

# 150 Jahre Schweizerische Geodätische Kommission

Wie sollen all die Verdienste der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK) über einen so langen Zeitraum angemessen gewürdigt werden? Wohl kaum mit einer exakten, chronologischen Auflistung. Umso mehr, als zum 100. und 125. Jubiläum bereits ausführliche Beiträge erschienen sind (Kobold, 1962 und Schürer, 1986). Der vorliegende Artikel beschränkt sich deshalb auf ein paar Highlights und legt den Fokus auf die ursprüngliche Hauptaufgabe der SGK, die Gradmessungstriangulation. Diese wurde mit heutigen Mitteln neu ausgeglichen und analysiert. Das Ergebnis ist erstaunlich. Die Gründungsmitglieder der SGK haben mit den damals begrenzten technischen Möglichkeiten ausgezeichnete Resultate erzielt.

*Comment peut-on apprécier à leur juste valeur, sur une si longue période les mérites de la Commission géodésique suisse? Guère par une énumération exacte et chronologique. D'autant plus que lors des 100<sup>e</sup> et 125<sup>e</sup> anniversaires ont déjà paru des exposés détaillés (Kobold, 1962 et Schürer, 1986). Le présent article se limite donc à quelques points phares et se concentre sur la tâche initiale principale de la CGS, soit la mesure du réseau de triangulation. Celui-ci a été nouvellement compensé et analysé avec les moyens d'aujourd'hui. Les membres fondateurs de la CGS ont atteint d'excellents résultats avec les moyens techniques limités de l'époque.*

Come si possono onorare adeguatamente i meriti che la Commissione Geodetica Svizzera (CGS) ha fornito durante un così lungo lasso di tempo? Sicuramente non con un semplice elenco cronologico. Anche perché per il 100° e il 125° anniversario sono già apparsi degli articoli dedicati (Kobold, 1962 e Schürer, 1986). Per questo motivo, il seguente articolo si limita a presentare i punti salienti e pone l'accento sul compito fondamentale della CSG, cioè la triangolazione della misurazione degli archi. Quest'ultima è stata rianalizzata e ricompensata con gli strumenti attuali. Il risultato è sorprendente. I membri fondatori della CSG avevano allora ottenuto risultati sorprendenti con le limitate possibilità tecniche di quel tempo.

---

E. Gubler

---

## Die Zeit vor der Gründung

Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts existierten in der Schweiz nur ganz wenige Vermessungen, die diesen Namen verdienen. Auch kleinmassstäbliche Karten waren verzerrt, uneinheitlich und die wenigsten deckten die ganze Schweiz ab. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts hat Rudolf Wolf, der erste Professor für Astronomie und Begründer der Sternwarte der ETH Zürich, mit unermüdlichem Einsatz alle ihm bekannten historischen

Karten analysiert, einige markante Punkte ausgewählt und deren Abstände gemessen. Diese Abstände hat er dann mit jenen in der damals neuen *Generalkarte der Schweiz im Massstab 1:250 000* verglichen (Wolf, 1879). So fand er den mittleren Massstab der Karte und für einzelne Teile davon die Abweichung vom Sollmassstab. Er zeigte, dass einzig die Gygerkarte von 1667 des Kantons Zürich und jene von Peyer für den Kanton Schaffhausen von 1685 auf trigonometrischen Vermessungen beruhen. Sie sind dem Einsatz «einzelner Gelehrter oder opferfreudiger Männer» (Zölly, 1948, S. 41) zu verdanken.

Kein Wunder war Napoleon nach dem Einmarsch der französischen Truppen 1798 die genaue Kartierung der Schweiz ein grosses Anliegen, für das er das *Bureau topographique français en Helvétie* einrichten liess (Rickenbacher, 2009). Nach den militärischen Niederlagen Napoleons wurden diese Arbeiten abgebrochen, alle Unterlagen gingen nach Paris. In der Schweiz wussten nur wenige von den Resultaten. Schliesslich oblag es dem Oberstquartiermeister und Chef der neu formierten eidgenössischen Armee, das ganze Gebiet der Schweiz zu vermessen und in der *Topographischen Karte der Schweiz 1:100 000* darzustellen. Die Arbeiten wurden vom späteren General Guillaume-Henri Dufour geleitet. Die insgesamt drei Sitzungen der *Kommission für Landesaufnahme*, in der führende Wissenschaftler u.a. die geodätischen Parameter dieses Kartenwerks festlegten, können als eigentliche Vorgänger der SGK betrachtet werden (Graf, 1896). Das trigonometrische Netz, die so genannte *Triangulation primordiale* war zwar nach wie vor sehr inhomogen und stammte aus verschiedenen Quellen, aber es genügte für eine Karte dieses Massstabes. Als schwächster Punkt dieser Vermessungsarbeiten erwies sich schon bald die ungenügende Markierung der Vermessungsfixpunkte, von denen viele bald nicht mehr auffindbar waren. Die neue Karte war für die damalige Zeit einmalig und begründete den guten Ruf der Schweizer Kartografie. Besonders zu erwähnen sind die ausserordentlichen Leistungen, die von den Trigonometern und Topografen geleistet werden mussten, um das Hochgebirge der Alpen zu erschliessen und die notwendigen Daten ins *Bureau topographique fédéral* nach Genf zu bringen.

## Die Gründung der Schweizerischen Geodätischen Kommission

Den Anstoss zur Gründung der SGK gab eine Einladung des preussischen Generals Baeyer an den Bundesrat, die Schweiz sol-



Abb. 1: Steinpyramide auf Titlis, 1863, Foto Charles Braun, Schweizerisches Alpines Museum, Bern.

le sich an der geplanten *Mittel-Europäischen Gradmessung* beteiligen. Baeyer wollte nicht nur die Dimensionen des Rotationsellipsoids genauer bestimmen. Sondern er suchte schon damals die Form und Grösse des Geoids. Dabei war der Alpenraum besonders interessant, da dort die bedeutendsten Abweichungen vom Ellipsoid erwartet wurden. Auf Anraten von General Dufour wie auch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (SNG) – der heutigen Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT) – erklärte der Bundesrat im Jahre 1861 den Beitritt zur *Mittel-Europäischen Gradmessung*. Dieser gehörten schon bald 13 Staaten an. Sie wurde von einer permanenten Kommission koordiniert und von einem Zentralbüro unterstützt.

Nun stellte sich die Frage, wer in der Schweiz die notwendigen Arbeiten an die Hand nehmen sollte. Das *Topographische Bureau* hatte die Triangulationsarbeiten schon vor etwa zwanzig Jahren abgeschlossen und war mit der Herausgabe der Karten beschäftigt. Es waren zu der Zeit keine geodätischen Arbeiten im Gang. Die SNG hatte deshalb in ihrer Stellungnahme beantragt, dass sie eine Schweizerische Geodätische Kommission schaffen werde. Diese sollte die bedeutendsten Geodäten und Astronomen der Schweiz vereinen und mit den anstehenden Arbeiten beauftragt werden. Der Bundesrat stimmte zu. Schon in ihrer Sitzung vom 22. August 1861 wählte die SNG Prof. Wolf als Präsidenten und General G.H. Dufour, Prof. E. Ritter, Leiter der Sternwarte Genf, Dr. A. Hirsch, Leiter

der Sternwarte Neuenburg, sowie Ingenieur H.H. Denzler als Mitglieder der neuen Kommission. Da Prof. Ritter schon nach einem Jahr verstarb, trat sein Nachfolger in Genf, Prof. E. Plantamour, an seine Stelle. Mitglieder der Kommission waren und sind bis heute bedeutende Geodäten, Astronomen und Geophysiker unseres Landes. Sie werden durch den Senat der Akademie gewählt. Am Anfang war die SGK die einzige Instanz die sich mit landesweiten geodätischen Aufgaben befasste. Die Kommissionsmitglieder leisteten persönlich und mit ihren Angestellten einen grossen Teil der Arbeiten. Für Feldarbeiten und Berechnungen grösseren Umfangs wurden Ingenieure angestellt.

## Die Gradmessungstriangulation

Die Kommission tagte am 11. April 1862 zum ersten Mal und hatte zu entscheiden, ob die *Triangulation primordiale*, die als Grundlage für die Dufourkarte gedient hatte, auch als Schweizer Beitrag zur Gradmessung dienen konnte. Sowohl bezüglich Genauigkeit wie auch bezüglich Stabilität und Zustand der Fixpunkte bestanden grosse Bedenken. Die neue Ausgleichung hatte nach der damals noch wenig verbreiteten Methode der kleinsten Quadrate zu erfolgen. Die Kommission beschloss, das Netz zu revidieren, schwache Teile neu zu messen und einen geeigneteren Übergang über die Alpen ins Tessin zu suchen, der es erlauben sollte, auf jedem Punkt Winkelmessungen durchzuführen. Das gelang tatsächlich, nicht zuletzt Dank der Dufourkarte, mit der ein Netzentwurf im stillen Kämmerlein ausgearbeitet werden konnte.

Die Messungen beanspruchten dann aber viel mehr Zeit als ursprünglich angenommen. Es wurden viel zu viele exzentrische Stationen bezogen und als Ziele dienten weitgehend grosse hölzerne Signale oder Steinpyramiden (Abb. 1). Die letzten Winkelmessungen datieren aus dem Jahre 1879. Die Beobachter hatten im damals noch wenig erschlossenen Gebirge mit vielerlei Gefahren und Widrigkeiten zu

kämpfen. Anstelle der heutigen leichten, kompakten Theodolite, mussten sie schwere, unhandliche Geräte mitschleppen, deren Messfehler so gross waren, dass eine Vielzahl von Einzelmessungen notwendig war, um die geforderte Genauigkeit zu erreichen (SGK Band I, 1881).

In den Jahren 1880/81 konnten, mit Unterstützung des spanischen Militärgeographischen Instituts, drei neue Grundlinien gemessen werden, die dem Netz einen sicheren Massstab geben sollten. Sie lagen bei Aarberg im grossen Moos, bei Weinfeldern in der Ostschweiz und bei Giubiasco im Tessin. Diese Basen von 2 bis 3 km Länge konnten mit einem mittleren Fehler von 1 mm bestimmt werden. Ihre Länge musste mit Basisvergrösserungsnetzen auf die Gradmessungstriangulation übertragen werden, was je nach Topografie problematisch sein konnte (Abb. 2). Das Netz in Weinfeldern hatte eine ungünstige Geometrie und jenes im Tessin wies steile Visuren auf, so dass auf einigen Stationen die Lotabweichungen gemessen und viele Messungen wiederholt werden mussten um brauchbare Ergebnisse zu erzielen. Diese Arbeiten nahmen noch weitere Jahre in Anspruch (SGK Band III, 1888 und Band IV, 1889).

Die Resultate der neuen Triangulation konnten erst im Jahre 1890 publiziert werden (SGK Band V, 1890). Die erreichte Genauigkeit liess sich allerdings sehen und rechtfertigte die Neumessung des Netzes im Nachhinein. Der mittlere Richtungsfehler aus der Ausgleichung lag bei 0.9" (SGK Band II, 1885, S. 39). Messungen und Berechnungen sind in den Publikationen der SGK sauber und sehr detailliert dargestellt, so verlockend, dass ein alter Geodät Lust verspürt, die Messungen zu erfassen und mit heutigen Mitteln neu auszugleichen.

Anfangs des 20. Jahrhunderts wuchs der Bedarf nach genauen Vermessungsgrundlagen stark an, vor allem als Grundlage für die neue Grundbuchvermessung. Das Topographische Bureau, die heutige Landestopografie, wurde beauftragt, ein Triangulationsnetz 1. bis 3. Ordnung über die ganze Schweiz zu erstellen. Eine vom

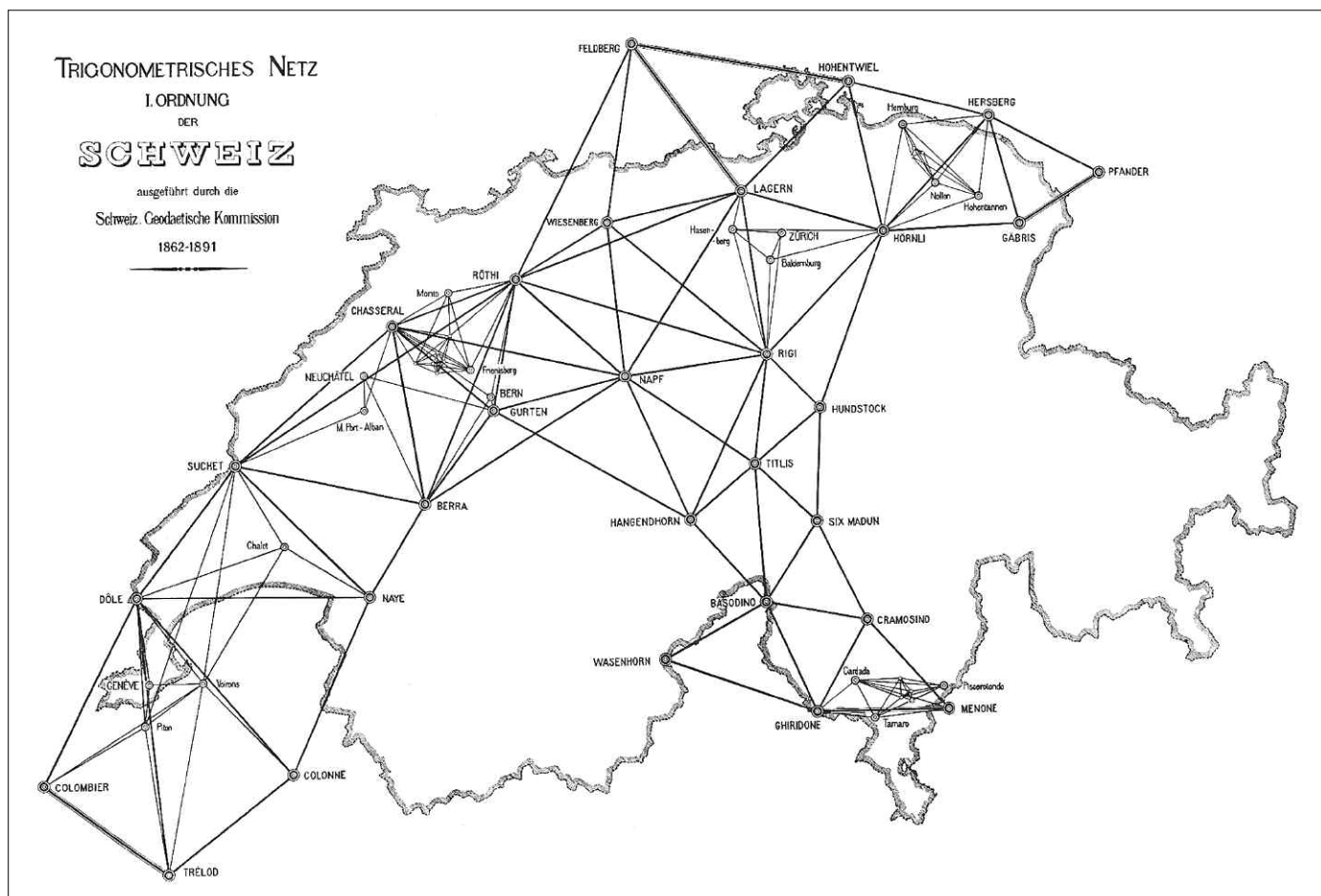


Abb. 2: Netzplan des Gradmessungsnetzes mit den Basisvergrößerungsnetzen Aarberg, Weinfeldern und Giubiasco (Zölly, 1948, S. 68).

Justiz- und Polizeidepartement eingebefundene Kommission hatte zu prüfen, ob die von der SGK geschaffenen Grundlagen ausreichten. Aus praktischen und zeitlichen Gründen beschloss die Kommission, das inzwischen über das ganze Land ausgedehnte Netz der SGK zu verwenden, obwohl eine Minderheit, unter anderem Prof. Baeschlin von der ETH, dringend davon abriet. Deshalb stützt sich die schweizerische Landesvermessung LV03 im Wesentlichen bis heute auf das Werk der SGK (Zölly, 1948, S. 100). Allerdings mussten die von der SGK berechneten Koordinaten in die neue winkeltreue schiefachsige Zylinderprojektion (Rosenmund, 1903) transformiert werden (SGK Band X, 1907, S. 219–231). In der Folge wurden dann doch grössere Teile des Netzes neu gemessen, wenigstens soweit die Koordinaten nicht schon in Folgevermessungen verwendet worden waren.

## Die Neuausgleichung der Gradmessungstriangulation

Aus ihren Ausgleichungen fand die SGK einen mittleren Richtungsfehler von  $0.9''$ . Man musste also mit einer Standardabweichung für die Richtungen von etwa 3 cc rechnen, was  $0.3 \text{ mgon}$  entspricht. Im Gegensatz zu damals ist es heute möglich, das Gradmessungsnetz gemeinsam mit den drei Basisvergrößerungsnetzen Aarberg, Weinfeldern und Giubiasco auszugleichen und den Netzmassstab direkt aus den Basislängen abzuleiten. Zudem können heute, gestützt auf das aktuelle Schweizer Geoid CHGeo2004 (Marti und Schlatter, 2005), für jeden Punkt der Schweiz genaue Lotabweichungen und Geoidhöhen berechnet und in der Ausgleichung verwendet werden. Gelagert wird das Netz im Koordinatenursprung

(600/200 km) und mit dem damals aus astronomischen Messungen abgeleiteten Azimut auf den Punkt Chasseral (Zölly, 1948, S. 71). Diese neue Ausgleichung, die nun auch die Basisvergrößerungsnetze einschliesst, zeigt, dass die Messungen eine höhere Genauigkeit aufweisen als die SGK gefunden hatte. Die Standardabweichung an einer Richtung liegt über das ganze Netz bei 1.8 cc oder  $0.6''$ . Das liegt teilweise an den genaueren Korrekturen durch die Lotabweichungen, welche die Standardabweichung von 2.1 cc auf 1.8 cc vermindern.

Vergleicht man die von der SGK im Band V publizierten Resultate mit den neu ausgeglichenen, zeigen sich die Einschränkungen der damaligen Berechnungsmethoden deutlich. Das Netz wurde zwar nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen, der Netzmassstab aber erst in einer nachfolgenden Berechnung



bestimmt. Dabei wurde das Gradmessungsnetz als fehlerfrei angenommen und der Netzmassstab aus dem gewogenen Mittel der drei Basen errechnet (SGK Band V, 1890, S. 163ff). Die neue Ausgleichung zeigt, dass der von der Kommission festgestellte Widerspruch zwischen den drei Basen vom Gradmessungsnetz und den Vergrößerungsnetzen problemlos geschluckt wird. Es ist im Gegenteil so, dass sich die drei Basen nicht einmal gegenseitig kontrollieren sondern den Netzmassstab in ihrer Umgebung festlegen. Der Redundanzanteil der drei Basen liegt bei 0.08.

Die neue Ausgleichung wurde in zwei Varianten durchgeführt. Die erste ohne Berücksichtigung der Lotabweichungen, die zweite mit Berücksichtigung der von der Landestopografie zur Verfügung gestellten Lotabweichungen. Die erste (ohne

Lotabweichungen im Basisvergrößerungsnetz!) weist im Tessin einen Massstabsfehler von 17 ppm auf, weil die Dreieckseite Ghiridone–Menone um 66 cm zu lang errechnet wird. Werden die Lotabweichungen berücksichtigt, stimmen die Koordinaten bis auf wenige dm mit den von der SGK publizierten Werten überein.

Ein Vergleich mit den von der Landestopografie zu Beginn des letzten Jahrhunderts publizierten Koordinaten der Landesvermessung LV03 zeigt, dass vor allem im Alpenraum und im Tessin ein neues Netz gemessen wurde und bessere Ergebnisse erzielt worden sind. Ein letzter Vergleich zeigt den Unterschied zur heute bekannten «wahren» Lage dieser Punkte in einem Vergleich mit der auf die Landesvermessung 95 transformierten Koordinaten der Diagnoseausgleichung

DIA95 (Signer et al, 2000). Diese Resultate sind in Abb. 3 grafisch dargestellt. Sie zeigt in einem Vektorplot die scheinbaren Verschiebungen, die sich aus den Koordinatensätzen ergeben. Als Ausgangskordinaten wurden die von der SGK berechneten und ins Schweizer Projektionssystem transformierten Koordinaten verwendet. Danach folgen der Reihe nach die neue Ausgleichung ohne und dann mit Lotabweichungen, anschliessend die Koordinaten der Landestriangulation LV03 und zuletzt die Ergebnisse der Diagnoseausgleichung, gelagert auf der neuen Landesvermessung LV95.

Werden diese Koordinatensätze mittels Helmertransformation auf die Koordinaten der DIA95 transformiert, ergeben sich folgende Korrekturen (siehe Tab. 1).

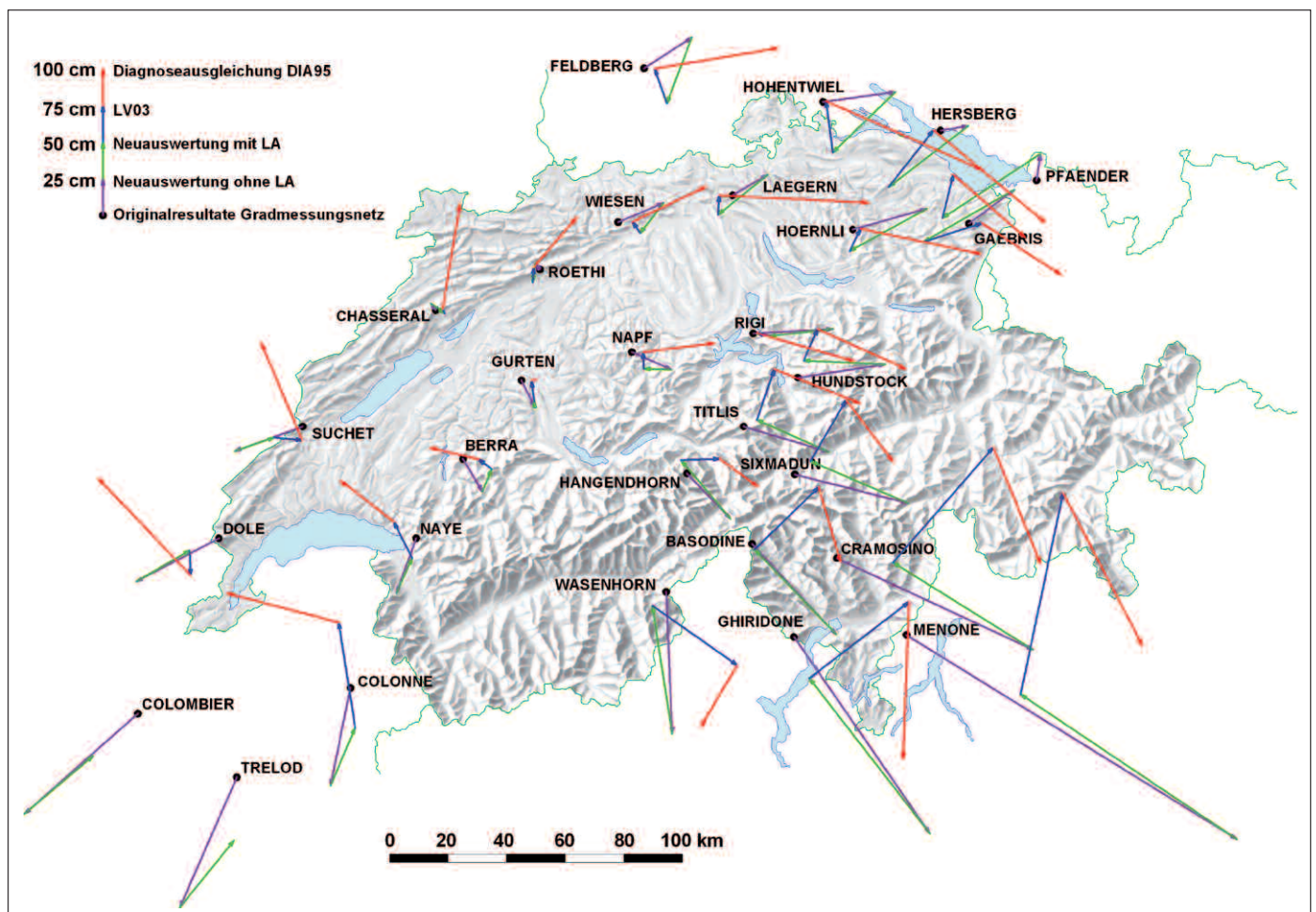


Abb. 3: Vektorplot, Vergleich der verschiedenen Koordinatensätze, insbesondere auch der Neuausgleichung ohne und mit Lotabweichungen.

Koordinatensatz	Drehung in cc	Masstabskorrektur in ppm
Gradmessung Resultat SGK	+2.17	+3.47
Gradmessung neu, ohne Lotabw.	+2.75	-1.97
Gradmessung neu, mit Lotabw.	+2.44	+3.70
Landesvermessung 1903	+3.53	+3.46

Tab. 1: Drehung und Masstabskorrektur aus Helmert-Transformation auf DIA 95.

## Astronomische Beobachtungen und Schweremessungen

Neben der Triangulation waren zur Geoidbestimmung auch astronomische Beobachtungen, Längendifferenzen, Breiten- und Azimutbestimmungen sowie Schweremessungen durchzuführen. Da-

zu boten sich die Sternwarten von Genf, Neuenburg, Bern und Zürich an. Zudem wurden auf weiteren gut zugänglichen Punkten astronomische Messungen durchgeführt, so auf der Rigi, dem Weissenstein, dem Simplonpass und auf dem Gäbris. Grössere Schwierigkeiten bot damals noch die genaue Synchronisation der Uhren für die Längenbestimmung. Die

Schweremessung mit Pendelapparaten steckte ebenfalls noch in den Anfängen. Diese Arbeiten beschäftigten die Kommission in den folgenden 100 Jahren immer wieder. Die Methoden konnten verfeinert und die Genauigkeit immer weiter gesteigert werden. So entstanden erste Schwerekarten und die astronomischen Profile im Parallel von Zürich und im Meridian des St. Gotthards (Abb. 4).

## Das nivellement de précision der SGK

Schon 1864 war die Kommission mit einem neuen Bedürfnis konfrontiert, einem einheitlichen, genauen Höhensystem für die Schweiz. Sie nahm diese Herausforderung an, beschaffte die notwendigen

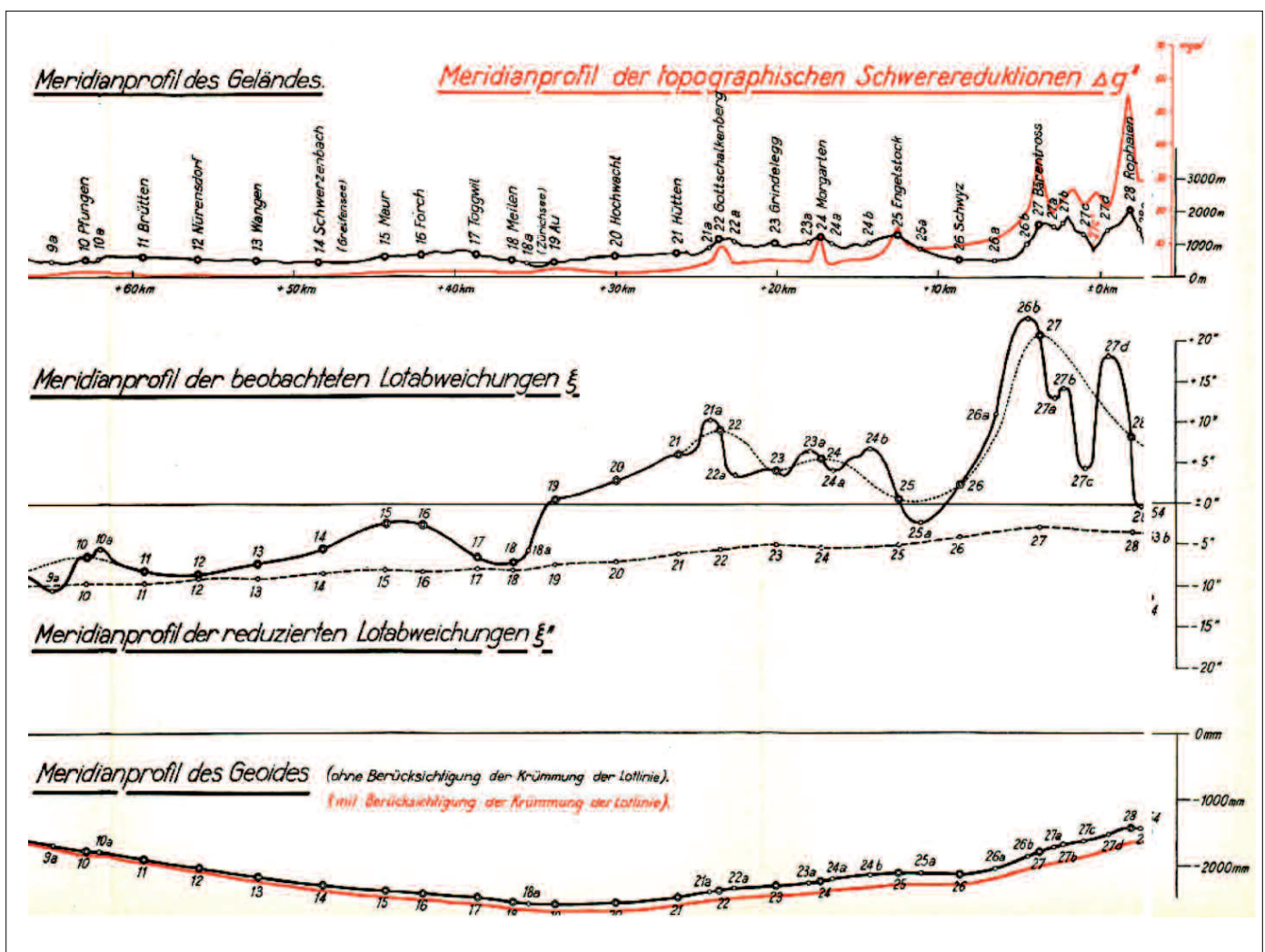


Abb. 4: Astronomisches Profil im Meridian des St. Gotthard (Ausschnitt), Profilbeilage (101 x 30 cm) zu SGK, Band 20, 1939.



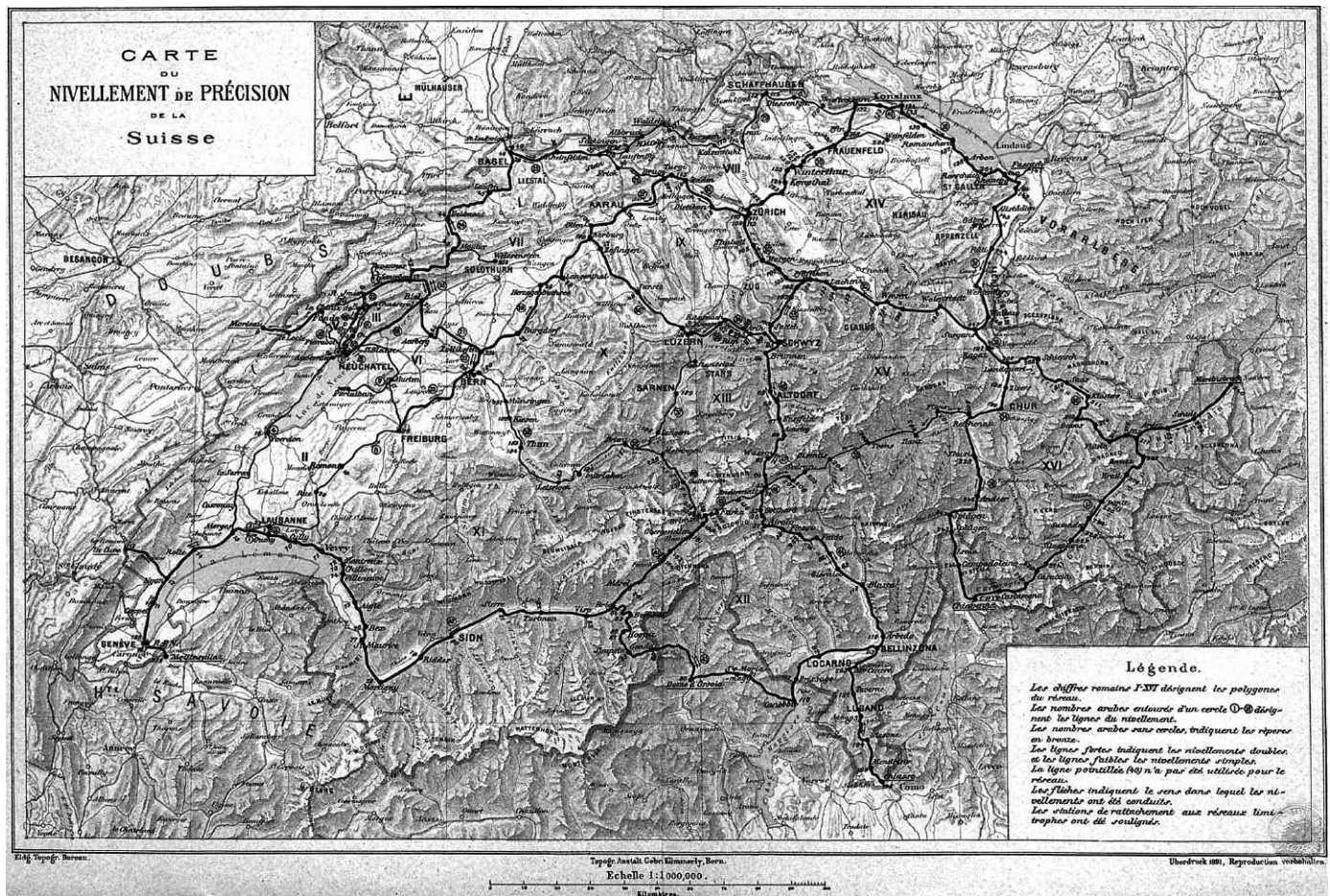


Abb. 5: Netzplan des Nivellement de Précision (Catalogue des hauteurs suisse, S. 125).

Nivellierinstrumente und Nivellierlatten und schuf innert gut 20 Jahren das so genannte *Nivellement de précision*. Ähnlich wie bei der Triangulation musste sie teures Lehrgeld bezahlen. Anfänglich wurde kaum darauf geachtet, den Messvorgang möglichst symmetrisch aufzubauen um systematische Fehler zu eliminieren. So wurde z.B. der Gotthardpass zweimal in derselben Richtung nivelliert, ein heute kaum mehr verständlicher Kunstfehler. Auch der Massstab der hölzernen Latten wurde zu wenig oft kontrolliert, was sich bei grossen Höhenunterschieden ungünstig auswirkte. Trotz allem stellte die SGK dem Land innert nützlicher Frist ein für die praktischen Bedürfnisse geeignetes Höhennetz zur Verfügung (Abb. 5).

Ähnlich wie bei der Triangulation hat die Landestopografie zu Beginn des 20. Jahrhunderts auch ein neues Präzisionsnivellement gemessen. Die Arbeiten beanspruchten sehr viel Zeit. Deshalb wurden

die neuen Messungen abschnittsweise in die Fixpunkte des *Nivellement de précision* eingezwängt und als so genannte Gebrauchshöhen publiziert. Zwar hat die Landestopografie das Landesnivellement später streng ausgeglichen und neue, genauere Höhen berechnet. Aber sie wurden nicht offiziell eingeführt, denn eine solche Änderung ist mit grossen Kosten und grösseren Risiken verbunden. Zudem ist es der *Internationalen Assoziation für Geodäsie*, der Nachfolgeorganisation der *Mittel-Europäischen Gradmessung* bis vor kurzem nicht gelungen, für Europa eine einheitliche Bezugshöhe festzulegen, auf die sich die Schweizer Höhen stützen konnten. Deshalb hat die Schweiz zu Beginn des 20. Jahrhunderts einen eigenen Referenzpunkt und eine Ausgangshöhe gewählt, den so genannten *Repère Pierre du Niton* in Genf (Hilfiker, 1902). Erst vor wenigen Jahren hat die Landestopografie ein potentialtheoretisch strenges Höhen-

system bereitgestellt, zu dem auch die SGK verschiedene Beiträge geleistet hat.

## Der Wandel in den Aufgaben der SGK

Schon am Ende des 19. Jahrhunderts begannen verschiedene Institutionen, Aufgaben der SGK zu übernehmen. Wie erwähnt, gingen Triangulation und Nivellement an die Landestopografie über. Andere Arbeiten übernahm später die ETH in Zürich. Seither hat die SGK vor allem koordinierende Aufgaben. Sie sorgt dafür, dass die geodätischen Arbeiten aller schweizerischen Institutionen aufeinander abgestimmt sind und sich so gut wie möglich ergänzen. Während der ganzen Zeit ihres Bestehens und besonders seit den 50er-Jahren des 20. Jahrhunderts hat die Kommission eine bedeutende Rolle bei der internationalen Zusammenarbeit gespielt. Sowohl bei der Europä-



ischen Triangulation RETrig und deren Nachfolgeorganisation EUREF wie auch beim Europäischen Nivellement REUN koordinierte sie die Arbeiten für den Schweizer Beitrag und sorgte dafür, dass die geeignetsten Institutionen je ihren Beitrag leisten konnten und die Schweiz so die ihr im Herzen Europas zustehende zentrale Rolle spielen konnte.

## Die jüngsten Aktivitäten der SGK

An sich hat sich an den Zielen der SGK seit ihrem Bestehen nicht viel geändert. Aber die Methoden haben sich mit der technischen Entwicklung stark gewandelt. Die Astronomie trat vorübergehend in den Hintergrund, der Schwerpunkt lag eher bei den Zusammenhängen zwischen den geodätisch festgestellten Phänomenen wie Schwereanomalien, Lotabweichungen, Deformationen der Erdkruste etc. und den geophysikalischen Ursachen. So entstand eine Vielzahl von Publikationen in der Reihe *Geodätisch-geophysikalische Arbeiten in der Schweiz*, die sich mit diesen Themen beschäftigen. Im Folgenden werden zwei Arbeiten, die in dieser Reihe dokumentiert sind, etwas näher beleuchtet. Sie zeigen, dass die SGK auch in neuerer Zeit wichtige Beiträge zur Weiterentwicklung der geodätischen Wissenschaft, aber auch zur geophysikalischen Erforschung der Schweiz geleistet hat.

## Das Testnetz Turtmann

Als sich Mitte der 80er-Jahre abzeichnete, dass mit dem Global Positioning System GPS eine Messmethode auf den Markt kommen werde, die für die Geodäsie einen wahren Quantensprung darstellen könnte, nahm sich die SGK vor, ein geeignetes Testnetz einzurichten. Dieses sollte dreidimensional sein und mit den modernsten terrestrischen Methoden vermessen werden. An diesem Projekt haben sich sehr viele Institutionen beteiligt, vom CERN in Genf bis zu WILD/Leica Heerbrugg und insbesondere mehrere Institute der ETH Zürich, das Astronomische In-

stitut der Universität Bern (AIUB) und das Bundesamt für Landestopografie. Das Testnetz sollte folgenden Zwecken dienen:

- Prüfung und Evaluation von GPS-Empfängern
- Prüfung von neuen geodätischen Messgeräten und Vermessungsmethoden
- Detektion von rezenten Krustenbewegungen im alpin-penninischen Raum

Ein geeigneter Ort fand sich im Wallis in der Umgebung von Turtmann. Hier war es möglich, ein Netz quer über das Rhonetal zu spannen, so dass auf beiden Flanken je drei Fixpunkte und im Talboden zwei weitere errichtet werden konnten. Das Netz liegt in einer der tektonisch aktivsten Zonen der Schweizer Alpen. Es überspannt die Rhone-Simplon-Linie, an der die Geologen sowohl vertikale wie horizontale Verschiebungen in geologischen Zeiträumen nachgewiesen haben (Abb. 6). Gleichzeitig ermöglicht die Topografie ein Netz mit einer räumlichen Ausdehnung von 4 x 7 x 0.9 km. Es ist sowohl für terrestrische wie auch für satellitengestützte geodätische Messungen gut geeignet. Zwischen allen Punkten besteht Sichtverbindung und die Abschattungen halten sich in tragbaren Grenzen. Das Netz wurde später mit einem Punkt auf der Südflanke ergänzt, der auf 2322 m ü.M. liegt und die vertikale Ausdehnung auf 1.6 km ausdehnt.

Für die terrestrischen Messungen wurden die damals modernsten und leistungsfähigsten Geräte eingesetzt: Elektronische Theodolite von Kern, Aarau und Leica, Heerbrugg. Als Distanzmesser waren ein Mekometer Me-5000 und ein Terrameter LDM 2, einer der wenigen existierenden Distanzmesser, der mit zwei Lasern unterschiedlicher Wellenlänge den Einfluss der Refraktion eliminiert, im Einsatz. Um den Einfluss der Atmosphäre auf alle Messungen gering zu halten, wurden die atmosphärischen Bedingungen während den Messungen mit stationären Meteosonden, mit Ballonsonden und mit einem Motorsegler gemessen. Zusätzlich wurden auf den Stationen Schweren, astronomische Azimute und mit der Zenitkamera der ETH Lotabweichungen be-

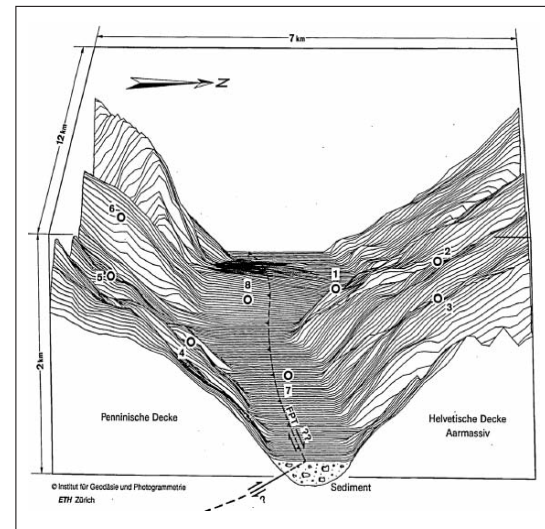


Abb. 6: Testnetz Turtmann, Perspektive (SGK, Band 45, neben S. 35).

stimmt. Die Talpunkte wurden ans Schweizerische Landesnivellement angeschlossen. Die dreidimensionale Ausgleichung erfolgte mit dem Programm RAUMTRI und ergab ausgezeichnete Ergebnisse (SGK Band 45, 1992). Die relative Lage der Fixpunkte ist in der Lage auf 1 bis 2 mm und in der Höhe auf 7 bis 8 mm genau bestimmt worden, übertrifft damit die in der Präanalyse errechneten Genauigkeiten (Abb. 7), und bietet die er-

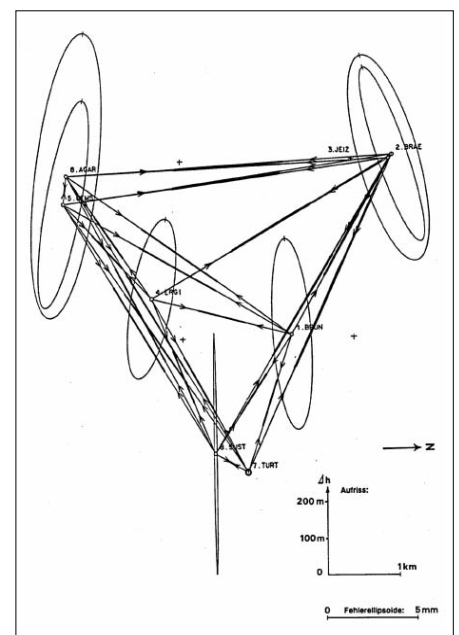


Abb. 7: 3D-Testnetz Turtmann: Präanalyse des Netzentwurfs (Aufriss, SGK, Band 45, S. 39).

hoffte «ground truth» für die Prüfung von GPS- und anderen GNSS-Empfängern. Das Testnetz stiess international auf grosses Interesse. Es ist wohl bis heute einzigartig und wird immer wieder für die verschiedensten Zwecke genutzt. So sind bis 1993 vierzehn Messkampagnen mit verschiedensten GPS-Empfängern durchgeführt und ausgewertet worden (Abb. 8). Dabei kam hauptsächlich die Berner Software des AIUB zum Einsatz. Die Berechnungen im Testnetz trugen wesentlich zur Weiterentwicklung der Software bei. So wurde das Wissen über Troposphäre, Mehrwegausbreitung und Phasenzentrumsvariationen wesentlich verbessert. Dabei zeigte sich bald, dass die GPS-Messungen schon in dieser kurzen Zeit von neun Jahren die Genauigkeit der terrestrischen Messungen erreichten und heute in den meisten Fällen übertreffen. Erstaunlich gering scheinen die Deformationen im Gebiet des Testnetzes zu sein, konnten doch bisher keine signifikanten Bewegungen festgestellt werden.

## Der Beitrag zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik

Die allgemeine Zielsetzung des Nationalen Forschungsprogramms «Geologische Tiefenstruktur der Schweiz» (NFP 20) bestand darin, die Kenntnisse über den Untergrund zu erweitern. Die seismischen Untersuchungen konzentrierten sich auf drei Gebietsstreifen: Die Ost-Traverse (Linie Stein am Rhein – Splügenpass), die West-Traverse (Linie Biel – Thun – Rawil – Sion – Mattertal) und die Südalpen-Traverse (Calancatal / Bleniotal – Lugano – Chiasso). Die SGK, im Wesentlichen das Institut für Geodäsie der ETH Zürich, das AIUB und die Landestopografie, beteiligte sich mit einem geodätischen Beitrag mit folgenden Schwerpunkten:

- einen Beitrag zur Dichtebestimmung der geologischen Tiefenstruktur entlang den drei Alpen traversen zu leisten und
- die aktuelle Kinematik der noch andau-



Abb. 8: Die ersten GPS-Messungen mit dem Macrometer V-1000 im Jahre 1985, SGK Band 51, S. 10.

ernden Prozesse der Alpendynamik zu bestimmen. Dem ersten Schwerpunkt dienten Schwerfeldbestimmungen (Schweremessungen und Lotabweichungen) kombiniert mit Präzisionsnivelements und satellitengestützten geodätischen Messungen in den untersuchten Gebieten. Für den zweiten Schwerpunkt sind die zeitlichen und räumlichen Änderungen der geodä-

tschen Messungen interessant, insbesondere auch jene von Präzisionsnivelements und satellitengestützten geodätischen Messungen. Diese Arbeiten boten eine willkommene Gelegenheit, in interessanten Gebieten alle geodätischen Messmethoden miteinander zu kombinieren, so z.B. auf dem Profil Visp–Zermatt (Abb. 9).

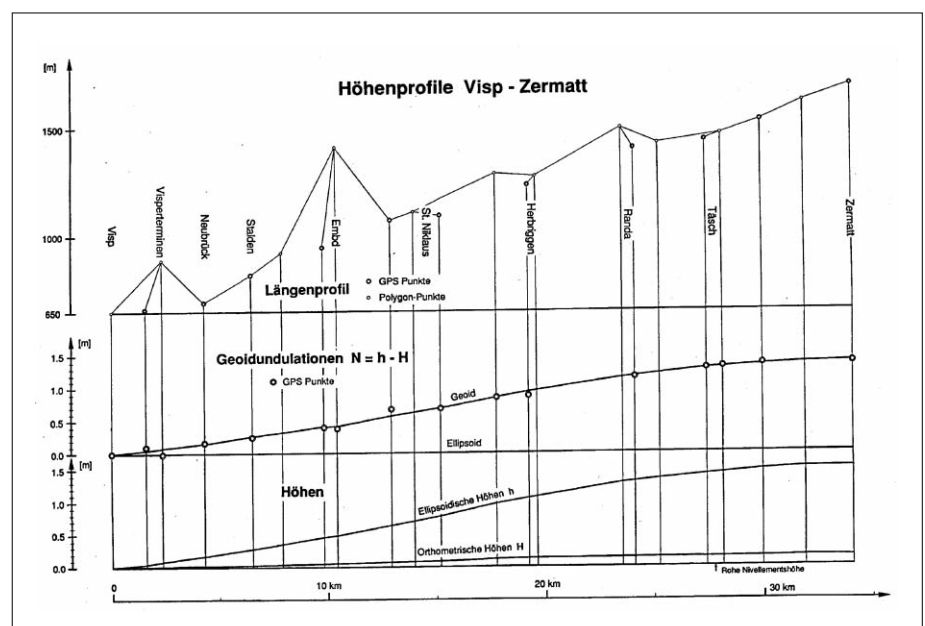


Abb. 9: Höhenprofile Visp-Zermatt, SGK, Band 47, S. 72.



## Versuch einer Würdigung

Die Schweizerische Geodätische Kommission hat ihre ursprüngliche Aufgabe zur Zufriedenheit der Auftraggeber und der internationalen Partner erledigt und sich auch im 20. Jahrhundert verdienstvoll für die Entwicklung der geodätischen Wissenschaften in der Schweiz eingesetzt, diese geprägt und substantielle Beiträge geleistet. Die Ergebnisse sind in den Publikationen der Kommission sorgfältig dokumentiert und für die Nachwelt verfügbar. In jüngster Zeit besteht ihre wichtigste Aufgabe darin, die Arbeiten, welche von den in der SGK vertretenen Institutionen ausgeführt werden, zu koordinieren und auf gemeinsame Ziele auszurichten. Das ist ihr bisher gut gelungen. Es ist zu hoffen, dass sie diese wichtige Funktion auch in Zukunft wahrnehmen kann.

### Abkürzungen:

AIUB	Astronomisches Institut der Universität Bern
CERN	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
CHGeo2004	Schweizer Geoid 2004
DIA95	Diagnoseausgleichung 1995
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule in Zürich und Lausanne
EUREF	European Reference Frame
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
LV03	Landesvermessung 1903
LV95	Landesvermessung 1995
RETrig	Réseau Européen Trigonométrique

REUN	Réseau Européen Unifié de Nivellement
SCNAT	Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften
SGK	Schweizerische Geodätische Kommission
SNG	Schweizerische Naturforschende Gesellschaft (heute SCNAT)

### Literaturverzeichnis:

Graf, J.H. 1896, Die schweizerische Landesvermessung 1832–1864.

Hilfiker, J. 1902, Höhenverhältnisse der Schweiz im Anschluss an den Meereshorizont.

Kobold, F. 1962, Hundert Jahre Schweizerische Geodätische Kommission, in Festschrift anlässlich des 100 jährigen Bestehens der Schweizerischen Geodätischen Kommission, S. 5–25.

Marti, U. und Schlatter, A. 2005, Festlegung des Höhenbezugsrahmens LHN95 und Berechnung des Geoidmodells CHGeo2004. Geomatik Schweiz 8/2005, S. 445–437.

Nivellement de Précision de la Suisse 1867 bis 1891, exécuté par la Commission Géodésique Fédérale, Lieferungen I bis X.

Rickenbacher, M. 2009, Napoleons Karten der Schweiz – Landesvermessung als Machtfaktor zwischen 1798 und 1815.

Rosenmund, M. 1903, Die Änderung des Projektionssystems der schweiz. Landesvermessung.

Schürer, M. 1986, Die geodätischen Arbeiten in der Schweiz während der letzten 25 Jahre, in Vermessung Photogrammetrie Kulturtechnik, 8/86, S. 308–310.

Signer, T. und Vogel, B. 2000, Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz «LV95», Teil 8: Gesamtausgleichungen des GPS-Landesnetzes mit dem Diagnosenetz der Triangulation 1. und 2. Ordnung «DIA 95». Berichte aus der L+T Nr. 14.

SGK, Band I 1881, Die Winkelmessungen und Stationsausgleichungen.

SGK, Band II 1885, Die Netzausgleichung und die Anschlussnetze der Sternwarten und astronomischen Punkte.

SGK, Band III 1888, La mensuration des bases.

SGK, Band IV 1889, Die Anschlussnetze der Grundlinien.

SGK, Band V 1890, Astronom. Beobachtungen im Tessiner Basisnetze, auf Gäbris und Simplon; definitive Dreiecksseitenlängen; geographische Koordinaten.

SGK, Band X 1907, Relative Lotabweichungen gegen Bern und telephonische Uhrvergleiche am Simplon.

SGK, Band 20 1939, Das astronomische Nivellement im Meridian des St. Gotthard, Teil II, Die berechneten Geoiderhebungen und der Verlauf des Geoidschnittes.

SGK, Band 45 1992, Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985–1990 Teil I.

SGK, Band 47 1993, NFP20 Beitrag der Geodäsie zur geologischen Tiefenstruktur und Alpendynamik.

SGK, Band 51 1995, Dreidimensionales Testnetz Turtmann 1985–1990 Teil II (GPS-Netz).

Wolf, R. 1879, Geschichte der Vermessungen in der Schweiz.

Zölly, H. 1948, Geschichte der Geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz.

Erich Gubler  
 Flugplatzstrasse 19  
 CH-3122 Kehrsatz  
 erich\_gubler@bluewin.ch