

Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz

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

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission

und der

Schweizerischen Geophysikalischen Kommission
(Organe der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften)

Vierundfünfzigster Band

Volume 54

**SG 95: Das neue Schweregrundnetz
der Schweiz**

Felix Arnet
Emile Klingelé

1997

Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz

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

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission

und der

Schweizerischen Geophysikalischen Kommission
(Organe der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften)

Vierundfünfzigster Band

Volume 54

**SG 95: Das neue Schweregrundnetz
der Schweiz**

Felix Arnet
Emile Klingelé

1997

Adresse der Schweizerischen Geodätischen Kommission:

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

Redaktion des 54. Bandes:
Dr. F. Arnet, Dr. B. Bürki

Druck: Print-Atelier E. Zingg, Zürich

VORWORT

Die Hochauflösung der Feinstruktur des Schwerefeldes ist in den letzten Jahren zu einem wichtigen Forschungsthema geworden, das in vielen Bereichen der Geowissenschaften intensiv bearbeitet wird. Satellitengestützte Messmethoden, wie GPS, haben zur zentralen Frage geführt, wie ellipsoidische Höhen mit nivellierten Höhen verknüpft werden können. In der Schweiz liegen die Unterschiede zwischen dem globalen Referenzellipsoid, auf das sich die GPS-Messungen beziehen, und dem Geoid, auf das sich nivellierte Höhen beziehen, in der Grössenordnung von 50m. Das Bundesamt für Landestopographie (L+T) hat in der Folge des Aufbaus des US Navigationssystems GPS ein neues Landes-Referenznetz für die Schweiz etabliert (LV 95). In diesem Zusammenhang hat es sich als notwendig erwiesen, auch das vorhandene Schweregrundnetz der Schweiz neu zu definieren und den modernen satellitengeodätischen Techniken anzupassen.

In der vorliegenden Abhandlung von Herrn Dr. Ing. F. Arnet und Prof. Dr. E. Klingelé wird das Ergebnis dieser Arbeiten vorgestellt und den Nutzern aus Geophysik und Geodäsie zugänglich gemacht. Es handelt sich um die vollkommene Neubestimmung des Schweizerischen Schweregrundnetzes: SG95. Grundlage bilden fünf absolute Schwerestationen sowie Neumessungen der Schwerebeschleunigung auf dem LV95 Netz. Die Arbeit ist disziplinübergreifend und integrierender Bestandteil der Internationalen Gravimetrie-Kommission der IAG. Sie wurde als Gemeinschaftsprojekt der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) und der Geophysikalischen Kommission (SGPK) konzipiert und auch realisiert.

Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. E. Klingelé, der dieses wichtige Thema aufgegriffen, geplant und realisiert hat. Herr Dr. Ing. F. Arnet hat die Relativ-Messungen durchgeführt und die Ausgleichsrechnungen vorgenommen. Die Autoren leisten mit diesem Bericht einen wertvollen Beitrag für alle zukünftigen relativen Schweremessungen in der Schweiz und tragen damit wesentlich zur Brückenbildung zwischen der Geodäsie und Geophysik bei. Besonders danken möchten wir auch Herrn Dr. D. Ruess, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Österreich, der die mit dem JILA-Instrument durchgeführten Absolutmessungen ausgewertet hat. Von der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SANW) wurden die Druckkosten übernommen, wofür die SGK und SGPK ihren Dank aussprechen.

Im Namen der Schweizerischen Geodätischen und Geophysikalischen Kommissionen:

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

Direktor F. Jeanrichard
Bundesamt für Landestopographie
Vizepräsident der SGK

Prof. Dr. E. Klingelé
ETH Zürich
Präsident der SGPK

PREFACE

Durant les années passées la haute définition de la structure fine du champ de pesanteur est devenu un important thème de recherche en sciences de la terre. Les méthodes de mesures par satellite comme le GPS par exemple ont conduits à la question centrale de la liaison entre les hauteurs ellipsoïdales et les hauteurs obtenues par nivellement. En Suisse la différence entre l'ellipsoïde de référence, auxquels sont rattachées les mesures GPS et le géoïde, auquel sont rattachées les hauteurs nivelées est de l'ordre de 50 mètres. A la suite de la mise en service du système GPS, le Service Topographique Fédéral a établi un nouveau système national de référence (LV95). Dans cette optique il est apparu nécessaire de redéfinir le réseau gravimétrique existant afin de l'adapter aux techniques modernes de la géodésie spatiale.

Dans le présent rapport dû à MM. F. Arnet et E. Klingelé les résultats de la nouvelle détermination du réseau Fondamental Suisse de la Pesanteur (SG 95) sont présentés et mis à la disposition des utilisateurs. Cette documentation décrit les cinq stations absolues ainsi que les nouvelles mesures de pesanteur coïncidant avec le réseau NV95. Ce travail interdisciplinaire correspond à une des tâche recommandée par la Commission Gravimétrique Internationale de l'IAG. Il a été réalisé en commun par les Commissions Suisses de Géodésie et de Géophysique.

Nous tenons à remercier particulièrement Monsieur E. Klingelé d'avoir vu l'importance d'un tel projet, de l'avoir planifié et de l'avoir conduit à termes. Monsieur F. Arnet a exécuté toutes les mesures relatives et a procédé à l'égalisation complète du réseau. Les auteurs ont accompli avec ce projet une contribution de valeur pour les mesures gravimétriques futures en suisse et ont jeté un important pont entre la géodésie et la géophysique. Nous devons un remerciement particulier à Monsieur D. Ruess de l'Office Fédéral Autrichien des Mensurations qui a procédé aux mesures et au traitement des stations absolues à l'aide de l'instrument JILAg.

L'Académie Suisse des Sciences Naturelles (ASSN) a pris à sa charge les frais d'impression de ce fascicule ce dont les Commissions Suisse de Géodésie et de Géophysique lui sont particulièrement reconnaissantes.

Au nom des Commissions Suisse de Géodésie et de Géophysiques:

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

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

Prof. Dr. E. Klingelé
ETH Zürich
Président de la CSGP

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Feldarbeit	3
2.1 Absolutmessungen	3
2.2 Relativmessungen	3
2.3 Vorgehen Feldarbeit	3
2.4 Messanordnung	4
3. Auswertung	11
4. Resultate	15
Literaturverzeichnis	18
Anhang A : Punktbeschreibungen Absolutpunkte (Punkte 0. Ordnung)	19
Anhang B : Ergänzende Punktbeschreibungen Punkte 1. Ordnung	27
Anhang C : Ergänzende Punktbeschreibungen Punkte 2. Ordnung	30
Anhang D : Berechnete Schwerewerte für alle Punkte 0. bis 2. Ordnung	35



1. Einleitung

Erste Schweremessungen wurden in der Schweiz 1910 - 1921 im Auftrag der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) durchgeführt. Auf 321 gleichmässig über das Land verteilten Punkten wurden die Schwerewerte mittels eines Sterneck-Pendelapparates mit einer für damalige Verhältnisse hervorragenden Genauigkeit von $\pm 1 \text{ mgal}$ (10^{-5} m s^{-2}) bestimmt. Dieses Netz genügte den damaligen Ansprüchen vollauf.

Um auf den gleichen Stand wie im Ausland zu gelangen, wurde 1953 von der SGK beschlossen, im Gebiet der Schweiz neue Schweremessungen durchzuführen. In der Zeit zwischen 1953 bis und 1957 wurde in der Schweiz ein Schweregrundnetz mit 123 Stationen und über 500 Stationen im Rahmen des "Réseau Européen Unifié de Nivellement" mittels eines Worden-Gravimeters eingemessen. Die relative Genauigkeit zwischen zwei benachbarten Stationen betrug dabei rund 0.02 mgal.

Weitere gravimetrische Arbeiten in der Schweiz, die vor allem zur Herstellung von Bouguer-Karten verwendet wurden, sind von Klingelé [1972] und von Klingelé et al. [1982] durchgeführt worden. Seit 1990 läuft ein Projekt der Schweizerischen Geophysikalischen Kommission (SGPK), ein Netz von Schwerestationen mit einer Dichte von rund einer Station pro Quadratkilometer über die gesamte Schweiz verteilt zu messen und daraus hochauflösende Bouguerkarten herzustellen. 1978 wurden in der Schweiz zudem erstmals hochpräzise Absolutschweremessungen durchgeführt [Marson et al., 1981, Kahle et al., 1981].

Um ein genaueres und aktuelleres Netz zu erhalten, wurde 1991 im Auftrag der SGPK, der SGK und dem Bundesamt für Landestopographie (L+T) damit begonnen, ein neues Schweregrundnetz, SG 95, einzurichten (Abb. 1). Die Basis zu diesem Netz bilden fünf absolute Schwerestationen. 18 Punkte befinden sich auf oder in unmittelbarer Nähe von nationalen Nivellementspunkten oder LV '95 Stationen (Landesvermessung '95, neues GPS-Netz der L+T mit gut 100 Punkten über die ganze Schweiz). Sie formen das Schwerenetzen erster Ordnung. Das Schwerenetzen zweiter Ordnung bilden die übrigen Punkte des LV '95 Netzes. Messkampagnen wurden im Herbst 1992, im Sommer 1993, im Sommer 1994 und im Frühling 1995 durchgeführt.

Merkmale des SG 95 sind, dass erstmals in einem Schweregrundnetz der Schweiz sowohl hochpräzise Absolut- als auch Relativmessungen verwendet worden sind. Zudem ist das gesamte Netz mit Absolutstationen im benachbarten Ausland verbunden worden. Weiter stehen nun erstmals, mit den LV 95-Stationen, über die gesamte Schweiz verteilt, Punkte zur Verfügung, wo neben der Schwere auch die geodätischen Koordinaten hochgenau bekannt sind.

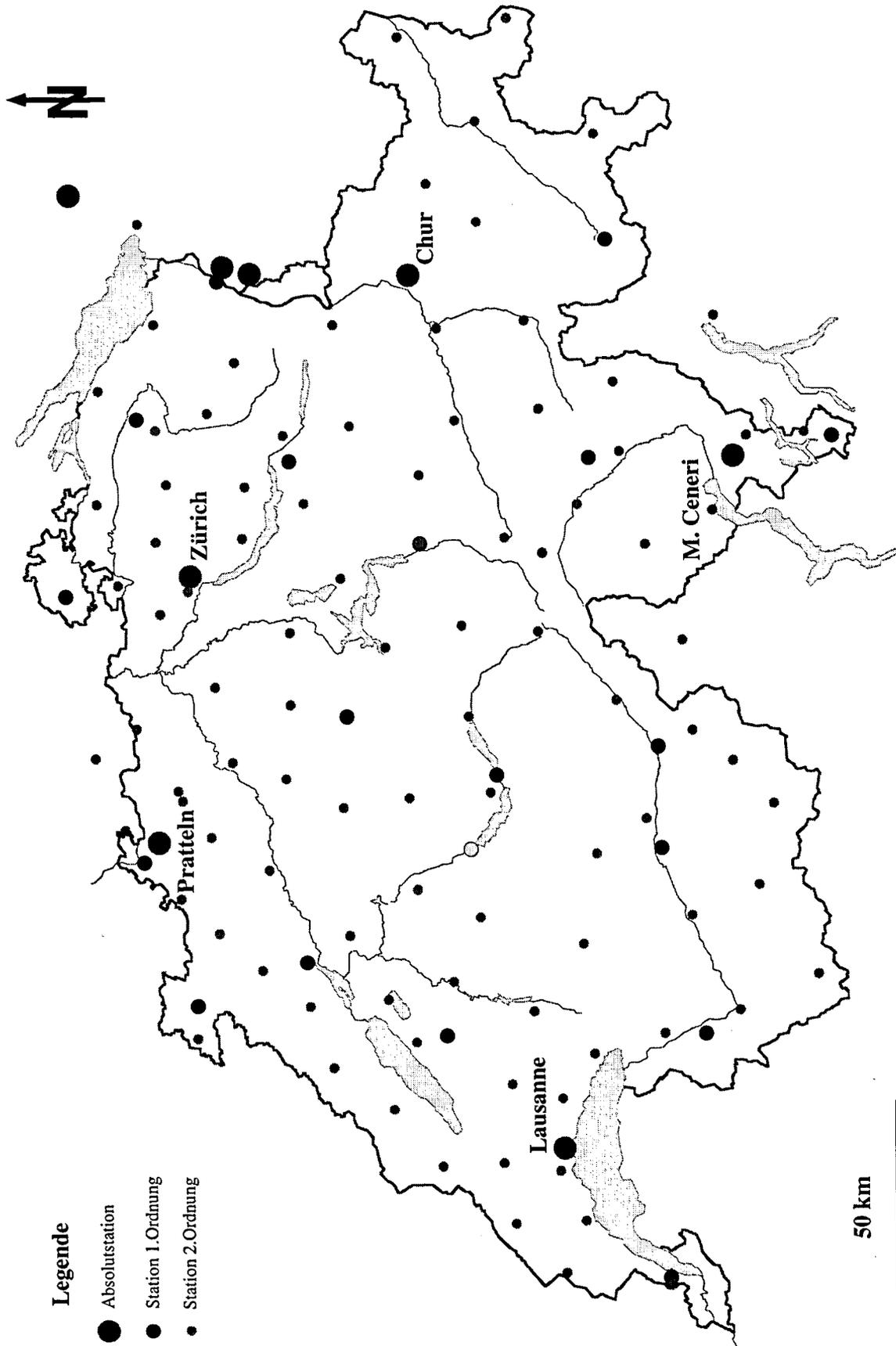


Abbildung 1: Stationen des neuen Schwerefundamentalnetzes der Schweiz SG 95

2. Feldarbeit

2.1 Absolutmessungen

Im Juni 1994 wurden mit dem Faller-Gravimeter JILAG-6 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen BEV von Österreich absolute Schwerestationen in Lausanne, Basel, Zürich, Monte Ceneri und Chur (Abb. 1) eingemessen. Bei den Stationen in Zürich und Chur handelte es sich um Wiederholungsmessungen auf Stationen, die 1978 von Prof. Marson, Trieste, Italien, [Marson et al., 1981] eingemessen worden waren. Die Stationen Monte Ceneri und Basel wurden von der L+T mittels Präzisionsnivellement im Herbst 1994 an das schweizerische Nivellementsnetz angeschlossen. Für die Station Lausanne wurde dieser Anschluss von der EPF Lausanne durchgeführt.

2.2 Relativmessungen

Relative Einmessungen der Punkte 1. und 2. Ordnung (Abb.2 und Abb. 3) wurden in 3 Hauptphasen durchgeführt. In den ersten zwei Phasen (Abb. 4 und Abb. 5) wurden vor allem die LV'95 Punkte relativ zur absoluten Schwerestation an der ETH Höggerberg in Zürich durchgeführt. Dabei zeigte es sich, dass die meisten der LV'95 Punkte keine idealen Gravimeterstationen sind, da das Instrument nicht direkt auf dem Punkt aufgestellt werden kann. Dies war der Grund, warum zusätzlich das Schweregrundnetz 1. Ordnung eingeführt wurde. 1994 wurde eine dritte Phase der Feldarbeit zum gravimetrischen Einmessen der Punkte 1. Ordnung und der LV '95-Punkte durchgeführt (Abb. 6 und Abb. 7). In dieser Zeit wurden vor allem die Stationen erster Ordnung eingemessen, relativ zu allen neuen absoluten Schwerestationen. Weiter wurden auch einige schweremässig noch nicht bestimmte ausländische Punkte des LV '95 Netzes eingemessen. Auf den LV' 95 Stationen Jungfrauoch (CH), Piton (F) und Hohentwiel (D) wurden keine Messungen durchgeführt. 1995 wurden relative Kontrollmessungen zwischen den absoluten in der Schweiz und denjenigen des benachbarten Auslandes gemacht. Die benutzten Absolutstationen im Ausland sind Wangen und Freiburg in Deutschland, Milano in Italien und Tisis und Koblach in Österreich (Abb. 2).

2.3 Vorgehen Feldarbeit

Die Absolutstationen wurden mit dem Faller-Gravimeter JILAG-6, Modell 1986, vom BEV auf Stationen durchgeführt, die vorher von der ETH rekognosziert worden waren. Auf jeder Station wurde während zwei Nächten gemessen. Dabei wurde jeweils während 10 Stunden alle 20 Sekunden ein Messung durchgeführt. Zu jeder neuen absoluten Gravimeterstation wurde

ein (Lausanne, Basel) bzw. zwei (Monte Ceneri) jederzeit zugängliche Excenter gesetzt und mit dem Feedback-Gravimeter LaCoste&Romberg G 839 relativ zur Absolutstation eingemessen.

Alle Messungen auf Schwerepunkten 1. Ordnung und LV'95 Punkten wurden mit zwei bis drei Instrumenten durchgeführt. Die drei verwendeten Instrumente sind LaCoste&Romberg G-Gravimeter, G 317, G 514 und G 839. Als Basisschwerpunkte dienten der Schwerepunkt im HPV-Gebäude (HPR E 87) an der ETH Höggerberg (ZURibas) sowie die neu eingemessenen absoluten Schwerpunkte.

Die Schwerepunkte erster Ordnung sind alle so eingerichtet, dass die Instrumente über dem Punkt zentriert und direkt auf dem Boden aufgestellt werden können. Auf diesen Punkten sind die Messungen ohne Stativ durchgeführt worden, wodurch der Einfluss von Vibrationen weitgehend vermieden werden konnte. Zusätzlich ist die Korrektur der Instrumentenhöhe einfacher, da sie sich nur wenig zwischen den Stationen ändert.

2.4 Messanordnung

Da die Punkte 1. und 2. Ordnung relativ weit auseinander liegen und auch nur eine beschränkte Zeit zur Verfügung stand, wurde keine der klassischen Messmethoden gewählt, welche vorsehen, dass man nach rund vier Stunden wieder zurück am Anfangspunkt misst (Abb. 4 bis 7). Diese vier Stunden sind vor allem deshalb gewählt, um eventuelle Sprünge zwischen den Messungen leichter lokalisieren zu können. Da jedoch mit drei Instrumenten gemessen wurde, ist diese Kontrolle gewährleistet. Der Anfangs- und Endpunkt jedes Messtages war, wenn immer möglich, ein absoluter Schwerepunkt. Dadurch ist die Instrumentendrift gut bestimmbar.

Weiter sollte jede Station mindestens an zwei verschiedenen Tagen gemessen und mit möglichst allen benachbarten Stationen direkt verbunden werden. Dadurch kann der Einfluss systematischer Fehler - wie falsch bestimmte Drift oder nicht entdeckte Sprünge zwischen den Messungen - reduziert werden.

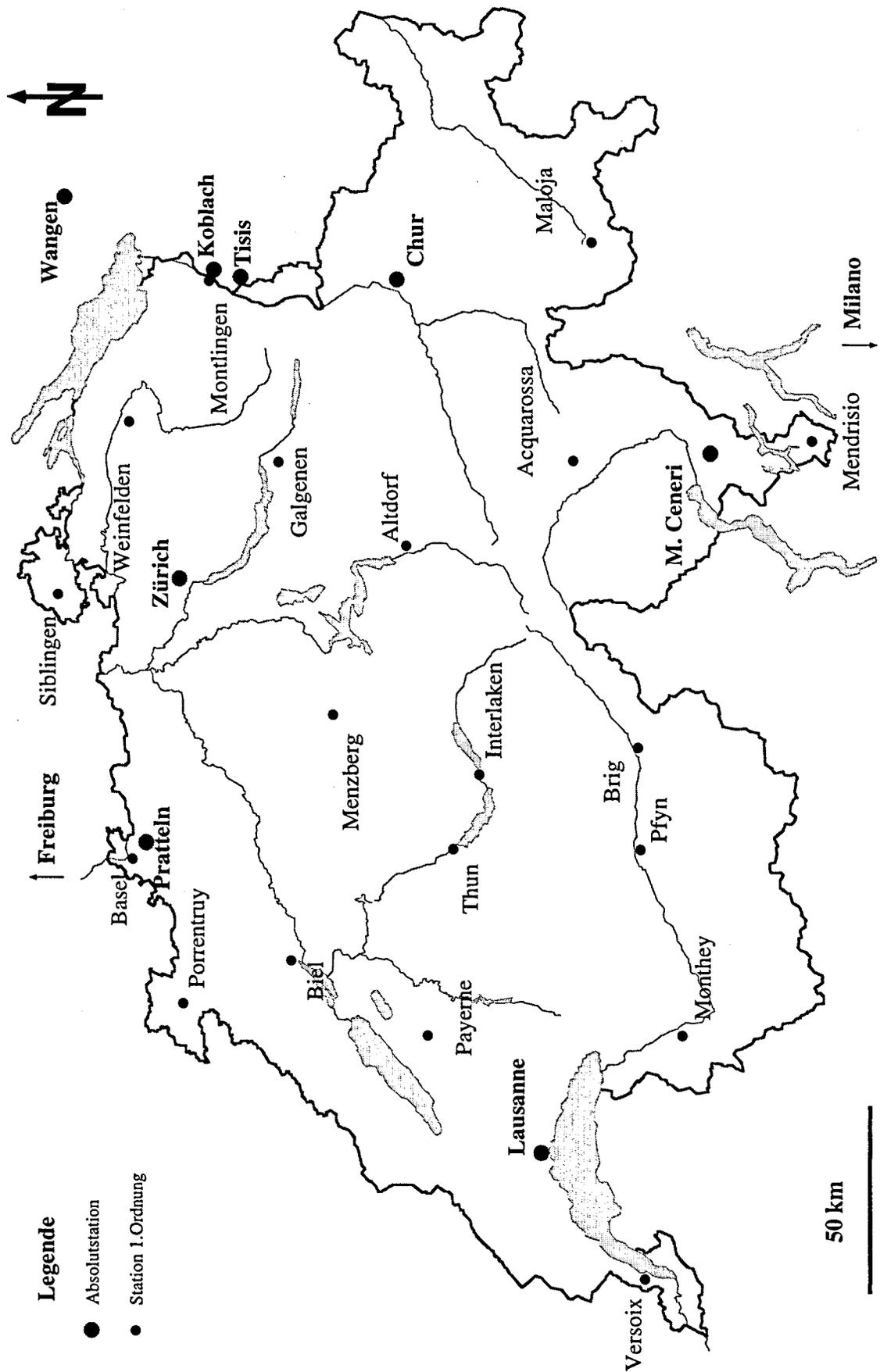


Abbildung 2: Absolutstationen und Stationen 1. Ordnung des Schwerefundamentalnetzes

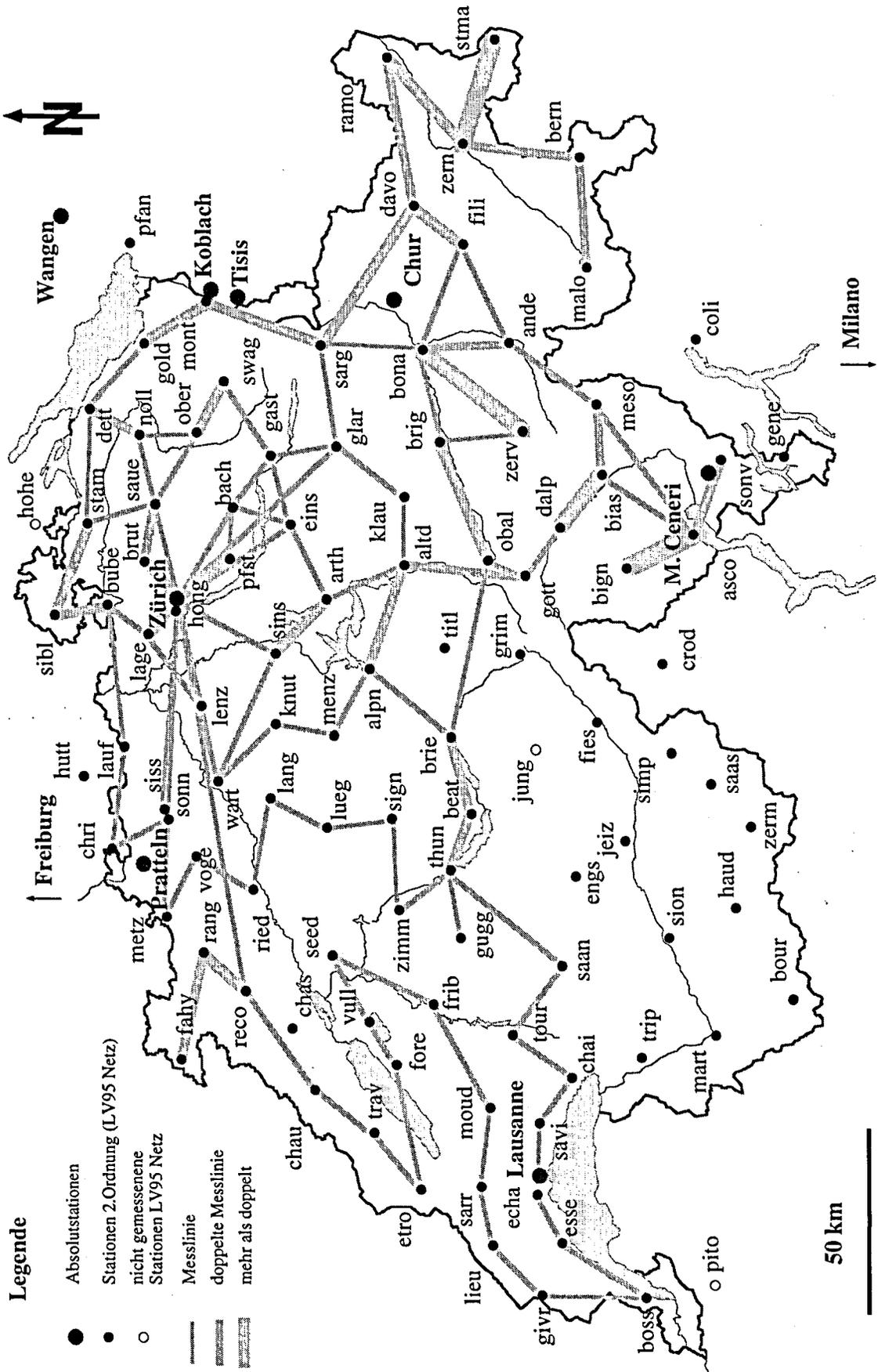


Abbildung 4: Messlinien 1992

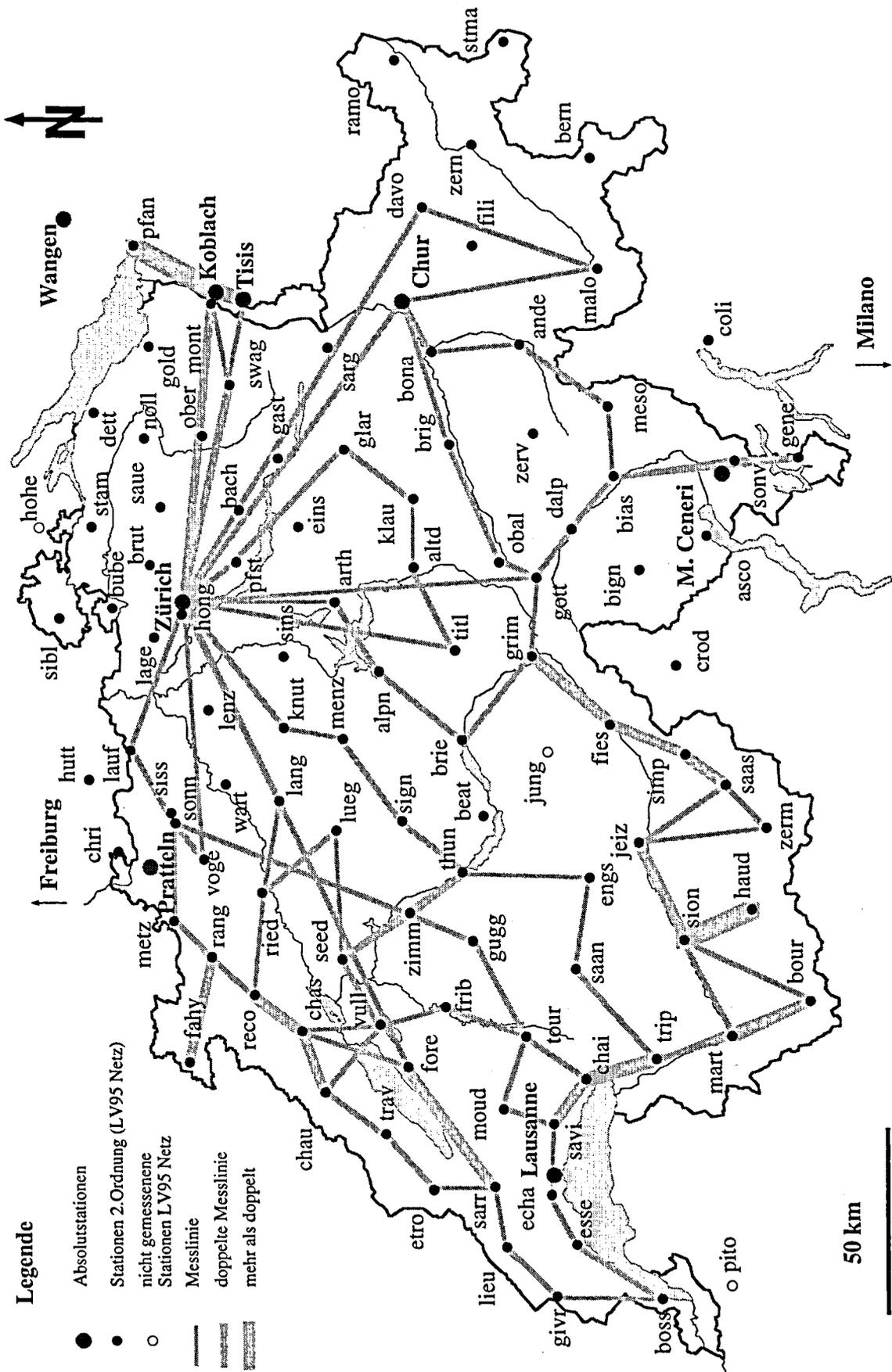


Abbildung 5: Messlinien 1993

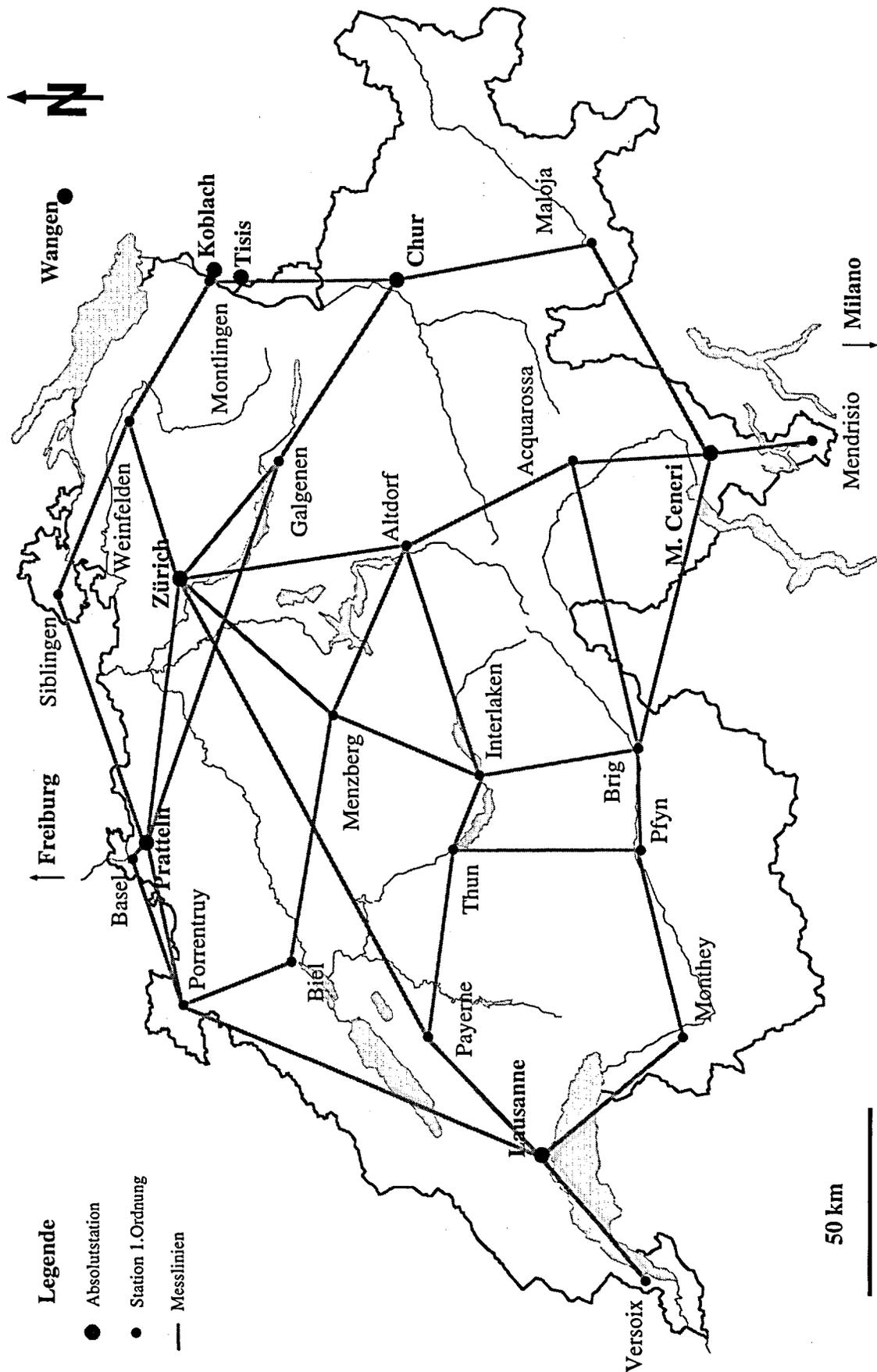


Abbildung 6: Stationen 1. Ordnung mit zugehörigen Messlinien (gemessen 1994)

3. Auswertung

Die Auswertung der absoluten Schweremessungen wurde von Dr. Ruess, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in Wien, Österreich, mit dem Standardauswertungsprogramm für das JILAG 6 durchgeführt.

Die Ausgleichung aller relativen und absoluten Messungen wurden mit dem Program 'gravity' von F. Arnet durchgeführt. 'gravity' ist ein Ausgleichungsprogramm nach der Methode der kleinsten Quadrate für Schweremessungen. Die Beobachtungsgleichungen lauten dabei :

$$(3.1) \quad r_{sta} = r'_{sta} + v = g_{sta} + c_{0i} + c_{1i} \cdot t \quad \text{für Relativmessungen}$$

$$a_{sta} = a'_{sta} + v = g_{sta} \quad \text{für Absolutmessungen}$$

mit

- r_{sta} : Relativablesung an einer Station, mit Gezeiteneinflüssen und Instrumentenfaktor korrigiert
- r'_{sta} : Fehlerfreie Messung
- a_{sta} : Absolutmessung an einer Station
- a'_{sta} : Fehlerfreie Messung
- v : Verbesserungen
- g_{sta} : Absolute Schwere der Station
- c_{0i} : Abweichung zwischen dem Instrument i und Schwerenetz
- c_{1i} : Lineare Driftkonstante des Instruments i
- t : Zeit

Den Abbildungen 8 bis 11 zufolge ist die Annahme einer linearen Drift sinnvoll.

Alle Messungen zusammen führen zum linearen Gleichungssystem für die Unbekannten x (das funktionale Model):

$$(3.2) \quad r + v = Ax \quad \Leftrightarrow \quad v = Ax - r$$

mit

- x : Unbekanntenvektor (Schwere, Driftkonstanten)
- A : Normalgleichungsmatrix

u : Anzahl Unbekannte
n : Anzahl Messungen

Die Dimension von x ist u , diejenige von r und v ist n , und von A gleich $n \cdot u$.

Für das statistische Modell wurde angenommen, dass alle Messungen eine Gauss'sche Normalverteilung aufweisen und dass sie unkorreliert sind. Diese Annahmen sind sicher nicht vollständig korrekt. Insbesondere werden gewisse Korrelationen zwischen den Messungen mit demselben Instrumententyp (relative, absolute Messungen) vorhanden sein, und innerhalb der Typen gilt das gleiche für die einzelnen verwendeten Instrumente. Weiter ist ein zufälliger Fehler nicht normalverteilt. Dieser ist abhängig von der unkorrekten Horizontierung der Instrumente. Es wäre richtiger, anzunehmen, dass der Winkel v_a zwischen der eingestellten Lage und der tatsächlichen Horizontallage eine Gauss'sche Verteilung aufweist $p(v_a) = c e^{-d v_a^2}$. Aber der Fehler v_g an der Schwere, der durch ungenaue Horizontierung verursacht wird, ist eine Funktion des Kosinus des Winkels v_a und kann für kleine Winkel mit $v_g = c' v_a^2$ ($c' \approx 5 \mu\text{gal} / \text{pars}^2$ für die LaCoste&Romberg G-Gravimeter) angegeben werden. Damit wird die Verteilung dieses Fehlers zu :

$$p(v_g) = \begin{cases} = 0 & , \text{if } v_g < 0 \\ = c e^{-\frac{d}{c'}} & , \text{if } v_g = 0 \\ = 2 c e^{-\frac{d}{c'} v_g} & , \text{if } v_g > 0 \end{cases}$$

Obwohl das einer der hauptsächlichen zufälligen Fehler zu sein scheint, wurde seine spezielle Verteilung nicht berücksichtigt, da sonst die Auswertung der Daten sehr kompliziert oder sogar unmöglich wäre. Weiter ist es aus den obigen Erklärungen ersichtlich, dass alle Messungen einen Erwartungswert leicht unter demjenigen ohne Horizontierfehler haben. Bei den Relativmessungen fällt aber diese Differenz weg. Die Horizontierung des Absolutgravimeters ist genauer als diejenige der Relativgravimeter.

Somit werden die Korrelationsmatrix Q_{rr} , und ihre Inverse, the Gewichtsmatrix P_{rr} , zu :

$$(3.3) \quad q_{r_i r_i} = \sigma_{ins}^2 \quad \text{resp.} \quad p_{r_i r_i} = \frac{1}{\sigma_{ins}^2}$$

wobei σ_{ins} der mittlere Fehler des Instruments ist, mit dem die i . Messung durchgeführt wurde. Bei den Absolutmessungen entspricht dies dem mittleren Fehler, der aus der

Absolutauswertung erhalten wurde.

Da mehr Messungen als Unbekannte vorhanden sind, bildet (3.2) ein überbestimmtes Problem mit $n \approx 5u$. Die wahrscheinlichste Lösung wird durch

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{r}$$

erhalten. Es scheint sehr schwierig zu sein, den richtigen mittleren Fehler für die Relativinstrumente einzuführen. Daher macht es Sinn, eine a posteriori Schätzung davon zu machen.

$$(3.4) \quad \hat{\sigma}_{ins} = \sigma_{ins} \sqrt{\frac{v_{ins}^T P v_{ins}}{\sum_{ins} red(ins)}}$$

Wird $\hat{\sigma}_{ins}$ (a posteriori) anstatt σ_{ins} (a priori) in das neue statistische Model eingeführt, so

weicht der Erwartungswert von $\sqrt{\frac{v_s^T P v_s}{\sum_s red(s)}}$ etwas von einer t-Verteilung ab, aber da

weit mehr Messungen als Instrumente vorhanden sind, ist diese Differenz vernachlässigbar.

In (3.2) ist es nicht notwendig, eine Näherungslösung zu kennen, da alle Beobachtungsgleichungen linear sind. Jedoch führt das Ändern der mittleren Fehler der Instrumente zu ihren Werten a posteriori dazu, dass mehrere Iterationen notwendig sind.

3.2 Gravimeterfaktoren

Eine Kalibrationstabelle für die Instrumentenfaktoren wird zu jedem Gravimeter der Firma LaCoste&Romberg mitgeliefert. Sie ist für die Umrechnung von Instrumenteneinheiten (i.e) in wahre Schweredifferenzen nötig. Es zeigte sich jedoch, dass diese Faktoren von den wahren um $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ abweichen können. Um zu überprüfen, ob eine solche Differenz vorhanden ist, wurden Faktoren für alle Instrumente berechnet nach :

$$(3.5) \quad \begin{aligned} r'_{sta} + v &= m_i g_{sta} + c_{0i} + c_{1i} \cdot t = \\ (m_0 + dm)(g_0 + dg) + (c_{00} + dc_0) + (c_{10} + dc_1)t &= f(m, g, c_0, c_1) \end{aligned}$$

Da dies nicht mehr ein lineares Problem ist, wird für die Berechnung eine Linearisierung mit Hilfe von Taylorserien notwendig :

$$(3.6) \quad r'_{sta} + v = m_0 g_0 + c_{00} + c_{10} t + \frac{\partial f}{\partial m} dm + \frac{\partial f}{\partial g} dg + \frac{\partial f}{\partial c_0} dc_0 + \frac{\partial f}{\partial c_1} dc_1 + \text{s.h.o}$$

(s.h.o = Summanden höherer Ordnung, die vernachlässigt werden)

Nach der Linearisierung wird (2.6) zu

$$(3.7) \quad v = g_0 dm + m_0 dg + dc_0 + dc_1 - (r - f_0)$$

Dies gibt das funktionale Modell und das Normalgleichungssystem. Das statistische Modell bleibt unverändert.

Dieses Modell wurde im Fortran-Program 'gravity.for' von Felix Arnet verwendet. Vor der Auswertung werden die Messungen zunächst um die astronomischen Gezeiten mit einem Faktor von 1.16 reduziert und die Instrumenteneinheiten in mgal konvertiert. Die hauptsächlichsten Vorteile dieses Programms sind, dass keine Voraussetzungen über die Messanordnung erfüllt sein müssen und dass Messungen von mehreren Gravimetern, absolut und relativ, alle gleichzeitig ausgewertet werden können.

Für die Reduktion der Instrumentenhöhen (von Messungen von 1992 und 1993) wird der Freiluftgradient mit einem aus dem DHM25 der Landestopographie hergeleiteten Modell angenähert (siehe Anhang D). Das DHM25 war allerdings nicht über die ganze Schweiz verfügbar. Wo es fehlte, vor allem im Kanton Graubünden, wurde der Gradient aus dem Höhenmodell RIMINI berechnet.

4. Resultate

Alle absoluten Messstationen erwiesen sich als gut und stabil. In Lausanne, wo sich die Station in der EPF Lausanne befindet, wurden die Messungen bis Mitternacht von den vorbeifahrenden Trams leicht gestört (zwei bis drei schlechtere Messerien alle rund 10 Minuten). Keine nennenswerte Störquellen konnten in Basel, Zürich und Monte Ceneri ausgemacht werden. In Zürich, wo sich die Station an der ETH Hönggerberg befindet, wurden die Messergebnisse nach Mitternacht signifikant besser. Das ist auf die kleinere Unruhe in der urbanen Umgebung zurückzuführen. In Basel und auf dem Monte Ceneri, wo sich die Punkte mindestens 2 km von jeder Hauptstrasse und Eisenbahn weg in dünn besiedelten Gebieten befinden, war dieser Trend weniger deutlich. Der mittlere Fehler der absoluten Schwerewerte ist auf allen Stationen kleiner als 0.01 mgal.

Bei den Relativmessungen waren die Ergebnisse im allgemeinen gut und haben für alle Gravimeter einen mittleren Fehler a posteriori von $\approx 0.02 - 0.03$ mgal. Durch das Einführen der neuen Absolutstationen in die Ausgleichung der Daten konnten auch die Kalibrationsfaktoren der Instrumente gut bestimmt werden. Die Streuung der Punkte in den Driftkurven (Abb. 8 bis 11) gibt ein Hinweis über die Güte der Messungen des jeweiligen Instrumentes.

Schätzungen a posteriori für die mittleren Fehler der Messungen der Instrumente

$$\hat{s}_{g317} = 25.45 \mu\text{gal}, \hat{s}_{g514} = 21.38 \mu\text{gal}, \hat{s}_{g839} = 28.82 \mu\text{gal}, \hat{s}_{e839} = 25.79 \mu\text{gal}$$

Berechnete Faktoren der Gravimeter

$$\begin{aligned} f_{g317} &= 1.000592 \pm 38.6 \cdot 10^{-6} & f_{g514} &= 1.000626 \pm 37.6 \cdot 10^{-6} \\ f_{g839} &= 1.000672 \pm 42.8 \cdot 10^{-6} & f_{e839} &= 1.000701 \pm 35.5 \cdot 10^{-6} \end{aligned}$$

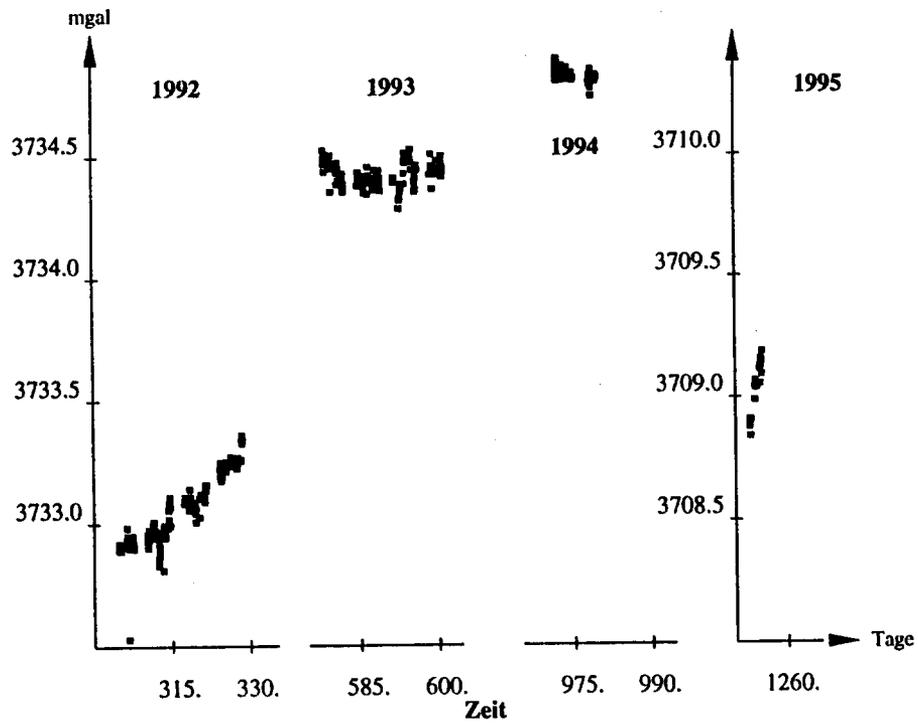


Abbildung 8 : Drift des Gravimeters g317

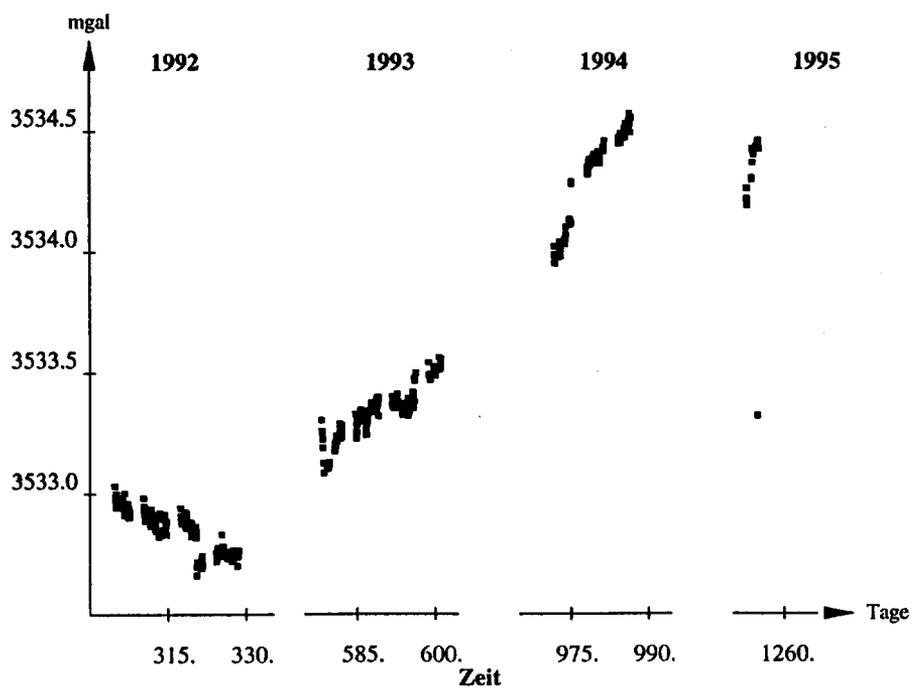


Abbildung 9 : Drift des Gravimeters g514

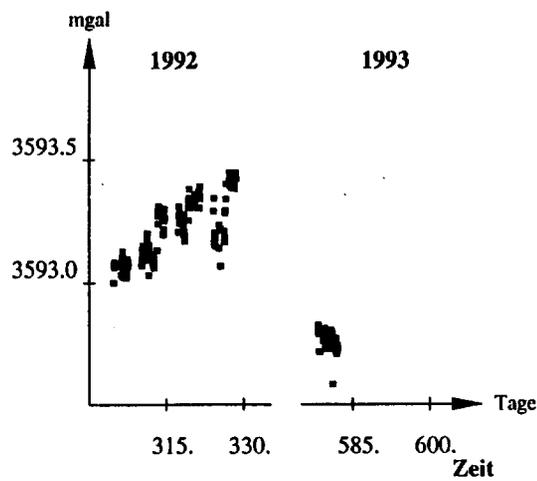


Abbildung 10 : Drift des Gravimeters g839

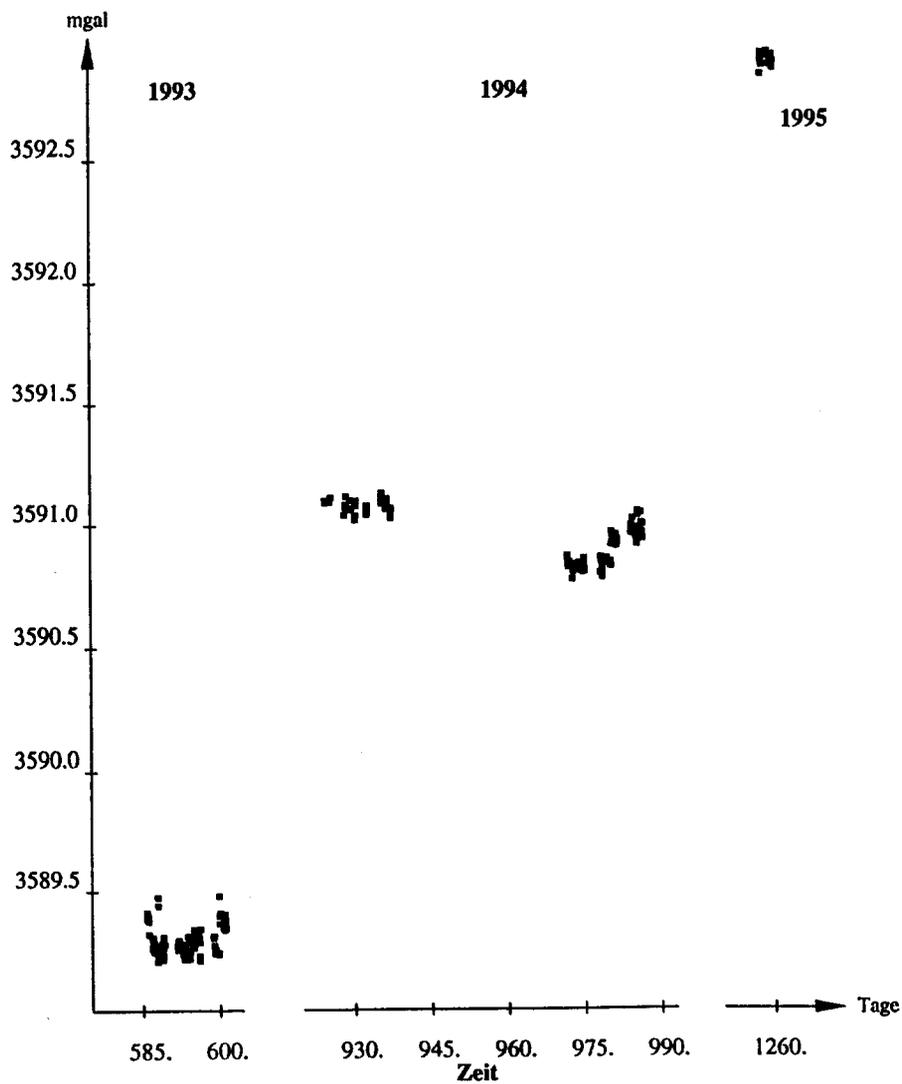


Abbildung 11 : Drift des Gravimeters g839 mit Feedbacksystem

Literaturverzeichnis

Deutsches Schweregrundnetz. Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt

Fischer W., 1981: Ausgleichung der ersten Schweremessungen auf der Gravimeteereichlinie Interlaken Jungfrauoch. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 11/81, pp 436 - 441

Fischer W., H.-G. Kahle, I. Marson, 1981 : Absolute and relative Gravity Measurements in Switzerland with special Emphasis on a new Swiss National Gravity Net (SNGN). Bureau Gravimétrique International, Bulletin d'Information No. 49, pp 38 - 49.

Fischer W., 1983 : Das Nationale Schwebenet der Schweiz. Teil 1: Messungen mit LaCoste-Romberg-Gravimetern. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht No 68.

Gravimetermessungen in den Jahren 1953 bis 1957. 1959. Astronomisch-geodätische Arbeiten der Schweiz, Band Nr. 25, Schweizerische Geodätische Kommission.

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

Kahle, H.G., St. Mueller, E. Klingelé, R. Egloff, E. Kissling, 1980 : Recent Dynamics, Crustal Structure and Gravity in the Alps. In : N.A. Mörner (ed.), Earth Rheology, isostasy and eustasy. pp 377 - 388, John Wiley&Son.

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. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 7/81, pp 221 - 228.

Klingelé E. : Contribution a l'étude gravimétrique de la Suisse romande et des régions avoisinantes. Geophysique No. 15, 1972. Commission Géotechnique Suisse.

Klingelé E., R. Olivier, 1980 : La nouvelle carte gravimétrique de la Suisse. Geophysique No 20. Schweizerische Geophysikalische Kommission

Klingelé E., H.G. Kahle, 1981 : Une ligne de calibration gravimétrique Interlaken-Jungfrauoch (Suisse). Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 1/81, pp 10 -13.

Landesvermessung 95. Schweiz. Bundesamt für Landestopographie

Marson I., H.G.Kahle, F.Chaperon, S. Mueller, F.Alasia, 1981 : Absolute Gravity Measurements in Switzerland : Definition of a base network for geodynamic investigations and for the Swiss fundamental gravity net. Bull. Géod. 55, pp. 203 - 217.

Nivellementspunkte des Schweiz. Bundesamtes für Landestopographie

Österreiches Schweregrundnetz. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.

Anhang A : Punktbeschreibungen Absolutpunkte (Punkte 0. Ordnung)

Neben den Absolutstationen des SG 95 sind hier auch noch Stationsbeschreibungen der Stationen BRIG und INTER angegeben. Auf diesen zwei Stationen wurde 1979 die Absolutschwere bestimmt; im SG 95 wurden sie jedoch nur als Punkte 1. Ordnung benutzt.

Geographische Länge und Breite der Stationen siehe Anhang D.

Die hier angegebenen Schwerewerte sind die Werte aus der Auswertung der Absolutmessungen. Die ausgeglichenen Schweren im Rahmen des SG 95 siehe Anhang D.

Sta.ID	y [m]	x [m]	h [m]	Abs.Messung [mgal]	Gradient [mgal/m]	Name/Ort	Bemerkung
BRIG	642730.	129425.	715.			Brig	
BRIGex	642720.	129425.	715.			Brig	Exzentrum
CENE	713475.	110060.	703.701	511.845±0.006	-0.285	Monte Ceneri	
CENE.1	713480.	110060.	703.685			Monte Ceneri	1. Exzentrum
CENEex	713500.	110060.	703.681			Monte Ceneri	2. Exzentrum
CHUR	759980.	190710.	629.66	453.728±0.005	-0.193	Chur	
CHURex	759980.	190750.	633.01			Chur	Exzentrum A
ZURlabs	680610.	251460.	519.501	647.967±0.004	-0.249	ETH Höggerberg	HIL A 41
ZURibas	680860.	251300.	530.			ETH Höggerberg	HPR E 87
INTER	633440.	170530.	567.			Interlaken	
INTERex	633440.	170510.	570.			Interlaken	Exzentrum
LAUS	533160.	152580.	392.427	604.740±0.008	-0.252	EPF Lausanne	
LAUSex	533160.	152620.	396.			EPF Lausanne	Exzentrum
PRAT	620125.	262250.	393.358	730.583±0.005	-0.277	Pratteln	
PRATex	620130.	262250.	393.			Pratteln	Exzentrum

Die angegebenen Schwerewerte geben die Differenz zwischen den Absolutwerten und 980'000.00 mgal wieder

Die Kartenausschnitte sind von den Landeskarten 1 : 25'000 entnommen (mit Kilometernetz). Alle Kartenausschnitte reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 2.12.1996.

Schwerestation Brig

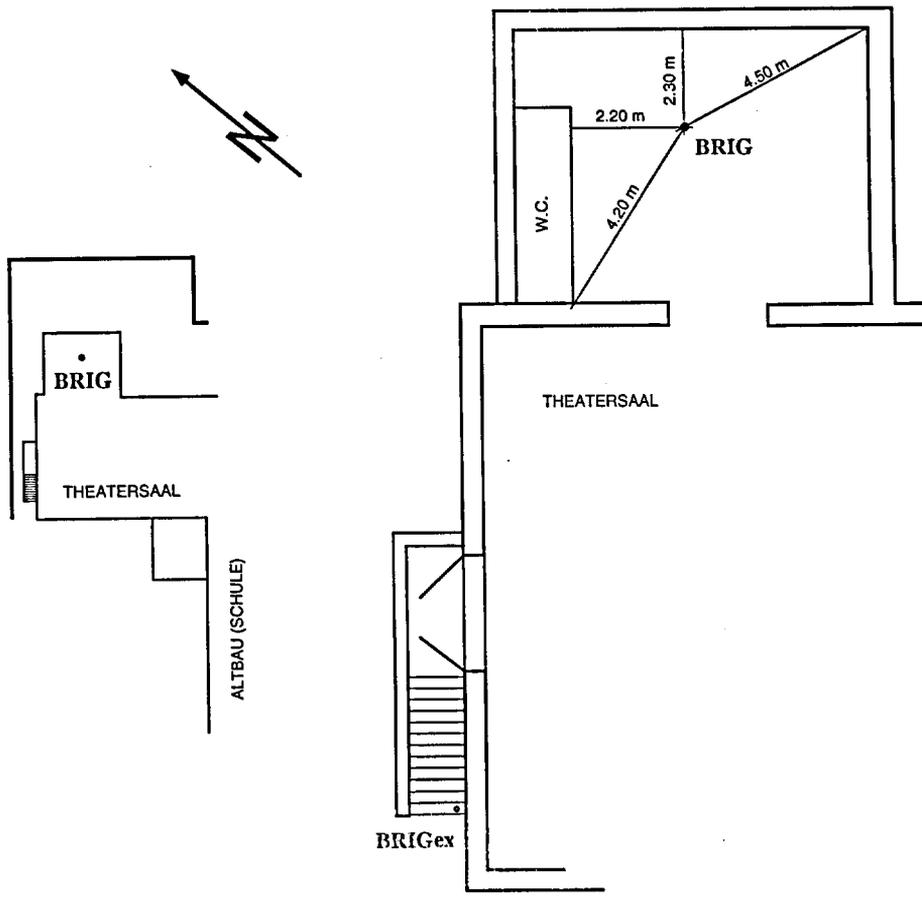
BRIG : 7° 59.7' E 46° 18.9' N 715 m

Kollegium Spiritus Sanctus. Theatersaal, Erdgeschoss. In der Mitte des östlich Raumes. 2.30 m westlich der Ostseite des Raumes, 4.50 m von der Südostecke des Raumes. Nicht markiert. Zugang nur mit Schlüssel, erhältlich beim Kollegium Spiritus Sanctus.

BRIGex :

Unterste Stufe der Treppe zum Theatersaal. 15 cm von der Mauer, 0.10 m vom Stufenende. Markiert mit Niete. Jederzeit zugänglich.

LK 1289



Absolute Schwerestation Chur

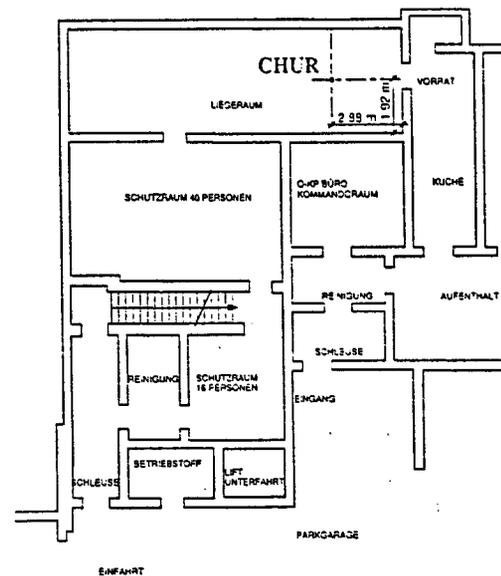
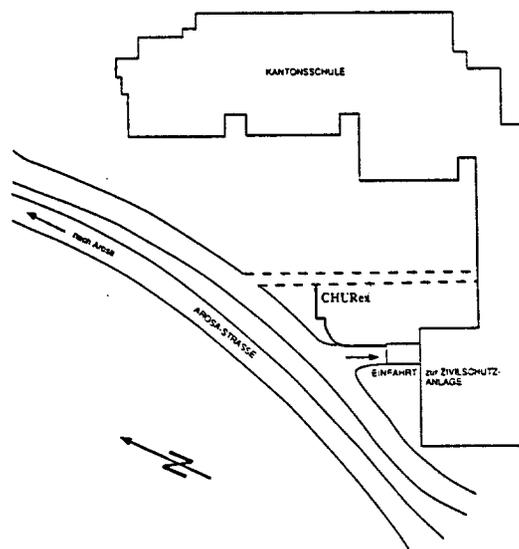
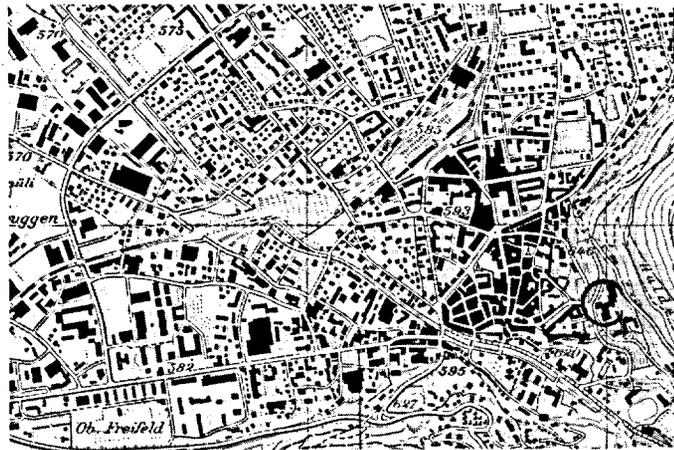
CHUR : 9° 32' 16.5" E 46° 50' 58.4" N 629.66 m

In der Zivilschutzanlage der Kantonsschule Chur, hinterster Liegeraum neben dem Notausstieg, 2.88 m nördlich der Südmauer des Raumes, 1.92 m östlich der Westmauer des Raumes. Nicht markiert. Bezugspunkt für die Höhe: Eidg. Nivellementsfixpunkt M an der Aussenmauer des Raumes, L in der Grünanlage der Kantonsschule. Zugang nur mit Schlüssel, erhältlich bei Zivilschutzamt Chur.

CHURex : 633.01 m

In der Einfassungsmauer der Grünanlage, Ende des Fussweges zum Schulhauseingang, Krönung, bodeneben. Markiert mit Niete. Jederzeit zugänglich.

LK 1195/1196



Absolute Schwerestation Interlaken

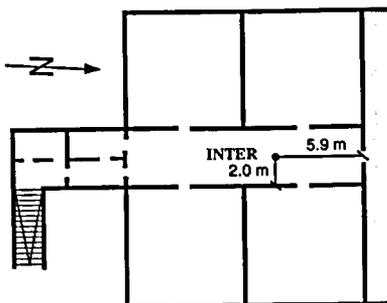
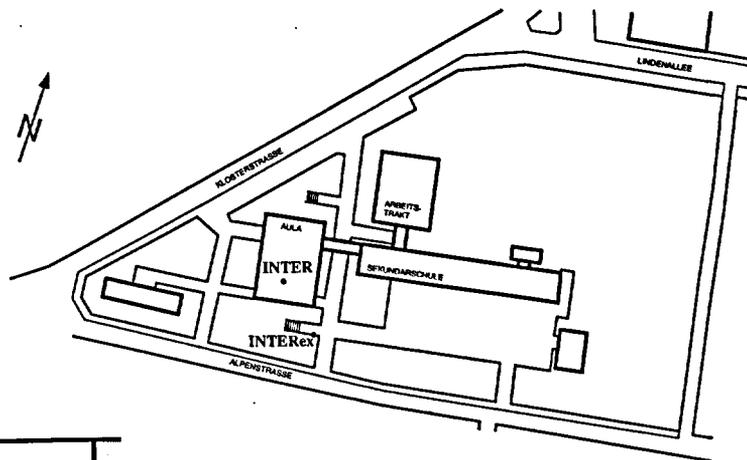
INTER : 7° 52' 36.6" E 46° 41' 10.8" N 570 m

In der Zivilschutzanlage der Sekundarschule Interlaken, in der nördlich Hälfte des Eingangsraumes, 5.9 m südlich der nördlichen Mauer, 2.0 m westlich der östlichen Mauer.

INTERex :

Auf der linken Mauer der südlichen Treppe zur Zivilschutzanlage. 0.2 vom Mauernanfang entfernt. Markiert mit Niete. Jederzeit zugänglich.

LK 1228



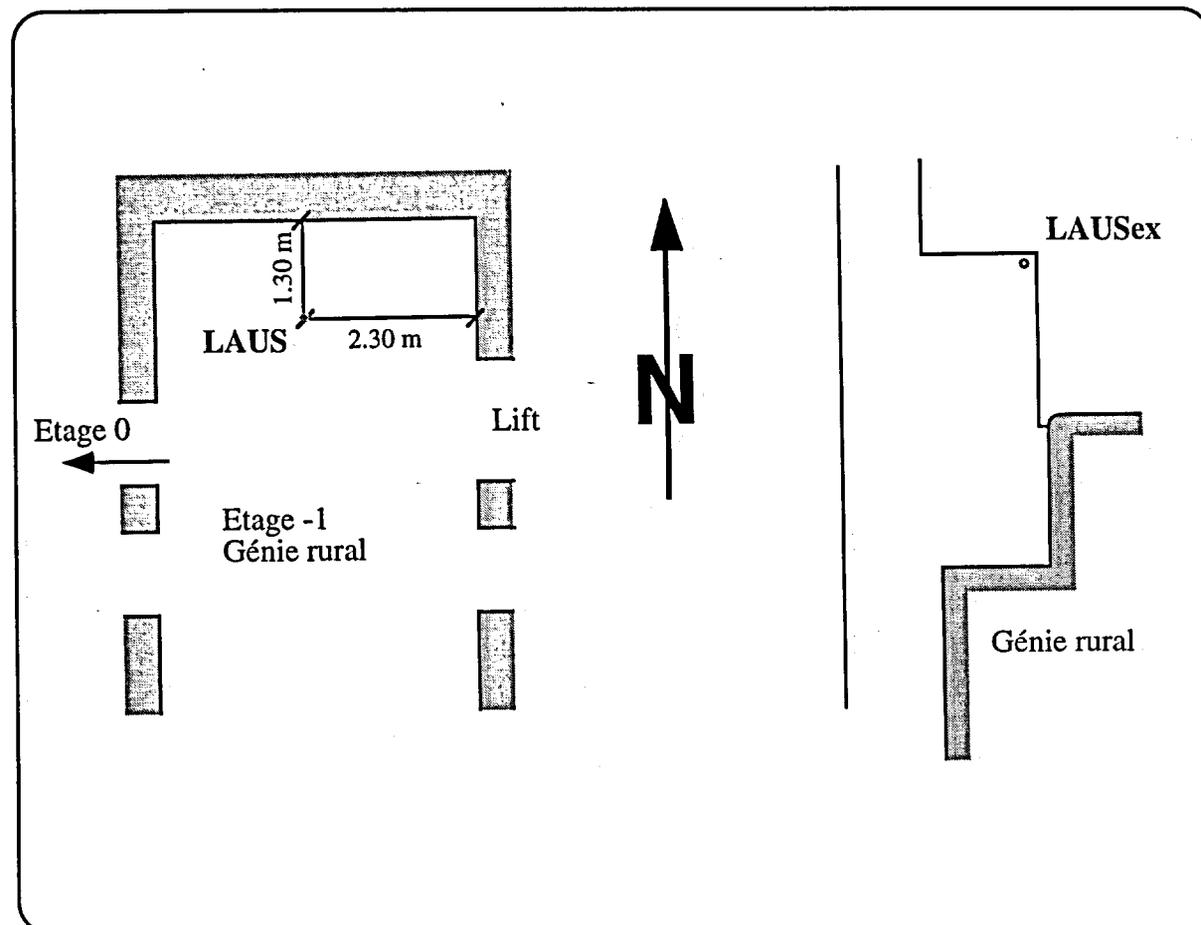
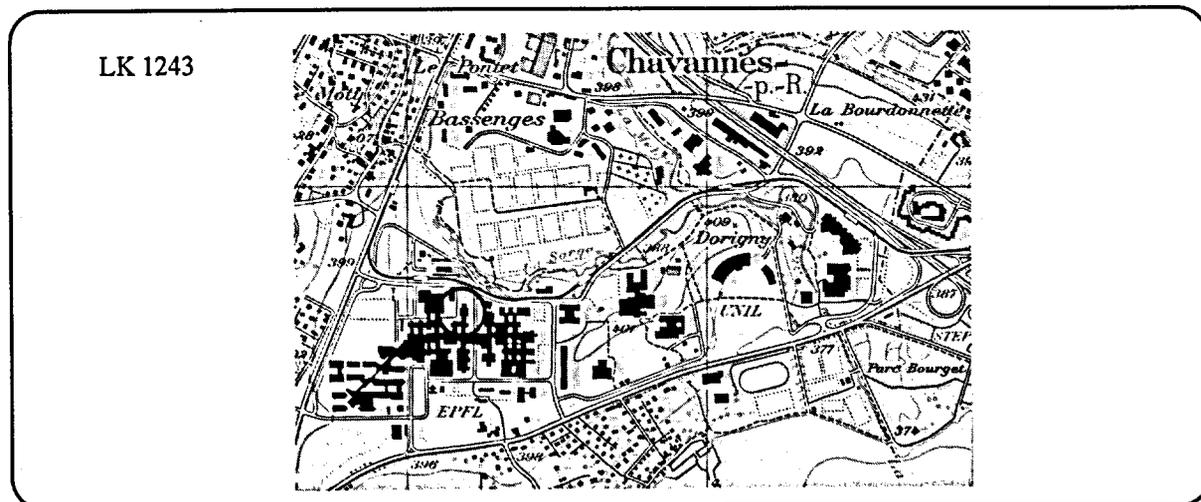
Absolute Schwerestation in Lausanne

LAUS : 6° 34' 6.2" E 46° 31' 20.8" N 392.427 m

Auf dem Gelände der EPF Lausanne. Im nördlichen Teil des Gebäudes Génie rural im Untergeschoss (Etage -1), 1.30 m südlich und 2.30m westlich von der Nordostecke des Ganges, markiert mit Messingbolzen. Während Bürozeiten zugänglich.

LAUSex :

Auf Parkplatz nordwestlich des Gebäudes Génie rural, 0.39 m westlich und 0.23 südlich von der Nordostecke des Parkplatzes, markiert mit Messingbolzen. Jederzeit zugänglich.



Absolute Schwerestation Monte Ceneri

CENE: 8° 54' 29.3" E 48° 8' 1.3" 703.701 m

Im Bunker A 8046 (bei Termine) westlich vom Monte Ceneri. 0.60 m südlich der Frontmauer des Bunkers 01.20 m westlich des Westendes der Eingangstüre. Markiert mit Messingbolzen. Zugang mit Schlüssel, vom Festungssektor 242, Monte Ceneri

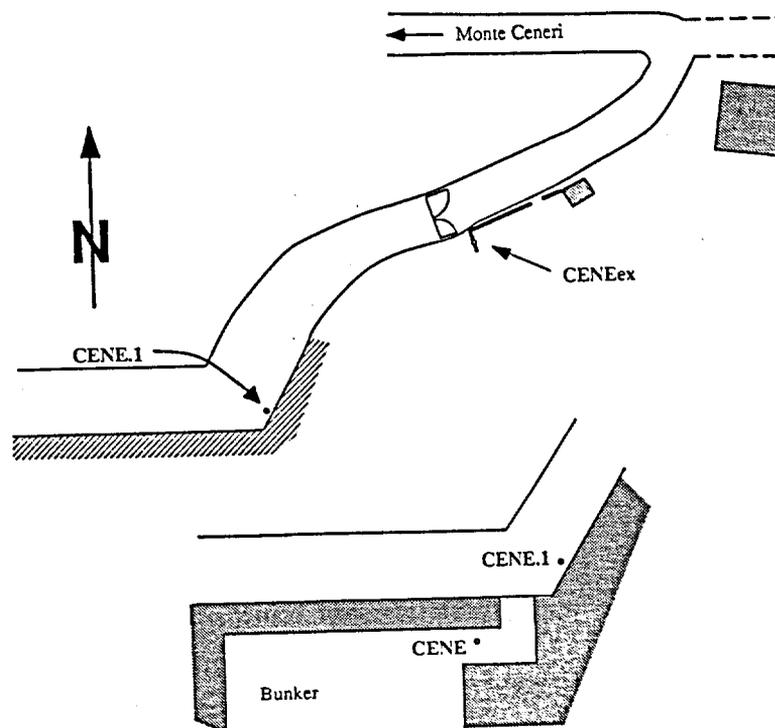
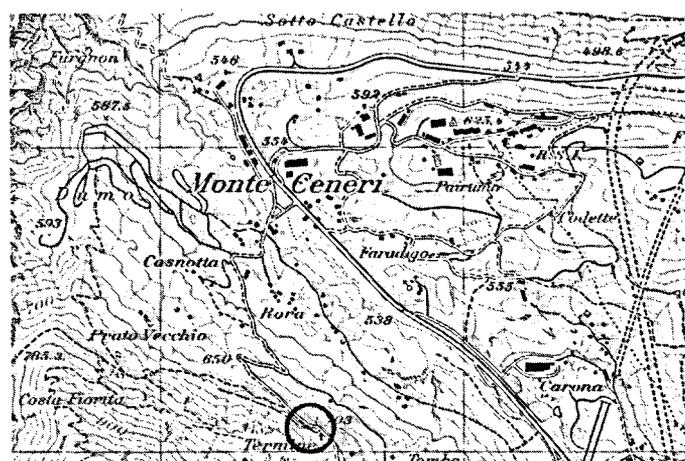
CENE.1: 703.685 m

Nähe Eingang zum Bunker A8046. 1.50 m nordöstlich vom Knick in dre Mauer (östlich der Eingangstüre), 0.25 m nordwestlich von der Mauer entfernt. Markiert mit Messingbolzen. Zugang mit Schlüssel, vom Festungssektor 242, Monte Ceneri.

CENEex: 703.681 m

Auf Mauer östlich des Gittertors zum Bunker A8046. Am wetlichen Mauerende, 0.63 m von der Frontseite der Mauer entfernt. Markiert mit Messingbolzen. Jederzeit zugänglich.

LK 1313



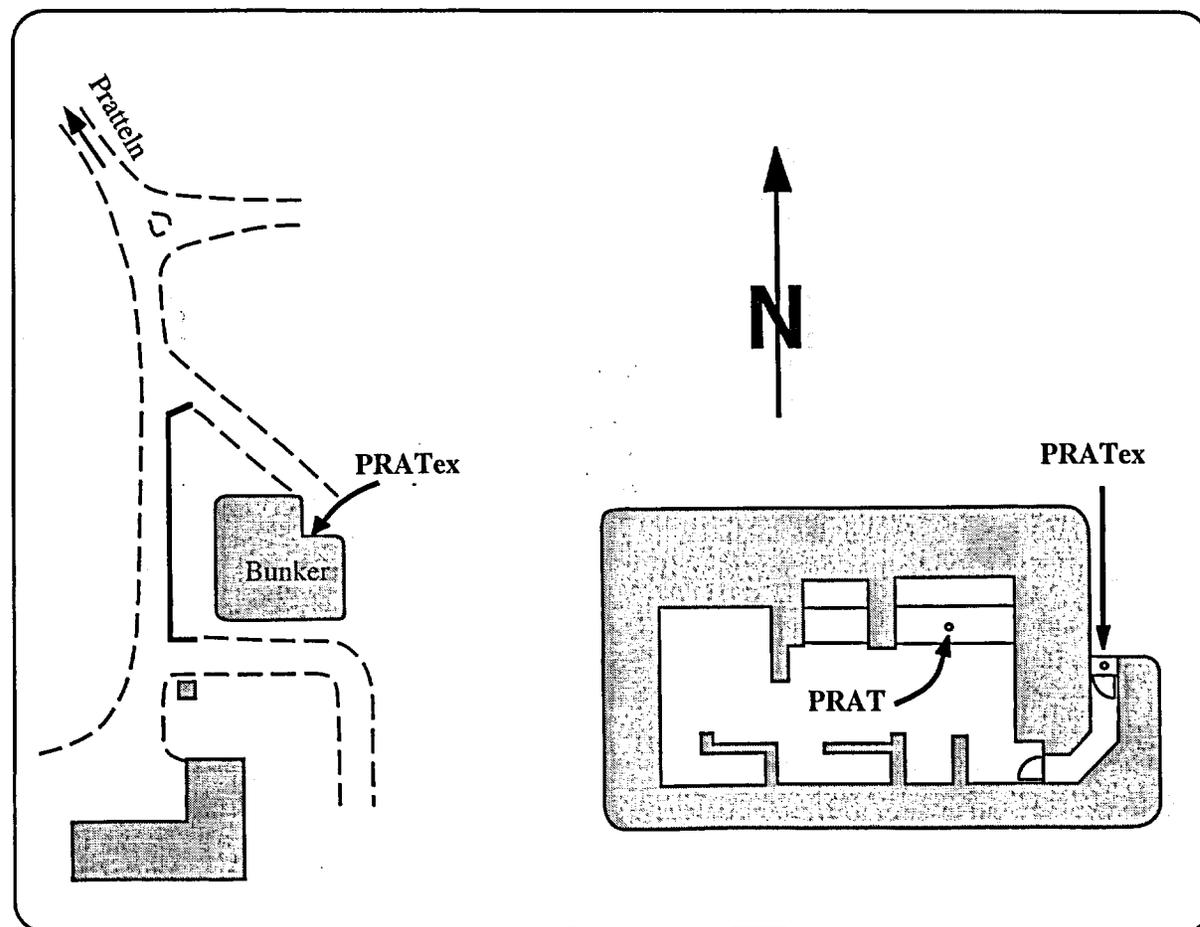
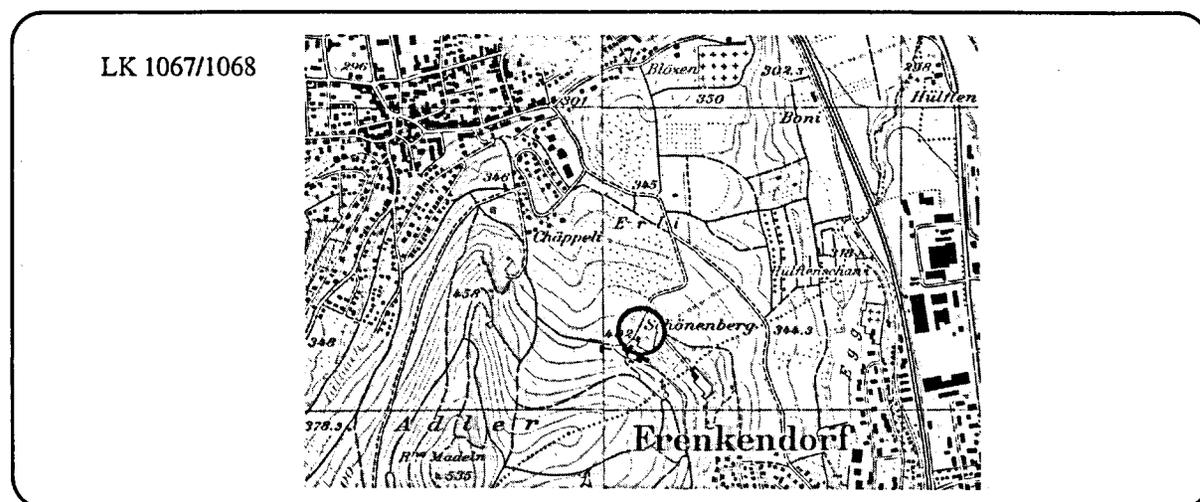
Absolute Schwerestation in Pratteln

PRAT : 7° 42' 24.2" E 47° 30' 43.5" N 393.358 m

Im Bunker A 2777 nördlich des Weilers Schönenberg (oberhalb Pratteln) In der Mitte der östlichen Geschützstellung (10 cm höher als Boden des Bunkers). Markiert mit Messingbolzen. Zugang: Schlüssel beim Festungssektor 211, Ergolzstr. 85, 4414 Füllinsdorf. Tel. 061-901 12 22

PRATex :

Eingang zum Bunker A2777. 0.41 m westlich der Mauer 0.27 m südlich des Stufenbeginns, markiert mit Messingbolzen. Jederzeit zugänglich.



Absolute Schwerestation Zürich

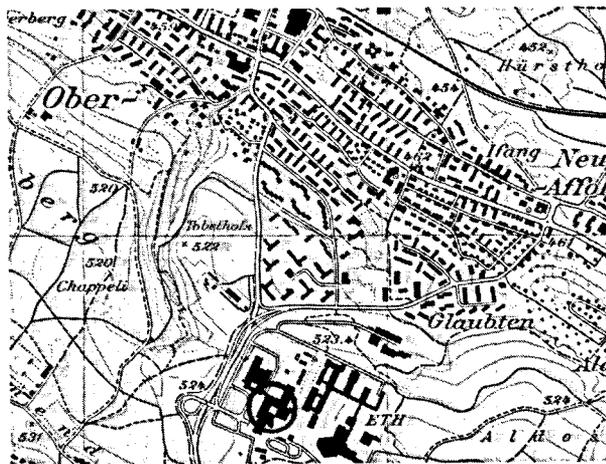
ZURIabs: 8° 30' 28.8" E 47° 24' 37.4" N 519.501 m

An der ETH Hönggerberg im HIL-Gebäude. In der Mitte des nördlichen Raumes des Messkellers des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich (HIL A55). Zugang nur mit Schlüssel.

ZURibas:

An der ETH Hönggerberg im HPV-Gebäude. Magazin des Geodäsie und Geodynamik Laboratoriums GGL (Institut für Geodäsie und Photogrammetrie). Im nordöstlichen Teil des Raumes. Markiert mit Niete. Zugang nur mit Schlüssel, erhältlich bei E. Klingelé, Tel 01 633 26 28.

LK 1091



Anhang B : Ergänzende Punktbeschreibungen Punkte 1. Ordnung

Alle Punkte 1. Ordnung können direkt auf dem Boden gemessen werden (Kein Stativ und keine Grundplatte notwendig).

Hier sind nur ergänzende Punktbeschreibungen für Stationen angegeben, welche sich nicht direkt auf einem Nivellements- oder LV'95 Punkt befinden. Die genauen Punktbeschreibungen können von der Landestopographie (L+T) in Wabern erhalten werden. Einheiten in den Skizzen sind cm.

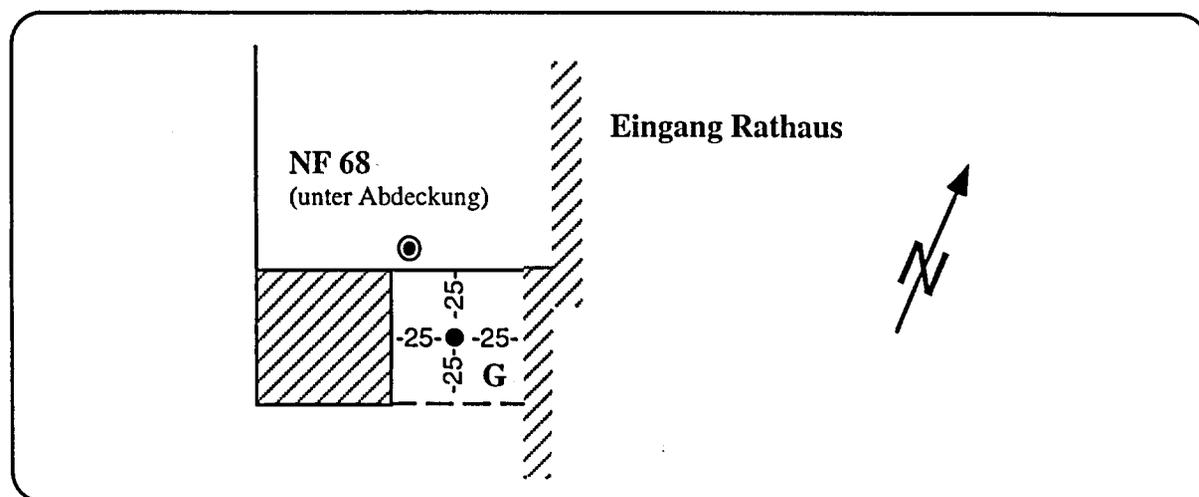
Die Stationsbeschreibungen für die Punkte BRIG und INTER können im Anhang A nachgesehen werden.

Geographische Länge und Breite der Stationen siehe Anhang D

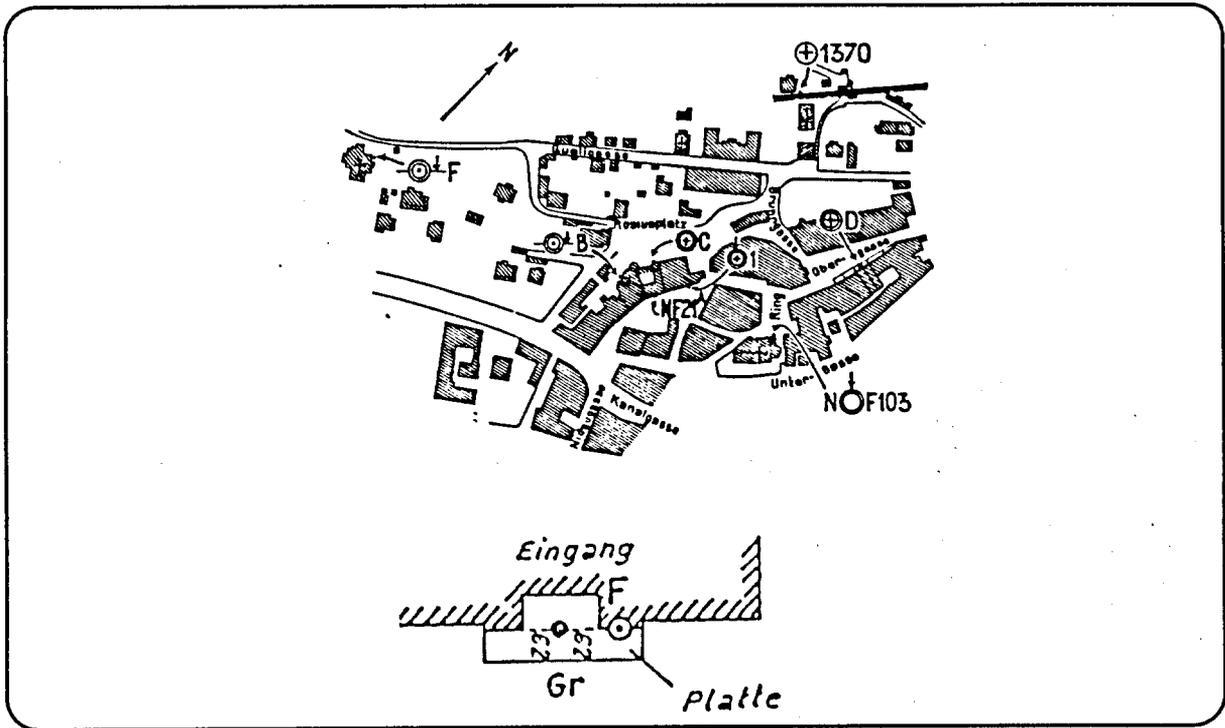
(Niv. : Nivellements-; LV95: LV95 Punkt; exz. : Gravimeterpunkt exzentrisch).

Sta.ID	y[m]	x[m]	h[m]	Name/Ort	Netz	Nr.	Typ	Bemerkung
BRIG	642730.	129425.	715.	Brig				
BRIGex	642720.	129425.	715.	Brig			Exzentrum	
INTER	633440.	170530.	567.	Interlaken				
INTERex	633440.	170510.	570.	Interlaken			Exzentrum	
altdorf	691880.	193025.	458.	altdorf (UR)	Niv.	16	T1V 68	exz.(sh. Skizze)
aquaro	715475.	145800.	528.	aquarossa (TI)	Niv.	?	T0V 24 a.	
basel	611560.	267290.	270.	basel (BS)	Niv.	2	T4V IV	
biel	585080.	221060.	450.	biel (BE)	Niv.	70	T5H F	exz.(sh. Skizze)
galgen	708825.	226695.	426.	galgenen (SZ)	Niv.	136	T4V 27	
malo	773460.	140960.	1810.	maloja (GR)	LV95	111		
mendri	720000.	80710.	357.	mendrisio (TI)	Niv.	399	T1V 195	
menz	641254.	210053.	1110.	menzberg (LU)	LV95	50		
monthey	562095.	122470.	421.	monthey (VS)	Niv.	403	T4V 50	
mont	762660.	245360.	420.	montlingen (SG)	LV95	15		
payerne	561820.	185650.	458.	payerne (VD)	Niv.	?	T4H M	exz.(sh. Skizze)
pfyn	613100.	128540.	603.	pfynwald (VS)	Niv.	191	T4V C	
porren	572870.	251780.	425.	porrentruy (JU)	Niv.	142	T4H 30	exz.(sh. Skizze)
sibl	703460.	285260.	515.	siblingen (SH)	LV95	22		
thun	612800.	178700.	560.	thun (BE)	LV95	59		
versoix	501890.	126420.	386.	versoix (GE)	Niv.	59	T4H 55	
weinf	725860.	269940.	442.	weinfelden (TG)	Niv.	?	H1H 336	exz.(sh. Skizze)

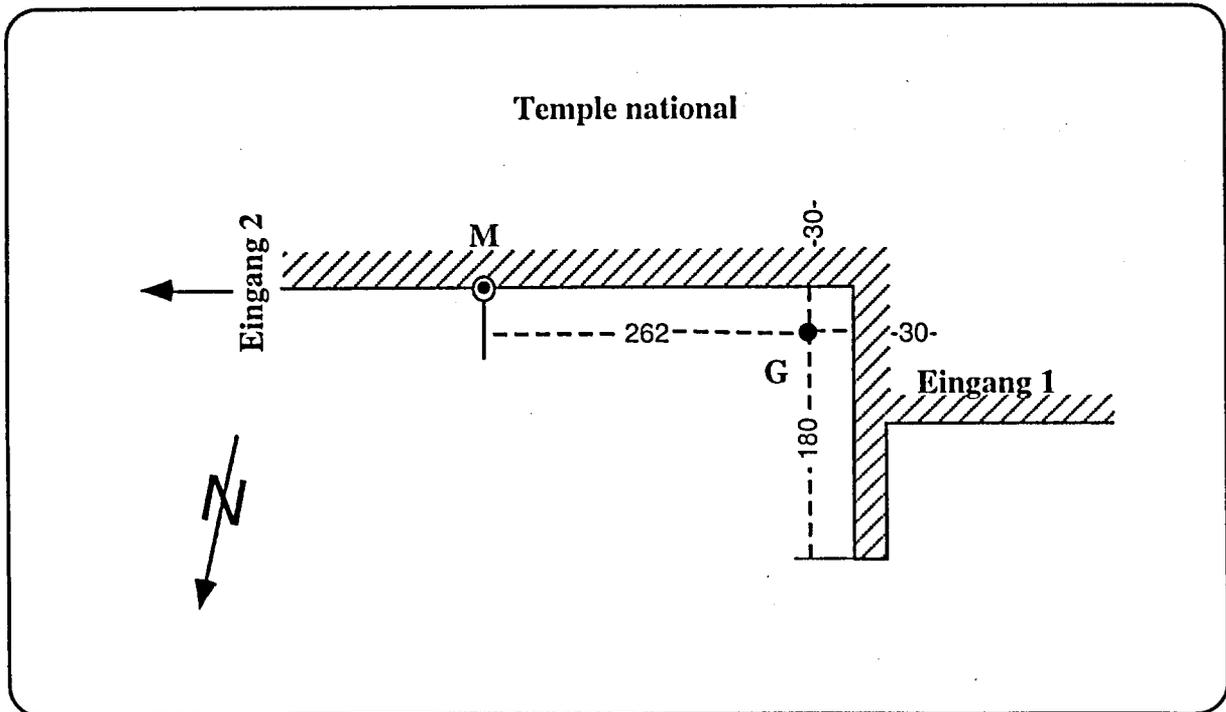
Schwerestation Altdorf



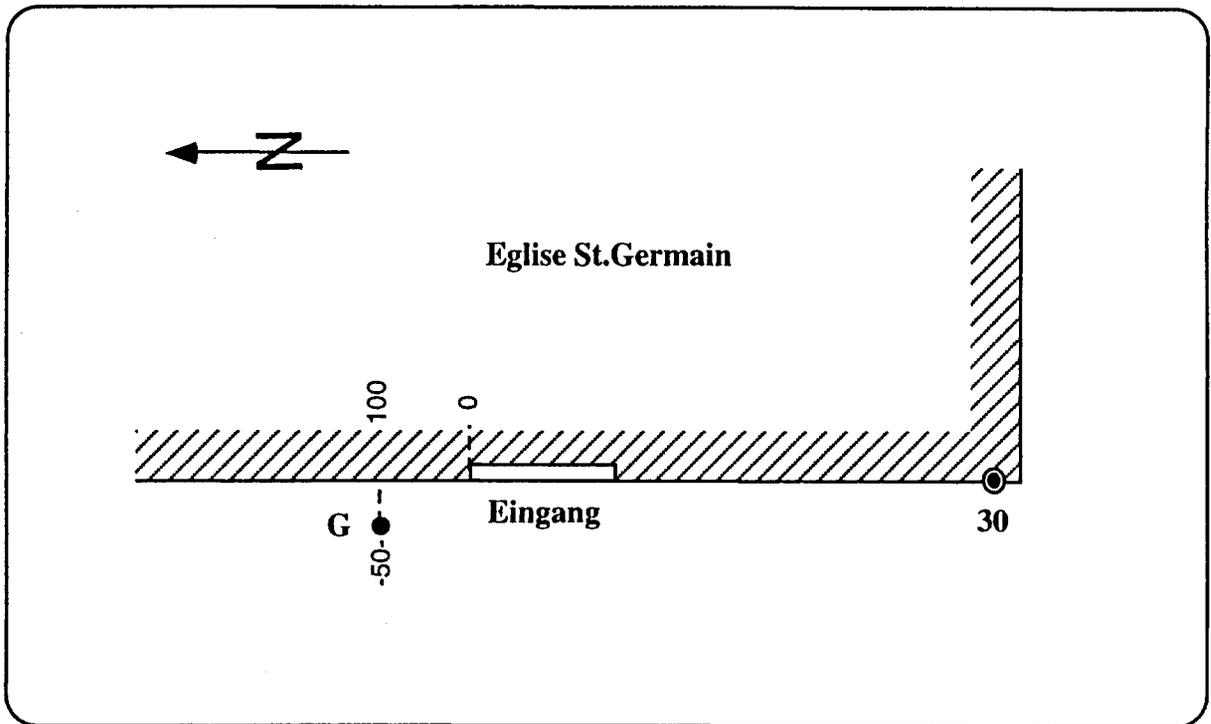
Schwerestation Biel



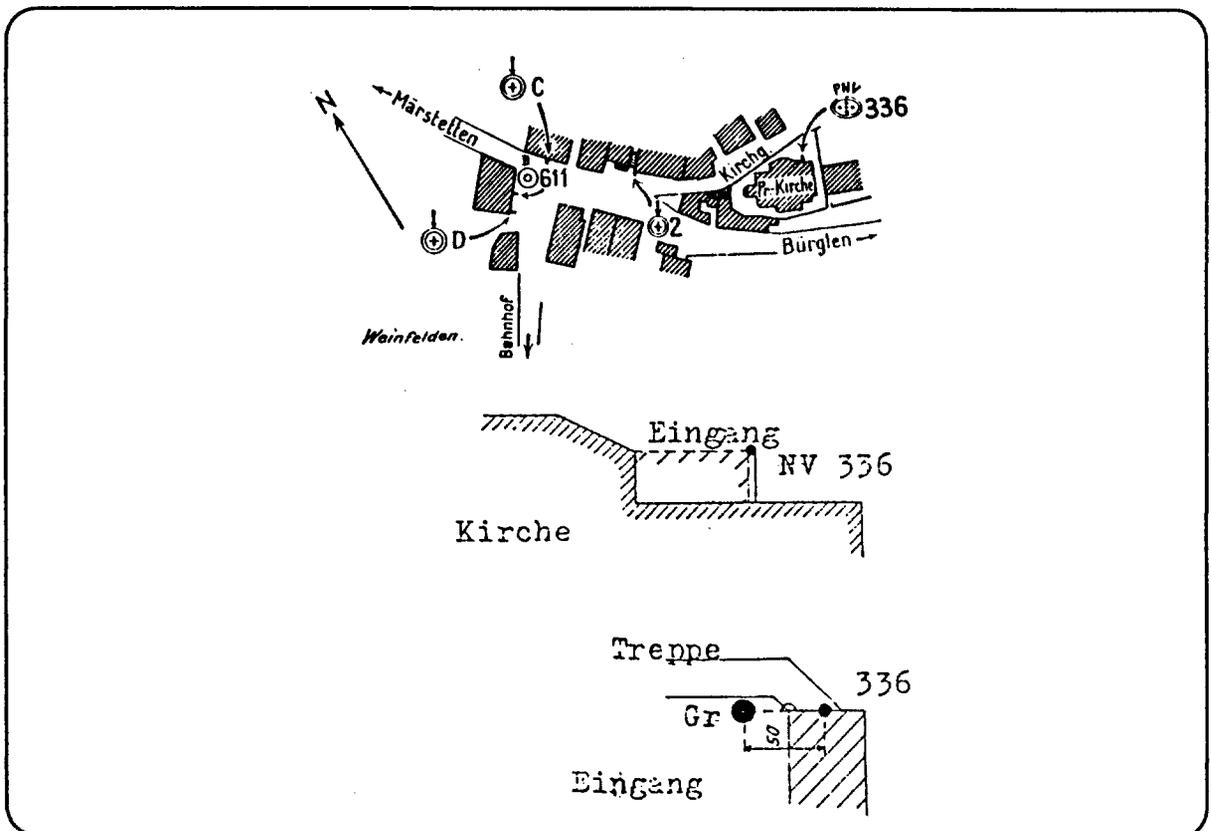
Schwerstation Payerne



Schwerestation Porrentruy



Schwerstation Weinfelden



Anhang C : Ergänzende Punktbeschreibungen Punkte 2. Ordnung (LV'95 Punkte)

Die genauen Punktbeschreibungen können von der Landestopographie (L+T) in Wabern erhalten werden.

Geographische Länge und Breite der Stationen siehe Anhang D

Sta.ID	y [m]	x [m]	h [m]	Name/Ort	Sta.Nr	Bemerkung
bach	709470.	237240.	725.	bachtel (ZH)	1	
brut	693030.	258950.	640.	brütten (ZH)	2	
bube	684040.	270180.	525.	buchberg (SH)	3	
chri	617320.	268520.	455.	chrischona (BS)	4	
dett	733080.	275940.	500.	dettighofen (TG)	5	
eins	700560.	220900.	925.	einsiedeln (SZ)	6	
gast	719690.	227920.	550.	gaster (SG)	7	Messung auf Exzenter südlich des LV95 Pkt
gold	751580.	259790.	500.	goldach (SG)	8	
hohe	703450.	291350.	685.	hohentwiel (D)	9	nicht gemessen
hong	679900.	251330.	530.	hönggerberg (ZH)	10	
hutt	637730.	274960.	990.	hütten (D)	11	
lage	672520.	259400.	850.	lägern (ZH)	12	
lauf	646840.	268050.	340.	laufenburg (AG)	13	
lenz	656349.	248750.	500.	lenzburg (AG)	14	
mont	762660.	245360.	420.	montlingen (SG)	15	Punkt 1.Ordnung
noll	726870.	261520.	730.	nollen (TG)	16	
ober	726400.	245260.	850.	oberhelfenschwil (SG)	17	
pfan	776650.	265370.	1040.	pfänder (A)	18	
pfst	693620.	238350.	800.	pfannenstiel (ZH)	19	
saue	707630.	257570.	890.	schauenberg (ZH)	20	
swag	741060.	236720.	1250.	schwägalp (AR)	21	
sibl	703460.	285260.	515.	siblingen (SH)	22	Punkt 1.Ordnung
sins	672350.	227820.	425.	sins (AG)	23	
siss	628630.	258950.	700.	sissacherfluh (BL)	24	
stam	703460.	276260.	510.	stammheim (ZH)	25	
wart	636310.	242620.	640.	wartburg (AG)	26	
zimm	602020.	191770.	900.	zimmerwald (BE)	27	
sonn	626780.	258170.	440.	sonnenberg (BS)	30	
boss	498510.	126540.	550.	bossy (GE)	31	
chai	558200.	144940.	500.	chailly (VD)	32	
chas	571140.	220270.	1600.	chasseral (NE)	33	
etro	528040.	187010.	1160.	col des etroits (NE)	34	
echa	530540.	155210.	450.	echadens (VD)	35	
esse	514540.	148550.	760.	essertines (VD)	36	
fahy	563030.	251075.	590.	fahy (JU)	37	
fore	557520.	191460.	470.	forel (FR)	38	Messung auf exc.1
frib	577710.	185115.	680.	fribourg (FR)	39	
gugg	593550.	180630.	1120.	guggisberg (BE)	40	
knut	647380.	228180.	580.	knutwil (LU)	41	
lang	629495.	228080.	560.	langenthal (BE)	42	
chau	555340.	241665.	1200.	la chaux-de-fonds(NE)	43	
givr	497400.	145620.	1205.	la givrine (VD)	44	
sarr	530240.	167830.	535.	la sarraz (VD)	45	
tour	571600.	161960.	750.	la tour-de-trême (FR)	46	
lieu	510640.	166100.	1050.	le lieu (VD)	47	
rang	582660.	247151.	840.	les rangiers (JU)	48	
lueg	619580.	213690.	840.	lueg (BE)	49	
menz	641254.	210053.	1110.	menzberg (LU)	50	Punkt 1. Ordnung

Sta.ID	y [m]	x [m]	h [m]	Name	Sta.Nr	Bemerkung
metz	601510.	257600.	495.	metzerlen (SO)	51	
moud	552585.	168100.	735.	moudon (VD)	52	
reco	582450.	231570.	815.	reconvilier (BE)	53	
ried	609530.	231840.	510.	riedholz (SO)	54	
pito	499520.	105670.	1370.	piton (F)	55	nicht gemessen
savi	547170.	153530.	720.	savigny (VD)	56	
seed	591220.	209895.	570.	seedorf (BE)	57	
sign	623780.	198000.	705.	signau (BE)	58	
thun	612800.	178700.	560.	thun (BE)	59	Punkt 1. Ordnung
trav	541640.	199285.	785.	travers (NE)	60	
voge	618430.	246410.	1200.	vogelberg (SO)	61	
vull	573835.	201410.	650.	vully (FR)	62	
alpn	666860.	200560.	825.	alpnach (OW)	71	
asco	703110.	112930.	215.	ascona (TI)	72	
beat	629180.	172460.	1335.	beatenberg (BE)	73	
bias	717280.	134680.	290.	biasca (TI)	74	
bign	690340.	132670.	590.	bignasco (TI)	75	
bour	582240.	89680.	1625.	bourg st.pierre (VS)	76	
brie	648360.	177990.	645.	brienz (BE)	77	
crod	668700.	122620.	535.	crodo d'ossola (I)	78	
dalp	702440.	148460.	1245.	dalpe (TI)	79	
engs	609720.	144170.	1960.	engstiligenalp (BE)	80	
fies	654280.	141900.	1155.	fiesch (VS)	81	
gene	722650.	87790.	1690.	generoso (TI)	82	
grim	669030.	157190.	2170.	grimsel (VS)	83	
jeiz	621900.	130595.	1530.	jeitzinen (VS)	84	
jung	641940.	155230.	3570.	jungfrauoch (BE)	85	nicht gemessen
haud	605410.	103350.	1450.	les haudères (VS)	86	
mart	571430.	106020.	570.	martigny (VS)	87	
obal	694280.	168360.	2035.	oberalppass (UR)	88	
saan	586920.	149060.	1115.	saanen (BE)	89	
saas	638240.	106790.	1825.	saas fee (VS)	90	
gott	686420.	156220.	2100.	san gottardo (TI)	91	
simp	645780.	122280.	2010.	simplon (VS)	92	
sion	594500.	120340.	580.	sion (VS)	93	
sonv	720570.	102720.	905.	sonvico (TI)	94	
trip	564520.	127040.	440.	st.triphon (VD)	95	
titl	675240.	180410.	3040.	titlis (OW)	96	zerstört
zerm	623710.	96020.	1685.	zermatt (VS)	97	
altd	691460.	191530.	460.	altdorf (UR)	101	
ande	752230.	162010.	1080.	andeer (GR)	102	
bern	799060.	143220.	2330.	berminapass (GR)	103	
bona	748970.	186190.	660.	bonaduz (GR)	104	
brig	725300.	180960.	1360.	brigels (GR)	105	
coli	750360.	112400.	260.	colico (I)	106	
davo	783750.	187620.	1560.	davos (GR)	107	
fili	771380.	171940.	1140.	filisur (GR)	108	
glar	722860.	212040.	520.	glarus (GL)	109	
klau	707970.	191680.	1950.	klausen (UR)	110	
malo	773460.	140960.	1810.	maloja (GR)	111	Punkt 1. Ordnung
meso	737980.	139000.	780.	mesocco (GR)	112	
arth	683130.	212150.	450.	oberarth (SZ)	113	
ramo	825900.	192180.	1530.	ramosch (GR)	114	
stma	829090.	166040.	1350.	santa maria (GR)	115	
sarg	751990.	212830.	500.	sargans (SG)	116	
zerm	803570.	175380.	1560.	zernez (GR)	117	
zerv	728390.	159150.	1980.	zervreilasee (GR)	118	

Aufstellung des Gravimeters :

- 1 : direkt auf Punkt
 2 : auf Grundplatte
 3 : auf Stativ

Nachteile der Station für Gravimetermessungen :

- 4 : unter Schacht, Instrument nicht direkt auf Punkt
 5 : Punkt unter 5- 10 cm Erde
 6 : Punkt auf Reservoir
 7 : auf Exzentrum gemessen

Station	1	2	3	4	5	6	7	Bemerkungen
bachtel			X					
brütten			X		X			
buchberg			X	X				
chrischona			X		X			
dettighofen			X	X				
einsiedeln	X							
gaster RV			X				X	
goldach			X			X		
hohentwiel	nicht gemessen							Punkt schwer zugänglich
höngerberg	X							
hütten	X							
lägern	X							
laufenburg		X						Punkt sehr schwer zugänglich
laufenburg VBoI	X						X	gefährliche Aufstellung
lenzburg			X		X			
montlingen	X							
nollen	X					X		
oberhelfenschwil	X					X		
pfänder	X							
pfannenstiel			X		X			
schauenberg		X						
schwägalp	X							
siblingen	X							
sins			X	X				
sissacherfluh			X		X			
stammheim			X	X				
wartburg			X					
zimmerwald	X							
sonnenberg	X							
bossy		X		X				
chailly		X						
chasseral			X					
col des etroits	X							
echandans		X		X				
essertines		X		X				
fahy		X		X				
forel exc. I	X						X	GPS Punkt in umgeplügtem Acker
fribourg			X					
guggisberg		X		X				
knutwil			X	X				Schlechte Entwässerung
langenthal			X	X				
la chaux-des-fonds		X		X				
la givrine	X							
la sarraz	X							

Station	1	2	3	4	5	6	7	Bemerkungen
la tour de trême			X					
le lieu			X					
les rangiers		X		X				
lueg			X	X				
menzberg	X							
metzerlen		X		X				
moudon		X		X				
piton	nicht gemessen							
reconvilier		X		X				
riedholz		X		X				
savigny			X	X				
seedorf		X		X				
signau		X		X				
thun	X							
travers	X					X		
vogelberg		X						
vully		X		X				
alpnach			X					
ascona			X					
beatenberg			X	X				
biasca		X		X				
bigniasco	X							
bourg-st-pierre		X						
brienz		X		X				
crodo d'ossola	X							
dalpe			X					
engstligenalp		X						
fieschertal		X						
generoso			X					
grimsel		X						
jeizinen		X						
jungfraujoch	nicht gemessen							
les haudères		X						
martigny		X						Punkt sehr schwer zugänglich
oberalp			X					
saanen			X					
saas fee			X					
san gottardo		X						
simplon		X						
sion		X						
sonvico		X						
st-triphon			X					
titlis		X						(Punkt zerstört ? (A.Wiget))
zermatt			X					
altdorf			X	X				
andeer			X					
bernina			X					
bonaduz			X	X				
brigels			X					
colico			X					
davos			X	X				
filisur			X					
glarus			X	X				
klausen			X	X				
maloja	X							
mesocco	X							
oberarth			X	X				

Station	1	2	3	4	5	6	7	Bemerkungen
ramosch			X					
sta maria			X	X				
sargans			X					
zemez			X					
zervreilasee			X	X				

Anhang D : Berechnete Schwerewerte für alle Punkte 0. bis 2. Ordnung

Bei allen Schwerewerten muss 980'000 mgal addiert werden. Unter Gradient ist die modellierte Abweichung des Schweregradienten vom Freiluftgradienten (0.3086 mgal/m) angegeben.

Benutzte ausländische Absolutstationen (Schwerewerte fixiert)

Station	Breite [grad][min]	Länge [grad][min]	Höhe [m]	Schwere [mgal]	Gradient [mgal/m]	Anz. Mess.	Frei. grad	$\hat{\sigma}$	Bemerkung
kobl	47 20.12	9 36.25	456.0	612.404	0.010	20	17.2	1.0	Koblach (A)
tisi	47 13.66	9 34.34	458.0	588.184	-0.009	10	8.5	0.9	Tisis (A)
FREL3	47 59.30	7 49.52	256.0	824.641	0.000	1	0.9	0.1	Freiburg (D)
WANG.0	47 41.33	9 49.94	566.0	653.729	-0.003	3	2.5	1.2	Wangen (D)
MILANO	45 29.60	9 13.50	122.0	550.165	0.000	3	2.5	0.7	Milano (I)

Ausgeglichene Schwerestationen

Station	Breite [grad][min]	Länge [deg][min]	Höhe [m]	Schwere [mgal]	Gradient [mgal/m]	σ [μ gal]	Anz. Mess.	Frei. grad	$\hat{\sigma}$	Bemerkung
CENE	46 8.02	8 54.49	703.7	511.840	-0.018	4.7	7	5.5	0.9	
CHUR	46 50.97	9 32.26	629.0	453.729	-0.044	4.3	11	8.7	1.2	
ZURlabs	47 24.62	8 30.47	519.0	647.968	0.007	3.7	5	3.4	1.0	
LAUS	46 31.35	6 34.10	392.0	604.749	0.000	4.8	27	23.2	1.2	
PRAT	47 30.72	7 42.41	393.4	730.581	0.008	4.9	9	5.6	0.9	
BRIG	46 18.97	7 59.66	715.0	407.484	-0.012	18.4	2	1.0	1.2	
BRIGex	46 18.97	7 59.66	715.0	407.219	-0.022	14.3	4	2.9	0.7	
CENE.1	46 8.02	8 54.49	706.0	511.952	-0.016	5.4	4	3.0	1.4	
CENEex	46 8.02	8 54.51	705.0	512.763	-0.016	5.1	21	18.3	1.0	
CHURex	46 51.00	9 32.26	632.0	454.005	-0.024	5.2	23	18.2	0.9	
ZURibas	47 24.54	8 30.66	530.0	643.668	0.003	4.3	140	122.4	1.1	
INTERex	46 41.18	7 52.61	570.0	505.022	-0.012	13.1	4	2.9	0.7	
LAUSex	46 31.37	6 34.10	396.0	604.171	0.002	5.5	8	6.5	1.1	
PRATex	47 30.72	7 42.41	390.0	730.664	0.005	5.9	27	22.7	1.1	
altdorf	46 53.00	8 38.71	458.0	527.494	-0.057	12.8	4	2.9	1.1	
aquaro	46 27.29	8 56.57	528.0	454.595	0.104	13.5	4	2.9	1.0	
basel	47 33.46	7 35.59	270.0	763.379	0.005	11.4	7	5.5	1.2	
biel	47 8.50	7 14.57	450.0	653.921	-0.048	11.0	6	4.6	0.7	
galgen	47 11.02	8 52.54	426.0	601.116	-0.009	10.2	7	5.6	1.0	
mendri	45 52.11	8 59.10	357.0	559.090	-0.059	12.6	4	2.9	0.2	
monthey	46 15.23	6 56.88	422.0	514.392	-0.028	11.8	5	3.8	0.7	
payerne	46 49.33	6 56.35	458.0	610.612	0.003	11.4	5	3.8	1.0	
pfyn	46 18.56	7 36.58	604.0	432.492	0.065	12.8	5	3.8	0.7	
porren	47 25.06	7 4.80	426.0	708.913	-0.005	11.4	6	4.6	1.0	
versoix	46 17.00	6 9.98	387.0	585.566	-0.002	10.7	6	4.8	0.7	
weinfé	47 34.17	9 6.75	442.0	672.117	-0.001	11.5	6	4.7	1.4	
bach	47 16.70	8 53.20	725.0	564.441	0.022	11.9	6	4.5	0.8	
brut	47 28.57	8 40.43	640.0	629.290	0.062	12.2	5	3.7	1.1	
bube	47 34.70	8 33.41	525.0	678.155	0.037	12.1	6	4.4	0.6	
chri	47 34.11	7 40.19	455.0	735.444	0.028	16.8	3	1.8	0.6	
dett	47 37.32	9 12.61	500.0	666.523	0.003	11.7	6	4.6	1.0	
eins	47 7.97	8 45.92	925.0	499.739	-0.008	12.0	6	4.6	1.2	
gast	47 11.56	9 1.16	550.0	577.790	0.039	11.5	6	4.5	1.2	Exz. südlich
gold	47 28.37	9 27.05	500.0	632.656	0.018	11.8	6	4.8	0.9	
hohe	47 45.96	8 49.18	685.0		0.164					nicht gem.
hong	47 24.56	8 29.90	530.0	645.477	0.022	15.5	3	1.8	0.1	
hutt	47 37.54	7 56.50	990.0	647.470	0.033	14.8	3	1.9	0.9	

Station	Breite [grad][min]	Länge [grad][min]	Höhe [m]	Schwere [mgal]	Gradient [mgal/m]	σ [μ gal]	Anz. Mess.	Frei. grad	δ	Bemerkung
lage	47 28.96	8 24.11	850.0	593.342	0.145	11.7	6	4.4	0.5	Exz. VBo1
lauf	47 33.77	8 3.72	340.0	730.713	0.036	16.0	3	1.8	1.7	
laufex	47 33.77	8 3.72	340.0	737.209	0.000	16.8	3	1.8	1.1	
lenz	47 23.31	8 11.16	500.0	661.663	0.078	15.9	3	1.8	0.8	
mont	47 20.42	9 35.55	420.0	618.723	-0.002	6.8	19	16.4	1.0	
noll	47 29.61	9 7.41	730.0	598.728	0.049	11.4	6	4.6	0.9	
ober	47 20.85	9 6.76	850.0	547.985	0.020	11.6	6	4.6	0.9	
pfan	47 31.00	9 47.13	1040.0	519.249	0.112	11.1	6	4.5	1.0	
pfst	47 17.45	8 40.65	800.0	559.726	0.029	14.0	4	2.6	0.2	
sau	47 27.69	8 52.04	890.0	565.370	0.117	11.7	6	4.5	1.2	
swag	47 16.06	9 18.24	1250.0	447.501	0.046	10.8	9	7.3	0.7	
sibl	47 42.67	8 49.10	515.0	708.352	-0.003	10.3	9	7.2	0.5	
sins	47 11.92	8 23.67	425.0	630.025	0.018	11.5	6	4.5	0.7	
siss	47 28.92	7 49.17	700.0	654.032	0.084	16.1	3	1.8	0.5	
stam	47 37.81	8 48.98	510.0	676.851	0.012	12.1	6	4.5	0.7	
wart	47 20.09	7 55.20	640.0	626.527	0.123	11.7	6	4.4	0.7	
zimm	46 52.70	7 27.97	900.0	511.955	0.020	9.0	14	12.0	1.0	
sonn	47 28.51	7 47.69	440.0	711.468	0.010	9.6	12	9.8	0.7	
boss	46 17.03	6 7.35	450.0	578.986	-0.002	11.4	6	4.6	0.4	
chai	46 27.35	6 53.73	500.0	548.595	-0.035	8.9	12	10.1	0.7	
chas	47 8.05	7 3.55	1600.0	421.210	0.095	11.7	9	7.4	0.8	
etro	46 49.90	6 29.78	1160.0	491.247	0.019	12.2	6	4.7	0.6	
echa	46 32.75	6 32.03	450.0	598.656	0.004	9.7	9	7.4	0.7	
esse	46 29.04	6 19.59	760.0	536.869	0.029	9.9	9	7.4	0.5	
fähy	47 24.65	6 56.98	590.0	678.707	0.020	12.3	6	4.4	0.9	
fore	46 52.45	6 52.94	470.0	618.683	0.008	8.6	11	9.4	0.5	
früb	46 49.09	7 8.85	680.0	554.476	0.030	11.8	6	4.6	1.0	
gugg	46 46.69	7 21.31	1120.0	454.726	-0.032	12.9	5	3.8	0.8	
knut	47 12.25	8 3.90	580.0	608.578	0.012	11.6	6	4.3	0.5	
lang	47 12.26	7 49.74	560.0	629.689	0.016	12.3	5	3.7	1.1	
chau	47 19.54	6 50.92	1200.0	510.060	-0.043	9.6	12	10.1	1.1	
givr	46 27.32	6 6.23	1205.0	455.510	-0.004	12.5	6	4.6	0.9	
sarr	46 39.56	6 31.68	535.0	595.627	0.019	7.7	15	13.1	1.0	
tour	46 36.57	7 4.13	750.0	507.088	-0.003	10.3	9	7.4	0.8	
lieu	46 38.49	6 16.34	1050.0	504.240	-0.013	10.7	8	6.5	0.8	
rang	47 22.58	7 12.60	840.0	617.878	-0.031	9.7	12	9.9	1.0	
lueg	47 4.52	7 41.85	840.0	546.989	0.030	12.4	5	3.7	1.0	
menz	47 2.49	7 58.95	1110.0	471.897	0.094	9.1	13	10.6	1.1	
metz	47 28.23	7 27.58	495.0	702.640	-0.005	12.2	6	4.5	0.9	
moud	46 39.82	6 49.20	735.0	530.200	0.020	10.4	9	7.5	1.0	
reco	47 14.17	7 12.47	815.0	599.989	0.007	10.1	9	7.1	0.5	
ried	47 14.33	7 33.93	510.0	652.300	0.001	10.4	8	6.4	0.7	
pito	46 5.78	6 8.41	1370.0							nicht gem.
savi	46 31.94	6 45.05	720.0	529.360	0.003	10.3	8	6.4	0.8	
seed	47 2.48	7 19.44	570.0	610.334	0.019	9.0	11	9.4	0.5	
sign	46 56.04	7 45.11	705.0	548.214	-0.002	12.4	5	3.6	0.9	
thun	46 45.64	7 36.43	560.0	541.850	-0.006	7.1	22	19.2	0.9	
trav	46 56.60	6 40.38	785.0	574.994	-0.003	10.3	9	7.4	0.4	
voge	47 22.18	7 41.02	1200.0	523.902	0.096	11.9	6	4.5	0.9	
vull	46 57.87	7 5.74	650.0	586.017	0.063	9.9	9	7.5	1.0	
alpn	46 57.24	8 19.08	825.0	496.229	0.093	10.5	9	7.0	0.9	
asco	46 9.67	8 46.48	215.0	644.839	-0.029	10.2	12	10.2	1.2	
beat	46 42.24	7 49.27	1335.0	365.116	0.054	14.3	6	4.5	0.5	
bias	46 21.27	8 57.81	290.0	517.698	-0.032	9.0	18	15.5	1.2	
bign	46 20.44	8 36.79	590.0	474.307	0.017	12.9	6	4.6	0.9	
bour	45 57.58	7 12.63	1625.0	201.636	-0.022	18.4	6	4.6	1.2	

Station	Breite [grad][min]	Länge [grad][min]	Höhe [m]	Schwere [mgal]	Gradient [mgal/m]	σ [μ gal]	Anz. Mess.	Frei. grad	$\hat{\sigma}$	Bemerkung
brie	46 45.16	8 4.36	645.0	498.650	-0.015	10.5	9	7.1	0.9	
crocl	46 15.16	8 19.83	535.0	451.724	-0.070	18.0	2	1.0	1.1	
dalp	46 28.85	8 46.43	1245.0	343.889	0.021	13.8	9	7.1	1.4	
engs	46 27.00	7 33.97	1960.0	210.936	0.052	20.5	3	1.8	1.4	
fies	46 25.65	8 8.75	1155.0	331.467	-0.065	13.7	9	7.4	1.6	
gene	45 55.91	9 1.26	1690.0	259.681	0.247	16.9	7	5.5	1.1	
grim	46 33.82	8 20.40	2170.0	167.928	0.007	19.2	6	4.5	1.3	
jeiz	46 19.66	7 43.44	1530.0	257.067	0.080	16.9	6	4.6	0.6	
jung	46 32.90	7 59.19	3570.0		-0.028					nicht gem.
haud	46 4.97	7 30.57	1450.0	242.472	-0.066	16.3	9	7.4	0.8	
mart	46 6.38	7 4.20	570.0	426.218	0.023	13.4	6	4.8	1.3	
obal	46 39.67	8 40.30	2035.0	203.381	-0.043	17.3	9	7.1	0.9	
saan	46 29.64	7 16.15	1115.0	414.107	-0.012	13.2	6	4.5	0.6	
saas	46 6.76	7 56.06	1825.0	196.337	0.005	18.6	6	4.6	0.9	
gott	46 33.18	8 34.00	2100.0	189.016	0.046	17.1	12	9.7	0.9	
simp	46 15.10	8 2.00	2010.0	175.165	-0.010	17.6	11	9.0	1.5	
sion	46 14.14	7 22.10	580.0	439.752	0.042	10.1	17	14.8	1.1	
sonv	46 3.99	8 59.88	905.0	472.566	0.099	11.3	9	7.3	1.1	
trip	46 17.70	6 58.74	440.0	521.881	0.020	9.1	12	10.1	1.1	
titl	46 46.31	8 25.49	3040.0	-17.011	0.121	28.8	2	0.9	0.1	zerstört
zerm	46 0.99	7 44.75	1685.0	212.989	-0.004	21.3	3	1.8	0.5	
altd	46 52.19	8 38.36	460.0	527.687	-0.019	8.7	14	11.7	1.0	
ande	46 35.60	9 25.59	1080.0	345.485	-0.028	13.3	9	7.4	1.2	
bern	46 24.72	10 1.76	2330.0	121.538	0.009	22.3	5	3.5	0.8	
bona	46 48.69	9 23.51	660.0	450.615	-0.013	9.3	21	18.1	1.0	
brig	46 46.16	9 4.82	1360.0	325.478	0.040	14.0	9	7.2	1.1	
coli	46 8.85	9 23.16	260.0	562.940	-0.001	17.4	2	0.9	0.8	
davo	46 48.94	9 50.88	1560.0	277.839	-0.051	14.7	12	9.9	0.9	
fili	46 40.68	9 40.80	1140.0	343.300	0.047	15.3	6	4.6	0.3	
glar	47 2.96	9 3.41	520.0	539.213	-0.023	10.3	8	6.3	1.1	
klau	46 52.13	8 51.36	1950.0	242.728	-0.051	17.9	5	3.5	1.0	
malo	46 23.93	9 41.73	1810.0	224.820	-0.023	16.3	9	6.9	1.7	
meso	46 23.36	9 14.02	780.0	397.600	-0.061	12.4	9	7.4	1.0	
arth	47 3.39	8 32.03	450.0	582.914	-0.018	9.8	9	7.1	0.9	
ramo	46 50.62	10 24.13	1530.0	299.636	0.016	16.7	6	4.5	0.8	
stma	46 36.45	10 25.86	1350.0	293.459	-0.018	17.2	6	4.4	0.5	
sarg	47 3.02	9 26.42	500.0	531.891	0.031	9.6	12	10.5	1.0	
zerm	46 41.99	10 6.13	1560.0	271.581	-0.037	16.2	12	9.8	1.2	
zerv	46 34.35	9 6.88	1980.0	187.191	-0.054	18.9	6	4.6	1.1	



“Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz”
(Fortsetzung der Publikationsreihe “Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz”)
der Schweizerischen Geodätischen Kommission (ab Bd. 37):

- 37 1986 Les levés aéromagnétiques de la Suisse. E. Klingelé. 69 Seiten.
- 38 1986 Lokale Schwerefeldbestimmung und gravimetrische Modellrechnungen im Satelliten (GPS)- Testnetz “Turtmann” (Wallis). I. Bernauer, A. Geiger. 106 Seiten.
- 39 1989 125 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission
I. Bedeutung geodätischer Raumverfahren für Landesvermessung und Geodynamik. (R. Sigl)
II. Beitrag der Geodäsie zur Geodynamik. (H.-G. Kahle)
III. L'état actuel de la recherche sur les mouvements de l'écorce terrestre en Suisse. (F. Jeanrichard)
IV. Die Satellitengeodäsie im Dienste der globalen Geodynamik. (I. Bauersima)
V. Die Veranstaltungen zum 125 Jahr-Jubiläum der Schweizerischen Geodätischen Kommission. (W. Fischer). 62 Seiten.
- 40 1989 Integrale Schwerefeldbestimmung in der Ivrea- Zone und deren geophysikalische Interpretation. B. Bürki. 186 Seiten.
- 41 1990 ALGESTAR satellitengestützte Geoidbestimmung in der Schweiz. U. Marti. 61 Seiten plus Punktprotokolle.
- 42 1990 Höhensysteme, Schwerepotentiale und Niveauflächen: Systematische Untersuchungen zur zukünftigen terrestrischen und GPS-gestützten Höhenbestimmung in der Schweiz. B. Wirth. 204 Seiten.
- 43 1990 Gravimetrisches Geoid der Schweiz: Potentialtheoretische Untersuchungen zum Schwerefeld im Alpenraum. A. Geiger. 231 Seiten.
- 44 1991 Rapid Differential Positioning with the Global Positioning System (GPS). E. Frei. 178 Seiten.
- 45 1992 Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985-1990 Teil I. F. Jeanrichard (Hrsg.)
Autoren: A. Geiger, H.-G. Kahle, R. Köchle, D. Meier, B. Neiningen, D. Schneider, B. Wirth. 183 Seiten.
- 46 1993 Orbits of Satellite Systems in Space Geodesy. M. Rothacher. 243 Seiten.
- 47 1993 NFP 20. Beitrag der Geodäsie zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik. H.-G. Kahle (Hrsg.) Autoren: I. Bauersima, G. Beutler, B. Bürki, M. Cocard, A. Geiger, E. Gubler, W. Gurtner, H.-G. Kahle, U. Marti, B. Mattli, M. Rothacher, Th. Schildknecht, D. Schneider, A. Wiget, B. Wirth. 153 Seiten plus 90 Seiten Anhang.
- 48 1994 Ionosphere and Geodetic Satellite Systems: Permanent GPS Tracking Data for Modelling and Monitoring: Urs Wild, 155 Seiten.
- 49 1994 Optical Astrometry of Fast Moving Objects using CCD Detectors: Thomas Schildknecht, 200 Seiten.
- 50 1995 Geodätische Alpen traverse Gotthard: A. Elmiger, R. Köchle, A. Ryf und F. Chaperon. 214 Seiten.
- 51 1995 Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985-1993, Teil II (GPS-Netz).
F. Jeanrichard (Hrsg.) Autoren: G. Beutler, A. Geiger, M. Rothacher, Stefan Schaer, D. Schneider, A. Wiget, 173 Seiten.
- 52 1995 High Precision GPS Processing in Kinematic Mode: M. Cocard. 139 Seiten.
- 53 1995 Ambiguity Resolution Techniques in Geodetic and Geodynamic Applications of the Global Positioning System. L. Mervart. 155 Seiten.
- 54 1997 SG 95: Das neue Schweregrundnetz der Schweiz: F. Arnet und E. Klingelé. 37 Seiten.

