudo	192	T4V	79	Fl	2	-	dito 0.06 (00) 1.0m mit Stuhl auf Treppe	224.747
Sementina-Gudo	193	H1H	24	F3	3	-	Blockschutt, unbrauchbar In Spez.Reg. LH übernommen	-
Sementina-Gudo	193a	T4H	E	Fl	1	-	Gneis, Zone von Orselina Ersetzt Ord. Nr. 193	227.108
Sementina-Gudo	465	T4V	F	Fl	1	-	dito	229.341
Sementina-Gudo	194	T4H	80	B3	3	-	Naturstein-Mauerwerk Ev. schlecht zementiert Einzelne lose Steine	228.843
Gudo	195	T4H	81	B2	2	-	Naturstein-Mauerwerk	226.833
Gudo	196	T4V	82	F2	2	-	In Felsblock als Mauerfundament	227.324
Gudo	197	T2V	10	B2	3	E,V	Torschwelle am Boden am Strassenrand Im ENV gestrichen	221.920
Gudo	197a	T4V	G	Fl	1	V	Gneis, anstehend in Fussweg 0.05 (00) 0.5m Stuhl Ersetzt Ord. Nr. 197	234.663
Gudo	466	T4V	H	Fl	1	-	Gneis, Zone von Orselina	235.011
Progero	198	T4H	83	B2	2	-	Naturstein, Trockenmauer 0.2m unter Boden	228.035
Progero	199	T4V	84	F3	4	R	Felsblock instabil Rutschung wahrscheinlich Overload (00)	216.736
Cugnasco	467	T4H	J	Fl	1	-	Gneis, Zone von Orselina	214.258
Cugnasco	468	T4H	K	Fl	1	-	dito	215.428
Cugnasco	200	T4H	A	B2	2	-	Torpfosten aus Gneis	222.650
Cugnasco	201	T5H	583	B2	2	-	Naturstein-Mauerwerk	221.789
Cugnasco	202a	T4H	Z	B2	2	E	Vorstehender Betonpfeiler für Trottoir der Brücke 202 zerstöt, ersetzt	225.157
Riazzino	469	T4H	N	Fl	1	-	Augengneis, Zone von Locarno	199.376
Riazzino	470	T4H	P	Fl	1	-	dito	197.417
Riazzino	471	T4H	Q	Fl	1	-	dito	197.377
Gordola	203	T5H	584	B2	2	-	Gebäudesockel, eventuell auf Moränenschutterrasse	241.917
Gordola	204a	T4H	C	B2	2	-	dito	242.272
Gordola	205	H3H	607	B2	3	E	Eckquader, Risse am Gebäude Unbrauchbar Im Auftrag LH zerstört	-
Gordola	206	T4V	B	Fl	1	-	Gneis, Zone von Locarno	227.313
Gordola	205a	T4H	R	Fl	1	-	dito Ersetzt Ord. Nr. 205	226.759
Gordola	207	H3H	1500	B2	3	E,S	Eisenbahnbrücke, Widerlager Senkungen wahrscheinlich. In Spez.Reg. LH übernommen	-
Gordola-Minusio	208	T4H	85	B2	3	E	Haus neben Eisenbahn Strassenneubau	203.143
Gordola-Minusio	209	T4V	87	Fl	1	E	Gneis, Zone von Locarno	204.618
Gordola-Minusio	472	T4H	Z	Fl	1	E	dito	204.683
Gordola-Minusio	210	T4V	D	Fl	1	E	dito	204.814
Minusio	211	T2V	1a	B2	3	E,V	Auf Treppenstufe Renovation?	240.166
Minusio	212	H3H	637	B2	3	E,V	Säule der Vorhalle Renovation?	243.379
Minusio	213	T4H	C	B3	3	E	Türpfosten aus Gneis	244.785
Muralto	214	H3H	547	B3	4	E	Torpfosten Parkeingang	237.459
Muralto	215	H3H	558	B3	4	-	Gurtgesims	220.781
Muralto	216	H4H	257	B2	3	E	Gemauerter Brückenpfeiler	219.000
Muralto	217	H3H	1493	B2	2	E	Renovation?, unbrauchbar Im Auftrag LH zerstört	-
Locarno	218	H3H	545	B2	3	-	Kirchenportal Pfosten Unbrauchbar	206.685
Locarno	218a	T4H	F	B2	2	-	Kirche, Sockel Ersetzt Ord. Nr. 218	202.937
Locarno	219	H2V	393	B2	2	-	Säulensockel	197.640
Locarno	220	T1V	92	B2	2	-	Säulensockel	197.523
Locarno	221	T4V	89	B2	2	-	Säulensockel	197.517
Locarno	222	T4H	A	B2	2	-	Arkadenpfeiler, Sockel	197.841
Locarno	223	T4H	B	B2	2	-	Arkadenpfeiler, Sockel	197.570
Locarno	224	H3H	1491	B2	3	-	Steinquader in Pfeiler	205.326
Locarno	225	T2V	67	B2	3	-	Eingangsschwelle	210.765
Locarno	226	H3H	395	B2	3	-	Kirchenportal, Pfosten	211.544
Locarno	227	H3H	1498	B2	2	-	In Gneis-Fassade	213.213
Locarno	228	H3H	552	B2	2	-	Kirchenportal, Pfosten Unbrauchbar	215.801
Locarno	228a	T4H	G	B2	2	-	Kirchenportal, Sockel Ersetzt Ord. Nr. 228	213.528
Locarno	229	H3H	1501	B2	3	E	Kirchturm, Steinquader Unbrauchbar	-
Locarno	229a	T4H	H	B2	2	-	Museum, Fassade Ersetzt Ord. Nr. 229	212.943
Solduno	230	T4H	A	-	-	-	Nicht beurteilt ca. 50-70cm unter Boden Im ENV gestrichen	-
Solduno-Ponte Brolla	263	H1H	2	Fl	1	-	Gneis, Zone von Orselina	217.739
Solduno-Ponte Brolla	475	D1V	90d	Fl	1	-	dito FP vom Kant.Niv. 1951	226.066
Solduno-Ponte Brolla	476	T4H	S	Fl	1	E	Gneis, Zone von Orselina	224.942
Solduno-Ascona	473	T4H	T	Fl	1	-	Mylonite, Insubrische Linie	212.307
Solduno-Ascona	474	T4H	U	Fl	1	-	dito	213.896
Solduno-Ascona	231	T4V	B	B2	2	-	Treppensockel	210.877

Fixpunkt	TYP	BEZ		1)	2)	3)	Geologie/Bemerkungen	H
Ascona	232	H3H	1490	B2	2	-	Eckquader, unbrauchbar	203.497
Ascona	232a	T4H	J	B2	2	-	Kirche, Sockel Ersetzt Ord. Nr. 232	200.343
Ascona	233	H3H	551	B2	2	-	Eckquader	201.324
Ascona	234	H3H	1496	B2	2	-	Arkadenpfeiler, unbrauchbar	199.234
Ascona	234a	T4H	K	B2	2	-	Quaderstein in Fassade Ersetzt Ord. Nr. 234	197.274
Ascona	235a	T4H?	V	Fl	1	-	Gneis, Ivreazone 235 zerstört, ersetzt	203.084
Ascona	236	T4V	93	Fl	1	E	Amphibolit, Ivreazone	202.356
Ascona	237	H3H	507	Fl	2	-	dito	201.284
Ascona	238a	T4H	W	Fl	1	E	Gneis, Ivreazone 238 zerstört, ersetzt	203.630
Ascona	239	T4V	F	Fl	1	E	dito	204.534
Ascona-Brissago	240	T2V	63	B3	4	E,V	Strassenmauer auf Deckplatte (verschoben?) Im ENV gestrichen	211.390
Ascona-Brissago	241a	T4H	L	Fl	1	-	Gneis, Ivreazone Ersetzt Ord. Nr. 241	211.183
Ascona-Brissago	241	T4V	96	Fl	1	E	Amphibolit, Ivreazone	210.343
Ascona-Brissago	242	T4V	K	Fl	1	-	Gneis, Ivreazone	213.261
Ascona-Brissago	243	T4V	98	Fl	1	-	Amphibolit	212.533
Ascona-Brissago	244a	T4H	X	Fl	1	-	dito 244 zerstört, ersetzt	212.208
Ascona-Brissago	245	T4V	101	F2	3	V	Amphibolit, zerklüftet eventuell weggedrückt	212.369
Ascona-Brissago	246	T4V	C	Fl	1	-	Gneis, Cenerizone	199.708
Ascona-Brissago	247a	T4H	Y	Fl	1	-	Pegmatit, Gang im Gneis Cenerizone 247 zerstört, ersetzt	199.917
Brissago	248	H2H	440	Fl	2	-	Gneis, Cenerizone	223.992
Brissago	249	H2V	326	Fl	2	-	dito	223.915
Brissago	250	T1V	117	B2	2	-	Portalschwelle	207.467
Brissago	251	H3H	407	B2	2	-	Eckpfeiler, Quaderstein	208.042
Brissago	252	H3H	751	B2	3	-	dito, unbrauchbar Im ENV gestrichen	-
Brissago	253	T4H	104	B2	2	-	Sockel, Quaderstein	206.158
Brissago	254	H3H	752	B2	3	-	Türpfosten Haus wird renoviert	214.234
Brissago	255	H1H	245	B2	2	-	Türpfosten Haus nähe Hafen	198.358
Brissago	256a	H5V	245(1?)	B2	3	-	Treppe der Hafenmauer Niete der Landeshydrologie 256 zerstört, ersetzt	197.358
Brissago-Confine italiano	257	H3H	1626	B2	3	-	Eckpfeiler, Quaderstein Unbrauchbar	-
Brissago-Confine italiano	258	H3H	1628	B2	3	-	dito Unbrauchbar	-
Brissago-Confine italiano	257a	T4H	B	Fl	1	-	Gneis, Cenerizone Ersetzt Ord. Nr. 257	212.667
Brissago-Confine italiano	258a	T4H	D	Fl	1	-	dito Ersetzt Ord. Nr. 258	212.964
Brissago-Confine italiano	259	T4H	H	Fl	1	-	dito	206.362
Brissago-Confine italiano	260	T4V	E	Fl	1	-	dito 0.06 (00) 1.0m	206.577
Brissago-Confine italiano	261a	T4H	Z	Fl	1	-	Amphibolit, Cenerizone 261 zertört 1983, ersetzt	206.418
Brissago-Confine italiano	262	H3H	1629	B2	2	E	Brückenwiderlager, Quader Unzugänglich	-
Brissago-Confine italiano	262a	T4H	A	Fl	1	-	Gneis, Cenerizone Ersetzt Ord. Nr. 262	206.610
Piano di Magadino	293	H4V	139	B2	3	E,G	Eisenbahnbrücke	
Piano di Magadino	294	H4V	140	B2	3	E,G	Eisenbahnbrücke, Widerlager	
Piano di Magadino	295	H3H	1625	B2	3	E,G	dito	
Piano di Magadino	296	H4V	141	B2	3	E,G	Brückenpfeiler	
Piano di Magadino	297	H1H	238	B2	3	E,G	dito	
Piano di Magadino	298	H4V	142	B2	3	E,G	Eisenbahnbrücke, Widerlager	
Piano di Magadino	299	H3H	1624	B2	3	E,G	dito	

3.3 Rezente Vertikalbewegungen aus wiederholten Nivellements auf den Linien Bellinzona-Brissago und Visp-Zermatt

3.3.1 Einleitung

Es darf sicher als bekannt vorausgesetzt werden, dass aus den Messungen des ersten und des zweiten Landesnivellements signifikante Relativbewegungen der Fixpunkte und der betreffenden Krustenteile nachgewiesen werden konnten (vgl. z.B. [Gubler et al. 1981], [Gubler et al. 1984] und [Geiger et al. 1986]). Im Rahmen des NFP 20 ging es darum, auf den Strecken Bellinzona - Brissago und Visp - Zermatt bestehende Nivellements nachzumessen und aus dem Vergleich von alten und neuen Messungen auf relative Vertikalbewegungen zu schliessen. In der gesamtschweizerischen Ausgleichung, die von der Annahme ausgeht, dass die Fixpunktgruppe in Aarburg keine Höhenänderung erfahren habe, zeigen die Fixpunkte im Alpenraum Hebungsraten von der Grössenordnung 0.5 bis 1.5 mm/Jahr (vgl. Abb. 4 sowie Abb. 5). Die Fragestellung im Rahmen des NFP 20 lautet: Wie ändern sich diese Hebungsraten zwischen Bellinzona und Brissago und zwischen Visp und Zermatt. Eine vorläufige Auswertung der Messungen hat zu den im folgenden dargestellten Resultaten geführt.

3.3.2 Linie Bellinzona - Brissago

Diese Linie wurde im Jahre 1919 im Rahmen des ersten Landesnivellements gemessen. Sie weist nur geringe Höhenunterschiede auf, weshalb systematische Fehler, wie einseitige Refraktion oder Massstabsfehler der alten Nivellierlatten kaum ins Gewicht fallen dürften. Die Messung von 1987 ist nach den heute geltenden Vorschriften für das Landesnivellement ausgeführt worden.

Von den schon 1919 bestimmten Fixpunkten konnte eine ganze Anzahl wieder aufgefunden werden. Auf Grund der Beurteilung durch den Geologen Dr. P. Heitzmann dürften aber nur deren 12 die Vertikalbewegung der Erdkruste unverfälscht wiedergeben.

Die Berechnungen erfolgten mit dem in [Gubler et al. 1984] beschriebenen Programmsystem für kinematische Ausgleichungen von Nivellementsnetzen. Um keine zusätzlichen Schwierigkeiten heraufzubeschwören, wurden für die Ausgangspunkte der Linie in Bellinzona die gleichen Hebungsraten eingesetzt, wie sie aus der gesamtschweizerischen Ausgleichung gefunden wurden. Die Differenz zweier Hebungsraten ergibt direkt die Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden betroffenen Punkten.

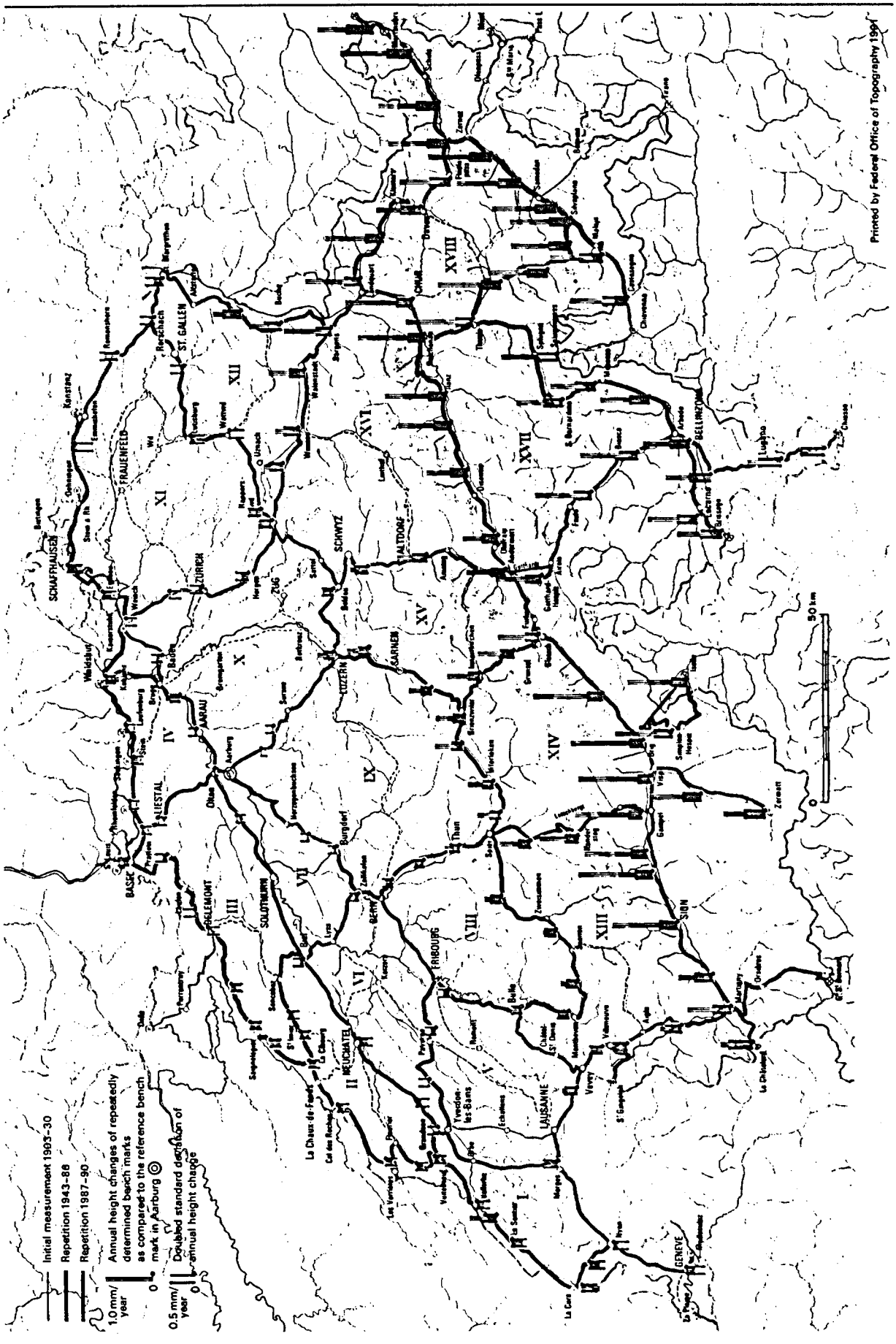


Abb. 4: Rezente Vertikalbewegungen und ihre Standardabweichungen für ausgewählte Stationen des Landesnivellements relativ zu einer Referenzmarke in Aarburg.

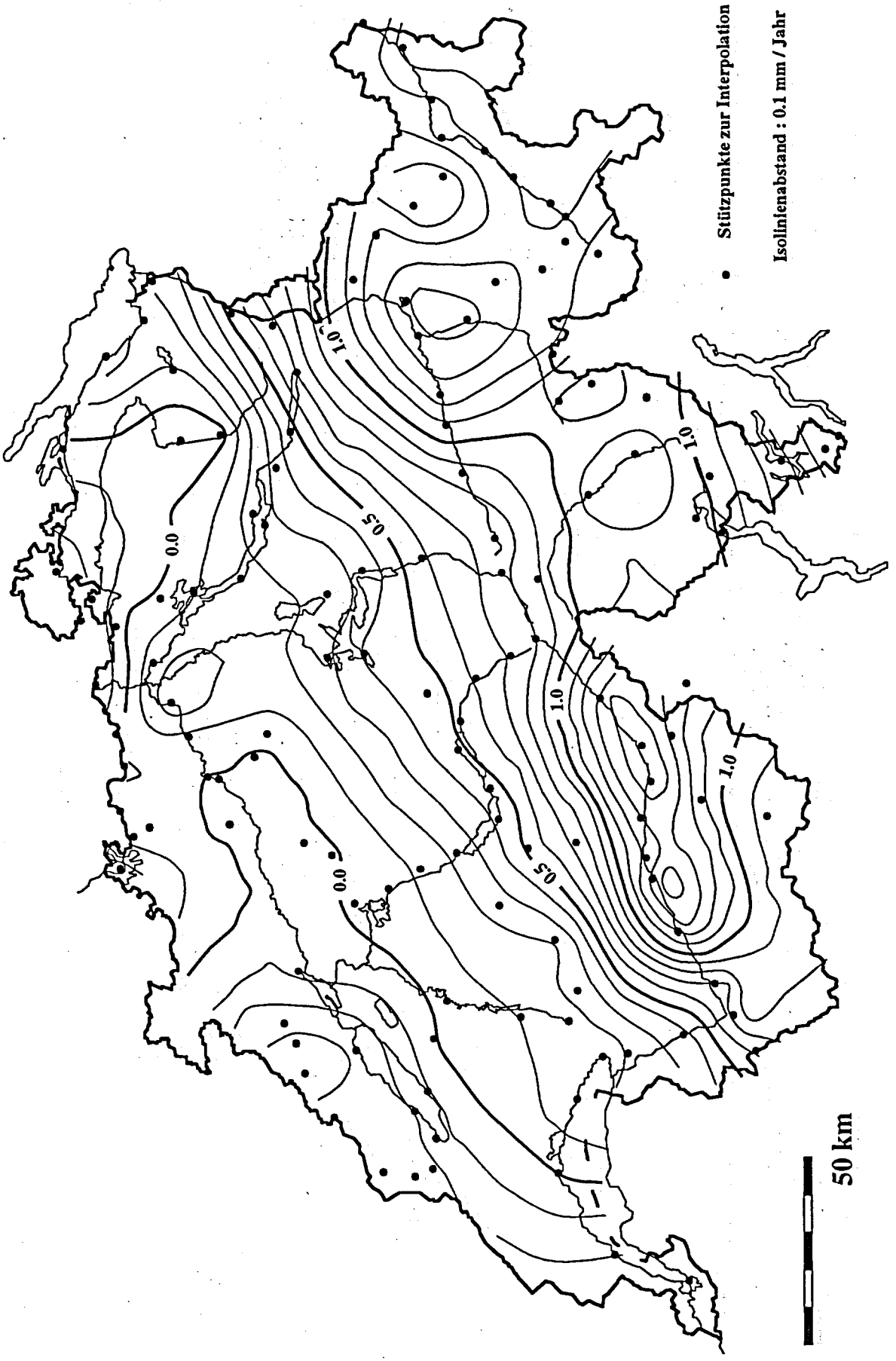


Abb.5: Interpolierte Isolinien der Hebungsraten relativ zu Aarburg .

Wie die nachfolgende Tabelle zeigt, ergeben sich für die Fixpunkte zwischen Bellinzona und Brissago Hebungsraten von 0.89 bis 1.05 mm/Jahr gegenüber 0.98 mm/Jahr in Bellinzona.

Ort	Punkt	Objekt	Höhe	Vertikal-geschw.	Diffe-renz	Standard-abw.
			[m]	[mm/J]	[mm/J]	[mm/J]
Bellinzona	A	Fels	241	0.98	Ref.	Ref.
Bellinzona	B	Fels	242	0.99	+ 0.01	0.00
Bellinzona	579	Fels	230	0.99	+ 0.01	0.00
Sementina	79	Fels	224	0.99	+ 0.01	0.03
Gudo	82	Fels	227	0.89	- 0.09	0.04
Gordola	B	Fels	227	0.95	- 0.03	0.06
Solduno	2	Fels	217	1.05	+ 0.07	0.07
Ascona	93	Fels	202	0.98	0.00	0.07
Moscia	96	Fels	210	0.98	0.00	0.07
Moscia	98	Fels	212	0.92	- 0.06	0.08
P. Ronco	C	Fels	199	0.91	- 0.07	0.08
Brissago	407	Geb.	208	0.95	- 0.03	0.08

Aus den in der letzten Kolonne aufgeführten Standardabweichungen kann abgeschätzt werden, dass die Relativbewegungen zwischen den Punkten offenbar höchstens von der Grössenordnung 0.1 mm/Jahr betragen und damit nicht signifikant sind. Dies gilt insbesondere auch für die Insubrische Linie, die zwischen Solduno und Ascona überquert wird.

3.3.3 Linie Visp - Zermatt

Über die Arbeiten auf der Linie Visp - Zermatt wurde schon früher berichtet [vgl. Schneider und Geiger 1986]. Wie schon dort ausgeführt wurde, ist das Nivellement Visp - Zermatt von 1930 für andere Zwecke und mit älterem, weniger genauem Instrumentarium gemessen worden. Anstelle der sonst zu der Zeit im Landesnivellement verwendeten Nivellierlatten mit Invarbändern, wurden noch sogenannte Kompensationsmiren eingesetzt, deren Skalen eine grössere Massstabsunsicherheit aufweisen. Aus den Feldbüchern geht aber hervor, dass die Skalen täglich geeicht und dass die Abweichungen in den Berechnungen berücksichtigt wurden. Aus der Streuung der Korrekturen kann die Massstabsunsicherheit abgeschätzt werden. Sie dürfte bei 5 bis 10 ppm liegen, was bei einer Höhendifferenz von rund 1000 m zwischen Visp und Zermatt 5 bis 10 mm ausmacht. Durch den grossen zeitlichen Abstand zwischen den beiden Messungen werden die berechneten Vertikalbewegungen um weniger als 0.2 mm/Jahr verfälscht. Die neue Messung von 1987 wurde nach den heute im Landesnivellement angewendeten Vorschriften ausgeführt.

Die geologische Beurteilung der Fixpunkte durch Dr. Heitzmann hat ergeben, dass auf der ganzen Strecke zwischen Lalden und Zermatt noch 9 alte Fixpunkte vorhanden sind, die in stabilen Objekten verankert sind.

Für die Auswertung wurde gleich vorgegangen wie auf der Linie Bellinzona - Brissago. Als Ausgangspunkt diente der Fixpunkt 81 in Visp, der in der gesamtschweizerischen Ausgleichung eine Hebungsrate von 1.5 mm/Jahr gegenüber Aarburg aufweist. Die Hebungsraten sind in der untenstehenden Tabelle wiedergegeben.

Ort	Punkt	Objekt	Höhe	Vertikal-geschw.	Diffe-renz	Standard-abw.
			[m]	[mm/J]	[mm/J]	[mm/J]
Lalden	189	Geb.	656	1.36	- 0.15	0.05
Visp	81	Fels	651	1.51	Ref.	Ref.
Visp	736	Geb.	664	1.39	- 0.12	0.04
Neubrück	856	Geb.	695	1.39	- 0.12	0.06
Neubrück	855	Mauer	688	1.38	- 0.13	0.06
Stalden	B	Geb.	790	1.24	- 0.27	0.07
St.Niklaus	277	Fels	1096	1.04	- 0.47	0.12
Herbriggen	B	Fels	1257	1.06	- 0.45	0.14
Randa	A	Fels	1410	0.88	- 0.63	0.15
Zermatt	1432	Geb.	1621	0.84	- 0.67	0.18

Offensichtlich nehmen die Hebungsraten von Visp Richtung Zermatt kontinuierlich ab. Betragen sie in Visp 1.5 mm/Jahr, so bleiben in Zermatt nur noch 0.8 bis 0.9 mm/Jahr. Die Abnahme beträgt also 0.6 bis 0.7 mm/Jahr, also mehr als das dreifache der entsprechenden Standardabweichung. Trotz der verhältnismässig grossen Massstabsunsicherheit ist diese Abnahme also in hohem Masse signifikant. Diese Resultate sind in Abb. 8 graphisch dargestellt. Ein Vergleich mit den Ergebnissen im Simplongebiet zeigt eine gute Übereinstimmung. Dort nimmt die Hebungsrate von Brig bis Iselle von 1.5 auf 1.2 mm/Jahr ab.

3.3.4 Profile

Zusätzlich zu den Resultaten, welche in den Abbildungen 4 und 5, sowie in den Tabellen in den Kapiteln 3.3.2 und 3.3.3 wiedergegeben sind, wurden auf 4 Profilen die Hebungsraten berechnet und zusammen mit den geologischen Profilen in den Abb. 7 bis 10 dargestellt. Die Lage der einzelnen Profile ist Abb. 6 zu entnehmen. Als Grundlage wurde dabei der gleiche Datensatz, welcher auch zur Erstellung der Abbildungen 4 und 5 diente, verwendet. Um eine Idee des Signifikanzniveaus zu geben, wurden in den Profilen auch nahe gelegene

Stützpunkte zusammen mit ihren Fehlerbalken (wie in Abb. 4) dargestellt, im gleichen Massstab wie die Profile selbst.

Aus geodätischer Sicht kann zusammengefasst werden, dass die neuen Resultate von NFP20 das bereits bekannte Bild des Hebungsprozesses des Alpenraums bestätigen. Es muss jedoch festgehalten werden, dass aus nur einer Wiederholungsmessung keine Variationen in der Hebungsrate berechnet werden können, sondern nur durchschnittliche Werte über die ganze betrachtete Zeitperiode.

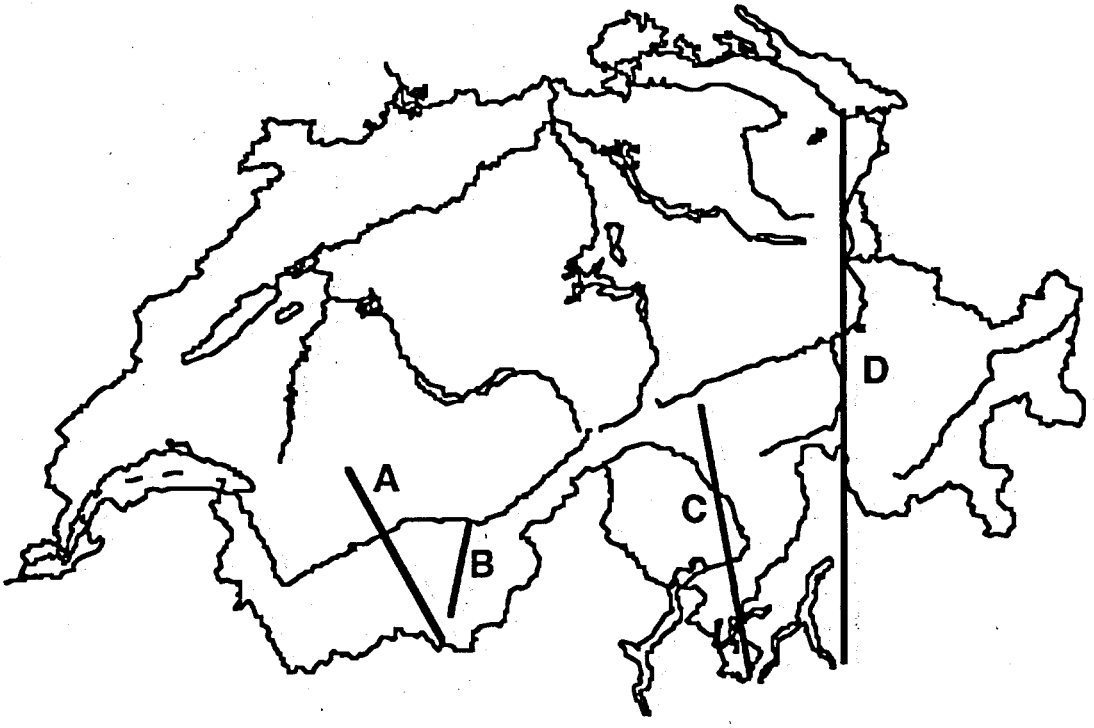


Abb. 6: Lage der Hebungsratenprofile:

A) Zweisimmen - Matterhorn (Abb. 7)
B) Visp - Zermatt (Abb. 8)
C) Greinapass - Chiasso (Abb. 9)
D) Rorschach - Lecco (Abb. 10)

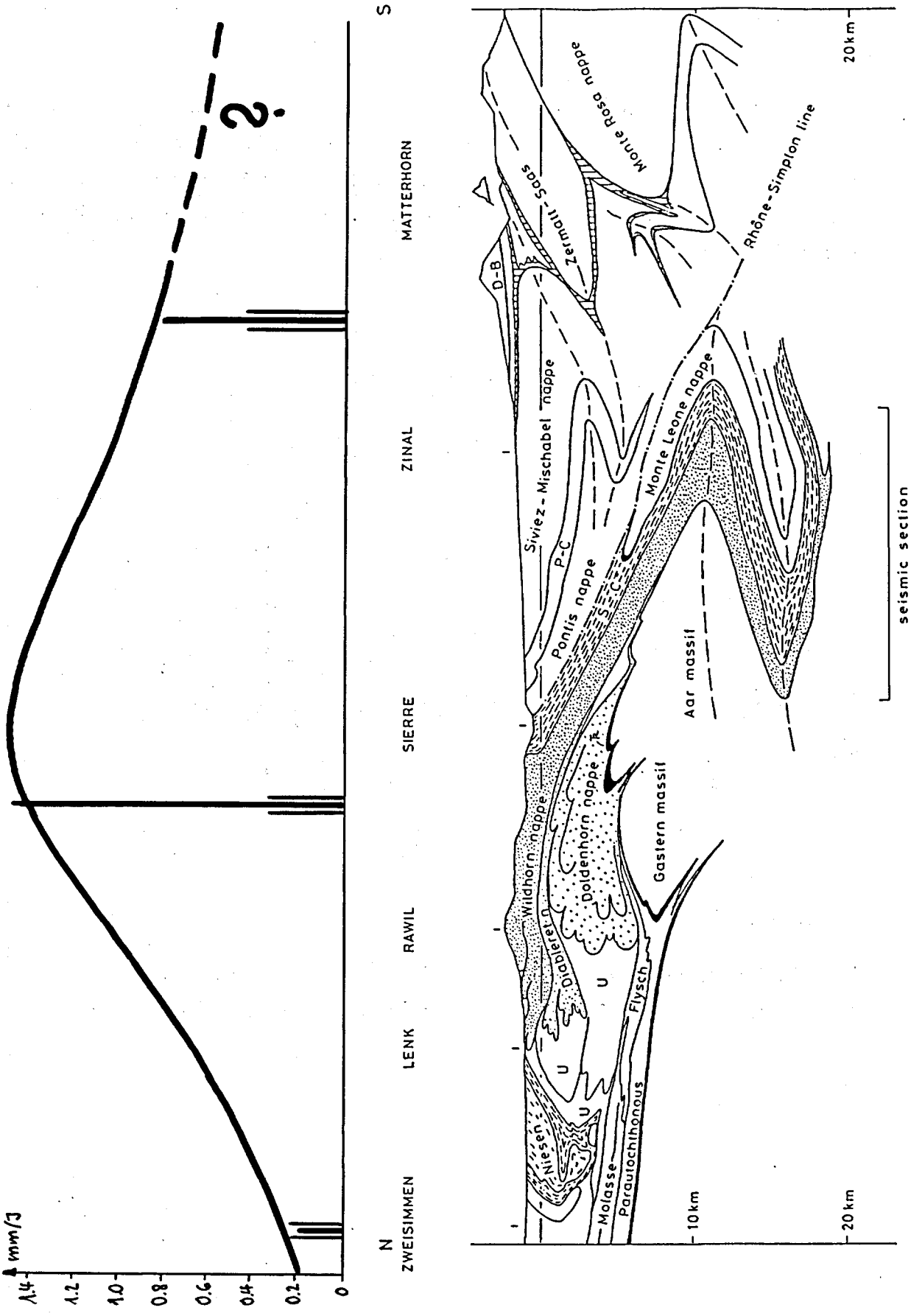


Abb. 7: Profil A, Zweisimmen - Matterhorn, geologisches Profil von A. Steck

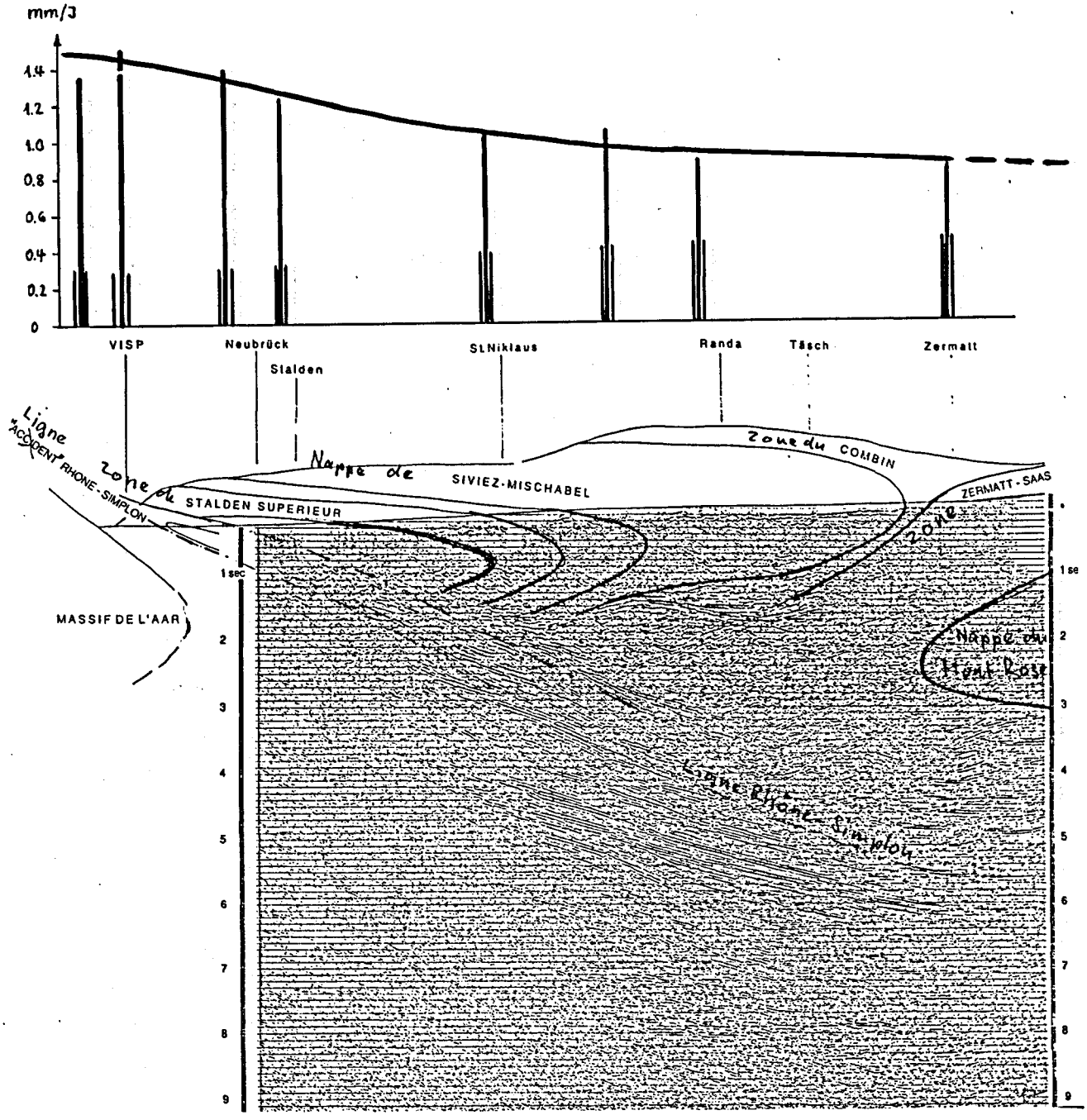


Abb. 8: Profil B, Visp - Zermatt, geologisches Profil von A. Steck

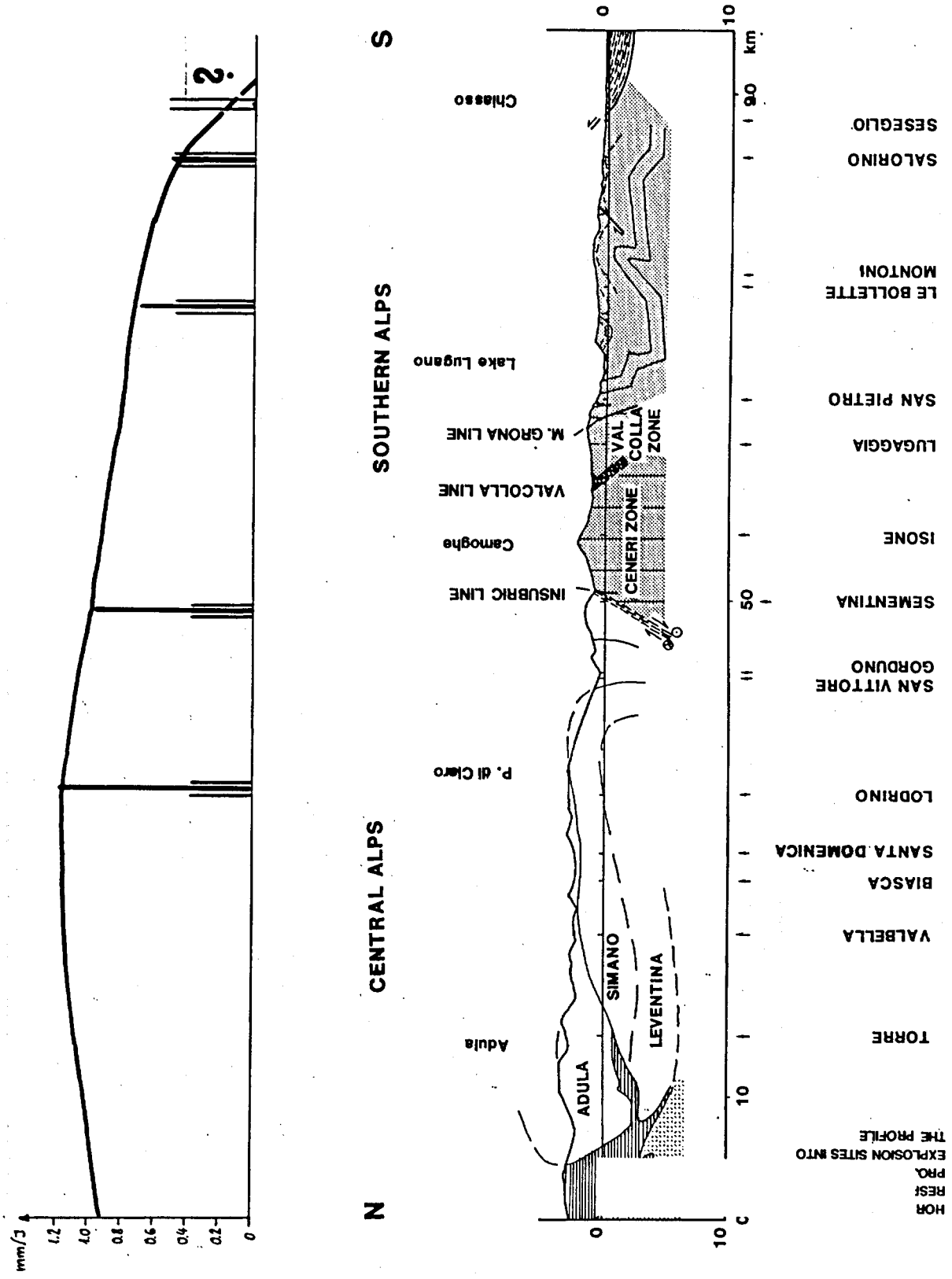


Abb. 9: Profil C,; Greinapass - Chiasso, geologisches Profil von P. Heitzmann

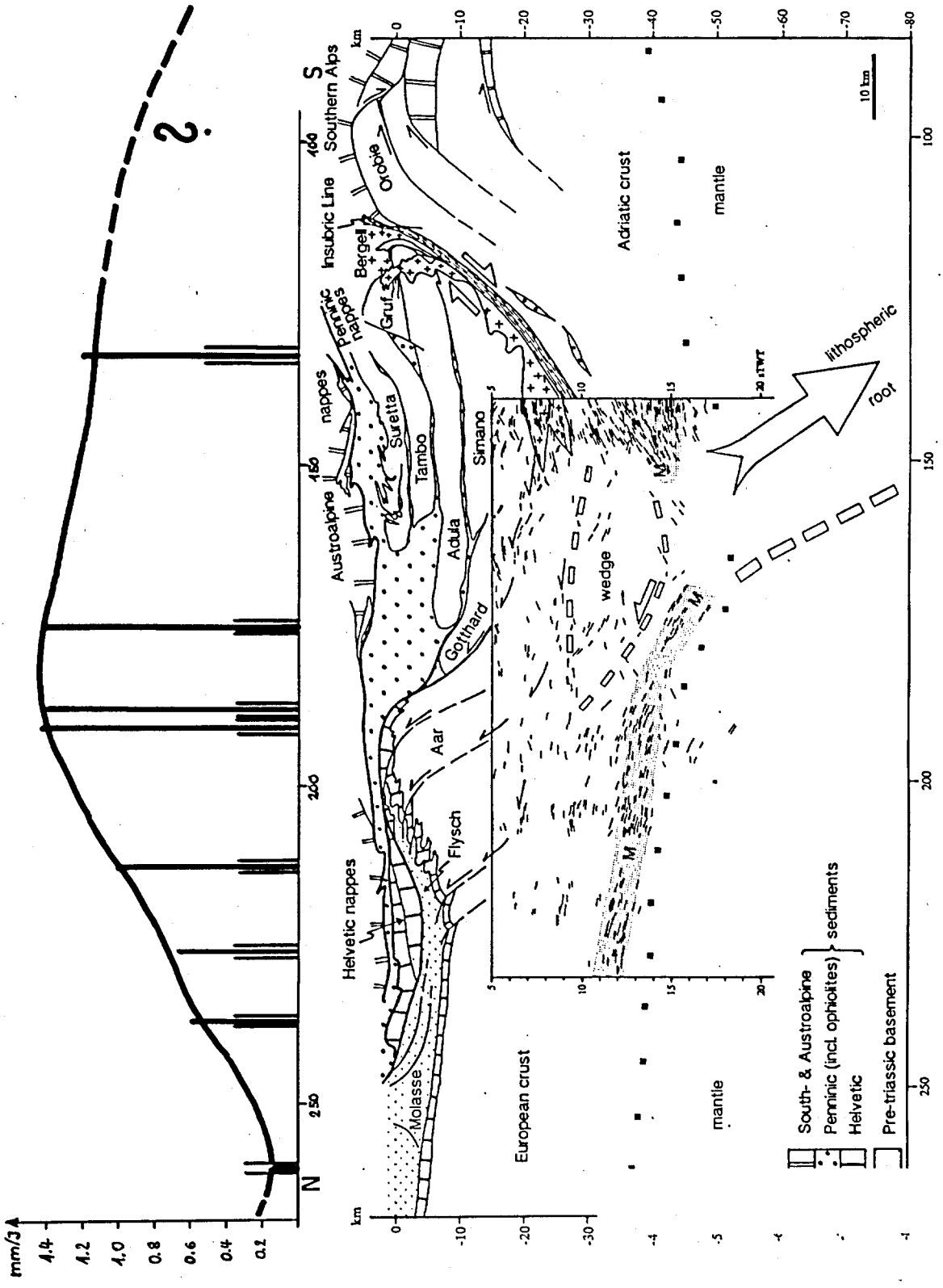


Abb. 10: Profil D, Rorschach - Lecco (Y=755 km), geologisches Profil von Pfiffner et al.

4. GPS Linie Visp - Zermatt

B. Wirth, B. Bürki, A. Geiger (IGP)
A. Wiget, D. Schneider (L+T)

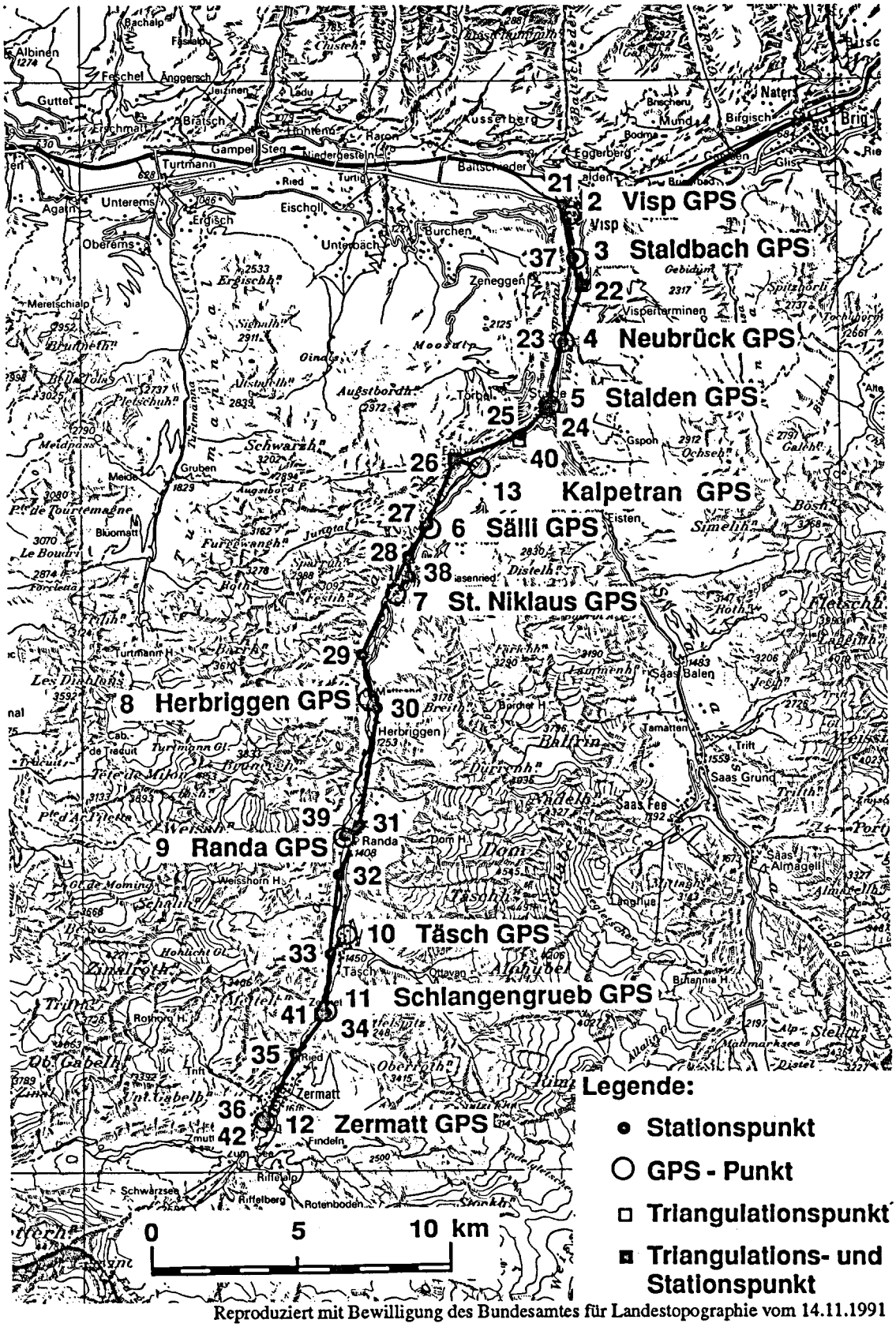
Im Rahmen des Projektes NFP 20 wurden unter anderem 12 GPS-Stationen auf der Linie zwischen Visp und Zermatt rekognosziert und vermarkt [Schneider und Geiger, 1986]. Diese Stationen wurden in soliden Felsen, möglichst nahe der Nivellementslinie Visp - Zermatt gelegt. Sie sollten mit dem Verfahren des Global Positioning System (GPS) so genau wie möglich vermessen werden. Diese Messungen dienen einerseits als Lage-Nullmessung, um später Aussagen über horizontale Krustenverschiebungen machen zu können. Andererseits bilden die ellipsoidischen Höhen in Kombination mit dem Nivellement und den Schweremessungen die geometrische Referenz-Grundlage für die Bestimmung der Geoidundulationen.

Die Bestimmung dieser 12 Stationen war Aufgabe des IGP. Es war vorgesehen, die Feldkampagne auf den Herbst 1987 zu legen, damit die Messungen im Rahmen des Diplomvermessungskurses durchgeführt werden konnten. Von den Diplomanden der Gruppe Vermessungsingenieure des Diplomvermessungskurses 1987 war gewünscht worden, neben Aufgaben aus dem Bereich der Höheren Geodäsie (GPS, Gravimetrie) auch klassische Vermessung zu betreiben. Daraus ergab sich die Aufgabenstellung, über die rekognoszierten GPS-Punkte einen Polygonzug zu legen. Damit war es möglich, die GPS-Messungen über Distanzen bis 32 km zu kontrollieren, während in [Cocard et al., 1988] vor allem der distanzunabhängige Genauigkeitsanteil bestimmt worden war.

Im Juni 1987 rekognoszierten B. Bürki und B. Wirth ca. $^2/_3$ des Zuges, um frühzeitig festzustellen, ob ein solcher Zug überhaupt mit vernünftigem Aufwand (innerhalb ca. zwei Wochen, da auch noch GPS- und Schweremessungen durchgeführt werden mussten) zu messen sei. Da bei der Rekognoszierung der GPS-Stationen [Schneider und Geiger, 1986] auf andere Gesichtspunkte als auf gute Anschlussvisuren geachtet wurde, konnte kein einziger davon direkt als Station im PP-Zug verwendet werden. Die Polygon-Punkte mussten folglich so rekognosziert werden, dass freie Sicht vor- und rückwärts sowie eine Visur zu einem Nivellementsfixpunkt entlang der Hauptstrasse als Höhenanschluss bestand und - falls man sich in der Nähe einer GPS-Station befand - diese mit einem Vektor auf den Zug eingemessen werden konnte. Nach unseren Abschätzungen sollte der Zug mit maximal 20 Stationen gemessen werden können. Zu Beginn des Kurses wurde der Zug fertig rekognosziert und vermarkt. Die Vermarkung wurde bereits in [Nebiker, 1988] beschrieben, wo auch die Auswertung der GPS-Messungen, die innerhalb seiner Diplomarbeit erfolgte und hier nur noch zusammengefasst wird, dokumentiert ist. Der vorliegende Bericht stellt eine Ergänzung

dieses Berichtes von S. Nebiker dar, indem sich in der Kombination der terrestrischen Messungen mit den GPS-Beobachtungen zeigte, dass 3 GPS-Stationen (bei denen aus nicht gelösten Ambiguities bekannt war, dass sie möglicherweise nicht korrekt bestimmt waren) wesentliche Lagekorrekturen erhielten.

Abbildung 11 zeigt einen Netzplan des fertig rekognoszierten Zuges. Der Hauptzug besteht aus 16 Stationen. Dazu kommen 3 Hilfspunkte, die zur Einmessung der etwas abgelegenen GPS-Stationen auf den Hauptzug notwendig waren. Zweimal konnte den besonderen topographischen Begebenheiten im Mattertal nur begegnet werden, indem eine Station in eine Talflanke in die Höhe gelegt wurde (Visperterminen und Embd).



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

Abb. 11: Netzplan des Polygonzuges Visp - Zermatt.

4.1 Punktverzeichnis

Nr.	Name	GPS-Nr.	Nr.	Name	GPS-Nr.
2	Visp GPS	G2	32	Wegweiser PP	
3	Staldbach GPS	G3	33	Täsch PP	
4	Neubrück GPS	G4	34	Schlangengrueb PP	18
5	Stalden GPS	G5	35	Schützenhaus PP	
6	Sälli GPS	G6	36	Zermatt PP	
7	St. Niklaus GPS	G7	37	Staldbach Exz.	
8	Herbriggen GPS	G8	38	St. Niklaus Exz.	
9	Randa GPS	G9	39	Randa Exz.	
10	Täsch GPS	G10	40	Liechtbiel TP	
11	Schlangengrueb GPS	G11	41	Schlangengrueb TP	
12	Zermatt GPS	G12	42	Zermatt TP	
13	Kalpetran GPS	13	50	NF21 Ex (Vterm)	
21	Visp PP	14	51	NF58 Ex (Embd)	
22	Visperterminen PP/TP	15	52	NF57 (Embd)	
23	Neubrück PP		53	NF67 EX (St. N.)	
24	Stalden PP/TP		54	NF81 EX (Mätteli)	
25	Liechtbiel PP		55	NF86 EX (Herbr)	
26	Embd PP	16	56	NF99 (Randa)	
27	Sälli PP		57	NF104 (Wegw)	
28	St. Niklaus PP		58	NF115 (Täsch)	
29	Mätteli PP	17	59	NF126 (Schütz)	
30	Herbriggen PP		60	NF50 (Liechtb)	
31	Randa PP				

4.2 Instrumentarium

Mit dem verwendeten Instrumentarium standen uns höchstpräzise Geräte zur Verfügung:

- Bis zu 7 WM 101 der Firma Wild-Magnavox für die GPS-Messungen, davon
  - Nr. 164, 166, 175 IGP, ETHZ
  - Nr. 113, 157 Firma Wild, Heerbrugg
  - Nr. 167, 171 Firma Wild - Leitz, Zürich
- 1 Kern Mekometer ME5000 der L+T
- 1 E2 Sekundentheodolit des IGP
- 2 T2000 Sekundentheodolite (1 vom IGP, der 2. von der Firma Wild-Leitz Zürich)
- TZK3 Zenitkameraausrüstung des IGP
- 1 G-Gravimeter Nr. 839 des IGP

Die terrestrischen Messungen fanden zwischen dem 3. 8. und dem 11. 8. 1987 statt. Es wurden 61 Distanzen, 106 Zenitdistanzen und 61 Richtungen gemessen. Deren Aufbereitung ist in [Wirth, 1989] dokumentiert. Davor und danach wurden die GPS-Messungen durchgeführt.

4.3 GPS-Messkampagne 1987

Die vollständige Beschreibung der GPS - Kampagne, deren Auswertung und Interpretation der Resultate ist in [Nebiker, 1988] zu finden. An dieser Stelle werden nur noch auszugsweise die wichtigsten Resultate wiedergegeben.

Die GPS - Messkampagne erstreckte sich über die 4 Wochen des Diplomkurses. Gemessen wurde an 9 Tagen mit bis zu 7 Empfängern des Typs Wild-Magnavox WM 101, wobei darauf geachtet wurde, dass alle Hauptpunkte mindestens zweimal besetzt wurden. Erst nachdem die Messung des Hauptnetzes gesichert war, wurden noch zusätzliche Punkte (Polygon-Punkte) ins Netz einbezogen.

Der im folgenden abgebildete **Beobachtungsplan** zeigt die Punktbesetzung und die Nummern der in der Kampagne Visp - Zermatt eingesetzten Empfänger.

Nr.	Bezeichnung	28.7.	29.7.	30.7.	4.8.	8.8.	13.8.	14.8.	18.8.	19.8.
G1	Lalden			175					157	
G2	Visp	164	175	164		157		175	175	166
G3	Staldbach			157				166		
G4	Neubrück					113		157		
G5	Stalden					166			166	
G6	Sälli		164			175				
G7	St. Niklaus	175			171					
G8	Herbriggen		157		175					
G9	Randa		167		164		166			
G10	Täsch		113				164			
G11	Schlangengrueb		166				175			
G12	Zermatt	171	171	171				164		
13	Kalpetran			166		164				
14	Visp PP									164
15	Visperterminen									157
16	Embd PP								164	
17	Mätteli PP									175
18	Täsch PP						157			

Das gemessene GPS - Netz umfasste insgesamt 19 Punkte und Messungen an 9 Tagen. Die Limitierung auf 10 Punkte pro Auswertekampagne innerhalb von POPS Version 2.01 erforderte eine Aufteilung des Gesamtnetzes in drei Kampagnen, damit auch noch genügend identische Punkte zum Vereinigen derselben vorhanden waren. Die Punkte Visp G2 und Zermatt G12 wurden in den beiden ersten Kampagnen aufgenommen, in der dritten waren nur noch Täsch PP und Täsch G10 enthalten. Als Troposphärenmodell wurde SAASTAMOINEN ohne Verwendung von Stationsmeteo verwendet. Der Einbezug von Stationsmeteo hatte keine brauchbaren Resultate ergeben. In Abb. 12 ist eine grobe Verteilung der 6 bei der Auswertung berücksichtigten Satelliten dargestellt.

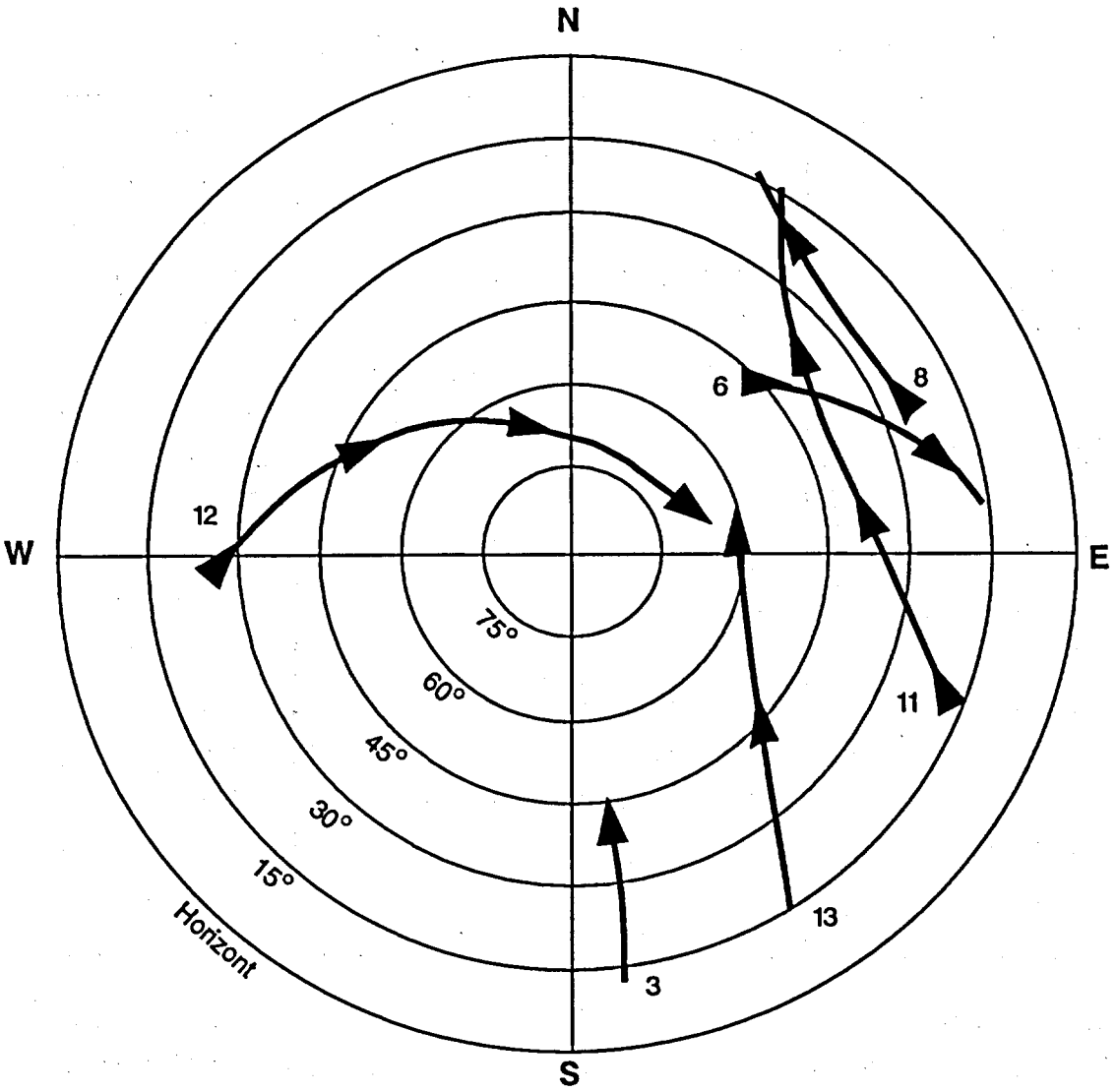


Abb. 12: Satellitenverteilung für die WM101-Messungen Visp - Zermatt

Abschätzung der Messgenauigkeit:
Aus dem Vergleich der Einzelsessions- mit der Gesamtlösung wurde ein mittlerer Fehler der geozentrischen Koordinaten der Gesamtlösung abgeleitet:

m_x = 19 mm
m_y = 6 mm
m_z = 10 mm,

was einem mittleren Punktfehler von 23 mm entspricht.

Diese Werte sind ca. 3 - 4 mal grösser als die von POPS ausgewiesenen mittleren Fehler der ausgeglichenen Koordinaten, die in der Regel zu optimistisch sind.

Koordinatenliste der GPS - Auswertungen Kampagne Visp - Zermatt

G1	LALDEN	4372942.086	607342.753	4588702.831
G2	VISP	4373789.851	605353.729	4588164.309
G3	STALDBACH	4374792.802	605721.838	4587179.781
G4	NEUBRÜCK	4376959.952	605589.786	4585189.670
G5	STALDEN	4378591.310	605365.272	4583847.822
G6	SÄLLI	4382440.734	601589.586	4581037.993
G7	ST. NIKLAUS	4383955.676	600939.081	4579707.594
G8	HERBRIGGEN	4386868.093	600263.627	4577218.428
G9	RANDA	4390449.265	599877.589	4574094.760
G10	TÄSCH	4392901.281	600164.708	4571766.707
G11	SCHLANGENGRUEB	4394799.901	599716.347	4570136.287
G12	ZERMATT	4397815.655	598106.146	4567685.634
13	KALPETRAN	4380561.885	603226.314	4582432.496
14	VISP PP	4373593.579	605238.359	4588366.241
15	VISPERTERMINEN	4375618.374	606008.561	4586676.164
16	EMBD	4380784.135	602286.063	4582982.320
17	MÄTTELI PP	4385867.133	599893.782	4578294.181
18	TÄSCH PP	4393453.332	599802.761	4571326.992

Die Datenerfassung und -aufbereitung für die ME5000 Distanzen, die Richtungssätze und die Zenitdistanzen sind in [Wirth, 1989] ausführlich dokumentiert. Im Anhang A2.1 und A2.2 werden der Vollständigkeit halber die aufbereiteten Messwerte noch einmal dokumentiert.

Die Aufnahmen mit der transportablen Zenitkamera TZK3 des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie werden hier nochmals dargestellt:

4.4 TZK3 Aufnahmen

Punkt	Y	X	H	Φ	Λ
SCHLANGENGRUEB TP	625622.17	99695.13	1524.81	46 03 04.2	7 46 13.8
NF104 (WEGW.)	626366.23	104366.01	1427.69	46 05 36.9	7 46 49.5
HERBRIGGEN GPS	627263.70	110249.32	1232.97	46 08 53.3	7 47 33.7
SÄLLI GPS	629151.97	115937.35	1075.70	46 11 56.7	7 49 07.3
EMBD PP	630055.29	118403.20	1409.30	46 13 07.2	7 50 03.3
STALDEN PP/TP	633400.39	120256.29	824.24	46 14 14.3	7 52 22.6
VISPERTERMINEN PP/TP	634417.29	124309.26	890.72	46 16 24.2	7 53 00.7
VISP PP	633916.90	127000.34	653.12	46 17 44.6	7 52 44.8
				mF ± 0.5"	±0.7"

Aus diesen Messungen ergeben sich im Vergleich zu den ellipsoidischen Bessel-Koordinaten die folgenden Helmertschen Lotabweichungen:

Punkt	Φ,Λ (Astr.)	ϕ , λ (Ellips.)	ξ,η	ξ,η(LAG)	Δ
SCHLANGENGRUEB TP	46 03 4.2 7 46 13.8	46 02 58.3 7 46 14.3	5.9 -0.3	5.67 -0.33	0.23 0.03
NF104 (WEGW.)	46 05 36.9 7 46 49.5	46 05 29.4 7 46 49.9	7.5 -0.3	5.76 0.82	1.74 -1.12
HEERBRIGGEN GPS	46 8 53.3 7 47 33.7	46 8 39.9 7 47 32.9	13.4 -0.4	12.97 1.15	0.43 -1.55
SÄLLI GPS	46 11 56.7 7 49 7.3	46 11 43.8 7 49 2.1	12.9 5.2	12.97 3.63	-0.07 1.57
EMBD PP	46 13 7.2 7 50 3.3	46 13 3.5 7 49 44.8	3.7 12.8	3.78 13.63	-0.08 -0.83
STALDEN PP/TP	46 14 14.3 7 52 22.6	46 14 3.0 7 52 21.4	11.3 0.8	11.26 0.87	0.04 -0.07
VISPERTERMINEN PP/TP	46 16 24.2 7 53 0.7	46 16 14.0 7 53 9.9	10.2 -6.5	9.53 -6.38	0.67 -0.12
VISP PP	46 17 44.6 7 52 44.8	46 17 41.3 7 52 47.3	3.3 -1.7	2.80 -1.30	0.50 -0.40

Die mittleren Differenzen zwischen Messungen und LAG-Berechnungen betragen für die Messungen **mξ = 0.71", mη = 0.93".**

4.5 Schweremessungen

Schweremessungen wurden mit dem neuen G-Gravimeter Nr. 839 des IGP auf allen GPS-Punkten, allen Polygon-Punkten sowie auf einigen wenigen Zwischenpunkten des Nivellements durchgeführt. Die Schwerewerte wurden in erster Linie für die Reduktion des Nivellements benutzt (Berechnung von geopotentiellen Koten). Diese Koten sowie die Schwerewerte in den Oberflächenpunkten wurden aber auch zur Berechnung von orthometrischen Höhen aus Nivellement und Schwere gebraucht. Total wurden 34 Punkte gravimetrisch vermessen. Die Auswertung der Relativmessungen in Absolutwerte erfolgte mit dem Programm AIMO von Prof. Dr. E. Klingelé, für welches aber vorgängig eine neue Subroutine DEL839 mit dem Datensatz für die Umrechnung von Trommeleinheiten in mgal des neuen Gravimeters erstellt werden musste. Gleichzeitig wurde das Programm auf den Macintosh Plus (Absoft Fortran) übernommen und ebenso auf einem Compaq Portable III (MS DOS) unter Profort. Im Anhang A2.3 sind die Schwerewerte ausgewiesen.

4.6 Berechnungen

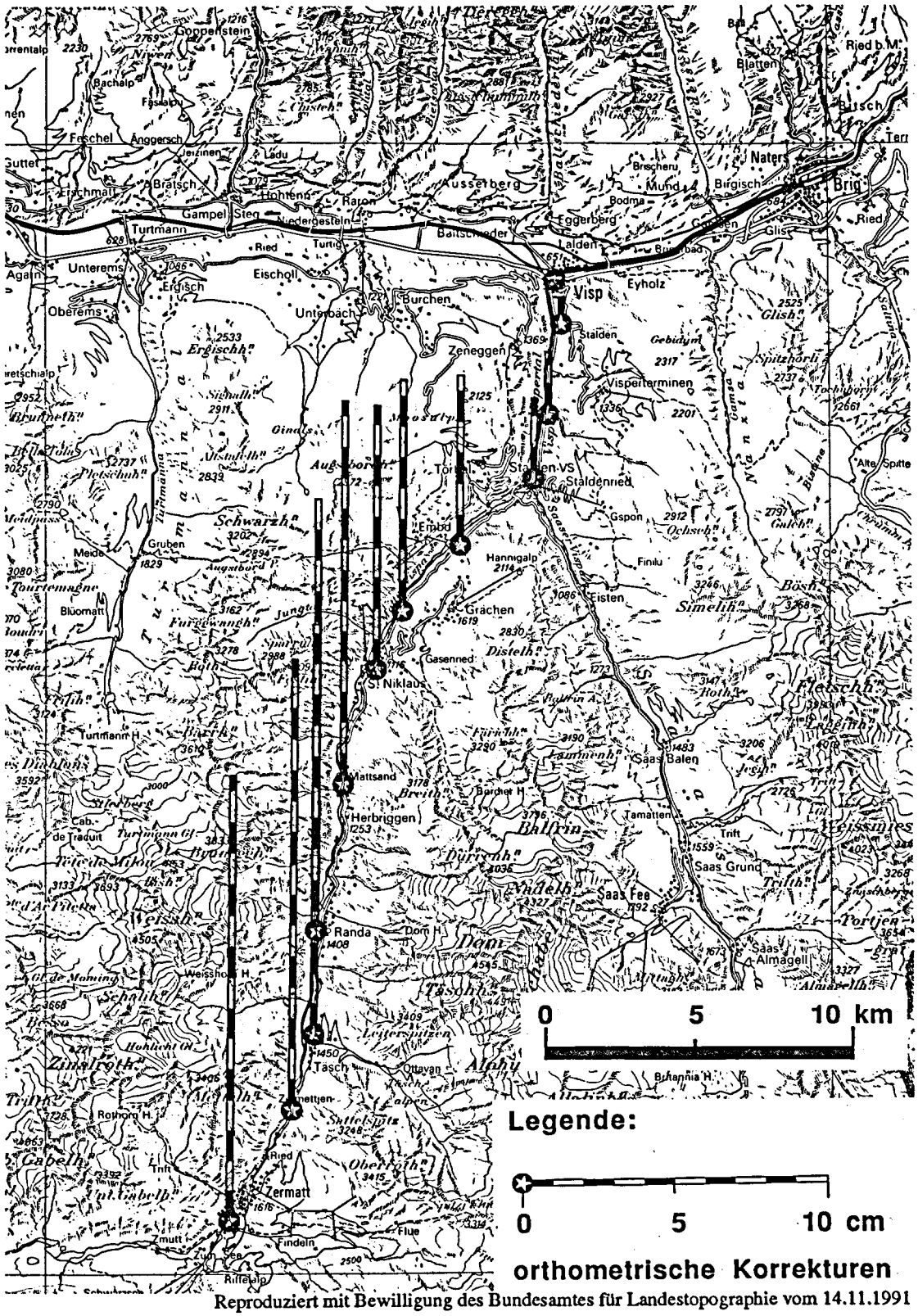
Auf die separat durchgeführten Lageberechnungen wird in diesem Bericht nicht eingegangen, hingegen werden die Höhenberechnungen nochmals aufgeführt, da sie für die kombinierte Geoidbestimmung gebraucht werden. Am Schluss dieses Kapitels wird dann eine kombinierte dreidimensionale Ausgleichung aller Daten inklusive der GPS-Messungen durchgeführt.

4.6.1 Orthometrische Höhen aus Nivellement und Schweredaten

Die orthometrischen Höhen aller GPS- und Polygon-Punkte wurden nach [Wirth, 1990] berechnet, worauf sich auch die Formel- und Kapitelangaben auf dieser Seite beziehen. Dazu waren zuerst die geopotentiellen Koten C der Punkte zu berechnen, wozu neben den rohen Nivellements-Höhendifferenzen die Schwerewerte gebraucht wurden, die ebenfalls im Diplomvermessungskurs gemessen worden waren. Die Berechnung der mittleren Schwere in der Lotlinie erfolgte nach der Formel 7.2-21 bzw. 7.2-26 aus [Wirth, 1990], welche für die konstante Dichte von 2.65 g / cm³ der topographischen Massen weiter zu

$$\bar{g}^{(P)} = g^{(P)}_{Beob} + 0.0424 \cdot H^{[m]} - DG + DGM$$

vereinfacht werden kann. Die DG und DGM werden mit dem Programm LOST berechnet. Die orthometrische Korrektur für den Punkt Visp GPS wurde zu Null angenommen und wächst dann bis Zermatt auf **14.5 cm** an.



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

Abb. 13: relative orthometrische Korrekturen zu Visp GPS

In Abb. 13 sind diese relativen orthometrischen Korrekturen zum Fixpunkt Visp dargestellt. Die 14.5 cm über 31 km bedeuten eine Neigung von 2.9cc, was als mittlere Neigung der Äquipotentialfläche in Stationshöhe gegenüber dem Geoid in Nord-Süd Richtung betrachtet werden kann. In der nachfolgenden Tabelle sind schliesslich die genauen Zahlenwerte ausgewiesen.

Punkt	Niv.	$g_{Beob.}$	$\bar{g}$	Pot.	O.K.	H ort.
2 Visp GPS	652.408	980406.17	980417.23	639.6320	0.000	652.408
3 Staldbach GPS	662.127	980397.92	980405.57	649.1605	0.008	662.135
4 Neubrück GPS	695.585	980383.12	980389.28	681.9624	0.019	695.604
5 Stalden GPS	822.611	980363.48	980378.64	806.4953	0.026	822.637
6 Sälli GPS	1075.703	980305.23	980323.09	1054.6096	0.075	1075.778
7 St. Niklaus GPS	1093.536	980298.06	980313.01	1072.0914	0.086	1093.622
8 Herbriggen GPS	1232.971	980258.97	980278.03	1208.7766	0.125	1233.096
9 Randa GPS	1404.036	980240.77	980264.61	1376.4630	0.139	1404.175
10 Täsch GPS	1438.729	980243.87	980268.92	1410.4705	0.132	1438.861
11 Schlangengrueb GPS	1527.862	980226.94	980258.37	1497.8418	0.145	1528.007
12 Zermatt GPS	1687.582	980213.18	980255.15	1654.4024	0.144	1687.726
13 Kalpetran GPS	948.699	980327.17	980345.18	930.1056	0.054	948.753
21 Visp PP	653.103	980406.76	980418.40	640.3134	0.000	653.103
22 Visperterminen PP/TP	890.716	980362.98	980391.73	873.2647	0.014	890.730
23 Neubrück PP	696.227	980382.96	980389.41	682.5919	0.019	696.246
24 Stalden PP/TP	824.243	980363.12	980378.89	808.0953	0.025	824.268
25 Liechtbiel PP	924.304	980340.99	980361.38	906.1903	0.039	924.343
26 Embd PP	1409.304	980257.56	980311.86	1381.6331	0.077	1409.381
27 Sälli PP	1072.191	980305.45	980324.00	1051.1668	0.074	1072.265
28 St. Niklaus PP	1110.852	980298.33	980317.09	1089.0663	0.081	1110.933
29 Mätteli PP	1287.057	980255.98	980283.50	1261.7948	0.116	1287.173
30 Herbriggen PP	1273.462	980253.69	980275.86	1248.4681	0.127	1273.589
31 Randa PP	1497.669	980229.39	980262.11	1468.2453	0.140	1497.809
32 Wegweiser PP	1426.019	980240.26	980266.56	1398.0116	0.136	1426.155
33 Täsch PP	1467.537	980236.85	980266.34	1438.7093	0.135	1467.672
34 Schlangengrueb PP	1539.305	980225.43	980258.00	1509.0585	0.145	1539.450
35 Schützenhaus PP	1616.948	980217.76	980254.07	1585.1658	0.149	1617.097
36 Zermatt PP	1688.030	980213.17	980255.44	1654.8415	0.144	1688.174

Damit sind die Voraussetzungen gegeben, um eine Ausgleichung der gemessenen Höhenwinkel direkt in orthometrischen Höhen durchzuführen.

4.6.2 Mit Korrektur der Lotkrümmungen

Durch die Korrektur der Höhenwinkel um die Lotkrümmungen erhalten wir die gesuchten orthometrischen Höhendifferenzen.

Verwendete a priori Genauigkeiten:

mZ = 10cc für nur Hin- oder Rückmessung

mZ = 6cc für gleichzeitige Hin- und Rückmessung

Als Näherungshöhen wurden die **orthometrisch korrigierten Höhen** eingeführt. Diese wurden bei der 'gezwängten' Variante ebenfalls in ein 'orthometrisches Nivellement' umgerechnet und als 'Beobachtungen' verwendet mit dem mittleren Fehler von

$$2.0 \text{ mm} \cdot \sqrt{L \text{ [km]}}$$

Darin ist neben der Messgenauigkeit des Nivellements die Unsicherheit der *orthometrischen Korrektur* von ca. 1.4 mm pro km enthalten.

Es wurde eine gezwängte (mit Verwendung der Nivellementsdaten) und eine ungezwängte Variante (ohne Verwendung der Nivellementsdaten) berechnet. Für die Details vgl. die Tabelle 11.2-4 in [Wirth, 1990]. Die mittleren Fehler der ausgeglichenen **orthometrischen Höhen** sind alle < 12.3 mm !

Die Zenitdistanzen wurden in 4 Gruppen aufgeteilt, für die je eine Refraktionsunbekannte berechnet wurde:

$$\kappa_1 = 0.196 \pm 0.015$$
$$\kappa_2 = -0.007 \pm 0.013$$
$$\kappa_3 = 0.087 \pm 0.012$$
$$\kappa_4 = 0.137 \pm 0.012$$

Die maximalen Verbesserungen betragen:

Visp PP	Visperterminen PP/TP	hin	11.2cc
Sälli PP	St. Niklaus PP	rück	12.5cc
Täsch PP	Wegweiser PP	rück	-12.3cc

4.6.3 Vergleich der GPS- mit den terrestrischen Höhen

Für den Vergleich der GPS-Höhen mit dem Nivellement wurde mit dem Programm HITCOL eine lokale Geoidbestimmung aus Lotabweichungen und Schwereanomalien durchgeführt. Die Verteilung der Messpunkte ist in Abb. 14 dargestellt, wobei die direkt beobachteten Geoidkoten aus GPS dazu vorerst noch nicht berücksichtigt wurden. Neben den im Diplomvermessungskurs durchgeführten Beobachtungen wurden alle in der Umgebung verfügbaren astronomischen und gravimetrischen Messungen miteinbezogen. Für die Ausgleichung wurden somit 61 Schweremessungen, 14 ξ- und 13 η-Komponenten, total also 88 Beobachtungen verwendet. Diese wurden um die Wirkungen der Topographie, der Moho und des Ivrea-Körpers reduziert und daraus das Cogeoid berechnet.

```
Verwendetes Modell :          E I N S  /  R

         Parameter :    B =      10000 m

         Varianzen :    (a priori)

                              Signal        Noise

         Undulation:           0.283        0.020 [ m   ]
         Xi        :           5.834        0.500 [ "   ]
         Eta       :           5.834        0.700 [ "   ]
         Schwere   :          39.233        0.500 [mgal]

Offsets zwischen den verschiedenen Datensätzen

         Xinull    :       4.5 "      Offset zwischen Lotabweichungen
         Etanull   :      -3.0 "      und Schweren
         Nnull     :     -2.54 m      Konstanter Offset der Geoidhöhen
         Dgnull    :   -56.00 mgal    Konstanter Offset der Schwerewerte
```

Die Prädiktionsgenauigkeiten a posteriori in den Beobachtungspunkten (Maximal- und Mittelwerte) betragen:

```
Nmax =     0.039   Nmin =     -0.036   Nquer =     0.027
Gmax =     0.723   Gmin =     -0.672   Gquer =     0.239
Xmax =     0.258   Xmin =     -0.274   Xquer =     0.159
Emax =     1.037   Emin =     -1.280   Equer =     0.593
```

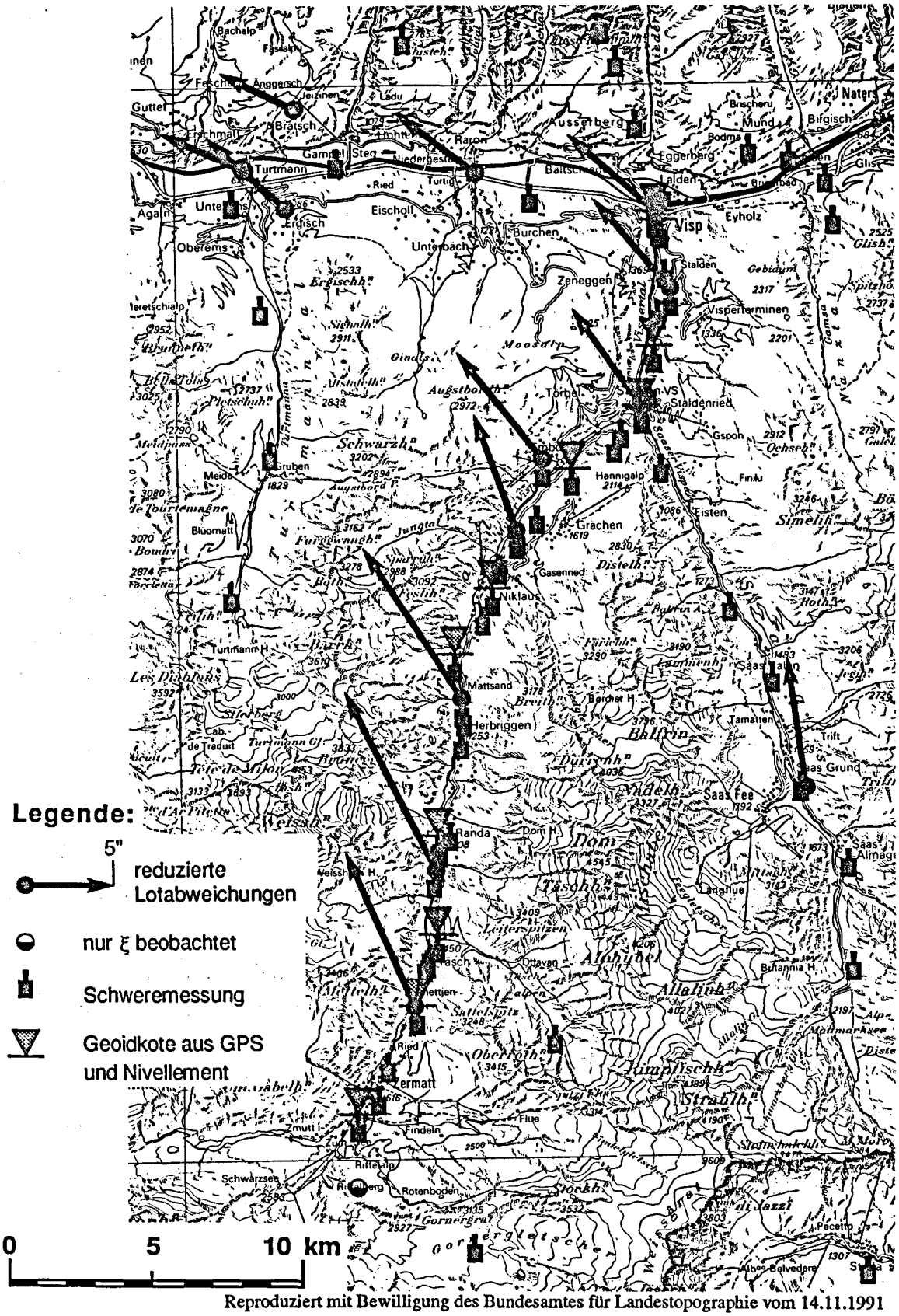


Abb. 14: Art und Verteilung der Beobachtungen zur Störpotentialbestimmung

Nr.	Punkt	H ort.	H GPS	N GPS	N ber	Gen.	Diff.
2	Visp GPS	652.408	653.906	1.498	1.498	0.000	0.000
3	Staldbach GPS	662.135	663.734	1.599	1.542	0.002	0.057
4	Neubrück GPS	695.604	697.264	1.660	1.663	0.006	-0.003
5	Stalden GPS	822.637	824.381	1.744	1.774	0.009	-0.030
6	Sälli GPS	1075.778	1077.950	2.172	2.079	0.014	0.093
7	St. Niklaus GPS	1093.622	1095.799	2.177	2.209	0.016	-0.032
8	Herbriggen GPS	1233.096	1235.467	2.371	2.439	0.020	-0.068
9	Randa GPS	1404.175	1406.823	2.648	2.641	0.024	0.007
10	Täsch GPS	1438.861	1441.643	2.782	2.758	0.025	0.024
11	Schlangengrueb GPS	1528.007	1530.851	2.844	2.812	0.026	0.032
12	Zermatt GPS	1687.726	1690.598	2.872	2.829	0.032	0.033
13	Kalpetran GPS	948.753	950.652	1.899	1.927	0.012	-0.028
21	Visp PP	653.103	654.615	1.512	1.493	0.001	0.019
22	Visperterminen PP/TP	890.730	892.215	1.485	1.583	0.004	-0.098
26	Embd PP	1409.381	1411.255	1.874	1.931	0.012	-0.057
29	Mätteli PP	1287.173	1289.513	2.340	2.359	0.019	-0.019
33	Täsch PP	1467.672	1470.475	2.803	2.772	0.026	0.031

Vergleich der GPS- mit den astro-gravimetrischen Geoidhöhen

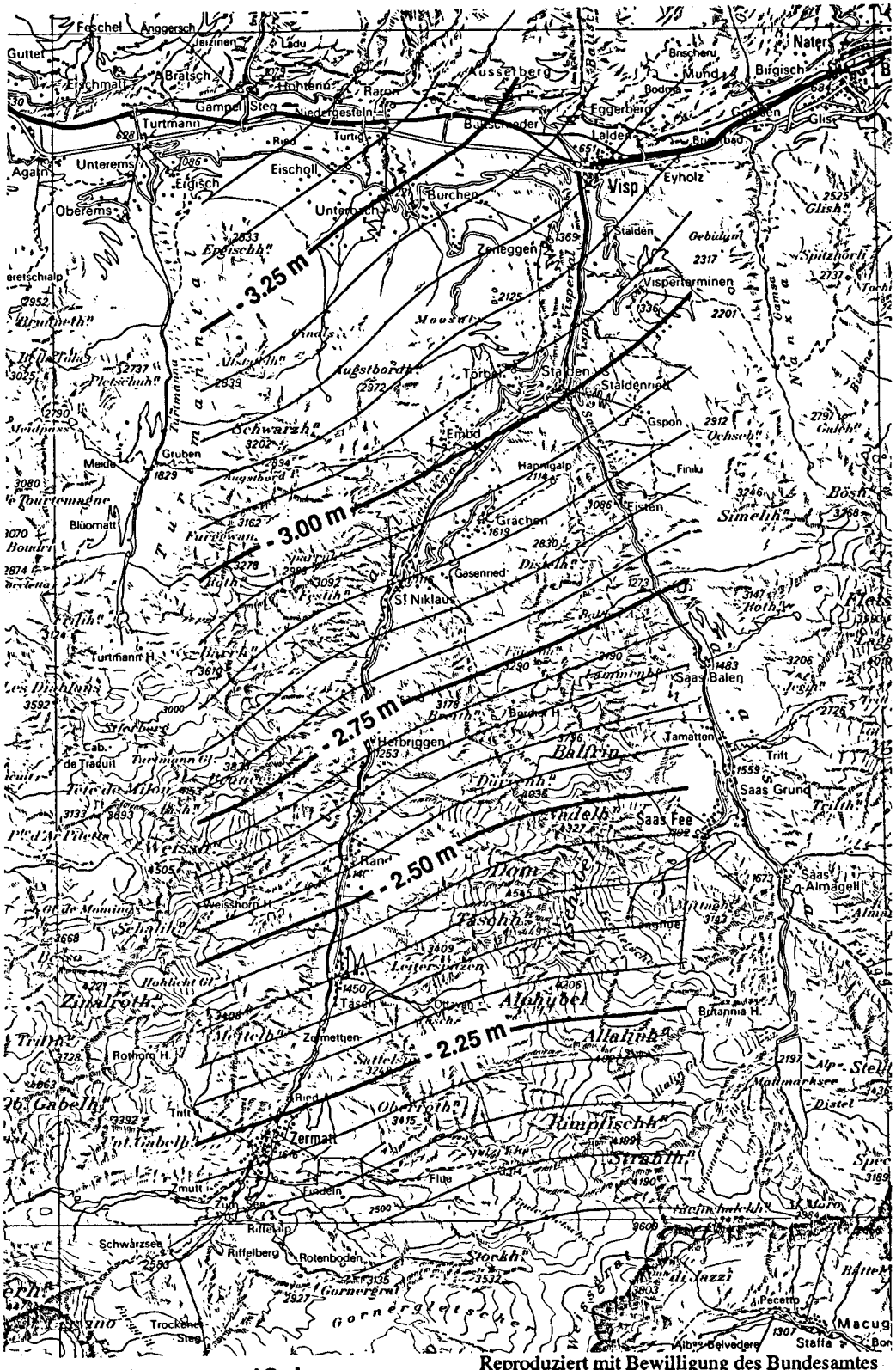
Die orthometrischen Höhen wurden aus Nivellements- und Schweremessungen bestimmt. Die GPS-Höhen wurden berechnet, indem die geozentrischen kartesischen Koordinaten im WGS-84 System aus [Nebiker, 1988] mit einer Translation so verschoben wurden, dass der Punkt Visp GPS die geozentrischen kartesischen Koordinaten des schweizerischen Besselsystems erhielt. Anschliessend wurden sie in ellipsoidische Besselkoordinaten umgerechnet. Die Geoidhöhe des Punktes Visp GPS entspricht der mit LAG berechneten. Die N_{GPS} ergeben sich aus der Differenz der ersten beiden Kolonnen. N_{ber} der vierten Kolonne ist das Resultat aus den berechneten astro-gravimetrischen Cogeoidhöhen plus Modell - Geoidhöhen plus eine Konstante, die so gewählt wurde, dass die beiden Geoidhöhen in Visp GPS übereinstimmen. Daneben sind die Genauigkeiten der Geoidbestimmung aufgeführt. Die Differenzen der letzten Kolonne sind die Differenzen zwischen GPS-Höhen und terrestrisch bestimmten Höhen (orthometrisch korrigiertes Nivellement plus astro-gravimetrisches Geoid). Es sind alle GPS-Bestimmungen aufgeführt, also auch diejenigen der Stationen Sälli GPS, Herbriggen GPS und Embd PP, für die nicht alle Ambiguities aufgelöst werden konnten. Die Stationen Visperterminen PP/TP und Embd PP befinden sich ca. 230 m bzw. ca. 430 m über dem Talgrund. Die übrigen Differenzen weisen keine Verkippung auf und widerspiegeln die Genauigkeit der Höhenbestimmung mit GPS (mit der Unsicherheit der Geoidbstimmung).

4.6.4 Störpotentialbestimmung

Durch die Resultate des Kapitels 4.6.3. ist die Qualität der GPS-Höhen kontrolliert. Wenn wir die weniger genauen GPS-Lösungen Sälli GPS, Herbriggen GPS und Embd PP weglassen und auch die Punkte mit den grössten Differenzen eliminieren (Staldbach GPS und Visperterminen PP/TP), so bleiben 12 Stationen, die noch eine mittlere Abweichung von **25 mm** aufweisen. Diese 12 direkt beobachteten Geoidhöhen aus GPS wurden nun mit den schon erwähnten Beobachtungen zu einer kombinierten lokalen Störpotentialbestimmung herangezogen. Diese Ausgleichung enthält 11 Geoidkoten, 61 Schweremessungen, 14 ξ- und 13 η-Komponenten, total also 100 Beobachtungen.

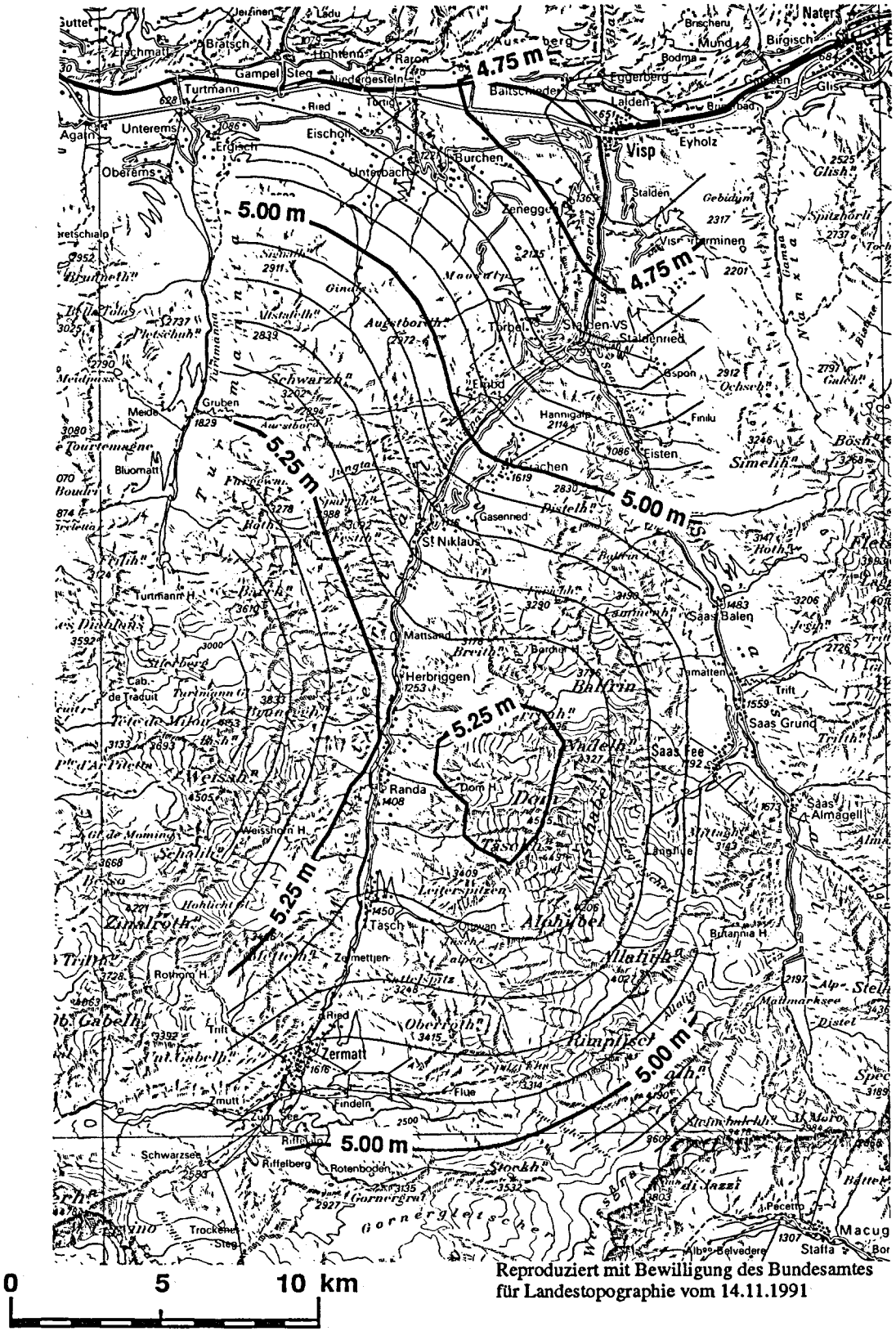
```
Verwendetes Modell :          E I N S  /  R

        Parameter :    B =      10000 m

        Varianzen :    (a priori)

                              Signal        Noise

        Undulation:            0.283        0.020 [ m  ]
        Xi        :            5.834        0.500 [ "  ]
        Eta       :            5.834        0.700 [ "  ]
        Schwere   :           39.233        0.500 [mgal]

Offsets zwischen den verschiedenen Datensätzen

        Xinull    :      4.5 "      Offset zwischen Lotabweichungen
        Etanull   :     -3.0 "      und Schweren

        Dxi       :      0.0 "      Offset zwischen Lotabweichungen
        Deta      :      0.0 "      und Geoidhöhen alleine

        Nnull     :    -2.54 m      Konstanter Offset der Geoidhöhen
        Dgnull    :   -56.00 mgal   Konstanter Offset der Schwerewerte


Umax =     0.023  Umin =    -0.021  Uquer =     0.014
Gmax =     0.726  Gmin =    -0.696  Gquer =     0.300
Xmax =     0.460  Xmin =    -0.359  Xquer =     0.227
Emax =     1.075  Emin =    -1.110  Equer =     0.580
```

Die mittlere Abweichung der GPS-Koten von den kombinierten Werten verringert sich damit auf 14 mm. In den Abb. 15 bis 18 sind die Resultate in Form von Isolinienplänen dargestellt.



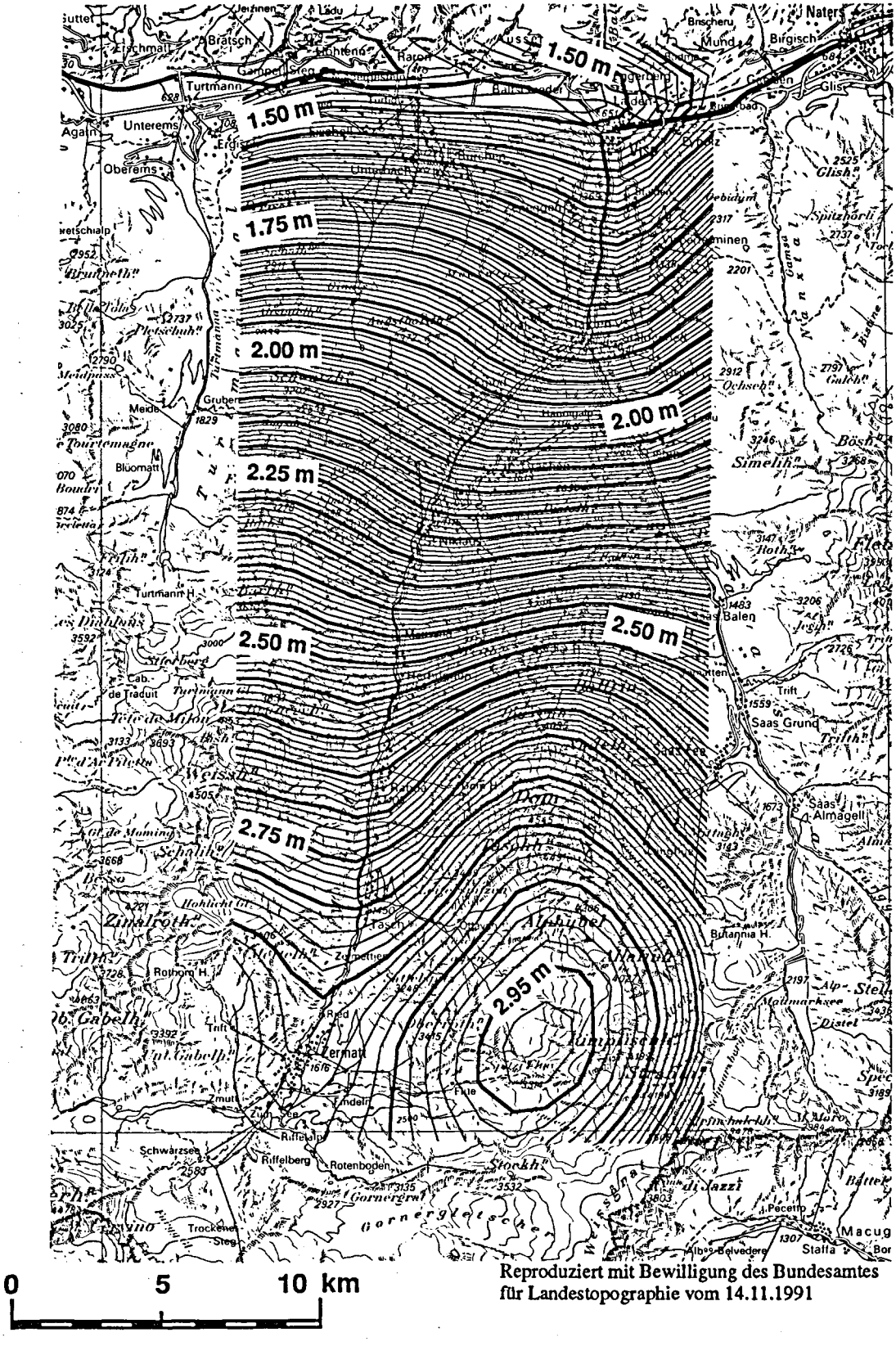
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

Abb. 15: Cogeoid der reduzierten Beobachtungen



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

Abb. 16: Wirkungen der Massenmodelle auf das Geoid



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

Abb. 17: Lokales Geoid im Schweizer Datum

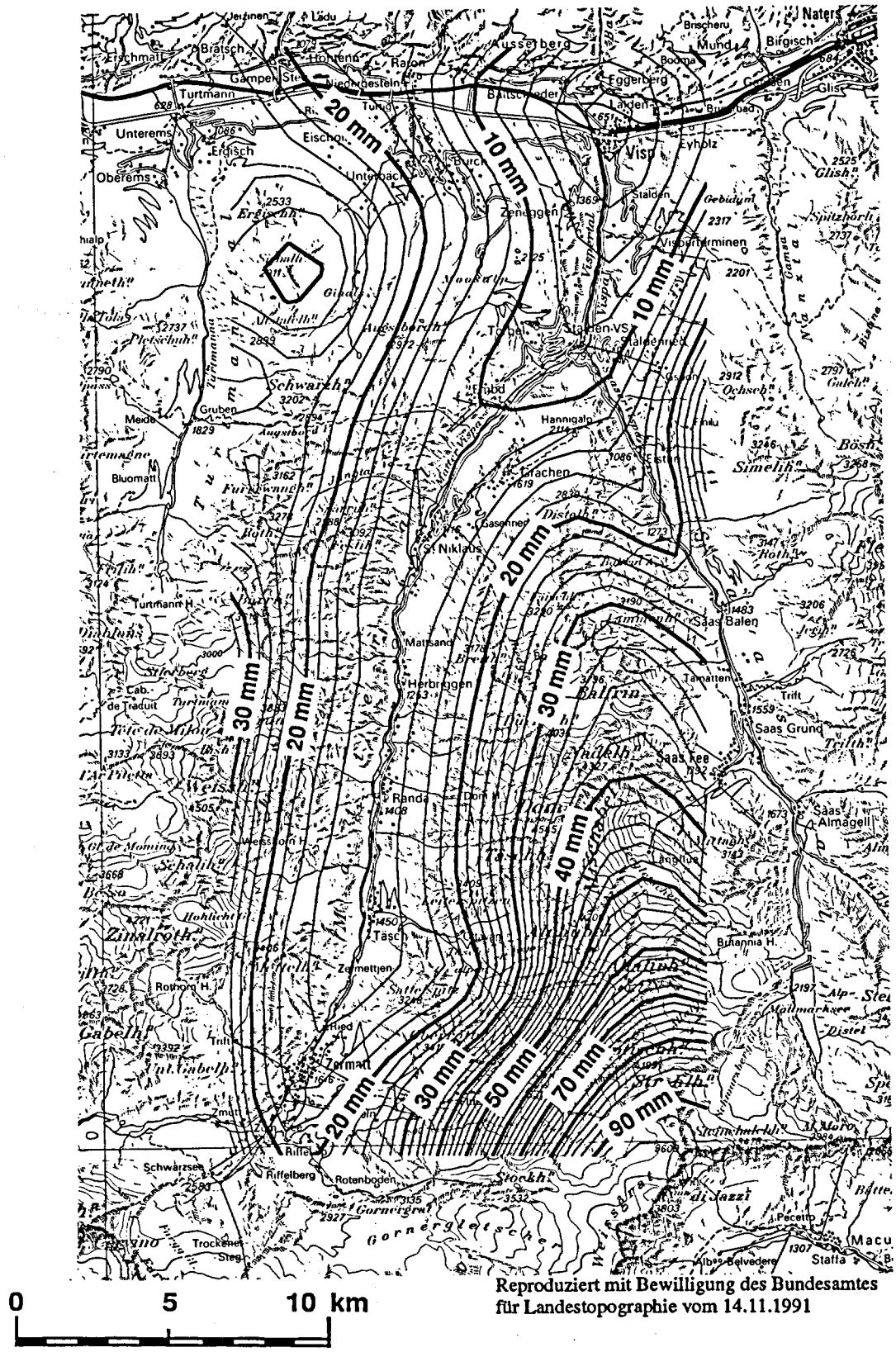


Abb. 18: Relative Genauigkeit des Geoides zu Visp GPS

4.6.5 Mit Korrektur der Lotabweichungen

Die prädizierten Lotabweichungen und Geoidhöhen aller Stationspunkte wurden in einem File zusammengestellt und dienten für eine Höhenberechnungsvariante mit Korrektur der Lotabweichungen. Die angenommenen Genauigkeiten waren:

mZ = 10cc für nur Hin- oder Rückmessung
mZ = 6cc für gleichzeitige Hin- und Rückmessung

Für die Nivellementspunkte wurden die orthometrischen Höhen um die Geoidundulationen korrigiert und als 'Beobachtungen' eingeführt. Der mittlere Fehler am 'Nivellement' wurde mit

$$7.0 \text{ mm} \cdot \sqrt{L \text{ [km]}}$$

angenommen, bestehend aus der Unsicherheit von 1.4 mm vom Nivellement und 1.4" Unsicherheit der prädizierten Lotabweichungen (umgerechnet auf einen Kilometer).

$$\kappa_1 = 0.139 \pm 0.015$$
$$\kappa_2 = 0.005 \pm 0.013$$
$$\kappa_3 = 0.111 \pm 0.012$$
$$\kappa_4 = 0.119 \pm 0.012$$

Die Refraktionen verändern sich beträchtlich. κ_1 verkleinert sich auf 0.14, κ_3 steigt auf 0.11 und wird etwa gleich gross wie κ_4. Nur κ_2 bleibt auf 0.0. Es kommt also wesentlich darauf an, mit welchen Korrekturen die Zenitdistanzen versehen sind, aus denen Refraktionskoeffizienten gerechnet werden. In [Zeger, 1985] wird erwähnt, dass in Österreich im neuen Höhensystem Höhenwinkelmessungen für Triangulationspunkte grundsätzlich *im System der ellipsoidischen Höhen* ausgeglichen werden sollen, da damit eine bessere Berücksichtigung der Refraktionseinflüsse ermöglicht ist. Durch Berücksichtigung der Geoidhöhen können diese ellipsoidischen Höhen anschliessend in orthometrische Höhen umgerechnet werden.

Maximale Verbesserungen:

Visperterminen PP/TP	Visp PP	rück	-12.4cc
Sälli PP	St. Niklaus PP	rück	12.3cc
St. Niklaus PP	St. Niklaus Exz.	hin	-10.4cc
St. Niklaus PP	St. Niklaus Exz.	rück	-10.5cc

Punkt	rohe Höhen		gezwängt		Orthometrische Höhen		gezwängt		Ellipsoidische Höhen		gezwängt	
	ungezwängt				ungezwängt				ungezwängt			
2 Visp GPS	652.408	0	652.408	0	652.408	0	652.408	0	653.906	0	653.906	0
3 Staldbach GPS	662.126	24	662.127	2	662.138	13	662.135	2	663.668	14	663.674	7
4 Neubrück GPS	695.567	27	695.585	3	695.593	14	695.603	4	697.242	16	697.253	10
5 Stalden GPS	822.595	34	822.611	4	822.630	19	822.635	5	824.381	20	824.394	13
6 Sälli GPS	1075.695	46	1075.703	5	1075.790	25	1075.777	7	1077.834	27	1077.842	18
7 St.Niklaus GPS	1093.524	47	1093.536	5	1093.632	25	1093.621	7	1095.801	27	1095.812	19
8 Herbriggen GPS	1232.967	56	1232.971	6	1233.120	30	1233.096	8	1235.520	33	1235.526	22
9 Randa GPS	1404.045	64	1404.036	7	1404.222	34	1404.177	9	1406.853	37	1406.836	25
10 Täsch GPS	1438.691	69	1438.729	7	1438.878	37	1438.862	10	1441.631	40	1441.635	27
11 Schlangengrueb GPS	1527.821	70	1527.861	8	1528.030	38	1528.008	10	1530.838	40	1530.840	28
12 Zermatt GPS	1687.544	73	1687.581	8	1687.768	39	1687.728	11	1690.617	43	1690.603	29
13 Kalpetran GPS	948.663	43	948.699	5	948.744	23	948.752	6	950.639	25	950.657	16
21 Visp PP	653.091	7	653.091	7	653.089	4	653.089	4	654.584	5	654.584	5
22 Visperterminen PP-TP	890.709	22	890.717	5	890.728	12	890.729	5	892.298	13	892.304	8
23 Neubrück PP	696.210	27	696.228	3	696.237	14	696.246	4	697.884	16	697.895	10
24 Stalden PP-TP	824.227	34	824.243	4	824.262	19	824.267	5	826.015	20	826.028	13
25 Liechtbiel PP	924.284	37	924.304	4	924.333	20	924.342	5	926.143	21	926.160	14
26 Embd PP	1409.269	41	1409.300	7	1409.366	22	1409.370	8	1411.265	24	1411.282	17
27 Sälli PP	1072.183	45	1072.193	6	1072.277	25	1072.265	7	1074.313	27	1074.321	18
28 St.Niklaus PP	1110.837	46	1110.852	6	1110.940	25	1110.928	8	1113.044	27	1113.054	19
29 Mätteli PP	1287.050	54	1287.057	8	1287.198	29	1287.177	11	1289.515	31	1289.521	22
30 Herbriggen PP	1273.456	56	1273.461	7	1273.613	30	1273.588	8	1276.032	33	1276.037	22
31 Randa PP	1497.679	63	1497.670	8	1497.856	34	1497.813	10	1500.474	37	1500.459	25
32 Wegweiser PP	1426.017	64	1426.018	7	1426.197	35	1426.161	12	1428.876	38	1428.865	26
33 Täsch PP	1467.499	68	1467.536	8	1467.690	37	1467.671	11	1470.460	40	1470.462	27
34 Schlangengrueb PP	1539.263	70	1539.304	8	1539.473	38	1539.451	10	1542.282	40	1542.284	28
35 Schützenhaus PP	1616.916	71	1616.951	8	1617.134	38	1617.105	12	1619.965	41	1619.960	29
36 Zermatt PP	1687.992	73	1688.030	8	1688.216	39	1688.177	11	1691.065	43	1691.051	29
37 Staldbach Exz.	659.899	24	659.900	2	659.911	13	659.908	2	661.441	14	661.446	7
38 St.Niklaus Exz.	1128.529	47	1128.543	7	1128.633	25	1128.622	8	1130.774	27	1130.784	19
39 Randa Exz.	1403.221	64	1403.212	7	1403.398	34	1403.353	9	1406.026	37	1406.009	25
40 Liechtbiel TP	995.622	37	995.642	9	995.676	20	995.685	7	997.499	22	997.516	15
41 Schlangengrueb TP	1524.769	70	1524.809	8	1524.978	38	1524.956	10	1527.787	40	1527.788	28
42 Zermatt TP	1689.489	73	1689.527	8	1689.714	39	1689.674	11	1692.563	43	1692.549	29
50 NF21Ex (Vterm)	664.955	23	664.965	2								
51 NF58Ex (Embd)	980.149	43	980.186	5								
52 NF57 (Embd)	962.085	43	962.118	5								
53 NF67EX (St.N.)	1071.255	47	1071.272	5								
54 NF81EX (Mätteli)	1244.751	54	1244.759	6								
55 NF86EX (Herbr)	1247.335	56	1247.340	6								
56 NF99 (Randa)	1416.744	63	1416.733	7								
57 NF104 (Wegw)	1427.685	64	1427.686	7								
58 NF115 (Täsch)	1440.077	68	1440.114	7								
59 NF126 (Schütz)	1581.703	71	1581.738	8								
60 NF50 (Liechtb)	924.284	37	924.304	4								

Höhenzusammenstellung mit m.F. in mm

In Abb. 19 wird ein Überblick über die Höhenbestimmungen im Polygonzug Visp-Zermatt graphisch ausgegeben

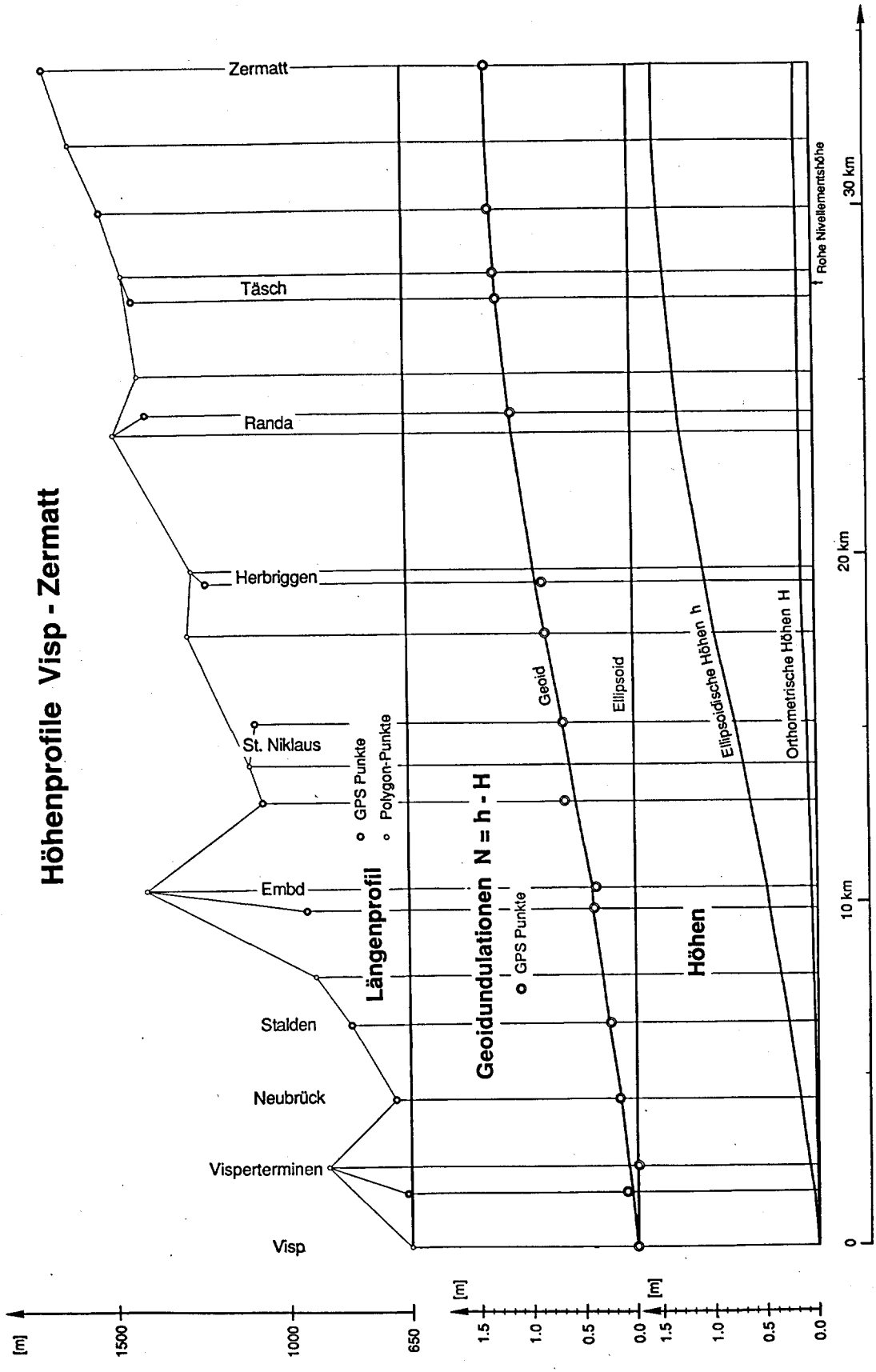


Abb. 19: Höhenprofile Visp - Zermatt

4.7 GPS-Messkampagne 1989 (L+T)

Infolge des Ausfalls eines Satelliten und der starken Geländeabschattungen waren die Resultate der GPS-Messungen der ETH von 1987 nur zum Teil befriedigend, konnten doch auf einzelnen Basislinien nicht alle Ambiguities gelöst werden. Daher wurde beschlossen, die GPS-Messungen vom Bundesamt für Landestopographie mit dessen Instrumentarium nochmals durchführen zu lassen. Diese Messkampagne fand vom 11. bis 13. Juli 1989 statt.

Folgende Operateure waren daran beteiligt:

ELE = Elektron AG, Au (ZH)
BEV = Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien

T. Burnard (IGP)	N. Devos (ELE)
A. Carosio (IGP)	E. Graber (ELE)
G. Forlani (IGP)	E. Schneider (ELE)
C. Straub (IGP)	M. Salvin (Trimble Europe Ltd.)
X. Vollet (IGP)	
B. Wirth (IGP)	D. Schneider (L+T)
H. Aström (IGP)	A. Wiget (L+T)

Bei den GPS-Messungen wurden insgesamt 8 Trimble Empfänger (drei verschiedene Typen) eingesetzt:

4	Trimble 4000 SLD	(L1/L2)	(L+T: Nrn. 122, 123, 124, 127)
2	Trimble 4000 SL	(L1)	(BEV: Nrn. 255, 256)
2	Trimble 4000 ST	(L1)	(ELE: Nrn. 52, 60)

Die 4 Zweifrequenzen-Empfänger wurden abwechslungsweise jeweils mit zwei Zweifrequenzen-Antennen im L1/L2 Modus (je 5 Messkanäle) und zwei Einfrequenzen-Antennen im L1-only Modus (10 Messkanäle) betrieben. Damit standen pro Session 2 Zweifrequenzen-Empfänger und 6 Einfrequenzen-Empfänger im Einsatz. Die zwei Zweifrequenzen-Empfänger wurden an jedem der drei Messtage auf den zwei Endpunkten Visp (Nr. 2) und Zermatt (Nr. 12) stationiert. Die ST-Empfänger wurden nur auf Punkten des Polygonzuges (PP) eingesetzt.

Das realisierte Messprogramm war folgendermassen:

Datum		Station	Empfänger		Antenne	Modus
11. 7. 89	1	Lalden GPS	124	(4000 SLD)	138	L1
	2	**Visp GPS**	127	(4000 SLD)	107	**L1/L2**
	3	Staldbach GPS	256	(4000 SL)	268	L1
	4	Neubrück GPS	255	(4000 SL)	255	L1
	5	Stalden GPS	122	(4000 SLD)	132	L1
	12	**Zermatt GPS**	123	(4000 SLD)	103	**L1/L2**
	21	Visp PP	52	(4000 ST)	52	L1
	22	Visperterminen PP	60	(4000 ST)	60	L1
12. 7. 89	**2**	**Visp GPS**	124	(4000 SLD)	138	**L1/L2**
	8	Herbriggen GPS	122	(4000 SLD)	132	L1
	9	Randa GPS	256	(4000 SL)	268	L1
	10	Täsch GPS	123	(4000 SLD)	121	L1
	11	Schlangengrueb GPS	255	(4000 SL)	255	L1
	12	**Zermatt GPS**	127	(4000 SLD)	107	**L1/L2**
	32	Wegweiser PP	52	(4000 ST)	52	L1
	35	Schützenhaus PP	60	(4000 ST)	60	L1
13. 7. 89	**2**	**Visp GPS**	122	(4000 SLD)	136	**L1/L2**
	5	Stalden GPS	124	(4000 SLD)	138	L1
	6	Sälli GPS	123	(4000 SLD)	121	L1
	8	Herbriggen GPS	255	(4000 SL)	255	L1
	12	**Zermatt GPS**	127	(4000 SLD)	107	**L1/L2**
	13	Kalpetran GPS	256	(4000 SL)	268	L1
	26	Embd TP/PP	52	(4000 ST)	52	L1
	28	St. Niklaus PP	60	(4000 ST)	60	L1

An den drei aufeinanderfolgenden Tagen 11. - 13. Juli wurden jeweils morgens während 4-5 Stunden alle sechs verfügbaren Satelliten beobachtet. Die Minimalelevation der beobachteten Satelliten war 15°, das Messintervall betrug 15 Sekunden. Die Verteilung der Satelliten ist Abb. 20 zu entnehmen.

Es wurden nur Satelliten vom Block I beobachtet. Die Möglichkeit der sog. *selective availability* ist auf diesen Satelliten nicht implementiert. Die sog. *user range accuracy* (URA) Werte der einzelnen Satelliten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Die *broadcast ephemeris* haben eine Genauigkeit (1 Sigma) von derselben Grössenordnung wie die URA-Werte, womit der aus Bahnfehlern resultierende Anteil am Relativfehler in einer GPS-Basislinie ca. 0.2 ppm (1 Sigma) betragen dürfte.

Satellit	URA [m]
3	2.8
6	4.0
9	2.8
11	4.0
12	2.8
13	4.0

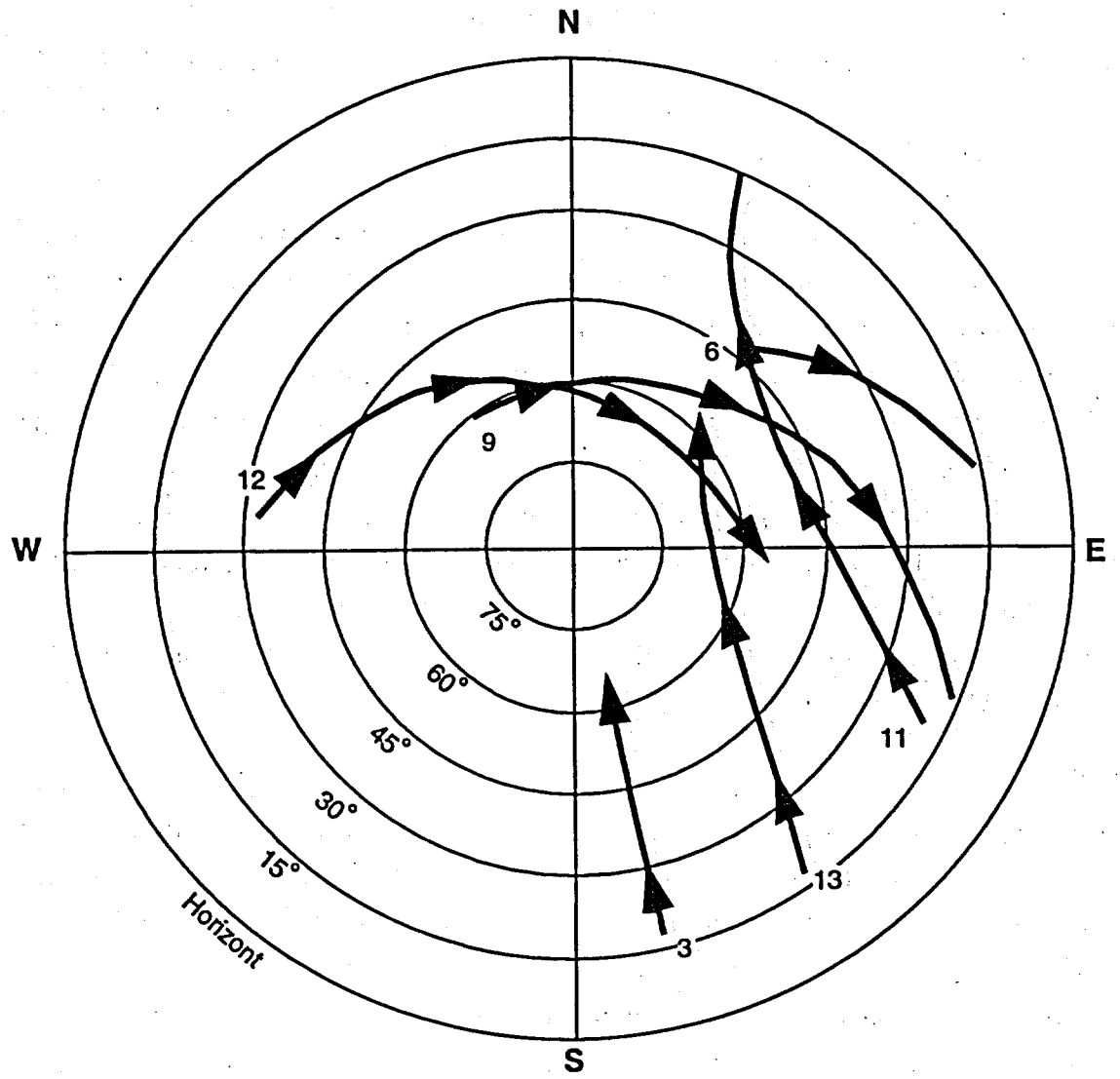


Abb. 20: Satellitenverteilung während der Trimble-Kampagne 1989

Eine provisorische L1-Auswertung der Messungen zur Berechnung von Tageslösungen wurde täglich mit der TRIMVEC-Auswertesoftware durchgeführt. Die definitive Auswertung erfolgte mit der Berner GPS Software (Versionen 3.2 und 3.3). Alle drei Messtage wurden zuerst einzeln, dann in einer Gesamtlösung gerechnet. Der Ablauf der Auswertung entsprach dem Standardvorgehen der L+T und soll hier nicht im Detail beschrieben werden. Nähere Angaben sind in einem internen Bericht zusammengestellt.

Für alle SL/SLD-Antennen wurden die 1989 auf der Teststrecke Thun bestimmten Ablagen der elektronischen Phasenzentren (sog. Antennenoffsets, PHASECC) berücksichtigt. Die Offsets beider ST-Empfänger, bei denen die Antenne direkt auf dem Empfängergehäuse montiert ist, wurden aufgrund von Tests mit anderen Empfängern gleichen Typs im Jahre 1990 für die Lage zu Null und für die Höhe zu +0.109 m angenommen.

Der Punkt 12 Zermatt wurde mit seinen in der Kampagne GRANIT 1987 gerechneten Koordinaten festgehalten. Zur besseren Auflösung der Ambiguities wurde für die L1/L2-Basislinien zuerst eine L5-Lösung berechnet. Alle Ambiguities konnten anschliessend sowohl auf L1 als auch auf L2 an allen Tagen bestimmt werden.

Das Jahr 1989 fiel im mehrjährigen Zyklus der **Ionosphärenaktivität** (Periode ca. 11 Jahre) in die Nähe eines Maximums. Damit sind vor allem bei GPS-Messungen während des Tages grössere Refraktionsindizes der Ionosphäre zu erwarten, die sich bei Einfrequenzmessungen insbesondere als Massstabsverzerrungen von mehreren Millimetern pro Kilometer (ca. 2 - 5 ppm) auswirken können. Zur Korrektion der Ionosphäreneinflüsse auf die Einfrequenzmessungen wurde mit dem Programm IONEST aus den L1/L2-Daten der beiden Zweifrequenzen-Empfänger pro Morgen ein Ionosphärenmodell berechnet. In allen Berechnungen mit dem Hauptprogramm GPSEST wurden die entsprechenden Ionosphärenmodelle berücksichtigt. Als Variante wurde die einzige L1/L2-Basislinie zwischen den Stationen Visp und Zermatt an jedem Tag in Form der ionosphärenfreien Linearkombination L3 eingeführt.

Die Wahl der besten Lösung ist mangels einer genaueren Referenz schwierig. Die L1-Lösungen sind innerhalb des Tages (= eine Session) homogener und umfassen mehr Messungen, da auf den L3-Basislinien der L1/L3-Lösungen nur gemeinsame L1- und L2-Phasenmessungen ausgewertet wurden. Auch trifft der Vorteil der Elimination des Ionosphäreneinflusses darin nur für die Basislinie Visp-Zermatt zu; alle L1-Basislinien werden mit dem Ionosphärenmodell korrigiert, welches den Massstab auf ca. 1 ppm genau einzuhalten erlaubt. Andererseits ermöglicht die ionosphärenfreie Auswertung der für alle drei Sessionen gemeinsamen Basislinie Visp-Zermatt deren homogene Verknüpfung zu einer Gesamtlösung. Die Standardabweichungen der L1/L3-Lösungen (Sigma der Einfachdifferenzen) sind denn auch um ca. 30% kleiner. Die Residuen der Helmert-Transformation zwischen der L1- und der L1/L3-Lösung allein mit Standardatmosphäre betragen sowohl in der Lage als auch in der Höhe einige Millimeter, lediglich beim Punkt Zermatt übertreffen sie mit 18.5 mm in der Höhe die Marke von 8 mm.

Als **Troposphärenmodell** wurde dasjenige von Saastamoinen zusammen mit extrapolierten Meteowerten der Standardathmosphäre verwendet (Stand). Um den Einfluss der Troposphäre studieren zu können, wurden zwei weitere Varianten gerechnet: (1) Lokale Troposphärenparameter pro Station und Session (Tropo) sowie (2) ein höhenabhängiges Troposphärenmodell pro Session (Hoehe).

Die Lage der Punkte wird durch die Wahl des Troposphärenmodells praktisch nicht beeinflusst, dagegen ist der Einfluss auf die Höhen beträchtlich. Da in dieser Aufgabenstellung (Geoidbestimmung und tektonische Bewegungen) die Höhen

bedeutungsvoll sind, wurden die verschiedenen Lösungsvarianten mit dem Präzisions-Nivellement verglichen. Von den aus geozentrischen Koordinaten gerechneten ellipsoidischen Höhen müssen die **Geoidundulationen** (berechnet anhand des Geoidmodells der Schweiz) subtrahiert werden, um genähert orthometrische Höhen (vergleichbar mit den schweizerischen Gebrauchshöhen) zu erhalten. Diese Höhen können schliesslich mit den orthometrischen Höhen aus Nivellement und Schweredaten (Kap. 4.6.3) verglichen werden. Dieser Vergleich wurde in der untenstehenden Tabelle durchgeführt. Graphisch dargestellt wurde er zudem in Abb. 21. Die kleinsten Differenzen zeigt dabei die L1/L3-Lösung mit einem aus den GPS-Messungen geschätzten höhenabhängigen Troposphärenmodell.

Unter der Annahme unberücksichtigter systematischer Einflüsse wird die **Genauigkeit (1 Sigma) der relativen Lagekoordinaten als 1 mm + 0.5 ppm und der ellipsoidischen Höhendifferenzen als 3 mm + 0.8 ppm geschätzt.** Bei den Messungen mit den ST-Empfängern muss wegen grösserer Unsicherheit in den Offsets der Antennen-Phasenzentren der distanzunabhängige Anteil dieser Werte auf ca. 3 mm resp. 5 mm erhöht werden.

Vergleich mit orth. Höhen aus dem Präzisions-Nivellement

Station	Nr.	orth. Höhen aus Präz.Niv.	L1/L3.Stand [m]	(1) [mm]	L1/L3.Tropo [m]	(2) [mm]	L1/L3.Hoehe [m]	(3) [mm]
Visp PP	21.89	653.103	651.9614	25.6	652.0554	-28.8	652.0353	1.5
Visp GPS	2.89	652.408	651.2703	21.7	651.3496	-18.0	651.3464	-4.6
Staldbach GPS	3.89	662.135	660.9890	30.0	661.0737	-15.1	661.0629	5.9
Visperterminen PP/TP	22.89	890.730	889.5832	30.8	889.6571	-3.5	889.6496	14.2
Neubrück GPS	4.89	695.604	694.4606	27.4	694.5553	-27.7	694.5334	4.4
Stalden GPS	5.89	822.637	821.4908	30.2	821.5533	7.3	821.5607	10.1
Kalpetran GPS	13.89	948.753	947.6334	3.6	947.6838	-7.2	947.6979	-11.1
Embd PP	26.89	1409.381	1408.2366	28.4	1408.2901	14.5	1408.2818	33.0
Sälli GPS	6.89	1075.778	1074.6453	16.7	1074.6720	29.6	1074.7053	6.5
St.Niklaus PP	28.89	1110.933	1109.7967	20.3	1109.8198	36.8	1109.8551	11.7
Herbriggen GPS	8.89	1233.096	1231.9406	39.4	1231.9638	55.8	1231.9969	32.9
Randa GPS	9.89	1404.175	1403.0631	-4.1	1403.1059	-7.3	1403.0932	15.6
Wegweiser PP	32.89	1426.155	1425.0714	-32.4	1425.0981	-19.5	1425.0981	-9.3
Täsch GPS	10.89	1438.861	1437.7898	-44.8	1437.7844	0.2	1437.8166	-21.8
Schlangengrueb GPS	11.89	1528.007	1526.9501	-59.1	1526.9271	3.5	1526.9671	-26.3
Schützenhaus PP	35.89	1617.097	1616.0540	-73.0	1616.0703	-49.7	1616.0618	-31.0
Zermatt GPS	12.89	1687.726	1686.6709	-60.9	1686.6709	-21.3	1686.6709	-11.1
Standardabweichung:				**37.6**		**24.4**		**17.2**

(*) = orthom. Höhe aus Niv. - GPS-Höhe + Geoidundulation aus LAG (zentriert auf die Werte der GPS-Punkte 2.89 bis 13.89)

Stdabw. = Standardabweichung der Werte aus Kolonne (*) der Punkte 2.89 bis 13.89 (ohne PP-Punkte)

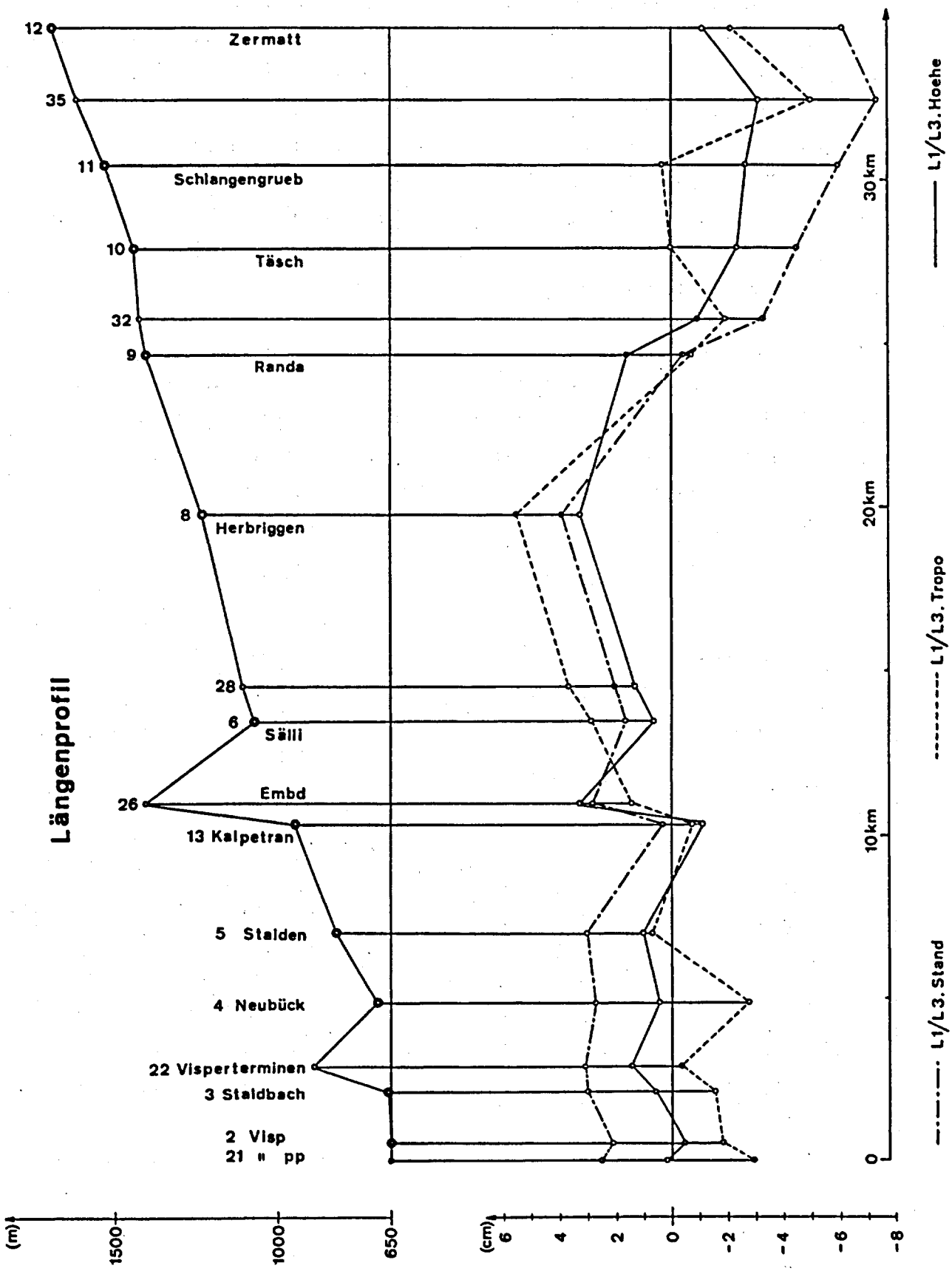


Abb. 21: Vergleich der GPS-Lösungen mit den aus dem Nivellement gerechneten orthometrischen Höhen.

4.8 Dreidimensionale Ausgleichung

Die dreidimensionale Ausgleichung wurde mit dem Programm RAUMTRI [Schneider, Wunderlin, 1981] durchgeführt. Dieses Programm läuft auf Macintosh Computern und wurde gegenüber der Beschreibung in [Schneider und Wunderlin, 1981] um die Beobachtungsart GPS-Basislinien erweitert. Diese Erweiterung ist im nachfolgenden Kapitel beschrieben.

4.8.1 Einführung von GPS - Beobachtungen

Für die Berücksichtigung von GPS - Beobachtungen ist es von grossem Vorteil, dass die Ausgleichung der terrestrischen Beobachtungen in einem geozentrisch-kartesischen Koordinatensystem angesetzt werden. Auch die GPS - Beobachtungen sind in einem geozentrischen kartesischen Koordinatensystem ausgeführt. Beide Systeme (astronomisches und GPS) sind so gut wie möglich identisch, bei beiden muss die Bewegung der Erde im raumfesten System bekannt sein. Trotzdem muss infolge der Realisierung des erdfesten Referenzsystems bei GPS mit geringfügigen Differenzen gerechnet werden. Strenggenommen muss für die (räumliche) Transformation von einem System ins andere eine 7 - Parameter Transformation angesetzt werden (Ursprungsdifferenz der beiden Systeme ΔX, ΔY und ΔZ, drei Verdrehungen der Achsen α, β und γ sowie eine Massstabsdifferenz). Da aber die Koordinaten des Fixpunktes bei der terrestrischen Ausgleichung willkürlich festgelegt werden und ebenso die Absolutkoordinaten bei GPS unsicher sind (~30 m), schien es uns nicht sinnvoll, 3 Unbekannte ΔX, ΔY und ΔZ anzusetzen, um diese Differenzen zu berücksichtigen. Die Stärken sowohl der terrestrischen wie auch der GPS - Beobachtungen liegen in den relativen Beziehungen zwischen zwei Punkten (Beobachtung von Punkt zu Punkt bzw. Baselines bei GPS). Für solche relativen Positionen müssen also nur noch 3 Verdrehungen sowie ein Massstab berücksichtigt werden, wie aus der folgenden Herleitung hervorgeht:

$$\vec{X}_i^{terr} = m \cdot \mathbf{D} \cdot \vec{X}_i^{GPS} + \overrightarrow{\Delta X}^{terr}$$

(7 - Parameter-Ansatz für Koordinaten)

mit

$\vec{X}_i^{terr}$ = Vektor der geozentrischen terrestrischen Koordinaten

m = Massstabsfaktor (Skalar)

$\mathbf{D}$ = 3 x 3 Drehmatrix

$\vec{X}_i^{GPS}$ = Vektor der geozentrischen GPS - Koordinaten

$\overrightarrow{\Delta X}^{terr}$ = Ortsvektor des Ursprungs des GPS-Koordinatensystems im terrestrischen System ausgedrückt

Für Koordinatendifferenzen gilt:

$$\vec{X}_k^{terr} - \vec{X}_i^{terr} = m \cdot \mathbf{D} \cdot \vec{X}_k^{GPS} - m \cdot \mathbf{D} \cdot \vec{X}_i^{GPS} + \overrightarrow{\Delta X}^{terr} - \overrightarrow{\Delta X}^{terr}$$

$$= m \cdot \mathbf{D} \cdot \vec{X}_k^{GPS} - m \cdot \mathbf{D} \cdot \vec{X}_i^{GPS}$$

$$\left(\vec{X}_k^{terr} - \vec{X}_i^{terr}\right) = m \cdot \mathbf{D} \cdot \left(\vec{X}_k^{GPS} - \vec{X}_i^{GPS}\right)$$

(4 - Parameter-Ansatz für Koordinatendifferenzen)

wenn wir für $\left(\vec{X}_k^{terr} - \vec{X}_i^{terr}\right)$ einfacher $\vec{X}_{i,k}^{terr}$ schreiben, ergibt sich

$$\vec{X}_{i,k}^{terr} = m \cdot \mathbf{D} \cdot \vec{X}_{i,k}^{GPS} + \vec{v}, \qquad \text{also} \qquad \vec{v} = \vec{X}_{i,k}^{terr} - m \cdot \mathbf{D} \cdot \vec{X}_{i,k}^{GPS}$$

$m = 1 + dm$

$\mathbf{D} = \mathbf{E} + \mathbf{dD}$ dm und $\mathbf{dD}$ enthalten kleine Grössen

$$\vec{v} = \vec{X}_{i,k}^{terr} - (1 + dm) \cdot (\mathbf{E} + \mathbf{dD}) \cdot \vec{X}_{i,k}^{GPS} = \vec{X}_{i,k}^{terr} - (\mathbf{E} + dm \cdot \mathbf{E} + \mathbf{dD} + \underbrace{dm \cdot \mathbf{dD}}_{0}) \cdot \vec{X}_{i,k}^{GPS}$$

$$\vec{v} = \vec{X}_{i,k}^{terr} - \vec{X}_{i,k}^{GPS} - dm \cdot \mathbf{E} \cdot \vec{X}_{i,k}^{GPS} - \mathbf{dD} \cdot \vec{X}_{i,k}^{GPS}$$

Im ausgeglichenen Vektor $\tilde{X}_{i,k}^{terr}$ sind die Näherungskoordinaten und die unbekannten verkürzten Parameter der Koordinatenunbekannten enthalten.

$$\vec{\tilde{X}}_{i,k}^{terr} = \begin{pmatrix} X_{i,k}^{terr} + \delta X_k - \delta X_i \\ Y_{i,k}^{terr} + \delta Y_k - \delta Y_i \\ Z_{i,k}^{terr} + \delta Z_k - \delta Z_i \end{pmatrix}$$

Damit können die Verbesserungsgleichungen ausgeschrieben werden:

$$\begin{pmatrix} v_X \\ v_Y \\ v_Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta X_k & 0 & 0 \\ 0 & \delta Y_k & 0 \\ 0 & 0 & \delta Z_k \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \delta X_i & 0 & 0 \\ 0 & \delta Y_i & 0 \\ 0 & 0 & \delta Z_i \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} dm \cdot X_{i,k}^{GPS} \\ dm \cdot Y_{i,k}^{GPS} \\ dm \cdot Z_{i,k}^{GPS} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & \gamma & -\beta \\ -\gamma & 0 & \alpha \\ \beta & -\alpha & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{i,k}^{GPS} \\ Y_{i,k}^{GPS} \\ Z_{i,k}^{GPS} \end{pmatrix}$$

$$- \begin{pmatrix} X_{i,k}^{GPS} - X_{i,k}^{terr} \\ Y_{i,k}^{GPS} - Y_{i,k}^{terr} \\ Z_{i,k}^{GPS} - Z_{i,k}^{terr} \end{pmatrix} \qquad \text{(Absolutglied)}$$

Die Gewichte der GPS - Beobachtungen sollten die Korrelationen der Komponenten (X, Y, Z) eines Punktes untereinander widerspiegeln, weshalb beschlossen wurde, aus der K_{xx} der GPS - Auswertung 3 x 3 Submatrizen herauszugreifen und zu invertieren, so dass 3 x 3 Gewichtsmatrizen daraus entstehen. Die Schwierigkeit liegt dann darin, von den zu optimistischen inneren Koordinatengenauigkeiten wegzukommen und ein s_0 zu wählen, das der tatsächlichen äusseren Genauigkeit der GPS - Beobachtungen besser entspricht. Erste Berechnungen zeigten, dass die so erhaltenen Genauigkeiten zu unterschiedlich waren. Punkte, auf denen zwei oder drei mal eine Session à 3 Stunden beobachtet worden war, erhielten trotz der s_0 - Anpassung noch zu optimistische Genauigkeiten (2 bis 3 mm). Deshalb wurde aus den GPS-Auswertungen eine aus allen Punkten gemittelte 3x3 - Gewichtsmatrix ausgewählt, die die Charakteristik der Genauigkeiten enthält. Diese wurde dann in Eigenwerte und Eigenvektoren zerlegt. Ein Eigenwert ist deutlich kleiner als die beiden anderen etwa gleich grossen, und sein zugehöriger Eigenvektor zeigt im lokalen Horizontsystem in Richtung der Höhe. Diese mittlere Gewichtsmatrix wurde danach so mit einem Skalar multipliziert, dass die beiden grösseren daraus berechneten Eigenwerte ca. 1 betragen (dies entspricht einem mittleren Lagefehler von ca. 1 cm).

'Einheits-Gewichtsmatrix' P (symmetrisch)

0.4677	-0.1631	-0.3789
	0.9995	-0.2444
		0.6315

Eigenwerte aus P

0.0760	1.1228	0.8999

Eigenvektoren aus P

0.7249	0.0613	-0.6861
0.2930	0.8740	0.3877
0.6234	-0.4821	0.6156

Der erste Eigenwert von 0.0760 zusammen mit seinem Eigenvektor (erste Spalte der Eigenvektoren) stellen die geometrisch schwächer bestimmte Höhe dar.

Aus den GPS-Auswertungen wurden nun Basislinien zum Fixpunkt Visp GPS gewählt und deren Distanz gerechnet. Daraus wurde ein mittlerer Lagefehler m_l von 6mm + 0.6 ppm abgeleitet, in das Gewicht $p_i = 1 / m_l^2$ umgerechnet und damit die 'Einheits-Gewichtsmatrix' **P** skalar multipliziert. Dies wird als Genauigkeit der GPS-Basislinie betrachtet.

4.8.2 Resultate der Ausgleichung

Die reduzierten Beobachtungen wurden als Input für RAUMTRI zusammengestellt. Sie sind im Anhang A2.4 wiedergegeben. Sie enthalten die Näherungskoordinaten der Stationen (Landeskoordinaten), die astronomischen Beobachtungen mit einigen ellipsoidischen Höhen, die Höhenwinkel, die grob orientierten Satzmittel der Richtungsmessungen, die Schrägdistanzen sowie die GPS-Basislinien mit Gewichtsmatrizen.

Nachfolgend sind die Resultate aus der Ausgleichung zusammengestellt. Zuerst folgt die Statistik über die gesamte Ausgleichung, nachher eine Tabelle mit den ausgeglichenen geozentrischen Koordinaten (X0 + DX) mit ihren mittleren Fehlern (SX). Die Koordinaten sind gegenüber [Nebiker, 1988] um einen konstanten Betrag verschoben, da die beiden verwendeten Koordinatensysteme einen verschiedenen Ursprung haben.

Summe pvv	=	127.76816	(aus den Verbesserungen berechnet)
Sigma0	=	1.00000	(Gewichtseinheit a priori)
S0	=	0.95532	(Gewichtseinheit a posteriori)
$S0^2 / Sigma0^2$	=	0.91263	(Testgrösse)
Freiheitsgrad	=	140	(Anzahl überschüssiger Beobachtungen)

4.8.2.1 Die ausgeglichenen Koordinaten und ihre mittleren Fehler

NR		DX M	SIGMAX M	SX M	X0 M	X0 + DX M	(IT)	H/B/L M/G
2	VISP GPS	X 0.0000	0.0000	0.0000	4373119.94070	4373119.94070	(3)	653.9070
	VISP GPS	Y 0.0000	0.0000	0.0000	605337.24816	605337.24816	51 43	57.5552
	VISP GPS	Z 0.0000	0.0000	0.0000	4587757.17202	4587757.17202	8 75	65.9163
21	VISP PP	X -.0015	.0021	.0020	4372923.64730	4372923.64581	(5)	654.5850
	VISP PP	Y .0010	.0017	.0017	605221.87208	605221.87312	51 43	86.6943
	VISP PP	Z .0013	.0021	.0020	4587959.08287	4587959.08413	8 75	53.3169
1	LALDEN GPS	X .0062	.0103	.0099	4372272.12754	4372272.13376	(5)	651.7409
	LALDEN GPS	Y .0066	.0053	.0051	607326.25774	607326.26436	51 44	35.6913
	LALDEN GPS	Z -.0055	.0091	.0087	4588295.70077	4588295.69527	8 78	66.8264
23	NEUBR PP	X .0160	.0046	.0044	4376273.82269	4376273.83868	(6)	697.8959
	NEUBR PP	Y .0037	.0042	.0040	605548.84046	605548.84414	51 39	25.6020
	NEUBR PP	Z -.0089	.0044	.0042	4584801.98724	4584801.97837	8 75	33.8043
25	LIECHTB PP	X .0213	.0064	.0061	4378843.48606	4378843.50737	(6)	926.1601
	LIECHTB PP	Y .0386	.0059	.0056	604548.03051	604548.06912	51 36	14.1206
	LIECHTB PP	Z -.0099	.0066	.0063	4582811.58920	4582811.57931	8 73	40.3084
26	EMBD PP	X .0144	.0070	.0067	4380114.38305	4380114.39745	(6)	1411.2887
	EMBD PP	Y .0458	.0059	.0056	602269.44103	602269.48686	51 35	29.3511
	EMBD PP	Z .0063	.0066	.0063	4582575.07074	4582575.07704	8 69	90.2750
24	STALDEN PP/TP	X .0439	.0053	.0051	4377941.92305	4377941.96699	(6)	826.0279
	STALDEN PP/TP	Y .0537	.0049	.0047	605356.73053	605356.78421	51 37	12.8296
	STALDEN PP/TP	Z -.0378	.0053	.0051	4583422.43966	4583422.40188	8 74	73.4655
28	STNIK PP	X .0279	.0075	.0072	4382493.51945	4382493.54735	(6)	1113.0493
	STNIK PP	Y .0186	.0071	.0068	601066.23516	601066.25373	51 31	97.0421
	STNIK PP	Z -.0105	.0071	.0068	4580058.76496	4580058.75450	8 67	72.0819
27	SÄLLI PP	X .0303	.0072	.0069	4381661.57462	4381661.60490	(6)	1074.3228
	SÄLLI PP	Y .0264	.0067	.0064	601594.65641	601594.68284	51 32	97.5371
	SÄLLI PP	Z -.0076	.0067	.0064	4580726.79914	4580726.79152	8 68	63.7110
36	ZERMATT PP	X .1120	.0125	.0120	4397131.79698	4397131.90899	(6)	1691.0492
	ZERMATT PP	Y -.2509	.0149	.0142	598101.20149	598100.95062	51 12	96.4907
	ZERMATT PP	Z .0856	.0131	.0125	4567290.79992	4567290.88548	8 60	65.2767
22	VISPERT PP/TP	X -.0372	.0039	.0038	4374948.55315	4374948.51598	(6)	892.3041
	VISPERT PP/TP	Y .0377	.0040	.0038	605992.05637	605992.09411	51 41	17.4116
	VISPERT PP/TP	Z .0359	.0044	.0042	4586269.06211	4586269.09800	8 76	23.2743
29	MÄTTELI PP	X .0125	.0097	.0093	4385197.20525	4385197.21772	(6)	1289.5022
	MÄTTELI PP	Y -.0140	.0092	.0087	599877.31652	599877.30247	51 28	65.2025
	MÄTTELI PP	Z -.0028	.0098	.0094	4577887.03566	4577887.03287	8 65	49.8137
30	HERBRI PP	X .0279	.0091	.0087	4386446.70133	4386446.72925	(6)	1276.0174
	HERBRI PP	Y -.0365	.0092	.0088	600343.66864	600343.63209	51 26	83.5611
	HERBRI PP	Z -.0060	.0090	.0086	4576618.34382	4576618.33777	8 65	91.8984
31	RANDA PP	X .0635	.0094	.0090	4389469.18792	4389469.25144	(6)	1500.4520
	RANDA PP	Y -.1075	.0105	.0100	600256.90495	600256.79746	51 22	91.5300
	RANDA PP	Z .0367	.0099	.0094	4574061.57708	4574061.61381	8 65	20.6418
32	WEGWEI PP	X .0777	.0100	.0096	4390649.84342	4390649.92109	(6)	1428.8704
	WEGWEI PP	Y -.1546	.0110	.0105	599839.22984	599839.07526	51 21	30.2228
	WEGWEI PP	Z .0590	.0103	.0099	4572890.89327	4572890.95230	8 64	38.2044
33	TÄSCH PP	X .0978	.0099	.0094	4392783.31009	4392783.40791	(6)	1470.4685
	TÄSCH PP	Y -.2104	.0119	.0113	599786.49403	599786.28363	51 18	41.8903
	TÄSCH PP	Z .0708	.0103	.0099	4570919.78677	4570919.85757	8 63	89.2260

NR		DX M	SIGMAX M	SX M	X0 M	X0 + DX M	(IT)	H/B/L M/G
34	SCHILANG PP	X .1036	.0102	.0098	4394166.07102	4394166.17466	(6)	1542.2906
	SCHILANG PP	Y -.2301	.0125	.0119	599705.05114	599704.82107	51 16	60.1565
	SCHILANG PP	Z .0763	.0108	.0103	4569709.75450	4569709.83076	8 63	50.7869
35	SCHÜTZ PP	X .1094	.0114	.0109	4395490.12264	4395490.23208	(6)	1619.9677
	SCHÜTZ PP	Y -.2423	.0138	.0132	598898.36796	598898.12563	51 15	.6208
	SCHÜTZ PP	Z .0864	.0121	.0116	4568657.71826	4568657.80461	8 62	10.3879
37	STALDB EX	X .0014	.0034	.0032	4374120.91636	4374120.91781	(5)	661.4467
	STALDB EX	Y -.0012	.0030	.0029	605682.73059	605682.72942	51 42	14.6004
	STALDB EX	Z .0026	.0038	.0036	4586774.31336	4586774.31593	8 75	95.4661
39	RANDA EX	X .0643	.0095	.0091	4389736.12084	4389736.18511	(6)	1406.0056
	RANDA EX	Y -.1139	.0104	.0100	599823.46518	599823.35127	51 22	53.9062
	RANDA EX	Z .0404	.0097	.0093	4573732.52284	4573732.56324	8 64	53.7378
6	SÄLLI GPS	X .0291	.0073	.0070	4381770.77340	4381770.80249	(6)	1077.8436
	SÄLLI GPS	Y .0256	.0067	.0064	601572.94574	601572.97135	51 32	83.3007
	SÄLLI GPS	Z -.0093	.0068	.0065	4580630.75416	4580630.74481	8 68	58.4770
8	HERBRI GPS	X .0236	.0091	.0087	4386198.34441	4386198.36805	(6)	1235.5068
	HERBRI GPS	Y -.0311	.0091	.0087	600247.01122	600246.98013	51 27	15.5962
	HERBRI GPS	Z -.0105	.0090	.0086	4576811.20056	4576811.19008	8 65	82.9710
13	KALPETR GPS	X .0214	.0066	.0063	4379891.95897	4379891.98035	(6)	950.6660
	KALPETR GPS	Y .0362	.0057	.0055	603209.79684	603209.83306	51 34	97.9823
	KALPETR GPS	Z -.0112	.0063	.0060	4582025.38276	4582025.37154	8 71	28.7772
3	STALDB GPS	X .0009	.0034	.0032	4374122.84265	4374122.84357	(5)	663.6743
	STALDB GPS	Y -.0017	.0029	.0028	605705.34044	605705.33878	51 42	14.1206
	STALDB GPS	Z .0011	.0037	.0036	4586772.60707	4586772.60821	8 75	98.6567
4	NEUBR GPS	X .0120	.0046	.0044	4376290.01830	4376290.03032	(6)	697.2538
	NEUBR GPS	Y .0029	.0042	.0040	605573.29668	605573.29962	51 39	22.8574
	NEUBR GPS	Z -.0120	.0044	.0042	4584782.54095	4584782.52892	8 75	36.9752
5	STALDEN GPS	X .0133	.0053	.0051	4377921.39359	4377921.40685	(6)	824.3942
	STALDEN GPS	Y .0286	.0049	.0047	605348.76443	605348.79301	51 37	15.6436
	STALDEN GPS	Z -.0133	.0053	.0051	4583440.70860	4583440.69535	8 74	72.7309
7	STNIK GPS	X .0255	.0080	.0076	4383285.73367	4383285.75914	(6)	1095.8033
	STNIK GPS	Y .0093	.0090	.0086	600922.59237	600922.60166	51 30	89.3663
	STNIK GPS	Z -.0208	.0076	.0073	4579300.48904	4579300.46821	8 67	36.1139
9	RANDA GPS	X .0661	.0095	.0091	4389779.28874	4389779.35489	(6)	1406.8321
	RANDA GPS	Y -.1140	.0105	.0100	599861.22106	599861.10701	51 22	47.3438
	RANDA GPS	Z .0408	.0097	.0093	4573687.59386	4573687.63465	8 64	58.2731
10	TÄSCH GPS	X .0954	.0099	.0095	4392231.26959	4392231.36503	(6)	1441.6402
	TÄSCH GPS	Y -.1981	.0115	.0110	600148.42973	600148.23164	51 19	8.2279
	TÄSCH GPS	Z .0600	.0102	.0097	4571359.50906	4571359.56909	8 64	51.4517
11	SCHILANG GPS	X .1011	.0103	.0098	4394129.88452	4394129.98559	(6)	1530.8469
	SCHILANG GPS	Y -.2302	.0125	.0119	599700.08941	599699.85925	51 16	64.1250
	SCHILANG GPS	Z .0750	.0108	.0103	4569729.07373	4569729.14873	8 63	50.7836
12	ZERMATT GPS	X .1146	.0126	.0120	4397145.62259	4397145.73723	(6)	1690.6009
	ZERMATT GPS	Y -.2507	.0149	.0142	598089.92133	598089.67063	51 12	94.7554
	ZERMATT GPS	Z .0883	.0131	.0125	4567278.41730	4567278.50559	8 60	63.4059
40	LIECHTB TP	X .0532	.0067	.0064	4379055.13399	4379055.18723	(6)	997.5152
	LIECHTB TP	Y -.0091	.0062	.0059	604345.62546	604345.61634	51 35	95.7586
	LIECHTB TP	Z -.0352	.0072	.0068	4582736.04573	4582736.01057	8 73	7.2573

NR		DX M	SIGMAX M	SX M	X0 M	X0 + DX M	(IT)	H/B/L M/G
41	SCHLANG TP	X .1121	.0103	.0098	4394157.64030	4394157.75243	(6)	1527.7953
	SCHLANG TP	Y -.1880	.0125	.0120	599631.26911	599631.08109	51 16	61.3026
	SCHLANG TP	Z .0637	.0108	.0104	4569707.28980	4569707.35349	8 63	40.4623
42	ZERMATT TP	X .0939	.0126	.0120	4397136.77868	4397136.87258	(6)	1692.5468
	ZERMATT TP	Y -.2679	.0149	.0143	598088.53965	598088.27170	51 12	96.1894
	ZERMATT TP	Z .1046	.0131	.0125	4567289.76472	4567289.86937	8 60	63.3784
38	STNIK EX	X .0274	.0077	.0074	4382972.16534	4382972.19274	(6)	1130.7784
	STNIK EX	Y .0141	.0078	.0074	601131.11511	601131.12920	51 31	31.8333
	STNIK EX	Z -.0121	.0074	.0070	4579619.88959	4579619.87748	8 67	71.9719

I			DX CC	SIGMAX CC	SX CC	X0 CC	X0 + DX CC	XI/ETA CC
2	VISP GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	VISP GPS	PHI	14.6748	3.0000	2.8660	514357.55525	514372.23000	14.67
	VISP GPS	LAMDA	-3.9463	3.0000	2.8660	87565.91632	87561.97000	-2.73
21	VISP PP	OMEGA	-1.8610	2.9238	2.7931	3574.15224	3572.29120	
	VISP PP	PHI	10.2389	.6459	.6171	514386.69412	514396.93305	10.24
	VISP PP	LAMDA	-7.6436	.7499	.7164	87553.31668	87545.67308	-5.28
1	LALDEN GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	LALDEN GPS	PHI	.0000	0.0000	0.0000	514435.69219	514435.69219	0.00
	LALDEN GPS	LAMDA	.0000	0.0000	0.0000	87866.82562	87866.82562	0.00
23	NEUBR PP	OMEGA	-6.6644	2.8574	2.7297	3560.36789	3553.70347	
	NEUBR PP	PHI	33.0875	2.2905	2.1881	513925.60378	513958.69133	33.09
	NEUBR PP	LAMDA	-.9230	2.9694	2.8367	87533.80408	87532.88105	-.64
25	LIECHTB PP	OMEGA	7.5381	2.8944	2.7651	3411.77800	3419.31605	
	LIECHTB PP	PHI	49.8977	2.7336	2.6114	513614.12323	513664.02095	49.90
	LIECHTB PP	LAMDA	8.8431	2.7113	2.5902	87340.30335	87349.14644	6.11
26	EMBD PP	OMEGA	41.8724	1.8640	1.7807	3164.52291	3206.39532	
	EMBD PP	PHI	11.1950	.6914	.6605	513529.35217	513540.54721	11.20
	EMBD PP	LAMDA	56.7811	.8881	.8484	86990.26870	87047.04978	39.28
24	STALDEN PP/TP	OMEGA	-286.1695	2.1439	2.0481	3798.42736	3512.25785	
	STALDEN PP/TP	PHI	35.1765	.6700	.6401	513712.83584	513748.01232	35.18
	STALDEN PP/TP	LAMDA	3.5745	.6489	.6199	87473.45869	87477.03322	2.47
28	STNIK PP	OMEGA	21.5029	2.9828	2.8495	3003.64375	3025.14662	
	STNIK PP	PHI	33.8073	2.2835	2.1815	513197.04496	513230.85227	33.81
	STNIK PP	LAMDA	23.1019	2.9240	2.7934	86772.07980	86795.18165	15.99
27	SÄLLI PP	OMEGA	16.1279	2.8468	2.7196	3071.88217	3088.01005	
	SÄLLI PP	PHI	38.0140	2.4493	2.3399	513297.54005	513335.55405	38.02
	SÄLLI PP	LAMDA	18.7112	2.9340	2.8029	86863.70787	86882.41909	12.95
36	ZERMATT PP	OMEGA	7.8413	3.4627	3.3080	2485.98987	2493.83117	
	ZERMATT PP	PHI	2.0007	2.6742	2.5547	511296.49036	511298.49107	2.00
	ZERMATT PP	LAMDA	4.7778	2.9631	2.8307	86065.31454	86070.09233	3.34
22	VISPERT PP/TP	OMEGA	-34.2691	1.8370	1.7549	3640.07817	3605.80904	
	VISPERT PP/TP	PHI	31.3380	.6043	.5773	514117.40680	514148.74484	31.33
	VISPERT PP/TP	LAMDA	-28.5370	.9290	.8875	87623.26817	87594.73118	-19.73
29	MÄTTELI PP	OMEGA	32.6850	2.9386	2.8073	2842.57062	2875.25567	
	MÄTTELI PP	PHI	39.2211	2.3840	2.2775	512865.20342	512904.42449	39.22
	MÄTTELI PP	LAMDA	35.1938	2.9720	2.8392	86549.81599	86585.00978	24.38

I			DX CC	SIGMAX CC	SX CC	X0 CC	X0 + DX CC	XI/ETA CC
30	HERBRI PP	OMEGA	8.0460	3.0055	2.8712	2872.34896	2880.39492	
	HERBRI PP	PHI	40.6678	2.2311	2.1314	512683.56318	512724.23097	40.67
	HERBRI PP	LAMDA	-3.1646	2.9859	2.8525	86591.90418	86588.73962	-2.19
31	RANDA PP	OMEGA	-.5087	2.8633	2.7354	2820.90665	2820.39799	
	RANDA PP	PHI	32.2977	2.2457	2.1454	512291.53091	512323.82866	32.30
	RANDA PP	LAMDA	-19.0557	2.9007	2.7711	86520.65835	86501.60261	-13.20
32	WEGWEI PP	OMEGA	18.7393	2.8776	2.7490	2759.98777	2778.72705	
	WEGWEI PP	PHI	26.9465	2.3257	2.2217	512130.22278	512157.16930	26.95
	WEGWEI PP	LAMDA	4.1569	2.9773	2.8443	86438.22788	86442.38481	2.90
33	TÄSCH PP	OMEGA	17.1791	2.8056	2.6803	2724.71652	2741.89559	
	TÄSCH PP	PHI	18.7144	2.2168	2.1177	511841.89030	511860.60466	18.71
	TÄSCH PP	LAMDA	9.7182	2.9536	2.8216	86389.25785	86398.97600	6.76
34	SCHLANG PP	OMEGA	.4367	3.0945	2.9562	2698.15785	2698.59454	
	SCHLANG PP	PHI	17.2578	2.4040	2.2966	511660.15632	511677.41410	17.26
	SCHLANG PP	LAMDA	-3.9165	2.9571	2.8249	86350.82160	86346.90510	-2.69
35	SCHÜTZ PP	OMEGA	8.3576	3.0205	2.8855	2592.75689	2601.11447	
	SCHÜTZ PP	PHI	1.2510	2.5088	2.3967	511500.62024	511501.87127	1.25
	SCHÜTZ PP	LAMDA	5.7881	2.9341	2.8030	86210.42446	86216.21257	4.04
37	STALDB EX	OMEGA	15.0677	4.2510	4.0611	3591.70054	3606.76819	
	STALDB EX	PHI	25.9400	2.6027	2.4864	514214.60033	514240.54034	25.94
	STALDB EX	LAMDA	-7.3422	2.9936	2.8599	87595.46629	87588.12407	-5.07
39	RANDA EX	OMEGA	10.8478	4.2567	4.0665	2771.24536	2782.09314	
	RANDA EX	PHI	26.2259	2.8572	2.7296	512253.90690	512280.13278	26.23
	RANDA EX	LAMDA	2.0372	2.9026	2.7729	86453.75523	86455.79240	1.42
6	SÄLLI GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	SÄLLI GPS	PHI	39.7163	.7000	.6687	513283.30370	513323.02000	39.72
	SÄLLI GPS	LAMDA	15.8761	.9000	.8598	86858.47394	86874.35000	10.99
8	HERBRI GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	HERBRI GPS	PHI	41.6849	.8793	.8400	512715.59827	512757.28316	41.69
	HERBRI GPS	LAMDA	2.5774	.8266	.7896	86582.97589	86585.55331	1.79
13	KALPETR GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	KALPETR GPS	PHI	44.3234	2.9621	2.8297	513497.98494	513542.30833	44.33
	KALPETR GPS	LAMDA	3.7122	2.8254	2.6991	87128.77243	87132.48465	2.57
3	STALDB GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	STALDB GPS	PHI	25.8394	3.0000	2.8660	514214.12056	514239.96000	25.84
	STALDB GPS	LAMDA	-8.3970	3.0000	2.8660	87598.65698	87590.26000	-5.80
4	NEUBR GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	NEUBR GPS	PHI	32.4909	3.0000	2.8660	513922.85914	513955.35000	32.49
	NEUBR GPS	LAMDA	-2.8250	3.0000	2.8660	87536.97501	87534.15000	-1.95
5	STALDEN GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	STALDEN GPS	PHI	34.2042	3.0000	2.8660	513715.64575	513749.85000	34.21
	STALDEN GPS	LAMDA	.2229	3.0000	2.8660	87472.72708	87472.95000	.15
7	STNIK GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	STNIK GPS	PHI	42.3301	2.7692	2.6455	513089.36965	513131.69974	42.33
	STNIK GPS	LAMDA	11.8187	2.9632	2.8308	86736.11306	86747.93173	8.18
9	RANDA GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	RANDA GPS	PHI	26.9554	3.0000	2.8660	512247.34457	512274.29999	26.96
	RANDA GPS	LAMDA	.7694	3.0000	2.8660	86458.29060	86459.06000	.55

I			DX CC	SIGMAX CC	SX CC	X0 CC	X0 + DX CC	XI/ETA CC
10	TÄSCH GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	TÄSCH GPS	PHI	20.3491	2.7646	2.6411	511908.22861	511928.57769	20.35
	TÄSCH GPS	LAMDA	-11.0085	2.9532	2.8213	86451.48176	86440.47331	-7.62
11	SCHLANG GPS	OMEGA	1.3999	5.0257	4.8012	2698.15548	2699.55542	
	SCHLANG GPS	PHI	16.8353	3.0000	2.8660	511664.12475	511680.96000	16.84
	SCHLANG GPS	LAMDA	-2.9483	3.0000	2.8660	86350.81832	86347.87000	-2.02
12	ZERMATT GPS	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	ZERMATT GPS	PHI	4.2150	3.0000	2.8660	511294.75501	511298.97000	4.21
	ZERMATT GPS	LAMDA	5.6763	3.0000	2.8660	86063.44374	86069.12000	3.97
40	LIECHTB TP	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	LIECHTB TP	PHI	54.6453	3.0000	2.8660	513595.76474	513650.41000	54.65
	LIECHTB TP	LAMDA	7.5404	3.0000	2.8660	87307.25963	87314.80000	5.22
41	SCHLANG TP	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	SCHLANG TP	PHI	18.2657	.6200	.5923	511661.30432	511679.57000	18.27
	SCHLANG TP	LAMDA	-1.7612	1.2700	1.2133	86340.49125	86338.73000	-1.20
42	ZERMATT TP	OMEGA	.0000	0.0000	0.0000	.00000	.00000	
	ZERMATT TP	PHI	3.8838	3.0000	2.8660	511296.18624	511300.07000	3.88
	ZERMATT TP	LAMDA	5.9017	3.0000	2.8660	86063.41833	86069.32000	4.13
38	STNIK EX	OMEGA	10.2991	4.4081	4.2111	3004.46312	3014.76218	
	STNIK EX	PHI	38.4578	2.5155	2.4031	513131.83626	513170.29406	38.46
	STNIK EX	LAMDA	9.5679	2.9635	2.8310	86771.97043	86781.53828	6.62

REFR	2.65	1.49	1.42	.125	.151	Refraktion 1
REFR	-7.84	1.23	1.17	.125	.047	Refraktion 2
REFR	-1.41	1.22	1.16	.125	.111	Refraktion 3
REFR	-.98	1.32	1.26	.125	.115	Refraktion 4
ALPHA	0.00	.20	.19	.000	0.000	GPS-Verdrehung (fixiert)
BETA	-.15	.38	.37	.000	-.153	GPS-Verdrehung (fixiert)
GAMMA	0.00	.20	.19	.000	.004	GPS-Verdrehung (fixiert)
GMST	.10	.18	.17	.000	.097	GPS-Massstab in ppm

Bemerkung: Die drei Verdrehungen zwischen GPS- und terrestrischem System Alpha, Beta und Gamma wurden auf Null fixiert, nachdem sich bei Vorausgleichungen gezeigt hatte, dass keine signifikanten Verdrehungen vorhanden sind und insbesondere, weil die Orientierung des Polygonzuges aus GPS übernommen werden sollte.

4.8.2.2 Verbesserungen an den GPS-Koordinaten

Von den Verbesserungen an den Beobachtungen interessieren hier besonders die Verbesserungen an den GPS-Koordinaten, die nachfolgend dargestellt sind. Zu Beginn sind die Trimble Beobachtungen aufgeführt.

Basislinie		geozentrisch cm	Landeskoordinaten cm	
GPSVISP	GPSKAL	vX = -1.36	vx = -0.39	(gegen Norden)
		vY = -0.39	vy = -0.20	(gegen Osten)
		vZ = -2.03	vh = -2.44	(Höhe)
GPSVISP	GPSRANDA	vX = 1.00	vx = -1.49	
		vY = -0.55	vy = -0.68	
		vZ = -1.20	vh = -0.23	
GPSVISP	GPSZERMA	vX = 0.41	vx = -2.49	
		vY = -1.37	vy = -1.41	
		vZ = -3.37	vh = -2.27	
GPSVISP	GPSLALD	vX = 0.00	vx = 0.00	
		vY = 0.00	vy = 0.00	
		vZ = 0.00	vh = 0.00	
GPSVISP	PPVISP	vX = 0.41	vx = -1.29	
		vY = -0.40	vy = -0.45	
		vZ = -1.50	vh = -0.84	
GPSVISP	GPSSTALB	vX = 0.80	vx = -0.50	
		vY = 0.36	vy = 0.25	
		vZ = 0.15	vh = 0.69	
GPSSTALB	PPVTERM	vX = -0.05	vx = -0.66	
		vY = 2.23	vy = 2.22	
		vZ = -0.70	vh = -0.33	
GPSSTALB	GPSNEUBR	vX = -1.00	vx = 0.42	
		vY = -0.21	vy = -0.08	
		vZ = -0.46	vh = -1.03	
GPSNEUBR	GPSSTALD	vX = 0.27	vx = -0.32	
		vY = -0.16	vy = -0.19	
		vZ = -0.20	vh = 0.02	
GPSSTALD	GPSKAL	vX = -1.43	vx = -0.05	
		vY = -0.47	vy = -0.27	
		vZ = -1.62	vh = -2.20	
GPSKAL	PPEMBD	vX = 1.10	vx = 0.53	
		vY = -1.01	vy = -1.15	
		vZ = 1.75	vh = 1.92	
GPSKAL	GPSSALLI	vX = 1.33	vx = -0.49	
		vY = 0.15	vy = -0.04	
		vZ = 0.69	vh = 1.42	
GPSSALLI	PPSTNIK	vX = -0.81	vx = 0.09	
		vY = -0.76	vy = -0.64	
		vZ = -0.81	vh = -1.21	
PPSTNIK	GPSSTSEE	vX = 1.11	vx = -0.29	
		vY = 0.35	vy = 0.20	
		vZ = 0.78	vh = 1.36	

Basislinie		geozentrisch cm		Landeskoordinaten cm		
GPSSTSEE	GPSRANDA	vX = 0.63		vx = -0.28		
		vY = 0.19		vy = 0.11		
		vZ = 0.27		vh = 0.64		
GPSRANDA	PPWEGGW	vX = -0.07		vx = -0.13		
		vY = 0.32		vy = 0.33		
		vZ = -0.21		vh = -0.17		
GPSRANDA	GPSTAESC	vX = -1.25		vx = -0.06		
		vY = -0.64		vy = -0.46		
		vZ = -1.48		vh = -1.98		
GPSTAESC	GPSSCHLA	vX = 0.28		vx = -0.97		
		vY = -0.43		vy = -0.47		
		vZ = -1.17		vh = -0.70		
GPSSCHLA	PPSCHAUS	vX = 0.06		vx = -0.03		
		vY = 0.05		vy = 0.04		
		vZ = 0.03		vh = 0.07		
PPSCHAUS	GPSZERMA	vX = 0.43		vx = 0.06		
		vY = 0.11		vy = 0.05		
		vZ = 0.55		vh = 0.70		
GPSVISP	GPSKAL	vX = 0.64		vx = 0.56		Ab hier WM 101-Messungen
		vY = 0.01		vy = -0.07		
		vZ = 1.47		vh = 1.50		
GPSVISP	GPSSTNIK	vX = -0.55		vx = 1.37		
		vY = 0.20		vy = 0.27		
		vZ = 1.45		vh = 0.68		
GPSVISP	GPSRANDA	vX = 0.20		vx = 1.04		
		vY = -0.05		vy = -0.08		
		vZ = 1.70		vh = 1.36		
GPSVISP	GPSTAESC	vX = -0.36		vx = 0.57		
		vY = 0.51		vy = 0.55		
		vZ = 0.53		vh = 0.18		
GPSVISP	GPSSCHLA	vX = -0.28		vx = 0.64		
		vY = -0.63		vy = -0.58		
		vZ = 0.55		vh = 0.15		
GPSVISP	GPSZERMA	vX = -0.29		vx = 1.00		
		vY = 0.63		vy = 0.66		
		vZ = 1.23		vh = 0.75		
GPSVISP	GPSNEUBR	vX = -1.10		vx = 0.63		
		vY = -0.55		vy = -0.40		
		vZ = -0.31		vh = -1.02		
GPSVISP	GPSSTALD	vX = 0.77		vx = 0.25		
		vY = 0.19		vy = 0.08		
		vZ = 1.19		vh = 1.41		
GPSVISP	PPVISP	vX = -2.29		vx = 0.31		
		vY = -0.50		vy = -0.19		
		vZ = -2.00		vh = -3.06		
GPSVISP	PPVTERM	vX = 5.25		vx = 1.07		
		vY = 1.39		vy = 0.66		
		vZ = 7.16		vh = 8.89		

Basislinie		geozentrisch cm	Landeskoordinaten cm
GPSVISP	PPCACHE	vX = -0.38	vx = -0.25
		vY = 0.19	vy = 0.24
		vZ = -0.73	vh = -0.76
GPSVISP	GPSSTALB	vX = -4.80	vx = 1.16
		vY = -1.84	vy = -1.17
		vZ = -3.55	vh = -6.03
GPSVISP	PPTAESCH	vX = -1.16	vx = 1.41
		vY = 0.41	vy = 0.57
		vZ = 0.89	vh = -0.12

Die grossen Verbesserungen treten vor allem an den Höhen auf. Die zwei Punkte Täsch und Schlangengrueb sind an Zermatt angeschlossen, dessen Höhe über die ca. 30 km von Visp her offenbar nicht sehr gut bestimmt wurde. Daneben haben aber auch die beiden nahe bei Visp gelegenen Punkte Visperterminen und Staldbach grosse Höhenverbesserungen von 8.42 bzw. -5.69 cm erhalten. Die grösste Lageverbesserung tritt an der y-Koordinate von Täsch mit -2.2 cm auf, sonst sind sie durchwegs unter 2 cm.

In den Abbildungen 22 und 23 sind die Grundrisse bzw. Aufrisse der Fehlerellipsoide der GPS-Stationen dargestellt. Daraus geht hervor, dass der mittlere Fehler der Distanz Visp-Zermatt **ca. 11 mm** beträgt, also ca. **0.3 ppm**. Damit steht ein Satz von Koordinaten zur Verfügung, der sämtliche bisher ausgeführten Messungen beinhaltet. Die erreichte Genauigkeit kann unter den gegebenen Umständen als optimal betrachtet werden. Die relativen Distanzgenauigkeiten benachbarter GPS-Stationen sind im Bereich von einigen mm. Dennoch müssen - gehen wir einmal von gleich grossen Beträgen für die Krustenverkürzungen wie für die Hebungsraten von ca. 0.5 mm/Jahr über die ganze Strecke aus - einige Jahre verstreichen, bis solche signifikant nachgewiesen werden können. Über terrestrische Messungen können die Stationen nicht wesentlich genauer bestimmt werden, wohl aber über GPS-Messungen.

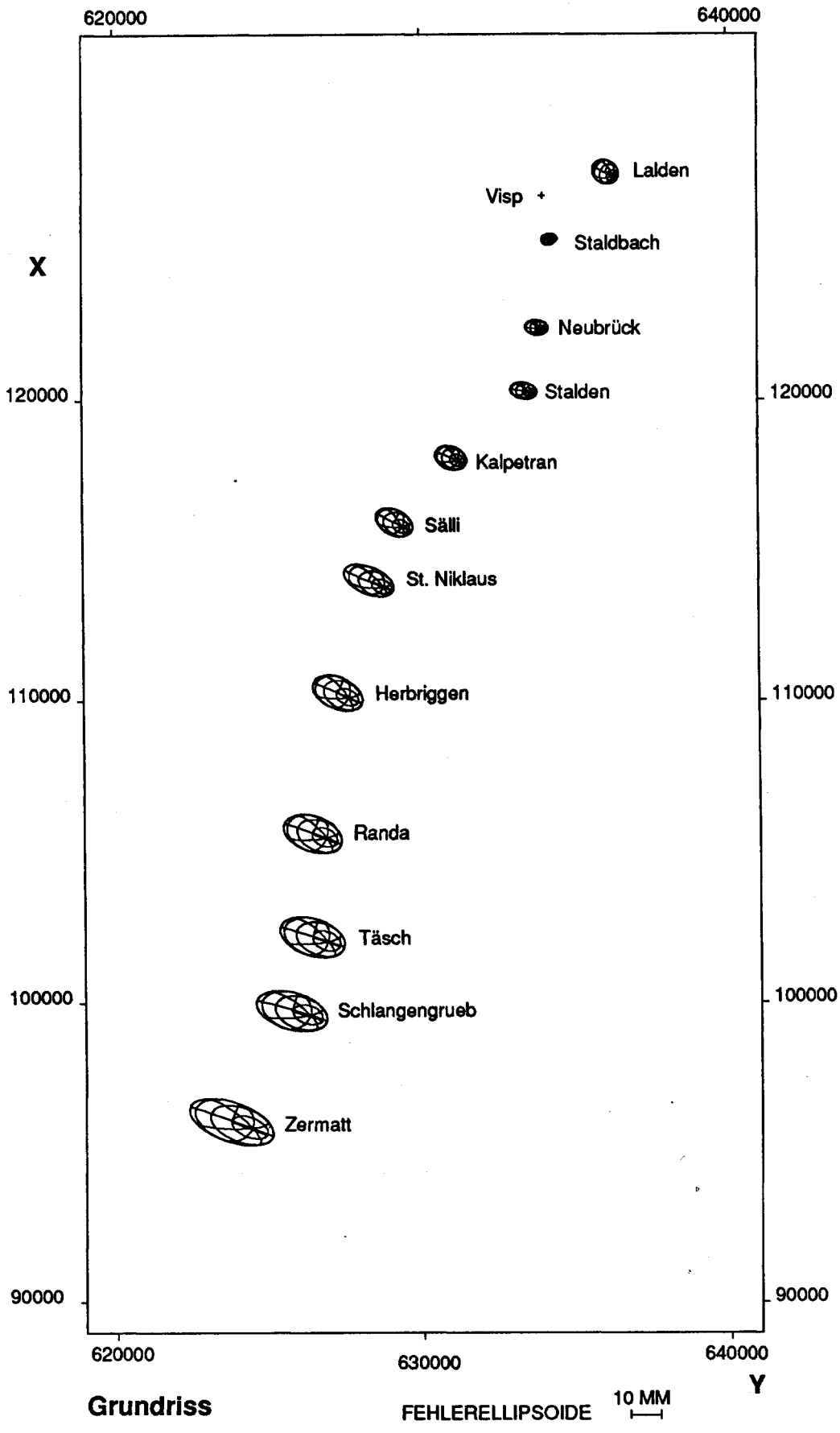


Abb. 22: Grundriss der mittleren Fehlerellipsoide aus RAUMTRI

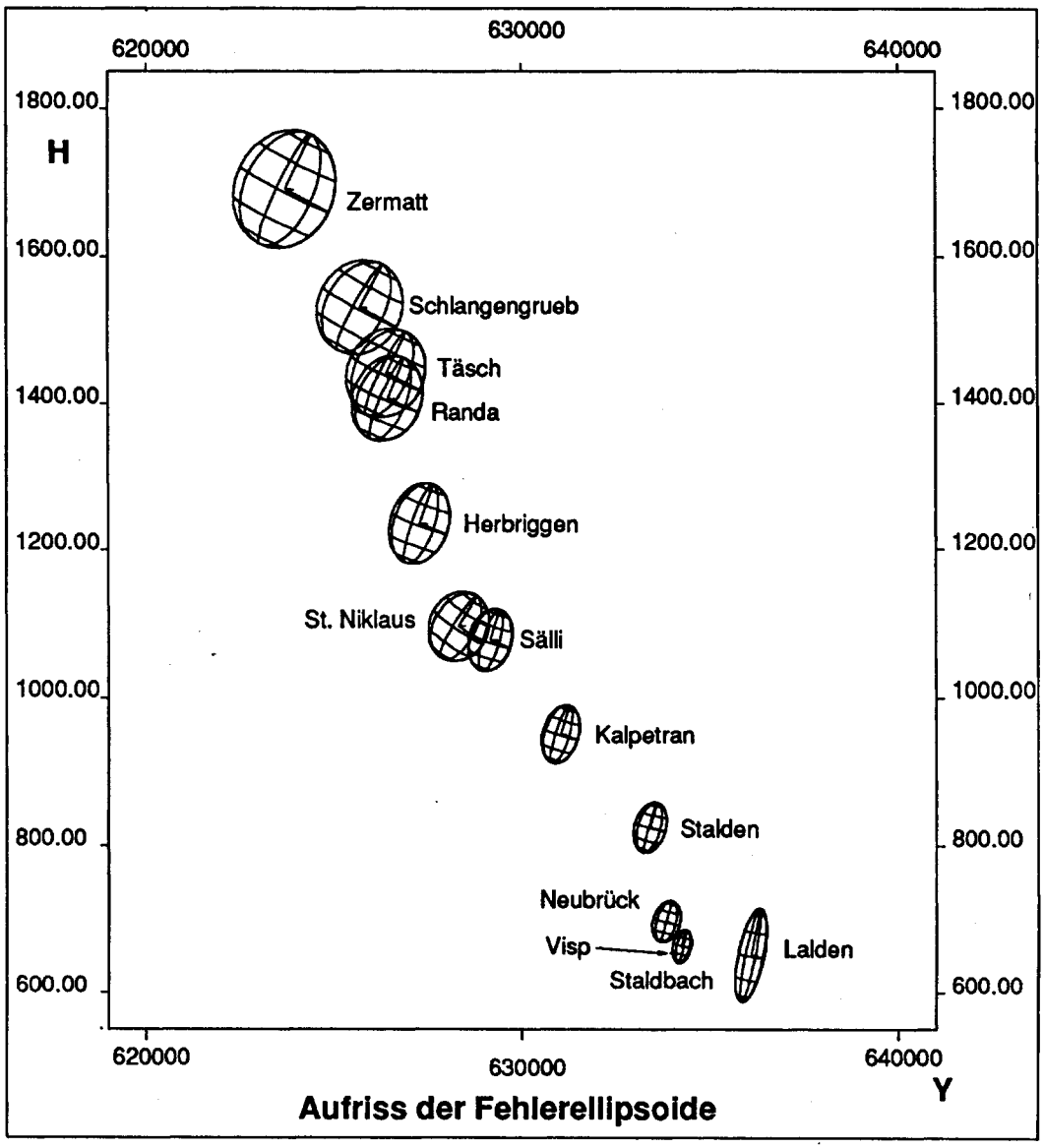


Abb. 23: Aufriss der mittleren Fehlerellipsoide aus RAUMTRI

5. Astro - geodätische Arbeiten

B. Wirth, A. Geiger, U. Marti, B. Bürki (IGP)

5.1 Einleitung

In der Zeit vom Juni bis September 1986 wurden entlang der Osttraverse 54 Messstationen rekognosziert. 14 Stationen davon wurden als sogenannte "Punktverdichtung Ostschweiz" eingefügt. Sie sind in einem Streifen entlang der Landesgrenze gegen Österreich angeordnet und sollen einem nahtlosen Zusammenpassen der Österreichischen und der Schweizerischen Astro-geodätischen Geoidbestimmung dienen. In demselben Zeitraum wurden die Feldmessungen auf 37 dieser Stationen durchgeführt. Die Ausmessung der TZK-Filme am Stereokomparator und die anschliessenden Berechnungen der Lotabweichungen waren Mitte November 1986 abgeschlossen.

Im Juni 1987 wurden 12 Stationen in der Westtraverse zwischen Biel und Lenk rekognosziert. Am 27. Juli 1987 wurde der Diplomvermessungskurs des IGP der ETHZ im Wallis eröffnet. Eine Gruppe von Vermessungsingenieur-Diplomanden hatte die Aufgabe erhalten, einen Präzisions-Polygonzug von Visp nach Zermatt zu messen, so dass alle 12 GPS-Fixpunkte darauf eingemessen werden konnten (vgl. Kap. 4). Im Rahmen dieser Feldarbeiten, die ebenfalls für NFP 20 von Nutzen sind, wurden zwischen Visp und Zermatt 8 Stationen mit dem TZK3 Messystem vermessen. In derselben Zeit wurden entlang der Westtraverse zusätzlich 5 Stationen zwischen Tseuzier (nördlich Crans-Montana) und Turtig rekognosziert und gemessen. Im September erfolgten die Beobachtungen zwischen Lenk und Biel sowie in Zimmerwald. Damit waren die Feldmessungen auf der Westtraverse abgeschlossen. Zwischen dem 22. September und dem 20. Oktober 1987 wurden die übriggebliebenen 17 Stationen in der Osttraverse vermessen. Im November 1987 schliesslich wurden 4 Stationen in der Südtraverse gemessen. Hier wurden nicht, wie ursprünglich vorgesehen, 10 Stationen bestimmt, weil dieses Gebiet durch die Ivrea-Projekte des IGP bereits dicht genug mit Astro-Stationen versehen war. Die eingesparten Punkte wurden in die beiden anderen Traversen verschoben.

Die Ausmessung der TZK - Filme war bis Mitte Dezember abgeschlossen. Im Anhang A3.1 sind die gewählten Stationen mit Namen, Landes-, Bessel-Koordinaten und den gemessenen astronomischen Positionen zusammengestellt. Ebenfalls sind im Anhang A3.5 die Punktprotokolle aller Stationen zu finden. Abb. 24 enthält die Messpunktverteilung, und die beobachteten Oberflächenlotabweichungen sind in Figur 25 dargestellt.

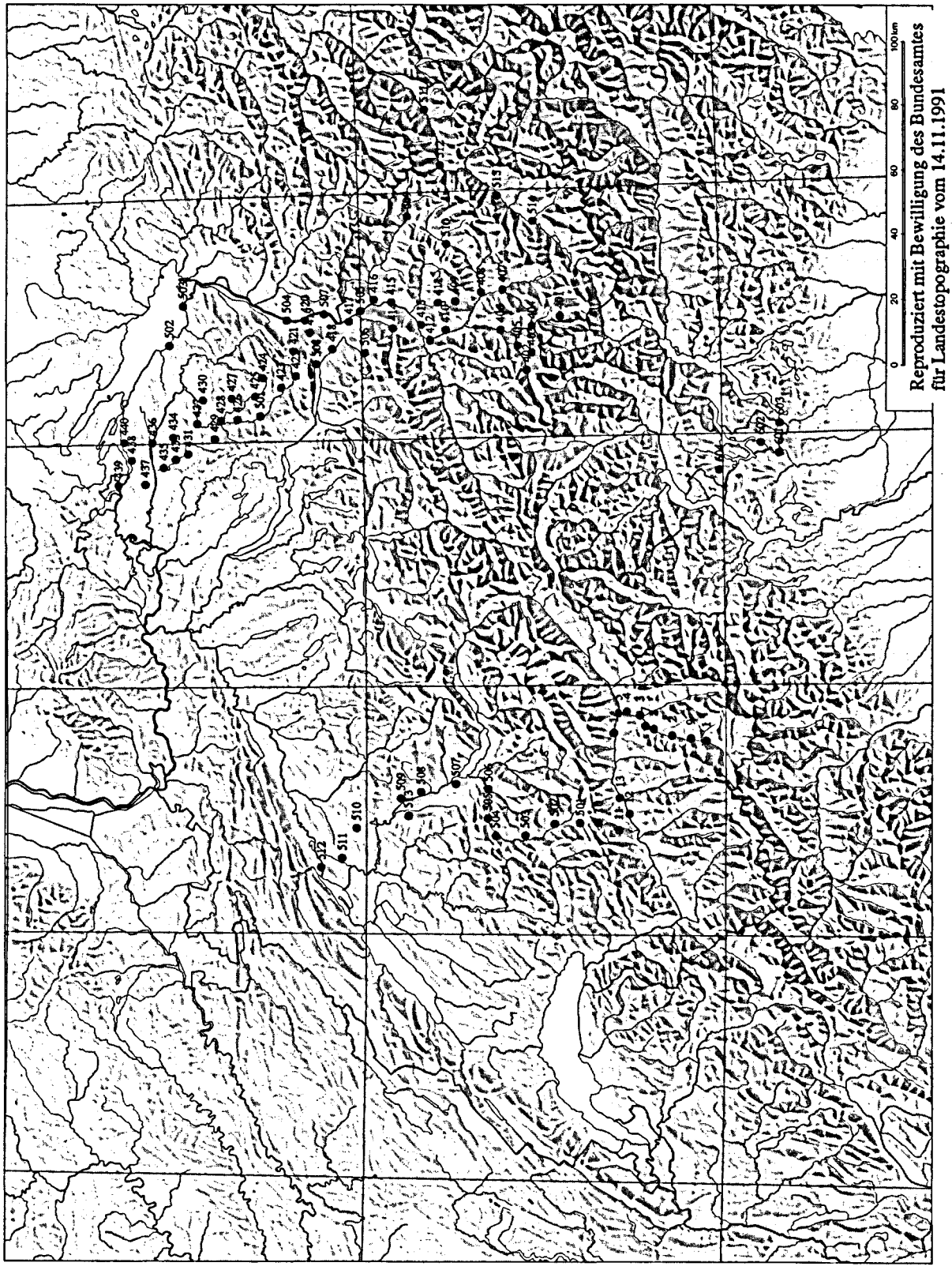


Abb. 24: Astro-geodätische Stationen für NFP20

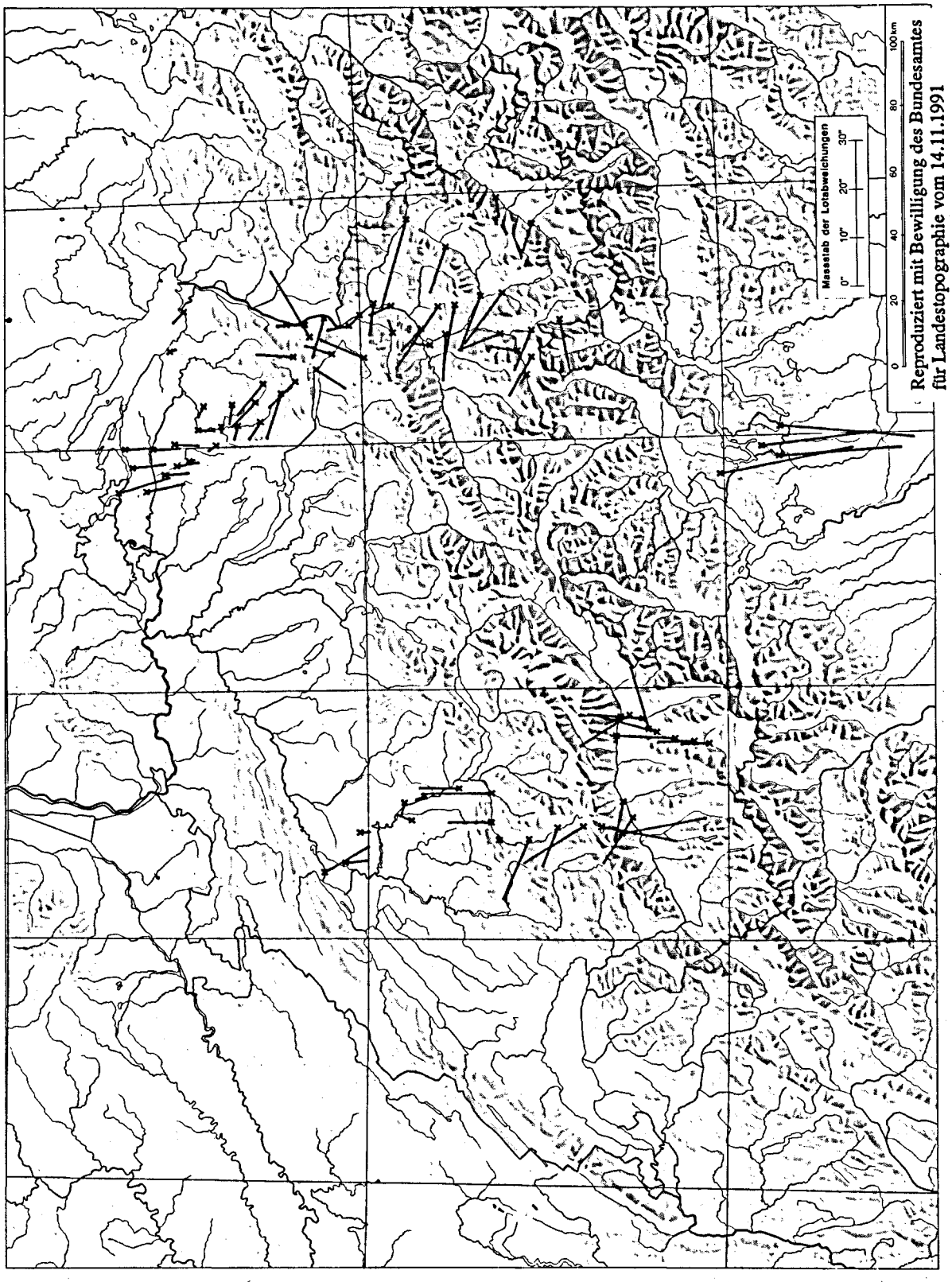


Abb. 25: Beobachtete Oberflächenlotabweichungen

5.2 Reduktionen und Interpretation

5.2.1 Reduktionen

Die beobachteten Lotabweichungen sind zunächst nicht ohne weiteres interpretierbar, sondern müssen um die Einflüsse von bekannten Störmassen korrigiert werden. Für die Berücksichtigung der Topographie steht ein digitales Höhenmodell der Schweiz mit einer Rasterweite von 500 Metern zur Verfügung. Um die Genauigkeit der Berechnung zu steigern, muss jedoch ein 50 m - Höhenraster in einem Gebiet von 4 km² um jeden Messpunkt vorliegen. Dies ergibt für die 84 gemessenen Stationen eine zu digitalisierende Fläche von total 336 km². Im Gebiet der Osttraverse konnten vom Institut für Geophysik der ETHZ 140 km² übernommen werden. In der Westtraverse standen uns vom Bundesamt für Landestopographie 32 km² zur Verfügung (8 Punkte zwischen Visp und Zermatt). Die verbleibenden 164 km² wurden von uns im Winter 1986/87 und im Herbst 1987 erhoben. Mit dem so zusammengestellten Höhenraster wurde die Wirkung der sichtbaren Topographie mit dem Programm LAG berechnet (Abb. 26). Die im Programm verwendete Modelldichte für die Topographie beträgt 2.65 g/cm³.

Zudem wurden die Effekte des in [Wirth et al., 1987] Seite 38, 39 beschriebenen dreidimensionalen Modells des Ivrea-Körpers in unseren Stationen berechnet (Figur 27). Die Modell-Lotabweichungen der Po-Sedimente, die in demselben Bericht Seite 15 ff vorgestellt werden, sind in Figur 28 dargestellt. Schliesslich sind in Figur 29 die Modellwirkungen des Moho-Modells dargestellt. Der Dichtekontrast zwischen Kruste und Mantel wurde dabei konstant als 0.43 g/cm³ angenommen, die Ausgleichstiefe zu 34 km, was der mittleren Mohotiefe des ganzen Modells entspricht. Die berechneten Einflüsse dieser 4 Modelle sind im Anhang A3.2 dokumentiert.

Figur 30 zeigt die Summe der Wirkungen der Moho, der Ivrea-Zone und der Sedimente der Po-Ebene, also die Modellwirkung der als bekannt angenommenen Tiefenstrukturen. Im Vergleich dazu ist in Figur 31 die Differenz zwischen den gemessenen Lotabweichungen und der Topowirkung dargestellt. Wenn die in Figur 30 dargestellten Modellwirkungen der Tiefenstrukturen von Figur 31 subtrahiert werden, ergibt sich das Residualfeld der Figur 32, welches als konstanter regionaler Trend interpretiert werden kann. Dieser Trend ist teilweise eine Folge der unvollständigen Einzugsgebiete unserer Modelle sowie eine Folge der auf das Schweizerische Bessel-Ellipsoid bezogenen Lotabweichungen (Datum). Wenn dieses Regionalfeld in Form zweier Konstanten $\Delta\xi$ und $\Delta\eta$ bestimmt und von den Werten der Figur 32 subtrahiert wird, ergibt sich Figur 33. Danach bleiben nur kleine Signale übrig, die von lokalen Dichteanomalien oberflächennaher Strukturen (wie z.B. dem Molassebecken des Mittellandes) sowie von Modellfehlern der 4 erwähnten Modelle verursacht werden. Es zeigt

sich aber doch, dass das Muster der Oberflächenlotabweichungen mit Hilfe der 4 Modelle grösstenteils erzeugt werden kann.

In Figur 34 sind nochmals die Oberflächenlotabweichungen abgebildet, aber diesmal von allen Punkten der Schweiz (Stand 1988) sowie des benachbarten Auslandes, für die die astronomische Länge und Breite bestimmt wurden [SGK Bände 9, 20, 22, 24 und 26, Elmiger, 1969, Gurtner, 1978, Bürki, 1985, Wirth et al., 1986, Wirth et al., 1987]. Figur 35 zeigt das topographisch reduzierte (nur 500 Meterraster) Residualfeld all dieser Stationen. Die Wirkungen der geologischen Tiefenstrukturen sind hier eindrücklich erkennbar. Insbesondere ist die Wirkung der Ivrea-Zone im südlichen Teil der Schweiz deutlich hervorgehoben.

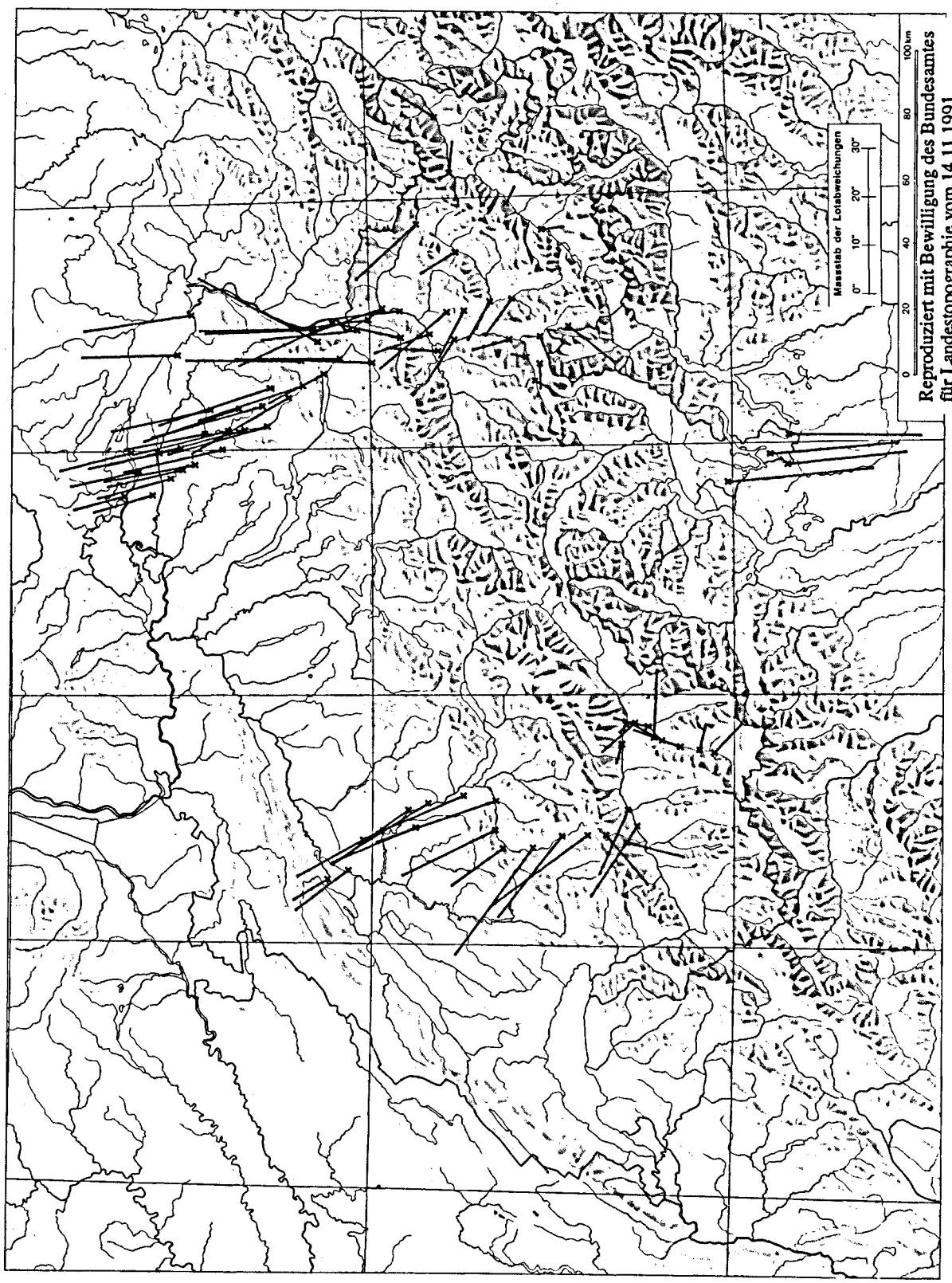


Abb. 26: Modellwirkungen der sichtbaren Topographie

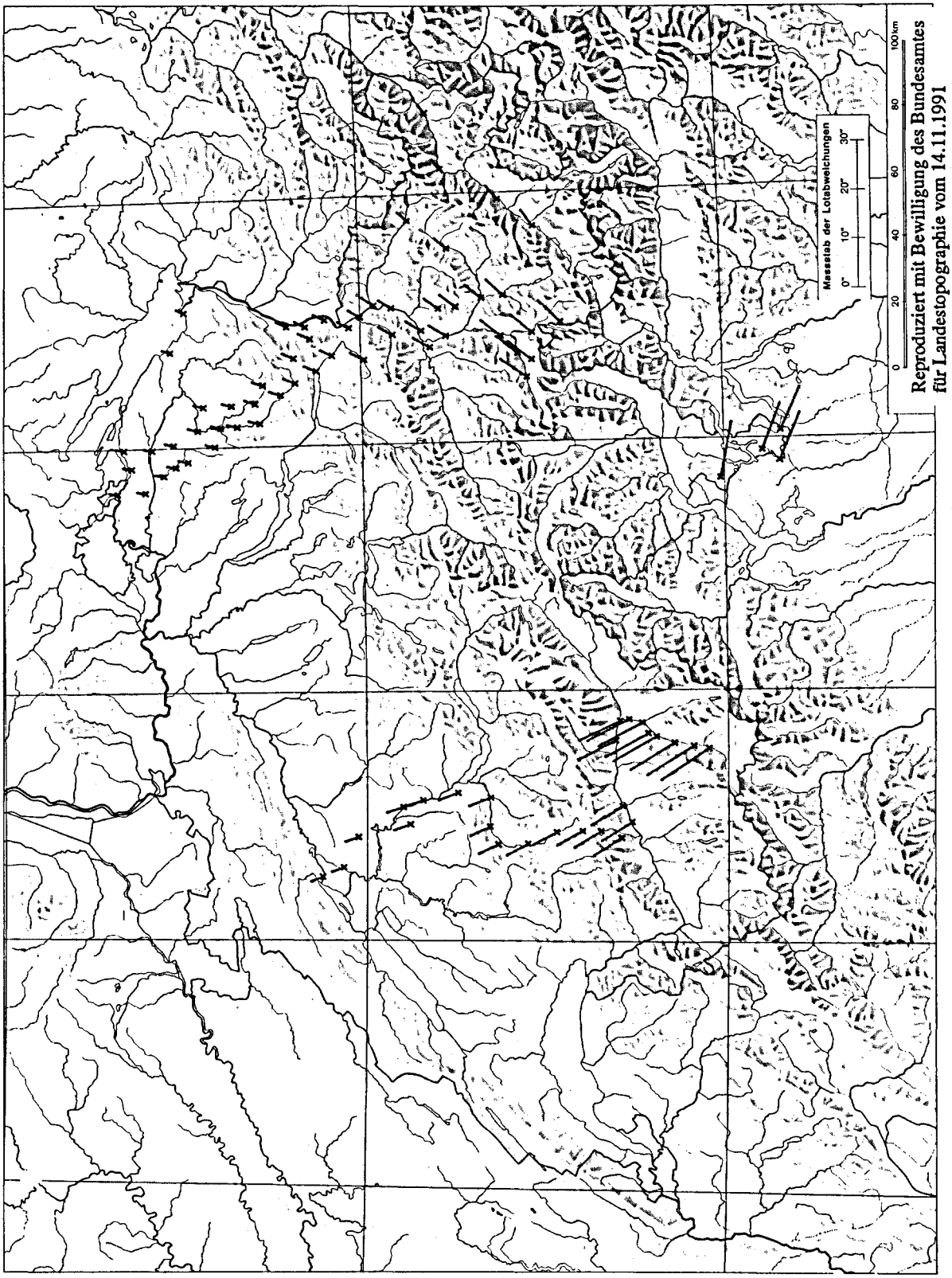


Abb. 27: Einfluss des Ivreakörpers

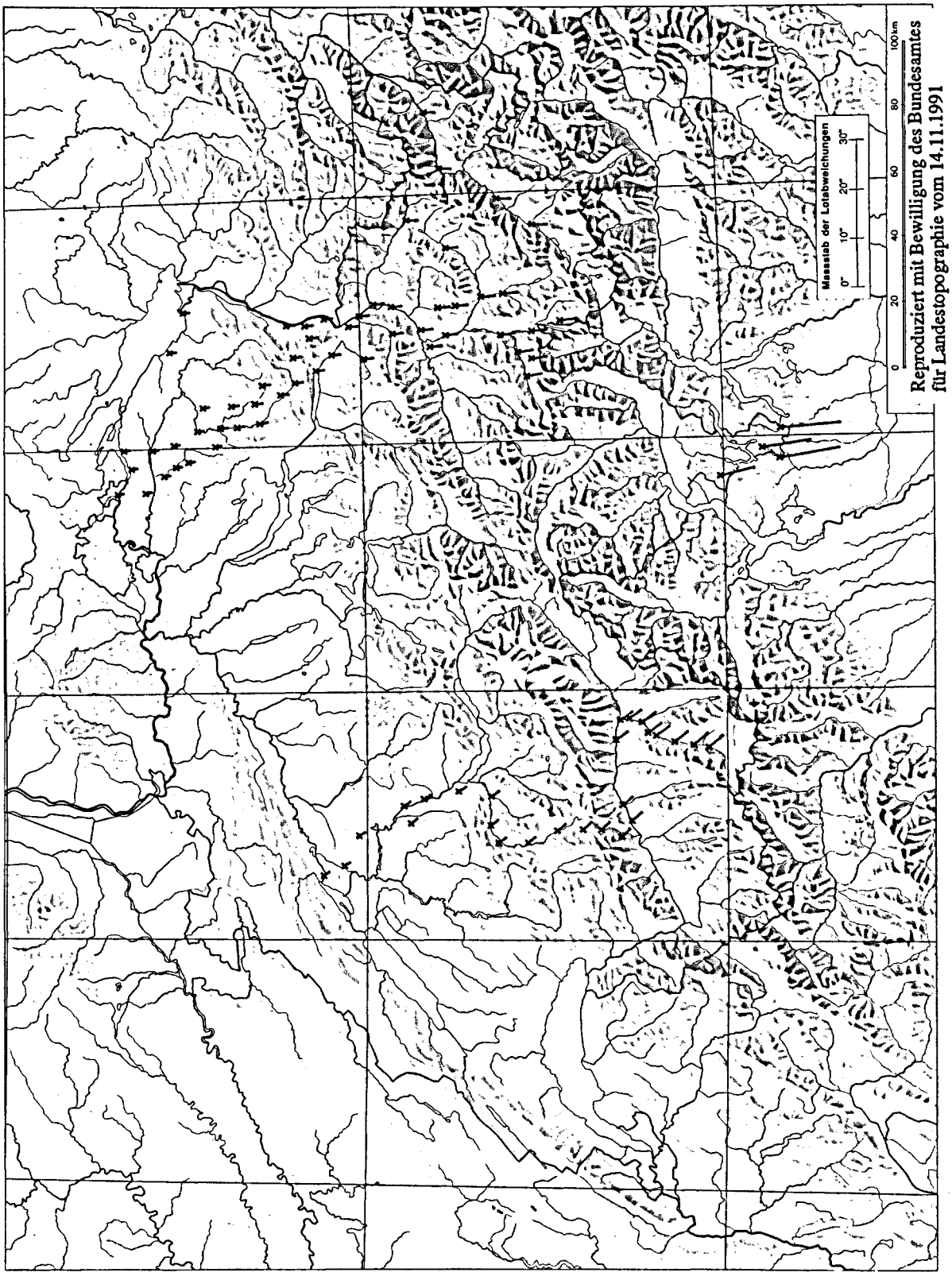


Abb. 28: Einfluss der Po-Sedimente

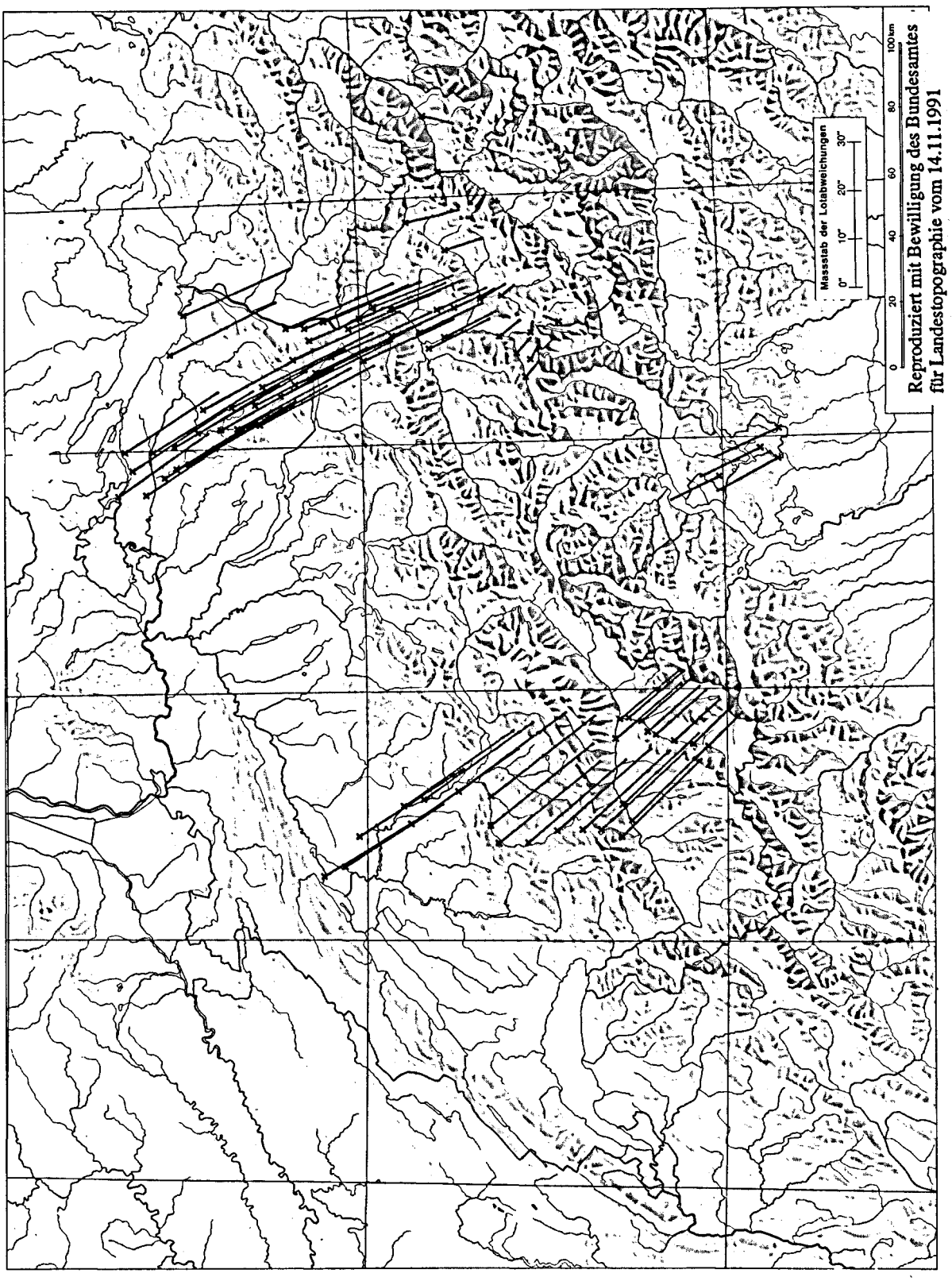


Abb. 29: Einfluss der Moho-Tiefe

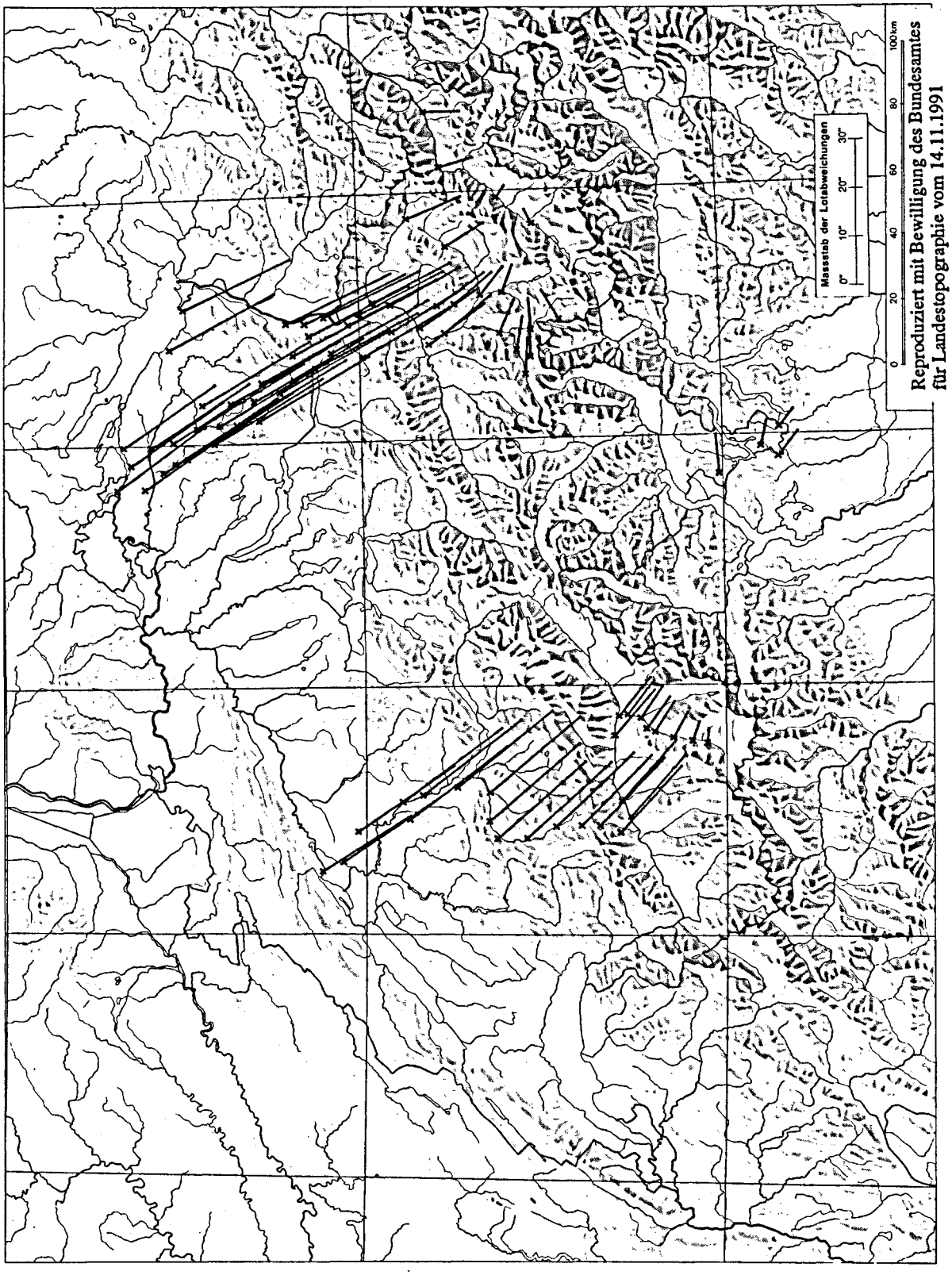


Abb. 30: Modellwirkungen der Tiefenstrukturen (Moho, Ivrea, Po-Sedimente)

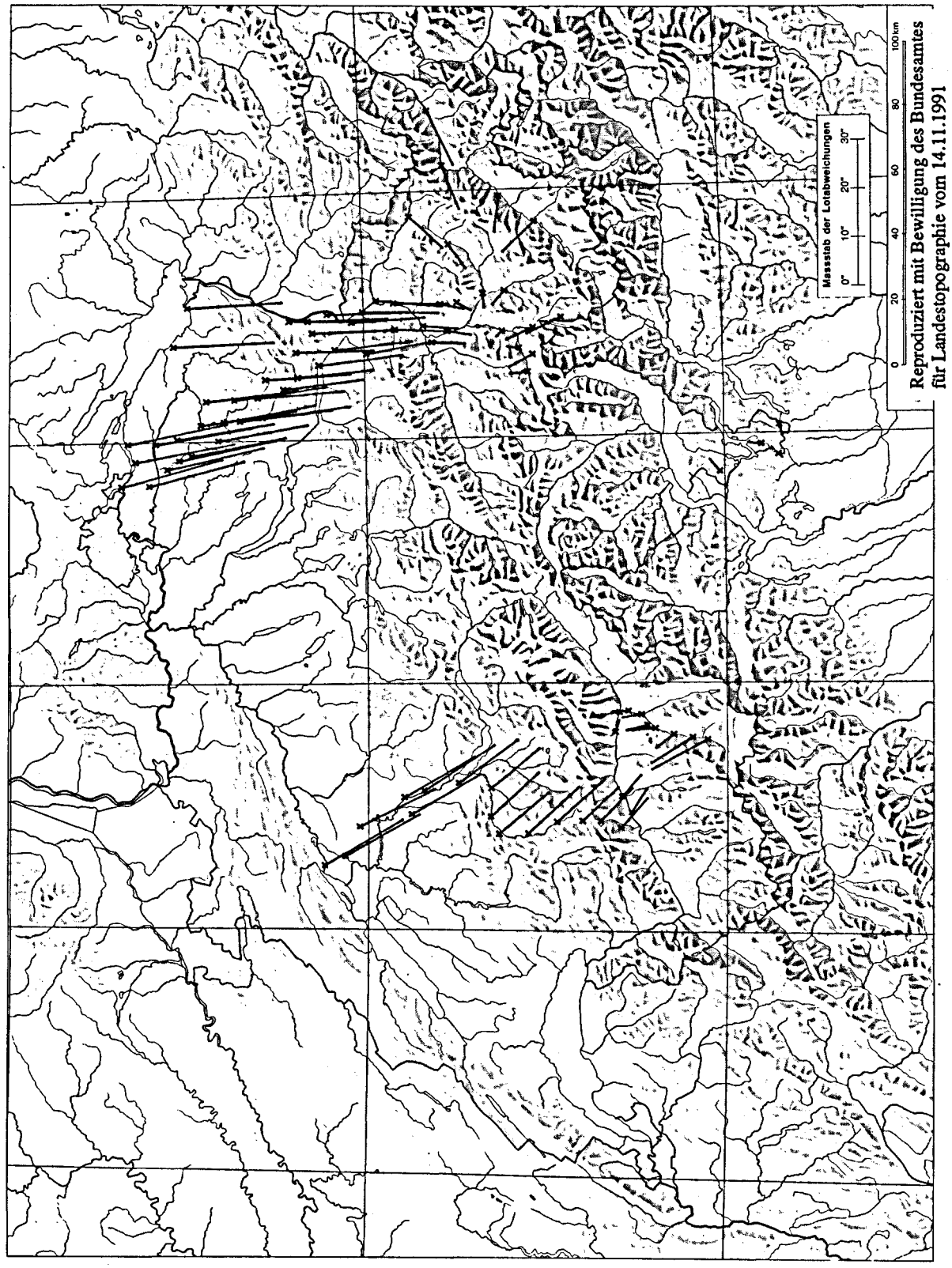


Abb. 31: Topographisch reduzierte Lotabweichungen

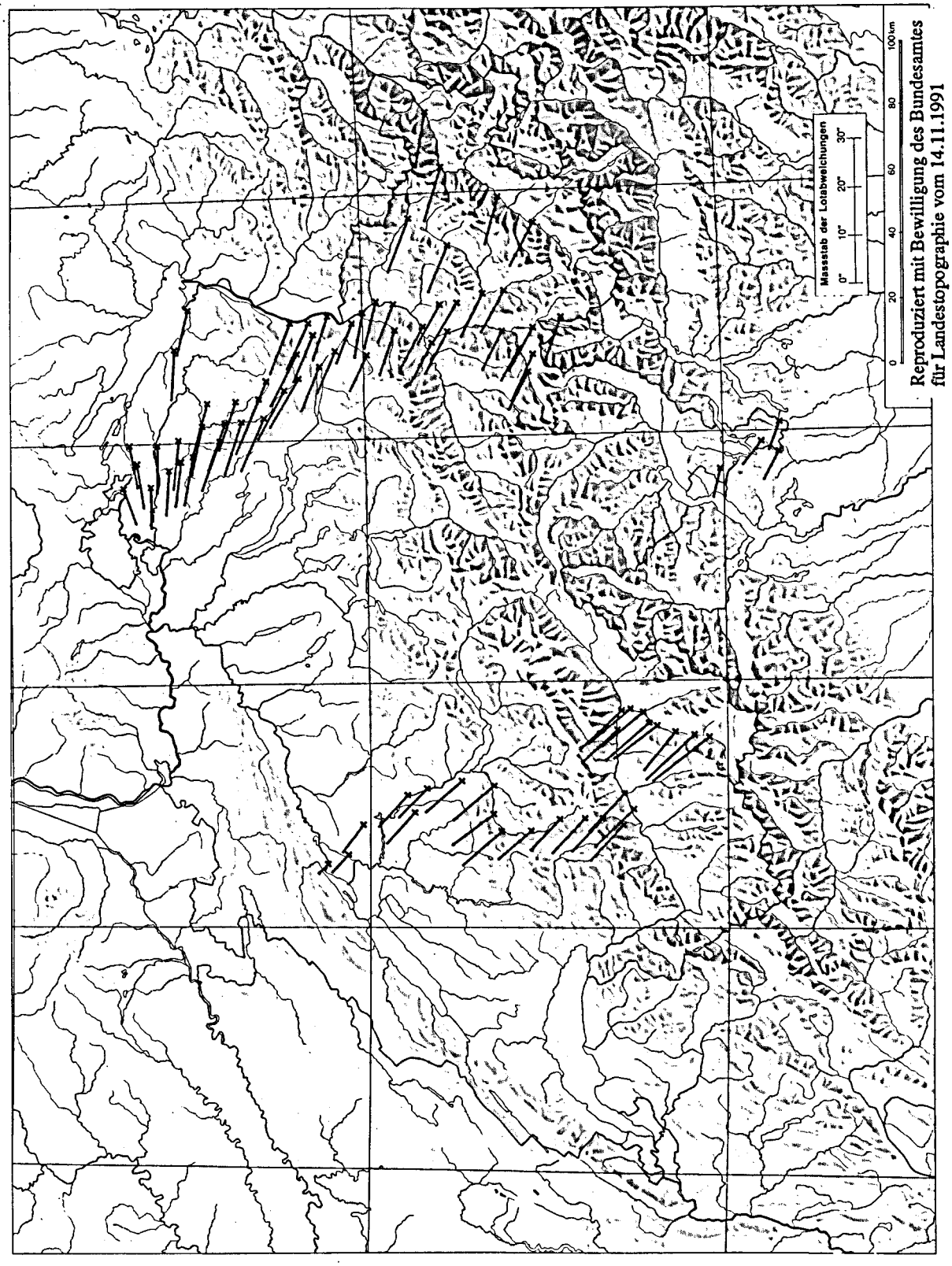


Abb. 32: Reduzierte Lotabweichungen (Beobachtet - Topo - Moho - Ivrea -Po)

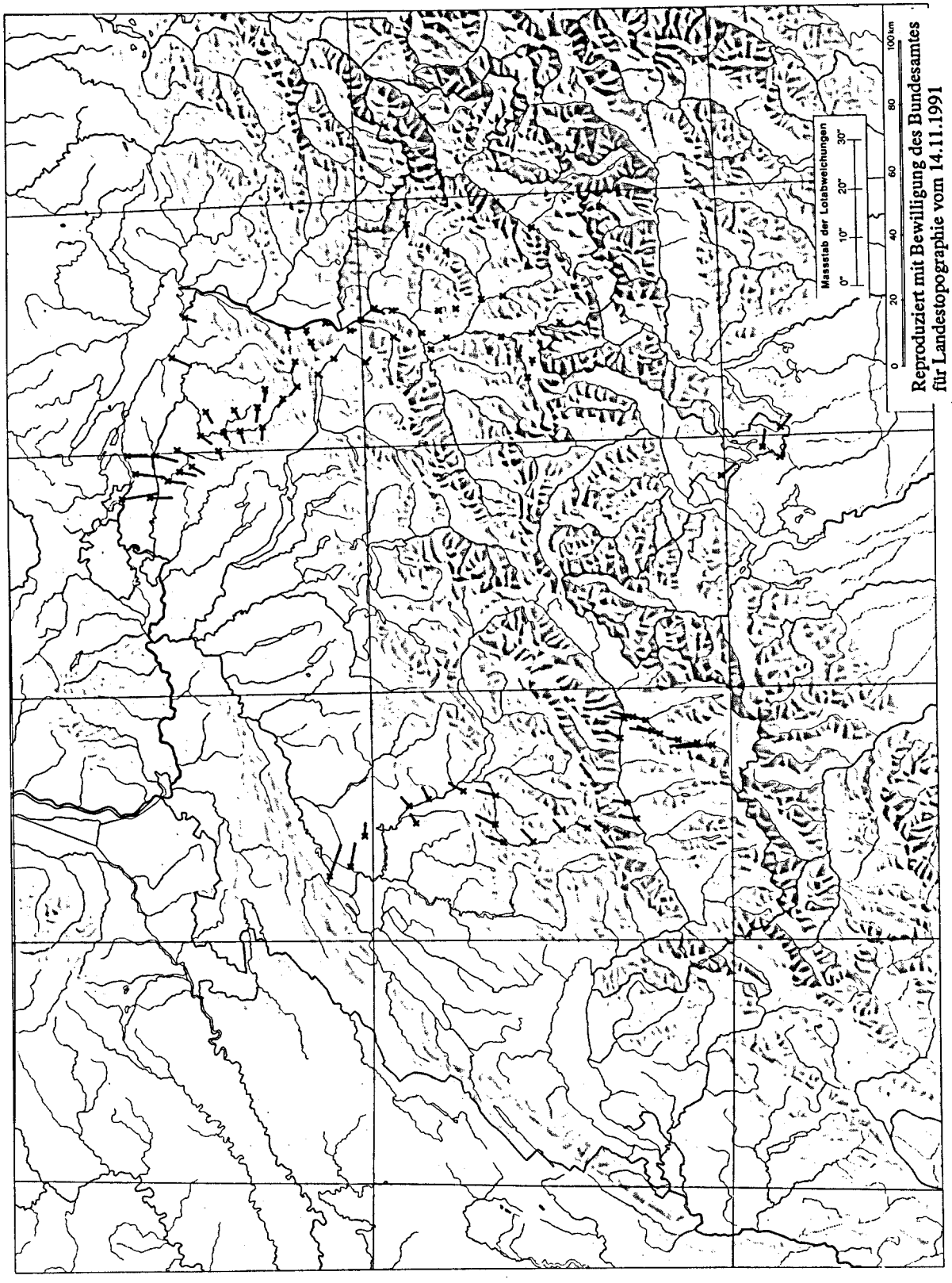


Abb. 33: Residualfeld der Abb. 32, reduziert um mittleren Offset

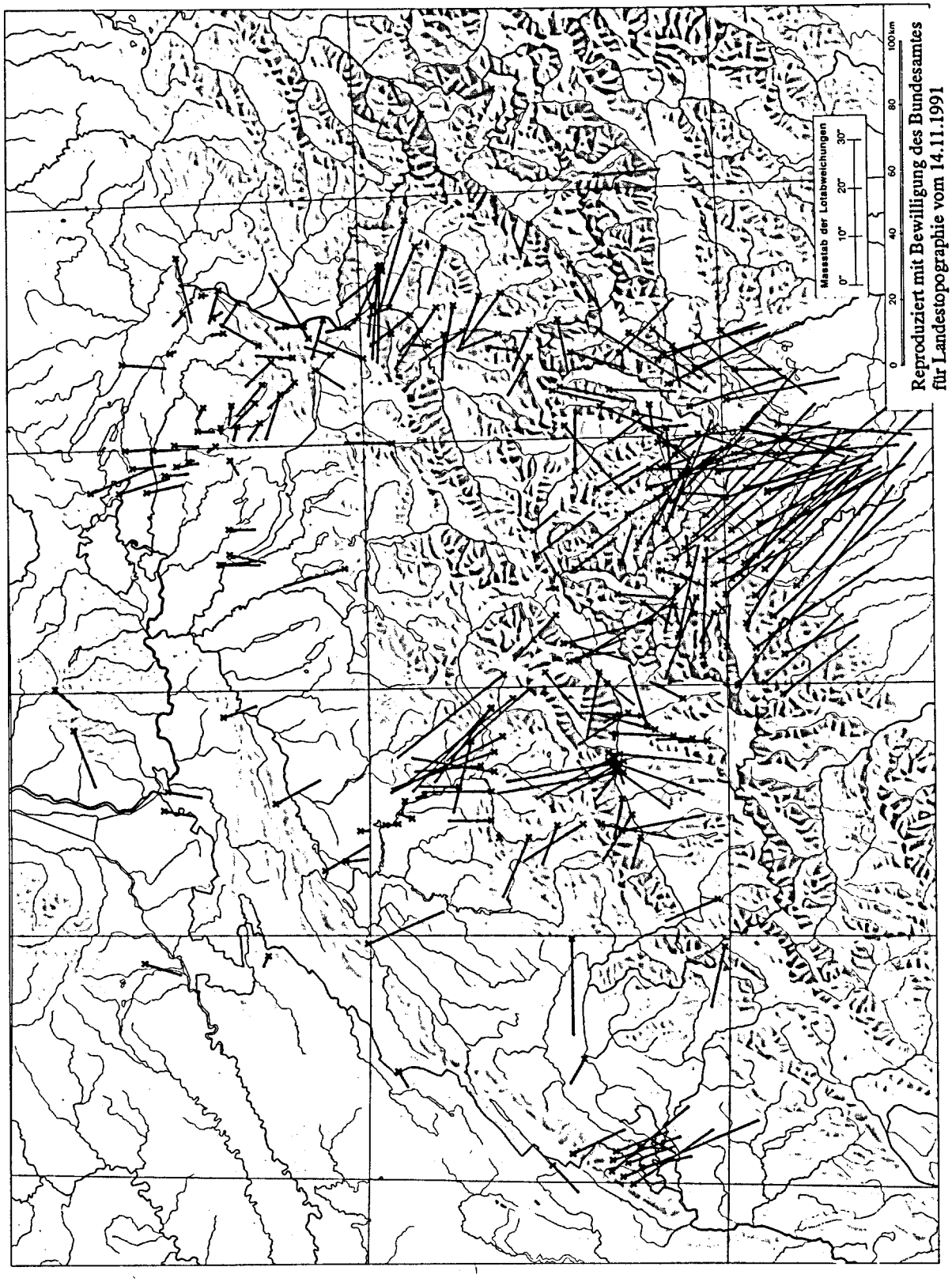


Abb. 34: Alle astro-geodätischen Stationen der Schweiz mit beobachteten Lotabweichungen

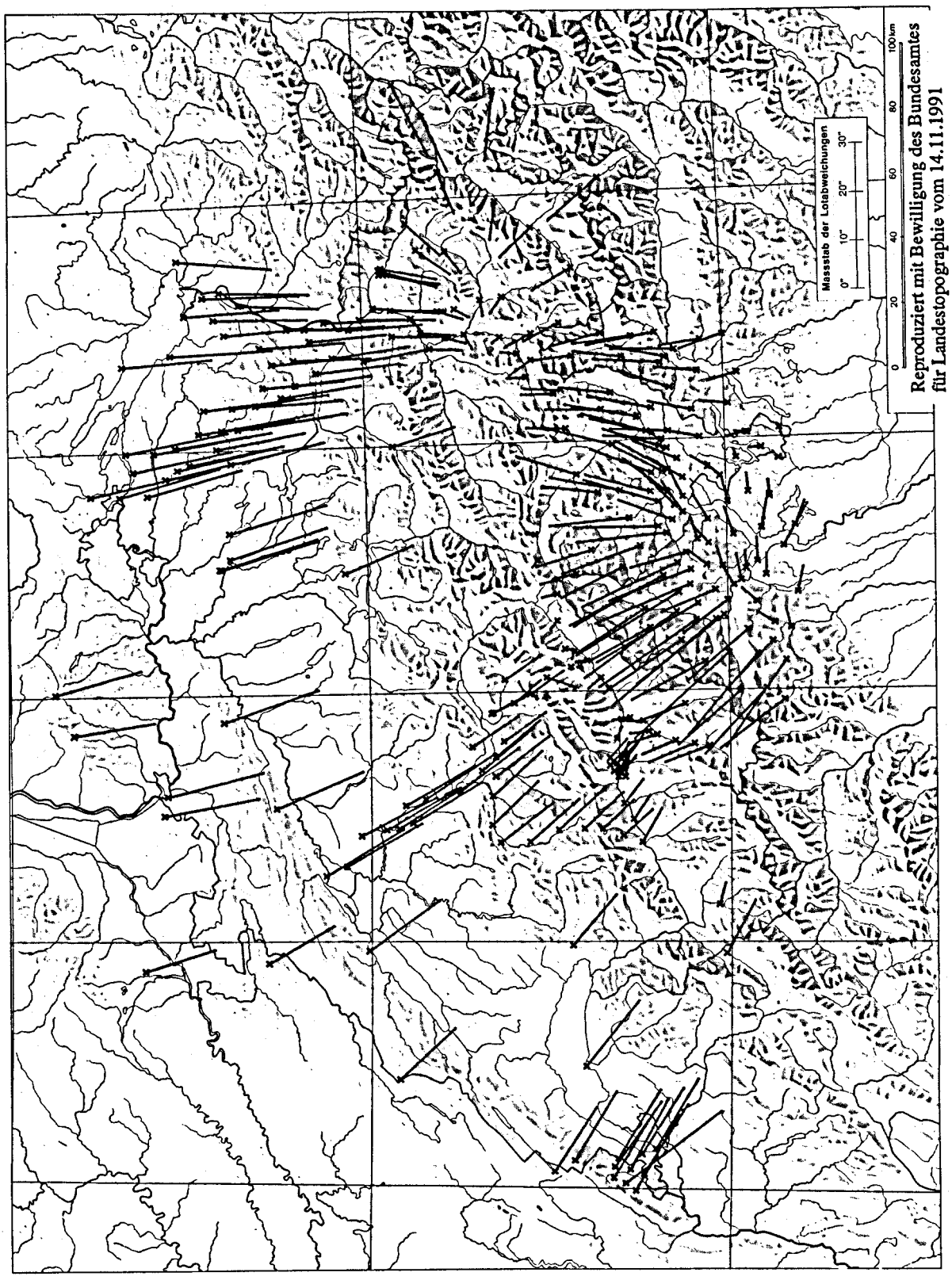


Abb. 35: Topographisch reduzierte Lotabweichungen der Schweiz

5.2.2 Interpretation

Mit dem astro-geodätischen Teil des SGK-Projektes soll ein **Beitrag zur Dichtebestimmung** der geologischen Tiefenstruktur der Schweiz geleistet werden. Dies ist mit den in 5.2.1 reduzierten Lotabweichungen möglich.

Wir gehen dabei von folgenden Randbedingungen aus:

- Das Ivrea-Modell (unter Berücksichtigung des Modells der Po-Sedimente) wurde aus 749 reduzierten Beobachtungen bestimmt. Es sind dies 113 Stationen mit beobachteten Lotabweichungen und (grösstenteils) Schwereanomalien, 68 Lotabweichungskomponenten von früheren astronomischen Messungen in dieser Region und 354 Schwereanomalien von gravimetrischen Messungen des Institutes für Geophysik der ETHZ. Das so erhaltene Massenmodell befriedigt diese 749 Beobachtungen bestmöglich und kann deshalb für genügend angesehen werden, soweit es die Schwerefeldparameter betrifft. Wir betrachten diese Modelle des Ivrea - Körpers und der Po-Sedimente vorläufig für zutreffend und berücksichtigen ihre Effekte in unseren Messstationen.

- Die Geometrie des topographischen Modells bleibt unverändert. Wir erinnern uns aber daran, dass die topographischen Reduktionen mit einer *konstanten Dichte* von 2.65 g/cm^3 berechnet wurde.

- Die Geometrie des Moho-Modells bleibt unverändert. Sie kann schwerlich durch die Lotrichtungsbestimmungen sinnvoll verändert werden. Signifikante Änderungen sind hier vom Institut für Geophysik der ETHZ aus den seismischen Messungen zu erwarten.

Was dagegen mit guter Genauigkeit aus den reduzierten Lotabweichungen bestimmt werden kann, ist der *Dichtekontrast* an der Moho, der im Modell mit 0.43 g/cm^3 angenommen wird. Ebenso können die Messstationen in zwei Gruppen aufgeteilt werden: eine Gruppe mit Punkten, die in der Molasse liegen und eine zweite Gruppe mit denjenigen, die im alpinen Raum liegen. Für beide Gruppen kann je ein gemeinsamer Dichtewert für die Gesteine der Topographie geschätzt werden.

Wir machen dazu folgenden Ausgleichungsansatz:

$$\xi_{gem} + v_\xi = \frac{\xi^0_{MOHO}}{0.43} \cdot \sigma_{MOHO} + \frac{\xi^0_{TOPO}}{2.65} \cdot \rho_{TOPO} + \Delta\xi \qquad + \xi_{IVREA} + \xi_{PO}$$

$$\eta_{gem} + v_\eta = \frac{\eta^0_{MOHO}}{0.43} \cdot \sigma_{MOHO} + \frac{\eta^0_{TOPO}}{2.65} \cdot \rho_{TOPO} \qquad + \Delta\eta + \eta_{IVREA} + \eta_{PO}$$

mit den 5 Unbekannten

σ_{Moho}	= Dichtekontrast an der Moho
ρ_{ALPIN}	= Dichte der alpinen Topographie
$\rho_{MOLASSE}$	= Dichte der Molassegesteine
$\Delta\xi$	= Offset an den ξ
$\Delta\eta$	= Offset an den η,
wobei ξ	= Nord - Südkomponente der Lotabweichung
und η	= Ost - West - Komponente der Lotabweichung

Die 5 Unbekannten werden nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, so dass die gewichtete Quadratsumme der Verbesserungen minimal wird. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt

Nr	*Art*	*Wert*	*Dim*	*Sigma*
1	*MOHO KONTRAST*	*0.4022*	*[g/cm^3]*	*0.018*
2	*TOPO ALPIN*	*2.5920*	*[g/cm^3]*	*0.082*
3	*TOPO MOLASSE*	*2.2779*	*[g/cm^3]*	*0.112*
4	*OFFSET XI*	*4.5120*	*["]*	*0.421*
5	*OFFSET ETA*	*-8.2903*	*["]*	*0.409*

Die Resultate sind in verschiedener Hinsicht bemerkenswert:

- Es ist gelungen, aus gemessenen Lotabweichungen in zwei Profilen eine simultane Bestimmung sowohl des Dichtekontrastes an der Krusten/Mantelgrenze (Moho) als auch von zwei Dichtewerten für die Topographie durchzuführen. Die erhaltenen Werte sind durchaus plausibel. Ähnlich dem Nettleton-Profil-Verfahren zur Dichtebestimmung der Topographie können dazu auch die Horizontalkomponenten des Schwerevektors (oder Lotabweichungen) herangezogen werden.

- In [Kissling, 1982] werden ähnliche Überlegungen zur Abschätzung des Dichtekontrastes an der Moho aus regionalen Bougueranomalien (unter Berücksichtigung der lokalen Schwereanomalien) durchgeführt. Dort wurde allerdings zugunsten anderer Zielsetzungen auf eine statistisch-numerische Behandlung verzichtet und die beiden Grössen Referenz-Krustenmächtigkeit T_0 und Dichtekontrast σ an der Moho durch Vergleich der berechneten Wirkungen mit den gemessenen Werten erhalten. Als besten Dichtekontrast gibt Kissling 0.35 g/cm³ an (ohne Genauigkeitsangabe). Dieser Wert entspricht auch früheren Abschätzungen von [Kahle et al., 1976], wenn man den langwelligen Anteil des Horizontalgradienten der Bouguer - Anomalien zugrundelegt.

- Durch unsere Ausgleichung erhalten wir 0.40 ± 0.02 g/cm³, also einen um 0.05 g/cm³ höheren Wert. Wie diese Differenz zu erklären ist, soll in einer weiteren Untersuchung studiert werden.

- Die besten Werte erhält man durch eine kombinierte Ausgleichung aller Schweremessungen zusammen mit allen Lotabweichungen.

5.3 Vergleich mit LAG

Eine weitere interessante Untersuchung, die auf den neubestimmten 84 Messstationen mit 168 Lotabweichungskomponenten durchgeführt wurde, ist der Vergleich mit Werten, die auf dem Programmsystem LAG beruhen [Elmiger, 1969], [Gurtner, 1978], [Elmiger, Gurtner, 1983]. Dazu wurden die Reduktionen nochmals durchgerechnet, jetzt aber mit den Modellen, wie sie von LAG verwendet werden. Die Differenzen der gemessenen Lotabweichungen minus die Modellwirkungen sind in Figur 36 aufgezeichnet. Anschliessend wurden die Lotabweichungen mit LAG prädiziert und von den Messwerten subtrahiert. Diese Differenzen sind ein äusseres Mass der Prädiktionsgenauigkeit von Lotabweichungskomponenten, die mit ± 1" angegeben wird. Die erhaltenen Differenzen sind in Figur 37 dargestellt und im Anhang A3.4 numerisch ausgewiesen. Die Werte sind praktisch überall innerhalb der angegebenen Genauigkeiten.

Aus den je 84 Differenzen erhält man folgende mittlere Abweichungen:

$$m\xi = \sqrt{\frac{[v\xi v\xi]}{n}} = \sqrt{\frac{92.46}{84}} = 1.05"$$

$$m\eta = \sqrt{\frac{[v\eta v\eta]}{n}} = \sqrt{\frac{126.13}{84}} = 1.23".$$

Wenn noch die mittleren Fehler der TZK3 für die astronomische Punktbestimmung $m\Phi$ = 0.5" und $m\Lambda$ = 0.7" berücksichtigt werden, ergeben sich für die Prädiktionsgenauigkeiten

$$m\xi = \sqrt{1.05^2 - 0.50^2} = 0.92" \qquad m\eta = \sqrt{1.23^2 - 0.70^2} = 1.01"$$

Die maximalen Differenzen betragen:

ξ		η	
-2.5"	in Vättis	+3.3"	in Zizers
+2.5"	in Celerina	+2.9"	in Sargans
+2.3"	in Innerferrera	+2.7"	in Weisstannen

Die maximalen Abweichungen befinden sich alle in der Ostschweiz, wo die Anzahl verfügbarer Stützpunkte bei der Geoidbestimmung von Gurtner zur Prädiktion sehr klein war. Die Differenzen weisen also noch lokale Systematiken auf, die mit vollem Betrag in die Geoidberechnung eingegangen sind. Bei einer erforderlichen Neuberechnung des Geoides der Schweiz mit einer grösseren Anzahl Stützpunkte könnten diese Systematiken zum Verschwinden gebracht werden.

Ein weiterer Grund, der eine Neuberechnung mit mehr Stützpunkten erforderlich macht, ist die Tatsache, dass alle verfügbaren astronomischen Messungen zur Berechnung herangezogen werden mussten: So auch zum Teil sehr alte, etwas unsichere Bestimmungen. Eine fehlerhafte Lotabweichungskomponente, die nicht den Genauigkeitsangaben entspricht, kann bei zu dünner Stützpunktbelegung in ihrer Umgebung nicht durch die Filterwirkung der Prädiktion auf den "richtigen Wert" korrigiert werden und bleibt als fehlerhafte Beobachtung in der Berechnung enthalten.

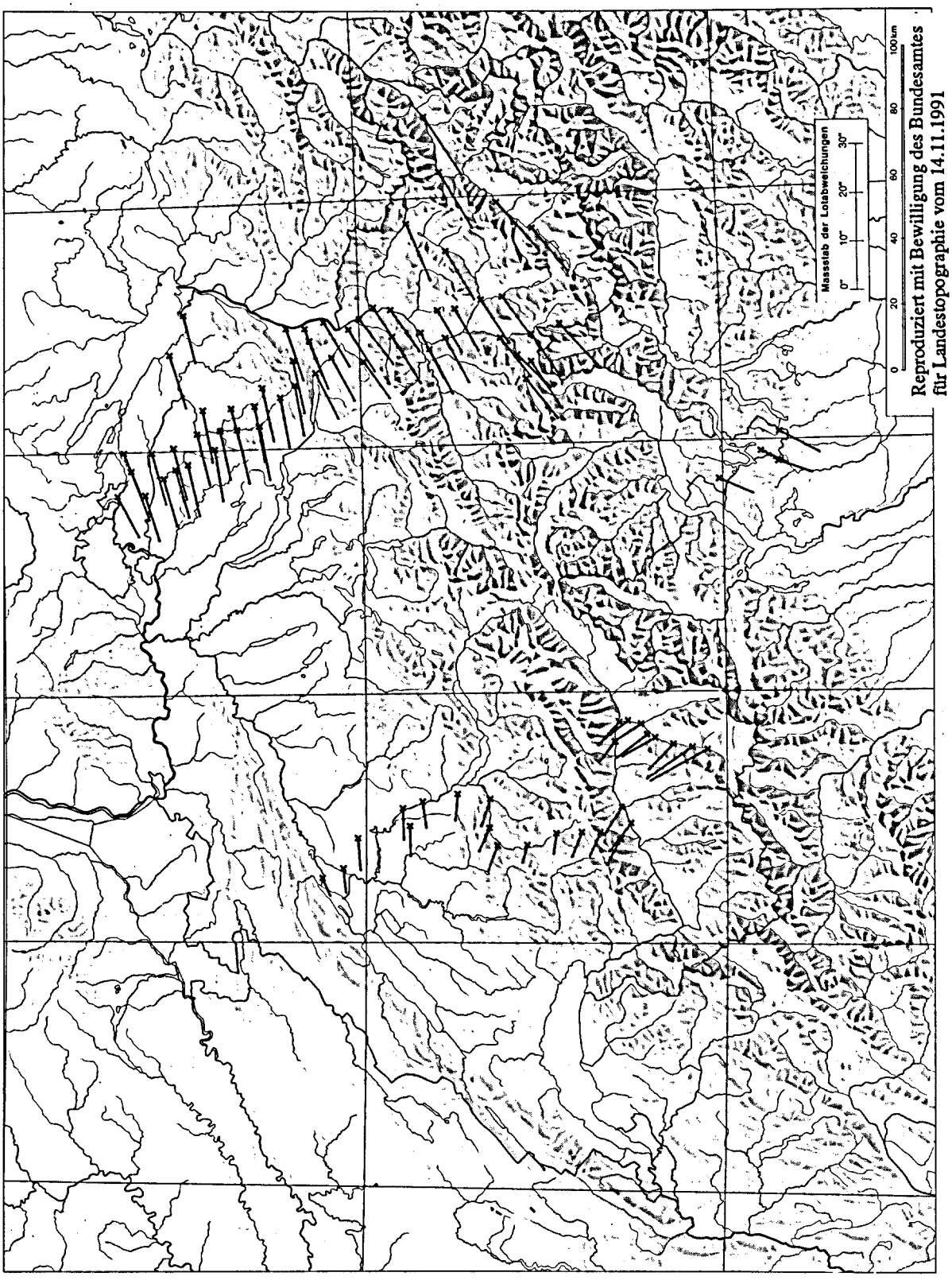


Abb. 36: Residualfeld der um die LAG-Modelle reduzierten Lotabweichungen

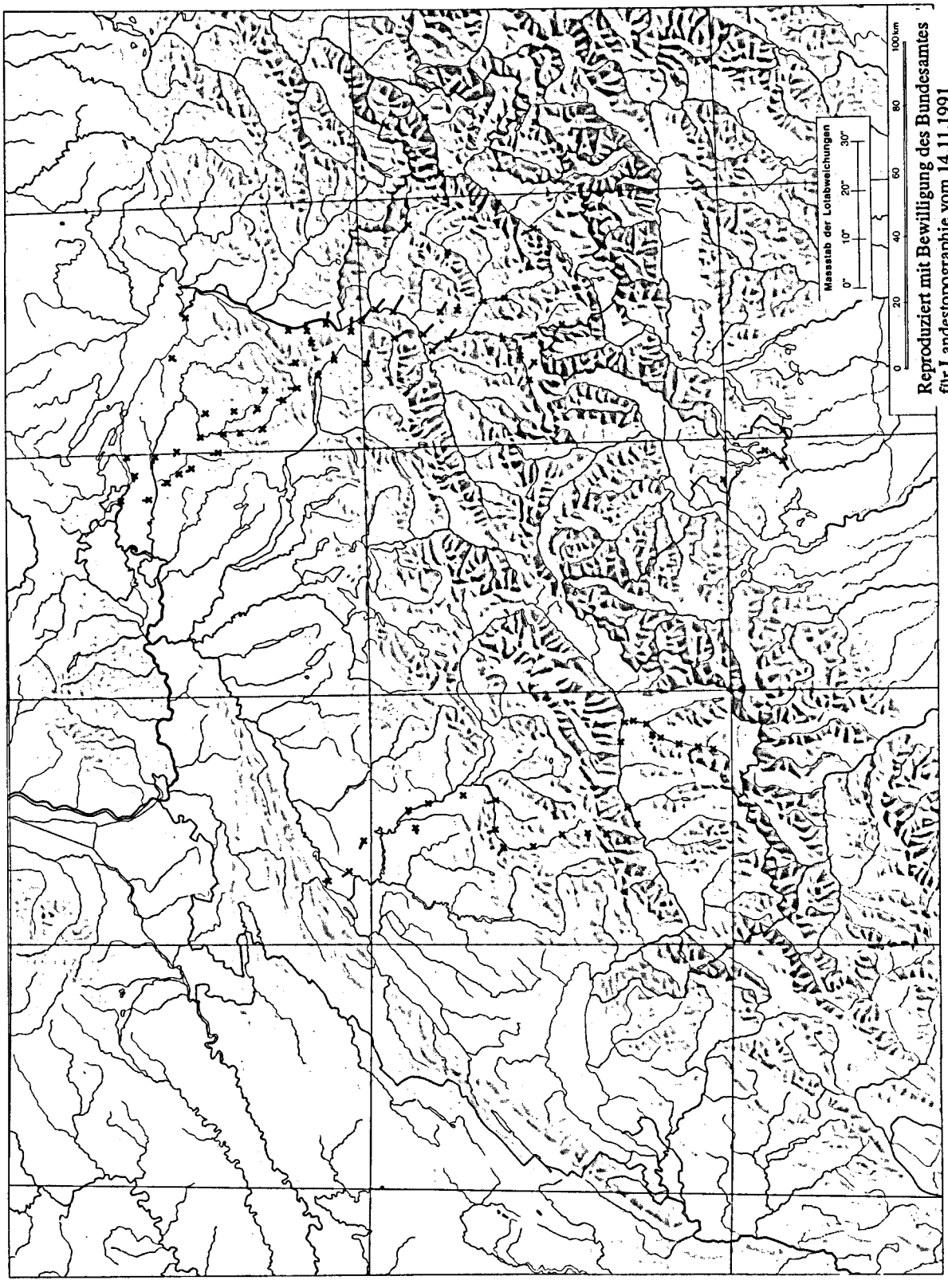


Abb. 37: Gemessene Lotabweichungen minus die mit LAG prädizierten Werte.

5.4 Einbezug von einzelnen Schweredaten

In einer Seminararbeit von M. Oetiker [1988] wurde der Versuch unternommen, aus den Daten zusätzlich den Dichtekontrast an der Lithosphären - Asthenosphärengrenze zu schätzen. Es wurde ein einfaches dreidimensionales Modell erzeugt. Eine 100km mächtige Verschluckungszone wurde an der Stelle der grössten Mohotiefe von 90 km mittlerer Lithosphären-Asthenosphärengrenze an bis in eine Tiefe von 230 km hinuntergezogen. Der Modell-Dichtekontrast wurde zu -0.05 g/cm^3 angenommen. Für die 83 Stationen wurden zusätzlich Bougueranomalien als Beobachtungen hinzugenommen. Die aus dieser Kombination von Lotabweichungen und Schwereanomalien berechneten Dichtekontraste an der MOHO und an der Lithosphären-Asthenosphärengrenze erhöhten sich auf unrealistisch hohe Werte. Sie wiesen nach der Ausgleichung einen Korrelationskoeffizienten von -0.9990 auf. Dies bedeutet, dass mit den für NFP20 ausgeführten Beobachtungen allein nicht beide Modelle getrennt voneinander geschätzt werden können.

5.5 Dichtewerte aus Schweredaten

Geiger [1990] berechnete den Dichtekontrast an der MOHO sowie Parameter zur Dichteverteilung der Topographie aus 2416 über die ganze Schweiz verteilten Schweremessungen. Diese wurden um die Einflüsse der Topographie, der Bouguerplatte, des Mohoeffekts und eines Ivrea-Körpers reduziert. Die einzelnen Einflüsse wurden dabei zur Berechnung der geschätzten Parameter verwendet, da bei einem einzigen Dichtewert pro Modell die Wirkung desselben linear in der Dichte ist. Neben dem MOHO-Kontrast wurden Parameter für die Referenztiefe, die Dichte der Topographie (als Dichtepolynom vom Grad 0 bis 7) sowie Schweregradienten in Länge und Breite angesetzt. Unabhängig von den übrigen Parametern betrug der Dichtekontrast an der MOHO bei allen berechneten Varianten 0.34 g/cm^3. Dieser Wert ist (in Übereinstimmung mit früheren Abschätzungen aus Schweremessungen) um ca. 0.06 g / cm^3 kleiner als der aus den Lotabweichungen in den NFP20 Profilen bestimmte Wert von 0.40 g / cm^3. Ein Molassemodell konnte für diese Berechnungen noch nicht herangezogen werden, der Molasseeffekt zeigte sich aber sehr schön beim Dichtepolynom der Topographiedichte [Geiger et al., 1990].

5.6 Einbezug eines Molassemodells; Kombination der Beobachtungen

Vom Institut für Geophysik wurde uns ein Molassemodell der Schweiz in zwei unterschiedlichen Teilen zur Verfügung gestellt. R. Glaus [1990] stellte die beiden Modellteile zu einem einheitlichen Molassemodell in Blockstruktur zusammen und berechnete daraus die Schwereeffekte für alle Lotabweichungsstationen sowie für alle Schwerestationen der Schweiz. Mit diesen reduzierten Schwerefelddaten führte er die Ausgleichung nochmals durch, wobei er den einfacheren Ansatz ohne Ivreawirkungen und ohne Topographieparameter verwendete. Die südlichen Stationen, die vom Ivreakörper relativ stark beeinflusst sind, wurden nicht für die Ausgleichung herangezogen, da das Ivreamodell in den Astrostationen noch nicht berechnet war.

Resultate für den Dichtekontrast an der Krusten-Mantel-Grenze:

Aus Lotabweichungen allein (431 Beobachtungen) $\sigma_{MOHO} = 0.368$ g / cm^3.
Aus Schwereanomalien allein (1985 Beobachtungen) $\sigma_{MOHO} = 0.371$ g / cm^3.
Aus Lotabweichungen und Schwereanomalien (2416 Beob) $\sigma_{MOHO} = 0.370$ g / cm^3.

Aufgrund dieser Resultate sind die Unterschiede zwischen den Berechnungen mit Lotabweichungen bzw. mit Schwereanomalien fast vollständig beseitigt. Die formal-statistische Genauigkeit dieser Parameter ist (viel) zu gut und wird hier deshalb weggelassen. Es zeigte sich bei den Berechnungen, dass eine kleine Änderung des Einzugsgebietes der Messdaten im Süden einen grösseren Einfluss auf das Resultat hat, als Feinheiten der Topomodelle innerhalb des Gebietes. Das Einzugsgebiet "ganze Schweiz" ist relativ klein und liegt eher an der unteren Grenze für die zweifelsfreie Bestimmung des MOHO-Dichtekontrastes. Aus diesem Grund wurde auch nicht mehr auf tiefer liegende Strukturen wie die Lithosphären-Asthenosphären-Grenze eingegangen, bevor das Einzugsgebiet wesentlich erweitert worden ist. Dies wäre z.B. im Rahmen der Europäischen Geotraverse ins Auge zu fassen.

5.7 Neue Berechnungen

In einem vorläufig letzten Durchgang wurde das Molassemodell nochmals gründlich überarbeitet, da hier noch Fehler in den Daten vorhanden waren, die sich bei den berechneten Wirkungen abzeichneten und bei der graphischen Darstellung der Tiefeninformationen endgültig aufgedeckt wurden. Das daraus entstandene Modell ist in Abb. 38 dargestellt. Danach wurden in den gravimetrischen und den astronomischen Messstationen die Modellwirkungen teilweise neu gerechnet, so dass jetzt überall die jeweils besten vorhandenen Modelle verwendet wurden.

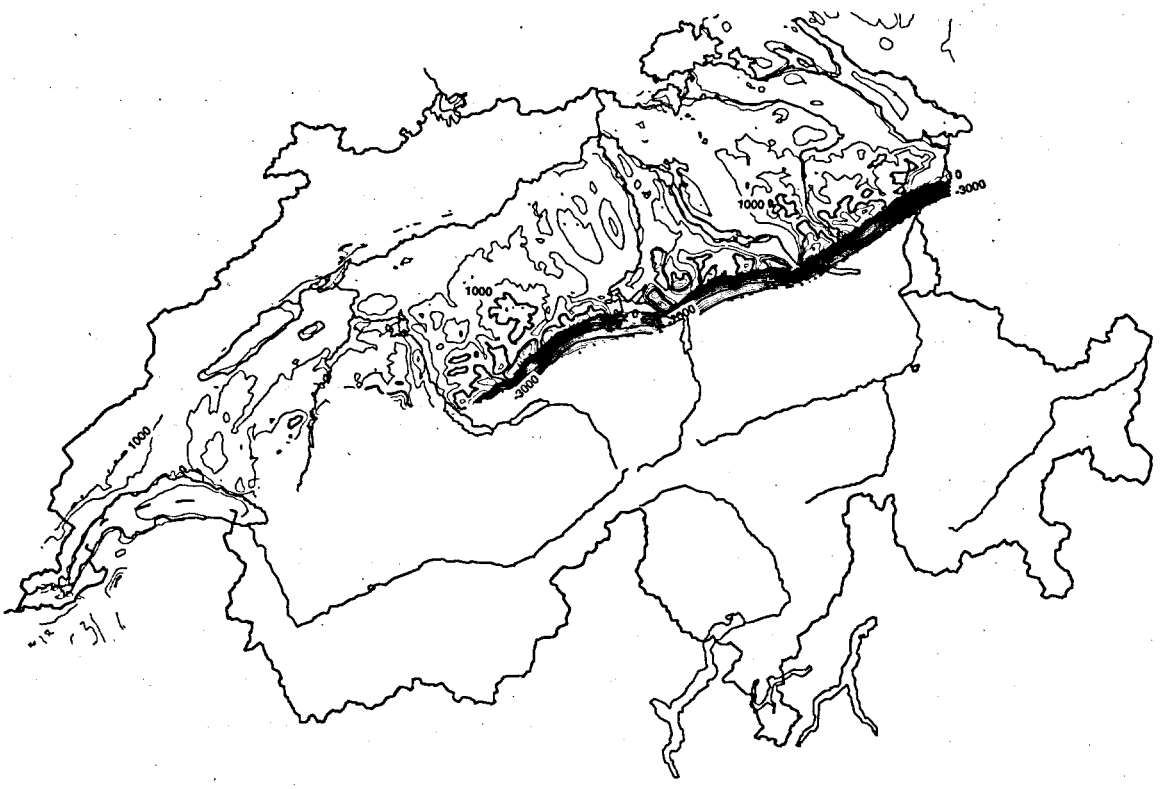


Abb. 38a: Obere Begrenzung des Molassemodells (Topographie und südliches Abfallen

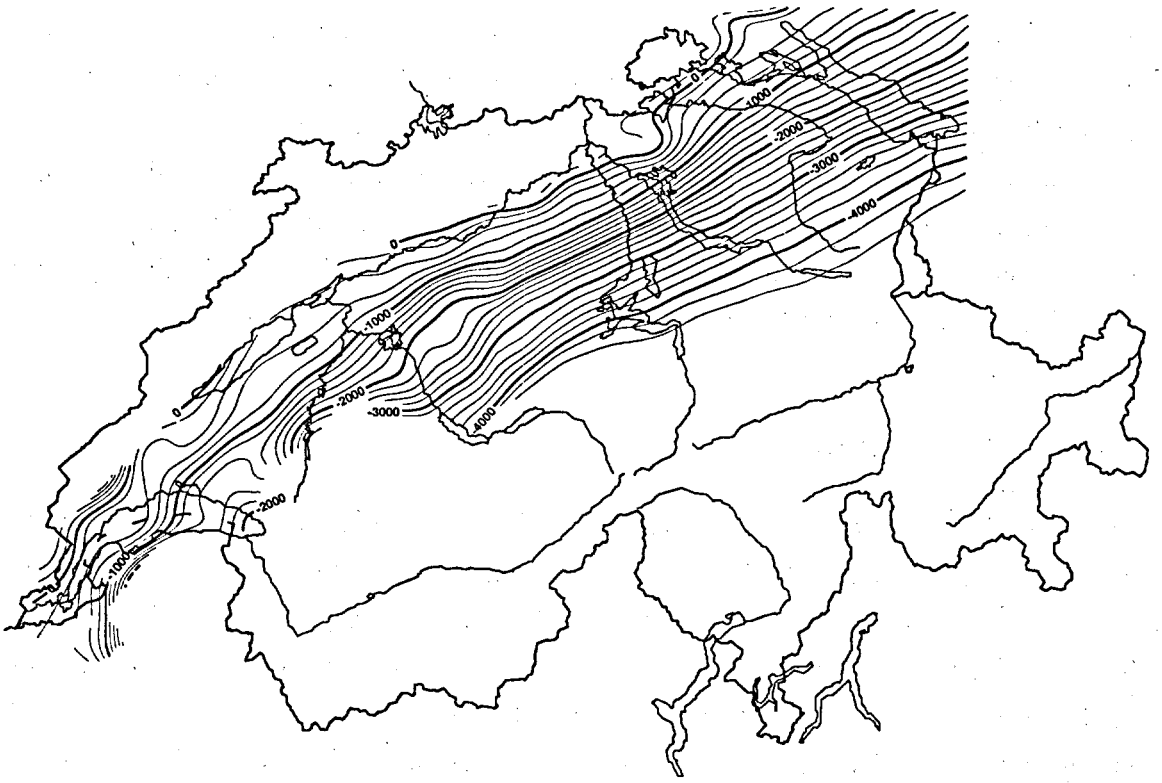


Abb. 38b: Untere Begrenzung des Molassemodells (Isolinienabstand 200 Meter)

5.7.1 Modelle

- **Topographiemodell:** Die Schwerewirkungen in den Gravimeterstationen wurden mit einem Topographiemodell des Institutes für Geophysik mit einer konstanten Dichte von 2.67 g/cm³ berechnet. Die topographischen Modellwirkungen für die Lotabweichungen und die GPS-Messungen wurden mit dem MH500 aus LAG berechnet. Die hier verwendete konstante Dichte beträgt 2.65 g/cm³. Das MH500 weist eine Rasterweite von 500 Metern auf. Um die Genauigkeit der Berechnung zu steigern, muss zusätzlich ein 50 m - Höhenraster in einem Gebiet von 4 km² um jeden Messpunkt als Nahtopographie vorliegen.

- **MOHO Modell:** Verwendet wurde das in [Bürki, 1989] publizierte, auf Daten von [Mueller, Ansorge et. al., 1980] und anderen beruhende, MOHO-Modell mit einer Ausdehnung von 500 x 600 km², einer Auflösung von 5x5 km² und einem konstanten Dichtekontrast von 0.43 g / cm³.

- **Molassemodell:** Das oben beschriebene Molassemodell hat eine Auflösung von 1x1 km² und einen Dichtekontrast von -0.2 g / cm³.

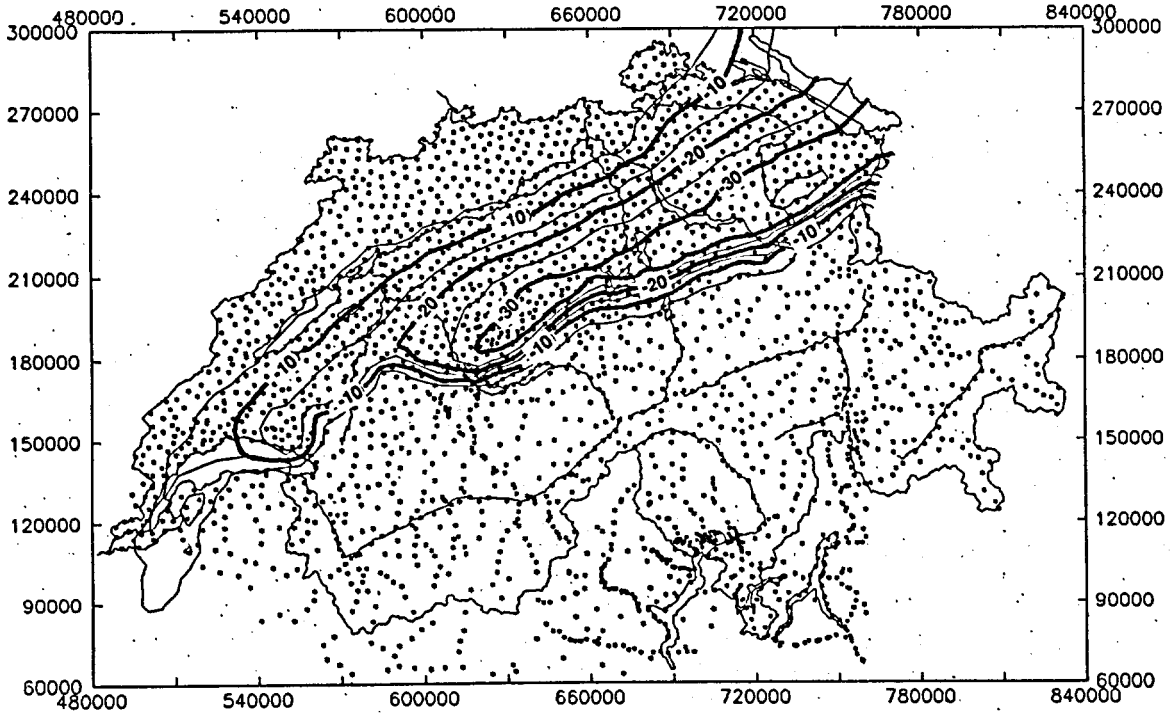


Abb. 39 Verteilung der Schwerestationen und Modellwirkung des Molassemodells (Isolinienabstand: 5 mgal, Dichtekontrast : -0.2 g / cm³)

- **Ivrea-Modell:** Verwendet wurde das in [Bürki, 1989] publizierte, aus 75 Einzelprismen bestehende, dreidimensionale Modell, das aus verschiedenen Dichtekontrasten zusammengesetzt ist. Es wurde (unter Berücksichtigung des Modells der Po-Sedimente) aus 749 reduzierten Beobachtungen bestimmt. Es sind dies 113 Stationen mit beobachteten Lotabweichungen und (grösstenteils) Schwereanomalien, 68 Lotabweichungskomponenten von früheren astronomischen Messungen in dieser Region und 354 Schwereanomalien von gravimetrischen Messungen des Institutes für Geophysik der ETHZ. Das so erhaltene Massenmodell befriedigt diese 749 Beobachtungen bestmöglich, soweit es die Schwerefeldparameter betrifft. Wir betrachten dieses Modell des Ivrea - Körpers für zutreffend und berücksichtigen ihre Effekte in unseren Messstationen, ohne für dieses Modell weitere Dichtekontraste schätzen zu wollen.

Mit diesen Modellen wurden die Ausgleichungen nochmals durchgeführt. Dabei gilt nach wie vor, dass die Geometrie aller Modelle unverändert bleibt. Sie kann schwerlich durch Beobachtungen im Schwerefeld sinnvoll verändert werden. Signifikante Änderungen für die MOHO-Tiefenangaben sind hier allenfalls vom Institut für Geophysik der ETHZ aus den seismischen Messungen zu erwarten. Was dagegen aus den reduzierten Beobachtungen mit guter Genauigkeit bestimmt werden kann, sind die Dichten der Topographie und der Molasse und der Dichtekontrast an der Moho.

5.7.2 Beobachtungen

- Schweredaten

Im Gebiet der Schweiz wurden von der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission etwa 2000 Schwerewerte zur Erstellung der 'Schwerekarte der Schweiz' erhoben. Bei der Karte handelt es sich um eine Bougueranomalien-Karte. Diese Arbeiten wurden von Klingelé u. Olivier (1980) durchgeführt. Eine weitere Schwerekarte wurde aus Isostatischen Anomalien kompiliert Klingelé (1981). Einige Zusatzmessungen wurden im südlichen Teil der Schweiz eingefügt. Aus Arbeiten von Kissling (1984) wurden 259 Schwerewerte im Gebiet der Ivreazone verwendet. Des weiteren konnten 107 Schwerewerte, die homogen über das ganze Ivreagebiet verteilt sind, miteinbezogen werden. Sie stammen aus Arbeiten des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie zur Bestimmung und Interpretation des Schwerefeldes (Schwere und Lotabweichungen) im Gebiet der Ivreazone: Bürki (1988), Marti und Wirth (1988). Die gesamte Anzahl der verwendeten Punktwerte beläuft sich auf 2416. Geiger [1990] beschreibt die Aufbereitung der Daten: der grösste Teil der Daten wurden mit dem Programm SCILLA und PLOUFF von Klingelé, Plouff, topographisch reduziert. Die Wirkung der Nahtopographie wurde bei einem kleinen Teil der Daten mit Hilfe der Sektorenmethode, ansonsten anhand von quadermässig aufgebauten 50m DTMs berechnet. Die Dichte ist mit 2.67 g/cm^3 eingeführt.

- Astronomische Daten

Ausgehend von [Gurtner, 1978], wo 220 Stützpunkte mit total 331 LA-Komponenten aufgelistet sind (Triangulation der Schweiz, Profile der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) und 8 ausländische Stationen), die noch alle mit Theodoliten beobachtet worden waren, hat das IGP in der Zwischenzeit mit dem transportablen Zenitkamerasystem TZK3 in der Schweiz und Norditalien total 240 Stationen mit 480 LA-Komponenten beobachtet. Die Beobachtungen erfolgten häufig im Rahmen von Diplomkursen oder Forschungsprojekten. Die wichtigsten Projekte waren 'Ivrea' [Bürki, 1985], [Wirth und Marti, 1986] und 'NFP20' [Wirth und Marti, 1988].

- GPS Daten

Das Ziel des Projektes ALGESTAR (Alpine Geoid by Satellite Timing and Ranging) bestand darin, die Eignung von GPS-Messungen für hochgenaue Höhenbestimmungen in bewegter Topographie zu testen und ein Geoid für die Schweiz zu berechnen.

40 Stationen des schweizerischen Triangulationsnetzes mit Anschluss ans Landesnivellement wurden ausgewählt, um genaue orthometrische Höhen zu erhalten. [Marti, 1990]. Die Messkampagne fand in Zusammenarbeit mit verschiedenen schweizerischen und deutschen Instituten Ende August 1989 statt. Mit 16 WM-102 Zweifrequenzempfängern konnten die 40 Stationen innerhalb von nur 4 Tagen vermessen werden. Die GPS-Lösung wurde mit der "Berner GPS-Software" berechnet. Vergleiche zwischen den einzelnen Tageslösungen zeigten eine Genauigkeit der ellipsoidischen Höhen von besser als 10 cm über die ganze Schweiz (200 bis 300 km).

5.7.3 Ansatz

Wir machen dazu folgenden Ausgleichungsansatz:

$$\xi_{gem} + v_\xi = \frac{\xi_{Topo}}{2.65} \cdot \rho_{Topo} + \frac{\xi_{Moho}}{0.43} \cdot \sigma_{Moho} + \frac{\xi_{Mola}}{-0.20} \cdot \sigma_{Mola} + \xi_{Ivrea} + \Delta_\xi$$

$$\eta_{gem} + v_\eta = \frac{\eta_{Topo}}{2.65} \cdot \rho_{Topo} + \frac{\eta_{Moho}}{0.43} \cdot \sigma_{Moho} + \frac{\eta_{Mola}}{-0.20} \cdot \sigma_{Mola} + \eta_{Ivrea} + \Delta_\eta$$

$$g_{gem} + v_g = \frac{g_{Topo}}{2.67} \cdot \rho_{Topo} + \frac{g_{Moho}}{0.43} \cdot \sigma_{Moho} + \frac{g_{Mola}}{-0.20} \cdot \sigma_{Mola} + g_{Ivrea} + \Delta_g + c_1 X + c_2 Y$$

$$N_{gem} + v_N = \frac{N_{Topo}}{2.65} \cdot \rho_{Topo} + \frac{N_{Moho}}{0.43} \cdot \sigma_{Moho} + \frac{N_{Mola}}{-0.20} \cdot \sigma_{Mola} + N_{Ivrea} + \Delta_N + c_3 X + c_4 Y$$

mit den maximal 11 Unbekannten

ρ_{Topo}	=	Mittlere Dichte der topographischen Massen
σ_{Moho}	=	Mittlerer Dichtekontrast an der Moho
$\sigma_{Molasse}$	=	Dichtekontrast des Molassetroges gegenüber der Topographie
$\Delta\xi$	=	Offset an den ξ
$\Delta\eta$	=	Offset an den η
Δg	=	Offset an den Schwereanomalien
c_1	=	Nord-Süd Gradient der Schwereanomalien
c_2	=	Ost-West Gradient der Schwereanomalien
ΔN	=	Offset an den Geoidundulationen
c_3	=	Nord-Süd Gradient der Geoidundulationen
c_4	=	Ost-West Gradient der Geoidundulationen

wobei ξ = Nord - Südkomponente der Lotabweichung
und η = Ost - West - Komponente der Lotabweichung

Wichtig sind die ersten drei Dichtewerte. Von den übrigen Parametern werden jeweils diejenigen angesetzt, deren zugehörige Beobachtungen mitverwendet werden. Die Unbekannten werden nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, so dass die gewichtete Quadratsumme der Verbesserungen minimal wird.

5.7.4 Ergebnisse

In einem ersten Durchgang wurden nur die Lotabweichungskomponenten verwendet:

ρ_{Topo}	=	2.61	g/cm³	± 0.035
σ_{Moho}	=	0.358	g/cm³	± 0.009
$\sigma_{Molasse}$	=	-0.201	g/cm³	± 0.015
$\Delta\xi$	=	-0.113	"	± 0.261
$\Delta\eta$	=	-5.7	"	± 0.23

In einem zweiten Durchgang wurden nur die 40 ALGESTAR-Geoidhöhen verwendet:

ρ_{Topo}	=	2.45	g/cm³	± 0.32
σ_{Moho}	=	0.39	g/cm³	± 0.07
$\sigma_{Molasse}$	=	-0.32	g/cm³	± 0.12
ΔN	=	0.97	m	± 0.45
ΔN_X	=	-9.2	mm/km	± 9.8
ΔN_Y	=	33.7	mm/km	± 5.8

Ein dritter Berechnungsgang erfolgte nur mit den Schweremessungen:

ρ_{Topo}	=	2.692	g/cm³	± 0.007
σ_{Moho}	=	0.405	g/cm³	± 0.002
$\sigma_{Molasse}$	=	-0.013	g/cm³	± 0.003
Δg	=	-95.4	mgal	± 0.32
Δg_X	=	-0.424	mgal/km	± 0.005
Δg_Y	=	0.285	mgal/km	± 0.004

In einem vierten Durchgang wurden alle Beobachtungen miteinander verwendet:

ρ_{Topo}	=	2.695	g/cm³	± 0.007
σ_{Moho}	=	0.403	g/cm³	± 0.002
$\sigma_{Molasse}$	=	-0.019	g/cm³	± 0.003
$\Delta\xi$	=	1.42	"	± 0.261
$\Delta\eta$	=	-6.52	"	± 0.23
Δg	=	-95.3	mgal	± 0.32
Δg_X	=	-0.424	mgal/km	± 0.005
Δg_Y	=	0.285	mgal/km	± 0.004
ΔN	=	-0.11	m	± 0.45
ΔN_X	=	-12.8	mm/km	± 9.8
ΔN_Y	=	32.5	mm/km	± 5.8

5.7.5 Berechnung mit Dichtepolynomen

Die Dichte der Topographie kann nun nach Polynomen (in der Lage) entwickelt werden, deren erste Terme im folgenden geschätzt werden sollen.

$$\Delta\rho(x,y) = \sum_{n=0}^{N} (ax + by)^n = \sum_{n=0}^{N} \sum_{i+j=n} c_{ij}\, x^i y^j$$

mit den zu schätzenden Parametern c

$$c_{ij} = \binom{n}{i,j} a^i b^j$$

Die Koeffizienten der Topodichte werden dann mit

$$K = - \frac{T^0}{\rho_T^0} + 2\pi G h$$

K, Kx, Ky, Kx², Kxy, Ky², ..., Kyⁿ

Es ist klar, dass der Ansatz einer Konstanten für den Koeffizienten der Höhe (Bouguerkoeffizient) nur näherungsweise zutreffen kann, da die Dichte nicht als konstant angenommen wird. Um den Einfluss der nicht konstanten Dichte auf die Bouguerkorrektur abzuschätzen, wird der Effekt eines Zylinders mit variierender Dichte bestimmt. Die Dichte ρ wird in einen variierenden Teil $\delta\rho$ und in einen konstanten Teil ρ gespalten. Wir interessieren uns nur für die z- Komponente von g. Dies erlaubt eine einfache Integration nach z entsprechend der bekannten Formel

$$g_z = - \frac{\partial T}{\partial z} = - \frac{\partial}{\partial z} \int_V \frac{G\rho}{l} \, dv$$

Wir setzen $\rho = \rho + \delta\rho$. Dies kann sofort nach z integriert werden

$$g_z = - G \int \frac{\rho}{l} \Big|_{z=0}^{z=h} r \, d\varphi \, dr = - 2\pi G \rho \int \frac{r}{l} \Big|_{z=0}^{z=h} dr$$

$$- G \int \frac{\delta\rho}{l} \Big|_{z=0}^{z=h} r \, d\varphi \, dr$$

Da $\delta\rho$ homogen vorausgesetzt wird, muss gelten

$$\int_0^{2\pi} \delta\rho \, d\varphi = 0$$

und mithin die bekannte Formel

$$g_z(r) \approx - 2\pi G\rho \int \left(\frac{r}{\sqrt{r^2 + h^2}} - 1 \right) dr = 2\pi G\rho \left(r + h - \sqrt{r^2 + h^2} \right)$$

die mit $r \to \infty$, $g_r(\infty) \to - 2\pi G\rho \, h$

den Bouguerschen Platteneffekt liefert.

Somit lässt sich das Verhältnis bilden:

$$\alpha = \frac{g(r)}{g_\infty} = 1 + \frac{r}{h} - \frac{\sqrt{r^2 + h^2}}{h} = 1 + \kappa - \sqrt{1 + \kappa^2} \quad ; \quad \kappa = \frac{r}{h}$$

oder $\kappa = \dfrac{\alpha (2 - \alpha)}{2 (1 - \alpha)}$

Die 'Halbwertsbreite' ergibt sich als

$$r_{1/2} = 3/4\ h$$

90% des Bouguereffektes werden also bereits bei Berücksichtigung eines Zylinders mit Radius

$$r_{90\%} \approx 5\,h$$

erreicht. Auch im Alpengebiet bleibt $r_{90\%} < 15$ km.
Da Polynome von relativ tiefem Grad zur Dichtebeschreibung angesetzt werden, liegt

$$r_{90\%} < \lambda_{Polynom}\ ,$$

so dass der konstante Koeffizient gerechtfertigt scheint.

Resultate

Als Beobachtungen flossen die um Moho-, Ivrea- und Molasseeffekt reduzierten Bougueranomalien in die Ausgleichung ein. Die Topo-Dichten-Verteilung zeigt interessante Tendenzen. So kommt schon beim Grad 2 klar die Molassewirkung zum Ausdruck, indem im Mittelland eine gegenüber 2.67 verringerte Dichte resultiert. Der Vollständigkeit halber sei der Grad 7 hier mit Fehlerangaben angeführt. Dazu ist zu bemerken, dass diese hohen Genauigkeiten weit zu optimistisch und mit Vorsicht zu geniessen sind, da die Beobachtungen als unkorreliert eingeführt wurden. Bei den übrigen Modellen ergeben sich ähnliche Zahlen.

Dichtemodell vollständigen 7. Grades

$m_0 = 6.2$ mgal

Referenztiefe :	27.60 ± 0.02	km
Dichtekontrast an der Moho:	0.405 ± 0.002	g/cm³
Dichtekontrast an der Molasse:	0.013 ± 0.003	g/cm³
Trend in Breite	-47.2 ± 0.56	mgal/°
Trend in Länge	21.5 ± 0.30	mgal/°

Die maximalen Klaffen betragen : - 33 mgal und +29 mgal

Die Abweichungen der Dichte von 2.67 betragen - 0.5 bis + 0.4 g/cm³ und sind in Abb. 40 dargestellt.

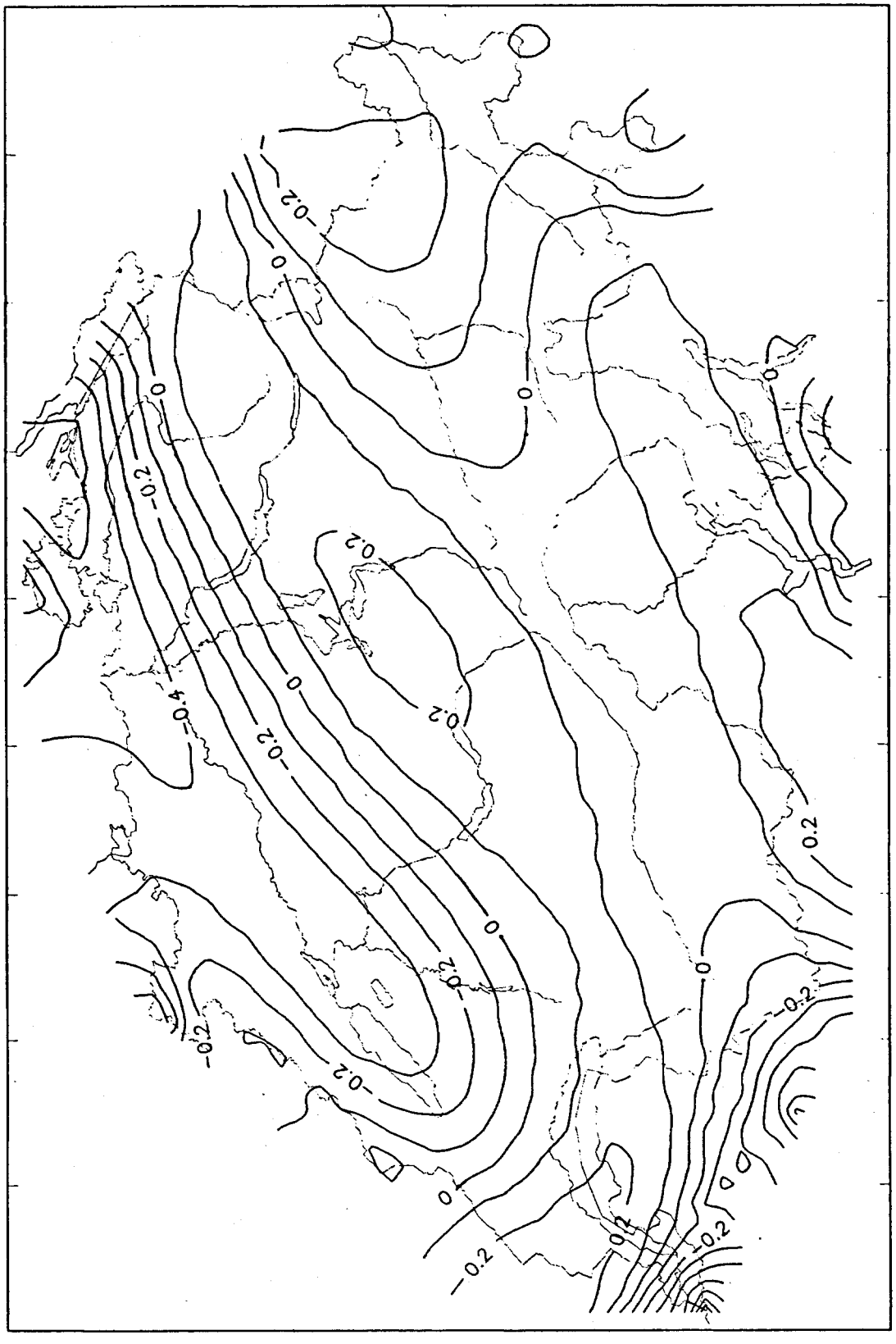


Abb. 40: Dichtepolynom 7. Grades (Isolinienabstand 0.1 g/cm³)

Die Gliederung der Dichte stimmt teilweise recht gut mit den Erwartungen überein. Interessant ist die Segmentierung der Molasse, die allerdings deutlich nach Norden verschoben ist sowie die relativ niedrige Dichte im Bündnerland. Zudem zeigt sich im südlichen Wallis und im angrenzenden Gebiet ein Dichte-Defizit. Vor einer zu 'oberflächlichen', im wahren Sinn des Wortes, Interpretation sei gewarnt. Die verlangten Dichteeffekte können sehr wohl von tieferen Strukturen herrühren. Diese Abklärungen und die Interpretation des Trends wären Gegenstand einer weiteren Untersuchung. Die Bestimmung einer regionalen Dichteverteilung in der obersten Kruste ist anhand von Schwerewerten möglich. Um eine detailliertere Dichteprovinz-Karte zu erhalten, müsste vom Prinzip der Schätzung eines globalen Polynoms abgegangen und die stückweise Schätzung innerhalb finiter Elemente eingesetzt werden (oder Splineinterpolation). Das Resultat kann natürlich durch eine zusätzliche, vorgängige Reduktion weiterer bekannter Massen, wie Talfüllungen etc., noch stärker geglättet, regularisiert werden. Da praktisch alle isostatischen Modelle stark höhenkorrelierte Ansätze verwenden, die mit obigem Ansatz bestimmten Residuen jedoch gar keine Höhenkorrelation mehr zeigen, kann man schliessen, das die durch einfache isostatische Ansätze produzierten Anomalien durch den verwendeten Dichteansatz plausibel erklärt werden können, was nicht heisst, dass keine isostatischen Kräfte auftreten können. In dieser Interpretation setzt man voraus, dass die Moho die Untergrenze des isostatischen Modells bildet.

5.7.6 Die Molasse

Während der MOHO-Kontrast und die Dichte der Topographie plausible Werte ergeben, erscheint der Molassekontrast mit rund 10 % des erwarteten Dichtekontrastes als viel zu klein. Während die Lotabweichungen allein einen Dichtewert von -0.201 g/cm^3 mit guter Genauigkeit ergeben, wozu aber im wesentlichen nur die beiden NFP20 Profile verwendet werden können und auch die 40 ALGESTAR Geoidhöhen dies anzeigen, ergeben die zahlenmässig weit überlegenen Schwereanomalien diesen niedrigen Wert. Bei der gemeinsamen Ausgleichung aller Daten überwiegen die Schwereanomalien so stark, dass das Resultat praktisch nur von ihnen erzeugt wird. Ein Rechenfehler konnte soweit ausgeschlossen werden, als dieselben Resultate mit zwei unabhängigen Programmen erhalten wurden.

In Abb. 41 sind die Schwerewerte der Schweiz in Form einer Bougueranomalien-Karte dargestellt. Hierbei sind die gemessenen Schwerewerte reduziert um die Normalschwere $g_{Norm}(\varphi)$, den Freilufteffekt $g_{Frei}(H)$ und um die Wirkungen der topographischen Massen (g_{Top} und g_{Bpl}), die mit einer einheitlichen Dichte von 2.67g/cm^3 berechnet wurden. Sie enthalten noch die Wirkungen des Ivrea-Störkörpers (Norditalien und Tessin), die Moho oder eine isostatische Kompensation und oberflächennahe Abweichungen der Dichteverteilung wie Talfüllungen mit reduzierten Dichtewerten und insbesondere die Molassewirkungen.

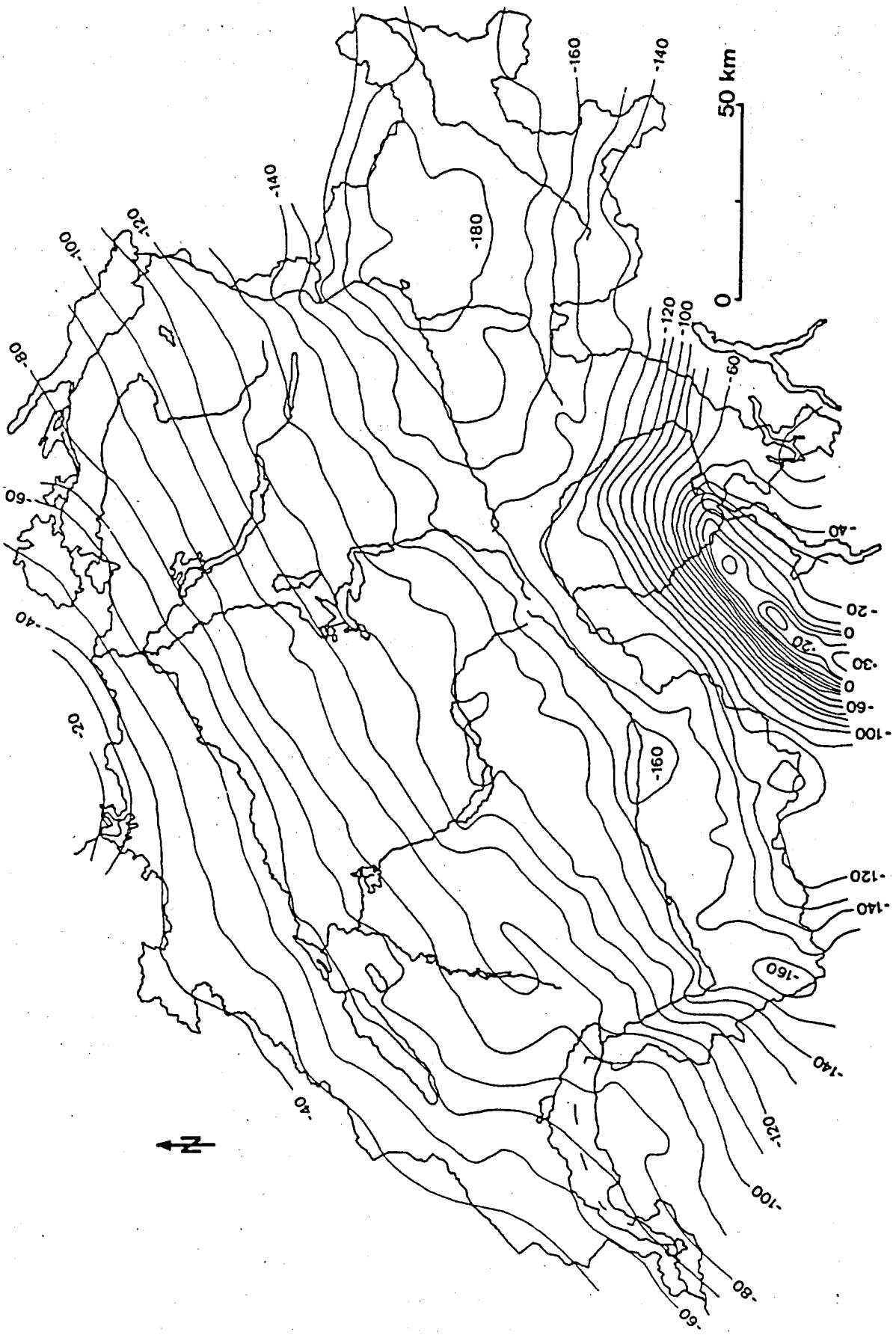


Abb. 41: Karte der Bouguer-Anomalien der Schweiz [Klingelé, Olivier 1980] (Einheit mgal = 10^{-5} ms^{-2})

Die Daten derselben Schwerekarte (Klingelé und Olivier 1980) wurden um die mittlere Neigung der Schwerewerte nördlich der Rhein-Rhone Linie gekippt (Trendabspaltung). Dies ebnet die Schwerewirkungen im schweizerischen Mittelland ein, so dass die Wirkungen des Molassetroges zu sehen sein müssten. Dort ist aber keine Trogwirkung von bis zu 30 mgal zu sehen, mit der charakteristischen Rampe am Südrand des Modells!

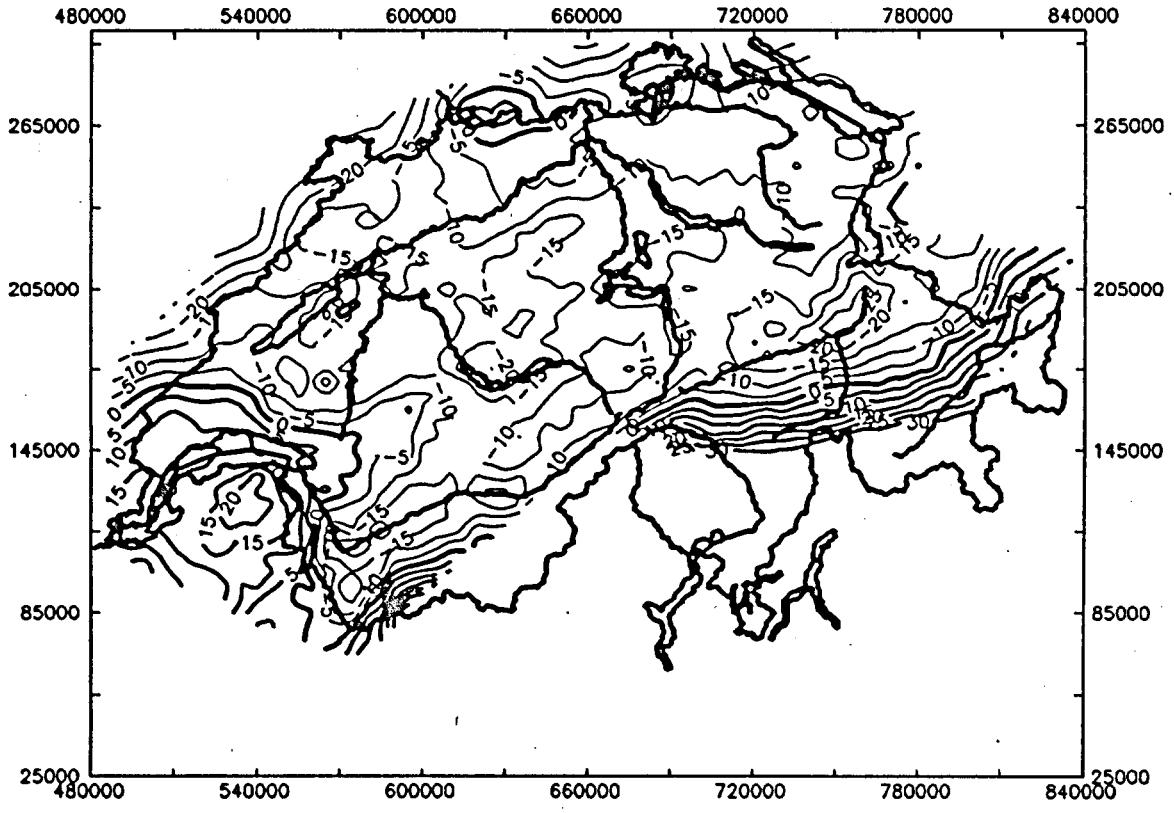


Abb. 42: Karte der Abb. 41 reduziert um Trend im Schweizerischen Mittelland. Hier müsste der Molassetrog deutlich sichtbar sein.

Ein möglicher Einwand gegen die Modellrechnungen könnte lauten: Es dürfen keine horizontalen Schweregradienten eingeführt werden, dies verfälscht die Ergebnisse, da eine zu starke Korrelation zwischen Gradienten und Molasse-Modellwirkungen vorhanden sein könnte.

Das Gegenargument dazu: Das Molassemodell beeinflusst ca. 30 - 50 % der Nord-Süd Ausdehnung der vorhandenen Schweremessungen, beide Modellränder, wo die Modellwirkungen < 5 mgal wird, liegen vollständig innerhalb des mit Messungen erfassten Gebietes. D.h., die Korrelation mit einem Gradienten über das ganze Messgebiet ist nicht gross. Und tatsächlich ändert sich am berechneten Dichtekontrast für das Molassemodell praktisch nichts, wenn auf die Gradienten verzichtet wird. Eine physikalisch sinnvolle

Interpretation für diese Gradienten gibt es unserer Meinung nach auch: z.B. nicht erfasste Dichteanomalien, die wesentlich tiefer liegen als die Moho.

Was in der Ausgleichung genau passiert, wenn keine horizontalen Schweregradienten eingeführt werden, illustrieren die beiden folgenden Abbildungen: In Abb. 43 wurden die Moho-Modellschwerewirkungen gegenüber den "gemessenen" Bougueranomalien abzüglich des Ivreamodells aufgetragen. Darin eingezeichnet ist die Regressionsgerade durch alle Punkte, deren Steigung den Dichtekontrast an der Moho widerspiegelt.

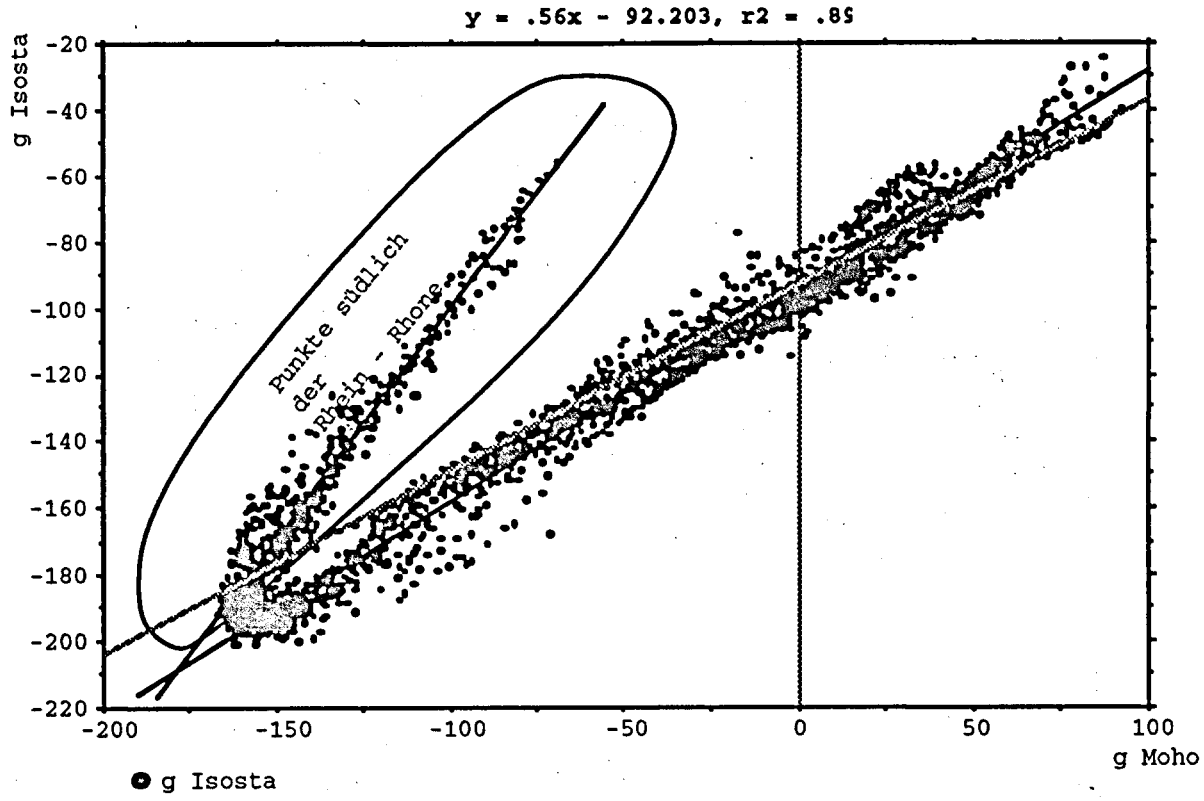


Abb. 43: Moho-Modellwirkungen gegenüber (Bougueranomalien minus Ivreaeffekt). Eine Regressionsgerade (eingezeichnet), die den Dichtekontrast widerspiegelt, wird der Situation nicht gerecht.

Die Regressionsgerade ergibt: 0.56 x 0.43 g/cm³ = 0.24 g/cm³, also genau den Wert, der mit der Ausgleichung erhalten wird. Sind aber die einzelnen Abweichungen von der Geraden tolerierbar? Eine mögliche, aber schwer vorstellbare Erklärung für das Phänomen ist die folgende: Es gibt zwei Mohokontraste, je einen für einen Ast der Punktwolke (ebenfalls eingetragen).

Nördlich der grössten Mohotiefen: 0.623 x 0.43 g/cm³ = 0.27 g/cm³.
Südlich der grössten Mohotiefen: 1.538 x 0.43 g/cm³ = 0.66 g/cm³.
(Steigungen der zwei Punktwolken getrennt).

Eine bessere Interpretation ist folgende: In den Bougueranomalien ist noch ein Gradient (bisher unerklärt) vorhanden, der bei den Modellrechnungen auch angesetzt wurde. Wenn die um diesen Gradienten reduzierten Bougueranomalien minus die Ivreawirkungen gegen die Moho-Modellwerte aufgetragen werden, vereinigen sich die beiden Punktwolken zu einer einzigen (Abb. 44), aus der sich ein mittlerer Mohokontrast aus der Steigung von 0.936 x 0.43 g/cm³ = 0.402 g/cm³ herauslesen lässt.

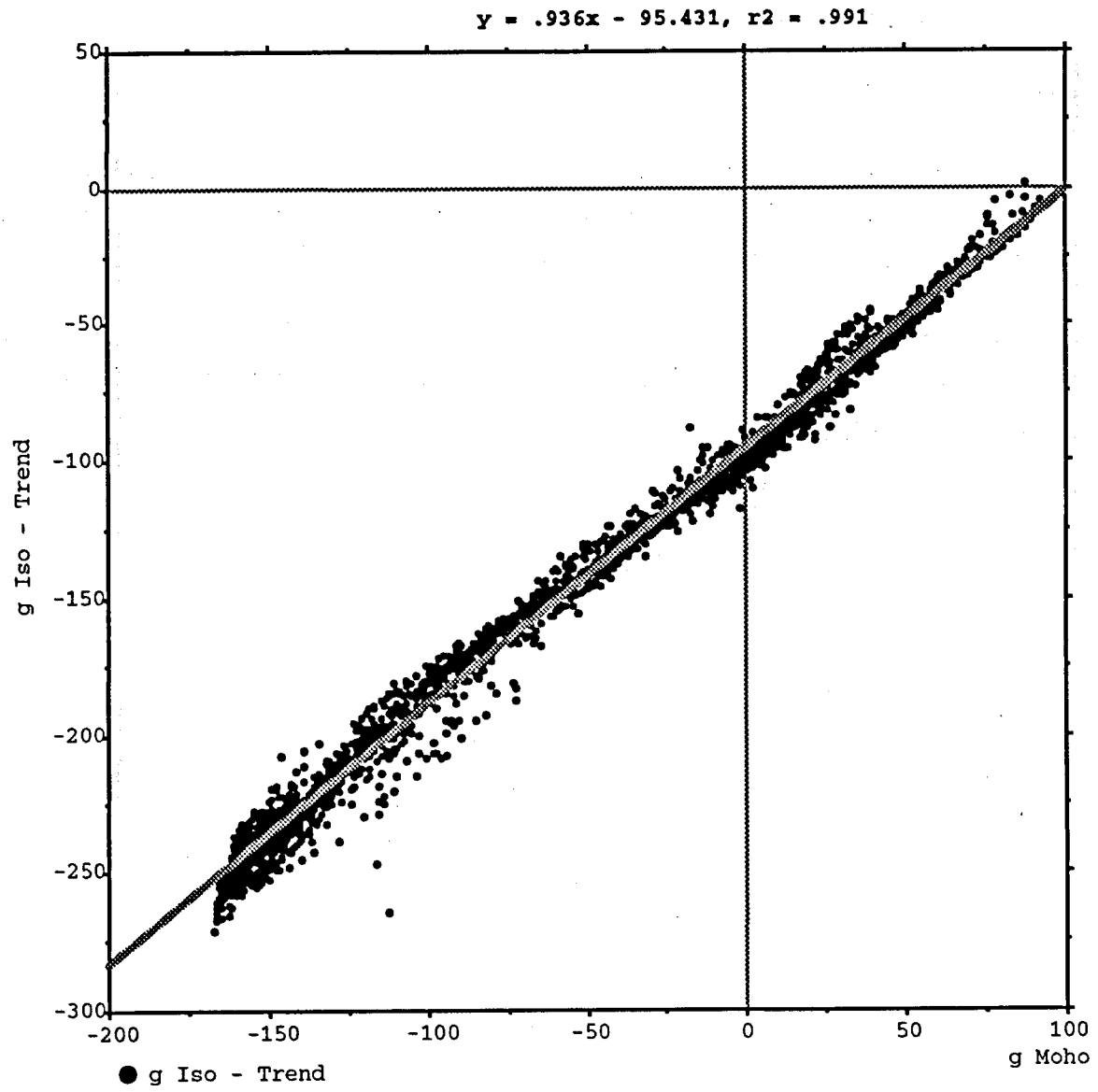


Abb. 44: Wie Abb. 43, aber nach abgespaltenen Horizontalgradienten.

Erklärungsversuche:

Variante 1

Das geometrische Modell der Molasse stimmt nicht, die Überschiebung mit alpinem Material müsste viel ausgedehnter sein. Damit würde auch die Modellwirkung nicht diese scharfe Abgrenzung gegen Süden erfahren, wie sie jetzt im Modell vorhanden, aber in den Messwerten nicht zu sehen ist.

Variante 2

Nicht das ganze Modell hat diesen grossen Dichtekontrast. Er würde nur an der Oberfläche gelten. Die Resultate von Dichtebestimmungen an Bohrkernen in der Molasse zeigen auch, dass durchaus höhere Dichtewerte angetroffen werden.

Die Lösung des Problems, auch was die Tatsache betrifft, dass die Lotabweichungen einen höheren Dichtekontrast anzeigen, als die Schwereanomalien, kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht gegeben werden, dazu braucht es weitere Untersuchungen.

6. Lagevergleich GPS - Landeskoordinaten

B. Wirth (IGP)*)

6.1 Allgemeines

Im Rahmen des NF Projektes 2.000-4.904 ALGESTAR wurden gesamtschweizerisch 40 Stationen auf Fixpunkten der Schweizerischen Landesvermessung mit GPS bestimmt. Erste Priorität bei der Wahl der Punkte wurde auf eine vorhandene nivellierte Höhe gelegt, da mit dem Projekt eine Geoidbestimmung mit GPS in der Schweiz durchgeführt werden sollte. Wo möglich, wurden die Stationen auf Triangulationspunkte mit nivellierter Höhe gelegt, damit mit denselben Messungen auch eine Lagekontrolle des Schweizerischen Landesnetzes möglich wird. Über die Höhenauswertung und -interpretation wurde detailliert in [Marti, 1990] und [Marti et al., 1990] berichtet. An dieser Stelle wird über die beobachteten Lage-Differenzen zwischen GPS und den Landeskoordinaten und deren Interpretation berichtet.

Es ist nicht das erste Mal, dass Differenzen im Landesnetz zu neueren Messungen aufgezeigt werden. Das Bundesamt für Landestopographie führt Diagnoseausgleichungen der Triangulationsnetze durch und weist Ungenauigkeiten der alten Netze nach. Elmiger [1989] berichtet über Distanzmessungen in der Gotthard-Alpentraverse, deren Ausgleichungen sehr gut auf das GPS-Netz GRANIT (siehe Kap. 2) passt. Auch im Europäischen Rahmen von RETRIG wurden Differenzen aufgezeigt.

Von den 40 ALGESTAR-Stationen weisen deren 35 genügend genaue Landeskoordinaten auf, um in die folgenden Untersuchungen einbezogen werden zu können. Zusätzlich wurden die 8 nicht in ALGESTAR aufgenommenen oder nicht identischen GRANIT-Stationen hinzugenommen, so dass total 43 Stützpunkte zur Verfügung stehen. Die geozentrischen kartesischen GPS-Koordinaten wurden vorgängig so transliert, dass die Station Zimmerwald auf die geozentrischen kartesischen Besselkoordinaten im Schweizer System (ellipsoidische Höhe) fiel. Dadurch wurden also weder Verdrehungen noch eine Massstabskorrektur angebracht. Anschliessend wurden sie in Schweizerische Landeskoordinaten umgerechnet. Der daraus entstandene Datensatz ist in Anhang A4 dokumentiert. Abb. 45 zeigt die Klaffungen dieser so transformierten GPS-Koordinaten (die vorgängig mit vier Helmertparametern auf die Landeskoordinaten transformiert worden sind). Auffällig sind die grösseren Vektoren mit systematischer Süd-Ost-Komponenten in der Südwestschweiz (Wallis) und die grossen Nord-Ost-Komponenten der Südtessiner Punkte. Die insgesamt grössten Klaffen mit am wenigsten Systematik treten bei den östlichsten Punkten auf (östlicher Teil Graubündens). Überraschenderweise treten auch in der Bodenseeregion am

*) jetzt Ingenieurbüro Joos, Davos

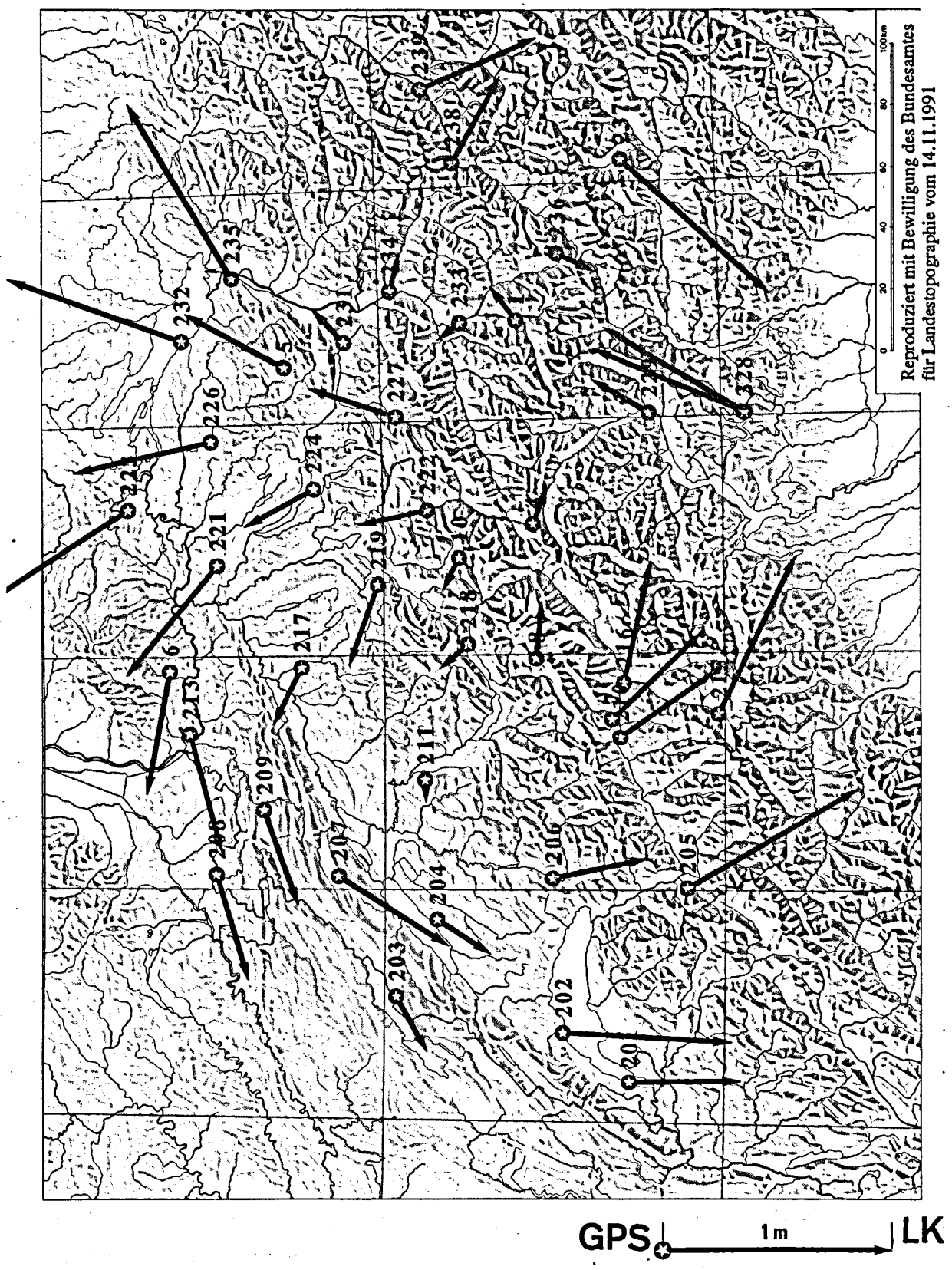


Abb. 45: Punkteverteilung und Klaffen zwischen GPS- und Landeskoordinaten.

nordöstlichen Ende der Schweiz relativ grosse Klaffen auf. Dies bestätigt die historischen Gegebenheiten: die Alpen erschwerten die homogene Punktebestimmung beträchtlich und die erreichbaren Genauigkeiten kommen nicht an diejenigen des Mittellandes heran.

Vor den weiteren Interpretationen dieser Restklaffen sind folgende Bemerkungen anzubringen: Ich bin mir über den geschichtlichen Werdegang der Triangulation und der Verschachtelung der Ordnungen ineinander bewusst. Ebenso darüber, dass jeder Punkt seine Geschichte hat bezüglich Untergrund, Rutschungen oder sonstigen Verschiebungen, Art des Anschlusses an die Nachbarpunkte und Punkte höherer Ordnung sowie Art der Berechnung. Auch darüber, dass früher nicht ganze Netze in einem Guss nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen wurden. All diese Gründe sprechen gegen eine Interpolation dieser Restklaffen. Wenn ich im folgenden trotzdem eine Interpolation durchführe, so erfolgt dies aus folgenden Gründen:

- Solange noch GPS-Bestimmungen in die bestehende Triangulation eingepasst werden, müssen die Restklaffen zu den Nachbarpunkten interpoliert werden. Dies funktioniert umso besser, je näher die Nachbarpunkte mit bekannten Restklaffen liegen.
- Es können Masse für die Verzerrungen (Massstäbe, Winkelverzerrungen) der Tissot'schen Indikatrizen angegeben werden, was sonst nicht möglich wäre.
- Die Beachtung der Nachbargenauigkeit bei klassischen Punktbestimmungen sprechen in beschränktem Rahmen für eine Interpolation.
- Ob GPS-Beobachtungen in die bestehenden Koordinaten eingepasst werden oder die bestehenden Landeskoordinaten in ein neubestimmtes GPS-Landesnetz übertragen werden, kommt letztlich auf dasselbe hinaus. Es kann nicht jeder Punkt in beiden Systemen bestimmt werden, so dass interpoliert werden muss. Die Frage dreht sich also allenfalls noch um die Dichte der Passpunkte.

Im folgenden werden die mathematischen Grundlagen der Verzerrungen und deren Anwendung bei der Kollokation gegeben.

6.2 Mathematischer Hintergrund

Aus der Flächentheorie stammen die folgenden Zusammenhänge:

$\vec{x}(u_1, u_2)$ bildet die Parameterebene (u_1, u_2) auf eine Fläche ab.

Eine Kurve in der Parameterebene hat die Darstellung: $[u_1(t), u_2(t)]$.

Das Bild dieser Kurve in der Fläche: $\vec{x}\left[u_1(t), u_2(t)\right]$

Die Ableitung dieser Kurve lautet:

$$\dot{\vec{x}}(t) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \frac{\partial \vec{x}}{\partial u_1} \cdot \frac{du_1}{dt} + \frac{\partial \vec{x}}{\partial u_2} \cdot \frac{du_2}{dt} = \vec{x_1} \cdot \dot{u}_1 + \vec{x_2} \cdot \dot{u}_2$$

$$d\vec{x} = \dot{\vec{x}}(t)\, dt = \vec{x_1}\, du_1 + \vec{x_2}\, du_2 \qquad (6.2\text{-}1)$$

Das Quadrat des Längenelementes $ds^2 = (d\vec{x} \cdot d\vec{x})$

$$ds^2 = \underbrace{\vec{x_1} \cdot \vec{x_1}}_{E}\, du_1^2 + 2 \cdot \underbrace{\vec{x_1} \cdot \vec{x_2}}_{F}\, du_1\, du_2 + \underbrace{\vec{x_2} \cdot \vec{x_2}}_{G}\, du_2^2 \qquad (6.2\text{-}2)$$

Erste Fundamentalform

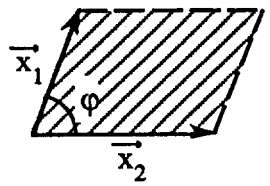
Wir schreiben diese Tangentialvektoren mit ihren Komponenten aus (mit drei Dimensionen, damit auch das Kreuzprodukt berechnet werden kann):

$$\vec{x_1} = \begin{pmatrix} x_{11} \\ x_{12} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad \vec{x_2} = \begin{pmatrix} x_{21} \\ x_{22} \\ 0 \end{pmatrix}$$

Die Grössen der ersten Fundamentalform lauten damit:

$$E = \vec{x_1} \cdot \vec{x_1} = x_{11}^2 + x_{12}^2 \qquad F = \vec{x_1} \cdot \vec{x_2} = x_{11}\, x_{21} + x_{12}\, x_{22}$$
$$G = \vec{x_2} \cdot \vec{x_2} = x_{21}^2 + x_{22}^2 \qquad (6.2\text{-}3)$$

Das Flächenelement kann mit den Grössen der ersten Fundamentalform berechnet werden:



$$\text{Parallelogrammfläche} = |\vec{x_1}|\, |\vec{x_2}| \sin\varphi = \sqrt{|\vec{x_1} \times \vec{x_2}|}$$

$$\vec{x_1} \times \vec{x_2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ x_{11}\, x_{22} - x_{12}\, x_{21} \end{pmatrix} \qquad |\vec{x_1} \times \vec{x_2}|^2 = x_{11}^2\, x_{22}^2 + x_{12}^2\, x_{21}^2 - 2\, x_{11}\, x_{22}\, x_{12}\, x_{21}$$

$$EG - F^2 = \cancel{x_{11}^2 x_{21}^2} + x_{11}^2 x_{22}^2 + x_{12}^2 x_{21}^2 + \cancel{x_{12}^2 x_{22}^2} - \cancel{x_{11}^2 x_{21}^2} - \cancel{x_{12}^2 x_{22}^2} - 2 x_{11} x_{21} x_{12} x_{22}$$

$$g = EG - F^2 = \begin{vmatrix} E & F \\ F & G \end{vmatrix} = \left| \vec{x}_1 \times \vec{x}_2 \right|^2 ; \qquad (6.2\text{–}4)$$

Fläche Parallelogramm $= \sqrt{g} = \sqrt{EG - F^2}$

Der Winkel φ zwischen den Bildern der Parameterlinien:

$$\cos\varphi = \frac{\vec{x}_1 \cdot \vec{x}_2}{\left|\vec{x}_1\right| \cdot \left|\vec{x}_2\right|} = \frac{x_{11} x_{21} + x_{12} x_{22}}{\sqrt{\left(x_{11}^2 + x_{12}^2\right) \cdot \left(x_{21}^2 + x_{22}^2\right)}} = \frac{F}{\sqrt{E \cdot G}} \qquad (6.2\text{–}5)$$

Aus der Kartenprojektionslehre stammt der Begriff der **Tissot'schen Indikatrix:** Sie stellt das Bild eines infinitesimalen Kreises in der Parameterebene dar.

Ein Kreis in der Parameterebene hat folgende Darstellung:

$$u_1(t) = t \cdot \cos\vartheta$$

$$u_2(t) = t \cdot \sin\vartheta$$

Die Abbildung ist speziell so gewählt, dass $\vec{u} = \begin{pmatrix} \frac{du_1}{dt} \\ \frac{du_2}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\vartheta \\ \sin\vartheta \end{pmatrix}$

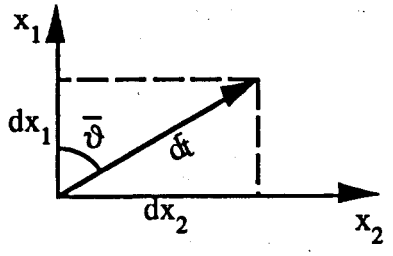
nicht tangential zum Kreis schaut, sondern den Differentialvektor bei Änderung des Radius t darstellt.

$$du_1 = dt \cdot \cos\vartheta$$

$$du_2 = dt \cdot \sin\vartheta$$

Das Bild von $\begin{pmatrix} du_1 \\ du_2 \end{pmatrix}$ lautet: $\vec{x}\,(dt \cdot \cos\vartheta,\ dt \cdot \sin\vartheta)$

$$\vec{dx} = \vec{x_1}\, du_1 + \vec{x_2}\, du_2 \quad \text{oder ausgeschrieben} \quad \begin{pmatrix} dx_1 \\ dx_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{21} \\ x_{12} & x_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} du_1 \\ du_2 \end{pmatrix}$$



$$\Uparrow \qquad \Uparrow$$

$$\begin{pmatrix} d\bar{t}\cos\bar{\vartheta} \\ d\bar{t}\sin\bar{\vartheta} \end{pmatrix} \qquad \begin{pmatrix} dt\cos\vartheta \\ dt\sin\vartheta \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} d\bar{t}\cos\bar{\vartheta} \\ d\bar{t}\sin\bar{\vartheta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{21} \\ x_{12} & x_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dt\cos\vartheta \\ dt\sin\vartheta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dt\cos\vartheta \\ dt\sin\vartheta \end{pmatrix}$$

Mit dem Längenverhältnis $m = \frac{d\bar{t}}{dt}$ kann dies noch umgeschrieben werden:

$$\boxed{\begin{pmatrix} m\cos\bar{\vartheta} \\ m\sin\bar{\vartheta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\vartheta \\ \sin\vartheta \end{pmatrix} = \frac{\vec{dx}}{dt} = \vec{P}(\vartheta)} \qquad (6.2\text{–}6)$$

Hier sind die Verzerrungseigenschaften m und $\bar{\vartheta}$ durch bekannte Grössen dargestellt. Gesucht sind die extremalen m und die zugehörigen ϑ.

Was für eine Figur stellt $\begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\vartheta \\ \sin\vartheta \end{pmatrix}$ dar ?

Dazu betrachten wir die zwei Punkte, die zu $\vartheta = 0$ und $\vartheta = \pi/2$ gehören, sowie die Tangentialvektoren in diesen beiden Punkten:

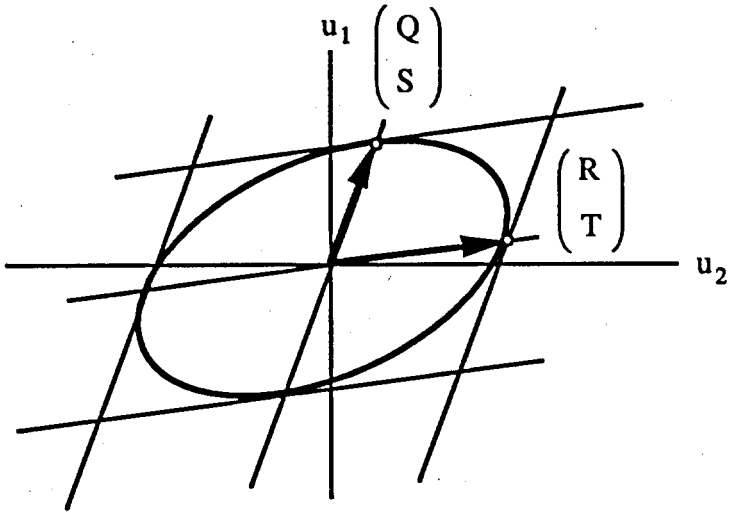
$$\vec{P}(\vartheta = 0) = \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q \\ S \end{pmatrix} \qquad \vec{P}\left(\vartheta = \frac{\pi}{2}\right) = \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \\ T \end{pmatrix}$$

$$\frac{d\vec{P}}{d\vartheta} = \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\sin\vartheta \\ \cos\vartheta \end{pmatrix}$$

$$\frac{d\vec{P}}{d\vartheta}(\vartheta = 0) = \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \\ T \end{pmatrix} = \vec{P}\left(\vartheta = \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\frac{d\vec{P}}{d\vartheta}\left(\vartheta = \frac{\pi}{2}\right) = \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1 \\ 0 \end{pmatrix} = -\begin{pmatrix} Q \\ S \end{pmatrix} = -\vec{P}(\vartheta = 0)$$

Das heisst, die Tangenten in den beiden betrachteten Punkten an die dargestellte Figur sind je parallel zum Ortsvektor zum anderen Punkt. Dies ist charakteristisch für die Darstellung einer **Ellipse mit konjugierten Durchmessern.**



Ellipse in der Darstellung mit konjugierten Durchmessern.

Gesucht sind von dieser Ellipse die grosse und die kleine Halbachse und das zur grossen Halbachse gehörende Azimut ϑ_1.

Dazu betrachten wir die Grösse m^2: $\vec{P} \cdot \vec{P} = \begin{pmatrix} m\cos\bar{\vartheta} \\ m\sin\bar{\vartheta} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} m\cos\bar{\vartheta} \\ m\sin\bar{\vartheta} \end{pmatrix}$

$$= m^2\cos^2\bar{\vartheta} + m^2\sin^2\bar{\vartheta} = m^2$$

$$= \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \cos\vartheta \\ \sin\vartheta \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Q & R \\ S & T \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \cos\vartheta \\ \sin\vartheta \end{pmatrix}$$

$$= (Q\cos\vartheta + R\sin\vartheta)^2 + (S\cos\vartheta + T\sin\vartheta)^2$$

$$= Q^2\cos^2\vartheta + R^2\sin^2\vartheta + 2QR\sin\vartheta\cos\vartheta +$$
$$S^2\cos^2\vartheta + T^2\sin^2\vartheta + 2ST\sin\vartheta\cos\vartheta$$

$$\boxed{m^2 = (Q^2+S^2)\cos^2\vartheta + (R^2+T^2)\sin^2\vartheta + 2(QR+ST)\sin\vartheta\cos\vartheta} \quad (6.2\text{–}7)$$

Wo wir noch die Vereinfachungen A, B und C einführen:

$$\boxed{m^2 = A\cos^2\vartheta + B\sin^2\vartheta + 2C\sin\vartheta\cos\vartheta} \quad (6.2\text{–}8)$$

m^2 ist periodisch und kann als reine Cosinusfunktion dargestellt werden:

$$\boxed{\text{Ansatz: } m^2 = m_0^2 + c \cdot \cos(2 \cdot (\vartheta - \vartheta_0))} \qquad (6.2\text{–}9)$$

Der Vorteil eines Ansatzes mit Cosinusfunktion gegenüber dem Sinus ist der, dass der Kosinus seine Extrema an den Stellen 0 und π hat, ein Extremum also für $\vartheta = \vartheta_0$.

Zuerst formen wir den zweiten Teil der Gleichung (6.2-9) um:

$$c \cdot \cos(2\vartheta - 2\vartheta_0) = c \cdot \cos 2\vartheta \cdot \cos 2\vartheta_0 + c \cdot \sin 2\vartheta \sin 2\vartheta_0$$
$$= c(\cos^2\vartheta - \sin^2\vartheta)\cos 2\vartheta_0 + 2c \sin\vartheta \cos\vartheta \sin 2\vartheta_0$$

dann den ersten Teil der Gleichung (6.2-8):

$$A\cos^2\vartheta + B\sin^2\vartheta = A\cos^2\vartheta + B(1 - \cos^2\vartheta) = B + (A - B)\cos^2\vartheta$$
$$A\cos^2\vartheta + B\sin^2\vartheta = A(1 - \sin^2\vartheta) + B\sin^2\vartheta = A + (B - A)\sin^2\vartheta$$
$$A\cos^2\vartheta + B\sin^2\vartheta = \frac{1}{2} \cdot \left(B + (A - B)\cos^2\vartheta + A + (B - A)\sin^2\vartheta\right)$$
$$A\cos^2\vartheta + B\sin^2\vartheta = \frac{1}{2} \cdot \left((A + B) + (A - B)(\cos^2\vartheta - \sin^2\vartheta)\right)$$

Jetzt können die beiden Gleichungen (6.2-8) und (6.2-9) miteinander verglichen werden:

$$\boxed{\begin{aligned} m^2 &= \frac{A+B}{2} + \frac{A-B}{2} \cdot (\cos^2\vartheta - \sin^2\vartheta) + 2C \cdot \sin\vartheta\cos\vartheta \\ &= m_0^2 + (c\cos 2\vartheta_0)(\cos^2\vartheta - \sin^2\vartheta) + (2c\sin 2\vartheta_0)\sin\vartheta\cos\vartheta \end{aligned}}$$

(6.2–10)

Dies ist erfüllt, wenn $m_0^2 = \frac{A+B}{2}$

$$c \sin 2\vartheta_0 = C$$

$$c \cos 2\vartheta_0 = \frac{A - B}{2}$$

$$\text{Daraus } c = \sqrt{C^2 + \frac{(A - B)^2}{4}}$$

$$\text{und } \tan 2\vartheta_0 = \frac{2C}{A - B}, \text{ also } \vartheta_0 = \frac{1}{2}\arctan\left(\frac{2C}{A - B}\right)$$

Die extremalen m^2 ergeben sich aus $m_0^2 \pm c$:

$$m_{max} = \sqrt{\frac{A+B}{2} + \sqrt{C^2 + \frac{(A-B)^2}{4}}}$$

$$m_{min} = \sqrt{\frac{A+B}{2} - \sqrt{C^2 + \frac{(A-B)^2}{4}}}$$

oder mit den Ausdrücken der Gleichung (6.2-7):

$$\vartheta_0 = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2 \cdot (QR+ST)}{Q^2+S^2-R^2-T^2}\right)$$

$$m_{max} = \sqrt{\frac{Q^2+S^2+R^2+T^2}{2} + \sqrt{(QR+ST)^2 + \frac{(Q^2+S^2-R^2-T^2)^2}{4}}}$$

$$m_{min} = \sqrt{\frac{Q^2+S^2+R^2+T^2}{2} - \sqrt{(QR+ST)^2 + \frac{(Q^2+S^2-R^2-T^2)^2}{4}}}$$

(6.2–11)

6.3 Anwendung auf die Interpolation mittels Kollokation

Für die Interpolation der Restklaffen wird die Methode der Kollokation mit unbekannten Parameter verwendet. Ansatz:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = m \cdot \begin{pmatrix} 1 & \alpha \\ -\alpha & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s_x' \\ s_y' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \end{pmatrix} \qquad (6.3\text{-}1)$$

mit

X, Y	Landeskoordinaten der Passpunkte.
x, y	Aus GPS berechnete Projektionskoordinaten (ohne Verdrehung oder Massstab berechnet).
ΔX, ΔY	Translationsparameter.
m	Massstabsfaktor.
α	Drehung.
s_x', s_y'	Signale je Komponente, enthalten den grösseren Teil der Restklaffen.
n_x, n_y	Noise je Komponente, verbleibende Restklaffen nach der Transformation.

Mit diesem Ansatz werden die GPS Koordinaten auf die Landeskoordinaten "deformiert". Die so berechneten Deformationsgrössen entsprechen damit gerade den Deformationen des Landesnetzes. Mit den unbekannten Parameter m, α, ΔX und ΔY werden als Trend die Elemente der ebenen Helmerttransformation abgespalten.

Da wir einen kleinen Massstab erwarten, können wir auch schreiben

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = (1 + dm) \begin{pmatrix} 1 & \alpha \\ -\alpha & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s_x' \\ s_y' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & \alpha \\ -\alpha & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} dm & 0 \\ 0 & dm \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} s_x' \\ s_y' \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} X &= x + \alpha y + dmx + \Delta X + s_x' + n_x \\ Y &= -\alpha x + y + dmy + \Delta Y + s_y' + n_y \end{aligned} \qquad (6.3\text{-}2)$$

$$\begin{array}{cccc} \alpha & dm & \Delta X & \Delta Y \\ \end{array}$$

$$\begin{bmatrix} +y & x & 1 & 0 \\ -x & y & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A \cdot x} \quad + \mathbf{s'} + \mathbf{n} - \mathbf{l} = \mathbf{0} \qquad \mathbf{l} = \begin{pmatrix} X - x \\ Y - y \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{s'} = \begin{pmatrix} s'_x \\ s'_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} k_i \cdot \Phi(x - x_i,\ y - y_i) \\ \sum_{i=1}^{n} j_i \cdot \Phi(x - x_i,\ y - y_i) \end{pmatrix}$$

k_i und j_i sind die Korrelaten

(6.3-3)

Φ stellt die Kovarianzfunktion dar

Aus (6.3-2) und (6.3-3) können wir die Ableitungen von $\vec{X}$ berechnen:

$$\vec{X}_1 = \frac{\partial \vec{X}}{\partial x} = \begin{pmatrix} 1 + dm + \sum_{i=1}^{n} k_i \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x}(x - x_i,\ y - y_i) \\ -\alpha + \sum_{i=1}^{n} j_i \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial x}(x - x_i,\ y - y_i) \end{pmatrix}$$

$$\vec{X}_2 = \frac{\partial \vec{X}}{\partial y} = \begin{pmatrix} \alpha + \sum_{i=1}^{n} k_i \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial y}(x - x_i,\ y - y_i) \\ 1 + dm + \sum_{i=1}^{n} j_i \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial y}(x - x_i,\ y - y_i) \end{pmatrix}$$

(6.3-4)

6.4 Auswertungen

Die Restklaffen der Abb. 45 wurden mit dem Ansatz (6.3-1) interpoliert. Von den 4 Helmertparametern interessieren hier besonders der mittlere Massstab dm und die mittlere Verdrehung dα:

$$dm = -6.6 \text{ ppm}$$
$$d\alpha = 0.9^{cc}$$

Die mittleren Restklaffen nach der Kollokation in den Stützpunkten betragen in beiden Komponenten ± 3.3 cm. In den Abbildungen 46 und 47 sind die interpolierten Signalkomponenten in Isolinienform dargestellt.

Die Verzerrungsmasse der Abb. 48 bis 51 enthalten gemäss Formel 6.3-4 auch die Anteile der unbekannten Parameter und sind somit unabhängig von der Abspaltung derselben bei der Kollokation. Die Flächenverzerrung der Abb. 48 erhält man fast exakt als Summe der Massstäbe in Richtung der zwei Hauptachsen der Tissot'schen Indikatrizen der Abb. 51. Interessant sind hier sicher die relativ grossen Beträge bei den Basislinien Heerbrugg und Bellinzona, die dem Landesnetz u.a. den Massstab gaben. Bei den Achsverzerrungen der Abb. 49 wird das fast fehlerfreie Mittelland sehr schön vom Jura und den Alpen abgehoben. Dasselbe gilt für die Abb. 50, wo die Abweichungen der x-Achse (Nordrichtung) des Landesnetzes zu GPS aufgetragen sind. Die Hauptachsen der Tissot'schen Indikatrizen in Abb. 51 mit ihren eingezeichneten Massstäben zeigt ebenfalls im Mittelland die insgesamt homogeneren und kleineren Verzerrungen an. Wenn man die mittleren -6.6 ppm entfernt, so ergibt sich Abb. 52, wo die im Mittel massstabsfreien Hauptachsen der Tissot'schen Indikatrizen dargestellt sind.

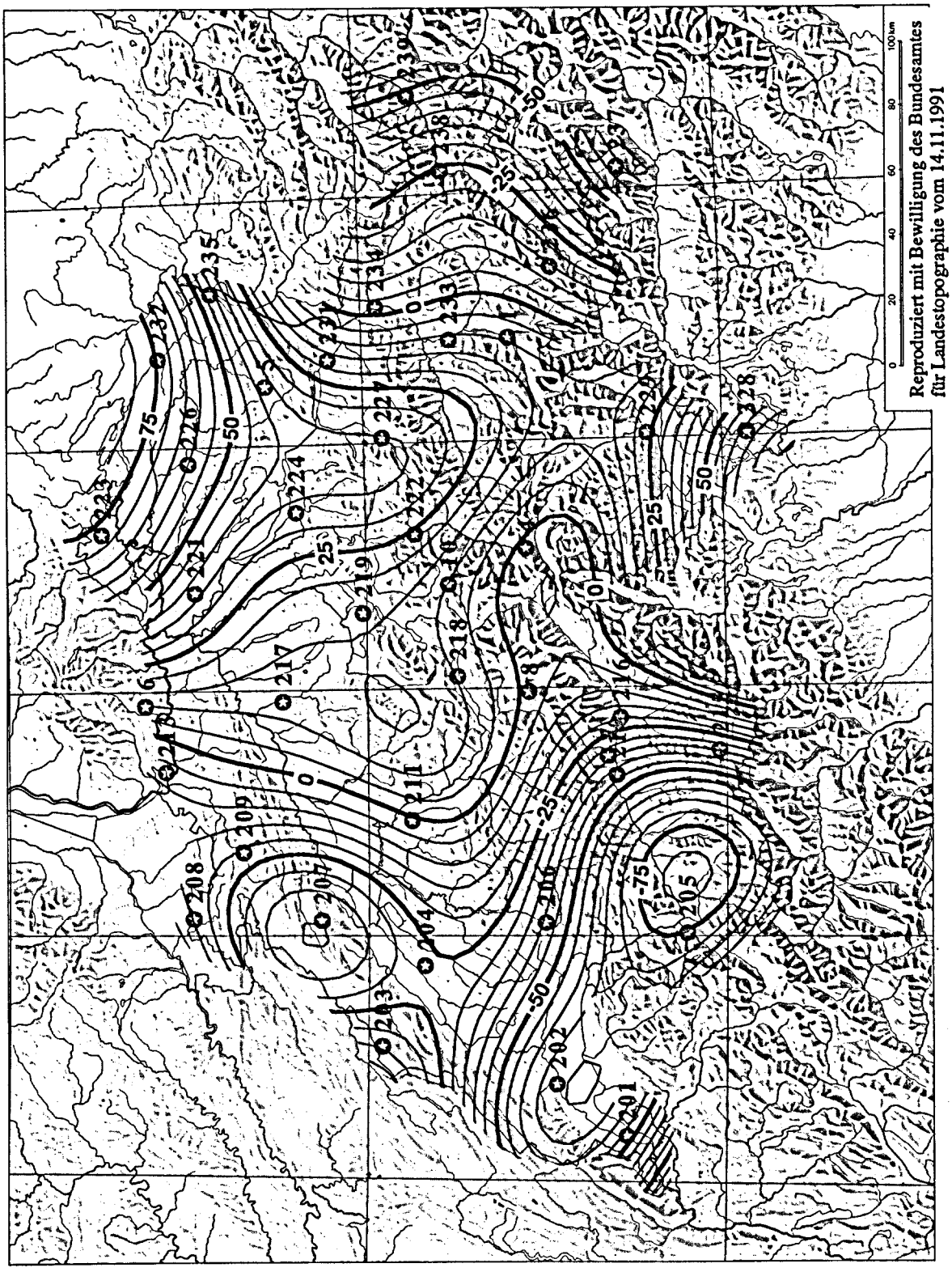


Abb. 46: Interpolierte Nord-Süd-Komponenten (s_x) der Signale in [cm].

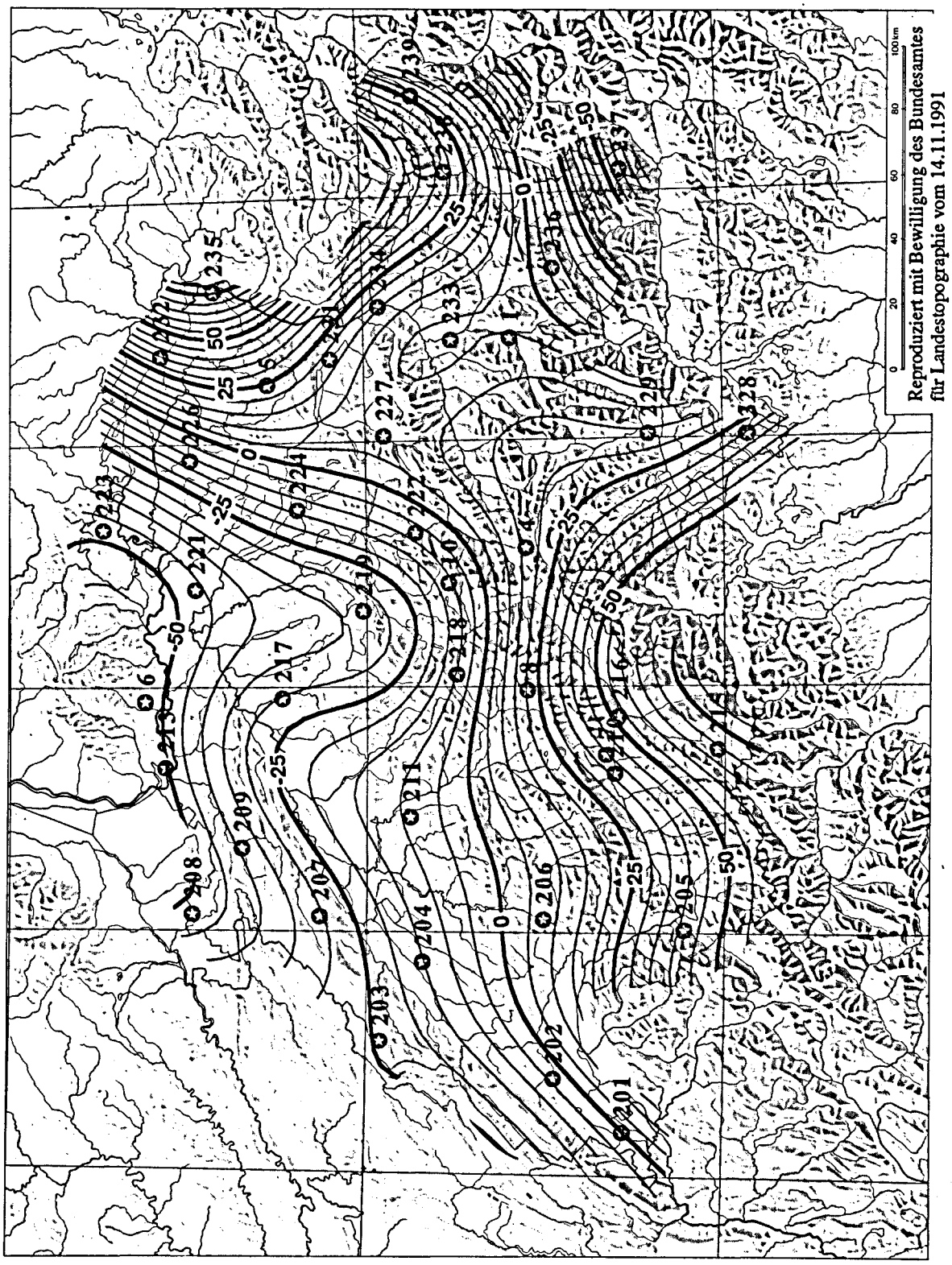


Abb. 47: Interpolierte Ost-West-Komponenten (s,) der Signale in [cm].

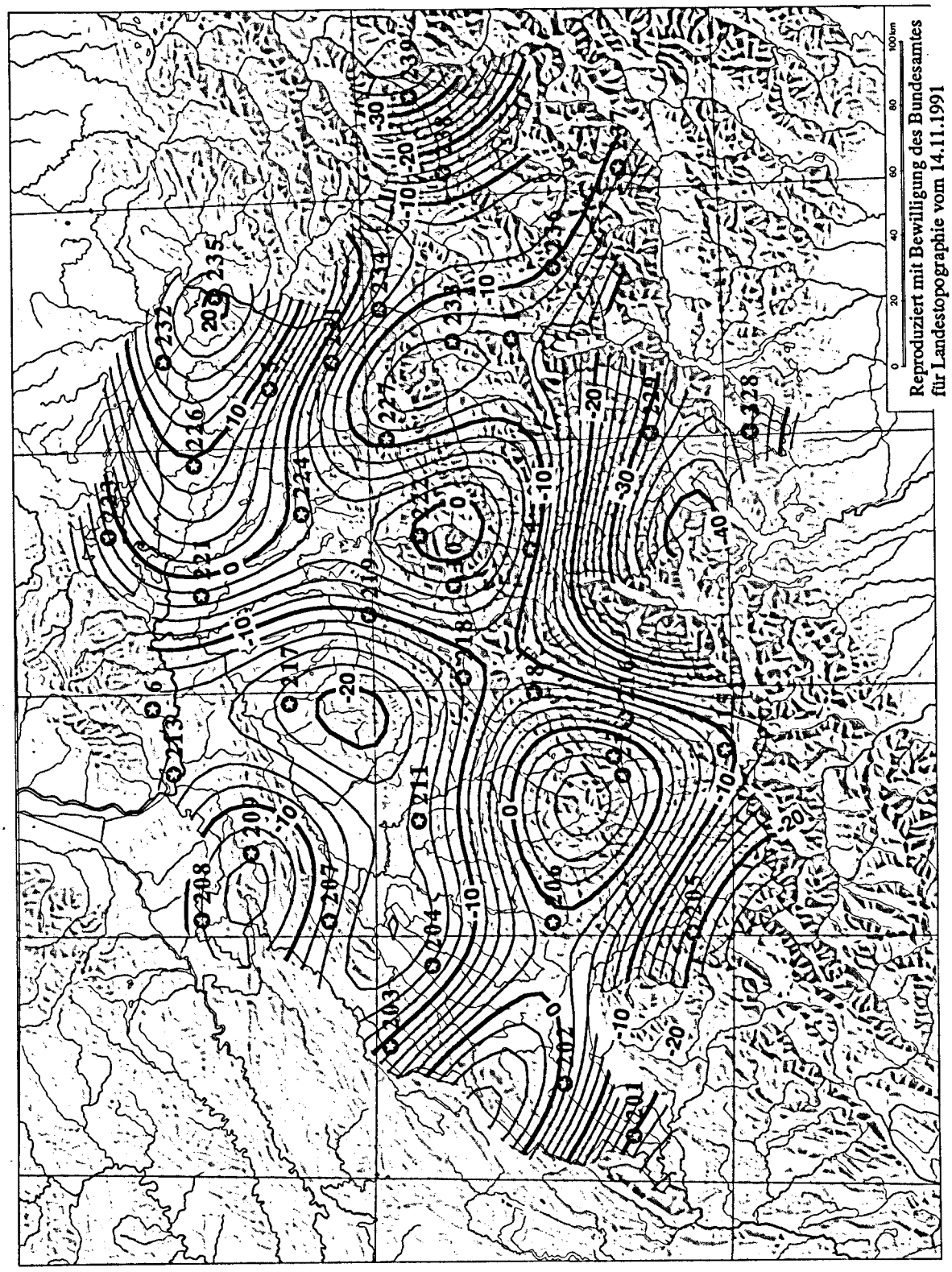


Abb. 48: Flächenverzerrungen $\sqrt{g} - 1$ *nach Formel (6.2-4) in ppm*

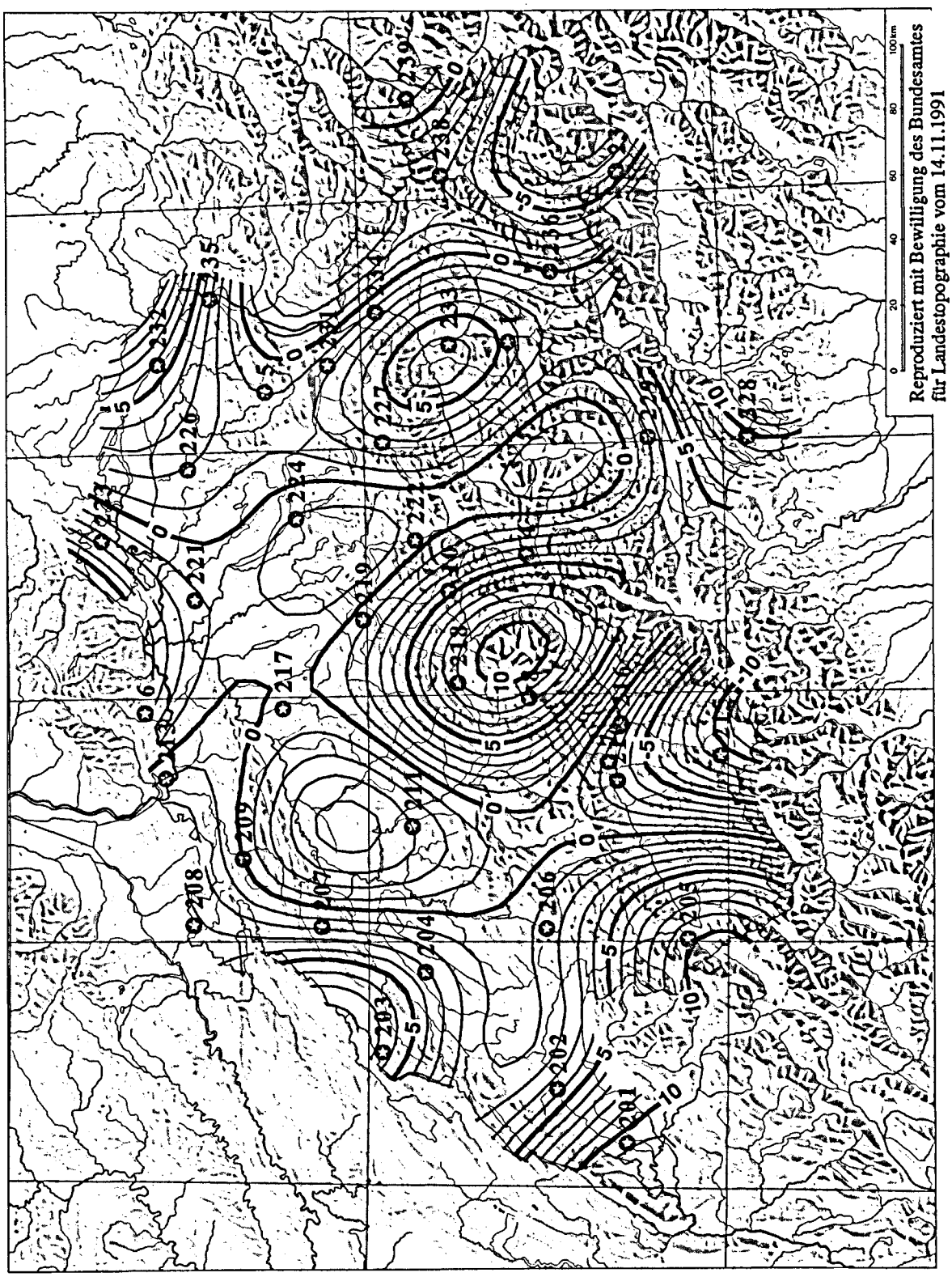


Abb. 49: Achsverzerrungen φ - 100^g nach Formel (6.2-5) in [^{cc}]

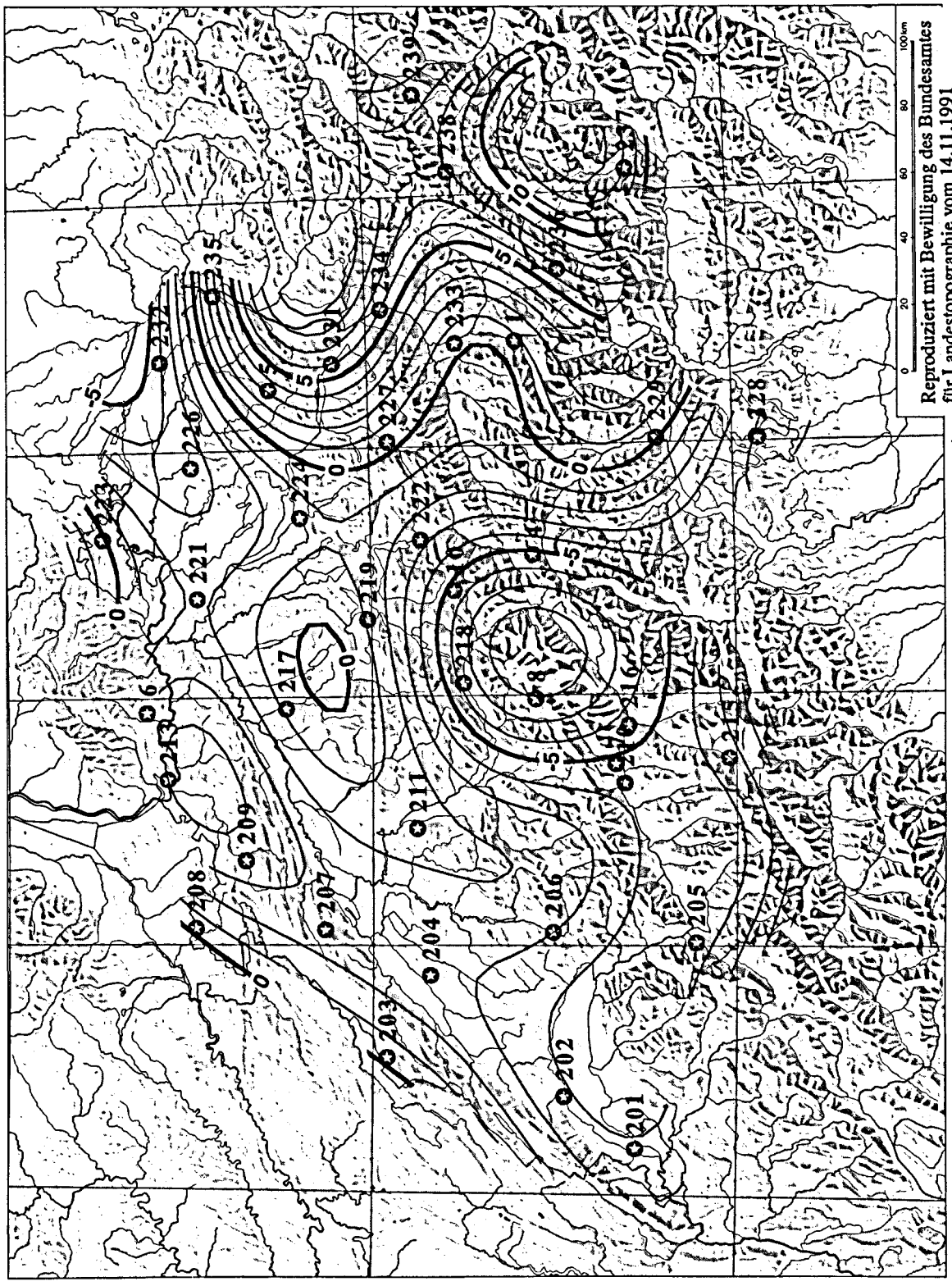


Abb. 50: Abweichungen der x-Achse (Nordrichtung) des Landesnetzes zu GPS.

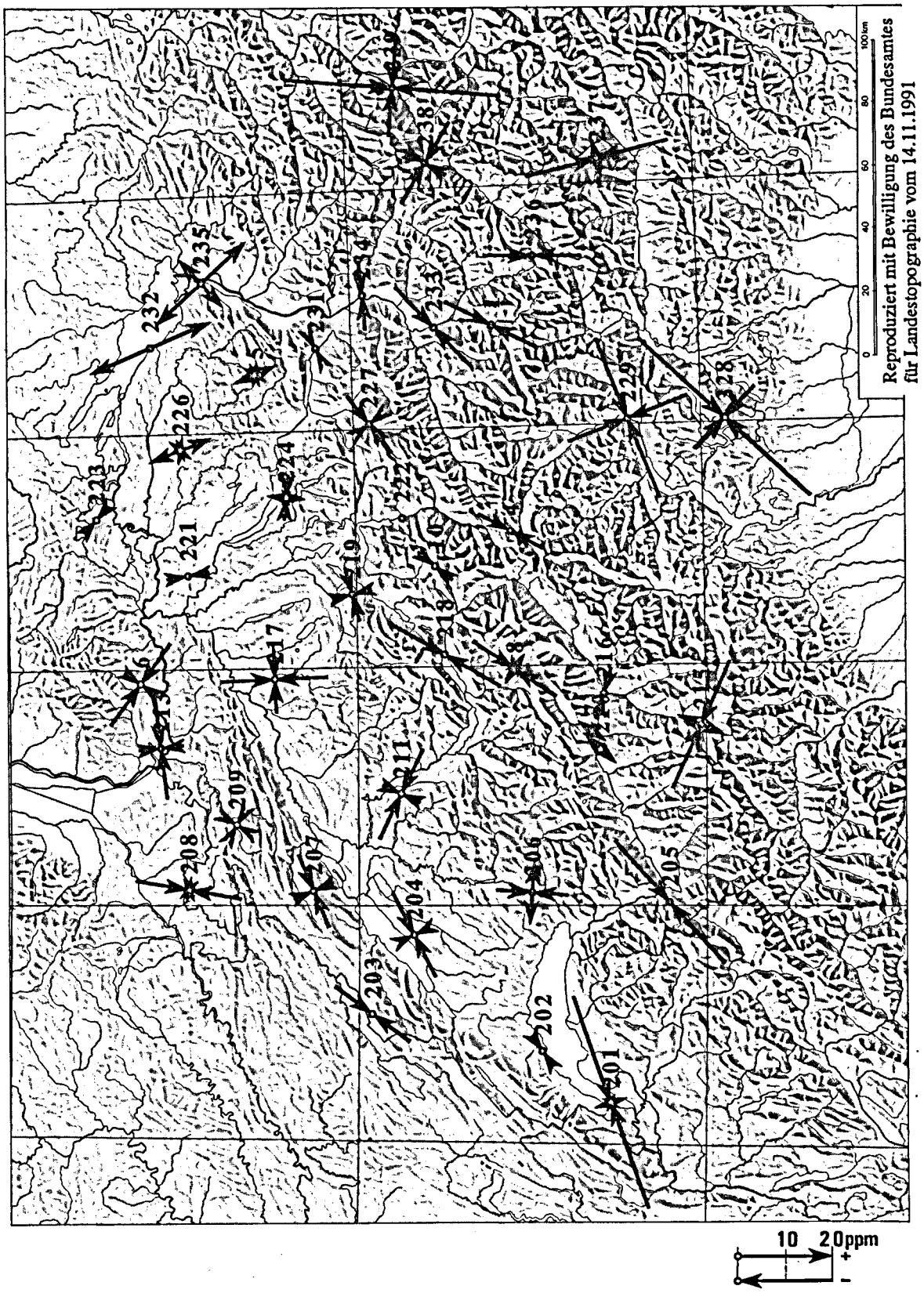


Abb. 51: Massstabsabweichungen in Richtung der Hauptachsen der Tissot'schen Indikatrizen nach Formeln (6.2-11).

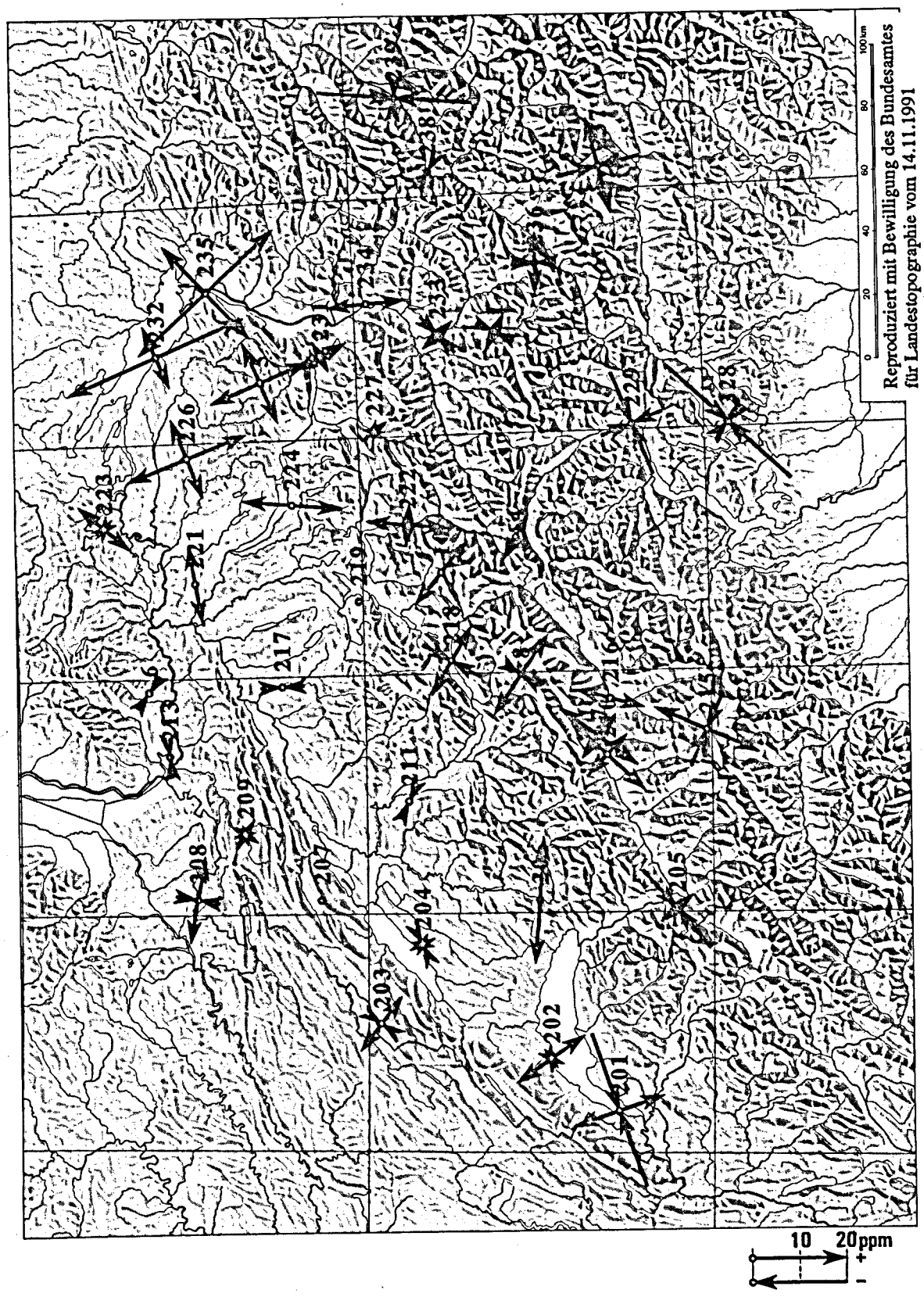


Abb. 52: Massstabsabweichungen in Richtung der Hauptachsen der Tissot'schen Indikatrizen nach Formeln (6.2-11) von den mittleren -6.6 ppm befreit.

7. Literaturverzeichnis

Beutler G., W. Gurtner, M. Rothacher, U. Wild (1989): The Swiss 1987 GPS Campaign: Experiences in Medium Size Networks. Proceedings of the First International Workshop on the Geodesy for the Europe-Africa Fixed Link in the Strait of Gibraltar, Madrid.

Beutler G. (1990): GPS Papers presented by the Astronomical Institute of the University of Berne in the years 1988 and 1989. Printing Office of the University of Berne.

Bürki B. (1985): Die Ivrea - Messkampagne 1983. IGP-Bericht Nr. 92, ETH Zürich, April 1985.

Bürki B., H.-G. Kahle, E. Vermaat, D. Van Loon (1986): Laserstrahlen vom Monte Generoso zum LAGEOS-Satelliten: Aktueller Forschungsbeitrag der Geodäsie und Geophysik zur globalen Geodynamik und Erdbebenforschung im Rahmen von NASA's Crustal Dynamics Project. VPK Nr. 6/86 225-231

Bürki B. (1987): Der Ivrea- Körper aus der Sicht der Geodäten. NFP 20 Bulletin Nr. 3, März 1987.

Bürki B., A.Geiger, H.-G. Kahle, W. Gurtner, P.Dunn (1987): The Swiss Trans-Alpine Laser-Experiment Monte Generoso - Jungfraujoch - Zimmerwald: A Short Status Report. 12th NASA's Crustal Dynamics Project Meeting, Pasadena, March 1987.

Bürki B. (1989): Integrale Schwerefeldbestimmung in der Ivrea-Zone und deren geophysikalische Interpretation. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 40.

Cocard, M., A.Geiger, B.Wirth, B.Bürki (1988): Versuche zur Kalibration von WM101- Antennen. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 142.

Elmiger A. (1969): Studien über Berechnung von Lotabweichungen aus Massen, Interpolation von Lotabweichungen und Geoidbestimmung in der Schweiz. Mitteilung aus dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Nr. 12.

Elmiger A., W. Gurtner (1983): Astro-geodätische Geoidbestimmung und Lotabweichungsinterpolation in der Schweiz. Beitrag zum Geoid-Kolloquium in Graz. IGP-Bericht Nr. 74, ETH Zürich.

Elmiger A. (1989): Alpentraverse Gotthard. In: Protokoll der 140. und 141. Sitzung der SGK, p22.

Geiger A., H.-G. Kahle, E. Gubler (1986): Recent crustal movements in the Alpine-Mediterranean region analyzed in the Swiss Alps. Tectonophysics, Vol. 130, pp. 289 - 298.

Geiger A., T. Mégel, H.-G. Kahle (1988): Three-Dimensional Modelling of Recent Crustal Movements of the Swiss Alps. Status Report NASA's Crustal Dynamics Project Meeting. Oct. 17-21 Munich, Germany.

Geiger A., B. Wirth, U. Marti (1990): Regularisation by Digital Topography and by Estimating Crustal Parameters from Gravity Field Data: Example of Switzerland. Paper presented at the first International Geoid Commission Symposium, Milano, June 11-13.

Geiger A. (1990): Gravimetrisches Geoid der Schweiz: Potentialtheoretische Untersuchungen zum Schwerefeld im Alpenraum. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 43.

Glaus R. (1990): Massenmodelle: Überprüfung und Erweiterung an Lotabweichungen und Schweremessungen. Geodätisches Seminar I. IGP, ETH Zürich.

Gubler E., H.-G. Kahle, E. Klingelé, St. Mueller, R. Olivier (1981): Recent Crustal Movements in Switzerland and their Geophysical Interpretation. Tectonophysics, Vol. 71, pp 125-152

Gubler E., D. Schneider, P. Kellerhals (1984): Bestimmung von rezenten Bewegungen der Erdkruste mit geodätischen Methoden. Technischer Bericht 84-17 der Nationalen Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, Baden 1984.

Gubler E. (1984): Die Bestimmung rezenter Krustenbewegungen mit Hilfe von Präzisionsnivellements - Ein Überblick. Vermessungswesen und Raumordnung, 46. Heft 2, März 1984.

Gubler E. (1988): Rezente Vertikalbewegungen aus wiederholten Nivellements auf den Linien Bellinzona - Brissago und Visp - Zermatt. NFP20 Bulletin Nr. 6.

Gubler E.(1989): Verschiedene Möglichkeiten zur graphischen Darstellung der rezenten Vertikalbewegungen in der Schweiz. NFP20-Bulletin Nr. 8.

Gubler E., S. Arca, J. Kakkuri, K. Zippelt (1992): Recent vertical movement. In "A Continent Revealed, the European Geotraverse, Atlas of Compiled Data", pp. 20-24.

Gurtner W. (1978): Das Geoid in der Schweiz. Mitteilung Nr. 20 des IGP der ETH, Februar 1978.

Gurtner W., G. Beutler, S. Botton, M. Rothacher, A. Geiger, H.-G. Kahle, D. Schneider, A. Wiget (1987): The Use of Global Positioning System in Mountainous Areas. Manuscripta Geodaetica, 14: 53-60.

Holliger K, E. Kissling (1992): Gravity interpretation of a unified 2D acoustic image of the central Alpine collision zone. Geophys. J. Int. 111, 2 : 213-225.

Jeanrichard F. (1990): L'apport de la géodésie à la recherche sur les mouvements de l'écorce terrestre dans le Jura. Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles, Vol. 113, pp. 59-66.

Jeanrichard F. (Hsg.) (1992): Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985-1990. Teil 1. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 45.

Kahle H.-G., E. Klingelé, St. Mueller, R. Egloff (1976): The Variation of Crustal Thickness Across the Swiss Alps Based on Gravity and Explosion Seismic Data. Pageoph. Vol. 114, 479-494.

Kahle H.-G., P.J. Cagienard, St. Mueller, I. Marson, F. Chaperon (1981): Absolute Schweremessungen in der Schweiz als Basis für geodynamische Untersuchungen zur aktuellen Alpentektonik. VPK, 7/81: 221-228.

Kahle H.-G., U. Marti (1987): Geodäsie, Präzisionsnivellements und GPS-Satellitengeodäsie: Beitrag zur geologischen Tiefenstruktur und zur Alpendynamik. Wissenschaftlicher Zwischenbericht an die Abteilung Nationale Forschungsprogramme (Mai 1987).

Kahle H.-G., E. Gubler, I. Bauersima (1986): Geodäsie, Präzisionsnivellements und GPS-Satellitengeodäsie: Beitrag zur geologischen Tiefenstruktur und zur Alpendynamik. NFP20-Bulletin Nr. 1, Juli 1986.

Kahle H.-G., E. Gubler, I. Bauersima (1987): Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik. NFP20-Bulletin Nr. 5. Dezember 1987

Kahle H.-G., B. Wirth, E. Gubler, I. Bauersima, M. Rothacher (1989): Geodäsie, Präzisionsnivellements und GPS-Satellitengeodäsie: Beitrag zur Geologischen Tiefenstruktur der Schweiz. NFP20.

Kissling E. (1982): Aufbau der Kruste und des oberen Mantels in der Schweiz. Schweizerische Geodätische Kommission. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 35, 37-126.

Klingelé E., R. Olivier (1980): La nouvelle carte gravimétrique de la Suisse (Anomalie de Bouguer). Matériaux pour la Géologie de la Suisse, Géophysique No. 20, Commission Suisse de Géophysique.

Marson I., H.-G. Kahle, St. Mueller, F. Chaperon, F. Alasia, (1981): Absolute gravity measurements in Switzerland: Definition of a base network for geodynamic investigations and for the Swiss fundamental gravity net. In: Bulletin Géodésique, 55: 203-217.

Marti U. (1990): ALGESTAR: Satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz mit GPS. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, SGK, Band 41 .

Marti U., H.-G. Kahle, B. Wirth (1990): ALGESTAR: Satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz. Ein aktueller Beitrag zur Landesvermessung. VPK 8/90 413 - 418.

Menard G. (1979): Relations entre structures profondes et structures superficielles dans le sud-est de la France. Institut de Recherches Interdisciplinaires de Géologie et de Mecanique, Université de Grenoble.

Mueller S, J. Ansorge, R. Egloff, E. Kissling (1980): A crustal cross section along the Swiss Geotraverse from the Rhinegraben to the Po plain. Eclogae Geol. Helv. Vol. 73, Nr. 2, 463 - 485

Nebiker S. (1988): Auswertung der GPS-Messungen im Polygonzug Visp - Zermatt. IGP-Bericht Nr. 146, ETH Zürich, April 1988.

Ötiker M. (1988): Überprüfung des Mohomodells anhand der ausgeführten astrogeodätischen Messungen auf der Osttraverse. Geodätisches Seminar II, SS 1988.

Reilly W.I., E. Gubler (1990): Crustal strain in Switzerland 1870-1970. Geophys. J. Int., Vol. 103, pp. 251-256

Rothacher M., G. Beutler, A. Geiger, W. Gurtner, H.-G. Kahle, D. Schneider (1986): The 1985 Swiss GPS campaign. In: Proceedings of the Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, April 28-May 2, 1986, Austin, Texas, USA, Vol. 2, pp. 979-991.

Rothacher M., W. Gurtner, G. Beutler, T. Schildknecht, I. Bauersima (1988): Geodätische Verbindung der West- und Osttraverse: Stand der GPS-Auswertungen. NFP20 Bulletin Nr. 6.

Rothacher M., W. Gurtner, G. Beutler, T. Schildknecht, I. Bauersima (1989): Geodätische Verbindung der West- und Osttraverse: Stand der GPS-Auswertungen. NFP20-Bulletin Nr. 8.

Rothacher M., G. Beutler, W. Gurtner, T. Schildknecht, U. Wild (1990): Bernese GPS Software Version 3.2. Printing Office, University of Berne, Switzerland.

Rothacher M., G. Beutler, W. Gurtner, U. Wild, D. Schneider, A. Wiget, A. Geiger, H.-G. Kahle (1990): The Role of the Atmosphere in Small GPS Networks. Proceedings of the Second International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System, Ottawa, Canada, September 3 - 7, The Canadian Institute of Surveying and Mapping, pp. 581-598.

Rybach L., A. Lambert (eds.) (1980): Symposium Alpine Geotraverses - with special emphasis on the Basel-Chiasso profile. Eclogae geol. Helv. 73; 351-679. Inter Union Commission on Geodynamics. Scientific Report Nr. 69.

Schmid HH., Heggli S. (1978): Räumliche Koordinatentransformation. Eine pseudolineare Formulierung als Annäherungslösung und eine strenge Ausgleichung mit entsprechendem Fortran-Programm. IPG Mitteilung Nr. 23. ETH Zürich

Schneider D., N. Wunderlin (1981): RAUMTRI - Dreidimensionale Netzausgleichung in einem geozentrischen kartesischen Koordinatensystem. Programmbeschreibung / Benützeranleitung. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 45.

Schneider D., A. Geiger (1986): Geodäsie: Nivellementslinie, Astrogeodätisches Profil und GPS-Satellitenvermessung zwischen Visp und Zermatt. Status Report. NFP20 Bulletin 2.

Schneider D., A. Geiger, H.-G. Kahle (1992): Dreidimensionales Testnetz Turtmann: Netzaufbau, Geologie, Präanalyse. In: Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985 - 1990. (Hsg. F. Jeanrichard). Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 45. pp. 1 - 59

Schwendener H. (1984): Ein gravimetrisches Krusten-Mantel Modell für ein Profil vom nördlichen Alpenvorland bis an die Ligurische Küste. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 36.

SGK:Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz. Band 9 (1901), Band 20 (1939), Band 22 (1944), Band 24 (1951), Band 26 (1967).

Stein A., O. Vecchia, R. Froehlich (1978): A seismic model of a refraction profile across the western Po valley. In: Alps, Apennines and Hellenides; H. Closs, D. Roeder, K. Schmidt (eds.); E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Wirth B., U. Marti (1986): Lotrichtungs- und Schweremessungen in der Ivrea-Zone. -Messkampagnen 1985 / 86-. Stationsprotokolle, 3-D Koordinaten und Schwerewerte. IGP-Bericht Nr. 114, ETH Zürich.

Wirth B. (1987): Geodäsie: Astrogeodätische Lotabweichungen in der Osttraverse. NFP 20 Bulletin Nr. 4, Mai 1987.

Wirth B., U. Marti, B. Bürki (1987): Lotrichtungs- und Schweremessungen in der Ivrea-Zone. Reduktionen und Interpretationen der Kampagnen 1983 bis 1986. IGP-Bericht Nr. 125, ETH Zürich, April 1987.

Wirth B., U. Marti (1988): Geodätische Aktivitäten auf der Ost- und Westtraverse. NFP20-Bulletin Nr. 6.

Wirth B. U. Marti (1988): Beitrag der Geodäsie zur Dichtebestimmung der geologischen Tiefenstruktur. Astrogeodätische Messungen und Interpretation. IGP-Bericht Nr. 148, ETH Zürich.

Wirth B., U. Marti (1988): The Swiss National Research Project "Deep Crustal Structure under the Alps": Contribution of Geodesy. 66th Journées Luxembourgeoises de Géodynamique. Extended Abstract.

Wirth B. (1989): Astronomische und Satellitengeodäsie. NFP20 Bulletin Nr. 8.

Wirth B. (1989): Terrestrischer Präzisionspolygonzug Visp - Zermatt. Kombination mit GPS. Auswertungen und Zusammenstellung der im Diplomvermessungskurs 1987 erhobenen Messungen. IGP-Bericht Nr. 159, ETH Zürich.

Wirth B. (1990): Höhensysteme, Schwerepotentiale und Niveauflächen: Systematische Untersuchungen zur zukünftigen terrestrischen und GPS-gestützten Höhenbestimmung in der Schweiz. Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Band 42.

Zeger J. (1985): Aufbau eines neuen Höhensystems in Österreich. AVN 8-9: pp 299-311.

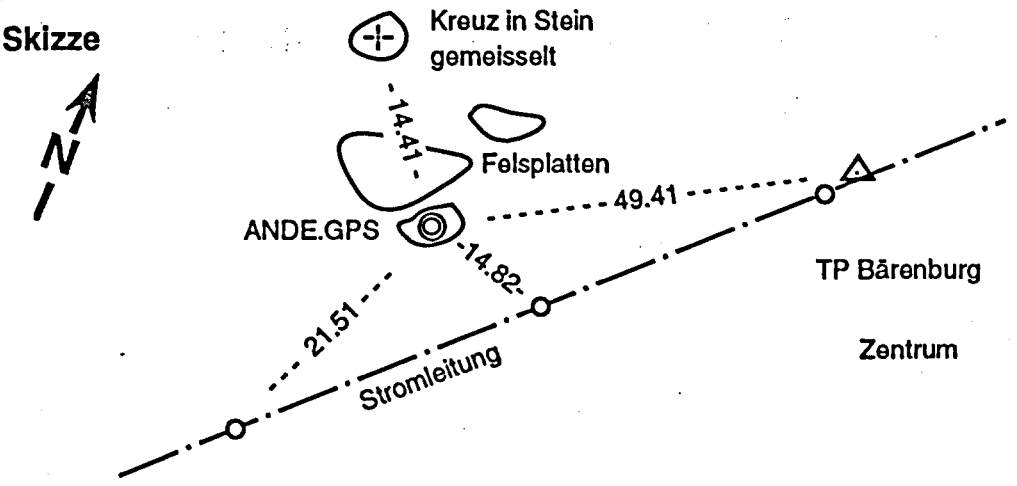
Anhang A1: GRANIT-Punktbeschreibungen

Station Andeer GRANIT

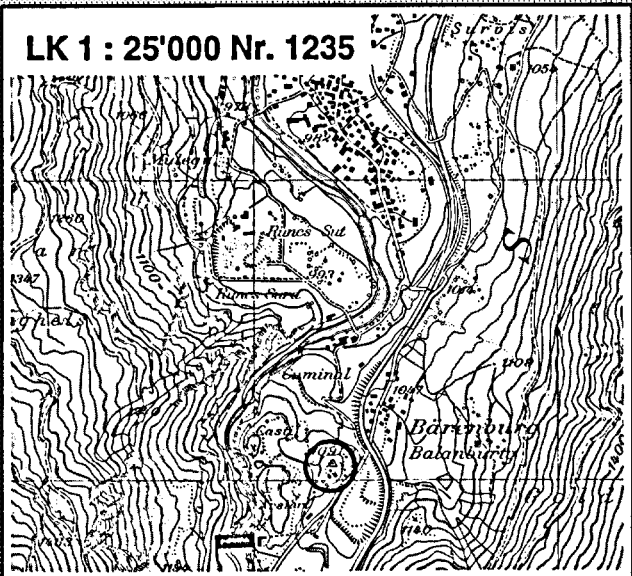
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
TP Bärenburg	752258.270	162057.010	1091.330
ANDE.GPS (TI)	752232.725	162014.719	1087.976
ANDEER.Ex (Tr)	752234.170	162023.144	1088.553

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1235



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

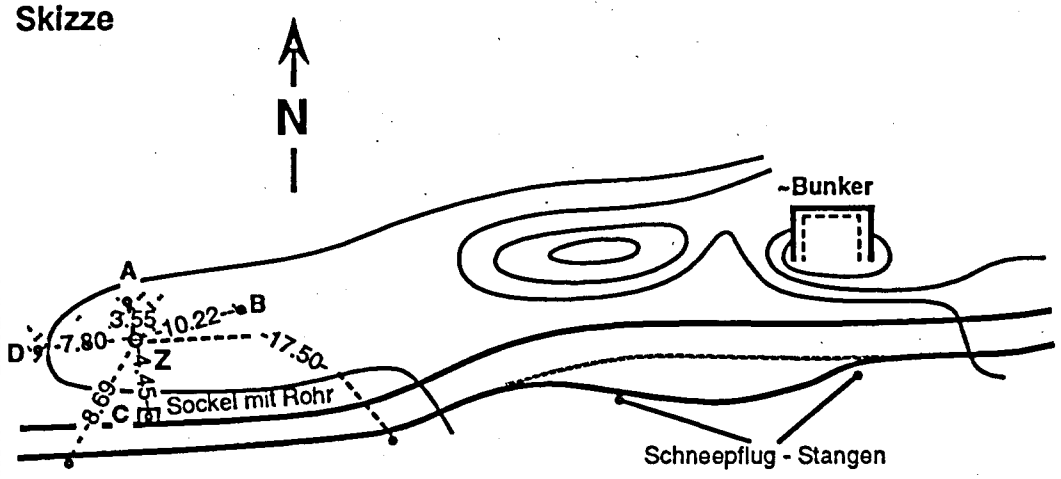
Bolzen in abgeschliffenem Felsen ca 50 m südwestlich des Zentrums Bärenburg. Ab alter Kantonsstrasse Andeer - Sufers nach Bärenburg Feldweg nach Casti nehmen.

Station Chasseral GRANIT

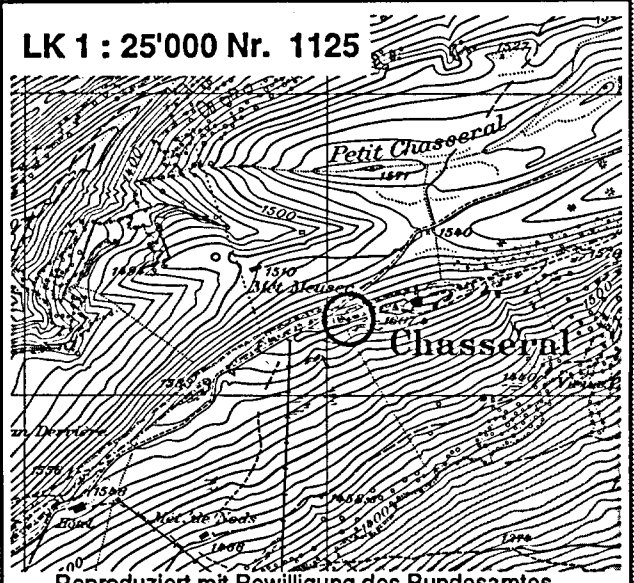
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
TP CH 08	571223.010	220294.240	1607.400
CHAS.GPS (TI)	571096.947	220267.864	1597.679
GPS.A	571095.127	220271.112	1597.895
GPS.B	571105.133	220273.973	1598.433
GPS.C	571100.808	220265.872	1597.065
GPS.D	571089.079	220263.886	1597.258

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1125



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

Z : Kappenbolzen
A - D: neue Versicherungsbolzen vertikal versetzt.

Zufahrt via Kerzers, LeLanderon.

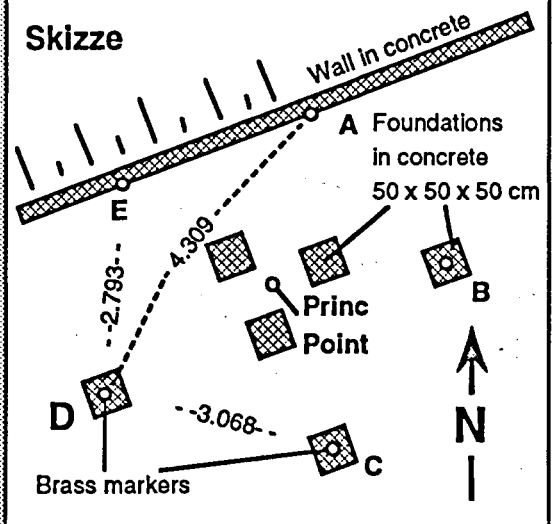
ca 130 m westlich TP CH08.

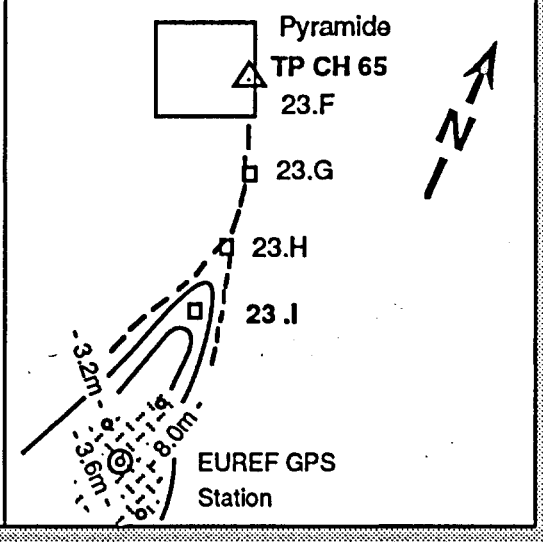
Station Generoso GRANIT

Landeskoordinaten

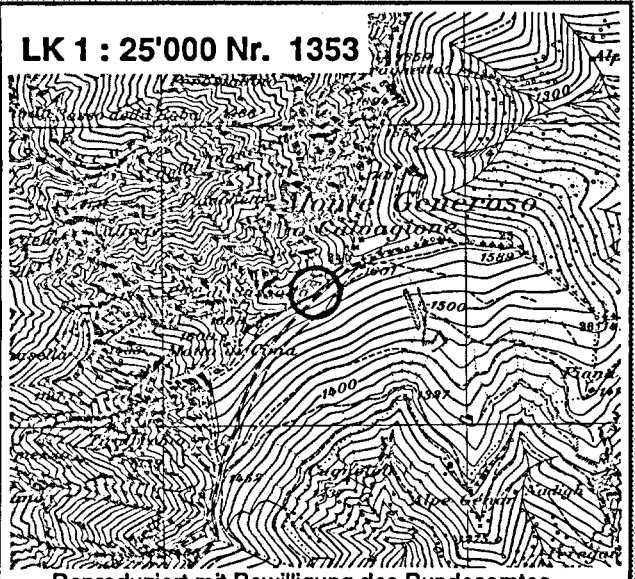
Name	Y	X	H
TP CH 65	722656.140	87869.230	1701.320
Marker D (TI)	722492.461	87449.748	1599.655
GP 23 I (TI)	722658.398	87820.510	1694.956
EUREF	722649.143	87787.844	1692.650

Skizze





LK 1 : 25'000 Nr. 1353



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

Marker D:
ca 60 m westlich des Hotels Bolzen in Betonfundament auf Kinderspielplatz.

GP 23.I :
Landesgrenzstein ca 50 m südlich des TP CH 65.

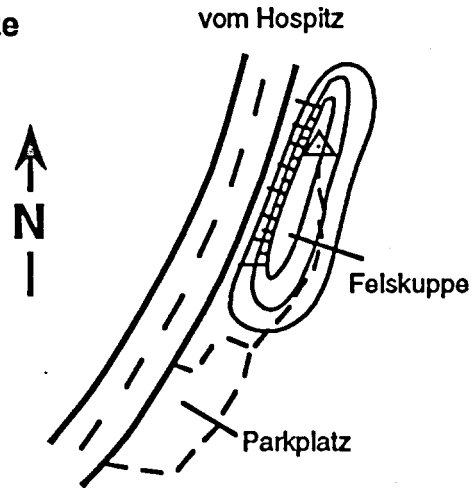
EUREF GPS :
Kappenbolzen, Flansche für Metallpfeiler, RV-Bolzen A-C : weitere ca30 m südlich GP 23.I auf Felskopf.

Station Gotthard Süd GRANIT

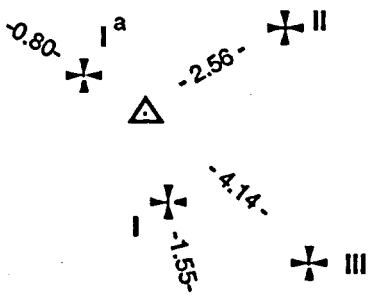
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
San Gottardo Süd	686416.240	156226.700	2109.290

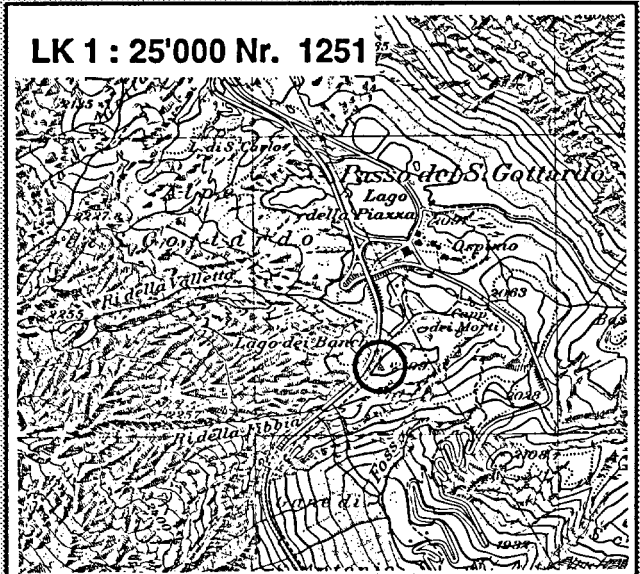
Skizze



Detail



LK 1 : 25'000 Nr. 1251



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

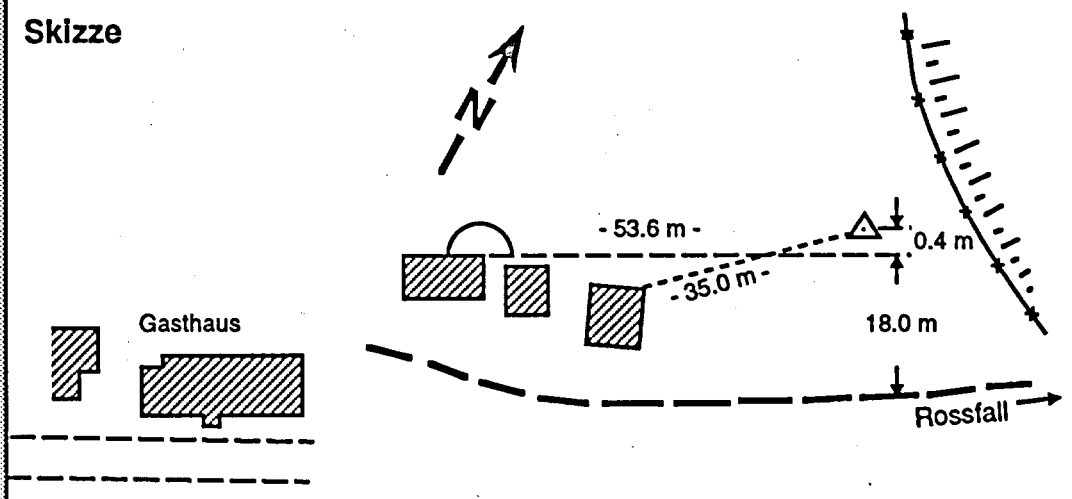
Bronze Bolzen auf markanter Felskuppe östlich der Gotthard-Passstrasse.
Triangulationspunkt Ti 79.
Vom Parkplatz südlich des Punktes ca 50 m zu Fuss.

Station Hochalp GRANIT

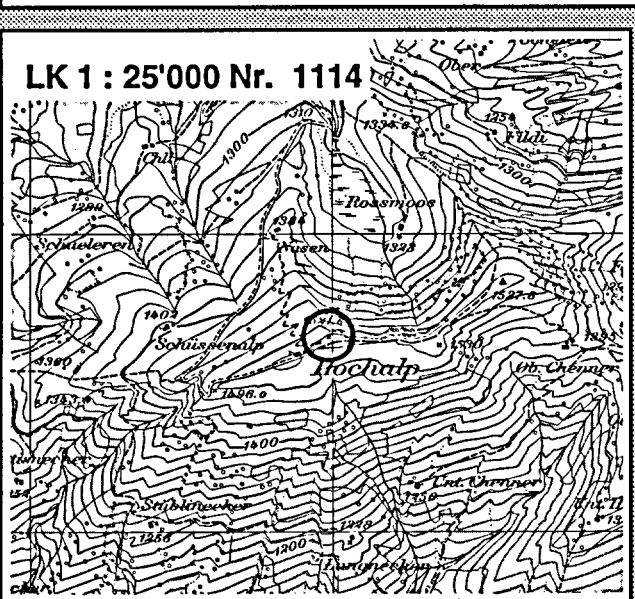
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
Hochalp	736984.12	237658.690	1521.530

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1114



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes
für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

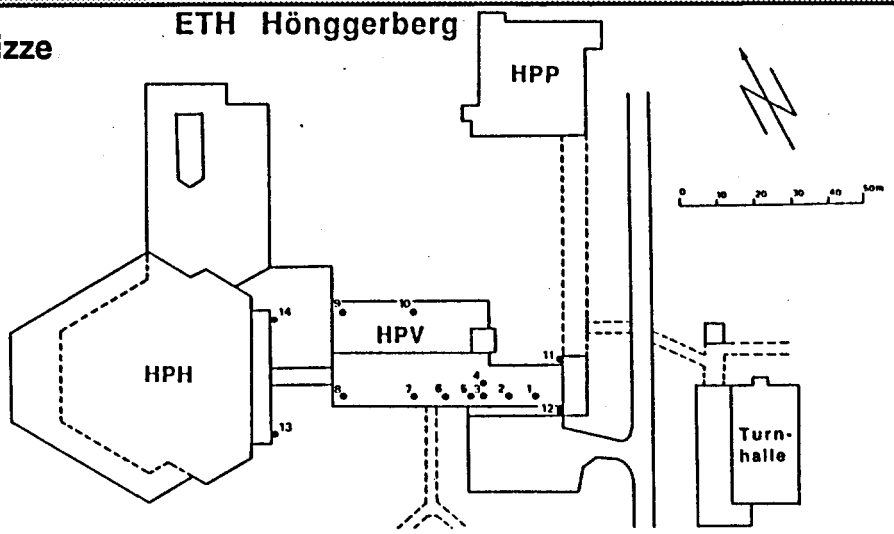
Granitstein bodeneben.
TP LK 1114 **517**
Anfahrt von Urnäsch
her.

Station HPV-Dach GRANIT

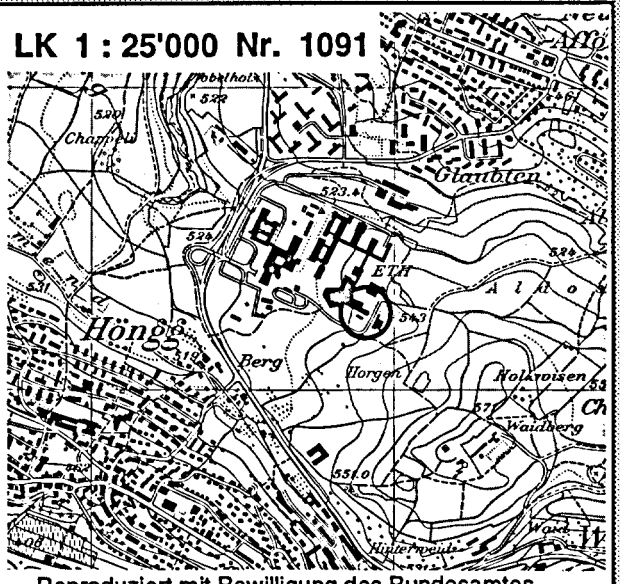
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
HPV-Dach Nr. 1 (WM)	680895.295	251255.183	543.073

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1091



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

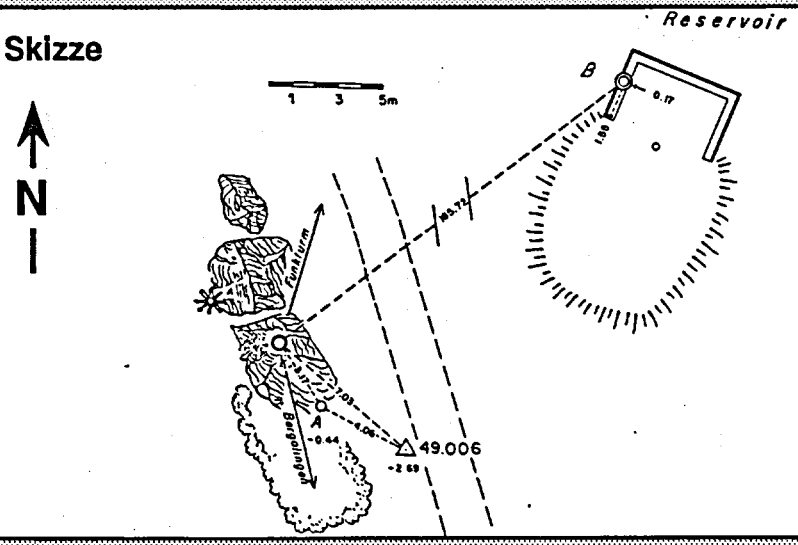
Der Punkt gehört zum Testnetz HPV-Dach und ist mit einem speziell angefertigten Bolzen mitten in einer 1.25 x 1.25 m^2 grossen Betonplatte vermarkt.
Die Höhe bezieht sich auf oberkannt Bolzen.

Station Hütten GRANIT

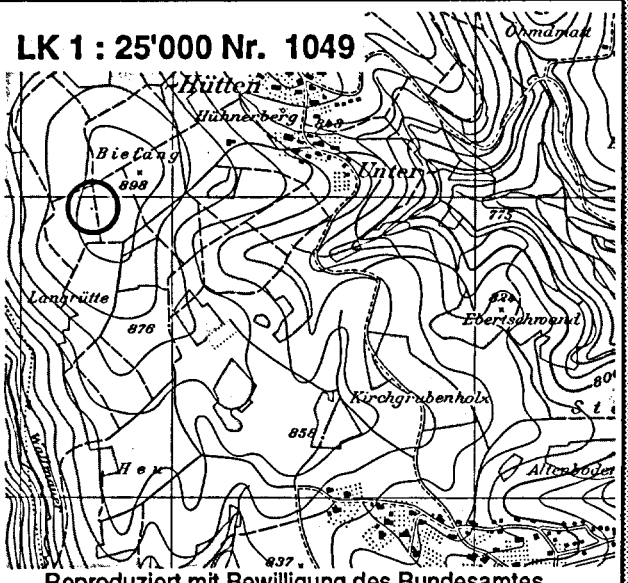
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
Hütten ZP	637727.720	274944.060	unbek.
Exz. (TI)	637722.210	274948.450	unbek.

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1049



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

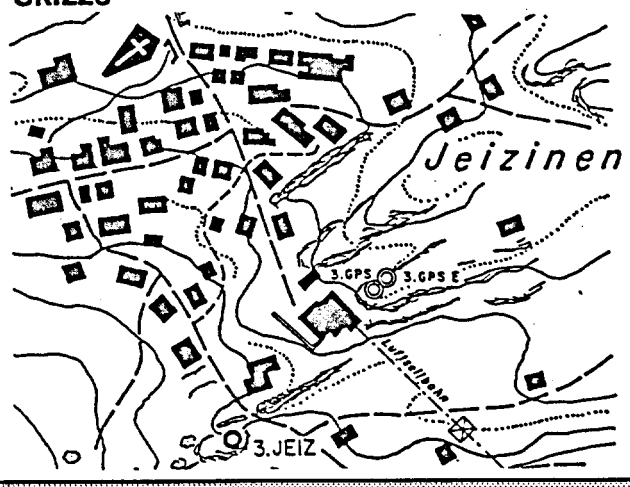
Lochbolzen (beschädigt) Nr. 1049.006 auf Felsblock.
Abschattung durch Bäume / Gebüsch Hoch aufstellen.

Station Jeizinen GRANIT

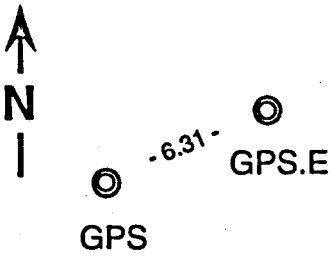
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
Jeiz.GPS (TI)	621906.950	130595.868	1525.362
Jeiz.GPS.E (WM)	621912.264	130599.271	1526.516

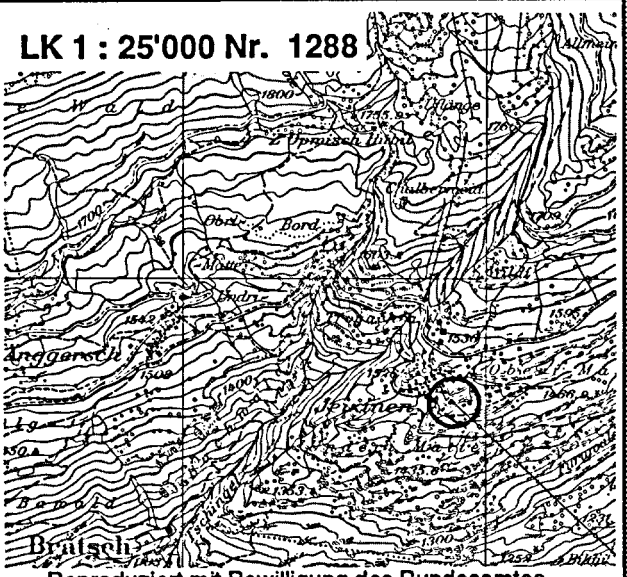
Skizze



Detail



LK 1 : 25'000 Nr. 1288



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

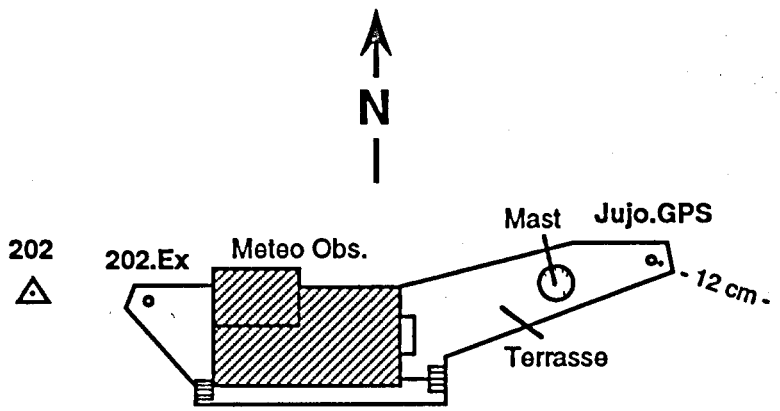
Beides sind Kappenbolzen in Felsblock neben der Endstation der Luftseilbahn.
Die Punkthöhen gelten ohne Kugel!
Auto oben im Dorf parkieren, es wird sehr eng.

Station Jungfraujoch GRANIT

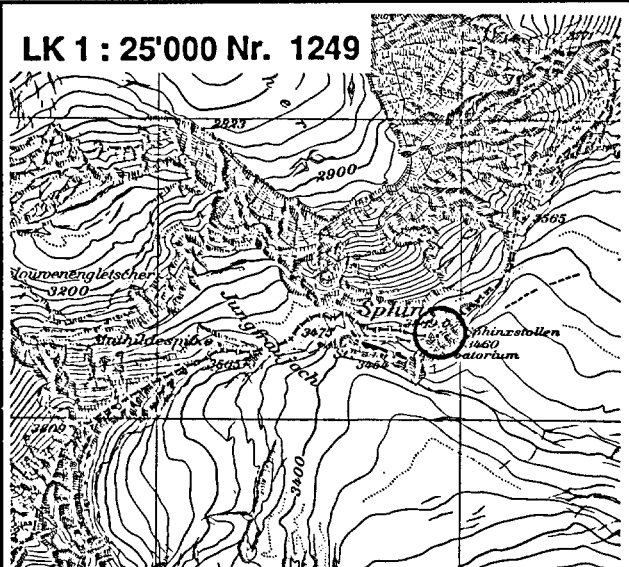
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
202 (neubest)	641900.930	155280.950	3568.980
202.EXZ	641906.202	155280.573	3571.282
JUJO.GPS (TI)	641940.289	155288.218	3571.443

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1249



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

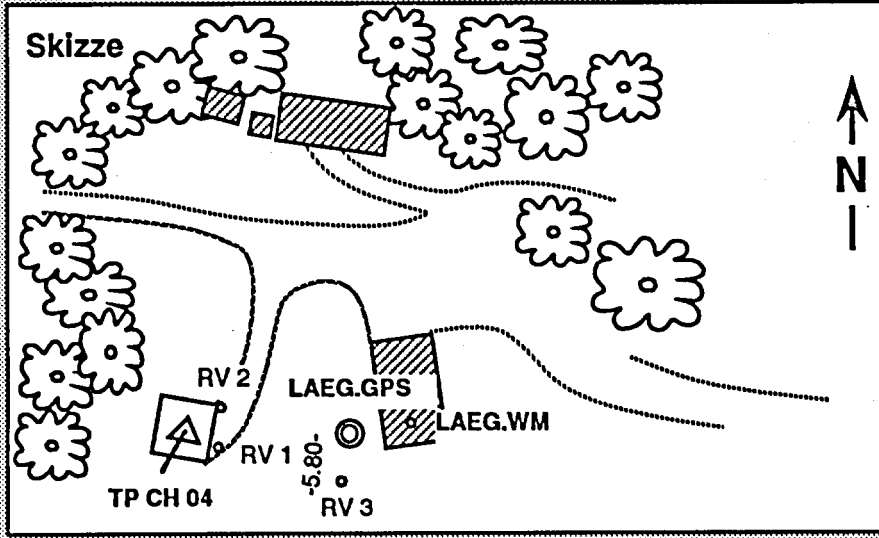
Alle Punkte sind Bolzen. GPS auf der Ostterrasse der Sphinx Forschungsstation. Lochbolzen Nr. 3 Sphinx Ost. Fixpunkt der Abteilung Hydrologie und Glaziologie (VAW / ETH), Zürich.

Station Lägern GRANIT

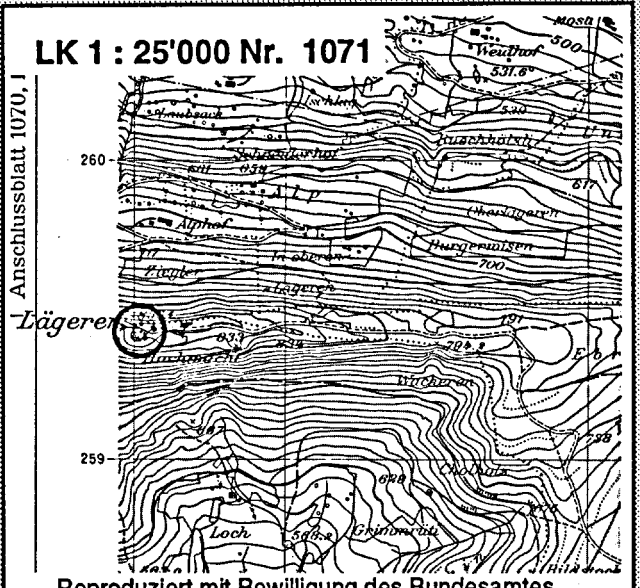
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
TP CH 04	672506.710	259415.880	855.117
LAEG.GPS (TI)	672525.088	259423.956	852.958
LAEG.WM	672530.999	259427.909	852.990
GPS.V1	672510.161	259413.441	853.416
GPS.V2	672509.248	259419.467	853.894
GPS.V3	672525.411	259418.172	851.993

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1071



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

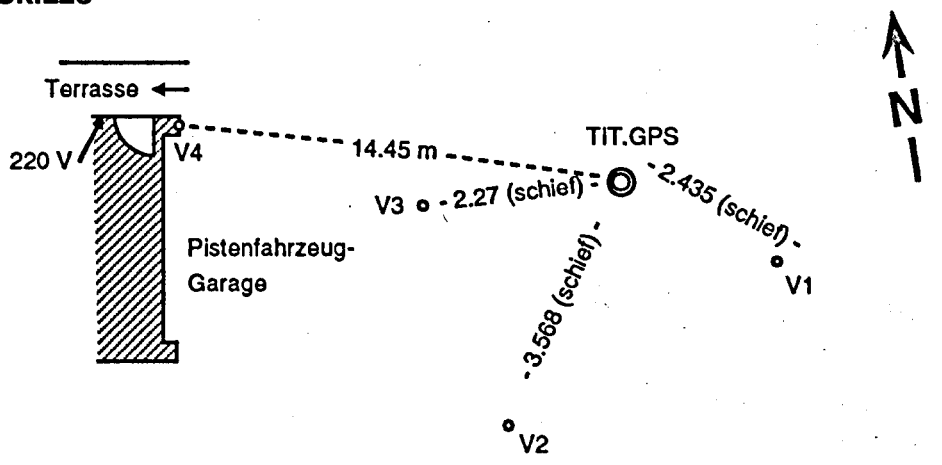
Kappenbolzen, Flansche für Metallpfeiler.
Höhe bezieht sich auf Kugel.
LAEG.WM ist nicht vermarkt.
Zufahrt ab Kantonsstrasse Regensberg-Boppelsen. Polizeiliche Erlaubnis erforderlich.

Station Titlis GRANIT

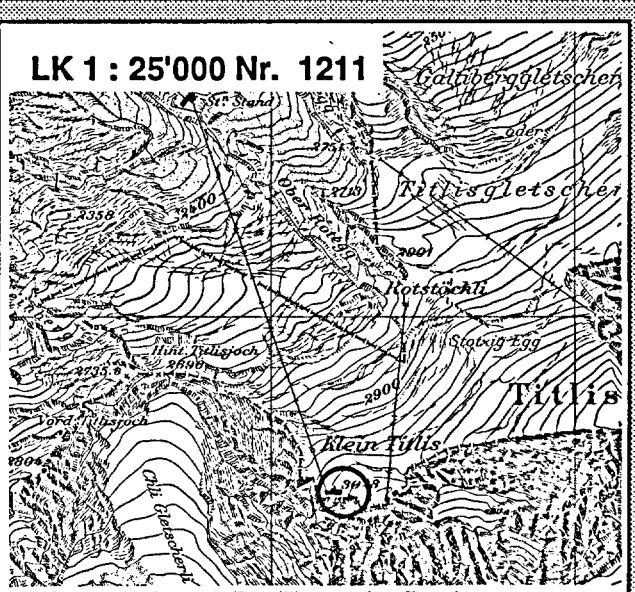
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
TP CH 19	676311.900	180581.360	3238.290
TIT.GPS (TI)	675238.633	180410.474	3040.403
GPS.V1	675239.974	180409.039	3040.315
GPS.V2	675236.706	180407.941	3040.142
GPS.V3	675236.837	180410.271	3040.383
GPS.V4	675228.199	180416.197	3033.575

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1211



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

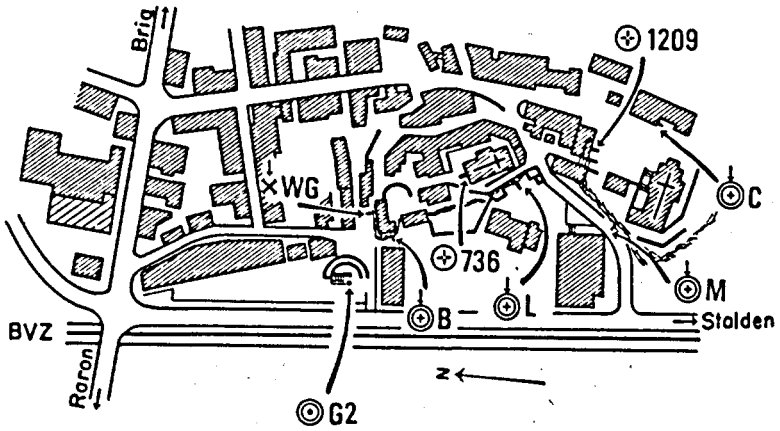
Kappenbolzen westlich der Bergstation Klein-Titlis.
Sichtverbindung zu TP CH 19 und zum PTT Sendeturm.

Station Visp G2 GRANIT

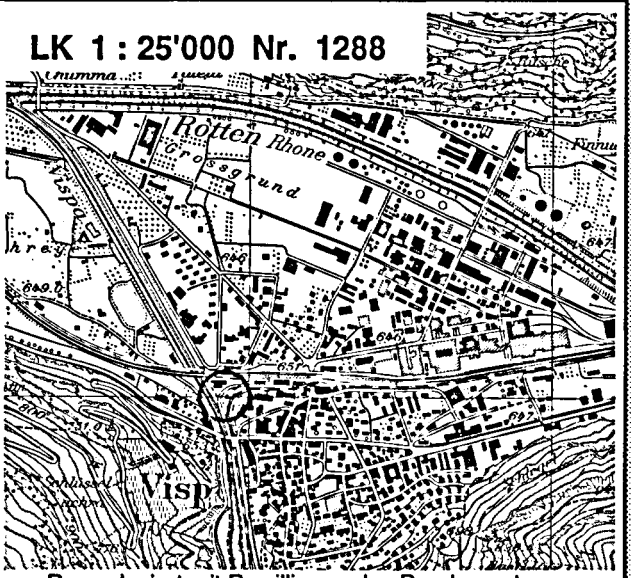
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
VISP.G2	634005.819	126709.348	652.408

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1288



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

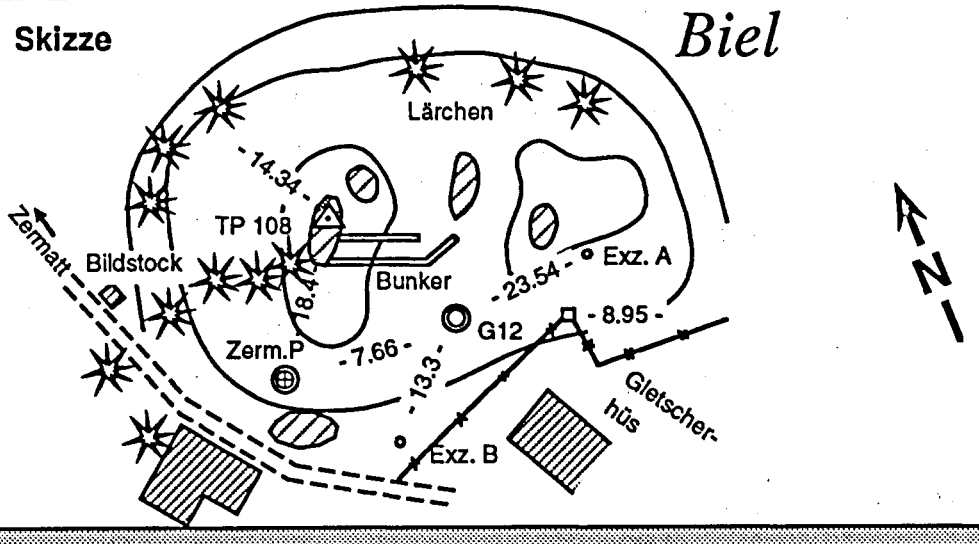
Kappenbolzen Einfahrt Parkplatz, südliche Treppe zum Parkhaus, westliche Flügelmauer; 0.10m vom Mauerende, 0.45m über Boden (mit Kugel messen.

Station Zermatt GRANIT

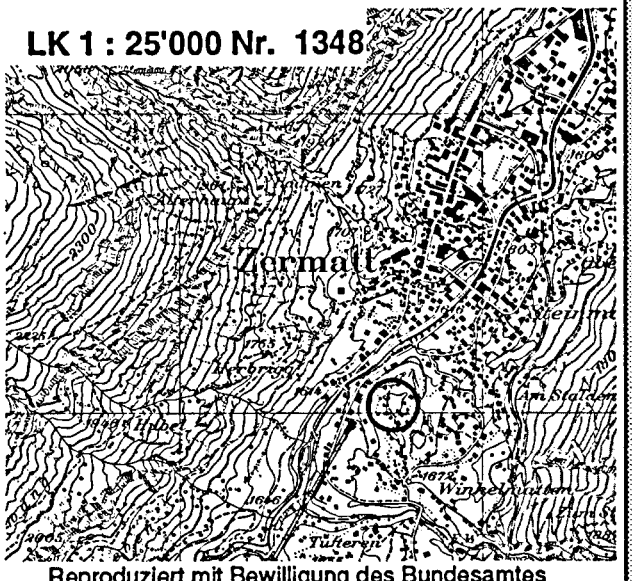
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
TP 1348.108	623706.500	96034.730	1689.528
ZERM.G12	623706.750	96020.388	1687.566
(TI)	623699.582	96017.695	1684.100
ZERM.P (WM)			

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1348



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

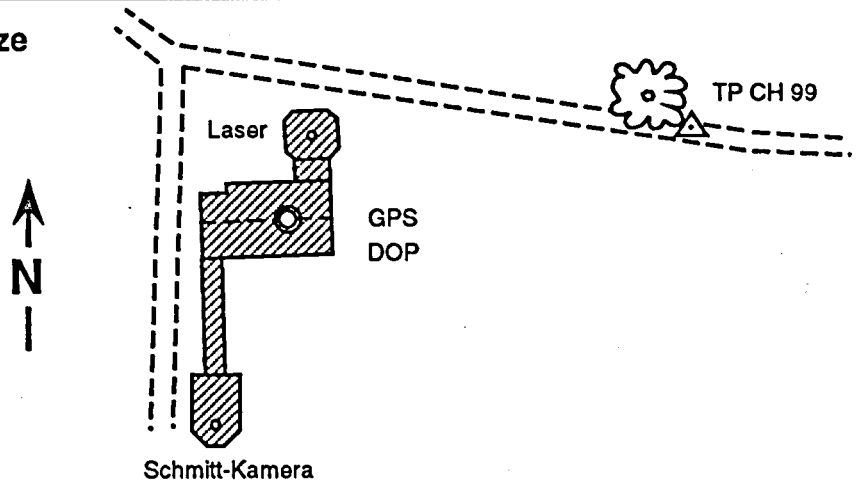
Kappenbolzen. Die Höhe ist ohne Kugel angeg. Der Zugang erfolgt ringer von Süden her. Der Weg von Nordwesten her ist sehr steil.
Punkt P ist ein Nivellementsbolzen, der TP ein Lochbolzen.

Station Zimmerwald GRANIT

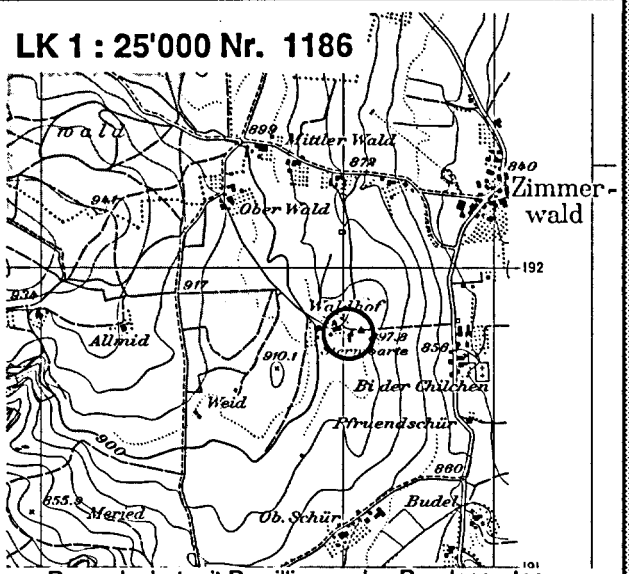
Landeskoordinaten

Name	Y	X	H
TP CH 99	602062.240	191792.870	897.840
ZIMM.GPS (TI)	602017.430	191780.321	905.062
ZIMM.DOP (WM)	602025.228	191780.938	904.647
Laser48	602026.489	191789.764	902.065
LaserEX	602026.315	191791.903	900.649

Skizze



LK 1 : 25'000 Nr. 1186



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Stationsbeschreibung

Die beiden GPS-Punkte sind fest auf dem Dach der Sternwarte montiert.

Anhang A2: Polygonzug Visp - Zermatt

A2.1 Terrestrische Rohmessungen

A2.2 Reduzierte und zentrierte Werte

A2.3 Schweremessungen

A2.4 Inputdaten für RAUMTRI

A2.5 Stationsbeschreibungen der GPS-Hauptpunkte

A2.1 Terrestrische Rohmessungen Visp - Zermatt

St.	p	t	t'	Zl.	p	t	t'	Im	Sm	Iw	Sw	d roh	Zhin	Zrück	I RÜ	S RÜ
21	940.6	15.1	12.0	2	940.6	15.1	12.0	1.776	1.406	1.805	1.305	304.3158	100.2487			
21	940.6	16.3	12.7	22	915.8	14.6	11.4	1.776	1.478	1.665	1.426	2747.5220	94.5027	105.5172	1.426	1.665
22	914.0	27.8	16.0	21	938.7	28.1	17.4	1.478	1.829	1.366	1.775	2747.4883	105.5141	94.5086	1.775	1.366
22	913.5	26.5	14.9	37	937.6	29.2	16.8	1.478	1.580	1.366	1.528	1017.7163	114.5580	85.4503	1.528	1.366
22	913.0	26.4	15.3	23	933.1	26.5	15.6	1.478	1.616	1.366	1.564	2026.0890	106.1225	93.8938	1.564	1.366
37	938.7	19.8	15.3	22	914.5	17.8	14.0	1.645	1.479	1.535	1.369	1017.7114	85.4498			
37	938.5	20.0	15.3	3	938.5	20.0	15.3	1.645	1.574	1.535	1.484	22.7479	93.9012			
23	935.0	24.4	15.5	22	913.5	23.3	15.1	1.714	1.478	1.604	1.368	2026.0874	93.8949	106.1230	1.426	1.604
23	935.0	24.2	15.6	4	935.0	24.2	15.6	1.714	1.614	1.604	1.525	35.1933	101.3072			
23	934.8	24.9	15.7	24	918.3	25.1	14.8	1.714	1.532	1.604	1.422	2173.1107	96.2625			
24	920.2	23.8	14.4	23	933.3	25.2	15.6	1.531	1.715	1.421	1.604	2173.1109	103.7564	96.2641	1.662	1.421
24	919.9	24.2	14.7	5	919.9	24.2	14.7	1.531	1.576	1.421	1.487	28.6536	103.4815			
24	918.8	24.7	15.0	25	908.8	23.5	17.5	1.531	1.772	1.421	1.662	1356.3986	95.2936			
25	913.7	11.8	07.8	24	922.9	13.7	7.7	1.772	1.530	1.662	1.420	1356.4121	104.7168	95.2966	1.478	1.662
25	913.5	11.9	07.3	26	860.5	09.4	04.8	1.772	1.792	1.662	1.682	2619.6574	88.1560	111.8666	1.738	1.662
25	913.6	11.9	07.4	40	913.6	11.9	07.4	1.772	1.599	1.662	1.509	302.4514	84.8764			
26	862.3	13.4	06.4	25	911.0	15.7	07.6	1.792	1.772	1.682	1.662	2619.6512	111.8651	88.1581	1.722	1.682
26	861.4	16.0	07.2	13	907.2	18.6	09.0	1.792	1.606	1.682	1.496	1111.7438	127.2078	72.7986	1.548	1.682
26	861.6	15.8	07.2	27	893.6	19.2	09.8	1.792	1.698	1.682	1.588	2502.9856	108.6116	91.4096	1.644	1.682
27	894.7	16.2	08.1	26	860.1	14.0	06.6	1.697	1.791	1.587	1.562	2502.9879	91.4109	108.6131	1.741	1.587
27	900.6	17.6	12.6	6	900.6	17.6	12.6	1.666	1.082	1.611	0.992	147.0214	98.7480			
27	894.7	16.0	08.2	28	890.6	14.6	07.4	1.697	1.601	1.587	1.491	1190.6002	97.9433	102.0699	1.549	1.587
28	890.4	16.0	10.7	29	869.7	14.0	08.8	1.856	1.516	1.746	1.516	3665.8846	96.9606	103.0743	1.463	1.746
28	890.3	16.4	11.4	38	886.0	14.4	09.2	1.856	1.612	1.746	1.502	652.5985	98.3011	101.7113	1.560	1.746
28	890.3	16.2	11.0	27	891.3	18.4	10.5	1.856	1.725	1.746	1.615	1190.6091	102.0811	97.9354	1.673	1.746
28	885.1	18.5	11.3	27	890.2	19.3	11.3	1.856	1.725	1.746	1.615	1190.6072	102.0811	97.9354	1.673	1.746
38	885.0	19.6	10.9	7	888.5	19.5	11.0	1.612	1.430	1.502	1.320	493.7846	104.5421	95.4694	1.380	1.502
38	884.8	18.5	10.4	28	884.9	17.8	10.1	1.612	1.867	1.502	1.757	652.5952	101.7041	98.3075	1.814	1.502
29	868.7	9.7	8.3	28	887.9	10.9	9.5	1.516	1.868	1.406	1.758	3665.8890	103.0701	96.9613	1.820	1.406
29	869.0	9.7	8.6	30	871.6	10.3	8.8	1.516	1.602	1.406	1.492	1840.6738	100.4741	99.5419	1.544	1.406
30	871.1	10.6	8.8	29	870.2	10.5	9.1	1.600	1.517	1.490	1.407	1840.6743	99.5401	100.4769	1.463	1.490
30	870.7	13.6	10.3	8	876.1	14.2	10.7	1.600	1.721	1.490	1.668	328.9358	107.8232	92.1804	1.668	1.490
30	871.1	11.3	8.9	31	850.7	10.9	9.0	1.600	1.506	1.490	1.396	3959.6379	96.4128	103.6241	1.449	1.490
31	850.4	12.2	9.5	30	871.3	13.6	10.2	1.506	1.601	1.396	1.491	3959.6306	103.6234	96.4137	1.546	1.396
31	850.7	12.3	9.9	39	858.6	13.9	10.2	1.506	1.515	1.396	1.462	606.1107	109.9567	90.0476	1.462	1.396
31	850.4	12.3	9.5	32	855.9	13.3	10.1	1.506	1.502	1.396	1.392	1714.2543	102.6695	97.3474	1.445	1.396
39	860.1	12.7	10.2	9	860.1	12.7	10.2	1.515	1.600	1.405	1.510	72.8516	99.1885			
32	862.0	11.2	9.5	33	859.4	10.4	9.2	1.662	1.524	1.552	1.414	2905.0101	99.1079	100.9218	1.467	1.552
32	861.9	10.9	9.3	31	854.7	10.0	9.2	1.662	1.287	1.552	1.177	1714.2439	97.3599	102.6582	1.232	1.552
33	857.0	17.0	11.9	10	860.9	16.4	11.3	1.526	1.498	1.416	1.388	793.1265	102.3182	97.6927	1.444	1.416
33	856.9	17.2	11.6	32	860.7	17.3	11.2	1.526	1.664	1.416	1.554	2904.9945	100.9206	99.1105	1.611	1.416
33	856.4	18.6	11.6	34	851.5	17.7	10.9	1.526	1.624	1.416	1.514	1839.1690	97.5205	102.4983	1.569	1.416
34	849.3	19.7	10.6	11	849.3	19.7	10.6	1.624	1.615	1.514	1.534	41.3213	117.8332			
34	849.3	19.6	10.6	33	857.6	18.8	10.0	1.624	1.526	1.514	1.416	1839.1665	102.4962	97.5220	1.471	1.514
34	849.1	19.4	10.6	35	842.1	17.4	9.9	1.624	1.824	1.514	1.714	1873.5856	97.3631	102.6567	1.769	1.514
11	849.5	16.3	9.9	41	849.5	16.3	9.9	1.615	1.418	1.505	1.328	77.3120	102.6600			
35	843.0	12.1	8.8	34	850.8	11.8	8.7	1.858	1.623	1.802	1.513	1873.5981	102.6574	97.3629	1.566	1.748
35	842.5	17.2	11.0	36	836.0	20.1	12.9	1.858	1.654	1.802	1.544	2280.0202	98.0340	101.9915	1.599	1.748
36	835.8	22.3	13.4	35	843.4	17.1	10.9	1.654	1.858	1.599	1.748	2280.0165	101.9919	98.0330	1.802	1.544
36	835.6	22.4	13.4	12	835.6	22.4	13.4	1.654	1.693	1.599	1.603	21.7171	101.3026			
36	835.7	22.4	13.6	42	835.7	22.4	13.6	1.654	1.512	1.599	1.422	13.6381	93.8247			
22	913.1	26.7	15.1	50	936.7	28.5	16.5	1.478	1.546	1.366	1.494	546.0488	127.1195	72.8836	1.494	1.366
26	862.3	13.5	6.2	51	904.2	15.1	7.4	1.792	0.380	1.682	0.270	1038.6587	127.2092	72.7962	0.330	1.682
26	862.1	13.3	6.2	52	905.7	15.7	8.3	1.792	1.416	1.682	1.306	1068.1402	127.5246	72.4808	1.361	1.682
28	886.3	18.8	11.0	53	890.1	18.4	10.4	1.856	1.620	1.746	1.510	343.3550	107.4004	92.6134	1.572	1.746
29	869.6	9.5	8.5	54	874.0	10.5	8.8	1.516	1.843	1.406	1.794	471.8272	105.6624	94.3381	1.794	1.406
30	870.9	13.8	10.4	55	874.0	14.8	11.2	1.600	0.310	1.490	0.220	134.0496	113.1014			
31	850.5	11.8	10.0	56	857.5	12.9	10.1	1.506	0.310	1.396	0.254	360.9428	114.6052	85.3967	0.254	1.396
32	861.1	15.8	11.2	57	861.4	16.2	10.4	1.662	1.695	1.552	1.639	86.7346	98.7126	101.2881	1.639	1.552
33	856.9	17.1	11.4	58	860.8	18.2	11.5	1.526	1.355	1.416	1.300	136.7981	112.9044	87.0962	1.300	1.416
35	842.6	16.9	11.0	59	842.6	16.9	11.0	1.858	1.487	1.802	1.397	72.1870	132.8404			

A2..2 Reduzierte und zentrierte Werte

Von	Nach	Ds	Refr	Z hin	Z rück	Azi
21	2	304.3211	0	100.14410		181.1031
21	22	2747.6157	1	94.49718	105.52272	188.2946
22	21	2747.6177	1	105.52354	94.49916	388.2946
22	37	1017.7762	4	114.56787	85.44043	387.1689
22	23	2026.1744	1	106.12869	93.88761	219.5608
37	22	1017.7778	0	85.43969		187.1689
37	3	22.7553	0	93.75917		113.2362
23	22	2026.1772	1	93.88752	106.12857	19.5608
23	4	35.1924	0	101.16432		156.6327
23	24	2173.1942	0	96.25718		212.0147
24	23	2173.1935	4	103.76175	96.25705	12.0147
24	5	28.6571	0	103.62790		388.2405
24	25	1356.4300	0	95.30488		247.5562
25	24	1356.4280	4	104.70547	95.30521	47.5562
25	26	2619.7372	4	88.15648	111.86479	278.2992
25	40	302.4999	0	84.84511		256.6860
26	25	2619.7401	4	111.86462	88.15714	78.2992
26	13	1111.7094	1	127.19811	72.80558	119.7552
26	27	2503.0741	4	108.60923	91.41056	222.7541
27	26	2503.0715	4	91.41027	108.60922	22.7541
27	6	147.0392	0	98.48005		215.6060
27	28	1190.6442	2	97.93817	102.07193	235.6315
28	29	3666.0392	2	96.95661	103.07921	227.4335
28	38	652.6284	0	98.27731	101.72944	199.7738
28	27	1190.6489	2	102.07410	97.93930	35.6315
38	7	493.7913	0	104.51870	95.48509	233.4702
38	28	652.6275	0	101.72897	98.27708	399.7738
29	28	3666.0314	4	103.07621	96.95412	27.4335
29	30	1840.7411	1	100.47707	99.53713	189.5493
30	29	1840.7423	1	99.53723	100.47783	389.5493
30	8	328.9634	0	107.85739	92.14621	387.5312
30	31	3959.8010	3	96.41129	103.62476	207.7177
31	30	3959.8000	3	103.62492	96.41129	7.7177
31	39	606.1384	0	109.96355	90.04075	256.4373
31	32	1714.3287	3	102.66935	97.34558	221.4651
39	9	72.8536	0	99.28025		171.1937
32	33	2905.1273	2	99.10488	100.92366	207.2154
32	31	1714.3282	3	97.34599	102.67007	21.4651
33	10	793.1613	3	102.31595	97.69045	36.5467
33	32	2905.1290	2	100.92362	99.10623	7.2154
33	34	1839.2529	3	97.52389	102.49301	209.0357
34	11	41.3209	0	117.86281		-0.3065
34	33	1839.2520	3	102.49281	97.52349	9.0357
34	35	1873.6713	3	97.36989	102.64804	234.7370
11	41	77.3076	0	102.51437		275.9061
35	34	1873.6717	3	102.64759	97.36908	34.7370
35	36	2280.1455	2	98.02680	101.99566	229.0167
36	35	2280.1435	2	101.99606	98.02580	29.0167
36	12	21.7191	0	101.31432		240.7620
36	42	13.6537	0	93.00327		285.4891
22	50	546.0966	0	127.13309	72.87001	367.0000
26	51	1038.1117	1	127.13040	72.87166	158.0000
26	52	1068.0213	1	127.50425	72.49817	137.0000
28	53	343.3409	0	107.35694	92.64545	75.0000
29	54	471.8733	0	105.71454	94.28596	105.0000
30	55	133.7970	0	112.50986		389.0000
31	56	360.6880	0	114.40892	85.59299	304.0000
32	57	86.7378	0	98.77644	101.22426	110.0000
33	58	136.7700	0	112.85151	87.14909	116.0000
35	59	72.0084	0	132.52894		116.0000
25	60	159.0000	0	100.00070		252.0000

A2.3 Schweredaten

VALEURS DES STATIONS , RELATIVES A LA BASE NO 1000, 400.49 mgal
PUNKT 247 F VISP BD 25 WERT UM 15 MGAL REDUZIERT

VISP GPS T5V G2	1001	406.1710
VISP PP	1002	406.7600
LALDEN GPS T5V G1	1003	403.8990
UNTERSTALDEN PP	1004	362.9822
STALDBACH GPS T5V G3	1005	397.9220
NEUBRÜCK PP	1006	382.9590
NEUBRÜCK GPS T5V G4	1007	383.1220
STALDEN PP	1008	363.1180
STALDEN GPS T5V G5	1009	363.4822
ACKERSAND NIV 378 T4H V	1010	376.8440

VALEURS DES STATIONS , RELATIVES A LA BASE NO 2000, 293.96 mgal
PUNKT KIRCHE ST. NIKLAUS (FISCHER, BERICHT NR. 68)

ST NIKLAUS NIV 225a T4H E	2001	294.4464

VALEURS DES STATIONS , RELATIVES A LA BASE NO 2000, 293.96 mgal
PUNKT KIRCHE ST. NIKLAUS (FISCHER, BERICHT NR. 68)

EMBD PP	2002	257.5610
STALDEN KILLERHOF PP	2003	340.9944
KALPETRAN GPS	2004	327.1670
SÄLLI PP	2005	305.4533
SÄLLI GPS T5V G6	2006	305.2251
ST NIKLAUS GPS T5V G7	2007	298.0570
ST NIKLAUS PP	2008	298.3303

VALEURS DES STATIONS , RELATIVES A LA BASE NO 2001, 294.45 mgal
BERECHNET IN SCHLAUFE 2

KONTROLLE KIRCHE ST NIKLAUS	2000	293.9860
BLATTBACH PP	2009	255.9792
HEERBRIGGEN GPS T5V G8	2010	258.9690
HEERBRIGGEN PP	2011	253.6874
HEERBRIGGEN NIV 230a T4H K	2012	253.5223
LÄRCH NIV 391 T4H H	2013	238.1670
RANDA PP	2014	229.3890
RANDA GPS T5V G9	2015	240.7680
WILDI PP	2016	240.2590
TÄSCH GPS T5V G10	2017	243.8702
TÄSCH PP	2018	236.8452

VALEURS DES STATIONS , RELATIVES A LA BASE NO 3000, 222.37 mgal
PUNKT KIRCHE ZERMATT (FISCHER, BERICHT NR. 68)

ZERMATT GPS T5V G12	3001	213.1790
ZERMATT PP	3002	213.1692
ZERMATT SCHÜTZENHAUS PP	3003	217.7590
SCHLANGENGRUEBE GPS T5V G11	3004	226.9443
SCHLANGENGRUEBE PP	3005	225.4270

CYCLE NO	DERIVE	CYCLE NO	DERIVE	CYCLE NO	DERIVE
1	.0532	2	.2422	3	.0315
4	.0196	5	.0290		

LES DERIVES SONT EN MILLIGALS PAR HEURE

A2.4 Input für RAUMTRI

```
DVK87 V1 MIT GPS                    1   1
     4999    .125  6377397155   00667437223 +7 26 22.50 46 57 8.66
GPSVISP   634005.906  126709.337  653.907F           F           F     NÄHERUNGSKOORDINATEN
PPVISP    633916.898  127000.337  654.585
GPSLALD   636087.864  127503.087  651.740
PPNEUBR   633807.393  122387.050  697.891
PPLIECHT  632481.352  119263.778  926.149
PPEMBD    630055.285  118403.200 1411.270
TPSTALD   633400.390  120256.290  826.020
PPSTNIK   628555.876  115071.593 1113.036
PPSALLI   629187.638  116079.943 1074.305
PPZERMAT  623719.704   96037.824 1690.934
PPVTERM   634417.290  124309.260  892.300
PPCACHE   627026.452  111744.884 1289.497
PPHERBRI  627327.230  109929.133 1276.006
PPRANDA   626849.182  106005.159 1500.392
PPWEGGW   626282.611  104388.969 1428.789
PPTAESCH  625954.120  101503.107 1470.370
PPSCHLAN  625694.174   99683.950 1542.186
PPSCHAUS  624722.747   98083.928 1619.853
HPSTALB   634218.917  125280.442  661.444
HPRANDA   626385.296  105626.736 1405.943
GPSSALLI  629151.966  115937.353 1077.828
GPSSTSEE  627263.703  110249.321 1235.501
GPSKAL    631018.657  118094.271  950.656
GPSSTALB  634241.075  125275.768  663.673
GPSNEUBR  633829.551  122359.717  697.254
GPSSTALD  633395.156  120284.371  824.392
GPSSTNIK  628311.025  113993.277 1095.800
GPSRANDA  626417.142  105561.226 1406.768
GPSTAESC  626384.520  102168.606 1441.550
GPSSCHLA  625693.983   99723.649 1530.745
GPSZERMA  623706.733   96020.413 1690.482
TPLIECHT  632252.910  119078.900  997.505
TPSCHLAN  625622.170   99695.130 1527.690
TPZERMAT  623706.500   96034.730 1692.432
HPSTNIK   628558.194  114419.267 1130.767

PPVISP  PPVTERM                51 43 96.88 0.65 +8 75 45.68 0.75          ASTRO
PPVTERM                        51 41 48.77 0.62 +8 75 94.81 0.93
PPNEUBR                        51 39 57.81 3.00 +8 75 32.38 3.00
GPSSTSEE        1235.526 .022  51 27 57.16 0.93 +8 65 85.52 0.86
*                              51 27 56.99 3.00 +8 65 86.17 3.00
TPSTALD                        51 37 47.96 0.68 +8 74 77.01 0.65
PPEMBD                         51 35 40.62 0.70 +8 70 47.13 0.90
TPSCHLAN                       51 16 79.57 0.62 +8 63 38.73 1.27
GPSSALLI        1077.842 .018  51 33 23.02 0.70 +8 68 74.35 0.90
GPSVISP          653.906 .001  51 43 72.23 3.00 +8 75 61.97 3.00
GPSSTALB         663.674 .007  51 42 39.96 3.00 +8 75 90.26 3.00
GPSNEUBR         697.253 .010  51 39 55.35 3.00 +8 75 34.15 3.00
GPSSTALD         824.394 .013  51 37 49.85 3.00 +8 74 72.95 3.00
GPSSTNIK        1095.812 .019  51 31 31.40 3.00 +8 67 47.81 3.00
GPSRANDA        1406.836 .025  51 22 74.30 3.00 +8 64 59.06 3.00
GPSTAESC        1441.635 .027  51 19 28.46 3.00 +8 64 40.42 3.00
GPSSCHLA        1530.840 .028  51 16 80.96 3.00 +8 63 47.87 3.00
GPSZERMA        1690.603 .029  51 12 98.97 3.00 +8 60 69.12 3.00
GPSKAL           950.657 .016  51 35 42.07 3.00 +8 71 32.99 3.00
PPLIECHT                       51 36 61.61 3.00 +8 73 45.61 3.00
PPSALLI                        51 33 33.88 3.00 +8 68 81.70 3.00
PPSTNIK                        51 32 30.16 3.00 +8 67 96.05 3.00
PPCACHE                        51 29 03.08 3.00 +8 65 84.00 3.00
PPHERBRI                       51 27 25.31 3.00 +8 65 88.78 3.00
PPRANDA                        51 23 22.26 3.00 +8 65 01.73 3.00
PPWEGGW                        51 21 52.76 3.00 +8 64 41.66 3.00
PPTAESCH                       51 18 60.33 3.00 +8 63 98.86 3.00
PPSCHAUS                       51 15 00.55 3.00 +8 62 15.71 3.00
HPSTALB                        51 42 40.44 3.00 +8 75 88.14 3.00
HPSTNIK                        51 31 73.64 3.00 +8 67 81.63 3.00
HPRANDA                        51 22 80.69 3.00 +8 64 55.99 3.00
TPLIECHT                       51 36 50.41 3.00 +8 73 14.80 3.00
TPZERMAT                       51 13 00.07 3.00 +8 60 69.32 3.00
PPZERMAT                       51 13 00.51 3.00 +8 60 70.79 3.00
PPSCHLAN                       51 16 77.24 3.00 +8 63 47.14 3.00

PPEMBD  PPSALLI  4  -8.60923   4.0                                    HÖHENWINKEL
GPSSTSEEPPHERBRI 2   7.85379   4.0
PPEMBD  PPLIECHT 4 -11.86470   4.0
PPVISP  GPSVISP     -0.14410   6.0
PPVISP  PPVTERM  1   5.50183   4.0
PPVTERM PPVISP   1  -5.52313   4.0
PPVTERM HPSTALB  4 -14.56787   4.0
PPVTERM PPNEUBR  1  -6.12868   4.0
HPSTALB PPVTERM  4  14.55988   4.0
HPSTALB GPSSTALB     6.24082   6.0
PPNEUBR PPVTERM  1   6.11244   4.0
PPNEUBR GPSNEUBR    -1.16432   6.0
PPNEUBR TPSTALD  4   3.74288   4.0
TPSTALD PPNEUBR  4  -3.76176   4.0
TPSTALD GPSSTALD    -3.62790   6.0
TPSTALD PPLIECHT 4   4.69495   4.0
PPLIECHTTPSTALD  4  -4.70547   4.0
```

HÖHENWINKEL

PPLIECHTPPEMBD	4	11.84319	4.0
PPLIECHTTPLIECHT		15.15489	6.0
PPEMBD GPSKAL	1	-27.19810	4.0
GPSKAL PPEMBD	1	27.19441	4.0
PPSALLI PPEMBD	4	8.58959	4.0
PPSALLI GPSSALLI		1.51995	6.0
PPSALLI PPSTNIK	2	2.06126	4.0
PPSTNIK PPCACHE	2	3.04464	4.0
PPSTNIK HPSTNIK		1.72281	4.0
PPSTNIK PPSALLI	2	-2.07301	4.0
HPSTNIK GPSSTNIK		-4.51870	4.0
HPSTNIK PPSTNIK		-1.72920	4.0
GPSSTNIKHPSTNIK		4.51491	4.0
PPCACHE PPSTNIK	2	-3.07770	4.0
PPCACHE PPHERBRI	1	-0.47745	4.0
PPHERBRIPPCACHE	1	0.46282	4.0
PPHERBRIGPSSTSEE		-7.85738	4.0
PPHERBRIPPRANDA	3	3.58871	4.0
PPRANDA PPHERBRI	3	-3.62484	4.0
PPRANDA HPRANDA		-9.96354	4.0
PPRANDA PPWEGGW	3	-2.66971	4.0
HPRANDA PPRANDA		9.95924	4.0
HPRANDA GPSRANDA		0.71975	6.0
PPWEGGW PPTAESCH	2	0.89445	4.0
PPWEGGW PPRANDA	3	2.65422	4.0
PPTAESCHGPSTAESC	3	-2.31595	4.0
PPTAESCHPPWEGGW	2	-0.92364	4.0
PPTAESCHPPSCHLAN	3	2.47631	4.0
GPSTAESCPPTAESCH	3	2.30954	4.0
PPSCHLANGPSSCHLA		-17.86280	6.0
PPSCHLANPPTAESCH	3	-2.49291	4.0
PPSCHLANPPSCHAUS	3	2.63052	4.0
GPSSCHLATPSCHLAN		-2.51436	6.0
PPSCHAUSPPSCHLAN	3	-2.64781	4.0
PPSCHAUSPPZERMAT	2	1.97370	4.0
PPZERMATPPSCHAUS	2	-1.99585	4.0
PPZERMATGPSZERMA		-1.31432	6.0
PPZERMATTPZERMAT		6.99673	6.0

RICHTUNGEN

PPVTERM PPVISP	388.2946	2.5
PPTAESCHPPWEGGW	7.2154	2.5
PPCACHE PPSTNIK	27.4335	2.5
PPVTERM HPSTALB	387.1689	2.5
PPVTERM PPNEUBR	219.5608	2.5
PPVISP GPSVISP	181.1031	2.5
PPVISP PPVTERM	188.2946	2.5
HPSTALB GPSSTALB	113.2362	2.5
HPSTALB PPVTERM	187.1689	2.5
PPNEUBR GPSNEUBR	156.6327	2.5
PPNEUBR TPSTALD	212.0147	2.5
PPNEUBR PPVTERM	19.5608	2.5
TPSTALD GPSSTALD	388.2405	2.5
TPSTALD PPLIECHT	247.5562	2.5
TPSTALD PPNEUBR	12.0147	2.5
PPLIECHTTPLIECHT	256.6860	2.5
PPLIECHTPPEMBD	278.2992	2.5
PPEMBD GPSKAL	119.7552	2.5
PPSALLI GPSSALLI	215.6060	2.5
PPSALLI PPEMBD	22.7541	2.5
PPSALLI PPSTNIK	235.6315	2.5
PPSTNIK HPSTNIK	199.7738	2.5
PPSTNIK PPCACHE	227.4335	2.5
PPSTNIK PPSALLI	35.6315	2.5
HPSTNIK GPSSTNIK	233.4702	2.5
HPSTNIK PPSTNIK	399.7738	2.5
PPCACHE PPHERBRI	189.5493	2.5
PPHERBRIPPCACHE	389.5493	2.5
PPHERBRIGPSSTSEE	387.5312	2.5
PPHERBRIPPRANDA	207.7177	2.5
PPRANDA PPHERBRI	7.7177	2.5
PPRANDA HPRANDA	256.4373	2.5
HPRANDA PPRANDA	56.4373	2.5
PPRANDA PPWEGGW	221.4651	2.5
HPRANDA GPSRANDA	171.1937	2.5
PPWEGGW PPTAESCH	207.2154	2.5
PPWEGGW PPRANDA	21.4651	2.5
PPTAESCHGPSTAESC	36.5467	2.5
PPTAESCHPPSCHLAN	209.0357	2.5
PPSCHLANGPSSCHLA	399.6935	2.5
GPSSCHLAPPSCHLAN	199.6935	2.5
PPSCHLANPPTAESCH	9.0357	2.5
PPSCHLANPPSCHAUS	234.7370	2.5
GPSSCHLATPSCHLAN	275.9061	2.5
PPSCHAUSPPZERMAT	229.0167	2.5
PPSCHAUSPPSCHLAN	34.7370	2.5
PPZERMATGPSZERMA	240.7620	2.5
PPZERMATTPZERMAT	285.4891	2.5
PPZERMATPPSCHAUS	29.0167	2.5
PPEMBD PPSALLI	222.7541	2.5
PPEMBD PPLIECHT	78.2992	2.5
PPLIECHTTPSTALD	47.5562	2.5

DISTANZEN

PPVISP	GPSVISP	304.3211	.001
PPVISP	PPVTERM	2747.6157	.003
PPVTERM	PPVISP	2747.6177	.003
PPVTERM	HPSTALB	1017.7762	.001
HPSTALB	PPVTERM	1017.7778	.001
PPVTERM	PPNEUBR	2026.1744	.002
PPNEUBR	PPVTERM	2026.1772	.002
HPSTALB	GPSSTALB	22.7553	.001
PPNEUBR	GPSNEUBR	35.1924	.001
PPNEUBR	TPSTALD	2173.1942	.002
TPSTALD	PPNEUBR	2173.1935	.002
TPSTALD	GPSSTALD	28.6571	.001
TPSTALD	PPLIECHT	1356.4299	.001
PPLIECHT	TPSTALD	1356.4279	.001
PPLIECHT	PPEMBD	2619.7371	.003
PPLIECHT	TPLIECHT	302.4998	.001
PPEMBD	GPSKAL	1111.7093	.001
PPSALLI	PPEMBD	2503.0715	.003
PPSALLI	PPSTNIK	1190.6441	.001
PPSALLI	GPSSALLI	147.0392	.001
PPSTNIK	PPCACHE	3666.0392	.004
PPCACHE	PPSTNIK	3666.0314	.004
PPSTNIK	HPSTNIK	652.6284	.001
HPSTNIK	PPSTNIK	652.6275	.001
HPSTNIK	GPSSTNIK	493.7913	.001
PPCACHE	PPHERBRI	1840.7410	.002
PPHERBRI	GPSSTSEE	328.9634	.001
PPHERBRI	PPCACHE	1840.7422	.002
PPHERBRI	PPRANDA	3959.8010	.004
PPRANDA	PPHERBRI	3959.8000	.004
PPRANDA	HPRANDA	606.1383	.001
PPRANDA	PPWEGGW	1714.3286	.002
PPWEGGW	PPRANDA	1714.3282	.002
HPRANDA	GPSRANDA	72.8536	.001
PPWEGGW	PPTAESCH	2905.1273	.003
PPTAESCH	PPWEGGW	2905.1290	.003
PPTAESCH	GPSTAESC	793.1612	.001
PPTAESCH	PPSCHLAN	1839.2529	.002
PPSCHLAN	PPTAESCH	1839.2519	.002
PPSCHLAN	GPSSCHLA	41.3208	.001
PPSCHLAN	PPSCHAUS	1873.6713	.002
GPSSCHLA	TPSCHLAN	77.3076	.001
PPSCHAUS	PPSCHLAN	1873.6716	.002
PPSCHAUS	PPZERMAT	2280.1454	.002
PPZERMAT	PPSCHAUS	2280.1435	.002
PPZERMAT	GPSZERMA	21.7191	.001
PPZERMAT	TPZERMAT	13.6537	.001
PPEMBD	PPLIECHT	2619.7401	.003
PPEMBD	PPSALLI	2503.0741	.00
PPSTNIK	PPSALLI	1190.6488	.00

GPS - BASISLINIEN Trimble L+T

```
GPSVISP GPSKAL
    6772.054   -2127.411   -5731.778
     0.5409    -0.1886    -0.4382
    -0.1886     1.1559    -0.2826
    -0.4382    -0.2826     0.7303
GPSVISP GPSRANDA
   16659.406   -5476.135  -14069.520
     0.1171    -0.0408    -0.0949
    -0.0408     0.2502    -0.0612
    -0.0949    -0.0612     0.1581
GPSVISP GPSZERMA
   24025.795   -7247.563  -20478.625
     0.0600    -0.0209    -0.0486
    -0.0209     0.1283    -0.0314
    -0.0486    -0.0314     0.0811
GPSVISP GPSLALD
    -847.807    1989.016     538.523
     3.2688    -1.1399    -2.6482
    -1.1399     6.9857    -1.7081
    -2.6482    -1.7081     4.4136
GPSVISP PPVISP
    -196.299    -115.371     201.927
     0.6883    -0.2400    -0.5576
    -0.2400     1.4708    -0.3597
    -0.5576    -0.3597     0.9293
GPSVISP GPSSTALB
    1002.895     368.087    -984.565
     4.6771    -1.6310    -3.7891
    -1.6310     9.9952    -2.4440
    -3.7891    -2.4440     6.3151
GPSSTALBPPVTERM
     825.673     286.733    -503.503
     0.6030    -0.2103    -0.4885
    -0.2103     1.2886    -0.3151
    -0.4885    -0.3151     0.8142
GPSSTALBGPSNEUBR
    2167.197    -132.037   -1990.074
     2.4646    -0.8595    -1.9967
    -0.8595     5.2670    -1.2879
    -1.9967    -1.2879     3.3278
```

GPS - BASISLINIEN Trimble L+T

GPSNEUBRGPSSTALD
1631.374 -224.505 -1341.831
3.4175 -1.1918 -2.7687
-1.1918 7.3034 -1.7859
-2.7687 -1.7859 4.6144
GPSSTALDGPSKAL
1970.588 -2138.955 -1415.307
2.2223 -0.7750 -1.8004
-0.7750 4.7492 -1.1613
-1.8004 -1.1613 3.0006
GPSKAL PPEMBD
222.406 -940.336 549.688
0.5919 -0.2064 -0.4795
-0.2064 1.2649 -0.3093
-0.4795 -0.3093 0.7992
GPSKAL GPSSALLI
1878.809 -1636.863 -1394.633
2.5479 -0.8885 -2.0641
-0.8885 5.4449 -1.3314
-2.0641 -1.3314 3.4402
GPSSALLIPPSTNIK
722.753 -506.710 -571.982
0.5983 -0.2086 -0.4847
-0.2086 1.2786 -0.3126
-0.4847 -0.3126 0.8078
PPSTNIK GPSSTSEE
3704.810 -819.277 -3247.571
1.3011 -0.4537 -1.0541
-0.4537 2.7806 -0.6799
-1.0541 -0.6799 1.7568
GPSSTSEEGPSRANDA
3580.981 -385.875 -3123.557
1.3836 -0.4825 -1.1209
-0.4825 2.9569 -0.7230
-1.1209 -0.7230 1.8682
GPSRANDAPPWEGGW
870.567 -22.035 -796.680
5.3954 -1.8815 -4.3710
-1.8815 11.5303 -2.8194
-4.3710 -2.8194 7.2850
GPSRANDAGPSTAESC
2452.023 287.131 -2328.050
2.1041 -0.7338 -1.7046
-0.7338 4.4966 -1.0995
-1.7046 -1.0995 2.8410
GPSTAESCGPSSCHLA
1898.618 -448.368 -1630.408
2.8741 -1.0023 -2.3284
-1.0023 6.1422 -1.5019
-2.3284 -1.5019 3.8807
GPSSCHLAPPSCHAUS
1360.246 -801.734 -1071.344
0.5154 -0.1797 -0.4175
-0.1797 1.1013 -0.2693
-0.4175 -0.2693 0.6958
PPSCHAUSGPSZERMA
1655.501 -808.456 -1379.304
3.1699 -1.1054 -2.5680
-1.1054 6.7741 -1.6564
-2.5680 -1.6564 4.2800

WM 101 Messungen

GPSVISP GPSKAL
6772.034 -2127.415 -5731.813
0.3552 -0.1239 -0.2878
-0.1239 0.7592 -0.1856
-0.2878 -0.1856 0.4797
GPSVISP GPSSTNIK
10165.825 -4414.648 -8456.715
0.2267 -0.0790 -0.1836
-0.0790 0.4844 -0.1184
-0.1836 -0.1184 0.3060
GPSVISP GPSRANDA
16659.414 -5476.140 -14069.549
0.1231 -0.0429 -0.0998
-0.0429 0.2631 -0.0643
-0.0998 -0.0643 0.1663
GPSVISP GPSTAESC
19111.430 -5189.021 -16397.602
0.1019 -0.0355 -0.0825
-0.0355 0.2177 -0.0532
-0.0825 -0.0532 0.1376
GPSVISP GPSSCHLA
21010.050 -5637.382 -18028.022
0.0888 -0.0310 -0.0719
-0.0310 0.1897 -0.0464
-0.0719 -0.0464 0.1199
GPSVISP GPSZERMA
24025.802 -7247.583 -20478.671
0.0723 -0.0252 -0.0586
-0.0252 0.1545 -0.0378
-0.0586 -0.0378 0.0976

```
GPSVISP GPSNEUBR
    3170.101      236.057   -2974.639
     0.6306    -0.2199    -0.5109
    -0.2199     1.3476    -0.3295
    -0.5109    -0.3295     0.8514
GPSVISP GPSSTALD
    4801.459       11.543   -4316.487
     0.4797    -0.1673    -0.3886
    -0.1673     1.0252    -0.2507
    -0.3886    -0.2507     0.6477
GPSVISP PPVISP
    -196.272     -115.370      201.932
     1.2236    -0.4267    -0.9913
    -0.4267     2.6148    -0.6394
    -0.9913    -0.6394     1.6521
GPSVISP PPVTERM
    1828.523      654.832   -1488.145
     0.0723    -0.0252    -0.0586
    -0.0252     0.1545    -0.0378
    -0.0586    -0.0378     0.0976
GPSVISP PPCACHE
   12077.282    -5459.947   -9870.128
     0.1846    -0.0644    -0.1496
    -0.0644     0.3946    -0.0965
    -0.1496    -0.0965     0.2493
GPSVISP GPSSTALB
    1002.951      368.109    -984.528
     0.2267    -0.0790    -0.1836
    -0.0790     0.4844    -0.1184
    -0.1836    -0.1184     0.3060
GPSVISP PPTAESCH
   19663.481    -5550.968  -16837.317
     0.1019    -0.0355    -0.0825
    -0.0355     0.2177    -0.0532
    -0.0825    -0.0532     0.1376
```

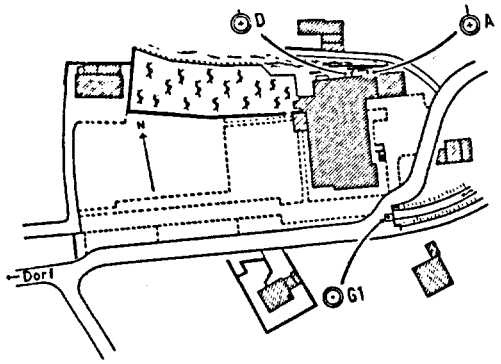
A2.5 Stationsbeschreibungen der GPS-Hauptpunkte

GPS-Station Visp - Zermatt

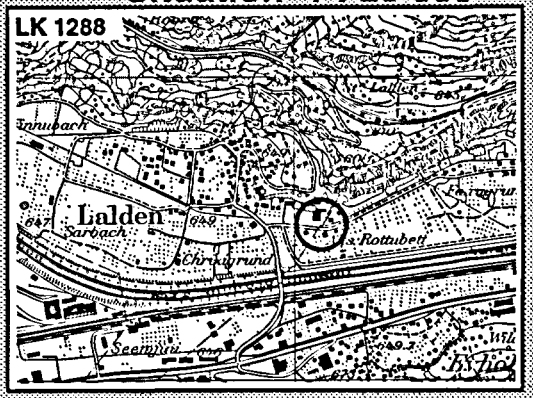
Punktbezeichnung	: Lalden GPS
Punktnummer	: -
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G1

Landeskoordinaten
Y = 636087.436
X = 127502.745
H = 650.200

Skizze

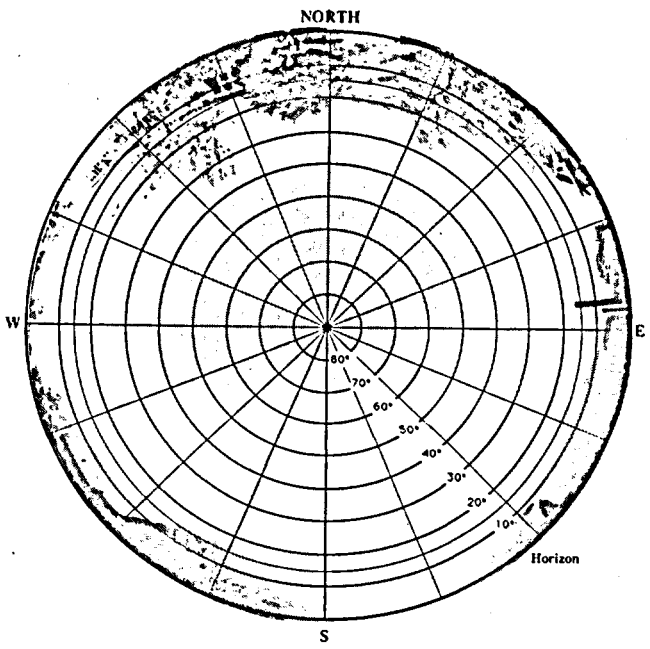


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : B2
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 3
Äussere Einflüsse auf FP : -

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Fundament Kanaleinlauf. Turnhalle, Kanal, Durchlass mit Schieber, Mitte Betonplatte; 1.75m vom Schieber kanalabwärts, auf Strassenhöhe.

Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

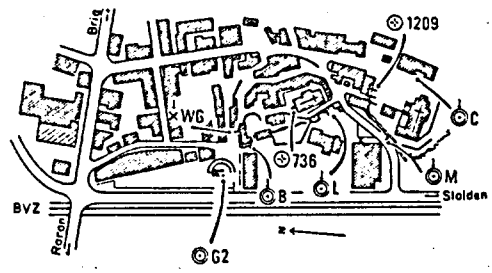
GPS-Station Visp - Zermatt

Punktbezeichnung	: Visp GPS
Punktnummer	: 2
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G2

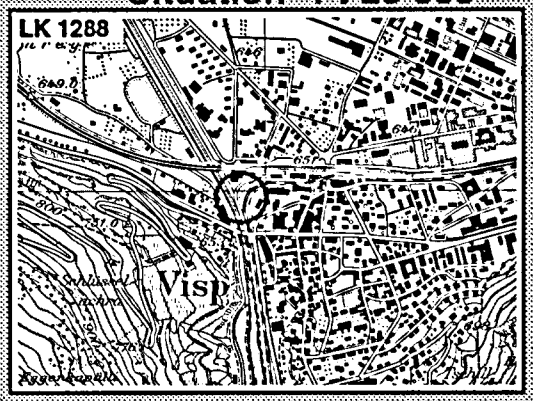
Landeskoordinaten

Y = 634005.906
X = 126709.335
H = 652.408

Skizze

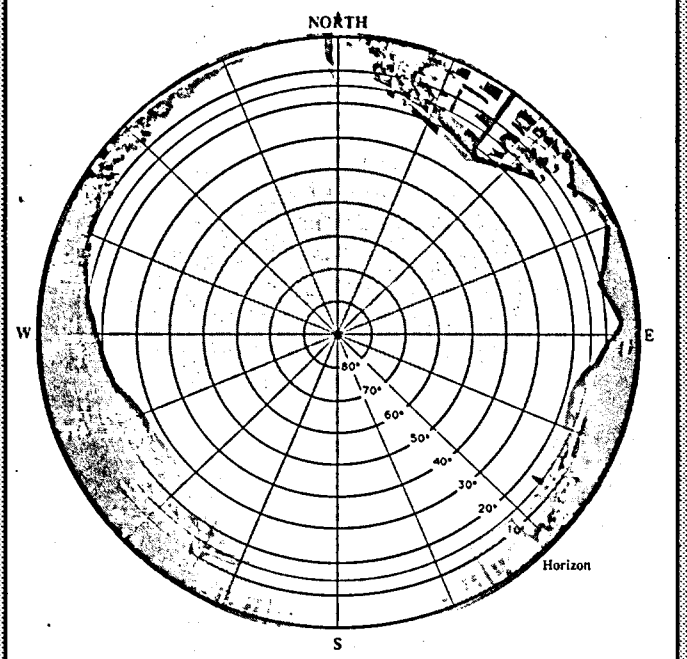


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : B2 (Mauer, Einstellhalle)
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 3
Äussere Einflüsse auf FP : G

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Einfahrt Parkplatz, südlich Treppe zum Parkhaus, westliche Flügelmauer; 0.10m vom Mauerende, 0.45m über Boden (mit Kugel messen).

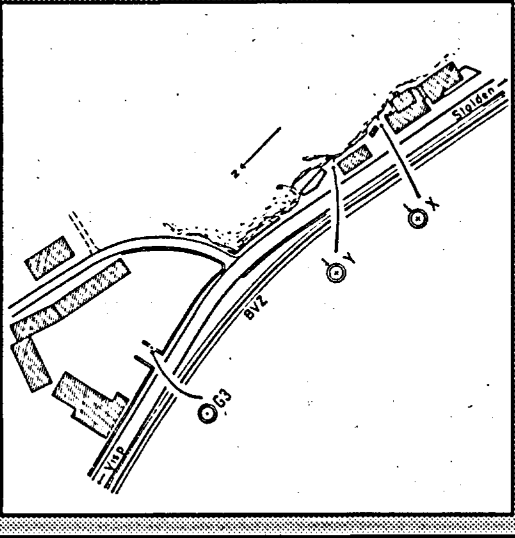
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

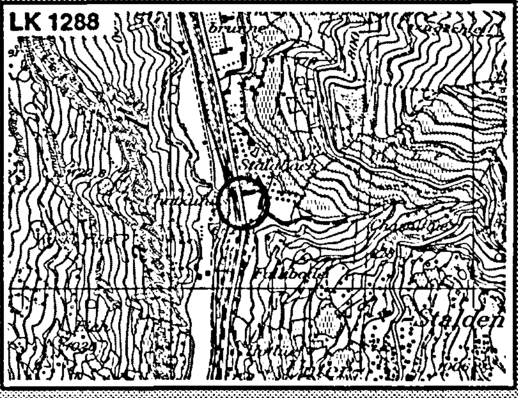
Punktbezeichnung	: Staldbach GPS
Punktnummer	: 3
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G3

Landeskoordinaten
Y = 634241.075
X = 125275.768
H = 662.127

Skizze

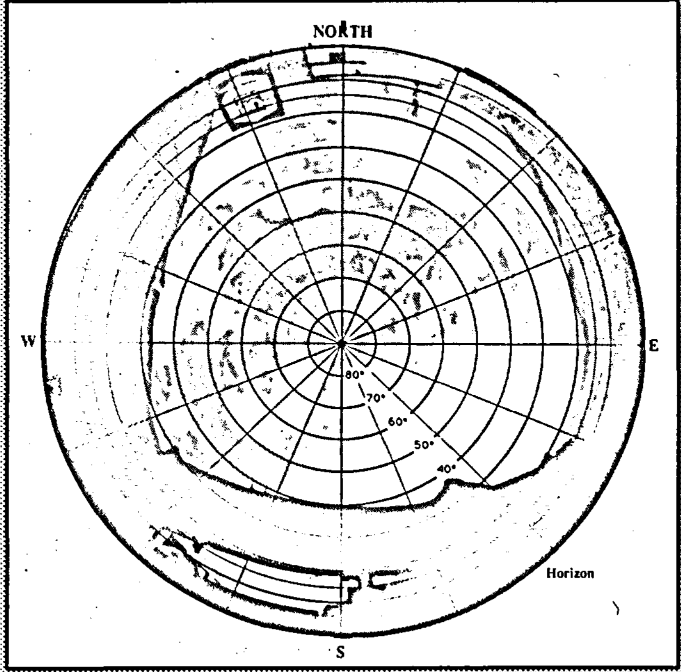


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : B3 (Mauer)
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 4
Äussere Einflüsse auf FP : E, V

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Baugeschäft Imboden, Einfahrt zum Lagerplatz, rechte Randmauer; 3.60m von der Mauerecke gegen die Strasse, 0.25m über Boden.
Nachts nicht zugänglich.

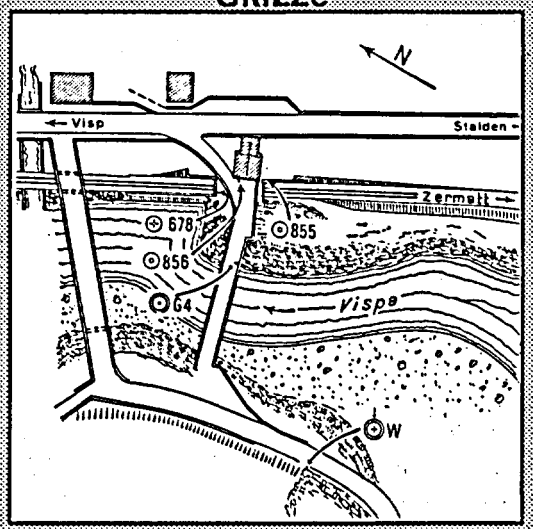
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

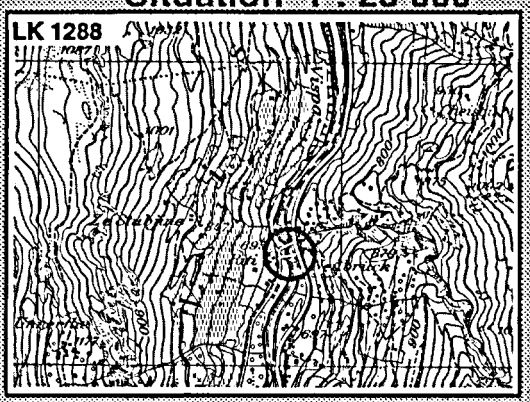
Punktbezeichnung	: Neubrück GPS
Punktnummer	: 4
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G4

Landeskoordinaten
Y = 633829.551
X = 122359.717
H = 695.585

Skizze

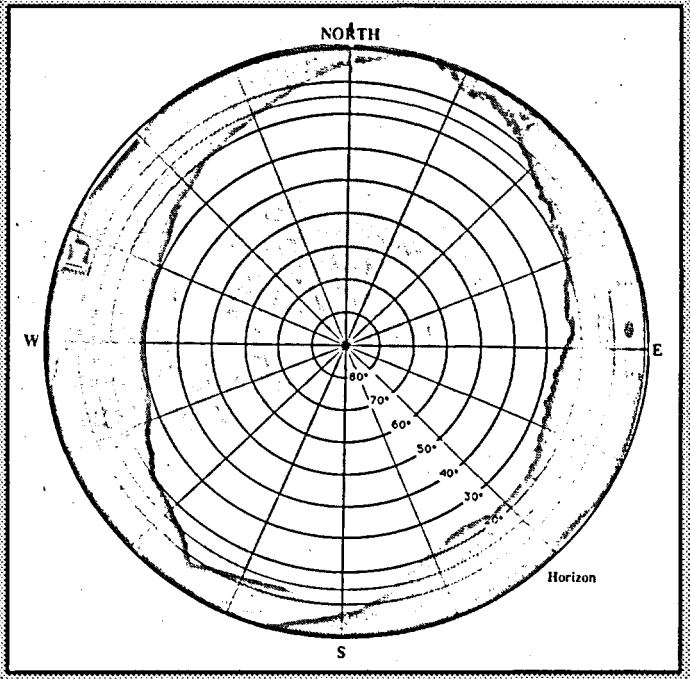


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : B2
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 2
Äussere Einflüsse auf FP : E, U

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Alte Brücke über die Vispa, Fuss der Brüstung, rechtes Ufer, flussaufwärts; 15.95m von der Westfassade der Kapelle in Richtung Fluss, 0.37m vor der Brüstung.

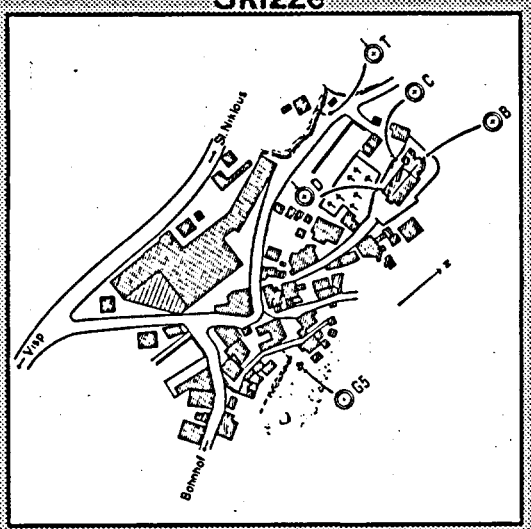
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

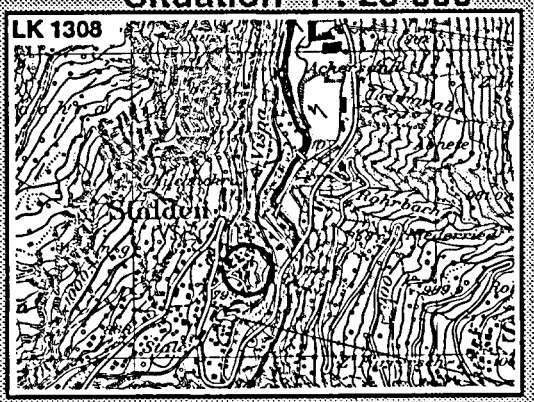
Punktbezeichnung	: Stalden GPS
Punktnummer	: 5
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G5

Landeskoordinaten
Y = 633395.156
X = 120284.371
H = 822.611

Skizze

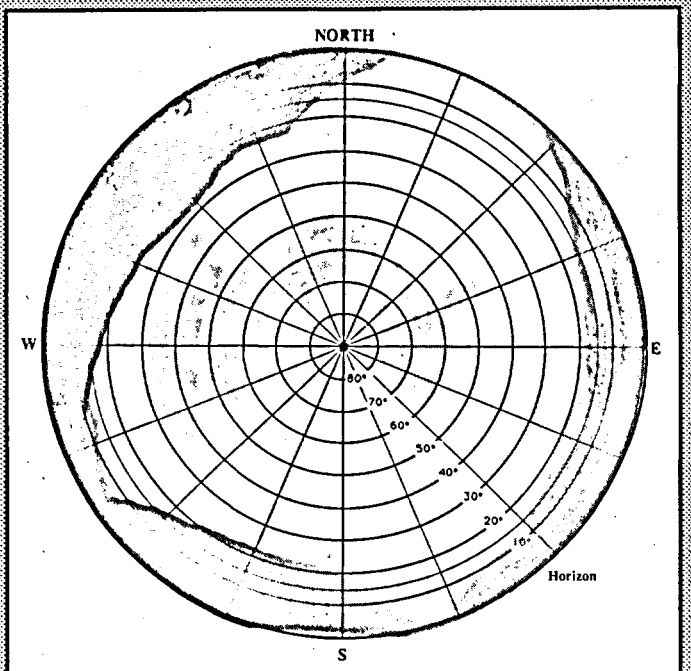


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : F2
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 2
Äussere Einflüsse auf FP : -

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Grosser nicht anstehender, aber gut eingebetteter Block, bodeneben.
'Biel'; ca. 5.5m vom Westrand des Hügels, 6.7m südlich einer Gartenmauer.

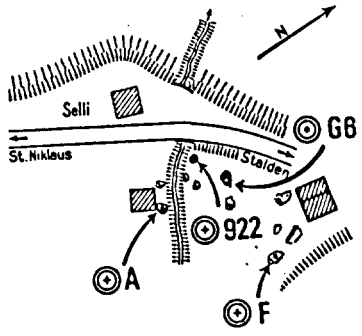
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

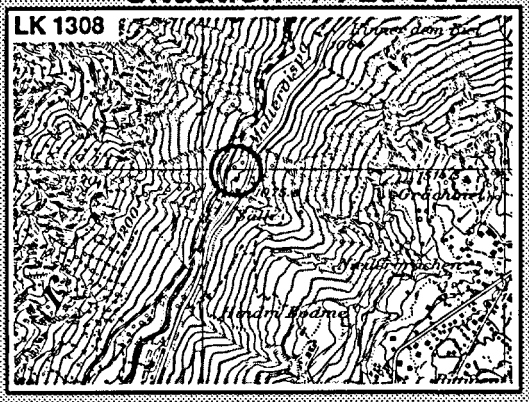
Punktbezeichnung	: Sälli GPS
Punktnummer	: 6
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G6

Landeskoordinaten
Y = 629151.966
X = 115937.353
H = 1075.703

Skizze

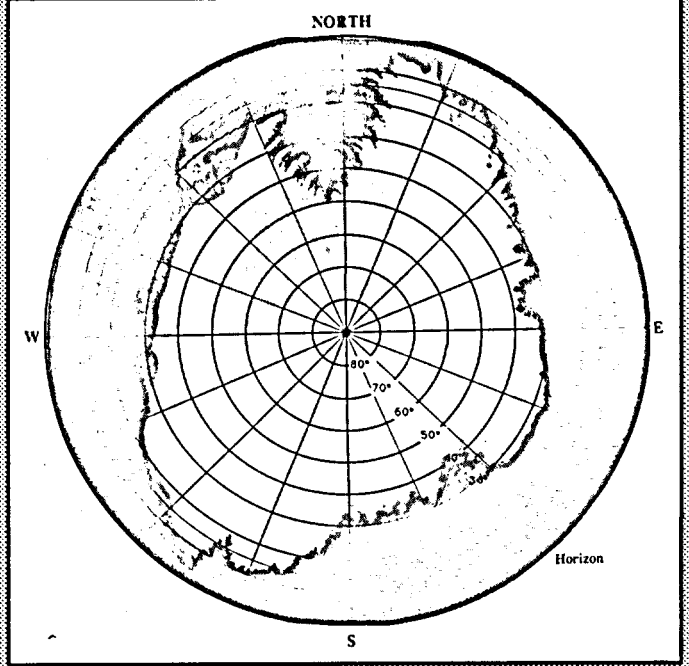


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : F3
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 3
Äussere Einflüsse auf FP : R, V

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Felsblock mit TP Bolzen daneben.
6.7m vom bergseitigen Strassenrand; 19.6m talaufwärts von der Fassade eines Chalets, 3.2m über Strassenhöhe.

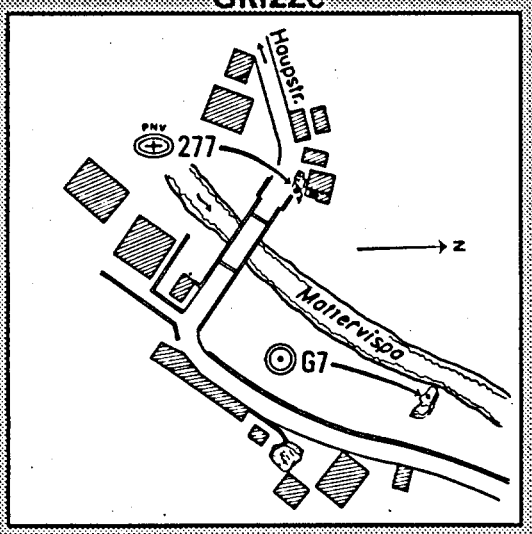
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

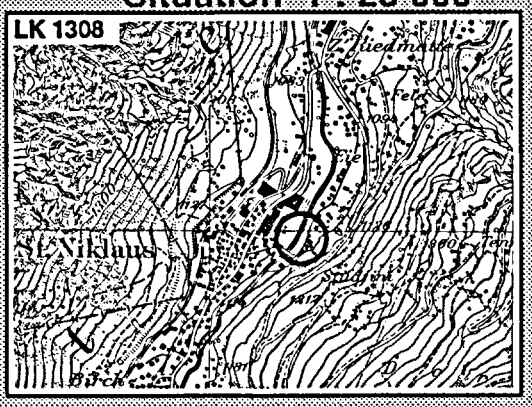
Punktbezeichnung	: St. Niklaus GPS
Punktnummer	: 7
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G7

Landeskoordinaten
Y = 628311.025
X = 113993.277
H = 1093.536

Skizze

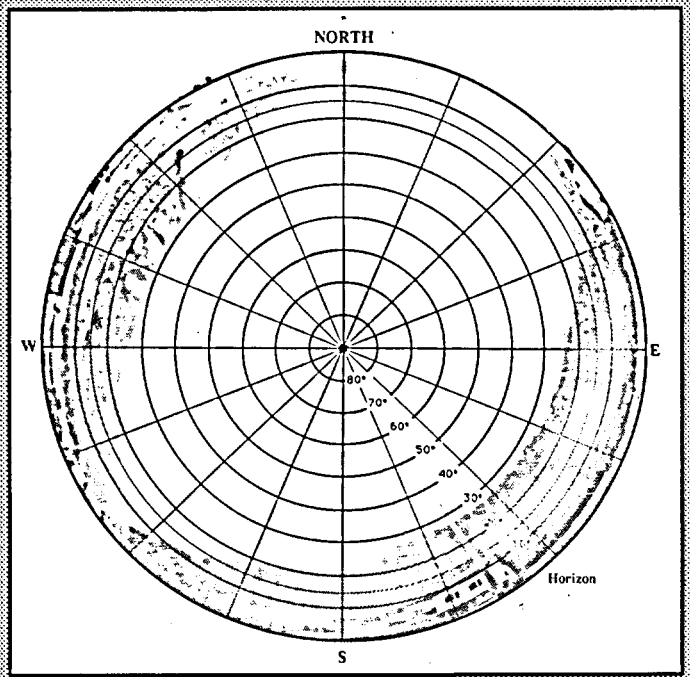


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : F2
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 2
Äussere Einflüsse auf FP : U, V

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Wahrscheinlich stabil. Grosser Felsblock, am rechten Ufer der Mattervispa, ca. 80m talabwärts von der Brücke über den Fluss; 14.5m vom Strassenrand, 0.7m tiefer als Strasse.
Punkt durch Strassenbau 1989 zerstört!

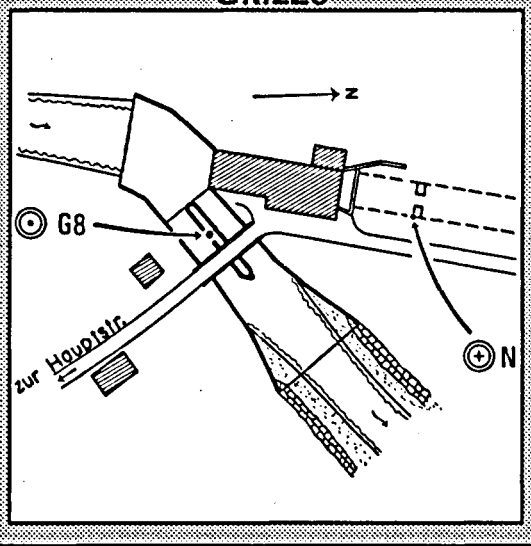
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

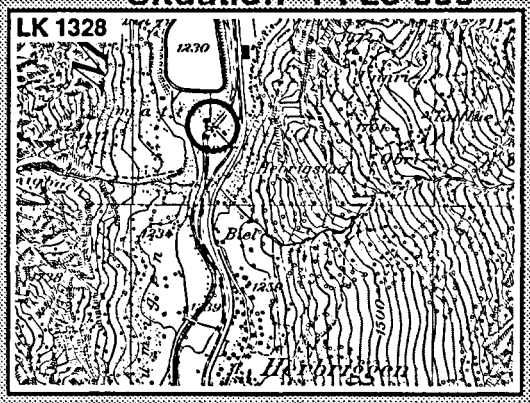
Punktbezeichnung	: Herbriggen GPS
Punktnummer	: 8
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G8

Landeskoordinaten
Y = 627263.703
X = 110249.321
H = 1232.971

Skizze

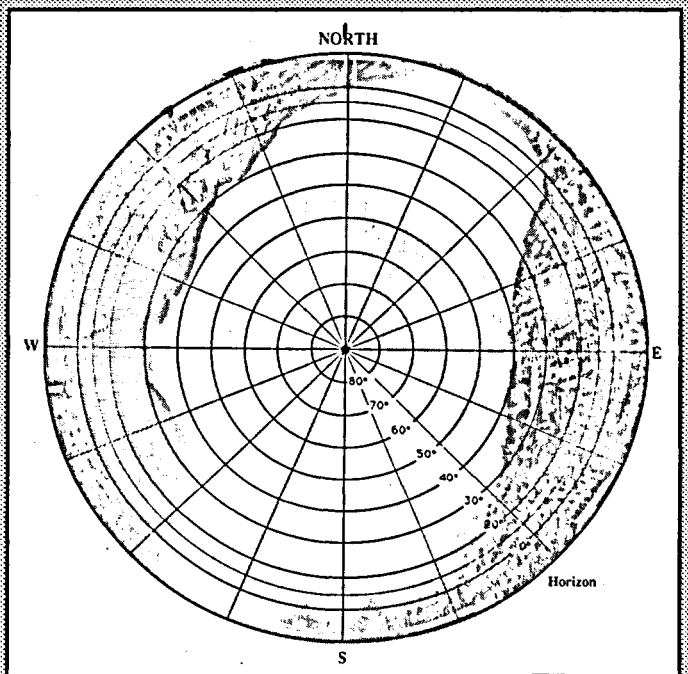


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : B2
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 3
Äussere Einflüsse auf FP : G, E

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Stabilität unsicher. Ausgleichsbecken Mattsand, Stauwehr, mittlerer Pfeiler, Mauermitte; 2.40m talaufwärts von der Brücke, auf Strassenhöhe.

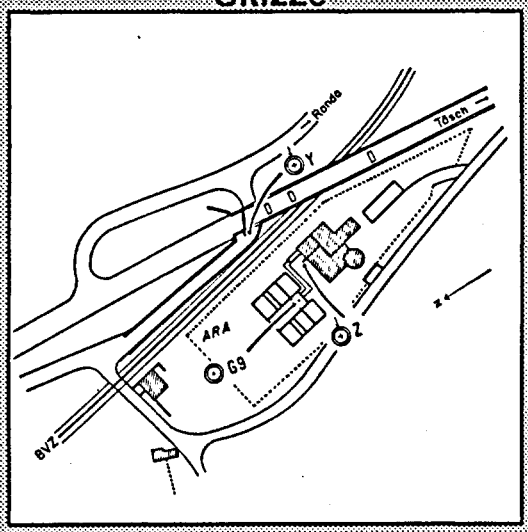
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

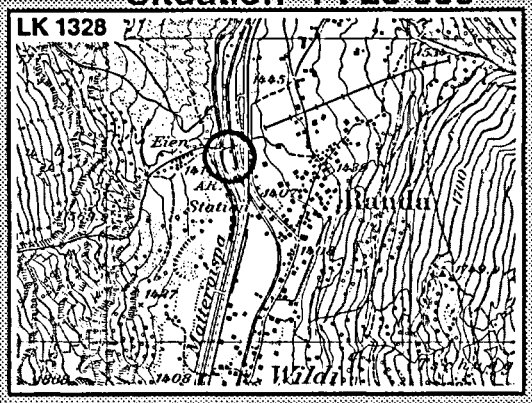
Punktbezeichnung	: Randa GPS
Punktnummer	: 9
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G9

Landeskoordinaten
Y = 626417.142
X = 105561.226
H = 1404.036

Skizze

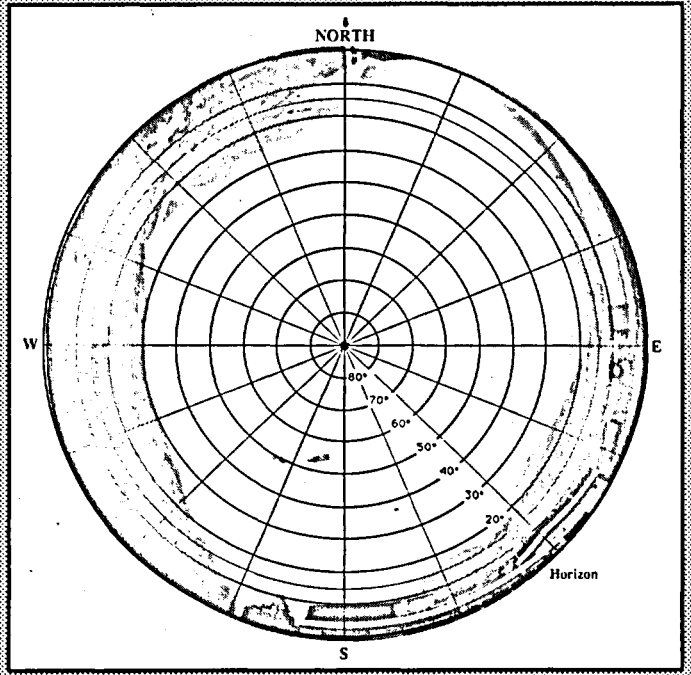


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : B2
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 3
Äussere Einflüsse auf FP : -

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

ARA, Klärbecken, Senkung wahrscheinlich. Seite gegen Betriebsgebäude, Betonpodest, Mitte; 1,81m vom südlichen Mauerrand.

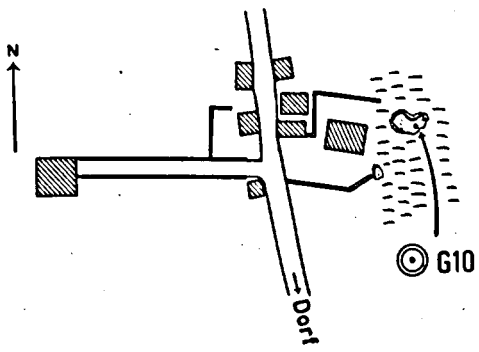
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

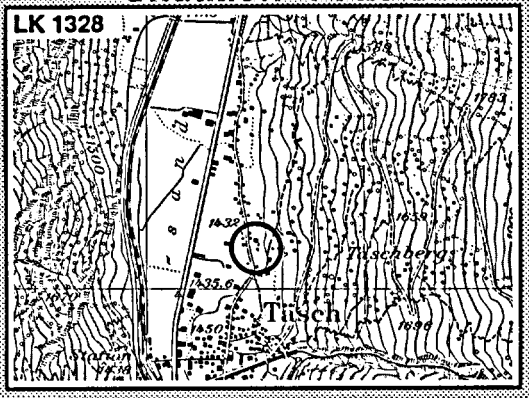
Punktbezeichnung	: Täsch GPS
Punktnummer	: 10
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G10

Landeskoordinaten
Y = 626384.520
X = 102168.606
H = 1438.729

Skizze

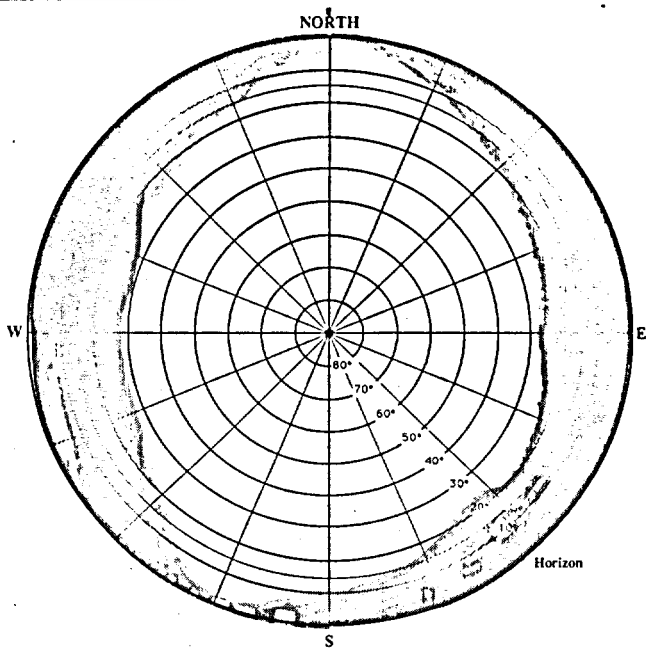


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : F3
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 3
Äussere Einflüsse auf FP : -

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Felsblock, kaum stabil. Grosser Felsblock am östlichen Talhang, ca. 20.5 m oberhalb Chalet Hubertusheim; 5.5m talabwärts von der Verlängerung der Nordfassade, ca. 8m höher als die Strasse.

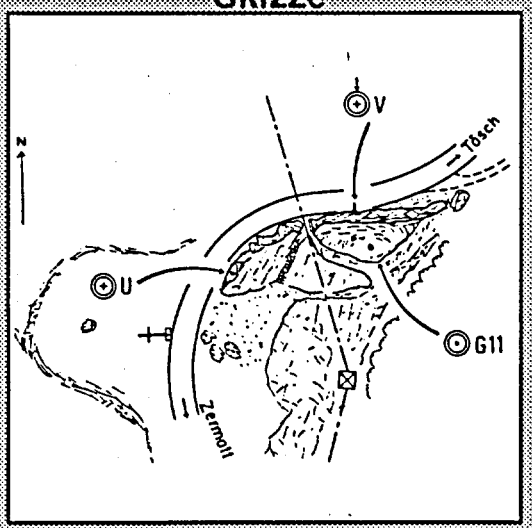
Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

GPS-Station Visp - Zermatt

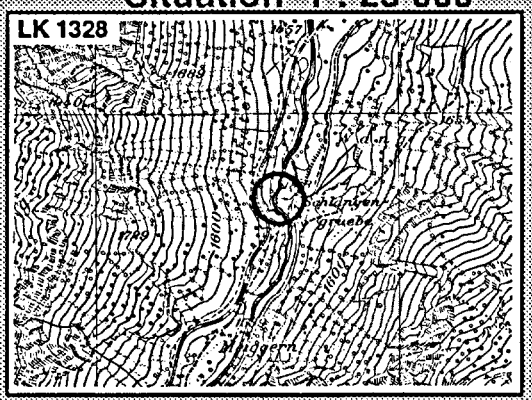
Punktbezeichnung	: Schlangengrueb GPS
Punktnummer	: 11
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G11

Landeskoordinaten
Y = 625693.983
X = 99723.649
H = 1527.862

Skizze

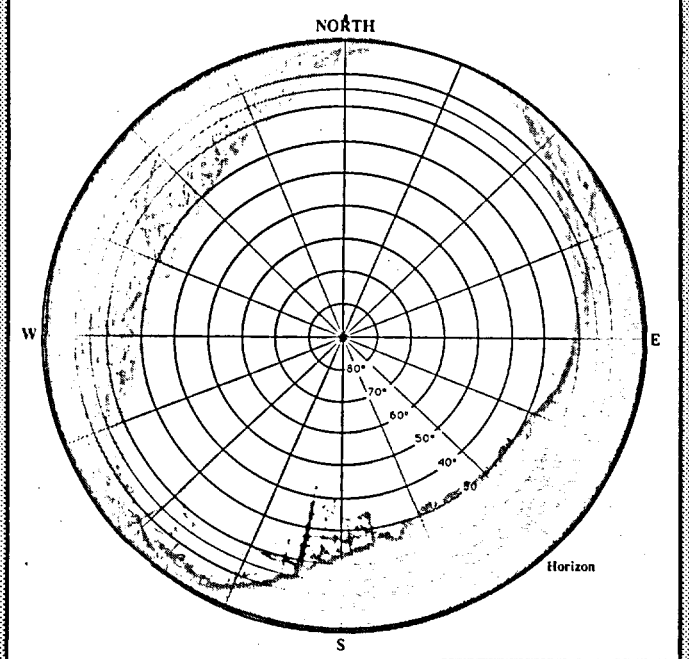


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : F1
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 1
Äussere Einflüsse auf FP : -

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Feingefältelter Gneis, sehr gut.
Felshügel, im innern Kurvenrand; 8.5m höher als die Strasse, 9m westlich des höchsten Punktes, 1.8m vom nördlichen Rand.

Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

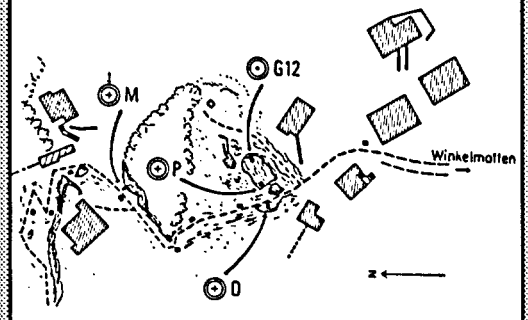
GPS-Station Visp - Zermatt

Punktbezeichnung	: Zermatt GPS
Punktnummer	: 12
Bezeichnung im LN 1987	: T5V G12

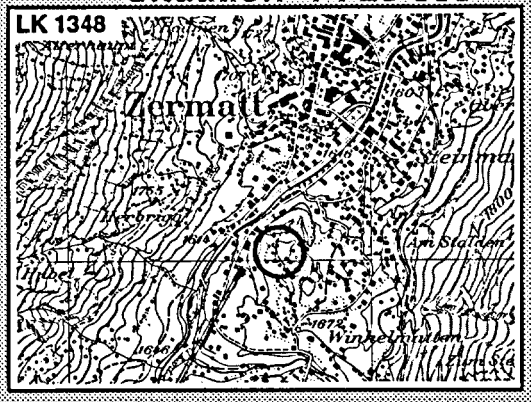
Landeskoordinaten

Y = 623706.733
X = 96020.413
H = 1687.582

Skizze

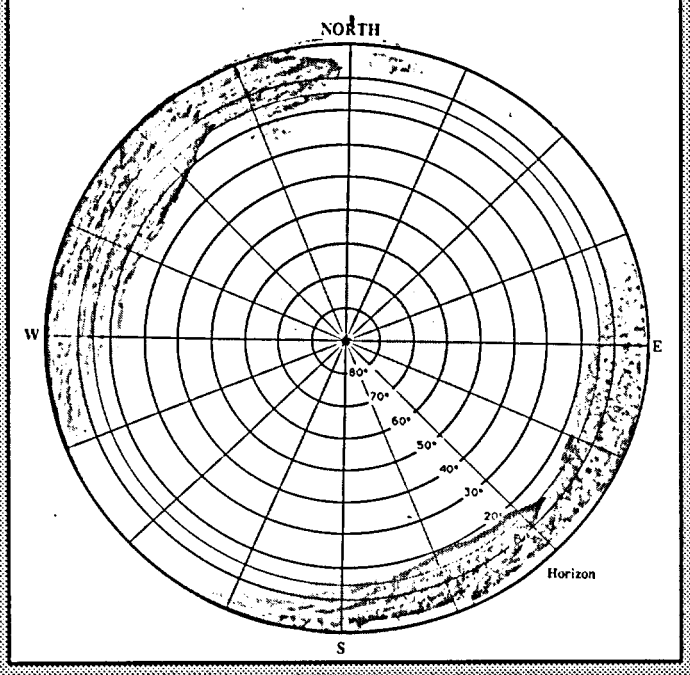


Situation 1 : 25 000



Art der Versicherung : F1
FP-Eignung für kinematische Untersuchung : 1
Äussere Einflüsse auf FP : -

Abdeckungen



Punktbeschreibung

Versichert mit Kappenbolzen.

Amphibolit-Felshügel, Platte anstehend. Biele, ca. 25 m oberhalb des alten Schützenhauses; 8.3 m südlich des Bunkers, 15 m vom Wegrand, ca. 5 m über Weghöhe.

Kartenausschnitt reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14. 11. 1991

Anhang A3: Astro-geodätische Arbeiten

A3.1 Rohdaten

A3.2 Einflüsse auf die Lotabweichungen

A3.3 Reduktion der Rohdaten

A3.4 Vergleiche mit prädizierten Lotabweichungen

A3.5 Stationsbeschreibungen

A3.1: Rohdaten

STATION	NR	LANDESKOORDINATEN Y	X	H	BESSEL-KOORDINATEN φ	λ	ASTRONOM.KOORDINATEN Φ	Λ
OSTTRAVERSE								
AVERS	401	756841.80	145615.73	1834.91	46 26 41.2	9 28 52.0	46 26 38.9	9 28 36.1
NUFENEN	402	739826.24	155857.39	1518.40	46 32 26.3	9 15 46.2	46 32 27.6	9 15 43.4
SPLUEGENPASS	403	745215.24	154347.21	1781.63	46 31 33.3	9 19 57.3	46 31 38.0	9 19 45.6
INNERFERRERA	404	753619.99	154354.40	1509.58	46 31 26.8	9 26 31.5	46 31 30.3	9 26 19.5
SUFERS	405	747226.18	158669.57	1404.48	46 33 51.7	9 21 36.6	46 33 57.3	9 21 37.9
ANDEER	406	752448.40	164013.82	970.34	46 36 40.5	9 25 48.1	46 36 49.1	9 25 43.0
SAVOGNIN	407	765102.38	163335.41	1215.28	46 36 7.7	9 35 41.8	46 36 15.5	9 35 26.2
TIEFENCASTEL	408	764181.39	170035.57	856.19	46 39 45.4	9 35 7.1	46 39 49.7	9 34 50.7
LENZERHEIDE	409	761322.20	178115.34	1487.56	46 44 9.5	9 33 2.9	46 44 11.7	9 32 46.1
ROTHENBRUNNEN	410	752321.84	181032.94	678.00	46 45 51.6	9 26 2.5	46 45 52.1	9 25 48.6
CHURWALDEN	411	760759.96	183397.19	1269.32	46 47 1.0	9 32 43.0	46 47 9.6	9 32 24.3
BONADUZ	412	748791.40	185882.61	666.94	46 48 31.5	9 23 21.9	46 48 35.2	9 23 22.5
DOMAT/EMS	413	753900.22	188604.57	580.77	46 49 55.5	9 27 26.1	46 49 59.5	9 27 19.3
VAETTIS	414	752742.68	197438.66	946.97	46 54 42.4	9 26 42.1	46 54 43.3	9 26 45.7
ZIZERS	415	760932.77	197898.77	540.29	46 54 50.4	9 33 9.7	46 54 54.8	9 33 6.6
LANDQUART	416	761731.48	203368.15	526.87	46 57 46.7	9 33 54.4	46 57 47.5	9 33 44.7
SARGANS	417	754872.32	210946.52	487.58	47 1 58.0	9 28 39.4	47 2 2.4	9 28 38.0
FLUMS	418	746192.55	216182.64	450.26	47 4 54.6	9 21 54.4	47 5 0.0	9 21 57.0
SEVELER BERG	419	751358.22	223106.81	1397.87	47 8 34.6	9 26 7.6	47 8 42.8	9 26 27.6
BUCHS	420	755103.25	224572.63	449.04	47 9 18.9	9 29 7.1	47 9 24.7	9 29 6.8
WILDHAUS	421	745350.39	228128.90	1346.48	47 11 22.0	9 21 28.4	47 11 29.7	9 21 29.2
ALT STJOHANN	422	737726.88	227530.86	894.20	47 11 8.6	9 15 25.6	47 11 14.2	9 15 17.6
NESSLAU	423	734027.06	232022.39	857.72	47 13 36.7	9 12 34.7	47 13 39.8	9 12 20.9
HOCHALP	424	736984.12	237658.69	1521.53	47 16 37.0	9 15 1.5	47 16 42.3	9 14 52.0
HEMBERG	425	731324.11	239999.27	967.81	47 17 56.9	9 10 34.7	47 18 1.8	9 10 27.1
DIETFURT	426	724062.22	245453.54	610.04	47 20 58.6	9 4 54.5	47 20 59.4	9 4 50.2
MOGELSBERG	427	730599.61	247247.97	726.80	47 21 52.1	9 10 7.8	47 21 52.7	9 10 1.8
LUETISBURG	428	723743.27	250636.37	570.93	47 23 46.6	9 4 44.4	47 23 46.6	9 4 42.5
OETWIL	429	717966.27	252341.68	754.22	47 24 45.6	9 0 10.6	47 24 47.2	9 0 8.7
UZWIL	430	730067.99	256167.58	531.49	47 26 41.3	9 9 51.8	47 26 42.4	9 9 48.6
TUTTWIL	431	713211.92	260645.08	575.29	47 29 17.5	8 56 31.4	47 29 16.4	8 56 31.8
WIL	432	722785.66	257816.33	516.52	47 27 39.7	9 4 5.9	47 27 36.3	9 4 5.6
MATZINGEN	433	711604.67	264491.76	471.29	47 31 23.0	8 55 18.1	47 31 18.4	8 55 19.5
LOMMIS	434	718334.94	265199.18	472.95	47 31 41.7	9 0 40.5	47 31 36.7	9 0 40.1
FRAUENFELD	435	708864.40	268175.55	408.65	47 33 23.9	8 53 10.4	47 33 19.0	8 53 11.1
HUETTLINGEN	436	716722.53	271827.50	407.15	47 35 17.3	8 59 29.7	47 35 11.6	8 59 30.1
UERSCHHAUSEN	437	703632.53	273856.95	466.97	47 36 30.9	8 49 5.0	47 36 23.1	8 49 7.6
MAMMERN	438	711105.90	278254.66	407.02	47 38 48.9	8 55 6.7	47 38 42.1	8 55 7.9
RAMSEN	439	703305.81	282477.78	402.47	47 41 10.2	8 48 56.6	47 40 59.7	8 49 1.3
STECKBORN	440	716741.34	280559.05	473.19	47 40 0.0	8 59 38.9	47 39 53.9	8 59 39.7

STATION	NR	LANDESKOORDINATEN Y	X	H	BESSEL-KOORDINATEN φ	λ	ASTRONOM.KOORDINATEN Φ	Λ
PTVERD. OSTSCHWEIZ								
WATTWIL	501	725223.62	238406.38	625.21	47 17 9.6	9 5 42.7	47 17 12.0	9 5 37.3
FRASNACHT	502	746933.98	266453.52	414.70	47 32 1.5	9 23 28.9	47 32 0.2	9 23 29.6
ALTENRHEIN	503	759199.15	262214.76	397.50	47 29 34.0	9 33 9.7	47 29 36.2	9 33 6.1
HAAG	504	755101.90	230290.06	440.26	47 12 24.0	9 29 14.1	47 12 26.1	9 29 13.4
BAD RAGAZ	505	758123.16	207564.71	509.06	47 0 5.7	9 31 9.0	47 0 8.1	9 31 5.3
WEISSTANNEN	506	745013.16	206201.44	993.79	46 59 32.4	9 20 47.0	46 59 41.4	9 20 52.6
SEVELEN	507	757161.15	218630.97	464.34	47 6 4.8	9 30 37.3	47 6 7.2	9 30 25.4
WALENSTADT	508	741395.90	221079.56	422.12	47 7 36.9	9 18 12.6	47 7 30.8	9 18 6.9
KLOSTERS	509	787829.20	193070.51	1207.32	46 51 48.6	9 54 13.1	46 51 53.8	9 53 46.4
GLARIS	510	779285.11	180928.47	1520.85	46 45 24.1	9 47 12.7	46 45 27.3	9 46 58.9
PRADELLA	511	821155.03	187762.90	1135.77	46 48 19.9	10 20 16.4	46 48 22.7	10 20 7.3
LAVIN	512	803822.05	182936.61	1441.98	46 46 3.7	10 6 31.5	46 45 59.3	10 6 27.7
S-CHANF	513	794571.34	165185.98	1657.75	46 36 39.0	9 58 48.6	46 36 38.3	9 58 42.6
CELERINA	514	786498.20	154136.40	1716.63	46 30 49.6	9 52 13.3	46 30 51.5	9 52 5.0
SÜDTRAVERSE								
GAGGIOLO	601	714729.00	77630.88	376.05	45 50 30.4	8 54 59.2	45 50 5.3	8 55 1.9
MERIDE	602	717901.83	83131.35	573.33	45 53 26.6	8 57 31.1	45 53 3.0	8 57 35.2
CHIASSO	603	724026.76	77376.31	230.64	45 50 16.3	9 2 9.7	45 49 48.7	9 2 6.2
BEDIGLIORA	604	709197.36	95985.91	566.22	46 0 28.1	8 50 58.2	46 0 0.7	8 51 6.1
WESTTRAVERSE								
SCHLANGENGRUEBE	1	625622.17	99695.13	1524.81	46 2 58.3	7 46 14.3	46 3 4.2	7 46 13.8
RANDA	9	626366.23	104366.01	1427.69	46 5 29.4	7 46 49.9	46 5 36.9	7 46 49.5
MATTSAND	2	627263.70	110249.32	1232.97	46 8 39.9	7 47 32.9	46 8 53.3	7 47 33.7
SAELLI	8	629151.97	115937.35	1075.70	46 11 43.8	7 49 2.1	46 11 56.7	7 49 7.3
EMBD	7	630055.29	118403.20	1409.30	46 13 3.5	7 49 44.8	46 13 7.2	7 50 3.3
STALDEN	3	633400.39	120256.29	824.24	46 14 3.0	7 52 21.4	46 14 14.3	7 52 22.6
VISPERTERMINEN	4	634417.29	124309.26	890.72	46 16 14.0	7 53 9.9	46 16 24.2	7 53 0.7
VISP	5	633916.90	127000.34	653.12	46 17 41.3	7 52 47.3	46 17 44.6	7 52 44.8
TURTIG	14	627891.88	128305.62	636.43	46 18 24.6	7 48 6.0	46 18 24.9	7 48 4.0
SIERRE	13	607797.56	126256.71	550.97	46 17 20.1	7 32 26.8	46 17 22.0	7 32 14.6
COLLINE FENDANT	12	602921.36	123349.71	547.19	46 15 46.1	7 28 38.9	46 15 52.3	7 28 25.2
FORTUNAU	11	598014.38	126599.27	1225.22	46 17 31.4	7 24 49.7	46 17 14.1	7 24 54.3
TSEUZIER	10	600009.51	132919.54	1808.83	46 20 56.1	7 26 22.9	46 20 40.8	7 26 18.5
IFFIGENALP	501	600112.42	138633.26	1615.15	46 24 1.1	7 26 27.8	46 24 13.5	7 26 16.7
LENK	502	599771.82	146564.43	1036.76	46 28 18.0	7 26 11.8	46 28 21.2	7 26 0.2
BLANKENBURG	503	596151.15	155537.82	1032.56	46 33 8.6	7 23 21.8	46 33 14.0	7 23 3.7
BOLTIGEN	504	596019.26	164752.46	963.91	46 38 7.0	7 23 15.3	46 38 7.2	7 23 16.6
WEISSENBURG	505	601439.95	167234.24	819.45	46 39 27.5	7 27 30.2	46 39 36.4	7 27 30.0
DIEMTIGEN	506	610383.18	167022.35	729.91	46 39 20.3	7 34 30.9	46 39 34.7	7 34 30.7
ALLMENDINGEN	507	611866.54	177124.75	572.88	46 44 47.4	7 35 41.6	46 44 55.5	7 35 41.7
WICHTRACH	508	609464.61	187904.56	529.06	46 50 36.7	7 33 49.2	46 50 38.5	7 33 48.1
RUBIGEN	509	607413.98	194008.10	529.88	46 53 54.5	7 32 12.8	46 53 55.4	7 32 8.6
DIEMERSWIL	510	598237.34	207797.04	646.01	47 1 21.2	7 24 59.0	47 1 19.1	7 24 59.3
LYSS	511	588928.00	212340.09	443.15	47 3 48.0	7 17 37.7	47 3 43.5	7 17 38.4
NIDAU	512	586003.13	218784.57	433.53	47 7 16.5	7 15 18.4	47 7 7.4	7 15 26.2
ZIMMERWALD	513	602062.24	191792.87	897.84	46 52 42.8	7 27 59.9	46 52 45.8	7 28 1.6

A3.2: Einflüsse auf die Lotabweichungen

STATION	NR	LANDESKOORDINATEN Y	X	H	GEMESSEN ξ	η	MOHO ξ	η	PO ξ	η	IVREAK. ξ	η
OSTTRAVERSE												
AVERS	401	756842.	145616.	1835.	-2.3	-11.0	3.0	1.2	-3.6	.4	4.5	4.4
NUFENEN	402	739826.	155857.	1518.	1.3	-1.9	-2.7	3.3	-3.2	.6	5.5	3.7
SPLUEGENPASS	403	745215.	154347.	1782.	4.7	-8.0	-1.5	2.8	-3.3	.5	5.1	3.8
INNERFERRERA	404	753620.	154354.	1510.	3.5	-8.3	-.5	2.3	-3.3	.4	4.5	3.8
SUFERS	405	747226.	158670.	1404.	5.6	.9	-2.9	3.2	-3.2	.5	4.7	3.5
ANDEER	406	752448.	164014.	970.	8.6	-3.5	-4.3	3.4	-3.0	.4	4.2	3.2
SAVOGNIN	407	765102.	163335.	1215.	7.8	-10.7	-2.8	2.3	-3.0	.3	3.5	3.2
TIEFENCASTEL	408	764181.	170036.	856.	4.3	-11.3	-5.3	3.1	-2.9	.3	3.4	2.8
LENZERHEIDE	409	761322.	178115.	1488.	2.2	-11.5	-8.5	4.1	-2.7	.3	3.2	2.5
ROTHENBRUNNEN	410	752322.	181033.	678.	.5	-9.5	-10.6	5.3	-2.6	.4	3.5	2.3
CHURWALDEN	411	760760.	183397.	1269.	8.6	-12.8	-10.4	4.7	-2.5	.3	3.1	2.3
BONADUZ	412	748791.	185883.	667.	3.7	.4	-12.6	6.2	-2.5	.4	3.5	2.1
DOMAT/EMS	413	753900.	188605.	581.	4.0	-4.7	-13.0	6.0	-2.4	.3	3.2	2.1
VAETTIS	414	752743.	197439.	947.	.9	2.5	-15.7	7.0	-2.2	.3	3.0	1.8
ZIZERS	415	760933.	197899.	540.	4.4	-2.1	-15.2	6.2	-2.2	.3	2.8	1.8
LANDQUART	416	761731.	203368.	527.	.8	-6.6	-16.6	6.6	-2.2	.3	2.6	1.7
SARGANS	417	754872.	210947.	488.	4.4	-1.0	-19.1	8.0	-2.0	.3	2.6	1.4
FLUMS	418	746193.	216183.	450.	5.4	1.8	-20.8	9.4	-1.9	.3	2.6	1.3
SEVELER BERG	419	751358.	223107.	1398.	8.2	13.6	-21.2	9.2	-1.8	.3	2.4	1.2
BUCHS	420	755103.	224573.	449.	5.8	-.2	-21.5	9.0	-1.8	.3	2.3	1.2
WILDHAUS	421	745350.	228129.	1346.	7.7	.5	-22.2	10.1	-1.8	.3	2.4	1.1
ALT ST JOHANN	422	737727.	227531.	894.	5.6	-5.4	-22.7	10.9	-1.8	.3	2.5	1.0
NESSLAU	423	734027.	232022.	858.	3.1	-9.4	-23.2	11.5	-1.7	.3	2.4	.9
HOCHALP	424	736984.	237659.	1522.	5.3	-6.4	-23.0	11.3	-1.6	.3	2.3	.9
HEMBERG	425	731324.	239999.	968.	4.9	-5.2	-23.4	12.0	-1.6	.3	2.3	.8
DIETFURT	426	724062.	245454.	610.	.8	-2.9	-23.6	12.7	-1.5	.4	2.2	.7
MOGELSBERG	427	730600.	247248.	727.	.6	-4.1	-23.4	12.2	-1.5	.3	2.1	.7
LUETISBURG	428	723743.	250636.	571.	.0	-1.3	-23.4	12.8	-1.5	.3	2.1	.6
OETWIL	429	717966.	252342.	754.	1.6	-1.3	-23.2	13.0	-1.4	.4	2.1	.6
UZWIL	430	730068.	256168.	531.	1.1	-2.2	-22.9	12.4	-1.4	.3	2.0	.6
TUTTWIL	431	713212.	260645.	575.	-1.1	.3	-22.4	13.2	-1.4	.3	2.0	.5
WIL	432	722786.	257816.	517.	-3.4	-.2	-22.8	12.8	-1.4	.3	2.0	.6
MATZINGEN	433	711605.	264492.	471.	-4.6	.9	-21.9	13.2	-1.3	.3	1.9	.4
LOMMIS	434	718335.	265199.	473.	-5.0	-.3	-21.9	13.0	-1.3	.3	1.9	.5
FRAUENFELD	435	708864.	268176.	409.	-4.9	.5	-21.3	13.3	-1.3	.3	1.9	.4
HUETTLINGEN	436	716723.	271828.	407.	-5.7	.3	-21.0	12.9	-1.3	.3	1.8	.4
UERSCHHAUSEN	437	703633.	273857.	467.	-7.8	1.8	-20.3	13.2	-1.2	.3	1.8	.3
MAMMERN	438	711106.	278255.	407.	-6.8	.8	-19.8	12.9	-1.2	.3	1.7	.4
RAMSEN	439	703306.	282478.	402.	-10.5	3.2	-18.7	13.0	-1.2	.3	1.7	.3
STECKBORN	440	716741.	280559.	473.	-6.1	.5	-19.5	12.7	-1.2	.3	1.7	.4

STATION	NR	LANDESKOORDINATEN Y	X	H	GEMESSEN ξ	η	MOHO ξ	η	PO ξ	η	IVREAK. ξ	η
PT.VERD. OSTSCHWEIZ												
WATTWIL	501	725224.	238406.	625.	2.4	-3.7	-23.7	12.4	-1.6	.4	2.4	.7
FRASNACHT	502	746934.	266454.	415.	-1.3	.5	-22.1	11.0	-1.4	.2	1.7	.7
ALTENRHEIN	503	759199.	262215.	398.	2.2	-2.4	-22.4	9.9	-1.4	.2	1.6	.8
HAAG	504	755102.	230290.	440.	2.1	-.5	-22.2	9.4	-1.8	.3	2.2	1.1
BAD RAGAZ	505	758123.	207565.	509.	2.4	-2.5	-18.0	7.4	-2.1	.3	2.6	1.5
WEISSTANNEN	506	745013.	206201.	994.	9.0	3.8	-18.7	8.6	-2.1	.4	2.9	1.5
SEVELEN	507	757161.	218631.	464.	2.4	-8.1	-20.4	8.4	-1.9	.3	2.4	1.3
WALENSTADT	508	741396.	221080.	422.	-6.1	-3.9	-21.9	10.2	-1.8	.3	2.6	1.1
KLOSTERS	509	787829.	193071.	1207.	5.2	-18.3	-11.1	2.8	-2.4	.1	2.1	1.9
GLARIS	510	779285.	180928.	1521.	3.2	-9.5	-7.8	2.6	-2.6	.2	2.5	2.3
PRADELLA	511	821155.	187763.	1136.	2.8	-6.2	-6.7	-1.5	-2.4	-.1	1.4	1.8
LAVIN	512	803822.	182937.	1442.	-4.4	-2.6	-6.4	.2	-2.5	.0	1.8	2.0
S-CHANF	513	794571.	165186.	1658.	-.7	-4.1	-1.0	-.2	-3.0	.0	2.2	2.7
CELERINA	514	786498.	154136.	1717.	1.9	-5.7	2.4	-.2	-3.3	.1	2.5	3.2
SÜDTRAVERSE												
GAGGIOLO	601	714729.	77631.	376.	-25.1	1.9	12.6	-6.8	-12.4	2.3	-4.2	9.9
MERIDE	602	717902.	83131.	573.	-23.6	2.9	12.5	-6.1	-10.0	1.8	-3.7	9.7
CHIASSO	603	724027.	77376.	231.	-27.6	-2.4	13.4	-6.2	-12.4	1.2	-3.9	8.8
BEDIGLIORA	604	709197.	95986.	566.	-27.4	5.5	10.1	-5.0	-7.0	1.9	-2.3	11.5
WESTTRAVERSE												
SCHLANGENGRUEBE	1	625622.	99695.	1525.	5.9	-.3	-7.2	7.1	-3.0	2.6	9.9	-6.7
RANDA	9	626366.	104366.	1428.	7.5	-.3	-8.2	7.8	-2.9	2.5	9.6	-6.2
MATTSAND	2	627264.	110249.	1233.	13.4	.6	-9.5	8.7	-2.8	2.3	9.2	-5.7
SAELLI	8	629152.	115937.	1076.	12.9	3.6	-10.5	9.3	-2.7	2.1	8.9	-5.2
EMBD	7	630055.	118403.	1409.	3.7	12.8	-10.9	9.5	-2.7	2.1	8.8	-4.9
STALDEN	3	633400.	120256.	824.	11.3	.8	-10.8	9.3	-2.7	2.0	9.0	-4.9
VISPERTERMINEN	4	634417.	124309.	891.	10.2	-6.4	-11.7	9.8	-2.6	1.9	8.7	-4.5
VISP	5	633917.	127000.	653.	3.3	-1.7	-12.5	10.4	-2.6	1.9	8.5	-4.2
TURTIG	14	627892.	128306.	636.	.3	-1.4	-13.7	11.6	-2.4	1.8	7.8	-4.0
SIERRE	13	607798.	126257.	551.	1.9	-8.4	-15.8	14.7	-2.0	1.8	6.5	-4.0
COLLINE FENDANT	12	602921.	123350.	547.	6.2	-9.5	-15.7	15.1	-2.0	1.9	6.3	-4.1
FORTUNAU	11	598014.	126599.	1225.	-17.3	3.2	-16.5	15.8	-1.8	1.8	5.8	-3.8
TSEUZIER	10	600010.	132920.	1809.	-15.3	-3.0	-17.2	15.8	-1.8	1.7	5.6	-3.4
IFFIGENALP	501	600112.	138633.	1615.	12.4	-7.7	-18.1	16.2	-1.7	1.6	5.3	-3.1
LENK	502	599772.	146564.	1037.	3.2	-8.0	-19.4	16.7	-1.7	1.5	5.0	-2.8
BLANKENBURG	503	596151.	155538.	1033.	5.4	-12.4	-20.4	17.0	-1.5	1.3	4.4	-2.4
BOLTIGEN	504	596019.	164752.	964.	.2	.9	-21.1	16.8	-1.5	1.2	4.1	-2.1
WEISSENBURG	505	601440.	167234.	819.	8.9	-.1	-21.4	16.7	-1.5	1.2	4.2	-2.0
DIEMTIGEN	506	610383.	167022.	730.	14.4	-.1	-21.6	16.5	-1.6	1.2	4.5	-1.9
ALLMENDINGEN	507	611867.	177125.	573.	8.1	.1	-22.4	16.3	-1.5	1.1	4.1	-1.6
WICHTRACH	508	609465.	187905.	529.	1.8	-.8	-22.8	15.9	-1.4	1.0	3.6	-1.3
RUBIGEN	509	607414.	194008.	530.	.9	-2.9	-22.7	15.5	-1.4	1.0	3.4	-1.2
DIEMERSWIL	510	598237.	207797.	646.	-2.1	.2	-21.5	13.9	-1.2	.9	2.8	-1.0
LYSS	511	588928.	212340.	443.	-4.5	.5	-20.4	12.8	-1.1	.8	2.6	-1.0
NIDAU	512	586003.	218785.	434.	-9.1	5.3	-19.6	11.9	-1.1	.8	2.4	-1.0
ZIMMERWALD	513	602062.	191793.	898.	3.0	1.2	-22.2	15.4	-1.3	1.0	3.4	-1.3

A3.3: Reduktion der Rohdaten

STATION	NR	LANDESKOORDINATEN Y	X	H	GEMESSEN ξ	η	TOPO ξ	η	GEMESSEN - TOPO ξ	η	MOHO + PO + IVREA ξ	η	RESIDUEN ξ	η
OSTTRAVERSE														
AVERS	401	756842.	145616.	1835.	-2.3	-11.0	-9.5	-7.4	7.2	-3.6	3.8	6.0	3.4	-9.6
NUFENEN	402	739826.	155857.	1518.	1.3	-1.9	-2.5	-1.4	3.8	-.5	-.4	7.6	4.2	-8.1
SPLUEGENPASS	403	745215.	154347.	1782.	4.7	-8.0	-.2	-5.3	4.9	-2.7	.3	7.1	4.6	-9.9
INNERFERRERA	404	753620.	154354.	1510.	3.5	-8.3	-2.2	-5.5	5.7	-2.8	.7	6.5	5.0	-9.2
SUFERS	405	747226.	158670.	1404.	5.6	.9	3.0	.6	2.6	.3	-1.3	7.1	3.8	-6.9
ANDEER	406	752448.	164014.	970.	8.6	-3.5	7.5	-2.3	1.1	-1.2	-3.1	7.0	4.2	-8.2
SAVOGNIN	407	765102.	163335.	1215.	7.8	-10.7	5.3	-7.7	2.5	-3.0	-2.3	5.8	4.8	-8.8
TIEFENCASTEL	408	764181.	170036.	856.	4.3	-11.3	4.6	-8.2	-.3	-3.1	-4.8	6.2	4.5	-9.2
LENZERHEIDE	409	761322.	178115.	1488.	2.2	-11.5	5.1	-9.8	-2.9	-1.7	-7.9	6.8	5.0	-8.5
ROTHENBRUNNEN	410	752322.	181033.	678.	.5	-9.5	5.4	-8.7	-4.9	-.9	-9.6	8.0	4.7	-8.9
CHURWALDEN	411	760760.	183397.	1269.	8.6	-12.8	13.7	-11.8	-5.1	-1.0	-9.8	7.2	4.7	-8.3
BONADUZ	412	748791.	185883.	667.	3.7	.4	10.6	.7	-6.9	-.3	-11.6	8.7	4.7	-8.9
DOMAT/EMS	413	753900.	188605.	581.	4.0	-4.7	11.4	-4.0	-7.4	-.7	-12.2	8.4	4.8	-9.0
VAETTIS	414	752743.	197439.	947.	.9	2.5	12.7	2.8	-11.8	-.4	-15.0	9.1	3.2	-9.4
ZIZERS	415	760933.	197899.	540.	4.4	-2.1	15.9	-2.1	-11.5	.0	-14.6	8.2	3.2	-8.2
LANDQUART	416	761731.	203368.	527.	.8	-6.6	14.6	-5.3	-13.8	-1.3	-16.2	8.5	2.4	-9.8
SARGANS	417	754872.	210947.	488.	4.4	-1.0	19.7	-2.3	-15.3	1.3	-18.5	9.7	3.2	-8.4
FLUMS	418	746193.	216183.	450.	5.4	1.8	21.7	-.3	-16.3	2.0	-20.1	11.0	3.8	-8.9
SEVELER BERG	419	751358.	223107.	1398.	8.2	13.6	24.7	12.8	-16.5	.8	-20.7	10.7	4.1	-9.9
BUCHS	420	755103.	224573.	449.	5.8	-.2	22.4	-1.1	-16.6	.9	-21.0	10.5	4.4	-9.6
WILDHAUS	421	745350.	228129.	1346.	7.7	.5	23.9	.0	-16.2	.6	-21.6	11.5	5.4	-10.9
ALT STJOHANN	422	737727.	227531.	894.	5.6	-5.4	21.5	-7.3	-15.9	1.8	-21.9	12.2	6.0	-10.4
NESSLAU	423	734027.	232022.	858.	3.1	-9.4	19.9	-11.7	-16.8	2.3	-22.4	12.7	5.6	-10.4
HOCHALP	424	736984.	237659.	1522.	5.3	-6.4	23.0	-7.9	-17.7	1.4	-22.4	12.5	4.7	-11.1
HEMBERG	425	731324.	239999.	968.	4.9	-5.2	22.9	-6.7	-18.0	1.6	-22.8	13.1	4.8	-11.5
DIETFURT	426	724062.	245454.	610.	.8	-2.9	20.1	-5.6	-19.3	2.6	-22.9	13.7	3.6	-11.0
MOGELSBERG	427	730600.	247248.	727.	.6	-4.1	19.8	-7.0	-19.2	2.9	-22.8	13.2	3.5	-10.3
LUETISBURG	428	723743.	250636.	571.	.0	-1.3	19.1	-5.0	-19.1	3.7	-22.7	13.7	3.6	-10.0
OETWIL	429	717966.	252342.	754.	1.6	-1.3	20.4	-4.9	-18.8	3.6	-22.5	13.9	3.7	-10.4
UZWIL	430	730068.	256168.	531.	1.1	-2.2	20.4	-4.7	-19.3	2.5	-22.4	13.3	3.1	-10.8
TUTTWIL	431	713212.	260645.	575.	-1.1	.3	18.7	-3.7	-19.8	4.0	-21.7	14.0	1.9	-10.1
WIL	432	722786.	257816.	517.	-3.4	-.2	16.6	-3.5	-20.0	3.3	-22.2	13.7	2.2	-10.4
MATZINGEN	433	711605.	264492.	471.	-4.6	.9	15.6	-3.7	-20.2	4.6	-21.3	14.0	1.1	-9.4
LOMMIS	434	718335.	265199.	473.	-5.0	-.3	15.2	-3.8	-20.2	3.5	-21.3	13.8	1.1	-10.3
FRAUENFELD	435	708864.	268176.	409.	-4.9	.5	15.2	-4.3	-20.1	4.8	-20.7	14.0	.7	-9.3
HUETTLINGEN	436	716723.	271828.	407.	-5.7	.3	14.6	-3.4	-20.3	3.7	-20.4	13.7	.1	-10.0
UERSCHHAUSEN	437	703633.	273857.	467.	-7.8	1.8	12.1	-3.7	-19.9	5.4	-19.7	13.9	-.2	-8.5
MAMMERN	438	711106.	278255.	407.	-6.8	.8	14.0	-3.4	-20.8	4.2	-19.2	13.6	-1.5	-9.4
RAMSEN	439	703306.	282478.	402.	-10.5	3.2	10.5	-3.0	-21.0	6.1	-18.1	13.6	-2.8	-7.4
STECKBORN	440	716741.	280559.	473.	-6.1	.5	14.7	-3.9	-20.8	4.4	-19.0	13.4	-1.8	-8.9

STATION	NR	LANDESKOORDINATEN Y	X	H	GEMESSEN ξ	η	TOPO ξ	η	GEMESSEN - TOPO ξ	η	MOHO + PO + IVREA ξ	η	RESIDUEN ξ	η
PT.VERD. OSTSCHWEIZ														
WATTWIL	501	725224.	238406.	625.	2.4	-3.7	20.5	-6.1	-18.1	2.5	-22.9	13.5	4.8	-11.1
FRASNACHT	502	746934.	266454.	415.	-1.3	.5	19.7	-.9	-21.0	1.3	-21.7	11.9	.7	-10.5
ALTENRHEIN	503	759199.	262215.	398.	2.2	-2.4	22.1	-3.8	-19.9	1.4	-22.2	10.8	2.3	-9.4
HAAG	504	755102.	230290.	440.	2.1	-.5	19.6	-.6	-17.5	.1	-21.7	10.7	4.2	-10.6
BAD RAGAZ	505	758123.	207565.	509.	2.4	-2.5	18.2	-2.5	-15.8	-.1	-17.5	9.2	1.8	-9.3
WEISSTANNEN	506	745013.	206201.	994.	9.0	3.8	23.4	.9	-14.4	2.9	-17.9	10.4	3.5	-7.5
SEVELEN	507	757161.	218631.	464.	2.4	-8.1	19.2	-9.0	-16.8	.9	-20.0	9.9	3.1	-9.0
WALENSTADT	508	741396.	221080.	422.	-6.1	-3.9	11.4	-6.2	-17.5	2.4	-21.2	11.7	3.7	-9.3
KLOSTERS	509	787829.	193071.	1207.	5.2	-18.3	12.3	-11.6	-7.0	-6.6	-11.3	4.8	4.3	-11.4
GLARIS	510	779285.	180928.	1521.	3.2	-9.5	7.0	-4.6	-3.8	-4.9	-7.9	5.1	4.0	-9.9
PRADELLA	511	821155.	187763.	1136.	2.8	-6.2	8.5	5.3	-5.7	-11.5	-7.7	.2	2.0	-11.7
LAVIN	512	803822.	182937.	1442.	-4.4	-2.6	-.6	6.5	-3.8	-9.1	-7.2	2.2	3.4	-11.3
S-CHANF	513	794571.	165186.	1658.	-.7	-4.1	-1.7	3.6	1.0	-7.7	-1.8	2.5	2.8	-10.2
CELERINA	514	786498.	154136.	1717.	1.9	-5.7	-4.6	.6	6.5	-6.3	1.6	3.1	4.9	-9.4
SÜDTRAVERSE														
GAGGIOLO	601	714729.	77631.	376.	-25.1	1.9	-24.3	2.7	-.8	-.8	-4.0	5.3	3.2	-6.1
MERIDE	602	717902.	83131.	573.	-23.6	2.9	-26.3	2.6	2.7	.3	-1.2	5.4	3.9	-5.1
CHIASSO	603	724027.	77376.	231.	-27.6	-2.4	-27.1	-.2	-.5	-2.2	-2.9	3.8	2.3	-6.0
BEDIGLIORA	604	709197.	95986.	566.	-27.4	5.5	-29.7	3.0	2.3	2.5	.8	8.4	1.5	-6.0
WESTTRAVERSE														
SCHLANGENGRUEBE	1	625622.	99695.	1525.	5.9	-.3	-2.9	3.2	8.8	-3.6	-.3	3.0	9.1	-6.6
RANDA	9	626366.	104366.	1428.	7.5	-.3	-2.0	3.5	9.5	-3.8	-1.5	4.0	11.0	-7.8
MATTSAND	2	627264.	110249.	1233.	13.4	.6	6.5	2.7	6.9	-2.2	-3.0	5.3	9.9	-7.5
SAELLI	8	629152.	115937.	1076.	12.9	3.6	8.0	4.3	4.9	-.7	-4.2	6.3	9.2	-7.0
EMBD	7	630055.	118403.	1409.	3.7	12.8	-.6	14.0	4.3	-1.2	-4.8	6.7	9.1	-7.9
STALDEN	3	633400.	120256.	824.	11.3	.8	7.1	1.6	4.2	-.8	-4.5	6.5	8.7	-7.2
VISPERTERMINEN	4	634417.	124309.	891.	10.2	-6.4	6.8	-6.2	3.4	-.2	-5.5	7.2	8.9	-7.4
VISP	5	633917.	127000.	653.	3.3	-1.7	1.4	-1.7	1.9	.0	-6.5	8.0	8.5	-8.0
TURTIG	14	627892.	128306.	636.	.3	-1.4	1.1	-3.9	-.8	2.5	-8.3	9.5	7.4	-6.9
SIERRE	13	607798.	126257.	551.	1.9	-8.4	5.8	-13.1	-3.9	4.7	-11.3	12.5	7.4	-7.9
COLLINE FENDANT	12	602921.	123350.	547.	6.2	-9.5	9.5	-14.5	-3.3	5.0	-11.4	12.8	8.1	-7.9
FORTUNAU	11	598014.	126599.	1225.	-17.3	3.2	-11.7	-3.1	-5.6	6.3	-12.6	13.8	6.9	-7.5
TSEUZIER	10	600010.	132920.	1809.	-15.3	-3.0	-8.6	-10.0	-6.7	7.0	-13.4	14.1	6.7	-7.0
IFFIGENALP	501	600112.	138633.	1615.	12.4	-7.7	20.0	-14.9	-7.6	7.2	-14.5	14.6	6.9	-7.4
LENK	502	599772.	146564.	1037.	3.2	-8.0	13.1	-16.8	-9.9	8.8	-16.1	15.4	6.2	-6.5
BLANKENBURG	503	596151.	155538.	1033.	5.4	-12.4	16.0	-22.4	-10.6	9.9	-17.5	15.9	6.9	-6.0
BOLTIGEN	504	596019.	164752.	964.	.2	.9	10.6	-7.9	-10.4	8.7	-18.4	16.0	8.1	-7.2
WEISSENBURG	505	601440.	167234.	819.	8.9	-.1	19.1	-9.5	-10.1	9.3	-18.8	16.0	8.6	-6.6
DIEMTIGEN	506	610383.	167022.	730.	14.4	-.1	24.5	-8.6	-10.1	8.4	-18.7	15.7	8.6	-7.3
ALLMENDINGEN	507	611867.	177125.	573.	8.1	.1	20.5	-9.1	-12.4	9.2	-19.8	15.8	7.5	-6.7
WICHTRACH	508	609465.	187905.	529.	1.8	-.8	16.4	-10.3	-14.6	9.5	-20.5	15.6	5.9	-6.0
RUBIGEN	509	607414.	194008.	530.	.9	-2.9	15.5	-11.4	-14.6	8.5	-20.6	15.3	6.1	-6.7
DIEMERSWIL	510	598237.	207797.	646.	-2.1	.2	13.5	-7.7	-15.6	7.9	-19.9	13.7	4.3	-5.8
LYSS	511	588928.	212340.	443.	-4.5	.5	10.9	-8.3	-15.4	8.8	-18.9	12.6	3.5	-3.8
NIDAU	512	586003.	218785.	434.	-9.1	5.3	7.0	-4.3	-16.1	9.6	-18.2	11.7	2.1	-2.1
ZIMMERWALD	513	602062.	191793.	898.	3.0	1.2	17.3	-7.3	-14.3	8.5	-20.2	15.1	5.8	-6.6

STATION	NR	LANDESKOORDINATEN Y	X	H	GEMESSEN ξ	η	PRÄDIZIERT (LAG) ξ	η	GEMESSEN - PRÄD. ξ	η	MOHO +IVREA ξ	η	RESIDUEN ξ	η
PT.VERD. OSTSCHWEIZ														
WATTWIL	501	725224.	238406.	625.	2.4	-3.7	1.7	-3.1	.7	-.6	-15.9	13.6	-2.2	-11.1
FRASNACHT	502	746934.	266454.	415.	-1.3	.5	-.5	1.1	-.8	-.7	-17.5	12.2	-3.6	-10.9
ALTENRHEIN	503	759199.	262215.	398.	2.2	-2.4	1.6	-3.0	.6	.6	-17.3	11.1	-2.6	-9.7
HAAG	504	755102.	230290.	440.	2.1	-.5	2.5	-.9	-.4	.4	-13.8	10.7	-3.7	-10.6
BAD RAGAZ	505	758123.	207565.	509.	2.4	-2.5	4.3	-5.0	-1.9	2.4	-8.6	9.4	-7.2	-9.4
WEISSTANNEN	506	745013.	206201.	994.	9.0	3.8	9.6	1.1	-.6	2.7	-8.9	10.5	-5.5	-7.6
SEVELEN	507	757161.	218631.	464.	2.4	-8.1	2.9	-10.6	-.5	2.5	-11.4	10.0	-5.4	-9.1
WALENSTADT	508	741396.	221080.	422.	-6.1	-3.9	-6.0	-4.9	-.1	1.0	-12.7	11.7	-4.8	-9.3
KLOSTERS	509	787829.	193071.	1207.	5.2	-18.3	4.1	-16.8	1.1	-1.5	-1.9	5.2	-5.1	-11.8
GLARIS	510	779285.	180928.	1521.	3.2	-9.5	3.1	-8.4	.1	-1.1	2.3	5.3	-6.1	-10.2
PRADELLA	511	821155.	187763.	1136.	2.8	-6.2	2.7	-6.7	.1	.5	2.2	.7	-7.9	-12.2
LAVIN	512	803822.	182937.	1442.	-4.4	-2.6	-5.5	-1.6	1.1	-1.1	3.1	2.6	-6.9	-11.7
S-CHANF	513	794571.	165186.	1658.	-.7	-4.1	-1.0	-2.6	.3	-1.5	10.0	2.5	-9.0	-10.2
CELERINA	514	786498.	154136.	1717.	1.9	-5.7	-.6	-4.5	2.5	-1.2	14.0	2.6	-7.5	-9.0
SÜDTRAVERSE														
GAGGIOLO	601	714729.	77631.	376.	-25.1	1.9	-24.0	3.6	-1.1	-1.7	6.3	1.6	-7.1	-2.4
MERIDE	602	717902.	83131.	573.	-23.6	2.9	-25.1	3.3	1.5	-.5	8.1	2.9	-5.4	-2.6
CHIASSO	603	724027.	77376.	231.	-27.6	-2.4	-26.3	-.7	-1.3	-1.7	7.9	2.1	-8.4	-4.4
BEDIGLIORA	604	709197.	95986.	566.	-27.4	5.5	-26.9	7.0	-.5	-1.5	9.3	5.6	-7.0	-3.1
WESTTRAVERSE														
SCHLANGENGRUEBE	1	625622.	99695.	1525.	5.9	-.3	5.7	-0.3	.2	.0	-.2	.3	9.0	-3.9
RANDA	9	626366.	104366.	1428.	7.5	-.3	5.8	.9	1.7	-1.1	-.8	1.2	10.3	-5.0
MATTSAND	2	627264.	110249.	1233.	13.4	.6	12.9	1.2	.5	-.7	-1.5	2.4	8.4	-4.6
SAELLI	8	629152.	115937.	1076.	12.9	3.6	13.0	3.6	-.1	.0	-1.9	3.2	6.8	-3.9
EMBD	7	630055.	118403.	1409.	3.7	12.8	3.8	13.6	-.1	-.8	-2.0	3.6	6.3	-4.8
STALDEN	3	633400.	120256.	824.	11.3	.8	11.3	.9	.0	.0	-1.4	3.0	5.6	-3.8
VISPERTERMINEN	4	634417.	124309.	891.	10.2	-6.4	9.5	-6.4	.7	.0	-1.8	3.9	5.2	-4.1
VISP	5	633917.	127000.	653.	3.3	-1.7	2.8	-1.3	.5	-.4	-2.5	4.8	4.4	-4.8
TURTIG	14	627892.	128306.	636.	.3	-1.4	1.0	-1.9	-.6	.5	-4.3	6.8	3.4	-4.3
SIERRE	13	607798.	126257.	551.	1.9	-8.4	2.6	-7.6	-.7	-.9	-7.6	10.5	3.7	-5.8
COLLINE FENDANT	12	602921.	123350.	547.	6.2	-9.5	6.1	-8.6	.1	-.9	-7.8	10.9	4.5	-5.9
FORTUNAU	11	598014.	126599.	1225.	-17.3	3.2	-16.7	4.1	-.6	-.9	-8.5	11.7	2.9	-5.4
TSEUZIER	10	600010.	132920.	1809.	-15.3	-3.0	-14.7	-2.2	-.6	-.9	-9.0	11.9	2.3	-4.9
IFFIGENALP	501	600112.	138633.	1615.	12.4	-7.7	12.6	-6.2	-.2	-1.5	-9.6	12.4	2.0	-5.2
LENK	502	599772.	146564.	1037.	3.2	-8.0	3.9	-7.2	-.7	-.8	-10.5	13.1	.6	-4.3
BLANKENBURG	503	596151.	155538.	1033.	5.4	-12.4	5.3	-12.0	.1	-.4	-11.6	13.8	1.0	-3.8
BOLTIGEN	504	596019.	164752.	964.	.2	.9	-.9	2.5	1.1	-1.6	-12.4	14.1	2.0	-5.4
WEISSENBURG	505	601440.	167234.	819.	8.9	-.1	7.3	.6	1.6	-.7	-12.4	14.2	2.2	-4.9
DIEMTIGEN	506	610383.	167022.	730.	14.4	-.1	12.8	.6	1.6	-.7	-12.0	14.1	1.9	-5.7
ALLMENDINGEN	507	611867.	177125.	573.	8.1	.1	7.9	.2	.2	-.1	-12.9	14.6	.5	-5.5
WICHTRACH	508	609465.	187905.	529.	1.8	-.8	2.5	-.9	-.7	.1	-13.8	15.0	-.8	-5.4
RUBIGEN	509	607414.	194008.	530.	.9	-2.9	.8	-2.0	.1	-.8	-14.3	15.0	-.3	-6.5
DIEMERSWIL	510	598237.	207797.	646.	-2.1	.2	-3.0	1.7	.9	-1.5	-14.9	14.6	-.7	-6.7
LYSS	511	588928.	212340.	443.	-4.5	.5	-5.9	1.5	1.4	-1.0	-14.7	13.9	-.7	-5.1
NIDAU	512	586003.	218785.	434.	-9.1	5.3	-10.2	5.3	1.1	.0	-14.6	13.4	-1.6	-3.8
ZIMMERWALD	513	602062.	191793.	898.	3.0	1.2	3.2	2.3	-.2	-1.1	-14.1	14.8	-.2	-6.3

A3.4: Vergleiche mit prädizierten Lotabweichungen

STATION	NR	LANDESKORDINATEN Y	X	H	GEMESSEN ξ	η	PRÄDIZIERT (LAG) ξ	η	GEMESSEN - PRÄD. ξ	η	MOHO + IVREA ξ	η	RESIDUEN ξ	η
OSTTRAVERSE														
AVERS	401	756842.	145616.	1835.	-2.3	-11.0	-3.9	-9.2	1.6	-1.7	15.4	5.3	-8.2	-8.9
NUFENEN	402	739826.	155857.	1518.	1.3	-1.9	1.4	-2.4	-.1	.4	10.5	7.6	-6.7	-8.2
SPLUEGENPASS	403	745215.	154347.	1782.	4.7	-8.0	3.7	-6.7	1.0	-1.4	11.3	7.0	-6.4	-9.7
INNERFERRERA	404	753620.	154354.	1510.	3.5	-8.3	1.2	-7.4	2.3	-.8	11.9	6.2	-6.2	-8.9
SUFERS	405	747226.	158670.	1404.	5.6	.9	5.6	-1.2	.0	2.1	9.6	7.1	-7.1	-6.8
ANDEER	406	752448.	164014.	970.	8.6	-3.5	8.2	-4.7	.4	1.1	7.6	6.9	-6.5	-8.2
SAVOGNIN	407	765102.	163335.	1215.	7.8	-10.7	5.9	-10.3	1.9	-.4	8.8	5.5	-6.3	-8.6
TIEFENCASTEL	408	764181.	170036.	856.	4.3	-11.3	3.5	-10.9	.8	-.4	5.8	6.2	-6.1	-9.2
LENZERHEIDE	409	761322.	178115.	1488.	2.2	-11.5	2.5	-12.8	-.3	1.3	2.1	7.0	-5.1	-8.7
ROTHENBRUNNEN	410	752322.	181033.	678.	.5	-9.5	2.1	-11.5	-1.6	2.0	.2	8.2	-5.1	-9.1
CHURWALDEN	411	760760.	183397.	1269.	8.6	-12.8	10.0	-14.9	-1.4	2.1	-.1	7.5	-5.1	-8.5
BONADUZ	412	748791.	185883.	667.	3.7	.4	5.8	-1.6	-2.0	2.0	-1.9	8.9	-4.9	-9.2
DOMAT/EMS	413	753900.	188605.	581.	4.0	-4.7	6.0	-6.7	-2.0	2.0	-2.6	8.6	-4.8	-9.3
VAETTIS	414	752743.	197439.	947.	.9	2.5	3.4	.8	-2.5	1.6	-5.8	9.3	-6.0	-9.6
ZIZERS	415	760933.	197899.	540.	4.4	-2.1	6.5	-5.5	-2.1	3.3	-5.5	8.5	-6.0	-8.5
LANDQUART	416	761731.	203368.	527.	.8	-6.6	2.6	-8.6	-1.8	2.0	-7.2	8.8	-6.7	-10.0
SARGANS	417	754872.	210947.	488.	4.4	-1.0	4.6	-3.9	-.2	2.9	-9.7	9.9	-5.6	-8.6
FLUMS	418	746193.	216183.	450.	5.4	1.8	5.1	.2	.3	1.6	-11.4	11.0	-4.9	-8.9
SEVELER BERG	419	751358.	223107.	1398.	8.2	13.6	8.0	12.5	.2	1.1	-12.4	10.7	-4.1	-9.9
BUCHS	420	755103.	224573.	449.	5.8	-.2	5.5	-1.9	.3	1.7	-12.8	10.5	-3.8	-9.6
WILDHAUS	421	745350.	228129.	1346.	7.7	.5	6.6	.9	1.1	-.4	-13.6	11.5	-2.6	-10.9
ALT ST JOHANN	422	737727.	227531.	894.	5.6	-5.4	3.9	-5.5	1.8	.0	-13.9	12.2	-2.0	-10.4
NESSLAU	423	734027.	232022.	858.	3.1	-9.4	1.9	-9.5	1.2	.1	-14.8	12.7	-2.1	-10.4
HOCHALP	424	736984.	237659.	1522.	5.3	-6.4	4.9	-5.9	.4	-.6	-15.3	12.5	-2.5	-11.0
HEMBERG	425	731324.	239999.	968.	4.9	-5.2	4.1	-4.2	.8	-.9	-15.8	13.1	-2.2	-11.5
DIETFURT	426	724062.	245454.	610.	.8	-2.9	.5	-2.3	.3	-.6	-16.5	13.8	-2.7	-11.2
MOGELSBERG	427	730600.	247248.	727.	.6	-4.1	.3	-4.2	.3	.2	-16.6	13.3	-2.7	-10.4
LUETISBURG	428	723743.	250636.	571.	.0	-1.3	-1.0	-1.6	1.0	.3	-16.9	13.9	-2.2	-10.2
OETWIL	429	717966.	252342.	754.	1.6	-1.3	.2	-.9	1.5	-.4	-17.0	14.2	-1.9	-10.6
UZWIL	430	730068.	256168.	531.	1.1	-2.2	.3	-1.6	.8	-.6	-17.1	13.5	-2.2	-10.9
TUTTWIL	431	713212.	260645.	575.	-1.1	.3	-2.1	1.0	1.0	-.7	-17.2	14.5	-2.6	-10.5
WIL	432	722786.	257816.	517.	-3.4	-.2	-3.8	.3	.4	-.5	-17.2	14.0	-2.8	-10.7
MATZINGEN	433	711605.	264492.	471.	-4.6	.9	-5.3	1.2	.7	-.3	-17.2	14.5	-2.9	-9.9
LOMMIS	434	718335.	265199.	473.	-5.0	-.3	-5.5	.6	.5	-.9	-17.3	14.2	-2.9	-10.7
FRAUENFELD	435	708864.	268176.	409.	-4.9	.5	-5.9	.9	1.0	-.4	-17.2	14.6	-2.9	-9.9
HUETTLINGEN	436	716723.	271828.	407.	-5.7	.3	-6.2	1.4	.5	-1.2	-17.2	14.2	-3.1	-10.5
UERSCHHAUSEN	437	703633.	273857.	467.	-7.8	1.8	-9.0	1.8	1.2	-.1	-16.9	14.7	-3.0	-9.3
MAMMERN	438	711106.	278255.	407.	-6.8	.8	-7.1	1.9	.2	-1.1	-16.9	14.3	-3.9	-10.1
RAMSEN	439	703306.	282478.	402.	-10.5	3.2	-10.6	2.6	.1	.6	-16.4	14.5	-4.5	-8.4
STECKBORN	440	716741.	280559.	473.	-6.1	.5	-6.2	1.2	.1	-.7	-16.9	14.0	-4.0	-9.6

A3.5 Stationsbeschreibungen

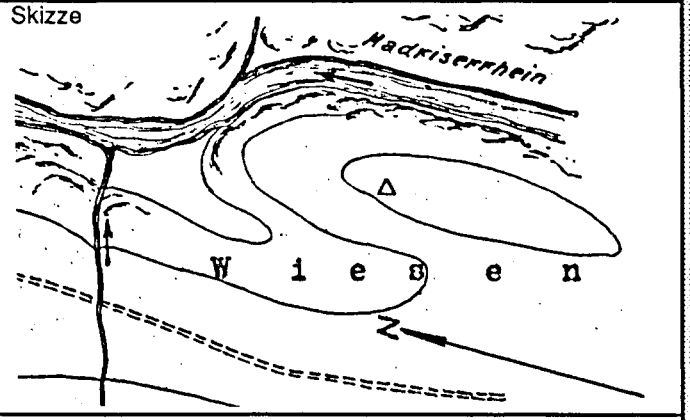
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 401
Avers

Gemeinde Avers
Operat 432, Pt. 75

Bolzen in Lagerstein

Skizze

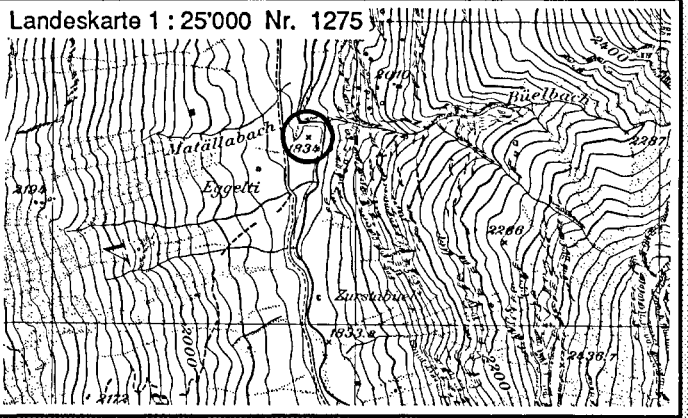


Landeskoordinaten
Y = 756 841.80
X = 145 615.73
H = 1834.91

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 26' 38.90"
Λ = 9° 28' 36.14"

gemessen am : 22. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1275

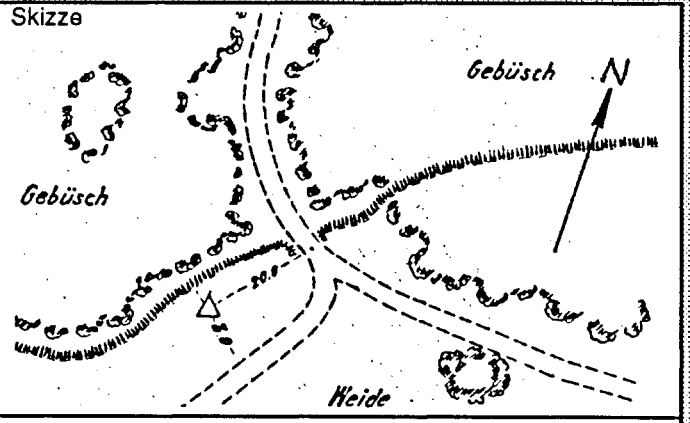


Punkt Nummer : 402
Nufenen

Gemeinde Nufenen
Sektion Rheinwald, Pt. 101

Behauener Stein,
bodeneben

Skizze

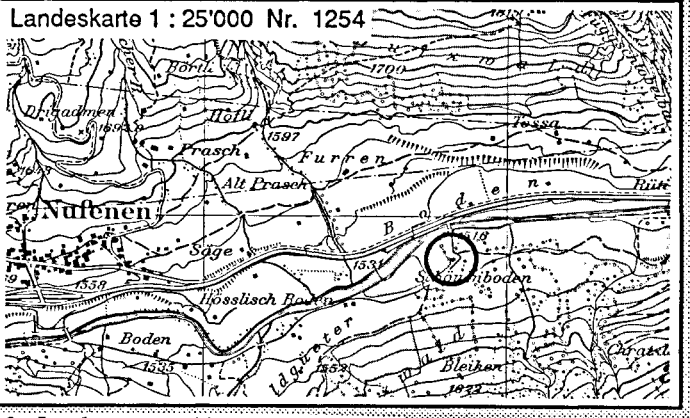


Landeskoordinaten
Y = 739 826.24
X = 155 857.39
H = 1518.40

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 32' 27.63"
Λ = 9° 15' 43.37"

gemessen am : 6. 8. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1254



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

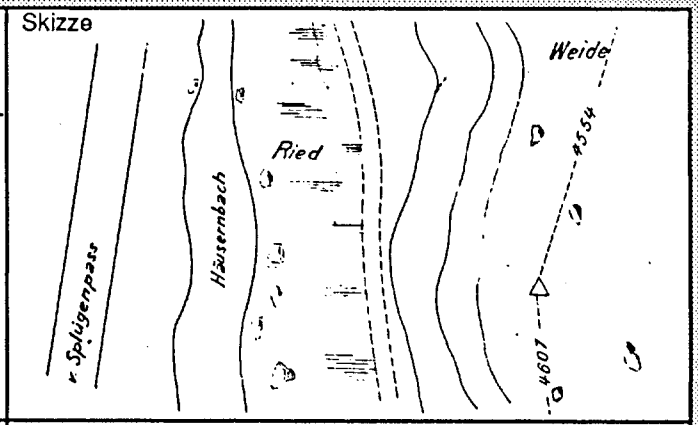
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 403
Splügenpass

Gemeinde Splügen
Sektion Rheinwald, Pt. 69

Behauener Stein, 15 x 15 cm
5 cm über Boden

Skizze

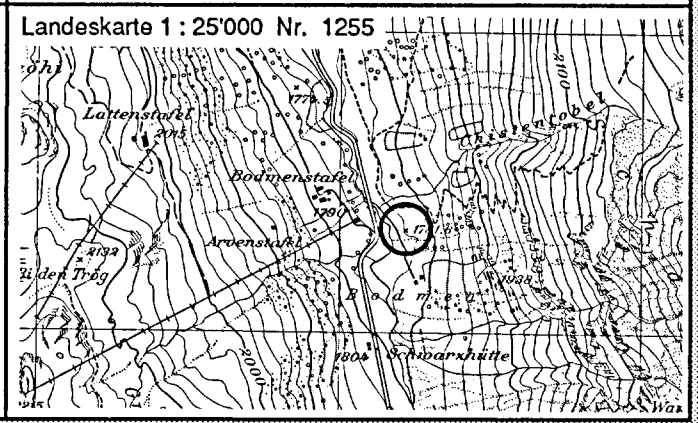


Landeskoordinaten
Y = 745 215.24
X = 154 347.21
H = 1781.63

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 31' 38.00"
Λ = 9° 19' 45.61"

gemessen am : 6. 8. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1255

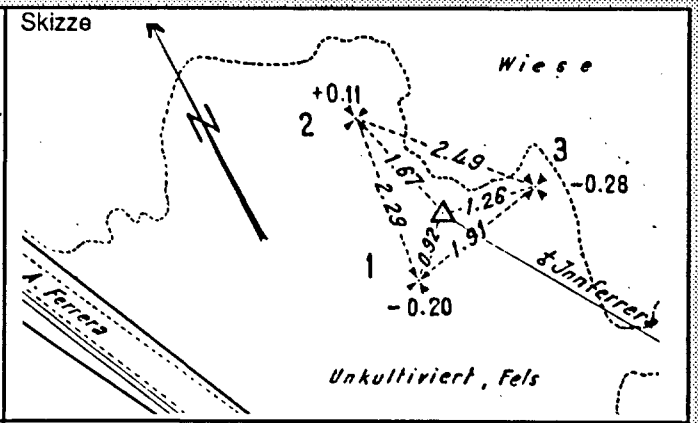


Punkt Nummer : 404
Innerferrera

Gemeinde Innerferrera
Kreis Schams, Pt. 230 BP

Lochbolzen in Fels

Skizze

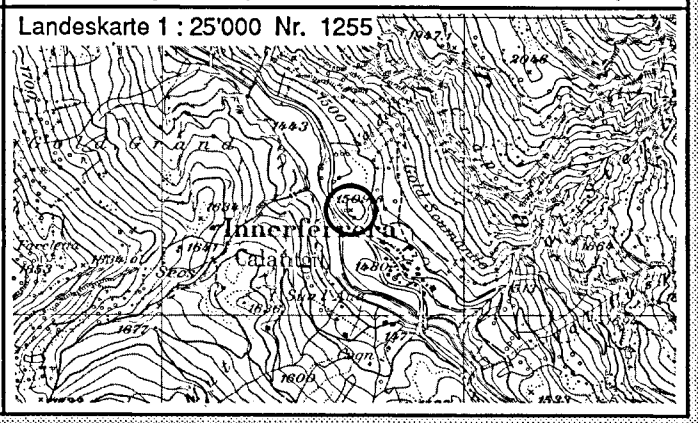


Landeskoordinaten
Y = 753 619.99
X = 154 354.40
H = 1509.58

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 31' 30.30"
Λ = 9° 26' 19.54"

gemessen am : 2. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1255



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

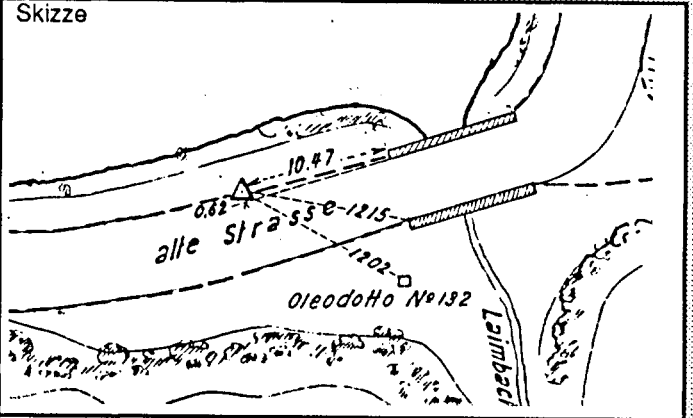
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 405
Sufers

Gemeinde Sufers
Operat 414, Pt. 20

Granitstein bodeneben

Skizze

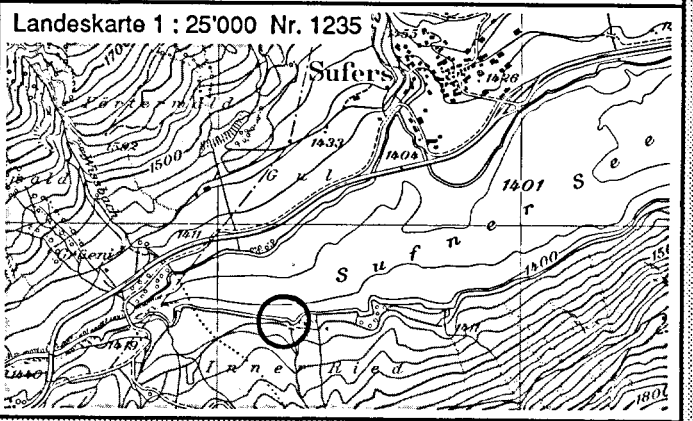


Landeskoordinaten
Y = 747 226.18
X = 158 669.57
H = 1404.48

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 33' 57.32"
Λ = 9° 21' 37.87"

gemessen am : 6. 8. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1235

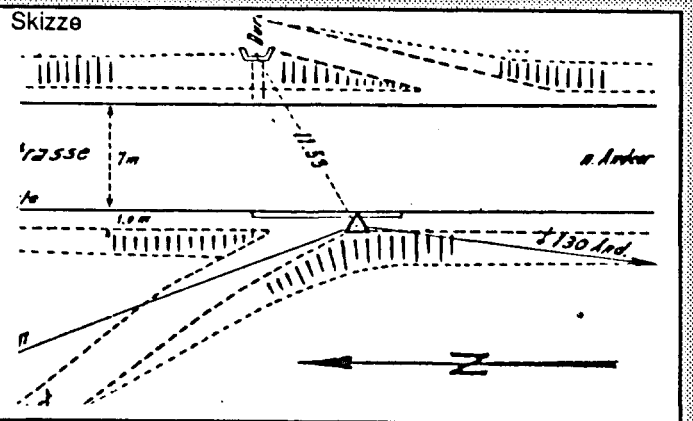


Punkt Nummer : 406
Andeer

Gemeinde Andeer
Operat 382, Pt.251

Granitstein bodeneben

Skizze

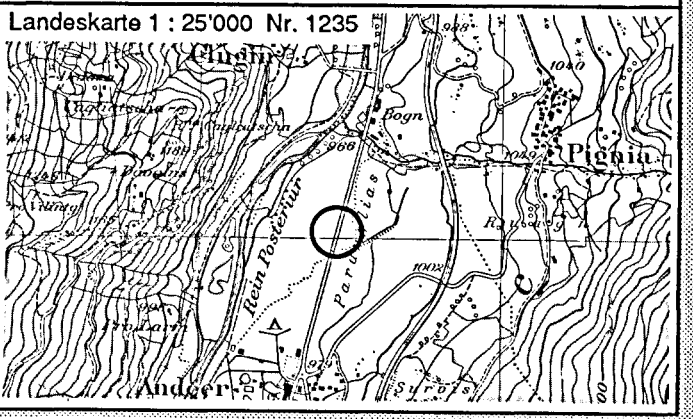


Landeskoordinaten
Y = 752 448.40
X = 164 013.82
H = 970.34

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 36' 49.14"
Λ = 9° 25' 43.03"

gemessen am : 7. 8. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1235



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

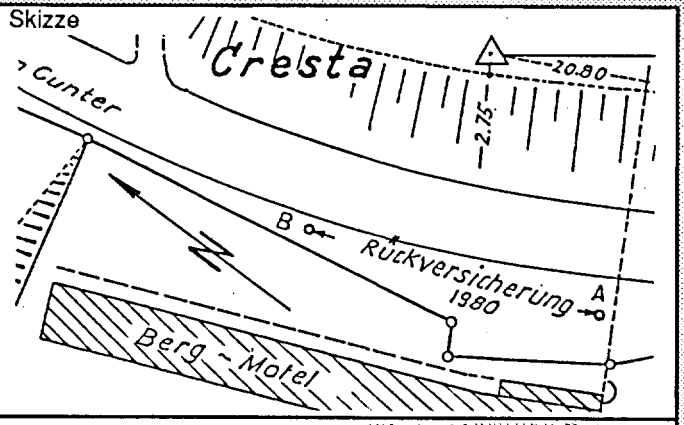
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 407
Savognin

Gemeinde Savognin
Kreis Oberhalbstein
Punkt 3. Ordnung

Granitstein, bodeneben

Skizze

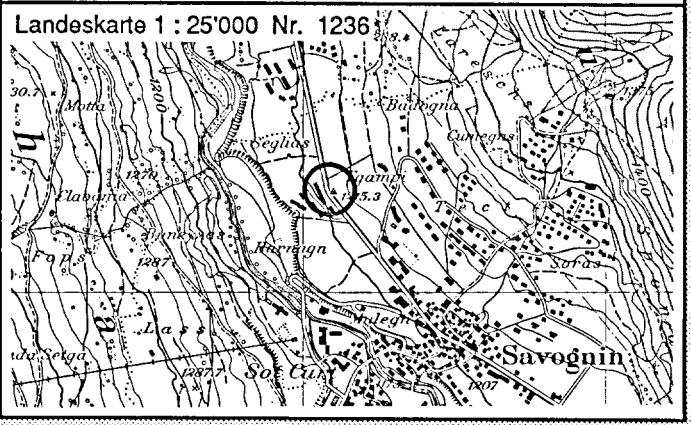


Landeskoordinaten
Y = 765 102.38
X = 163 335.41
H = 1215.28

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 36' 15.51"
Λ = 9° 35' 26.21"

gemessen am : 2. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1236

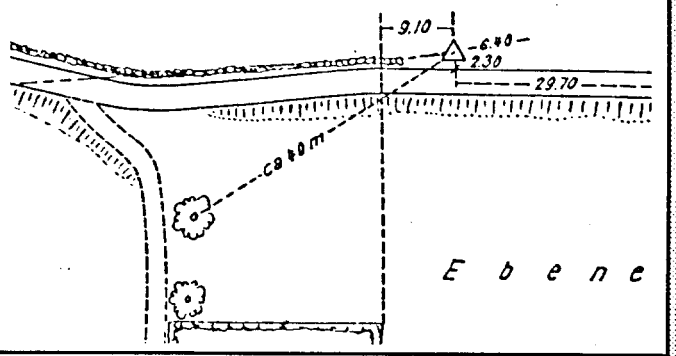


Punkt Nummer : 408
Tiefencastel

Gemeinde Tiefencastel
Sektion Alvaneu, Pt. 253

behauener Stein, 15 x 15 cm
bodeneben

Skizze

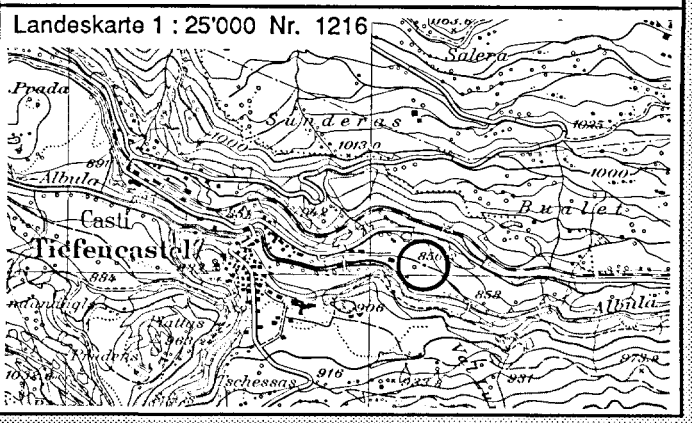


Landeskoordinaten
Y = 764 181.39
X = 170 035.57
H = 856.19

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 39' 49.70"
Λ = 9° 34' 50.68"

gemessen am : 2. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1216



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

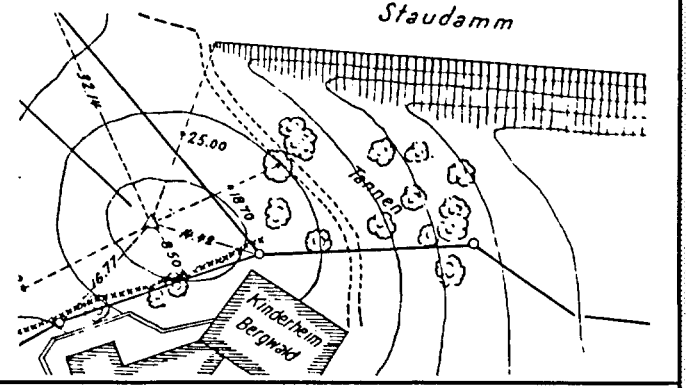
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 409
Lenzerheide

Gemeinde Obervaz
Operat 379, Pt. 106

Granitstein, 5 cm über Boden

Skizze

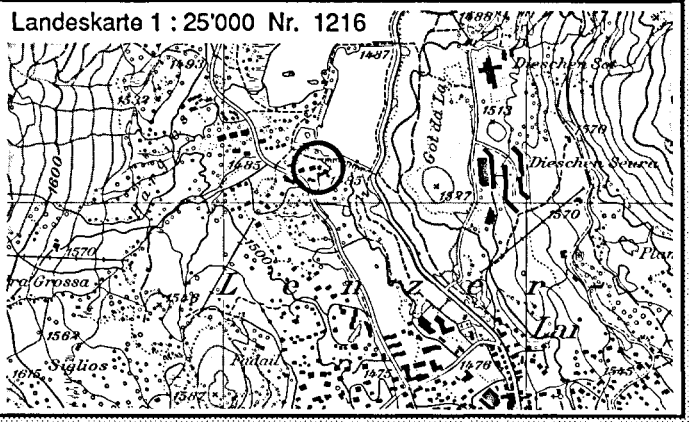


Landeskoordinaten
Y = 761 322.20
X = 178 115.34
H = 1487.56

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 44' 11.68"
Λ = 9° 32' 46.10"

gemessen am : 14. 6. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1216

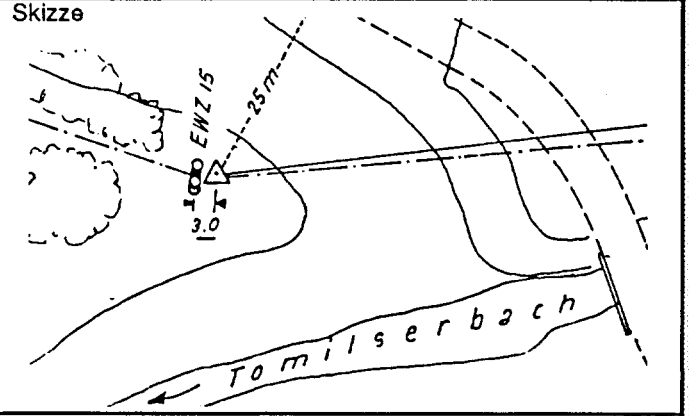


Punkt Nummer : 410
Rothenbrunnen

Gemeinde Rothenbrunnen
Operat 359, Pt. 25

Behauener Stein, 15 x 15 cm

Skizze

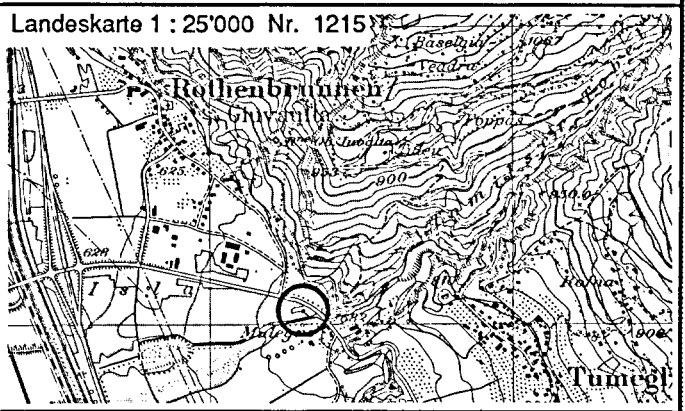


Landeskoordinaten
Y = 752 321.84
X = 181 032.94
H = 678.00

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 45' 52.10"
Λ = 9° 25' 48.55"

gemessen am : 20. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1215



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

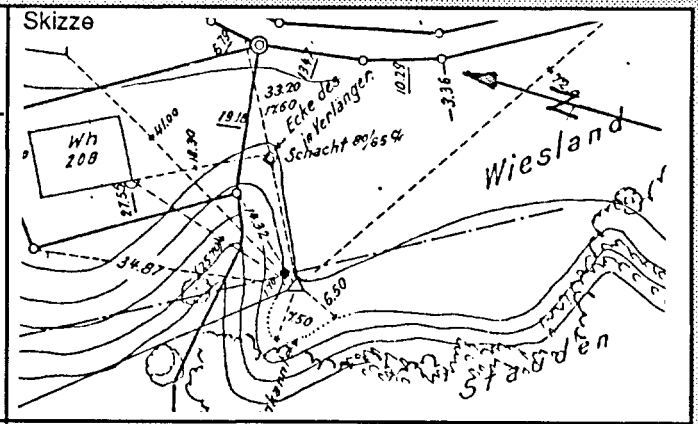
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 411
Churwalden

Gemeinde Churwalden
Operat 379, Pt. 59

Granitstein, 5 cm über Boden

Skizze

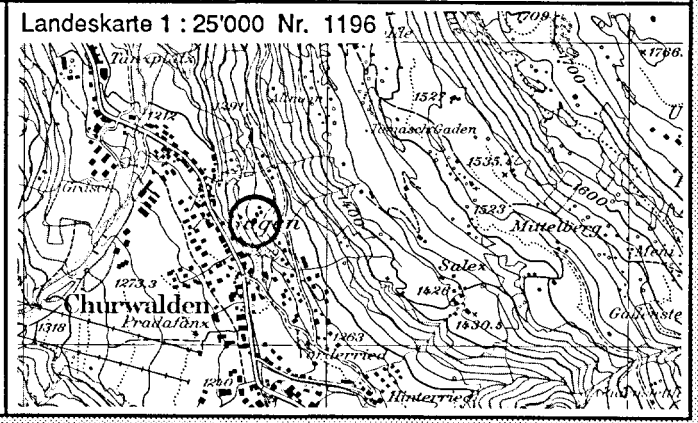


Landeskoordinaten
Y = 760 759.96
X = 183 379.19
H = 1269.32

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 47' 9.60"
Λ = 9° 32' 24.30"

gemessen am : 15. 6. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1196

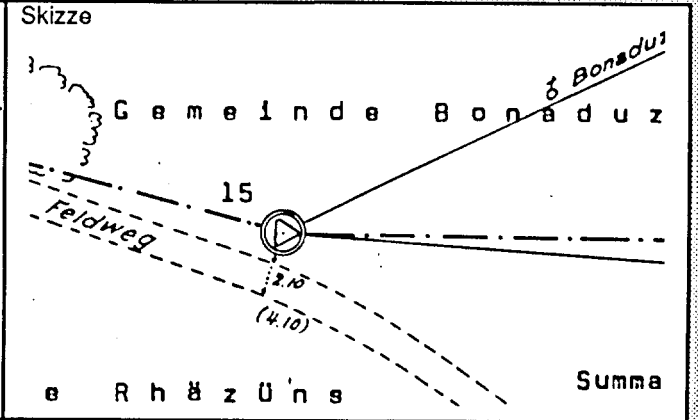


Punkt Nummer : 412
Bonaduz

Gemeinde Bonaduz/Rhäzüns
Operat 291, Pt. 156

Granitstein, 30 cm über Boden. (Identisch mit Gemeindegrenzstein)

Skizze

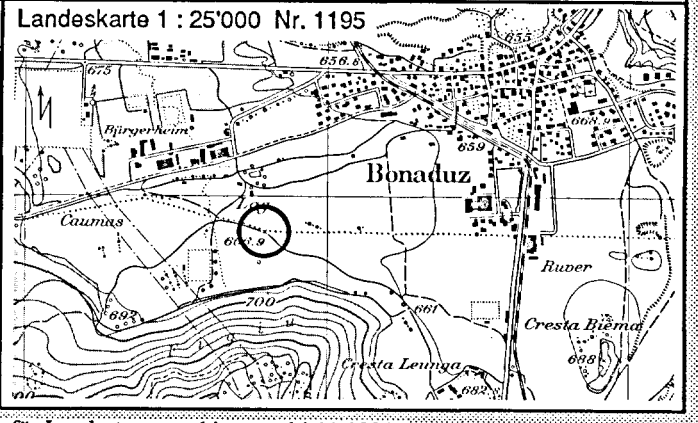


Landeskoordinaten
Y = 748 791.40
X = 185 882.61
H = 666.94

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 48' 35.16"
Λ = 9° 23' 22.48"

gemessen am : 20. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1195



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

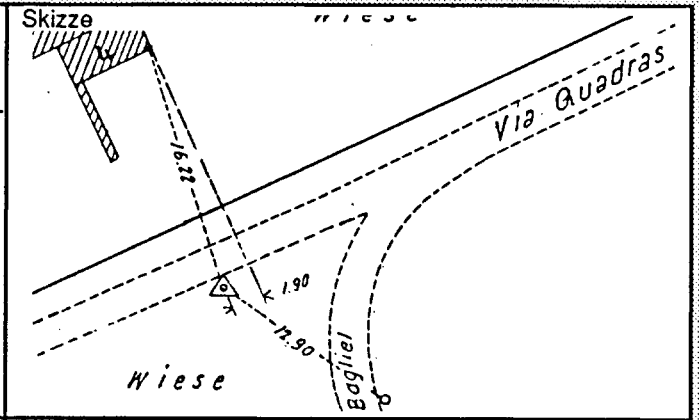
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 413
Domat/Ems

Gemeinde Domat/Ems
Operat 291, Pt. 80

Behauener Stein, 18 x 18 cm

Skizze

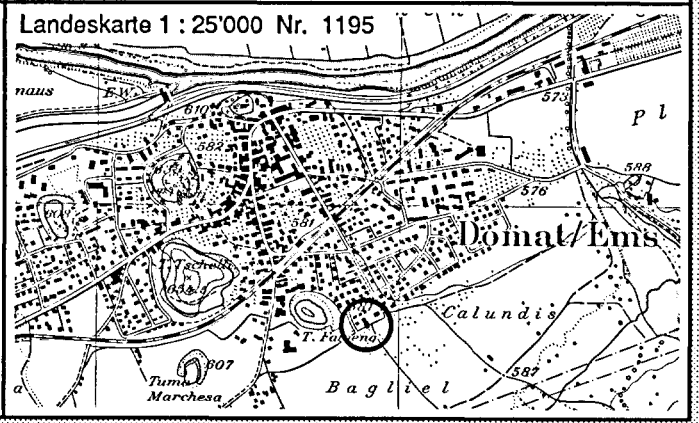


Landeskoordinaten
Y = 753 900.22
X = 188 604.57
H = 580.77

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 49' 59.53"
Λ = 9° 27' 19.34"

gemessen am : 20. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1195

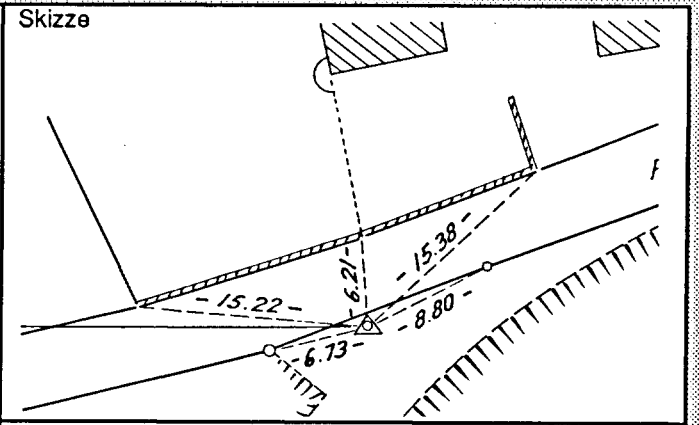


Punkt Nummer : 414
Vättis

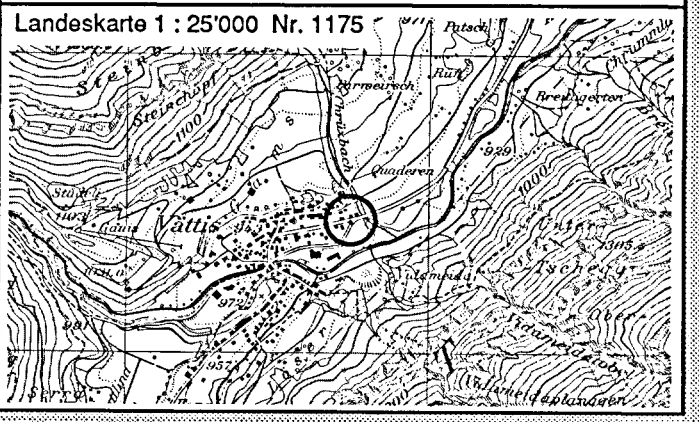
Gemeinde Pfäfers
Operat 373, 402

Granitstein, 13 cm unter Gussschacht

Skizze



Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1175



Landeskoordinaten
Y = 752 742.68
X = 197 438.66
H = 946.97

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 54' 43.25"
Λ = 9° 26' 45.72"

gemessen am : 1. 10. 1987

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

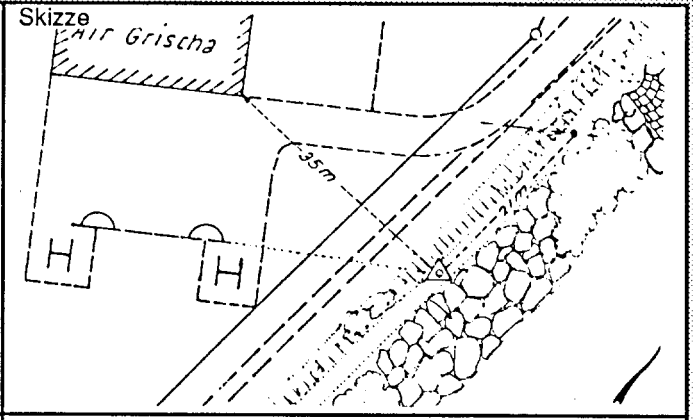
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 415
Zizers

Gemeinde Untervaz
Sektion Fünfdörfer, Pt. 44

behauener Stein, 15 x 15 cm
bodeneben

Skizze

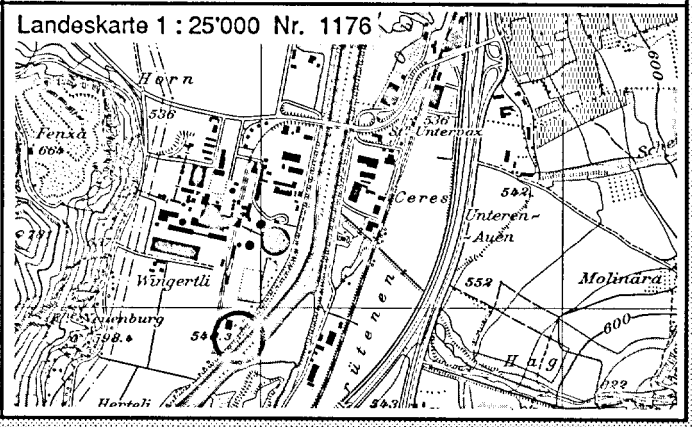


Landeskoordinaten
Y = 760 932.77
X = 197 898.77
H = 540.29

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 54' 54.82"
Λ = 9° 33' 6.62"

gemessen am : 14. 6. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1176

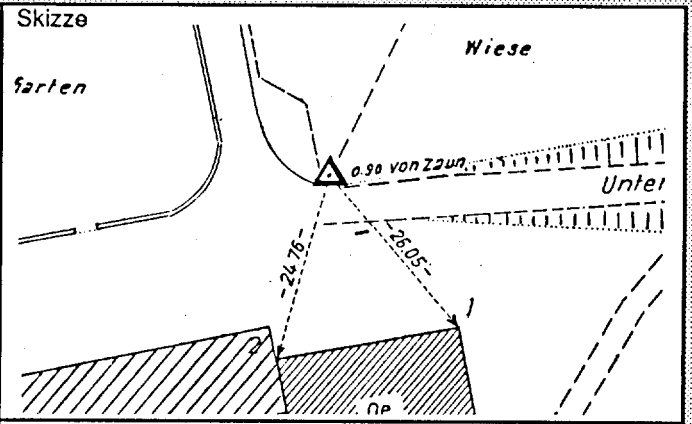


Punkt Nummer : 416
Landquart

Gemeinde Igis
Kreis Fünfdörfer, Pt. 85

behauener Stein, 15 x 15 cm
bodeneben

Skizze

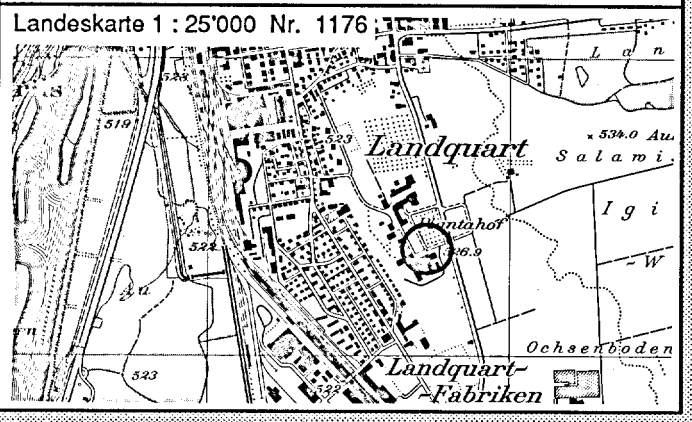


Landeskoordinaten
Y = 761 731.48
X = 203 368.15
H = 526.87

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 57' 47.52"
Λ = 9° 33' 44.69"

gemessen am : 1. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1176



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

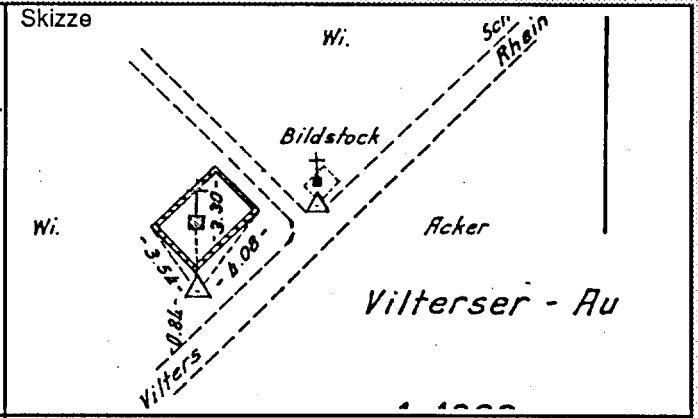
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 417
Sargans

Gemeinde Vilters
Bezirk Sargans

Granitstein, bodeneben

Skizze

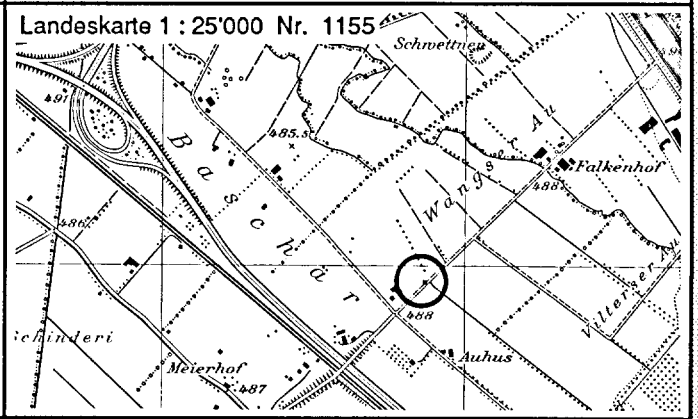


Landeskoordinaten
Y = 754 872.32
X = 210 946.52
H = 487.58

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 2' 2.37"
Λ = 9° 28' 38.01"

gemessen am : 6.9. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1155

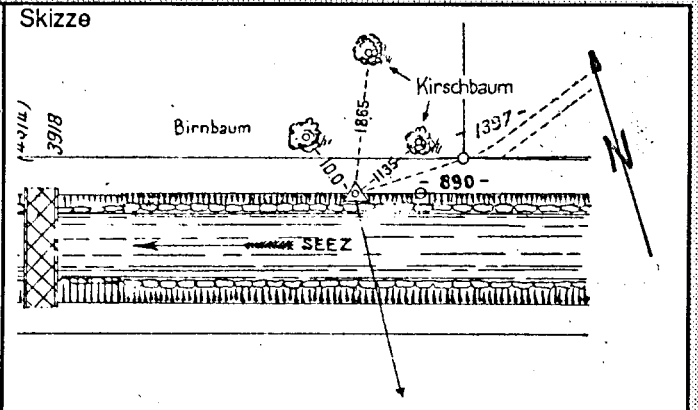


Punkt Nummer : 418
Flums

Gemeinde Flums
Bezirk Sargans

Granitstein, bodeneben

Skizze

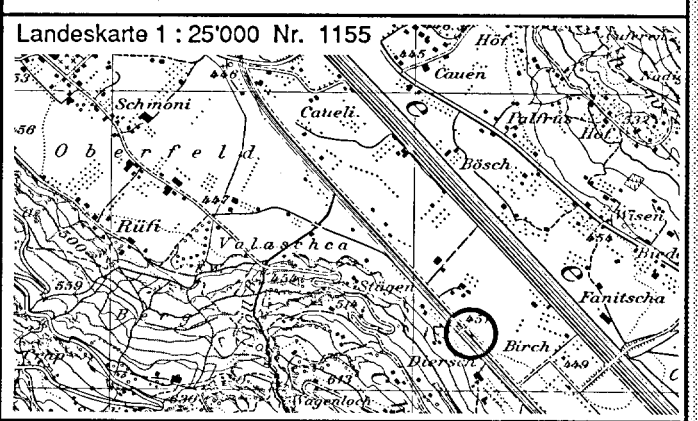


Landeskoordinaten
Y = 746 192.55
X = 216 182.64
H = 450.26

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 4' 59.98"
Λ = 9° 21' 56.96"

gemessen am : 1. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1155



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

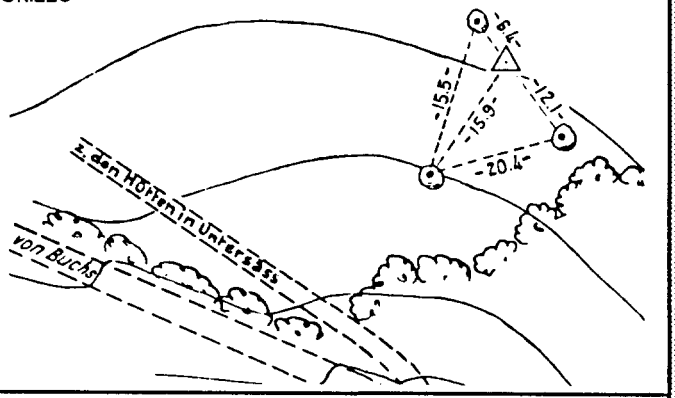
NFP 20 Ostraverse

Punkt Nummer : 419
Seveler Berg

Gemeinde Sevelen
Operat 297, Pt. 430

Granitstein, 10 cm über Boden

Skizze

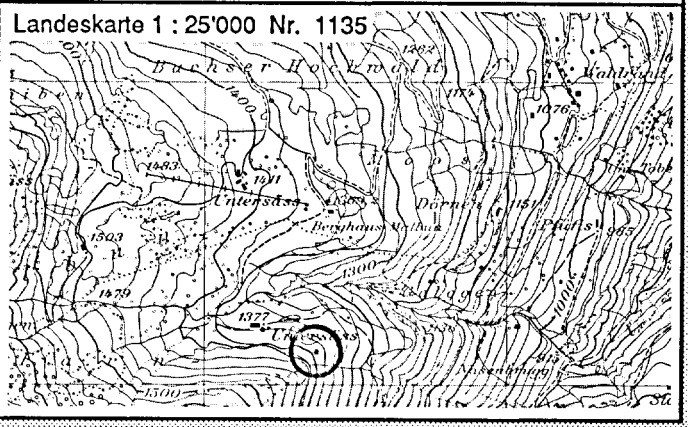


Landeskoordinaten
Y = 751 358.22
X = 223 106.81
H = 1397.87

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 8' 42.82"
Λ = 9° 26' 27.64"

gemessen am : 1. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1135

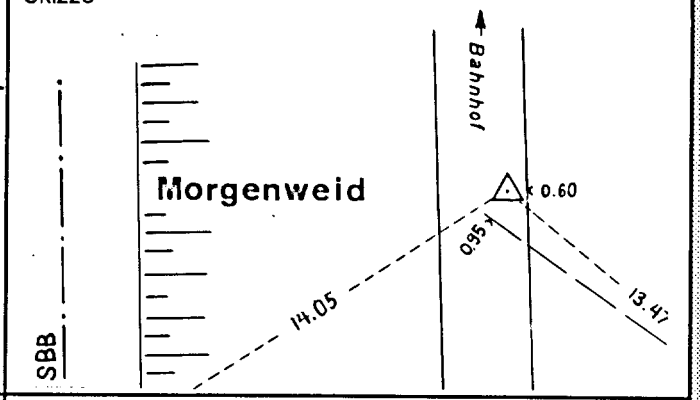


Punkt Nummer : 420
Buchs (SG)

Gemeinde Buchs
Operat 297, Pt. 625

Granitstein, 10 cm unter Gussschacht

Skizze

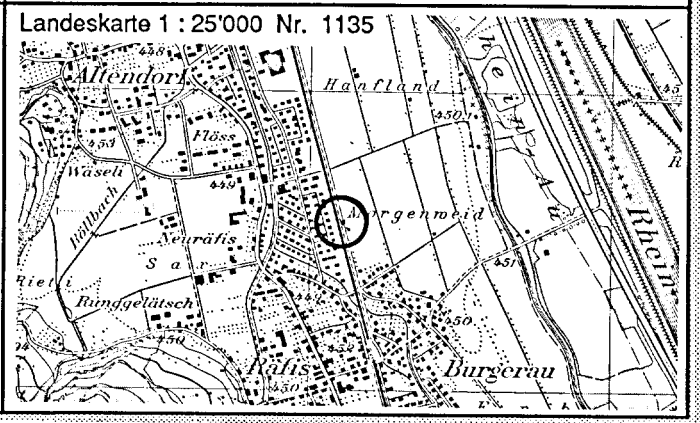


Landeskoordinaten
Y = 755 103.25
X = 224 572.63
H = 449.04

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 9' 24.67"
Λ = 9° 29' 6.76"

gemessen am : 6. 9. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1135



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

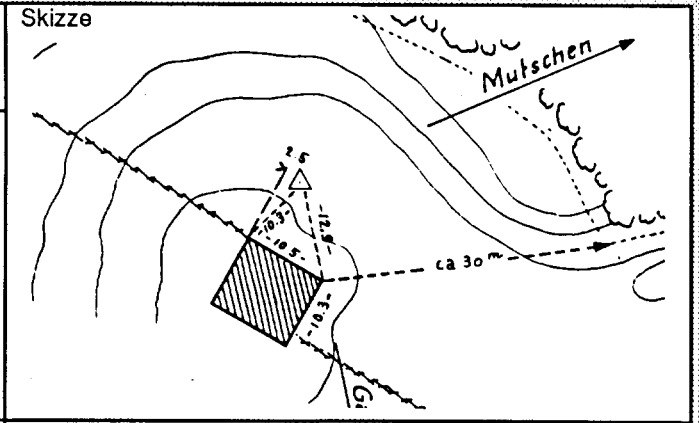
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 421
Wildhaus

Gemeinde Wildhaus
Punkt 3. Ordnung Oberdorf
Punkt Nummer 108

Granitstein bodeneben

Skizze

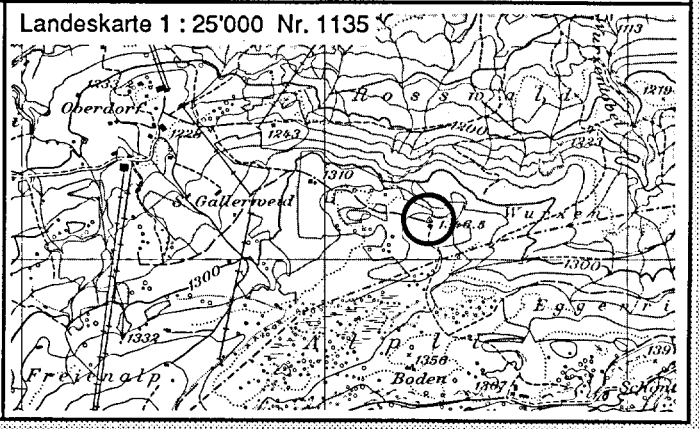


Landeskoordinaten
Y = 745 350.39
X = 228 128.90
H = 1346.48

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 11' 29.78"
Λ = 9° 21' 29.19"

gemessen am : 5. 9. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1135

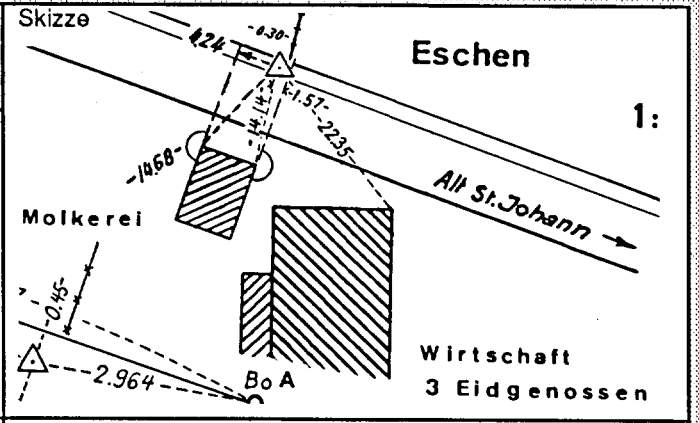


Punkt Nummer : 422
Alt St.Johann

Gemeinde Alt St.Johann
Operat 266, Pt.608

Granitstein unter Schacht

Skizze

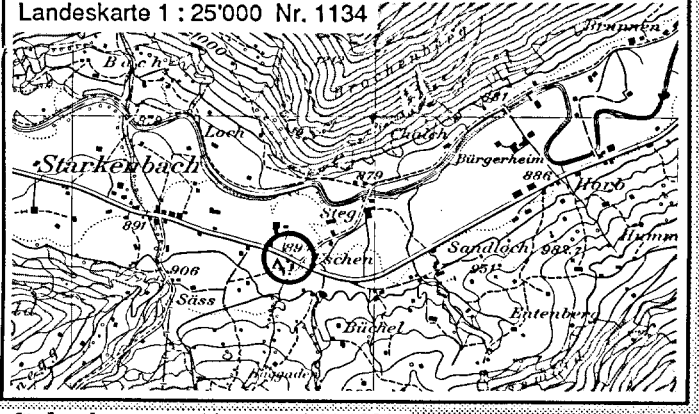


Landeskoordinaten
Y = 737 726.88
X = 227 530.86
H = 894.20

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 11' 14.22"
Λ = 9° 15' 17.57"

gemessen am : 6. 9. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1134



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

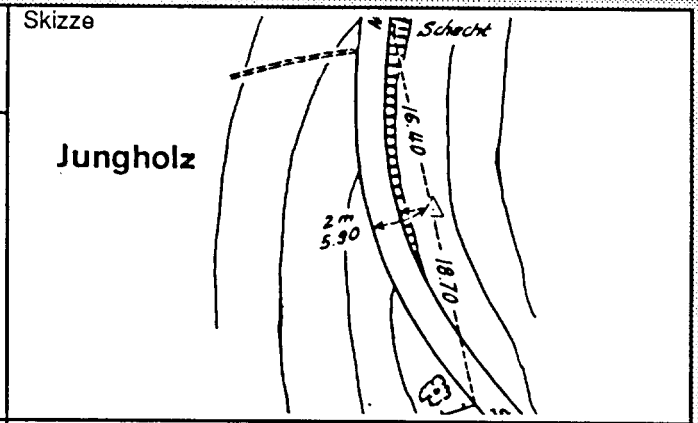
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 423
Nesslau

Gemeinde Nesslau
Operat 246, Pt. 446

Granitstein bodeneben

Skizze

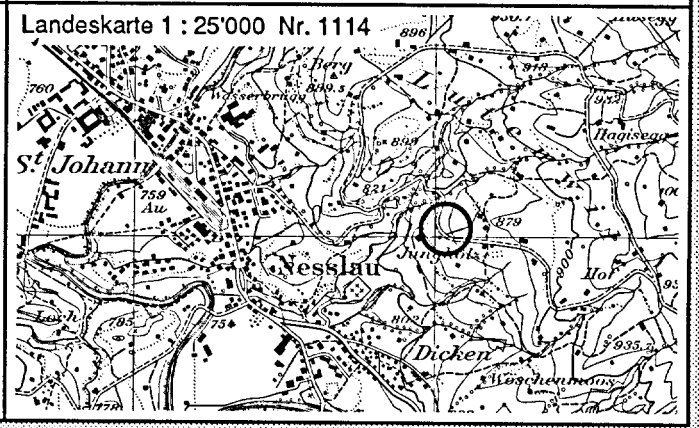


Landeskoordinaten
Y = 734 027.06
X = 232 022.39
H = 857.72

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 13' 39.81"
Λ = 9° 12' 20.85"

gemessen am : 5. 9. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1114

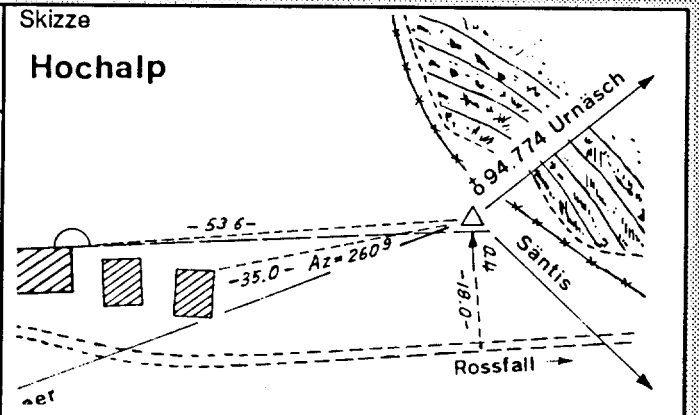


Punkt Nummer : 424
Hochalp

Gemeinde Urnäsch
Operat 199, Pt.517

Granitstein bodeneben

Skizze

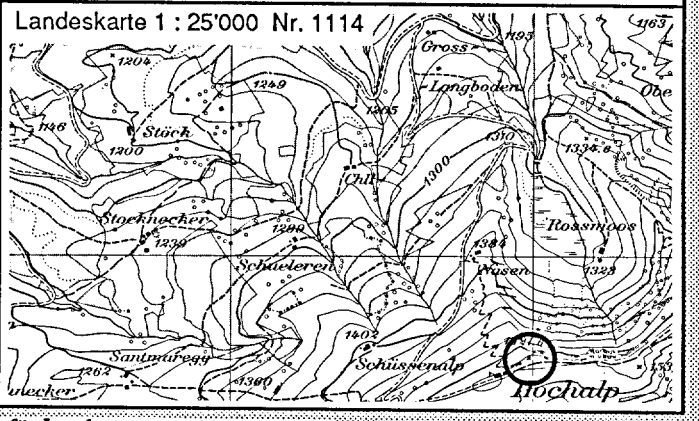


Landeskoordinaten
Y = 736 984.12
X = 237 658.69
H = 1521.53

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 16' 42.31"
Λ = 9° 14' 52.03"

gemessen am : 30. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1114



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

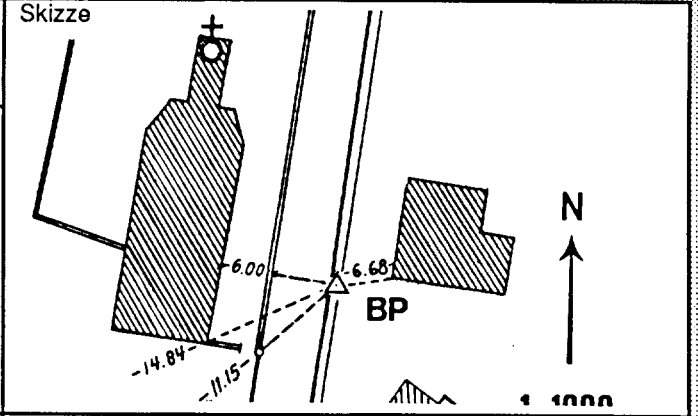
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 425
Hemberg

Gemeinde Hemberg
Operat 199, Pt. 311 BP

Granitstein 6 cm unter Schacht

Skizze

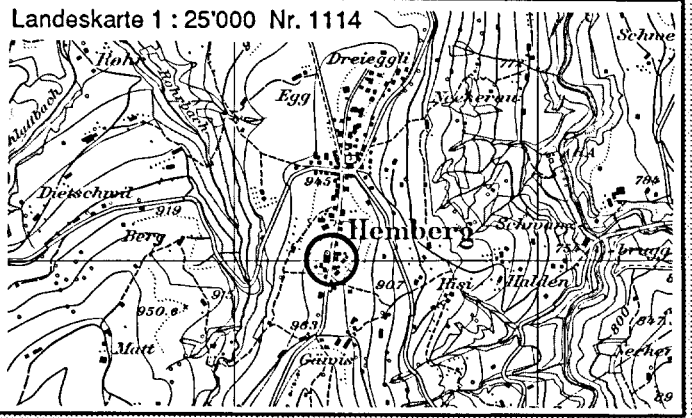


Landeskoordinaten
Y = 731 324.11
X = 239 999.27
H = 967.81

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 18' 01.82"
Λ = 9° 10' 27.12"

gemessen am : 30. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1114

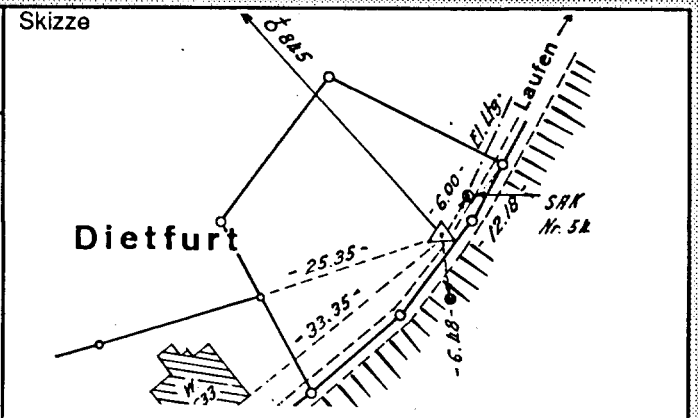


Punkt Nummer : 426
Dietfurt

Gemeinde Bütschwil
Operat 228, Pt.849

Granitstein unter Gussschacht

Skizze

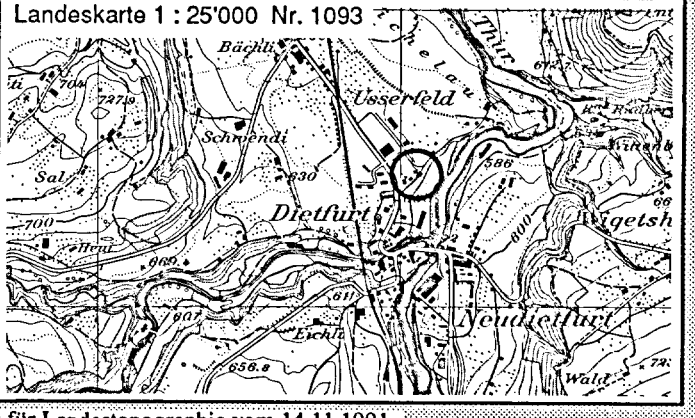


Landeskoordinaten
Y = 724 062.22
X = 245 453.54
H = 610.04

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 20' 59.40"
Λ = 9° 04' 50.17"

gemessen am : 7. 8. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1093



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

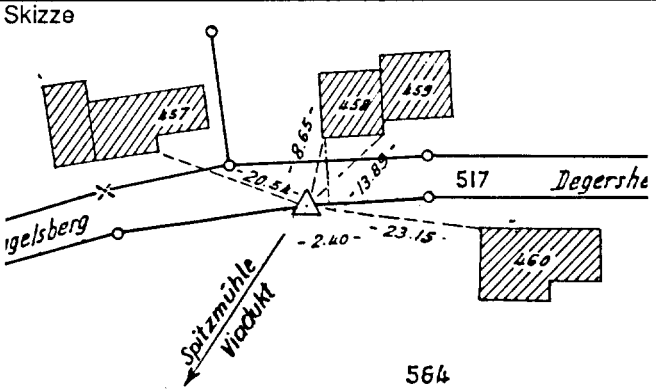
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 427
Mogelsberg

Gemeinde Mogelsberg
Operat 219, Pt. 230

Granitstein bodeneben

Skizze

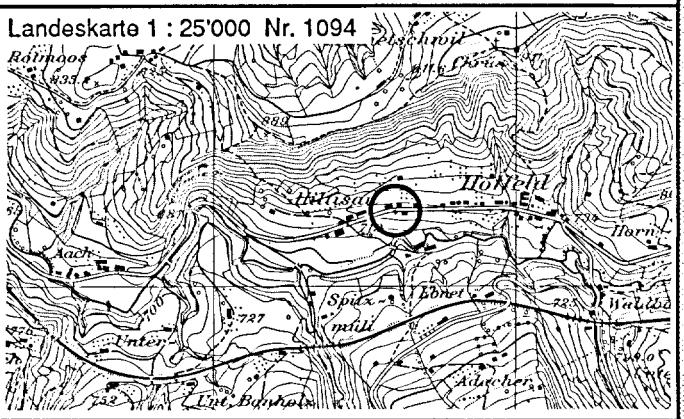


Landeskoordinaten
Y = 730 599.61
X = 247 247.97
H = 726.80

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 21' 52.73"
Λ = 9° 10' 01.83"

gemessen am : 30. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1094

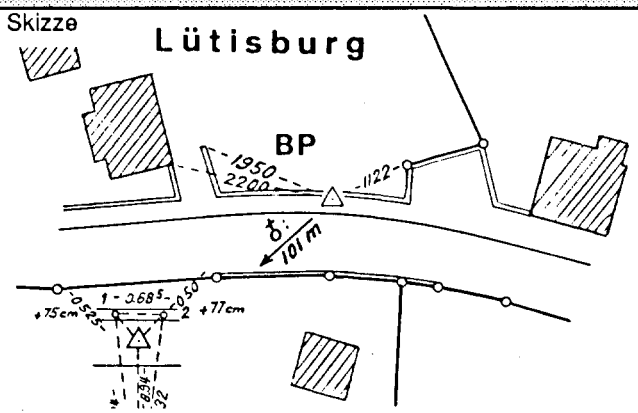


Punkt Nummer : 428
Lütisburg

Gemeinde Lütisburg
Operat 219, Pt.818 BP

Lochbolzen im Trottoir

Skizze

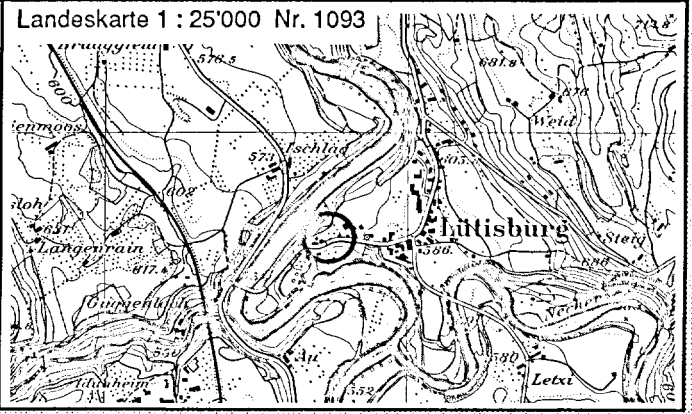


Landeskoordinaten
Y = 723 743.27
X = 250 636.37
H = 570.93

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 23' 46.57"
Λ = 9° 04' 42.46"

gemessen am : 31. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1093



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

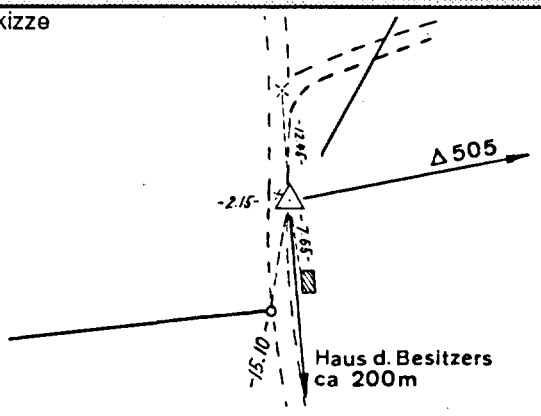
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 429
Ötwil

Gemeinde Kirchberg
Operat 219, Pt. 507

Granitstein bodeneben

Skizze

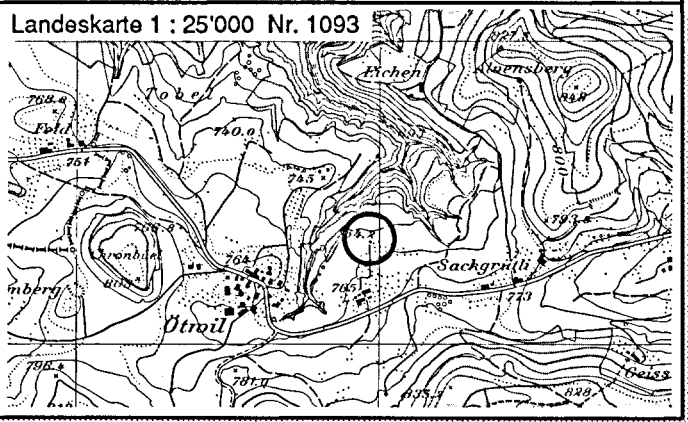


Landeskoordinaten
Y = 717 966.27
X = 252 341.68
H = 754.22

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 24' 47.18"
Λ = 9° 00' 08.69"

gemessen am : 7. 8. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1093

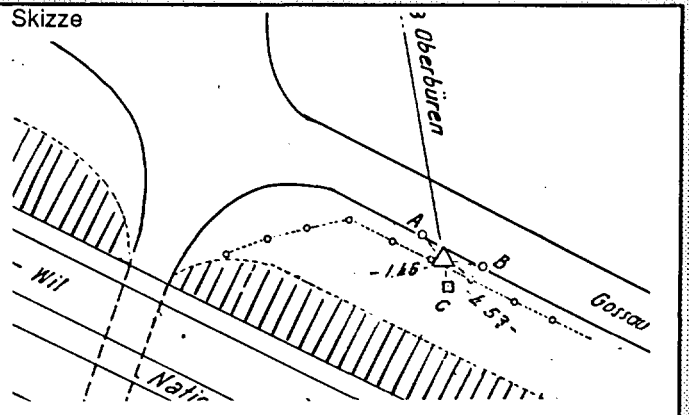


Punkt Nummer : 430
Uzwil

Gemeinde Oberbüren
Operat 237, Pt.258

Lochbolzen

Skizze

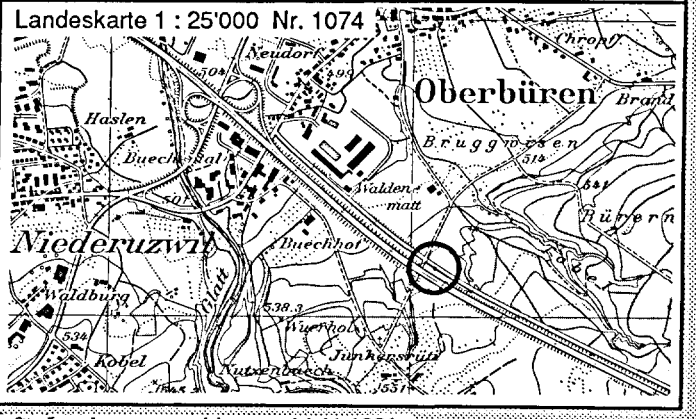


Landeskoordinaten
Y = 730 067.99
X = 256 167.58
H = 531.49

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 26' 42.44"
Λ = 9° 09' 48.60"

gemessen am : 29. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1074



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

NFP 20 Osttraverse

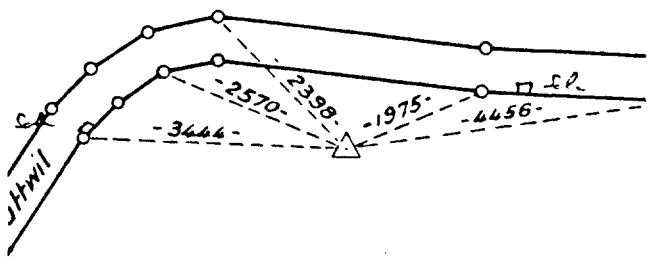
Punkt Nummer : 431
Tuttwil

Gemeinde Wängi
Operat 243, Pt. 329

Granitstein bodeneben

Anfahrt : Von Tuttwil her
über Wiese

Skizze

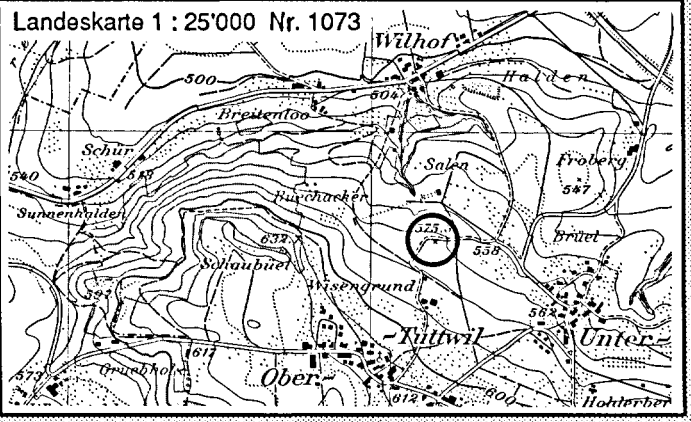


Landeskoordinaten
Y = 713 211.92
X = 260 645.08
H = 575.29

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 29' 16.36"
Λ = 8° 56' 31.79"

gemessen am : 28. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1073

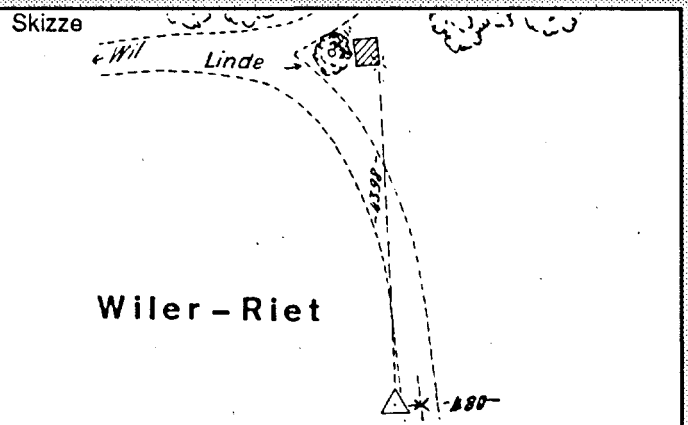


Punkt Nummer : 432
Wil

Gemeinde Wil
Operat 237, Pt.743

Granitstein 7 cm unter Boden

Skizze

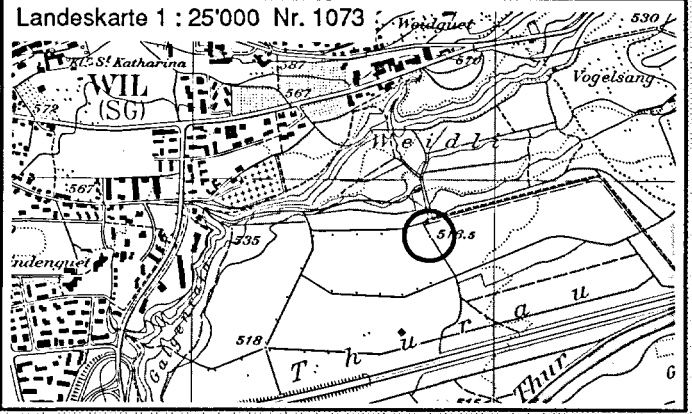


Landeskoordinaten
Y = 722 785.66
X = 257 816.33
H = 516.56

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 27' 36.31"
Λ = 9° 04' 05.60"

gemessen am : 29. 7. 86

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1073



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

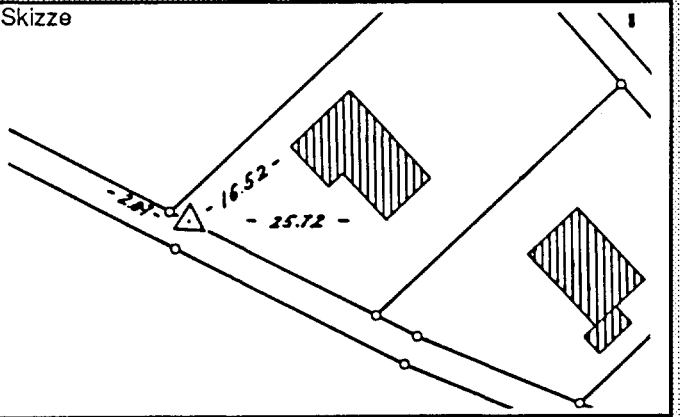
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 433
Matzingen

Gemeinde Matzingen
Operat 169, Pt. 206

Granitstein bodeneben

Skizze

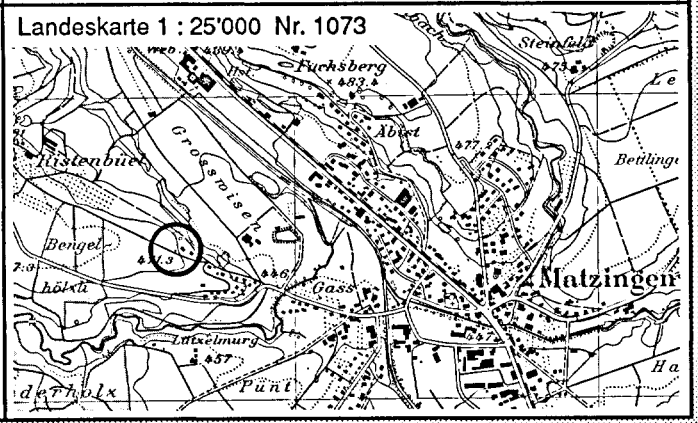


Landeskoordinaten
Y = 711 604.67
X = 264 491.76
H = 471.29

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 31' 18.44"
Λ = 8° 55' 19.47"

gemessen am : 23. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1073

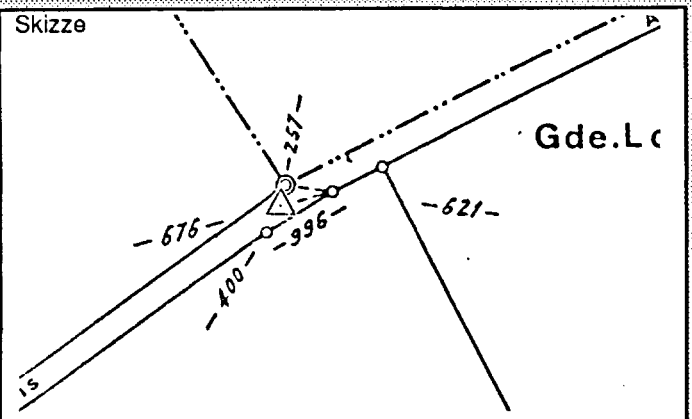


Punkt Nummer : 434
Lommis

GemeindeLommis
Operat 268, Pt.504

Granitstein in Gussschacht

Skizze

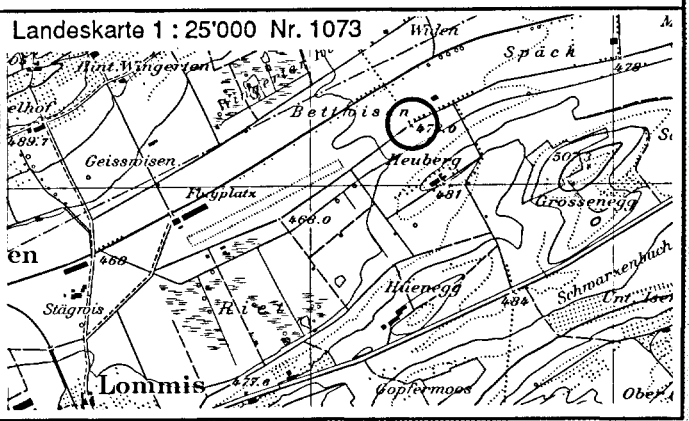


Landeskoordinaten
Y = 718 334.94
X = 265 199.18
H = 472.95

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 31' 36.74"
Λ = 9° 00' 40.15"

gemessen am : 28. 7. 86

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1073



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

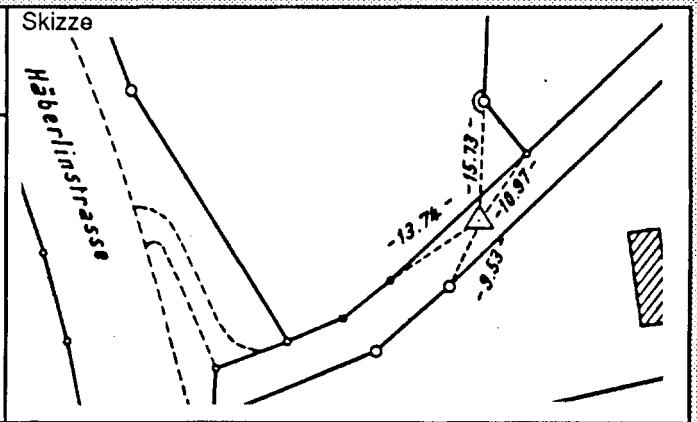
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 435
Frauenfeld

Gemeinde Frauenfeld
Operat 169, Pt. 035

Granitstein unter Guss-schacht

Skizze

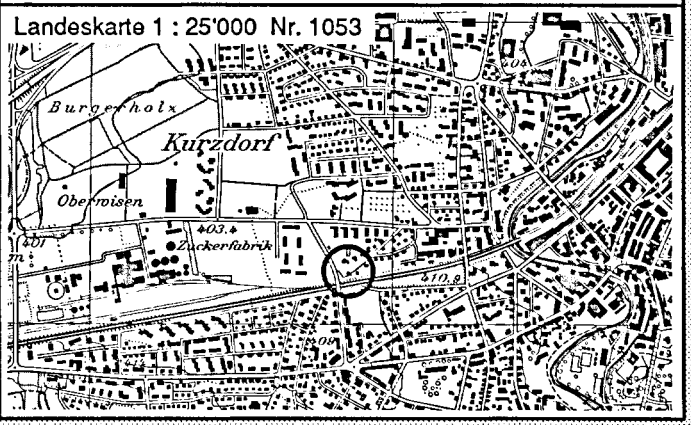


Landeskoordinaten
Y = 708 864.40
X = 268 175.55
H = 408.65

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 33' 18.95"
Λ = 8° 53'11.09"

gemessen am : 22. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1053

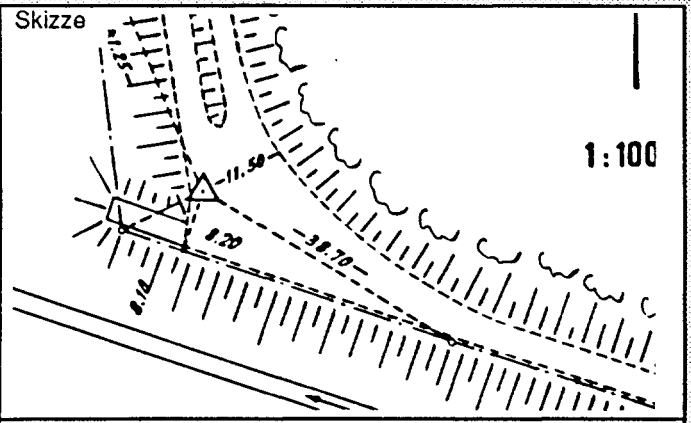


Punkt Nummer : 436
Hüttlingen

GemeindeHüttlingen
Operat 169, Pt.433

Granitstein in Gussschacht

Skizze

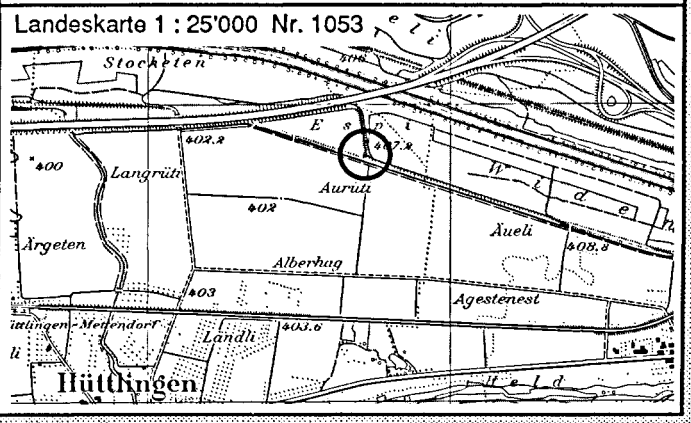


Landeskoordinaten
Y = 716 722.53
X = 271 827.50
H = 407.15

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 35' 11.64"
Λ = 8° 59'30.10"

gemessen am : 22. 7. 86

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1053



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

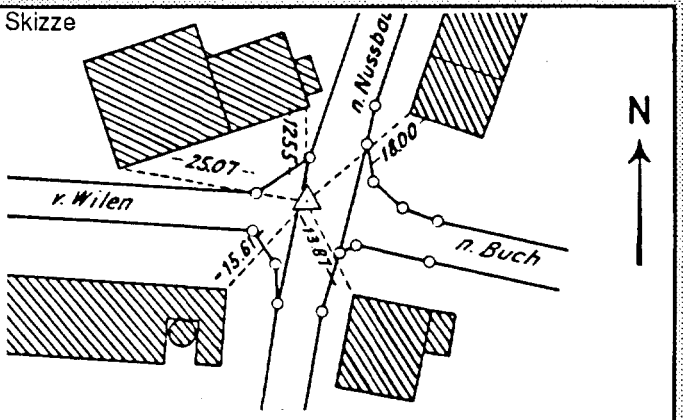
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 437
Uerschhausen

Gemeinde Uerschhausen
Operat 293, Pt. 616

Granitstein unter Guss-schacht

Skizze

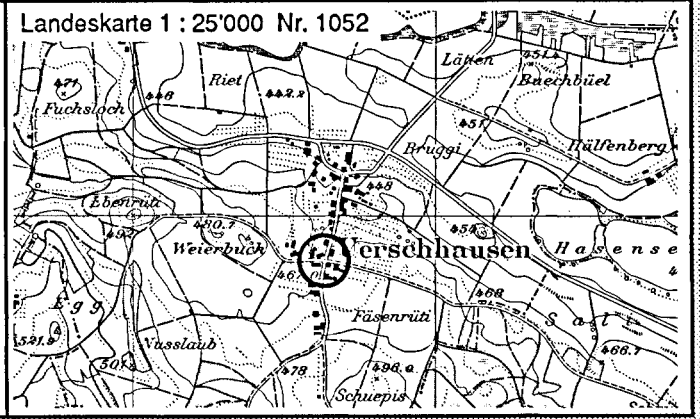


Landeskoordinaten
Y = 703 632. 53
X = 273 856. 95
H = 466.97

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 36' 23.12"
Λ = 8° 49' 07.58"

gemessen am : 16. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1052

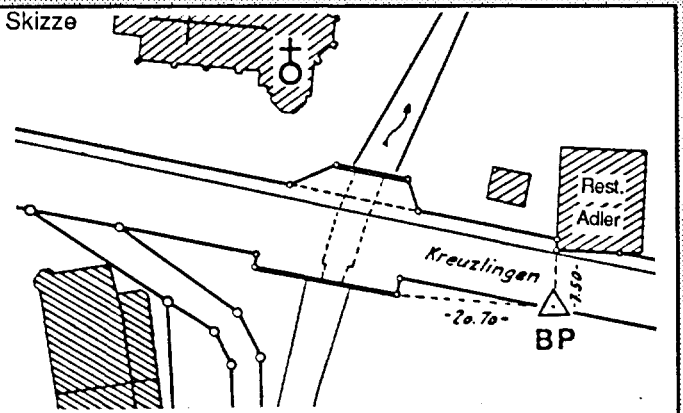


Punkt Nummer : 438
Mammern

Gemeinde Mammern
Operat 334, Pt.208 BP

Granitstein in Gussschacht

Skizze

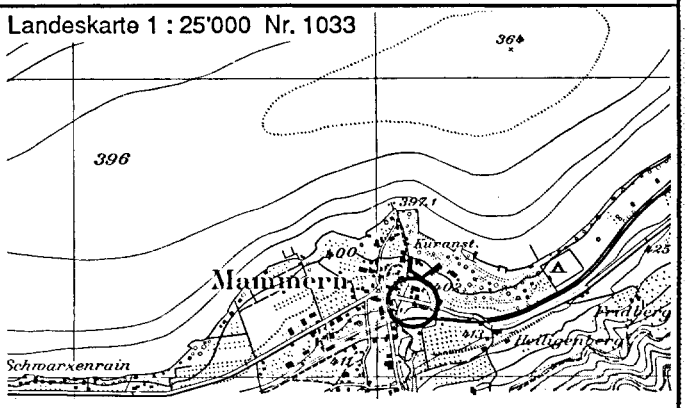


Landeskoordinaten
Y = 711 105. 90
X = 278 254. 66
H = 407. 02

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 38' 42.11"
Λ = 8° 55' 07.85"

gemessen am : 17. 7. 86

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1033



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

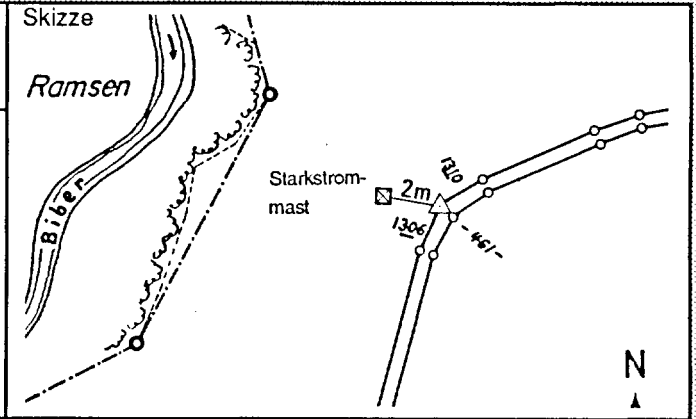
NFP 20 Osttraverse

Punkt Nummer : 439
Ramsen

Gemeinde Heimishofen
Operat 161 ,Pt. 460

Granitstein 12 cm unter Gussschacht

Skizze

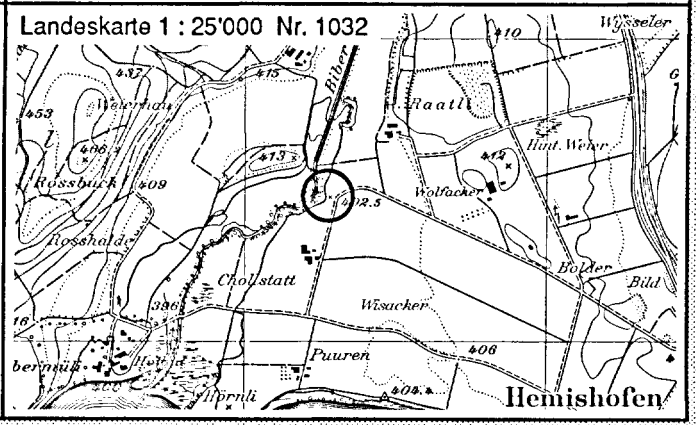


Landeskoordinaten
Y = 703 305.81
X = 282 477.78
H = 402.47

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 40' 59.67"
Λ = 8° 49' 01.30"

gemessen am : 16. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1032

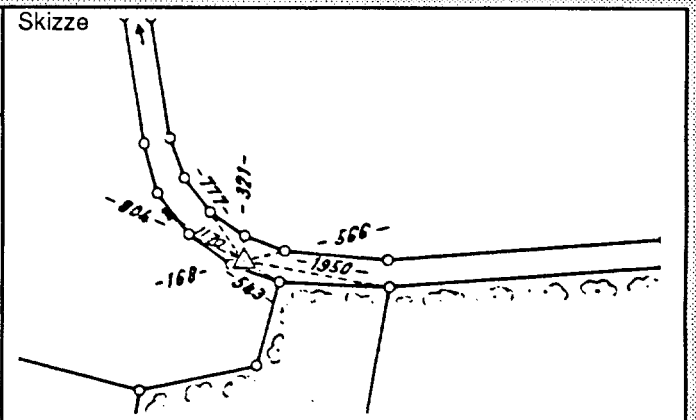


Punkt Nummer : 440
Steckborn

Gemeinde Steckborn
Operat 334, Pt. 407

Granitstein, bodeneben
Markiert an Zaun und auf Strasse

Skizze

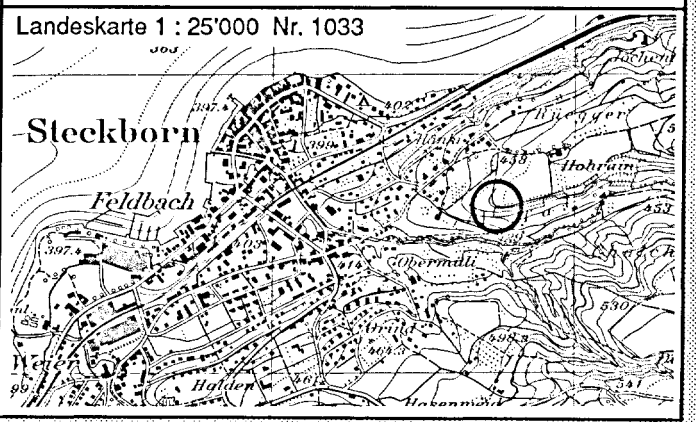


Landeskoordinaten
Y = 716 741. 34
X = 280 559. 05
H = 473. 19

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 39' 53.87"
Λ = 8° 59' 39.69"

gemessen am : 17. 7. 86

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1033



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

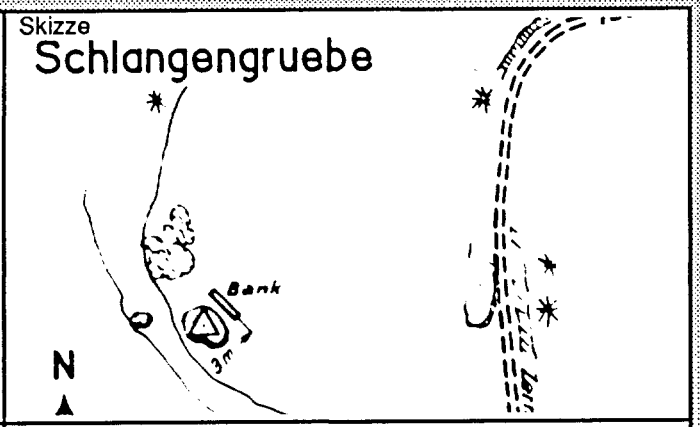
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 1
Schlangengruebe

Gemeinde Zermatt
Operat 416, Pt. 215

Lochbolzen

Skizze

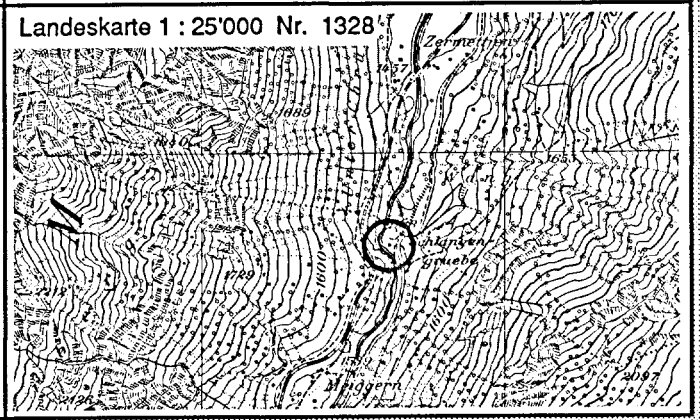


Landeskoordinaten
Y = 625 622.17
X = 99 695.13
H = 1524.81

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 3' 4.18"
Λ = 7° 46' 13.75"

gemessen am : 10. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1328



Punkt Nummer : 9
Randa

Gemeinde Randa
Nivellementsfixpunkt
TOV 104

Skizze

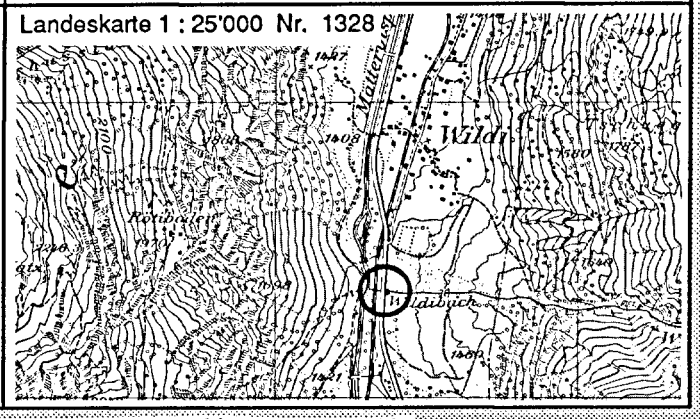
Durchlass des Wildibaches, Brüstungsmauer zwischen Strasse und Spazierweg, linkes Ufer, bachaufwärts; Mauerende gegen Täsch.

Landeskoordinaten
Y = 626 366.23
X = 104 366.01
H = 1427.69

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 5' 36.87"
Λ = 7° 46' 49.49"

gemessen am : 15. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1328



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

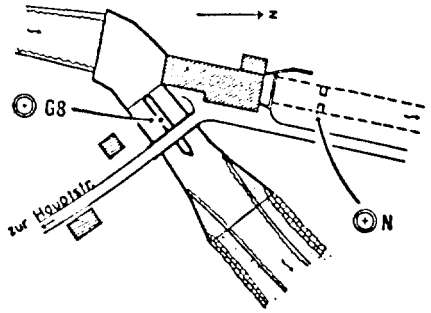
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 2
Mattsand

Gemeinde St. Niklaus
GPS-Punkt T5V G8

Kappenbolzen

Skizze

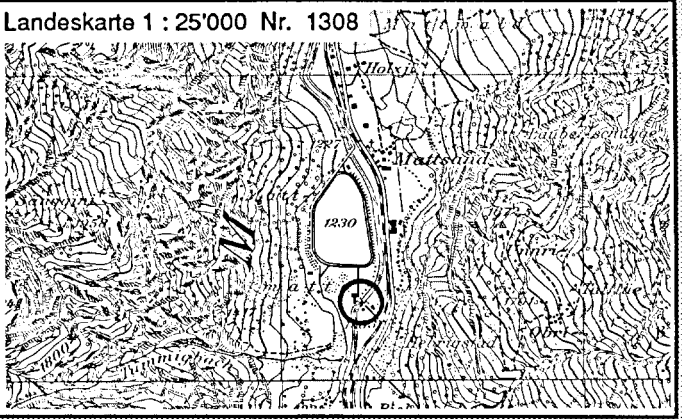


Landeskoordinaten
Y = 627 263.70
X = 110 249.32
H = 1232.97

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 8' 53.32"
Λ = 7° 47' 33.71"

gemessen am : 10. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1308

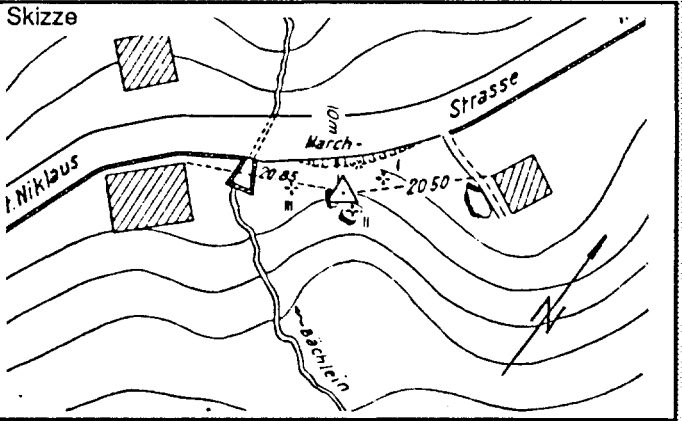


Punkt Nummer : 8
Sälli

Gemeinde St. Niklaus
Operat 416, Pt. 415

Lochbolzen

Skizze

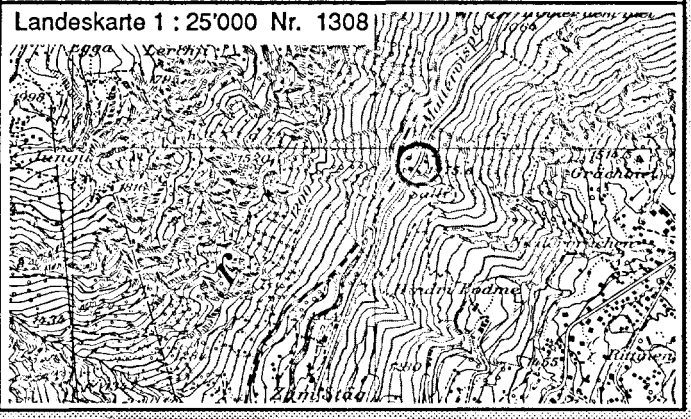


Landeskoordinaten
Y = 629 151.97
X = 115 937.35
H = 1075.70

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 11' 56.66"
Λ = 7° 49' 7.29"

gemessen am : 15. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1308



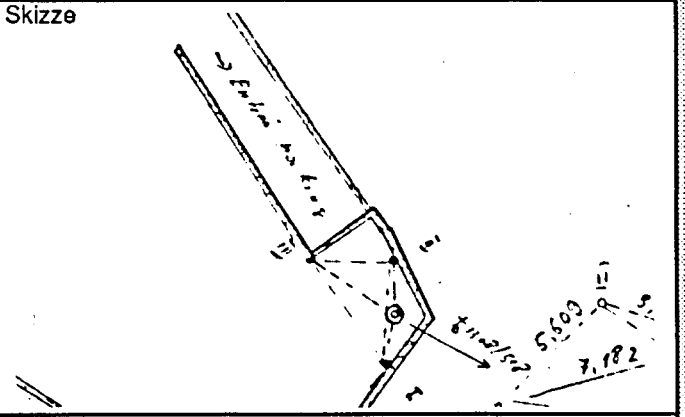
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 7
Embd

Gemeinde Embd
Poligonpunkt

Skizze

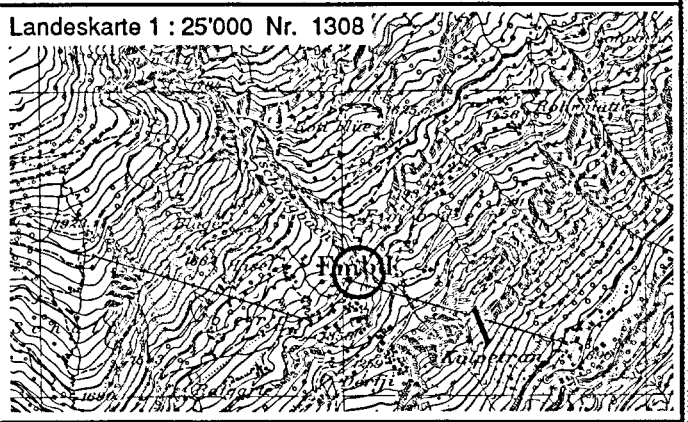


Landeskoordinaten
Y = 630 055.29
X = 118 403.20
H = 1409.30

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 13' 7.16"
Λ = 7° 50' 3.27"

gemessen am : 15. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1308

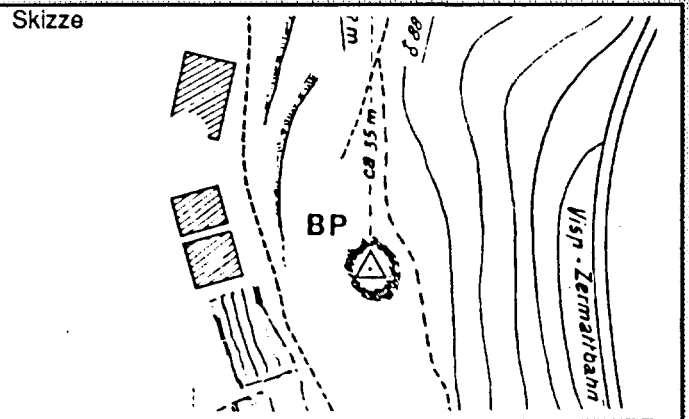


Punkt Nummer : 3
Stalden

Gemeinde Stalden
Operat 415, Pt. 610 BP

Lochbolzen

Skizze

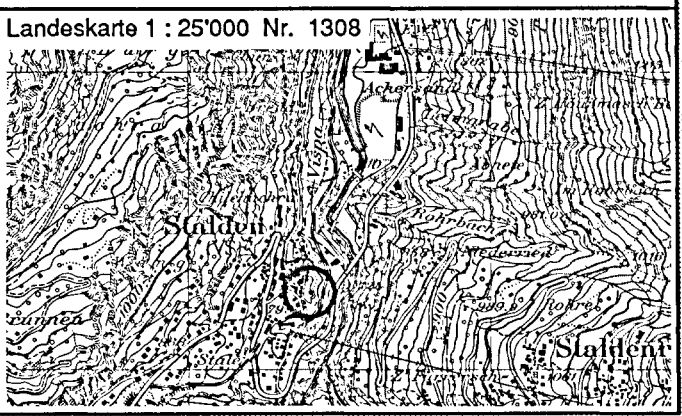


Landeskoordinaten
Y = 633 400.39
X = 120 256.29
H = 824.24

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 14' 14.34"
Λ = 7° 52' 22.55"

gemessen am : 12. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1308



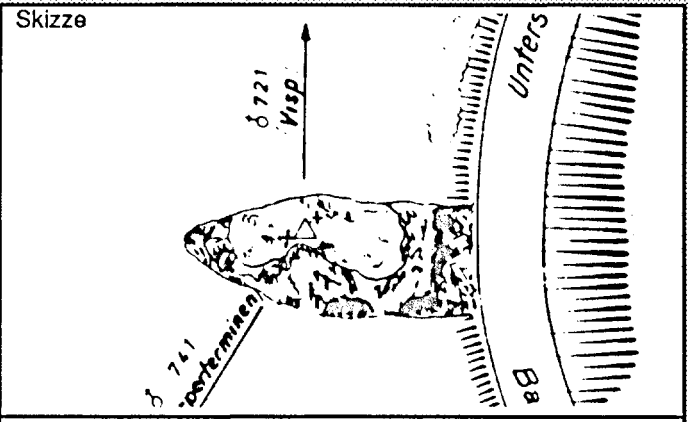
Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

Punkt Nummer : 4
Visperterminen

Gemeinde Visperterminen
Pt. 3. Ordnung "Unterstalden"
(Pt. 733)

Lochbolzen

Skizze

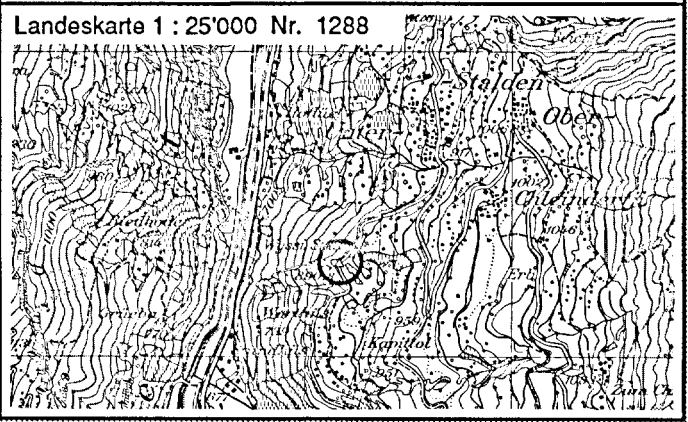


Landeskoordinaten
Y = 634 417.29
X = 124 309.26
H = 890.72

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 16' 24.23"
Λ = 7° 53' 0.65"

gemessen am : 12. 8. 1987

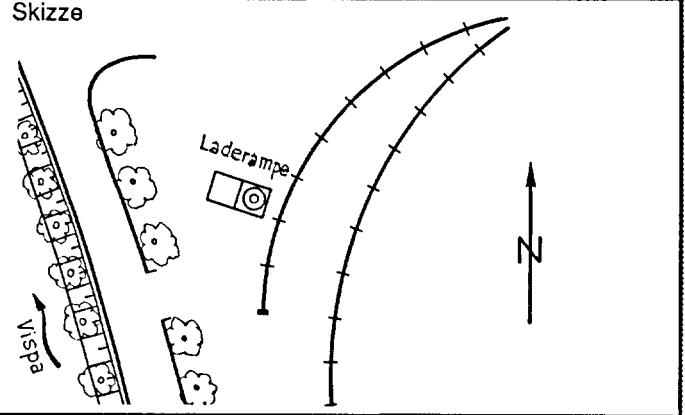
Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1288



Punkt Nummer : 5
Visp

Gemeinde Visp
Poligonpunkt

Skizze

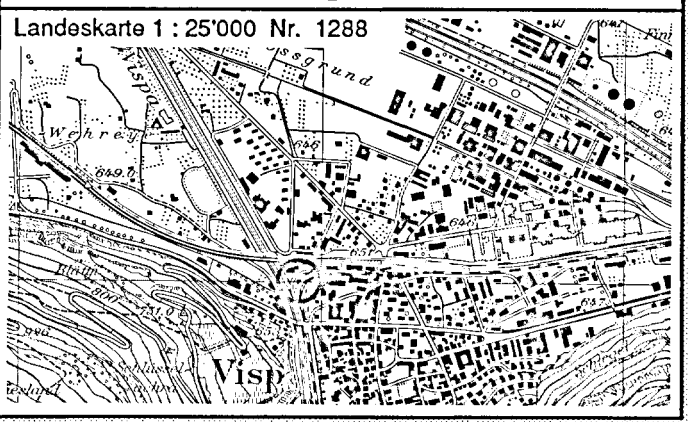


Landeskoordinaten
Y = 633 916.90
X = 127 000.34
H = 653.12

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 17' 44.59"
Λ = 7° 52' 44.83"

gemessen am : 12. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1288



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

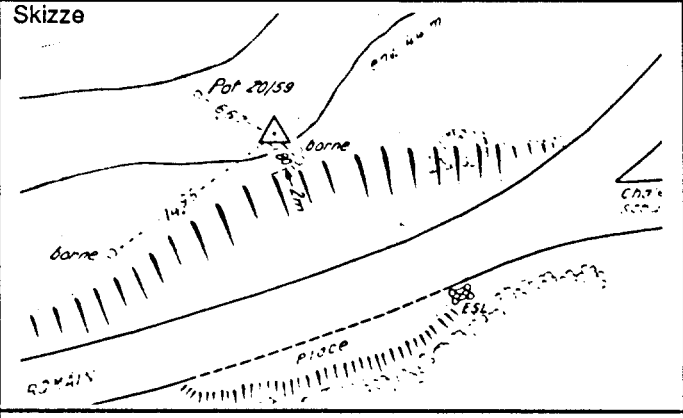
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 11
Fortunau

Gemeinde Ayent
Sektion Montana, Pt. 618

Sandstein 5 cm über Boden

Skizze

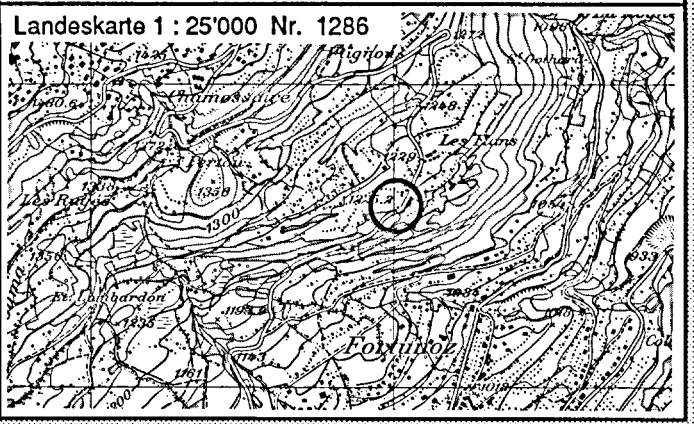


Landeskoordinaten
Y = 598 014.38
X = 126 599.27
H = 1225.22

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 17' 14.11"
Λ = 7° 24' 54.28"

gemessen am : 16. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1286

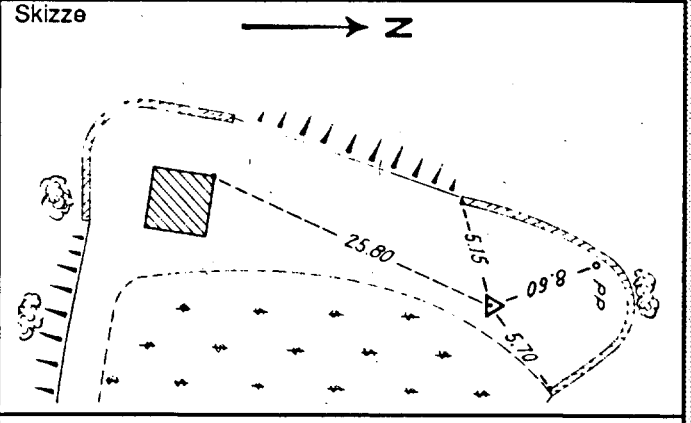


Punkt Nummer : 12
Colline Fendant

Gemeinde Sierre
Sektion Montana, Pt. 028

Granitstein bodeneben

Skizze

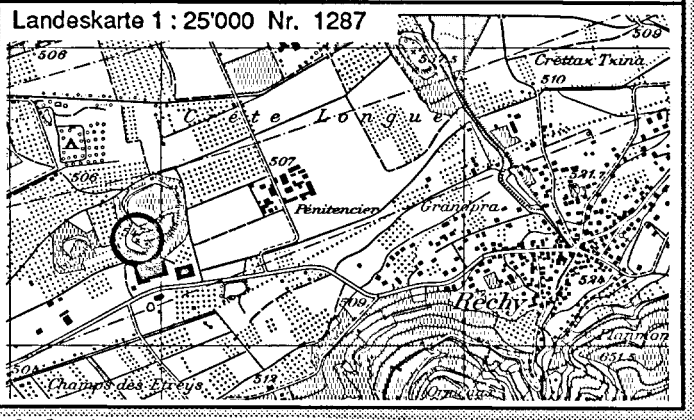


Landeskoordinaten
Y = 602 921.36
X = 123 349.71
H = 547.19

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 15' 52.30"
Λ = 7° 28' 25.18"

gemessen am : 16. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1287



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

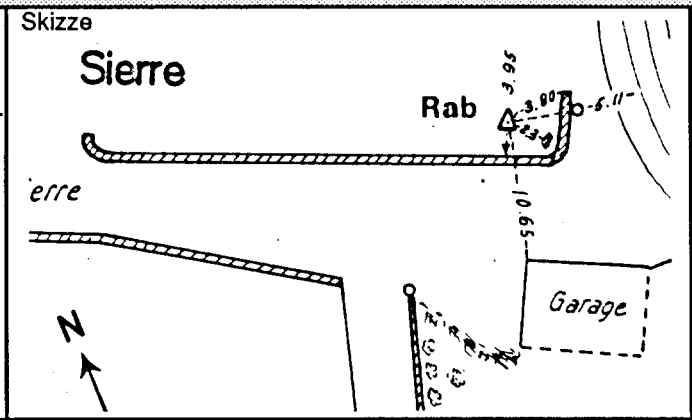
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 13
Sierre, Lac de Geronde

Gemeinde Sierre
Sektion Leuk, Pt. 236 Rab

Granitstein bodeneben

Skizze



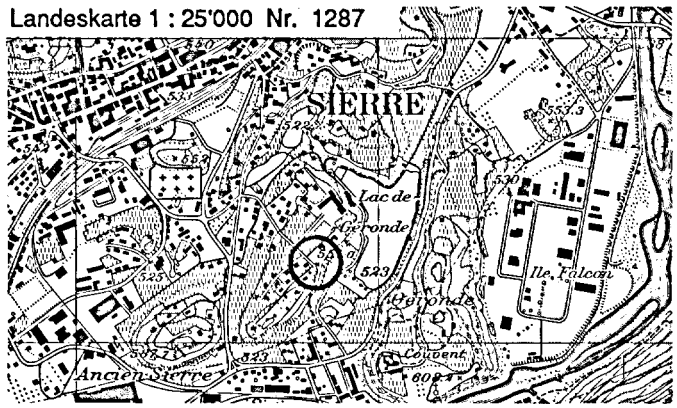
Landeskoordinaten
Y = 607 797.56
X = 126 256.71
H = 550.97

Astronomische Koordinaten

Φ = 46° 17' 22.00"
Λ = 7° 32' 14.60"

gemessen am : 16. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1287

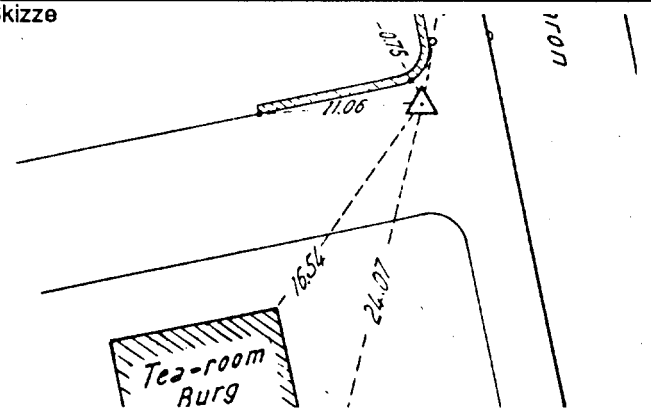


Punkt Nummer : 14
Turtig

Gemeinde Raron
Sektion Raron, Pt. 317

Granitstein bodeneben

Skizze



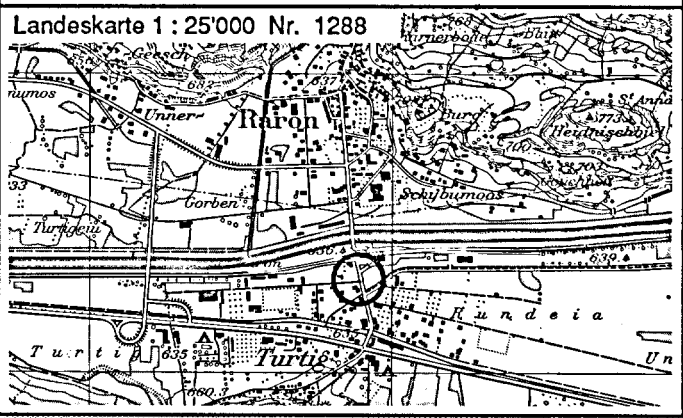
Landeskoordinaten
Y = 627 891.88
X = 128 305.62
H = 636.43

Astronomische Koordinaten

Φ = 46° 18' 24.89"
Λ = 7° 48' 4.00"

gemessen am : 17. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1288



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

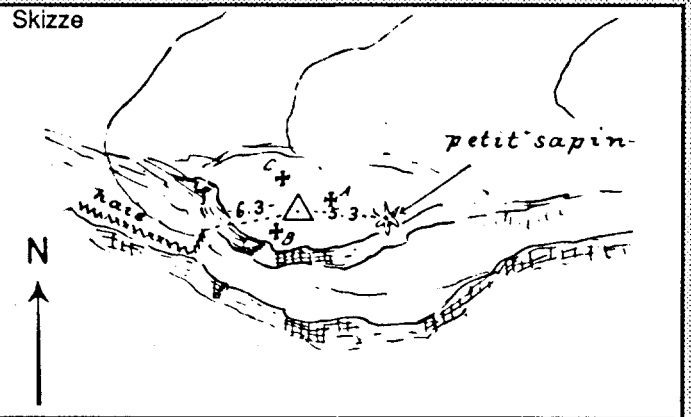
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 10
Tseuzier

Gemeinde Icogne
Sektion Montana, Pt. 702

Lochbolzen auf Fels

Skizze

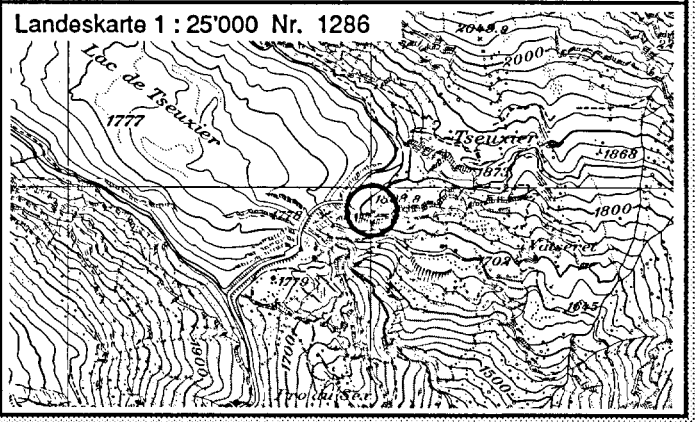


Landeskoordinaten
Y = 600 009.51
X = 132 919.54
H = 1808.83

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 20' 40.79"
Λ = 7° 26' 18.48"

gemessen am : 16. 8. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1286

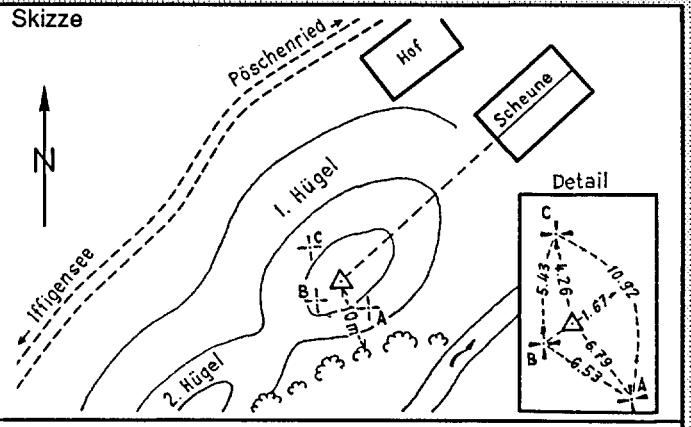


Punkt Nummer : 501
Iffigenalp

Gemeinde Lenk
Operat 174, Pt. 745

Granitstein 2 cm über Boden

Skizze

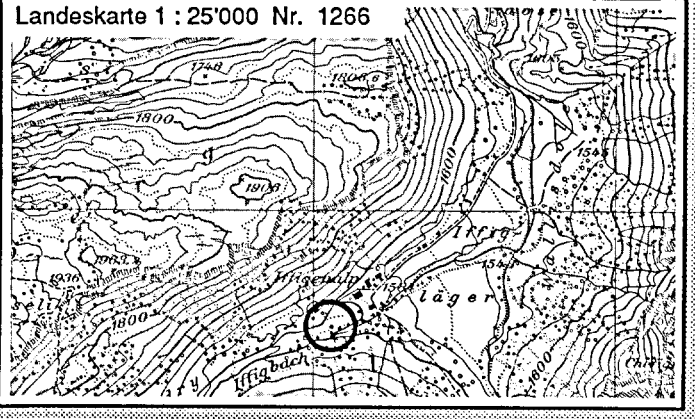


Landeskoordinaten
Y = 600 112.42
X = 138 633.26
H = 1615.15

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 24' 13.48"
Λ = 7° 26' 16.72"

gemessen am : 14. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1266



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

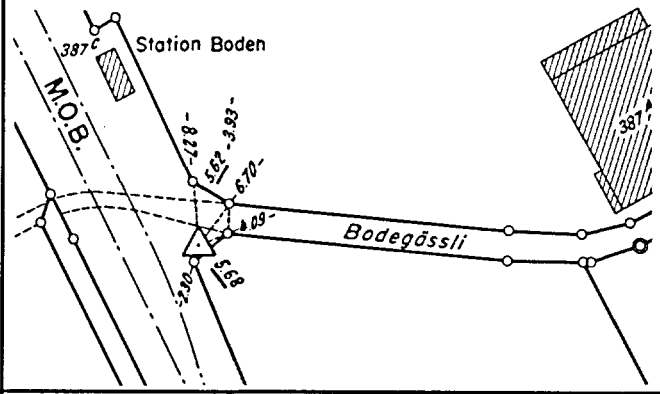
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 502
Lenk

Gemeinde Lenk
Operat 174, Pt. 753

Granitstein, 3 cm über Boden

Skizze

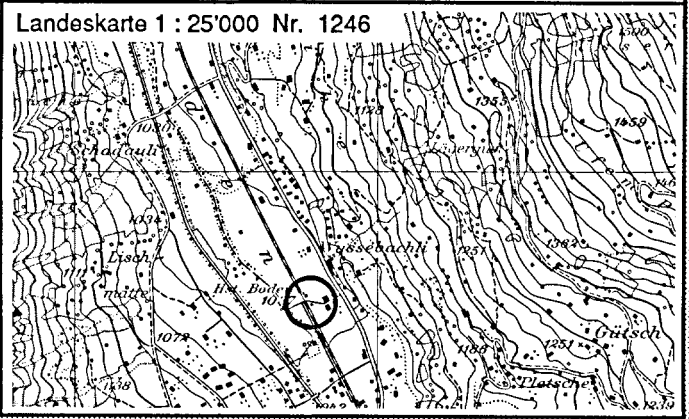


Landeskoordinaten
Y = 599 771.82
X = 146 564.43
H = 1036.76

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 28' 21.19"
Λ = 7° 26' 0.17"

gemessen am : 16. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1246

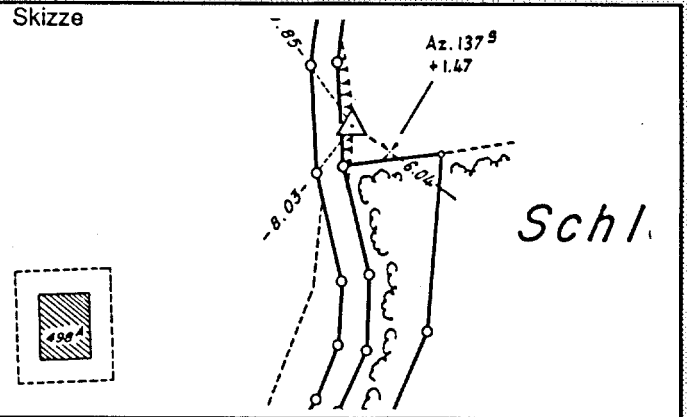


Punkt Nummer : 503
Blankenburg

Gemeinde Zweisimmen
Operat 174, Pt. 511

Granitstein, 4 cm über Boden

Skizze

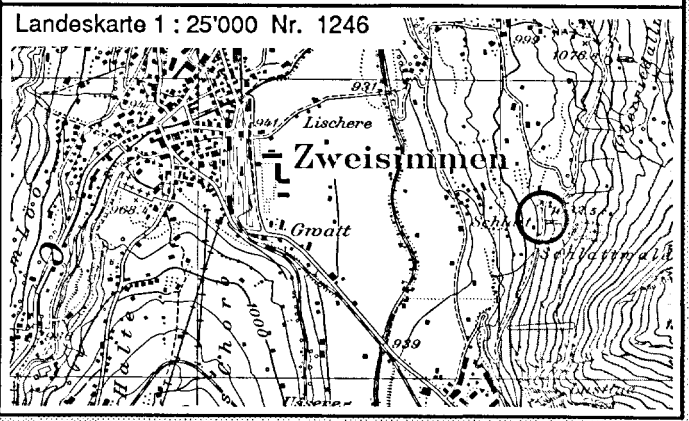


Landeskoordinaten
Y = 596 151.15
X = 155 537.82
H = 1032.56

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 33' 14.00"
Λ = 7° 23' 3.73"

gemessen am : 16. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1246



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

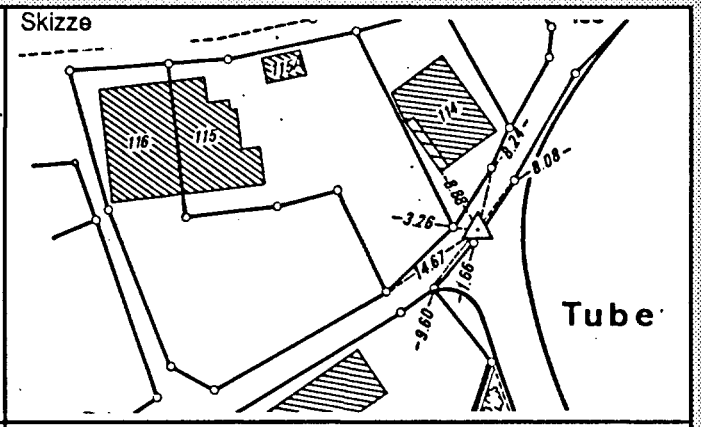
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 504
Boltigen

Gemeinde Boltigen
Operat 174, Pt. 519

Granitstein, 15 cm unter Gussschacht

Skizze

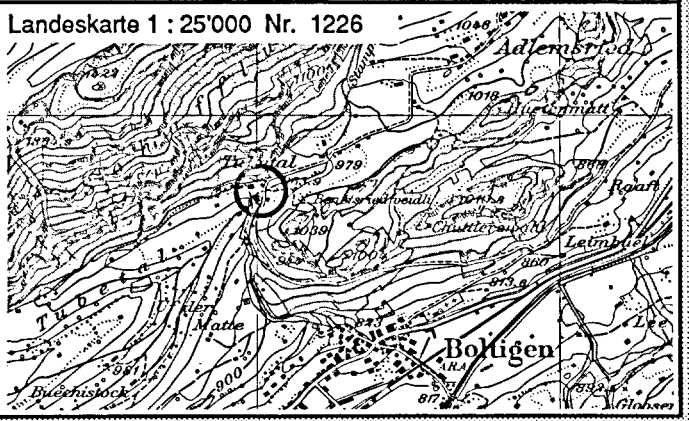


Landeskoordinaten
Y = 596 019.26
X = 164 752.46
H = 963.91

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 38' 7.19"
Λ = 7° 23' 16.64"

gemessen am : 16. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1226

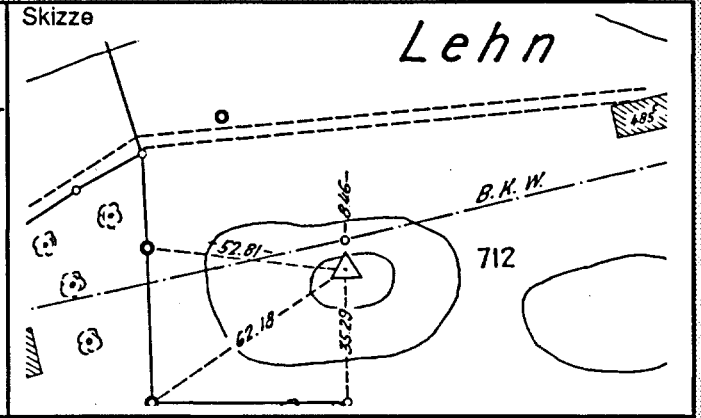


Punkt Nummer : 505
Weissenburg

Gemeinde Oberwil i. S.
Operat 152, Pt. 815

Granitstein, 6 cm über Boden

Skizze

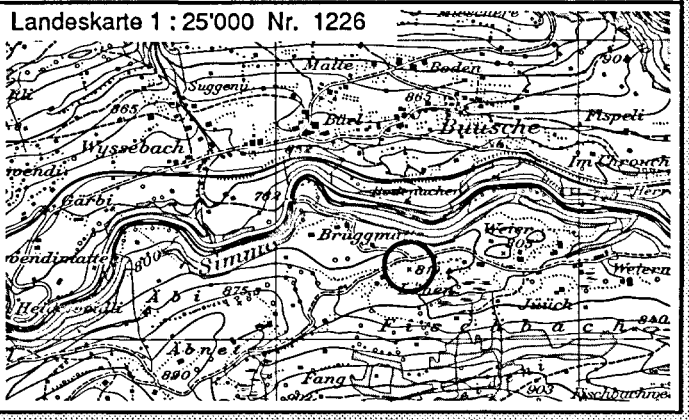


Landeskoordinaten
Y = 601 439.95
X = 167 234.24
H = 819.45

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 39' 36.43"
Λ = 7° 27' 29.96"

gemessen am : 16. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1226



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

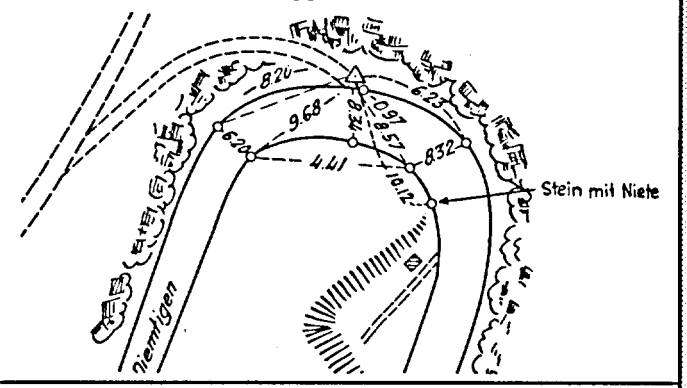
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 506
Diemtigen

Gemeinde Diemtigen
Operat 152, Pt. 413

Granitstein, bodeneben

Skizze

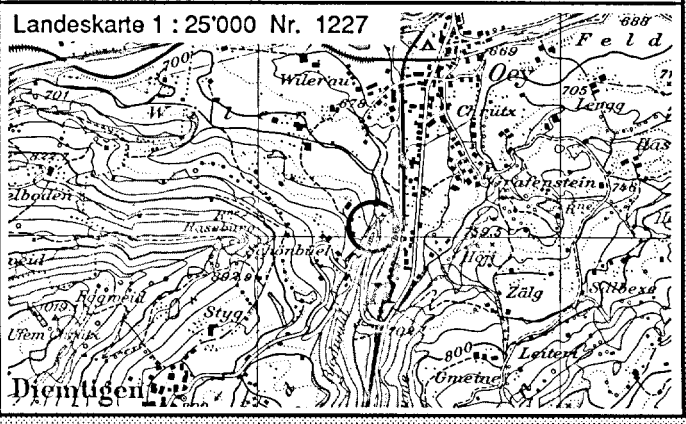


Landeskoordinaten
Y = 610 383.18
X = 167 022.35
H = 729.91

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 39' 34.67"
Λ = 7° 34' 30.66"

gemessen am : 16. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1227

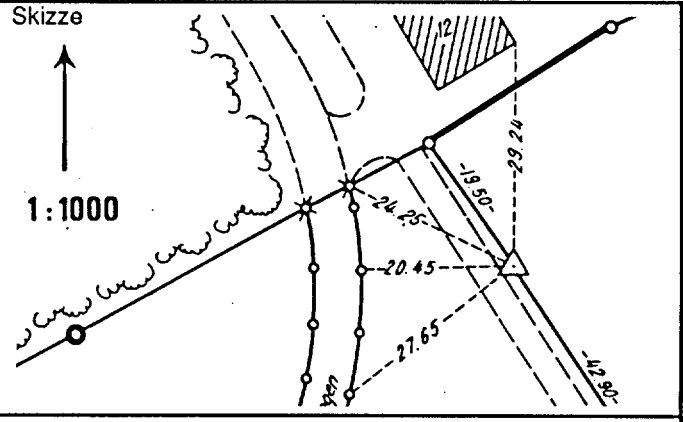


Punkt Nummer : 507
Allmendingen

Gemeinde Thun
Punkt 3. Ordnung, Pt. Nr. 418

Granitstein, bodeneben

Skizze

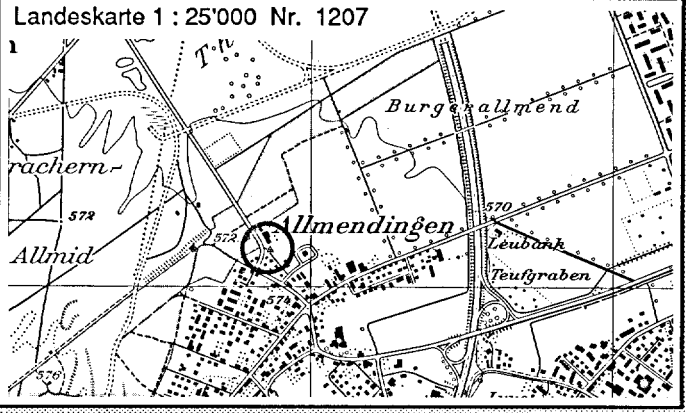


Landeskoordinaten
Y = 611 866.54
X = 177 124.75
H = 572.88

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 44' 55.53"
Λ = 7° 35' 41.65"

gemessen am : 15. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1207



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

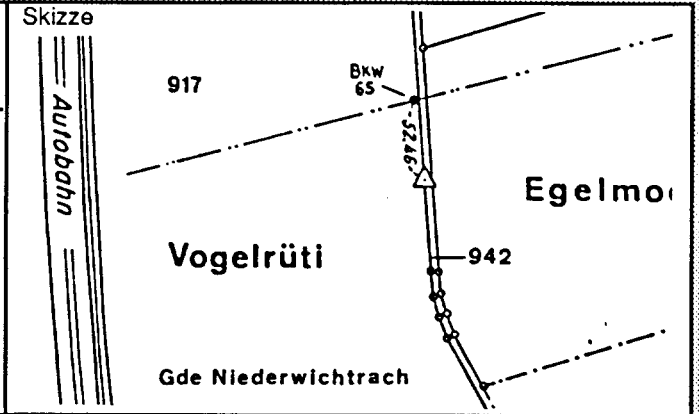
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 508
Wichtrach

Gemeinde Niederwichtrach
Operat 499, Pt. 322

Granitstein, 4 cm über Boden

Skizze

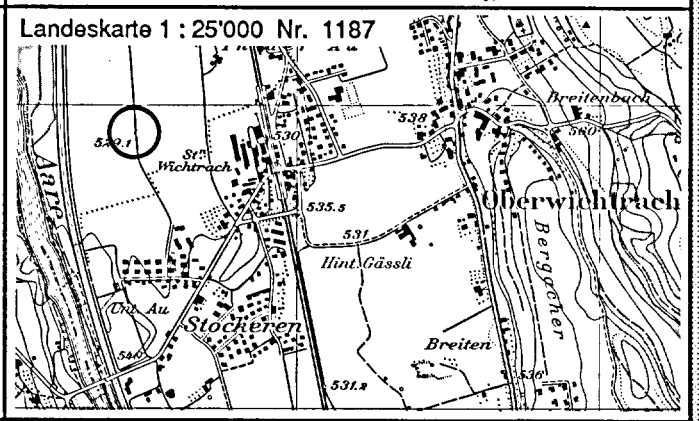


Landeskoordinaten
Y = 609 464.61
X = 187 904.56
H = 529.06

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 50' 38.50"
Λ = 7° 33' 48.12"

gemessen am : 15. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1187

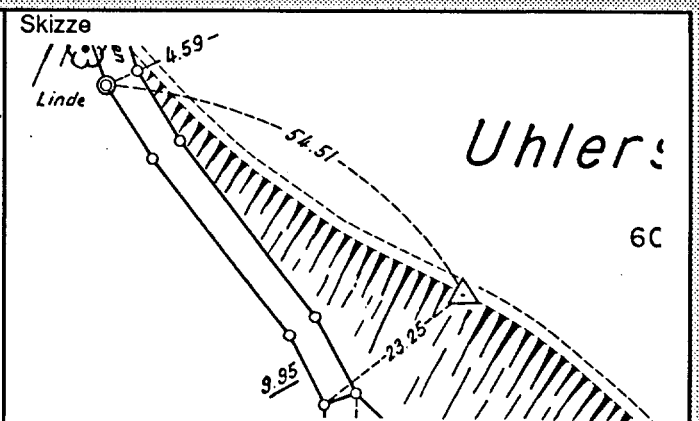


Punkt Nummer : 509
Rubigen

Gemeinde Rubigen
Operat 499, Pt. 1167

Granitstein, bodeneben

Skizze

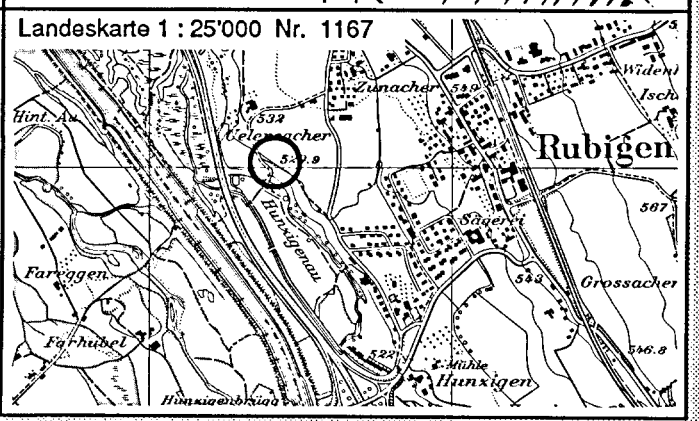


Landeskoordinaten
Y = 607 413.98
X = 194 008.10
H = 529.88

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 53' 55.37"
Λ = 7° 32' 8.61"

gemessen am : 15. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1167



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

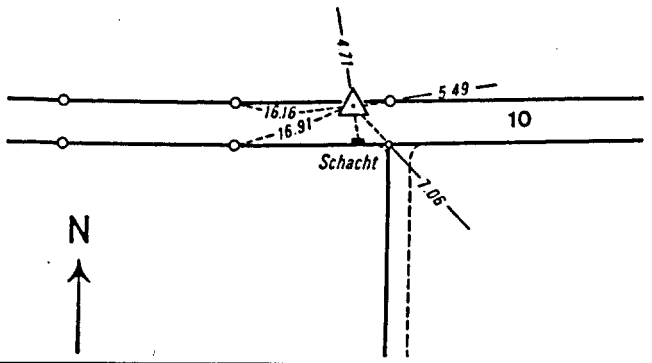
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 510
Diemerswil

Gemeinde Diemerswil
Operat 431, Pt. 639

Granitstein, 13 cm unter Schacht

Skizze

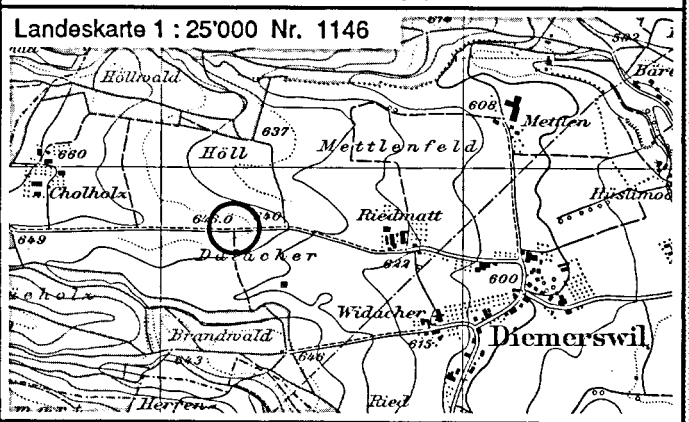


Landeskoordinaten
Y = 598 237.34
X = 207 797.04
H = 646.01

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 1' 19.11"
Λ = 7° 24' 59.31"

gemessen am : 15. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1146

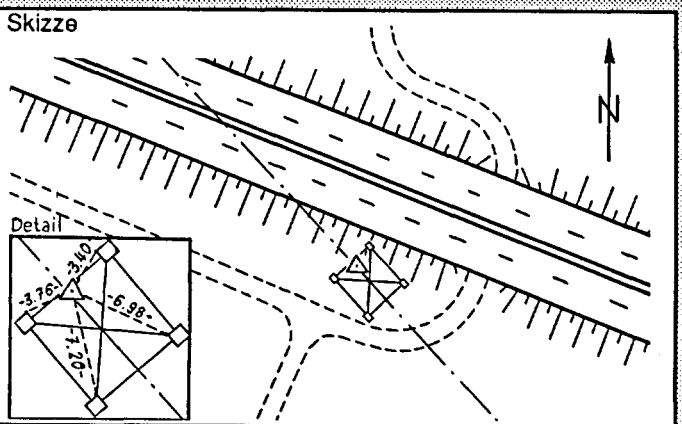


Punkt Nummer : 511
Lyss

Gemeinde Lyss
Operat 389, Pt. 122

Granitstein, bodeneben

Skizze

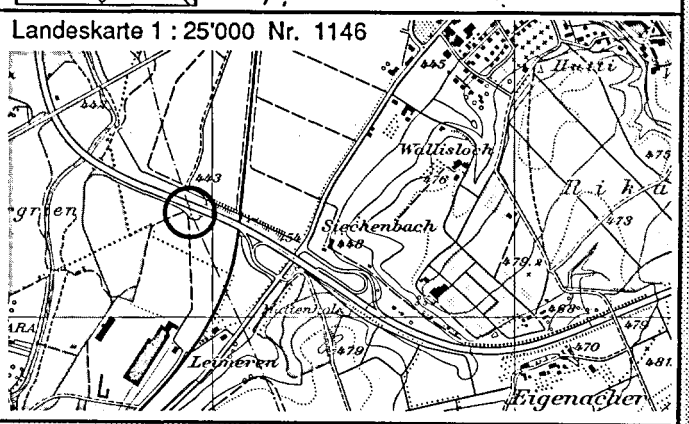


Landeskoordinaten
Y = 588 928.00
X = 212 340.09
H = 443.15

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 3' 43.49"
Λ = 7° 17' 38.44"

gemessen am : 15. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1146



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

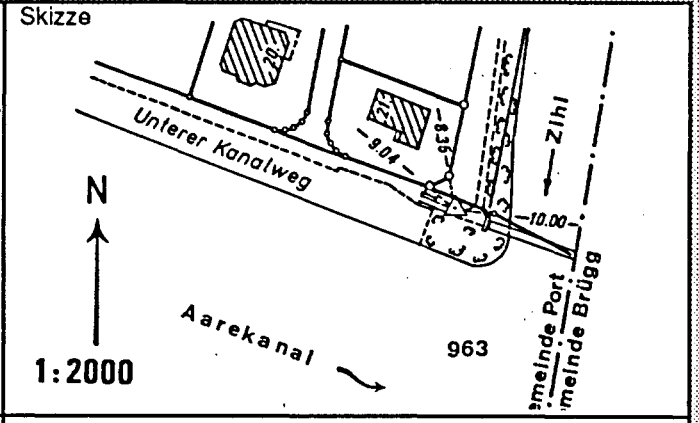
NFP 20 Westtraverse

Punkt Nummer : 512
Nidau

Gemeinde Port
Operat 389, Pt. 053 ZP

Granitstein, bodeneben

Skizze

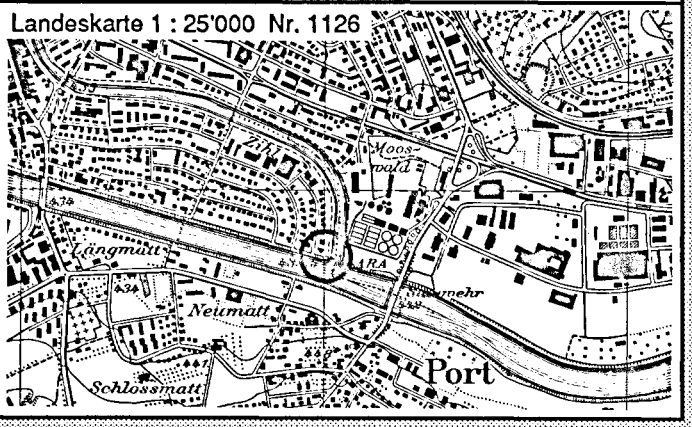


Landeskoordinaten
Y = 586 003.13
X = 218 784.57
H = 433.53

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 7' 7.40"
Λ = 7° 15' 26.18"

gemessen am : 16. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1126

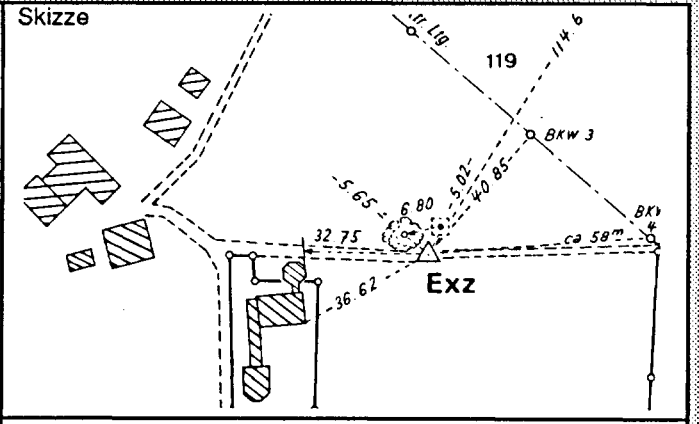


Punkt Nummer : 111
Zimmerwald

Gemeinde Zimmerwald
Operat 530, Pt. 807 Exz

Lochbolzen in Betonsockel

Skizze

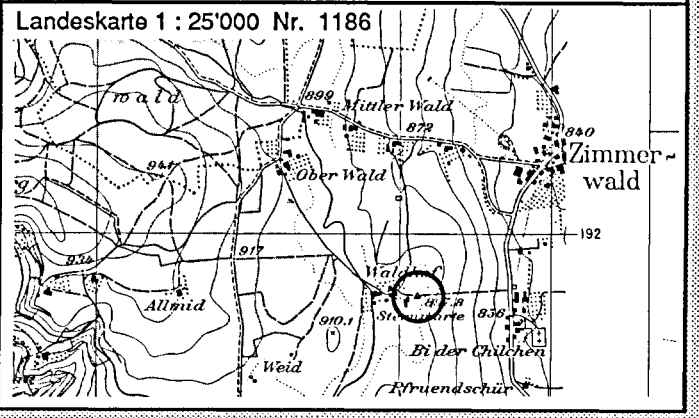


Landeskoordinaten
Y = 602 062.24
X = 191 792.87
H = 897.84

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 52' 45.79"
Λ = 7° 28' 1.63"

gemessen am : 17. 9. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1186



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

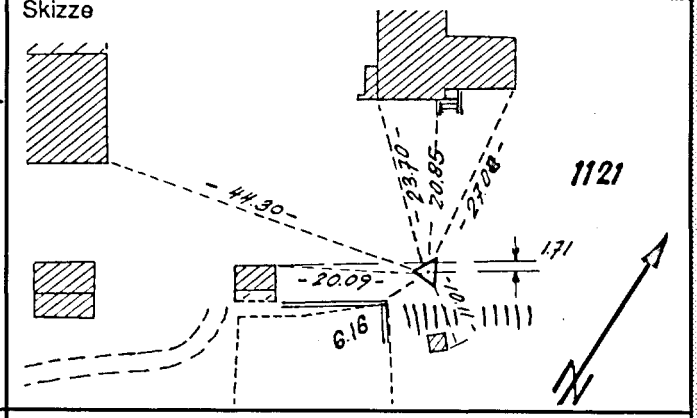
NFP 20 Südtraverse

Punkt Nummer : 601
Gaggiolo

Gemeinde Stabio
Bezirk Mendrisio, Pt. 004

Granitstein, bodeneben

Skizze

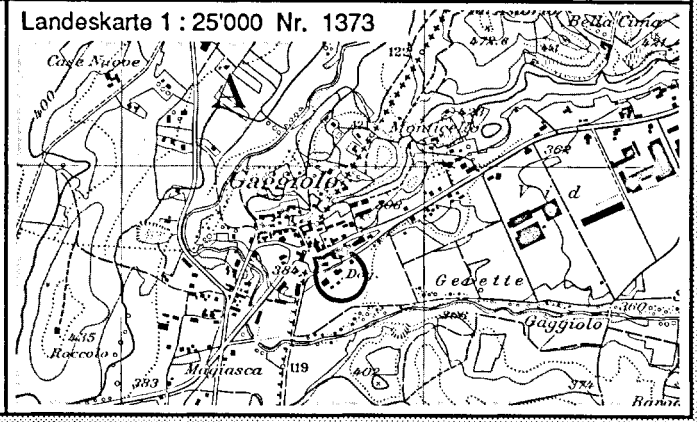


Landeskoordinaten
Y = 714 729.00
X = 77 630.12
H = 376.05

Astronomische Koordinaten
Φ = 45° 50' 5.25"
Λ = 8° 55' 1.94"

gemessen am : 16. 11. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1373

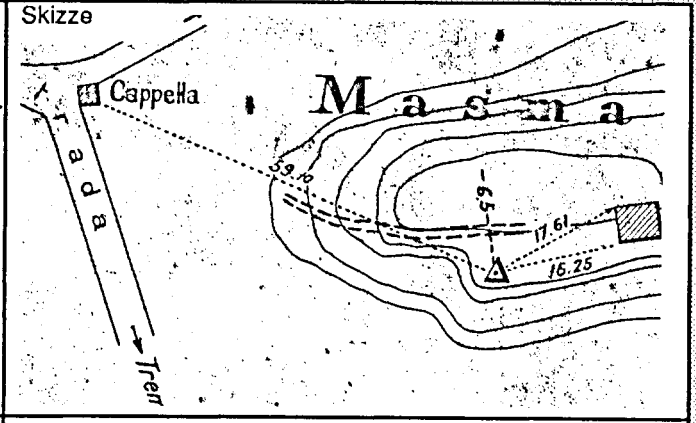


Punkt Nummer : 602
Meride

Gemeinde Meride
Bezirk Mendrisio, Pt. 090

Granitstein, bodeneben

Skizze

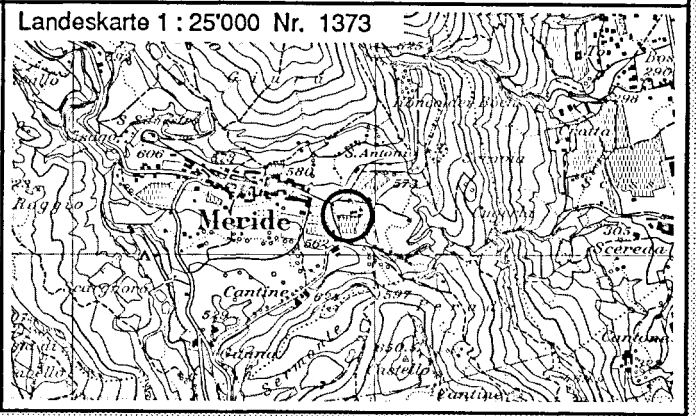


Landeskoordinaten
Y = 717 901.83
X = 83 131.35
H = 573.33

Astronomische Koordinaten
Φ = 45° 53' 3.03"
Λ = 8° 57' 35.23"

gemessen am : 16. 11. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1373



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

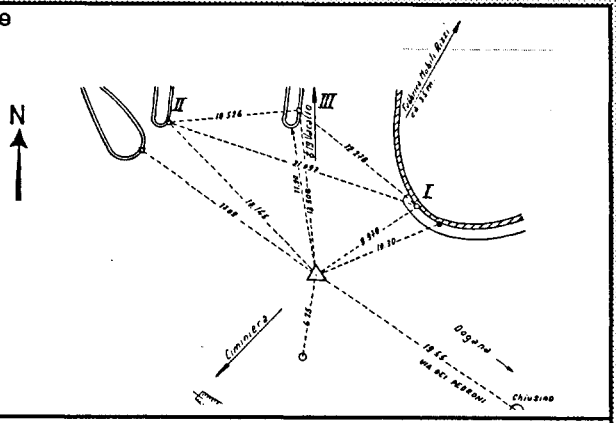
NFP 20 Südtraverse

Punkt Nummer : 603
Chiasso

Gemeinde Chiasso
Bezirk Mendrisio, Pt. 024

Bolzen, 13 cm unter
Gussschacht

Skizze

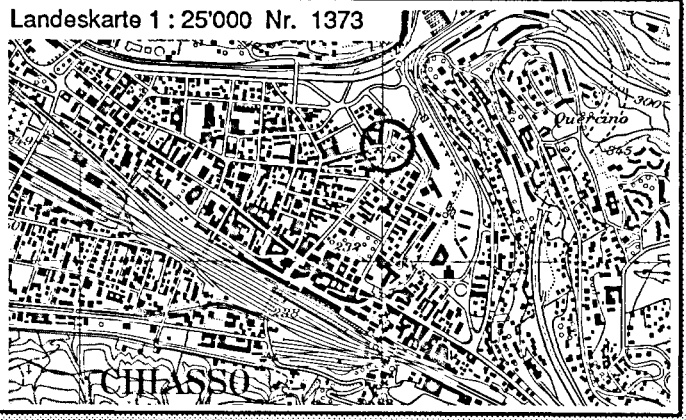


Landeskoordinaten
Y = 724 026.76
X = 77 376.31
H = 230.64

Astronomische Koordinaten
Φ = 45° 49' 48.71"
Λ = 9° 2' 6.23"

gemessen am : 16. 11. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1373

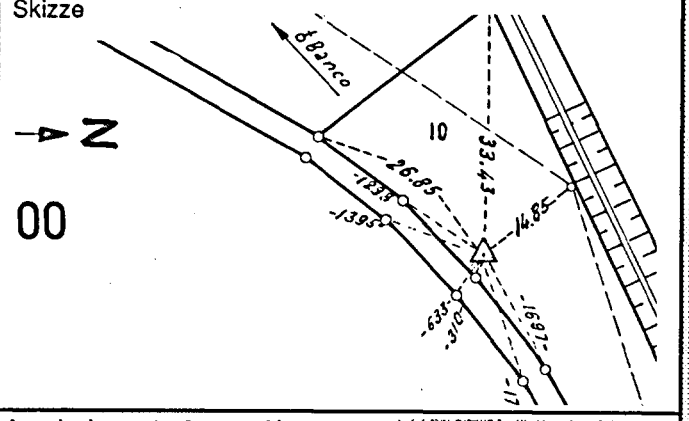


Punkt Nummer : 604
Bedigliora

Gemeinde Bedigliora
Bezirk Lugano, Pt. 084

Granitstein, bodeneben

Skizze

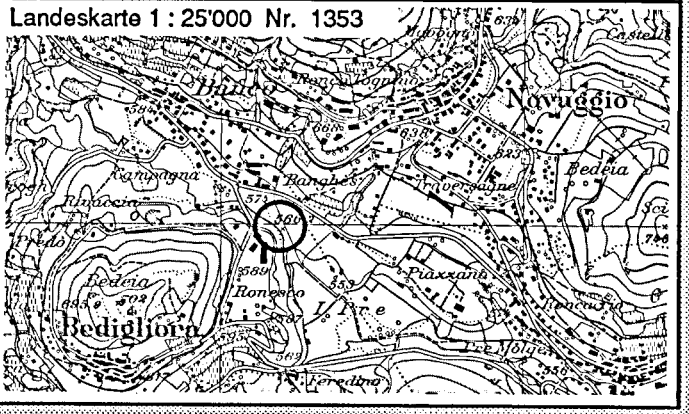


Landeskoordinaten
Y = 709 197.36
X = 95 985.91
H = 566.22

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 0' 0.68"
Λ = 8° 51' 6.14"

gemessen am : 16. 11. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1353



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

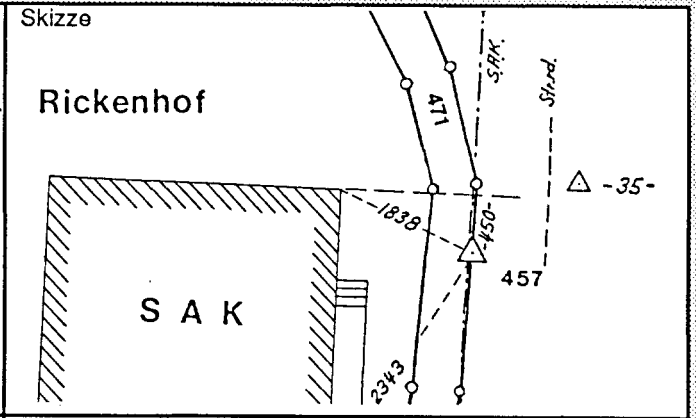
Punktverdichtung Ostschweiz

Punkt Nummer : 501
Wattwil

Gemeinde Wattwil
OPerat 228, Pt. 019

Granitstein, bodeneben

Skizze

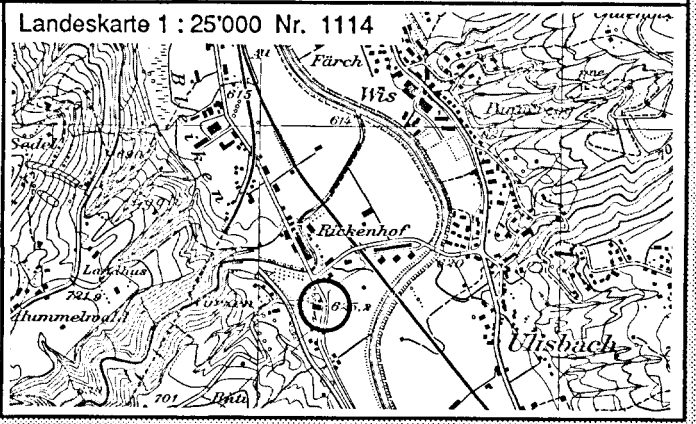


Landeskoordinaten
Y = 725 223.62
X = 238 406.38
H = 625.21

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 17' 12.00"
Λ = 9° 5' 37.29"

gemessen am : 1. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1114

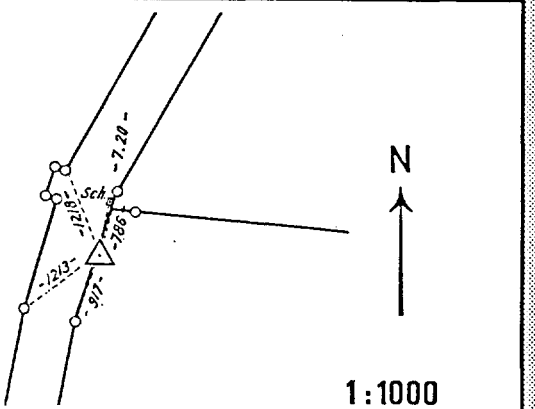


Punkt Nummer : 502
Frasnacht

Gemeinde Egnach
Operat 222, Pt. 213

Granitstein, bodeneben

Skizze

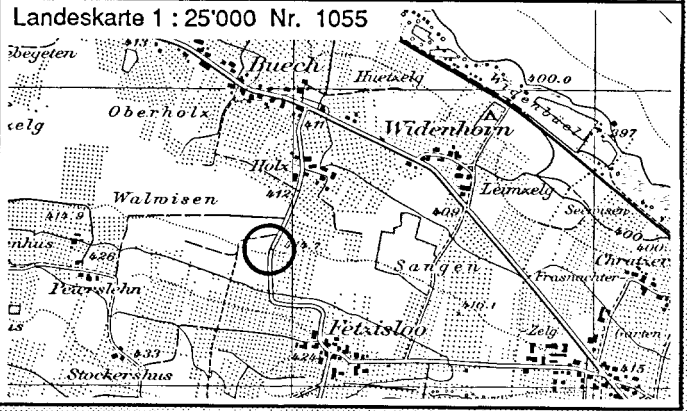


Landeskoordinaten
Y = 746 933.98
X = 266 453.52
H = 414.70

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 32' 0.17"
Λ = 9° 23' 29.58"

gemessen am : 1. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1055



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

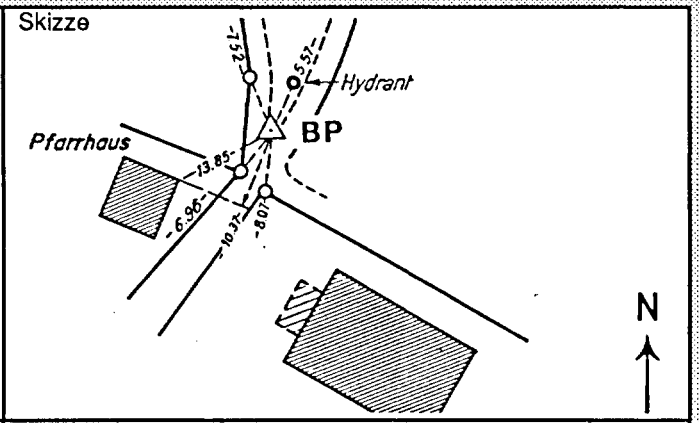
Punktverdichtung Ostschweiz

Punkt Nummer : 503
Altenrhein

Gemeinde Thal
Operat 156a, Pt. 802 BP

Granitstein, 5 cm unter Gussschacht

Skizze

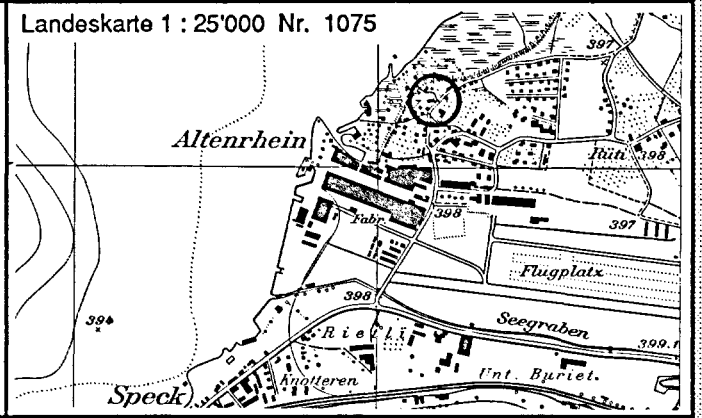


Landeskoordinaten
Y = 759 199.15
X = 262 214.76
H = 397.50

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 29' 36.23"
Λ = 9° 33' 6.11"

gemessen am : 2. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1075

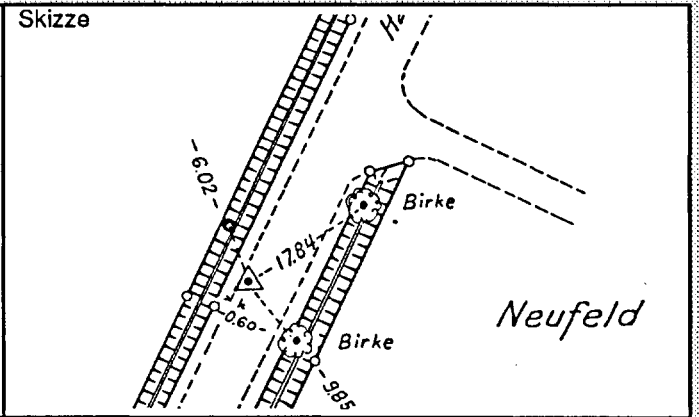


Punkt Nummer : 504
Haag

Gemeinde Sennwald
Operat 274, Pt. 649

Granitstein, 18 cm unter Gussschacht

Skizze

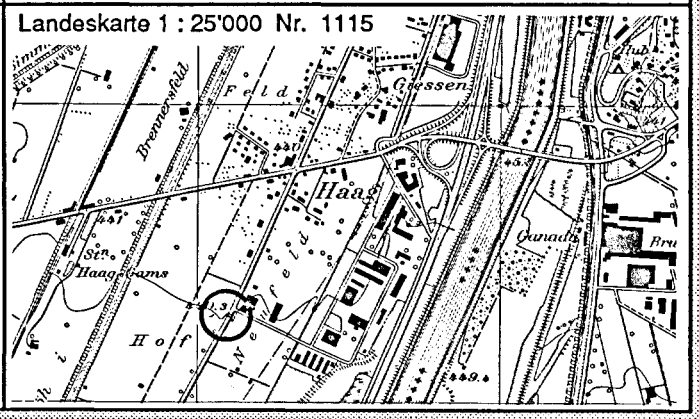


Landeskoordinaten
Y = 755 101.90
X = 230 290.06
H = 440.26

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 12' 26.11"
Λ = 9° 29' 13.44"

gemessen am : 2. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1115



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

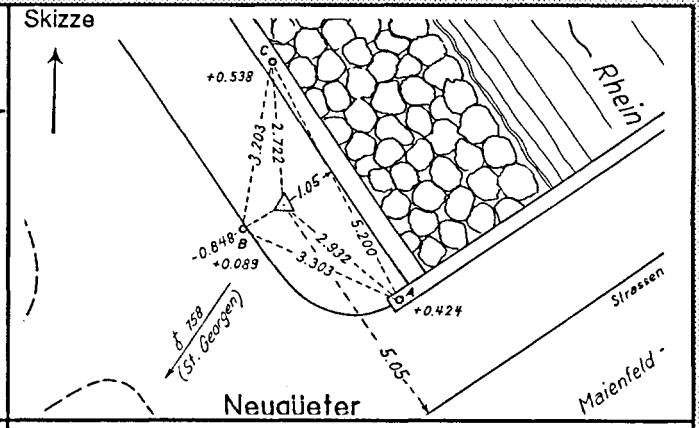
Punktverdichtung Ostschweiz

Punkt Nummer : 505
Bad Ragaz

Gemeinde Bad Ragaz
Operat 338, Pt. 833

Lochbolzen, 11 cm unter Gussschacht

Skizze

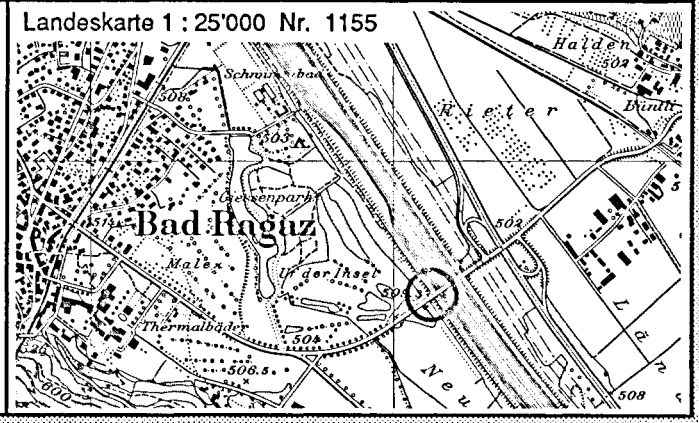


Landeskoordinaten
Y = 758 123.16
X = 207 564.71
H = 509.06

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 0' 8.13"
Λ = 9° 31' 5.25"

gemessen am : 2. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1155

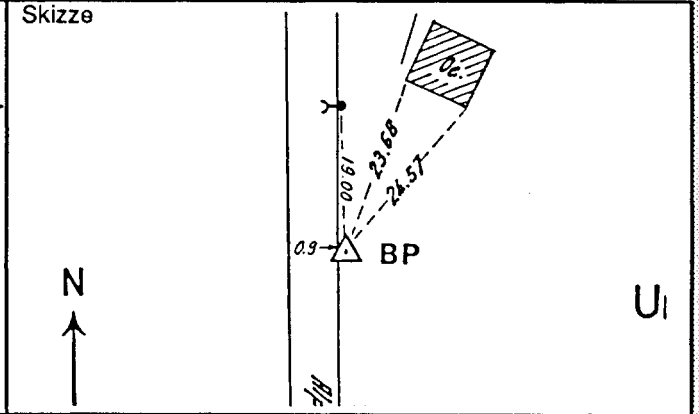


Punkt Nummer : 506
Weisstannen

Gemeinde Mels
Operat 325, Pt. 135 BP

Granitstein, 15 cm unter Boden

Skizze

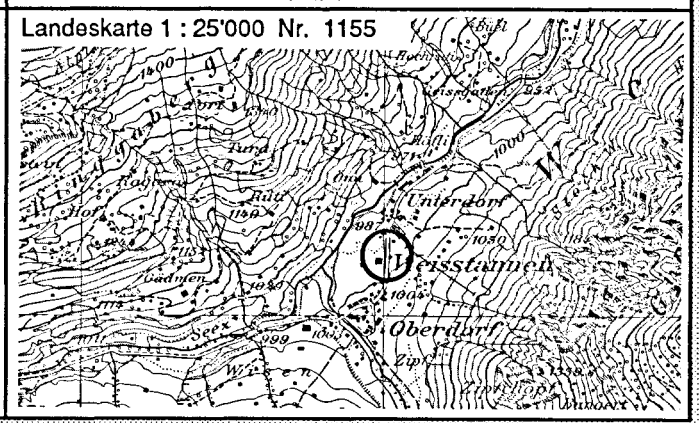


Landeskoordinaten
Y = 745 013.16
X = 206 201.44
H = 993.79

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 59' 41.42"
Λ = 9° 20' 52.64"

gemessen am : 2. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1155



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

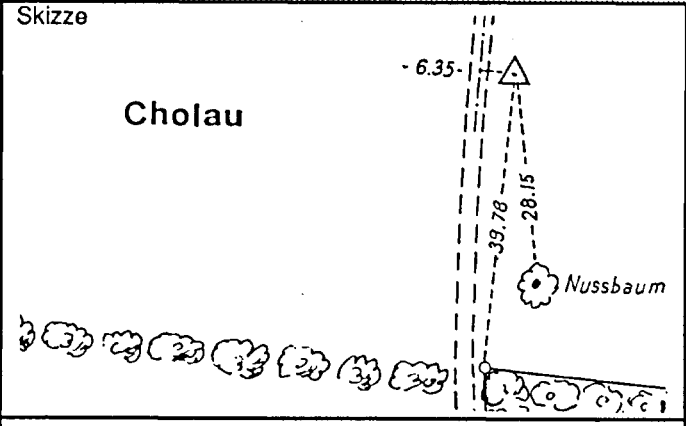
Punktverdichtung Ostschweiz

Punkt Nummer : 507
Sevelen

Gemeinde Wartau
Operat 297, Pt. 741

Granitstein, 5 cm über Boden

Skizze

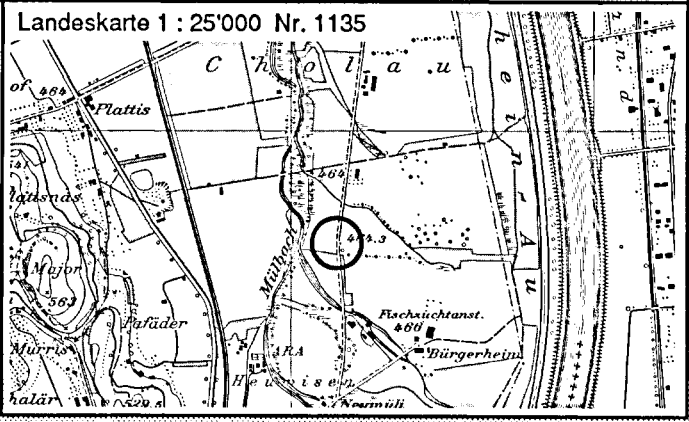


Landeskoordinaten
Y = 757 161.15
X = 218 630.97
H = 464.34

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 6' 7.25"
Λ = 9° 30' 25.42"

gemessen am : 3. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1135

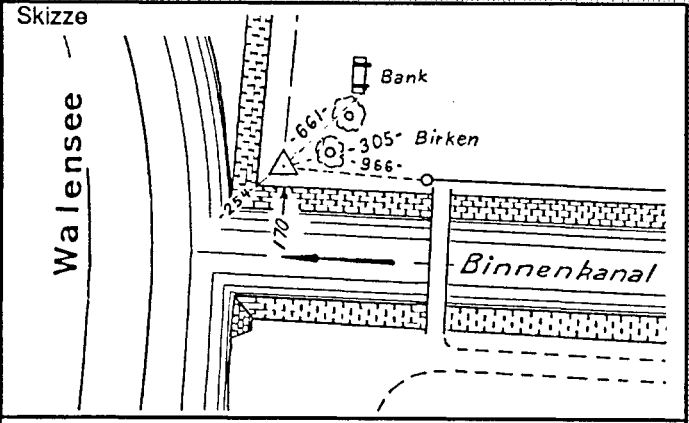


Punkt Nummer : 508
Walenstadt

Gemeinde Walenstadt
Operat 297, Pt. 829

Granitstein, bodeneben

Skizze

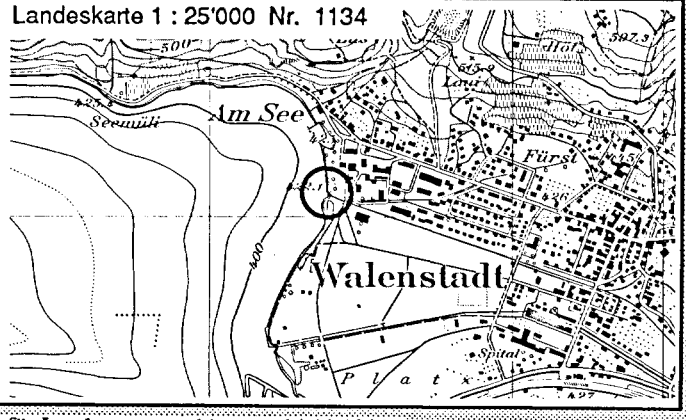


Landeskoordinaten
Y = 741 395.90
X = 221 079.56
H = 422.12

Astronomische Koordinaten
Φ = 47° 7' 30.80"
Λ = 9° 18' 6.94"

gemessen am : 3. 7. 1986

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1134



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

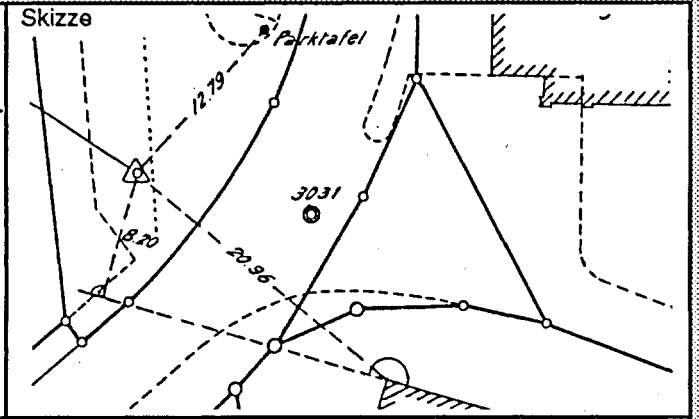
Punktverdichtung Ostschweiz

Punkt Nummer : 509
Klosters

Gemeinde Klosters
Operat 411, Pt. 178

Granitstein, bodeneben

Skizze

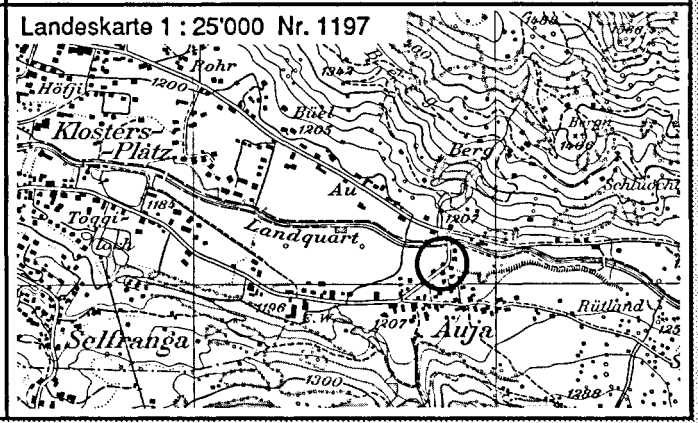


Landeskoordinaten
Y = 787 829.20
X = 193 070.51
H = 1207.32

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 51' 53.83"
Λ = 9° 53' 46.44"

gemessen am : 1. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1197

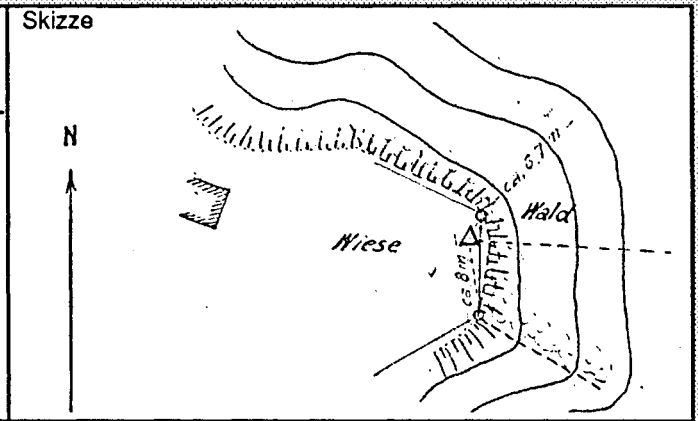


Punkt Nummer : 510
Glaris

Gemeinde Davos

behauener Stein, 12 x 12 cm
bodeneben

Skizze

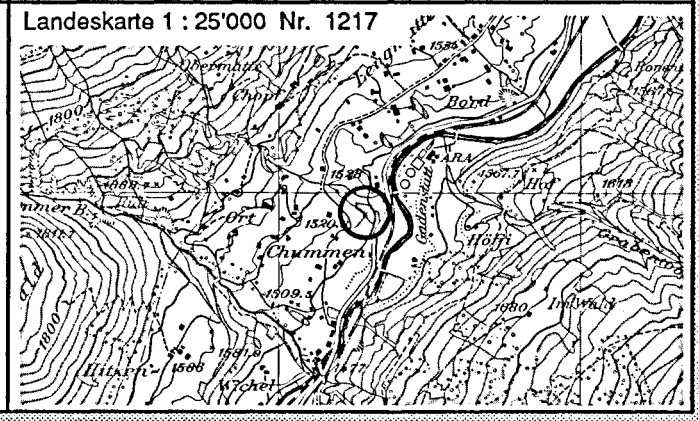


Landeskoordinaten
Y = 779 285.11
X = 180 928.47
H = 1520.85

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 45' 27.28"
Λ = 9° 46' 58.90"

gemessen am : 2. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1217



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

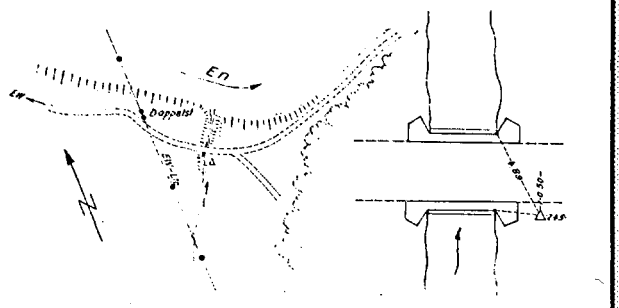
Punktverdichtung Ostschweiz

Punkt Nummer : 511
Pradella

Gemeinde Scuol
Operat 358, Pt. 140

Granitstein, bodeneben

Skizze

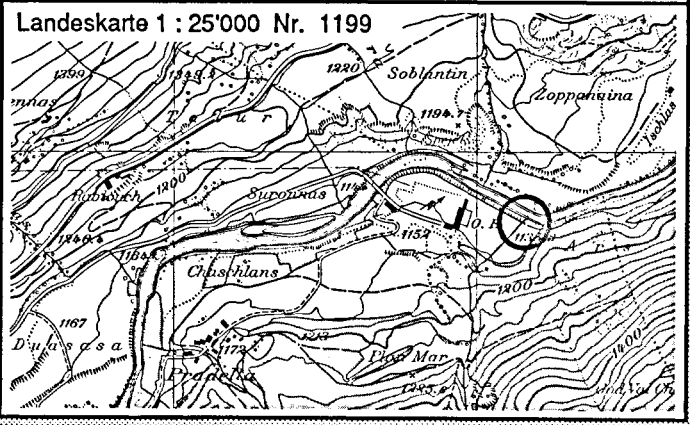


Landeskoordinaten
Y = 821 155.03
X = 187 762.90
H = 1135.77

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 48' 22.68"
Λ = 10° 20' 7.27"

gemessen am : 19. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1199

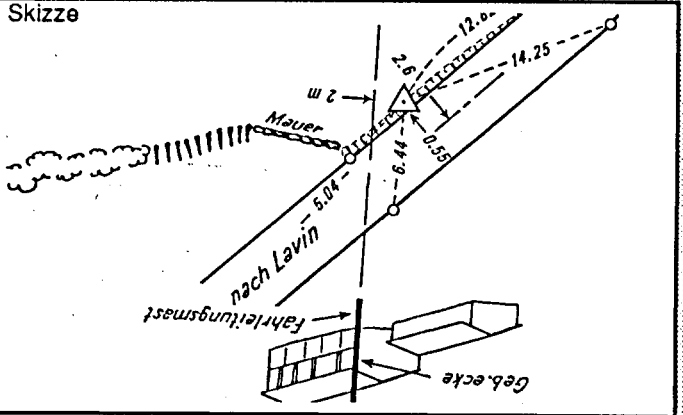


Punkt Nummer : 512
Lavin

Gemeinde Lavin
Kreis Obtasna, Pt. 420

Granitstein, 10 cm über Boden

Skizze

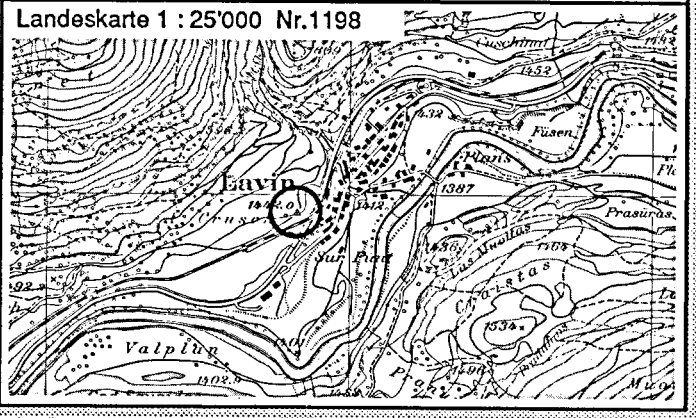


Landeskoordinaten
Y = 803 822.05
X = 182 936.61
H = 1441.98

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 45' 59.28"
Λ = 10° 6' 27.68"

gemessen am : 19. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr.1198



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

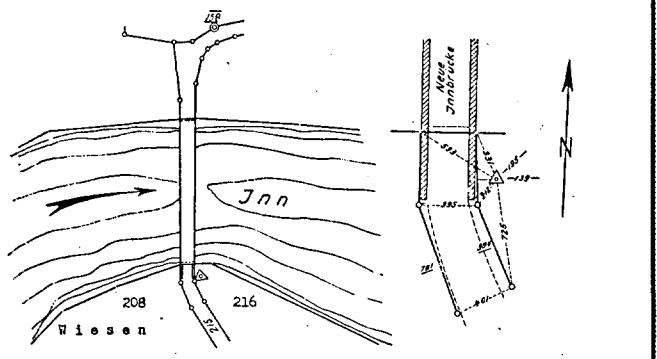
Punktverdichtung Ostschweiz

Punkt Nummer : 513
S-chanf

Gemeinde S-chanf
Sektion Zernez, Pt. 138

Behauener Stein, 10 cm
über Boden

Skizze

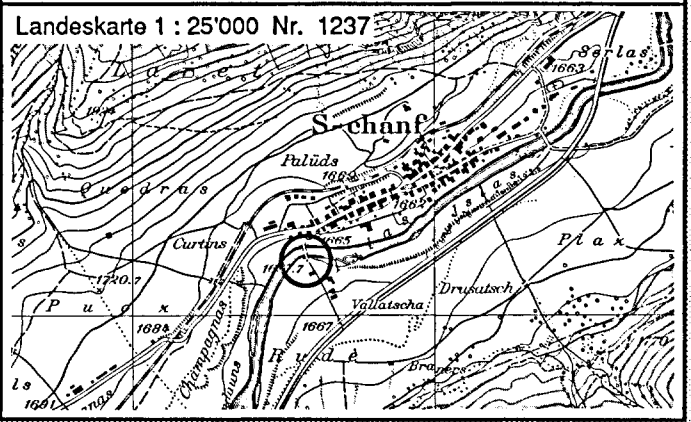


Landeskoordinaten
Y = 794 571.34
X = 165 185.98
H = 1657.75

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 36' 38.30"
Λ = 9° 58' 42.61"

gemessen am : 19. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr. 1237

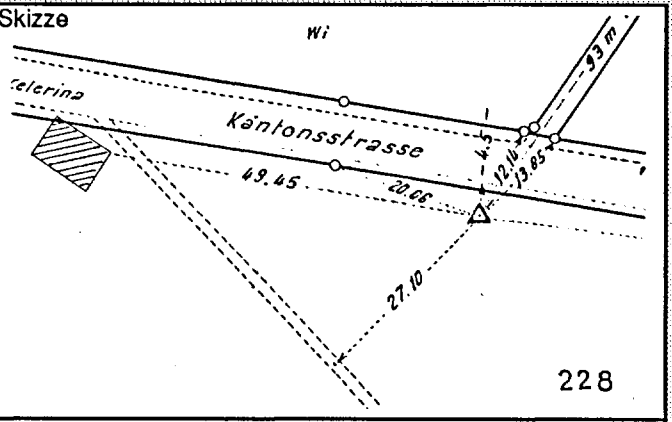


Punkt Nummer : 514
Celerina

Gemeinde Celerina
Sektion St.Moritz, Pt. 65

Behauener Stein, 15 x 15 cm

Skizze

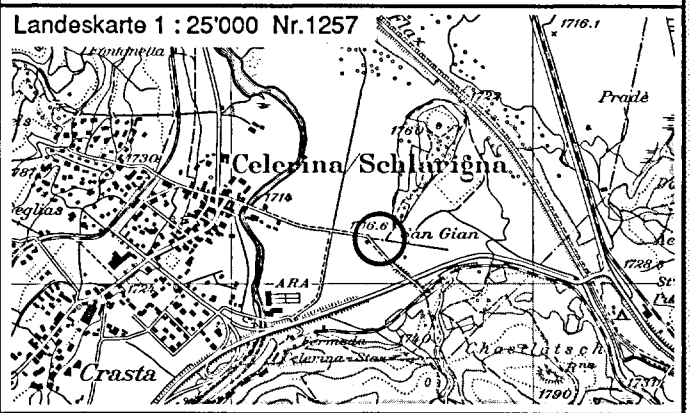


Landeskoordinaten
Y = 786 498.20
X = 154 136.40
H = 1716.63

Astronomische Koordinaten
Φ = 46° 30' 51.49"
Λ = 9° 52' 5.00"

gemessen am : 19. 10. 1987

Landeskarte 1 : 25'000 Nr.1257



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 14.11.1991

Anhang A4: Datensatz für die Analyse GPS - Landesnetz

		Landeskoordinaten			GPS-Koordinaten		
201	Versoix	502350.00	125548.29	373.32	502349.1428	125548.4758	371.0490
202	Allaman	519392.97	147156.97	420.52	519392.3061	147157.5225	418.9620
203	Les Verrieres	531613.68	201543.13	1054.67	531613.3785	201543.4288	1054.9070
204	Estavayer	556732.20	188115.80	488.07	556731.9515	188116.0705	487.2571
205	Forclaz	566803.85	106419.78	1061.37	566802.9634	106419.9969	1061.8073
206	Albeuve	570189.11	150195.39	806.25	570188.6553	150195.5698	806.1649
207	Chasseral	571096.95	220267.86	1597.68	571097.0003	220268.5682	1598.1707
208	Montignez	571760.03	260010.25	438.86	571760.3027	260010.8795	439.5697
209	Delémont	592358.96	244515.33	423.59	592359.2939	244515.8372	424.1344
210	Susten	616048.68	127958.02	677.11	616048.2506	127958.0400	677.8725
211	Zimmerwald	602030.68	191775.03	907.10	602030.6801	191775.0300	906.6700
213	Chrischona	617306.25	268507.28	456.07	617306.8913	268507.9011	457.2789
215	Zermatt	623706.73	96020.41	1687.58	623705.9350	96020.0730	1690.8231
216	Visp	634005.91	126709.34	652.41	634005.3859	126708.9791	654.2052
217	Brittnau	639044.13	232131.44	456.95	639044.5924	232131.5270	456.8101
218	Brienz	646700.87	177636.12	565.34	646701.1575	177635.8319	566.2827
219	Horw	666263.12	207075.17	436.77	666263.8311	207075.0473	436.5677
221	Lägern	672525.09	259423.96	852.96	672526.0480	259423.9082	853.4612
222	Altdorf	690779.61	190960.23	477.90	690780.1674	190959.7905	478.9028
223	Stetten	690850.69	288484.31	588.87	690851.8090	288484.0820	590.5756
224	Wollerau	697717.01	228002.66	513.14	697717.7681	228002.4562	512.9246
226	Wängi	712962.51	261577.76	486.48	712963.3858	261577.4649	486.6860
227	Dornhaus	720963.82	201157.66	593.45	720964.3998	201157.1633	594.7088
228	Monte Generoso	722649.14	87787.85	1692.65	722649.4130	87786.3296	1690.7179
229	Bellinzona	722418.26	118449.33	232.42	722418.7077	118448.4153	232.5673
231	Walenstadt	745131.31	218210.06	439.03	745132.0515	218209.8843	439.7002
232	Romanshorn	745582.93	271015.21	398.75	745583.6284	271014.7620	399.0065
233	Cazis	751443.89	180362.98	626.36	751444.8457	180362.5877	627.6999
234	Landquart	761731.48	203368.15	526.87	761732.2927	203368.0346	527.8872
235	Au	765933.35	254777.68	404.27	765933.6646	254777.4014	404.7199
236	Bivio	774277.55	148737.23	2147.65	774278.6121	148736.8538	2150.9007
237	Brusio	804942.16	128082.44	965.14	804943.9103	128082.3689	967.9847
238	Lavin	803822.05	182936.61	1441.98	803822.9016	182936.4633	1446.1343
239	Martina	827445.72	193499.28	1092.64	827446.8951	193499.4705	1097.3983
1	Andeer	752232.73	162014.72	1087.98	752233.4353	162014.1874	1090.1238
4	Gotthard Sued	686416.24	156226.70	2109.29	686416.4916	156226.3952	2111.8053
5	Hochalp	736984.12	237658.69	1521.53	736984.7476	237658.3654	1522.2667
6	Huetten	637722.21	274948.45	9999.99	637723.0134	274948.8444	897.2840
7	Jeizinen GPS	621906.95	130595.87	1528.12	621906.5095	130595.8214	1527.0455
8	Jungfraujoch	641940.29	155288.22	3571.44	641940.1502	155287.9413	3574.4799
10	Titlis	675238.63	180410.47	3040.40	675239.1488	180410.2125	3042.3891
3	Generoso D	722492.47	87449.73	1599.66	722492.6453	87448.2445	1597.7407

"Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz" (Fortsetzung der Publikationsreihe "Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz") der Schweizerischen Geodätischen Kommission (ab Bd. 32):

32 1978 Das Geoid in der Schweiz. W. Gurtner. 103 Seiten.

33 1977 Integrale Auswertung von Satellitenbeobachtungen. G. Beutler. 114 Seiten.

34 1982 Lösung von Parameterbestimmungsproblemen in Himmelsmechanik und Satellitengeodäsie mit modernen Hilfsmitteln. G. Beutler. 257 Seiten.

35 1982 Schwere-Anomalien und isostatische Modelle in der Schweiz:
I. Zum Konzept der isostatischen Modelle in Gebirgen am Beispiel der Schweizer Alpen. E. Klingelé und E. Kissling.
II. Aufbau der Kruste und des oberen Mantels in der Schweiz. E. Kissling.
III. Gravimetrische Untersuchungen in der Kontaktzone Helvetikum/Aar-Massiv.
P.J.Cagienard, H.-G. Kahle, St. Müller und E. Klingelé. 169 Seiten, 1 Karte.

36 1984 Ein gravimetrisches Krusten-Mantel-Modell für ein Profil im nördlichen Alpenvorland bis an die Ligurische Küste. H. Schwendener. 160 Seiten.

37 1986 Les levés aéromagnetiques de la Suisse. E. Klingelé. 69 Seiten.

38 1986 Lokale Schwerefeldbestimmung und gravimetrische Modellrechnungen im Satelliten (GPS)- Testnetz "Turtmann" (Wallis). I. Bernauer, A. Geiger. 106 Seiten.

39 1989 125 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission
I. Bedeutung geodätischer Raumverfahren für Landesvermessung und Geodynamik. (R. Sigl)
II. Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik. (H.-G. Kahle)
III. L'état actuel de la recherche sur les movements de l'écorce terrestre en Suisse. (F. Jeanrichard)
IV. Die Satellitengeodäsie im Dienste der globalen Geodynamik. (I. Bauersima)
V. Die Veranstaltungen zum 125 Jahr-Jubiläum der Schweizerischen Geodätischen Kommission. (W. Fischer). 62 Seiten.

40 1989 Integrale Schwerefeldbestimmung in der Ivrea- Zone und deren geophysikalische Interpretation. B. Bürki. 186 Seiten.

41 1990 ALGESTAR satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz. U. Marti. 61 Seiten plus Punktprotokolle.

42 1990 Höhensysteme, Schwerepotentiale und Niveauflächen: Systematische Untersuchungen zur zukünftigen terrestrischen und GPS-gestützten Höhenbestimmung in der Schweiz. B. Wirth. 204 Seiten.

43 1990 Gravimetrisches Geoid der Schweiz: Potentialtheoretische Untersuchungen zum Schwerefeld im Alpenraum. A. Geiger. 231 Seiten.

44 1991 Rapid Differential Positioning with the Global Positioning System (GPS). E. Frei. 178 Seiten.

45 1992 Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985-1990 Teil I. F. Jeanrichard (Hrsg.) Autoren: A.Geiger, H.-G. Kahle, R. Köchle, D. Meier, B. Neininger, D. Schneider, B. Wirth. 183 Seiten.

46 1993 Orbits of Satellite Systems in Space Geodesy. M. Rothacher. 243 Seiten.

47 1993 NFP 20. Beitrag der Geodäsie zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik. H.-G. Kahle (Hrsg.) Autoren: I. Bauersima, G. Beutler, B. Bürki, M. Cocard, A. Geiger, E. Gubler, W. Gurtner, H.-G. Kahle, U. Marti, B. Mattli, M. Rothacher, Th. Schildknecht, D. Schneider, A. Wiget, B. Wirth. 153 Seiten plus 90 Seiten Anhang.