

1861–1961

Festschrift

anlässlich des 100jährigen Bestehens
der Schweizerischen
Geodätischen Kommission

Publication

à l'occasion du centenaire
de la Commission
Géodésique Suisse



1861–1961

Festschrift

anlässlich des 100jährigen Bestehens
der Schweizerischen
Geodätischen Kommission

Publication

à l'occasion du centenaire
de la Commission
Géodésique Suisse

Buchdruckerei Effingerhof AG, Brugg

Zum Geleit

Im Herbst 1961 konnte die Schweizerische Geodätische Kommission in einem kleinen Festakt ihr hundertjähriges Bestehen feiern, waren doch die ersten Mitglieder im Sommer 1861 gewählt worden.

Der Schweizerischen Geodätischen Kommission gibt die Hundertjahrfeier Anlaß, in der hier vorliegenden Schrift Rechenschaft über die durchgeführten Arbeiten abzulegen. Es ging ihr nicht in erster Linie darum, über die Arbeiten im einzelnen zu berichten, sie versuchte vielmehr, die Arbeiten zu würdigen und auch mit Kritik nicht zurückzuhalten, soweit dies angebracht schien.

Mitarbeiter der Festschrift sind Mitglieder der Kommission, sowie der langjährige Ingenieur, Herr Dr. E. Hunziker. Ihm, der nun nach 46 Dienstjahren die Kommission verläßt, gebührt besonderer Dank für die schließliche Fertigstellung des Werkes. Während der Bearbeitung der Festschrift verschied der frühere langjährige Präsident der Schweizerischen Geodätischen Kommission, Herr Prof. Dr. C. F. Baeschlin. Auch er hatte sich an der Redaktion beteiligt, doch lag sein Beitrag nicht in endgültiger Form vor.

Die Gliederung des gesamten Stoffes entspricht der Aufteilung der Assoziation für Geodäsie in fünf Sektionen.

Die einzelnen Abschnitte sind nur wenig aufeinander abgestimmt. Man wollte den Bearbeitern größte Freiheit in der Gestaltung des Stoffes gewähren. Doch ließ sich nun nicht vermeiden, daß der Charakter der Schrift nicht homogen ist, was kaum als Nachteil zu gelten braucht.

Der Präsident der
Schweizerischen Geodätischen Kommission
F. Kobold

Zürich, Frühjahr 1962



I. Hundert Jahre

Schweizerische Geodätische Kommission

von F. Kobold

Entstehung
Arbeiten
Ausblick

ENTSTEHUNG

Am 7. Juli 1861 stellte die Königliche Preußische Gesandtschaft in Bern dem schweizerischen Bundesrat ein Schreiben zu, in dem die Schweiz zur Mitwirkung an einer mitteleuropäischen Gradmessung aufgefordert wurde. Gleiche Schreiben wurden an die Regierungen der verschiedenen mitteleuropäischen Staaten gerichtet. Verfasser war General Bayer, der zuerst in der trigonometrischen Abteilung des preußischen Generalstabes tätig gewesen war, und später Mitarbeiter von Bessel bei der ostpreußischen Gradmessung wurde. Er kannte die Schwierigkeiten, die dem Geodäten daraus erwachsen, daß die Erddimensionen, namentlich aber die mathematische Erdform, zu wenig genau bekannt sind.

In allen Ländern hatte man immer wieder festgestellt, daß die Abweichungen zwischen den beobachteten und den endgültig berechneten Werten für Winkel, Strecken, geographische Breiten und Azimute die theoretisch erwarteten Beträge überstiegen. Als Ursachen für diese Unstimmigkeiten betrachtete man seit langem die Lotabweichungen, doch bedurfte man zu ihrer Erfassung möglichst guter Werte für die Erddimensionen. Die damals bekannten Werte stammen aus den französischen Messungen in Peru und Lappland, aus den englischen Messungen am Kap der guten Hoffnung und in Ostindien, und namentlich aus Längen- und Breitengradmessungen im Norden, Osten und Westen Europas. Keine der europäischen Gradmessungen enthielt jedoch das Gebiet Mitteleuropas, das wegen des Alpenkörpers besonders interessant sein mußte.

Auch aus einem weitem Grund durfte das Gebiet Mitteleuropas für Untersuchungen der Erdform als besonders geeignet betrachtet werden; bestanden

doch in keinem Kontinent bessere geodätische Grundlagen für die einzelnen Landesvermessungen als in Europa, speziell in Zentraleuropa. Sie waren im Zusammenhang mit der Aufnahme von Karten und Plänen erstellt worden. Allerdings war der Zusammenhang der einzelnen Werke nur sehr lose, denn zur Aufnahme der Karten und Pläne genügten Landesnetze. Wohl waren von benachbarten Ländern gelegentlich längs der Landesgrenzen die Triangulationen in gemeinsamer Arbeit erstellt worden; doch hatte man nicht versucht, die geodätischen Werke der einzelnen Länder zu einem Ganzen zusammenzufassen. Die vorhandenen Beobachtungen und Berechnungen ließen sich also nicht ohne weiteres zur Bestimmung der Erdform und Erdgröße verwenden. Nur wenn man über die Messungen aller mitteleuropäischen Länder, die in mancher Hinsicht ergänzt, ja teilweise neu gemacht werden mußten, verfügte, bestand Aussicht, die Erdfigur besser als bisher zu bestimmen. Dazu war aber die Mitarbeit dieser Länder notwendig. Die preußische Regierung forderte daher in ihrem Schreiben die Regierungen der Länder Mitteleuropas auf, sich einer vorläufig beschränkten, internationalen Gradmessung anzuschließen.

Bereits General Bayer sah den Zweck dieser mitteleuropäischen Gradmessung nicht mehr nur darin, bessere Erddimensionen als die bisher bekannten zu ermitteln. Er hoffte, eine neue «Gradmessung herzustellen, die die Leistungen im Osten und Westen durch die neue, erweiterte Auffassung in vieler Beziehung übertreffen könne». Er suchte bereits Form und Größe des Geoides durch die Bestimmung von Lotabweichungen zu ermitteln, und er wollte die einzelnen Breiten- und Längengradmessungen sowie weitere Beobachtungen derart miteinander verbinden, «daß sie die Krümmung der Erdoberfläche in jeder beliebigen Richtung ergeben». Um dieses Ziel zu erreichen, waren Beobachtungen in Mitteleuropa zufolge des tektonischen Aufbaus besonders aufschlußreich, sofern man den Alpenkörper in die Untersuchung einbeziehen konnte. In dem Schreiben der preußischen Regierung wird daher als besonderer Vorzug der mitteleuropäischen Länder für die Bestimmung der Erdform und der Erddimension darauf hingewiesen, «es könne hier die Krümmung der Meridiane jenseits und diesseits der Alpen verglichen werden, es könne der Einfluß der Alpenkette auf die Abweichung der Lotlinien untersucht werden, und es könne die Krümmung von Teilen des mittelländischen und des adriatischen Meeres, der Nordsee und der Ostsee bestimmt werden».

Der schweizerische Bundesrat gab das Schreiben der preußischen Regierung, «Entwurf zu einer mitteleuropäischen Gradmessung», einerseits Gene-

ral Dufour, dem Leiter des Eidgenössischen Topographischen Bureaus, und anderseits der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft zur Begutachtung. Das Eidgenössische Topographische Bureau hatte die geodätischen Grundlagen der schweizerischen Landesvermessung geschaffen und die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft sollte sich vom wissenschaftlichen Standpunkt aus zu dem Vorschlag äußern, spielte doch damals wie heute diese Gesellschaft die Rolle, die in den meisten ausländischen Staaten einer Akademie der Wissenschaften zukommt. Noch heute bereitet es Vergnügen, die Sätze nachzulesen, mit welchen Bundesrat Pioda den General Dufour um Stellungnahme zu den Vorschlägen General Bayers ersuchte.

Er schrieb nämlich:

Berne, le 9 Août 1861

A Monsieur le Général Dufour à Genève.

Monsieur le Général,

La légation de Prusse s'est adressé par la lettre du 7 Juillet dernier au Président de la Confédération pour lui notifier que son gouvernement veut entreprendre avec le concours des états intéressés la quadrature de l'Europe centrale.

En vous communiquant une traduction de sa lettre et du projet y ajouté, ainsi que la carte projetée, nous vous prions de vouloir bien nous donner un préavis là-dessus et de nous dire, ce que pourrait coûter à la Confédération suisse la participation à cette entreprise et comment elle pourrait être mise à exécution.

Agréez, Monsieur le Général, l'assurance de notre haute considération.

Le Chef
du Département de l'Intérieur:
J. B. Pioda

Man darf über den Ausdruck «Quadratur Mitteleuropas» lächeln, und wird doch zugeben müssen, wie richtig Bundesrat Pioda als Jurist, wohl unbewußt, das Problem erfaßt hatte.

Sowohl General Dufour als auch die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft empfahlen mit überzeugenden Worten dem Bundesrat den Beitritt zu der zu gründenden mitteleuropäischen Gradmessung. Sie begrüßten den Gedanken, daß die mitteleuropäischen Länder sich zusammenschließen soll-

ten, um in gemeinsamer Arbeit das Problem der Erdgröße und der Erdfigur im zentralsten Teil des Kontinents zu lösen und damit einerseits der Wissenschaft einen Dienst zu leisten, andererseits aber auch praktische Bedürfnisse der Landesvermessung zu befriedigen. Dabei gaben sich sowohl das topographische Bureau als auch die Naturforschende Gesellschaft davon Rechenschaft, daß durch den Beitritt zu dieser internationalen Organisation der Schweiz ein großes geodätisches Programm zufallen würde.

Der Bundesrat stimmte den gleichlautenden Anträgen General Dufours und der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft zu und erklärte den Beitritt der Schweiz zur mitteleuropäischen Gradmessung.

Bereits im November 1862 waren die meisten Länder Mitteleuropas Mitglieder der Gradmessung und im Jahr 1864 konnte die erste allgemeine Konferenz, an der 13 Staaten durch 24 Bevollmächtigte vertreten waren, abgehalten werden. An ihr wurde festgelegt, daß derartige Konferenzen alle drei Jahre stattfinden sollen, daß in der Zwischenzeit eine permanente Kommission die wissenschaftliche Leitung übernehme, und daß als ausführendes Organ dieser Kommission ein Zentralbüro eingerichtet werden solle. Der Schweiz widerfuhr die Ehre, daß bereits an dieser ersten Konferenz eines ihrer Mitglieder, Professor Hirsch, zum Sekretär gewählt wurde, ein Amt, das Hirsch bis zum Jahr 1900 auch im Rahmen der europäischen und der internationalen Erdmessung beibehielt.

Die Arbeiten der mitteleuropäischen Gradmessung gingen rasch voran und nach kurzem ersuchten weitere europäische Länder um den Beitritt. So wurde aus der mitteleuropäischen bereits im Jahr 1867 die europäische Gradmessung. Eines der bleibendsten Verdienste dieser Organisation war die Schaffung des internationalen Büros für Maß und Gewicht. Die europäische Gradmessung ging im Jahr 1890 in die «internationale Erdmessung» über, nachdem ihr auch außereuropäische Staaten beigetreten waren. Die Arbeitsgebiete wurden immer wieder erweitert. Im Jahr 1912, anlässlich der Konferenz von Hamburg, der letzten der internationalen Gradmessung, also 50 Jahre nach der Gründung der mitteleuropäischen Gradmessung, waren 23 Staaten Mitglieder der Organisation. Nach dem Ersten Weltkrieg wurde die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik gegründet. Eine der Assoziationen dieser Union ist die Assoziation für Geodäsie. Sie hat die Aufgaben übernommen, die früher von der Internationalen Erdmessung zu lösen waren. Die heutige rege internationale Tätigkeit auf geodätischem Gebiet ist nur im Rahmen dieser internationalen Organisation denkbar.

Als im Jahre 1861 der Bundesrat den Beitritt der Schweiz zur mitteleuropäischen Gradmessung beschloß, befaßte sich in der Schweiz keine Amtsstelle mit den geodätischen Problemen des ganzen Landes. Die Triangulationsarbeiten für die Dufourkarte waren längst abgeschlossen. Das Eidgenössische Topographische Bureau beschäftigte sich ausschließlich mit der Erstellung und Herausgabe der Karte 1:100 000, der Dufourkarte, und führte keine geodätischen Beobachtungen und Berechnungen mehr durch. Die von den Kantonen für verschiedene Zwecke ausgeführten Arbeiten erstreckten sich nur über kleine Gebiete des Landes. So waren damals in der Schweiz keine geodätischen Arbeiten von Bedeutung im Gang und demzufolge fehlte es an einer Institution, welche die für die mitteleuropäische Gradmessung nötigen Arbeiten hätte übernehmen können. Diese Tatsache veranlaßte die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft, in ihrem Antwortschreiben an den Bundesrat nicht nur den Beitritt der Schweiz zur mitteleuropäischen Gradmessung vorzuschlagen, sondern auch die Schaffung einer schweizerischen geodätischen Kommission zu beantragen. Diese Kommission sollte sich aus den bedeutendsten Geodäten und Astronomen unseres Landes zusammensetzen, und sie sollte den Auftrag erhalten, die aus dem Beitritt der Schweiz zur mitteleuropäischen Gradmessung sich ergebenden geodätischen Beobachtungen und Berechnungen durchzuführen. Der schweizerische Bundesrat stimmte auch diesem Vorschlag zu, und bereits am 22. August 1861 konnte die Wahl der ersten Mitglieder der Kommission erfolgen. So darf die Schweizerische Geodätische Kommission dieses Datum als ihren Geburtstag betrachten.

Die Schweizerische Geodätische Kommission wurde als Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft gegründet und hat seit ihrem Bestehen diese Stellung beibehalten. Die Naturforschende Gesellschaft, der als Dachorganisation die Rolle einer Akademie der Wissenschaften zufällt, übernimmt für die Kommission den Verkehr mit den Bundesbehörden, und sie sorgte früher für die gesamten, heute noch für einen Teil der Geldmittel. Ein Reglement aus dem Jahr 1916 regelt die Kompetenzen der Kommission im Rahmen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Mitglieder der Kommission waren und sind die bedeutendsten Geodäten, Astronomen und Geophysiker unseres Landes. Die meisten von ihnen sind als Hochschullehrer tätig. Die enge Zusammenarbeit der Kommission mit der Eidgenössischen Landestopographie, dem früheren Topographischen Bureau, erfordert zudem, daß ein Geodät dieses Institutes der Kommission angehört. Die Wahl der Mitglieder erfolgt durch den Senat der Schweizerischen Natur-

forschenden Gesellschaft; die Vorschläge gehen im allgemeinen von der Kommission aus.

Die Aufgabe der Kommissionsmitglieder besteht in der Festlegung des Arbeitsprogramms, in der Untersuchung spezieller Probleme und in der Beurteilung der von den Ingenieuren durchgeführten Arbeiten. Gelegentlich führen die Kommissionsmitglieder selbst Beobachtungen und Berechnungen aus. In der Regel fällt diese Aufgabe jedoch den von der Kommission beauftragten zwei bis drei Ingenieuren zu, denen, je nach Verhältnissen, Techniker und weitere Mitarbeiter zugeteilt sind. Die praktischen Arbeiten der Schweizerischen Geodätischen Kommission werden also nicht vom Landesvermessungsamt ausgeführt, wie es in manchen Ländern der Fall ist, wo die Geodätische Kommission mehr den Charakter einer beratenden Stelle trägt; die Schweizerische Geodätische Kommission erteilt ihren Mitarbeitern die Aufträge direkt.

Ein Teil der Kredite werden der Kommission im Rahmen des Gesamtkredites für die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft zugesprochen. Wie alle Bundessubventionen, hat dieser Beitrag den Nachteil, daß seine Höhe schwanken kann. Erst vor wenigen Jahren konnten für die ständige tätigen Ingenieure Beamten geschaffen werden. Diese Mitarbeiter sind beim Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der Eidgenössischen Technischen Hochschule angestellt. Sie führen die Arbeiten für die Kommission aus, doch erwachsen ihnen aus der Anstellung am Institut weitere Obliegenheiten. Seit der Anstellung der Ingenieure bei der Eidgenössischen Technischen Hochschule haben die in früheren Jahren immer wiederkehrenden Diskussionen über die Anstellungen und die Finanzierung von Arbeiten aufgehört. Die Entlohnungen für die Beamten übernimmt der Bund über die Kasse der Eidgenössischen Technischen Hochschule; die Kosten für die Arbeiten der Kommission werden von der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft getragen.

ARBEITEN DER SCHWEIZERISCHEN GEODÄTISCHEN KOMMISSION

In den ersten Jahrzehnten ihres Bestehens hat die Kommission außer astronomischen und gravimetrischen Beobachtungen ein Triangulationsnetz erster Ordnung und ein Präzisionsnivellement beobachtet. Beide Werke wurden nach Abschluß der Eidgenössischen Landestopographie übergeben, die seither für Landestriangulation und Landesnivellement besorgt ist. Auch diese alten

Werke der Kommission sollen im folgenden kurz betrachtet werden, weil sie in der heutigen schweizerischen Landesvermessung eine Rolle spielen.

In den späteren Jahrzehnten hat sich die Kommission mit den mehr wissenschaftlichen Problemen der Geodäsie unseres Landes abgegeben. Wie sehr sich die Schweizerische Geodätische Kommission bemühte, ihr Programm den Forderungen der mitteleuropäischen, europäischen und internationalen Erdmessung anzupassen, geht daraus hervor, daß sie sich kurz nach ihrer Gründung von General Bayer ein Arbeitsprogramm aufstellen ließ und daß sie vor ungefähr 50 Jahren den berühmten Helmert um Rat in bezug auf Geoiduntersuchungen bat.

Die hier im allgemeinen Teil der Festschrift gegebene Übersicht über die Arbeiten der Kommission stützt sich auf die in den folgenden Aufsätzen enthaltenen Ausführungen. Sie hat den Zweck, die Arbeiten im Gesamten zu würdigen, ohne Einzelheiten zu erwähnen.

1. DAS TRIANGULATIONSNETZ

General Bayer hatte in seinem Gutachten über die in der Schweiz auszuführenden Arbeiten zunächst die Ansicht geäußert, daß das alte Triangulationsnetz der Dufourkarte, das von Eschmann publiziert wurde und unter seinem Namen im Ausland bekannt geworden ist, nur an einzelnen Stellen zu verbessern sei und dann wohl genügen würde, um Bestandteil des europäischen Netzes zu werden. Vertiefte Studien der Kommission zeigten jedoch, daß das alte, sehr heterogene Netz den Ansprüchen für ein internationales Netz nicht genügen könne. Die einzelnen Teile des vorhandenen Netzes stammten aus ganz verschiedenen Zeiten, waren doch die Teile im Mittelland in den Jahren 1820–1830 abgeschlossen worden, während der alpine Teil erst 1840 vorlag. Schlimm stand es um den Netzaufbau, der zwar im Mittelland als gut gelten darf, nicht aber im Hochgebirge, wo man einen Übergang über die Alpen in einem Zeitpunkt suchen mußte, da diese noch wenig begangen und erforscht waren. Man ging darauf aus, als Stationspunkte leicht zugängliche Gipfel zu wählen, die man eher im östlichen als im westlichen Teil der Schweizer Alpen fand. So legte man den sogenannten «Alpenübergang» über Gipfel des Kantons Graubünden, die im allgemeinen leichter zu ersteigen sind als solche des Berner Oberlands, des Gotthardmassivs oder gar des Wallis, und erhielt so ein gegenüber der Landesmitte exzentrisch liegendes Netz. Diesem alten Eschmann-Netz haftet aber nicht nur der Nachteil

des nicht homogenen Aufbaus an, auch die Beobachtungen ließen mancherorts in bezug auf Genauigkeit berechnete Anforderungen unerfüllt. Vom Ungenügen der alten bestehenden Triangulation, die er selbst noch geleitet hatte, für die Zwecke der mitteleuropäischen Gradmessung war übrigens auch General Dufour überzeugt. Das alte Werk genügte der Erstellung der Karten 1:100 000 und der Originalaufnahmen 1:25 000 und 1:50 000, nicht aber einer mitteleuropäischen Triangulation.

Bereits an der Kommissionssitzung vom Jahr 1863 konnte der Entwurf zu einem neuen Netz vorgelegt werden, ein Netz, das nicht nur die Billigung, sondern sogar die Bewunderung von General Bayer fand, weil der Alpenübergang nun in viel besserer Form vollzogen worden war als beim alten Netz. Auch das neue Netz der Schweizerischen Geodätischen Kommission, das in den Jahren 1864–1880 beobachtet wurde, deckt nicht die ganze Schweiz; es entspricht deutlich den Forderungen der mitteleuropäischen Gradmessung nach Meridian- und Parallelkreisketten. Es besteht daher teilweise aus einer einfachen, teilweise aus einer Doppelkette im Mittelland in allgemeiner Richtung West–Ost. Als Triangulationspunkte werden hier ohne Ausnahme die alten Punkte der Eschmann-Triangulation gewählt. Von diesem Mittellandnetz zweigt ein Ast in Form einer einfachen Kette nach Süden ab. Er überquert die Alpen im Gebiet des St. Gotthard und wird an die Triangulationspunkte südlich der Landesgrenze im Piemont und in der Lombardei angeschlossen. Durch den E–W- und den N–S-Ast waren daher die Triangulationen von Frankreich, Baden-Württemberg, Österreich, Piemont und Sardinien miteinander verbunden.

Das von der Kommission damals aufgestellte Programm und der Netzentwurf müssen als gut bezeichnet werden. Es ging der Kommission ja nicht darum, ein Netz über die ganze Schweiz zu legen; sie versuchte vielmehr Anschlüsse an das Ausland herzustellen.

Im Gegensatz zum allgemeinen Programm ließ jedoch die Durchführung zu wünschen übrig. Insbesondere die Winkelmessungen gaben immer wieder zu Diskussionen Anlaß, weil der Versicherung, der Stationierung und der eigentlichen Beobachtung zu wenig Beachtung geschenkt wurde. Zahlreich sind die Vorwürfe der Kommissionsmitglieder in den procès-verbaux an die beauftragten Ingenieure, weil diese zu sehr an alten Gewohnheiten festhielten. Es ist erstaunlich, wie wenig damals Erfahrungen des Auslands berücksichtigt wurden.

Im Gegensatz zu den Winkelmessungen gingen die astronomischen Be-

obachtungen rasch voran. In wenigen Jahren waren Breite, Azimut und teilweise Länge auf einigen Hauptpunkten beobachtet; dabei wurden für die damalige Zeit beachtliche Genauigkeiten erreicht. Einzelne spätere Nachmessungen zeigen allerdings, daß die nachgewiesene Genauigkeit nur eine innere ist und daher zu gute Ergebnisse vortäuscht.

Große Schwierigkeiten bereitete der Kommission die Bestimmung des Maßstabes des Netzes. In den Jahren 1880 bis 1887 waren die drei Basen von Aarberg, Weinfelden und Bellinzona mit dem Apparat des spanischen Generals Ibañez gemessen und die Winkel in den Vergrößerungsnetzen auf die Seiten Chasseral-Röthiflüh (NW-Schweiz), Hersberg-Hörnli (NE-Schweiz) und Menone-Giridone (S-Schweiz) beobachtet worden. Nun zeigten sich bei der Berechnung des ganzen Netzes aus einer der gemessenen Seiten so große Unstimmigkeiten zwischen den gemessenen und berechneten Längen der andern Seiten, daß eine vernünftige Erklärung auf Grund von Meßfehlern nicht möglich war. Die Kommission vermutete, daß in der Seite Menone-Giridone der Einfluß von Lotabweichungen sich stark geltend mache, liegt doch die Basis Bellinzona in einer tief eingeschnittenen Talsohle. Die Kommission ließ daher auf einigen Punkten des Basisnetzes von Bellinzona astronomische Beobachtungen durchführen, um die Lotabweichungen zu bestimmen. Wurden nun die Horizontalwinkel im Basisnetz von Bellinzona auf Grund dieser Lotabweichungen korrigiert, so ergab sich an der 40 km langen Seite Menone-Giridone eine Korrektur von 75 cm. Einen derart hohen Betrag hatte wohl niemand erwartet. Der korrigierte Wert stimmte jedoch in befriedigender Weise mit dem aus der Basis Aarberg hergeleiteten Wert überein. Immer noch ließ jedoch die Übereinstimmung mit der Basis Weinfelden zu wünschen übrig. Die Kommission war sich von Anfang an darüber klar, daß der Aufbau des Vergrößerungsnetzes zwischen der Weinfelder-Basis und der Seite Hörnli-Hersberg nicht gut war; doch fand sie keine bessere Lösung. Übrigens ließ sich die Unstimmigkeit nicht mit dem ungünstigen Netzaufbau allein erklären. Der Einfluß der Lotabweichungen wurde bei diesem Netz und beim Netz von Aarberg als gering angesehen.

So entschloß sich die Kommission zur Einführung eines Mittels aus den drei Basen. Eine Minderheit war allerdings der Auffassung, es sollte nur die am besten bestimmte Seite Chasseral-Röthiflüh als Maßstab eingeführt werden.

Versucht man die Arbeiten der Schweizerischen Geodätischen Kommission für die schweizerische Triangulation zu würdigen, so kann man heute, 80 Jahre nach Abschluß, etwa Folgendes sagen:

Der Netzaufbau im Mittelland (E–W-Äste) ist gut; doch hätte man beim Übergang über die Alpen eine höhere Figurenstrengung anstreben sollen. Weniger gut ist der Netzaufbau im Hochgebirge. Man kann der Kommission den Vorwurf nicht ersparen, daß bereits damals ein besseres Alpennetz hätte gefunden werden können, waren doch die Alpen auch in bezug auf Zugänglichkeit genügend erforscht.

Die Genauigkeiten der Winkelmessungen befriedigen nicht. Der mittlere Fehler eines beobachteten Winkels beträgt $\pm 0,86''$, berechnet aus den Dreiecksschlüssen, und überschreitet damit die für normal angesehene Grenze. Wenn auch in einzelnen Dreiecken des Hochgebirges der Einfluß von Lotabweichungen bedeutend ist, so kann man damit den hohen mittleren Winkelfehler im Gesamten doch nicht erklären. Ursache der unbefriedigenden Genauigkeit ist in erster Linie die Anwendung von Beobachtungsmethoden, die damals bereits als überholt gelten mußten. Es scheint heute unbegreiflich, daß man auf ausländische Erfahrungen nicht achtete.

Im Gegensatz zu den Winkelmessungen ist die Genauigkeit der astronomischen Beobachtungen für die damalige Zeit gut.

Die Frage des Netzmaßstabes, die der Kommission so viel Sorge bereitete, ist offenbar zweckmäßig gelöst worden. Es ist erstaunlich und stellt der Kommission das beste Zeugnis aus, daß sie bereits im Jahre 1884 an den Einfluß der Lotabweichungen auf Netze im Gebirge dachte und Messungen ausführen ließ, um in einem Basisnetz diesen Einfluß zu berücksichtigen. Die Erfahrungen in den vergangenen 70 Jahren haben gezeigt, daß der Maßstab im Gesamten nicht schlecht sein kann. Es ist nicht anzunehmen, daß er besser wäre, wenn man sich nur auf die Aarberger-Basis gestützt hätte, wie das vor kurzem in der Literatur wieder behauptet worden ist. Der Geodät weiß heute besser als früher, wie kritisch die Reduktion einer Strecke auf das Rechenellipsoid ist, dessen Lage man ja nicht kennt, und daß man sich daher mit einer Reduktion auf das Geoid, die übrigens auch nicht streng durchgeführt werden kann, begnügen muß. Man darf aber vermuten, daß die Mittelbildung aus drei Basen, von denen jede zu Fehlern – und nicht nur zufälligen – Anlaß gibt, im allgemeinen richtiger ist als die Berücksichtigung nur einer Basis.

Als die Eidgenössische Landestopographie in den Jahren zwischen 1910 und etwa 1925 die Netze zweiter und dritter Ordnung der Schweiz neu zu beobachten und zu berechnen hatte, mußte sie auch den Alpenteil des Netzes erster Ordnung neu bearbeiten, weil das Netz der Geodätischen Kommission nur den Ast über den Gotthard enthielt. Sie hat bei dieser Gelegenheit auch

die Stationen im Mittelland neu beobachtet und nirgends größere Abweichungen gegenüber dem Netz der Geodätischen Kommission gefunden. Wenn es auch richtiger gewesen wäre, das neue Netz als Ganzes auszugleichen, so mußte man sich aus praktischen Gründen damit begnügen, für das Mittelland das alte Netz der Kommission zu übernehmen und den alpinen Teil daran anzuhängen. Daß dieses Anschließen zwanglos geschehen konnte, ist ein sicheres Zeichen für die Güte des alten Netzes der Geodätischen Kommission. Man hat Grund zur Vermutung, daß die tatsächliche Genauigkeit des alten Netzes im Mittelland höher ist als die in Publikationen der Geodätischen Kommission ausgewiesenen mittleren Fehler vermuten lassen.

So dient dieses, vor bald hundert Jahren gemessene Netz noch der heutigen Landesaufnahme, und es besteht kein Grund, durch neuere Beobachtungen etwas Moderneres zu schaffen und als Grundlage der Landesvermessung zu verwenden. Nur wenige Länder können sich wohl rühmen, daß sie sich heute noch ohne den geringsten Nachteil auf ein Netz stützen können, dessen Entstehung 80 Jahre zurückliegt.

2. DAS PRÄZISIONSNIVELLEMENT

Gleichzeitig mit der Landstriangulation beobachtete die Schweizerische Geodätische Kommission ein Nivellementsnetz, das sich über die ganze Schweiz erstreckte. Der Auftrag zu dieser Arbeit stammte nicht von der mitteleuropäischen Gradmessung. Er wurde vom Bundesrat erteilt, da damals ein einheitliches Höhennetz für das ganze Land fehlte. Verfolgt man in der Literatur diese Arbeiten, so fällt, ähnlich wie bei der Triangulation, auf, wie sehr die Mitglieder nach eigenen Lösungen suchten, und sich kaum auf Erfahrungen aus dem Auslande stützten. Gewiß brachten die eigenen Lösungen manches Neue, bisher Unabgeklärte zutage; allein manche unangenehme Erfahrung hätte man sich ersparen können, wenn die bereits vorhandene Literatur besser durchgesehen worden wäre. Wenn einzelne Mitglieder der Kommission nach Abschluß der Arbeiten internationales Ansehen auf dem Gebiete der Nivellemente erlangten, so liegt der Grund wohl darin, daß im Ganzen gesehen das Ausland nicht bessere Ergebnisse zeigen konnte.

Bemerkenswert ist beim Nivellement der Schweizerischen Geodätischen Kommission die Entwicklung der neuen Instrumententypen, die, obwohl schwerfällig, sehr gute Genauigkeiten erwarten ließen. Trotzdem befriedigten die Ergebnisse in bezug auf Genauigkeit nicht recht. Es kann heute kein

Zweifel darüber bestehen, daß die Ursache in den Lattenlängen und Latten-
teilungen zu suchen ist. Die Kommission verwendete Holzlatten und bestimmte
den Lattenmeter nur selten und die Teilungsfehler noch seltener. Es ist er-
staunlich, daß die Kommission dieser wichtigsten Fehlerursache so geringe
Bedeutung beimaß, während sie sonst bei der Berechnung der endgültigen
Höhen zahlreiche weitere Fehlereinflüsse berücksichtigte. So nahm sie in den
Fehlergleichungen Glieder für das Einsinken der Latten mit. Doch konnten
damit die Ergebnisse nicht verbessert werden; die Länge der Latten war zu
wenig genau bekannt, um Höhendifferenzen bis zu 2000 Metern, wie sie auf
den Alpenstraßen auftreten, auf wenige Millimeter zu bestimmen.

Die Ausgleichung des gesamten Netzes ergab als mittleren 1-Kilometer-
Fehler den sehr hohen Betrag von $\pm 3,8$ mm, während man 1 bis 2 mm er-
wartet hatte. Nach den Untersuchungen im europäischen Netz von Prof.
Börsch ist anzunehmen, daß dieser berechnete mittlere Fehler eher noch zu
klein ist.

Darf man aus diesen Gründen die Publikationen und Ergebnisse für das
Landesnivellement nicht sehr hoch einschätzen, so wird man doch anerkennen
müssen, wie sehr sich die Schweizerische Geodätische Kommission mit allen
theoretischen Fragen des Nivellements befaßte und sich bemühte, eine korrekte
Ausgleichung durchzuführen. Daß ihr das nicht gelang, ist bedauerlich.

Trotz alledem darf vermutet werden, daß das ganze Nivellement genauer
ist als man aus den berechneten mittleren Fehlern schließen müßte. Denn
dieses Nivellementsnetz der Schweizerischen Geodätischen Kommission ist
später von der Eidgenössischen Landestopographie als Grundlage für das neue
Landesnivellement übernommen worden. Die neu nivellierten Strecken wur-
den in gute Punkte des alten Netzes nach gewissen Regeln eingepaßt. Die
Methode dieses Einzwängens ist sicher nicht korrekt; doch kam es darauf an,
in möglichst kurzer Zeit brauchbare Höhen für viele neue Punkte zu erhalten
und zu publizieren. Die in den Höhenverzeichnissen der Schweiz aufgeführten
Gebrauchshöhen beruhen also zum großen Teil noch auf dem Präzisions-
nivellement der Schweizerischen Geodätischen Kommission. Sie genügen
technischen Anforderungen. So erfüllt das alte Netz im Gesamten noch heute
die Hoffnungen, die man mit seiner Schaffung verbunden hatte.

Nach Abschluß der praktischen Arbeiten am Präzisionsnivellement der
Schweizerischen Geodätischen Kommission ging die Bearbeitung des Landes-
nivellements in die Hände der Schweizerischen Landestopographie über. Die
Kommission befaßte sich aber immer wieder mit theoretischen Fragen der

Meereshöhe. Sie sah sich dazu in höherem Maße gezwungen als die Kommissionen anderer Länder, weil im Gebirge die Definition der Meereshöhe Einfluß auf die Ergebnisse haben kann. Schon vor 80 Jahren wurde daher im Schoße der Kommission die Frage der Reduktion besprochen. Da Schwerewerte jedoch nicht vorlagen und die theoretischen Schwerewerte ohne Zweifel in einem Gebirgsland nicht zu brauchbaren Ergebnissen führen, mußte die Berücksichtigung unterbleiben. Dagegen wurde die Diskussion erneut aufgegriffen in den Jahren nach 1920, als das erste Schwerenetz der Schweiz fertig vorlag. Wertvolle Studien stammen von den Kommissionsmitgliedern Baeschlin, Niethammer und Schürer. Das ganze Netz wurde jedoch nicht reduziert, weil der Arbeitsumfang kaum zu bewältigen gewesen wäre, besaß man doch nur einzelne Oberflächenschwerewerte und mußte daher auf Grund der Karte der Schwereanomalien durch mühsame Rechnung beliebige Oberflächenwerte rechnen. Zudem erfordert die Bestimmung orthometrischer Höhen die Berechnung von Durchschnittsschwerewerten in der Lotlinie; eine Berechnung, die, wenn sie korrekt ausgeführt werden soll, sehr viele Rechenarbeit mit sich bringt. – In den letzten Jahren sind von der Internationalen Assoziation für Geodäsie geopotentielle Knoten eingeführt worden. Sie lassen sich einwandfrei aus Oberflächenschwerewerten rechnen. Die Kommission hat daher längs einiger Nivellementslinien Gravimeterbeobachtungen durchführen lassen und mit ihnen hat die Eidgenössische Landestopographie für das REUN geopotentielle Knoten rechnen können.

Die Frage der Reduktion des Landesnivelllements ist in der Schweiz noch nicht gelöst. Sie wird aber in nicht allzuferner Zeit wieder aufgegriffen werden müssen. Dabei wird in erster Linie zu entscheiden sein, was in Zukunft unter dem Begriff der Gebrauchshöhen verstanden werden soll.

3. ASTRONOMISCHE BEOBACHTUNGEN

Die Schweizerische Geodätische Kommission hat seit ihrem Bestehen zahlreiche astronomische Beobachtungen ausgeführt. Sie sah sich dazu gezwungen, weil im Gebirge große Lotabweichungen auftreten können, die einerseits in die Beobachtungen für die Triangulation eingeführt werden sollten und die Aufschluß geben über das Geoid. Astronomische Beobachtungen tragen also nicht den Charakter von selbständigen Arbeiten; sie dienen der Erforschung der mathematischen Erdform.

Der Abschnitt dieser Schrift über die astronomischen Beobachtungen zeigt,

daß von der Kommission zahlreiche Methoden verwendet worden sind und daß sie immer wieder bestrebt war, die Genauigkeiten zu erhöhen und soweit möglich die Beobachtungen zu erleichtern. Dabei haben einzelne Mitglieder, namentlich Niethammer, neue Methoden entwickelt und ausprobiert. Deutlich ist der Unterschied in der Genauigkeit zwischen den Beobachtungen vor dem Jahr 1900 und nachher. Er ist erkennbar in den Breiten und Azimuten, und ist bei diesen Bestimmungen auf bessere Instrumente und zweckmäßigere Beobachtungsverfahren zurückzuführen. Viel auffälliger ist er natürlich bei den Längenbeobachtungen, deren Genauigkeit dank der Einführung des telegraphischen oder drahtlosen Zeitvergleichs und der Benützung unpersönlicher Mikrometer etwa auf das zehnfache gestiegen ist. Die ältern Breiten und Azimute genügen in bezug auf Genauigkeit jedoch noch heute zur Bestimmung von Lotabweichungen; die ältern Längen müssen auch für diesen Zweck außer Betracht fallen.

Auf ein astronomisches Werk, das auch im Ausland Beachtung gefunden hat, muß indessen noch besonders hingewiesen werden. Es handelt sich um das Längennetz, das die Sternwarten von Genf und Zürich sowie einige Punkte der Landstriangulation enthält. Dieses Längennetz, in kurzer Zeit und mit nur geringem Aufwand beobachtet, zählt zu den genauesten, die bisher ausgeführt worden sind. Die Beobachter Engi und Hunziker haben teilweise neue Methoden angewandt, doch trug ihre äußerste Sorgfalt bei der Beobachtung das Wesentlichste zur hohen Genauigkeit bei. Das Längennetz enthält die schweizerischen Sternwarten sowie einige über das Land verteilte Punkte. Um den Anschluß mit den ausländischen Stationen zu gewinnen, wurden die Längendifferenzen zwischen den Sternwarten von Zürich und von Genf gegenüber den Sternwarten von Paris, Potsdam, Wien und Mailand bestimmt. Würde man das Längennetz neu beobachten, so wären kaum höhere Genauigkeiten zu erwarten. Wohl ließe sich der Zeitvergleich mittels Feldquarzen leichter durchführen; doch könnte die eigentliche Beobachtung am Instrument, die wichtigste Fehlerquelle, auch mit den heutigen Instrumenten kaum verbessert werden. Ein Zeichen der Güte dieses Längennetzes darf in der Tatsache betrachtet werden, daß nach dem Zweiten Weltkrieg das Ausland an unsern Punkten angeschlossen hat, um sich neue Längenwerte im eigenen Land zu schaffen. Trotz diesen Vorzügen des schweizerischen Längennetzes sei doch eine kritische Bemerkung nicht unterdrückt. Die Kommission ließ nicht nur die Längen der Sternwarten, sondern auch die Längen einiger über das Land verteilter Punkte bestimmen. Diese Punkte

sind nicht Punkte erster oder mindestens höherer Ordnung der Landes-triangulation. Vielmehr sind es Punkte, die erst im Netz vierter Ordnung in der Triangulation erfaßt wurden. Diese sehr genauen Längen nützen uns also wenig, denn für Laplace-Punkte lassen sie sich nicht verwenden. Sie können nur zusammen mit Breitebestimmungen dazu dienen, die Lotabweichungen zu bestimmen, und lassen sich daher zur Ableitung des Geoides verwenden.

4. SCHWEREMESSUNGEN

Die Schweizerische Geodätische Kommission hat seit ihrer Gründung immer wieder Schweremessungen ausgeführt. Es sollte das Schwerefeld in einem Gebirgsland, wo mit Anomalien zu rechnen war, untersucht werden. Dabei wurden im Laufe des vergangenen Jahrhunderts wohl alle bekannt gewordenen Methoden angewandt.

In den ersten Jahren bemühte man sich, auf Grund von Pendelmessungen absolute Schwerewerte zu erhalten. Die Kommission sah jedoch recht früh die Unmöglichkeit des Unterfangens ein und verwarf die erzielten Ergebnisse als viel zu wenig genau.

Eine neue Epoche begann mit der Verwendung des Sterneckschen Pendelapparates, der relative Schweredifferenzen liefert. In rund zwanzigjähriger Arbeit wurde ein Schwerenetz über das ganze Land gelegt, das sich durch eine sehr hohe Genauigkeit auszeichnet. Der Bearbeiter, Niethammer, schätzte den mittleren Fehler irgend eines Schwerewertes auf ± 1 mgal, ein Wert, der gelegentlich angezweifelt wurde, weil man diese Genauigkeit nur ausnahmsweise erreicht hatte. Die spätere Überprüfung der Niethammer-Werte mit Hilfe von Gravimeterbeobachtungen zeigt jedoch, daß die behauptete Genauigkeit tatsächlich erreicht worden war. So besaß die Schweiz im Jahr 1918, nach Abschluß der Arbeiten, ein Schwerenetz von einer Genauigkeit und Einheitlichkeit, die bisher noch von keinem Land erreicht worden waren. Das Werk verdient deshalb noch besonderer Erwähnung, weil es nur von einem einzigen Bearbeiter stammt und mit einem Minimum an Aufwand geschaffen wurde.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die reduzierten Schwerewerte sind im Schwarzwald und in den Vogesen ungefähr gleich dem Normalwert der Schwere. Das Mittelland zeigt ein Schweredefizit, das gegen die Alpen mehr und mehr ansteigt und unter dem Alpenkamm maximal

wird. In der Südabdachung der Alpen nimmt dieses Defizit stark ab, so daß am obern Langensee bereits der Normalwert erreicht ist. – Dem Geländecharakter entsprechend, verlaufen die Kurven gleicher Schwereanomalien im Mittelland parallel zu Jura und Voralpen; in den Alpen ist der Verlauf viel komplizierter. Diese Schwerebestimmungen wurden von der Kommission für die Reduktion der Nivellemente benutzt. Aus ihnen haben aber auch Geologen und Geophysiker für das Studium des Gebirgsaufbaues und des Erdinnern wertvollen Aufschluß erhalten.

Als nach dem Zweiten Weltkrieg Gravimeter zur Verfügung standen, die rund 100mal höhere Genauigkeiten lieferten, war für die Schweizerische Geodätische Kommission der Zeitpunkt gekommen, um ein neues SchwereNetz zu beobachten. Es zerfällt in ein Grundnetz, das abgeschlossen vorliegt. Auf dieses Grundnetz baut sich das Netz erster Ordnung auf, mit dessen Beobachtung begonnen worden ist. Zudem wurden die Schwerewerte längs den internationalen Nivellementslinien beobachtet. Die Genauigkeit der neuen Netze entspricht den besten bisher bekannt gewordenen Ergebnissen.

5. GEOIDBESTIMMUNGEN

Schon in den ersten Jahren ihres Bestehens befaßte sich die Kommission mit der Frage der Lotabweichungen und der Bestimmung des Geoides. Man war sich früh darüber klar, daß gerade in einem Gebirgsland die Lotabweichungen bei der Berechnung der Triangulation berücksichtigt werden sollten.

Eine erste Gelegenheit, ja Notwendigkeit, Lotabweichungen zu bestimmen und in die Rechnung einzuführen, gab das Basisnetz Bellinzona. Die Kommission stellte fest, daß die Seite erster Ordnung Menone–Gridone, wie sie aus der Basis abgeleitet wurden, nicht gut mit den Werten zusammenstimmte, die man aus der Triangulation erhielt, wenn man von den Basen Aarberg und Weinfeldern ausging. Als Ursache der schlechten Übereinstimmung betrachtete man mit Recht den Einfluß von Lotabweichungen im Vergrößerungsnetz der Basis von Bellinzona. Die Kommission suchte daher diese Lotabweichungen zu bestimmen, indem sie diese einerseits aus sichtbaren Massen rechnete und indem sie andererseits astronomische Beobachtungen ausführte. Dabei zeigte sich, daß die aus Massen berechneten Werte sich von den astronomisch bestimmten stark unterschieden. Daß den astronomisch bestimmten Werten eine höhere Genauigkeit innewohnte als den aus Massen berechneten, ergab sich einmal aus den besseren Ergebnissen der Netzausgleichung. Über-

zeugender war der Umstand, daß nun die drei Grundlinien viel besser zusammenstimmten als wenn man die Lotabweichungen nicht berücksichtigte.

Noch im 19. Jahrhundert führte die Geodätische Kommission in Anlehnung an ähnliche Arbeiten im Ausland auf zahlreichen Punkten des Netzes erster Ordnung astronomische Beobachtungen zur Bestimmung der Lotabweichungen aus. Der Zweck dieser Untersuchungen bestand einerseits darin, die Größe dieser Lotabweichungen zu kennen und gegebenenfalls die beobachteten Richtungen für die Netzausgleichung zu korrigieren. Andererseits sollte später auf Grund von Lotabweichungen das Geoid hergeleitet werden. Es wurden Polhöhe und Azimut beobachtet, da Längenbeobachtungen damals noch nicht die notwendige Genauigkeit liefern konnten. – Die recht zahlreichen Lotabweichungsbestimmungen auf Punkten im Jura und in den Vor-alpen sind bisher für die genannten Zwecke jedoch nicht benützt worden, doch können sich diese alten Werte durchaus eignen, um in moderne Berechnungen eingeführt zu werden. Läßt auch ihre Genauigkeit nach heutigen Begriffen zu wünschen übrig, so würde sie doch ohne Zweifel genügen, um die beobachteten Richtungen vom Einfluß der Lotabweichungen zu befreien und um eine gute Näherung für das Geoid zu erhalten.

Im Gegensatz zu diesen Bestimmungen der Lotabweichungen im Triangulationsnetz erster Ordnung, die bisher keine Verwendung fanden und denen es damit nicht besser erging als den zahlreichen Lotabweichungsbestimmungen, die in andern Ländern vorgenommen wurden, führten die astronomischen Nivellemente zu neuen Erkenntnissen über die mathematische Erdform in Mitteleuropa. Ein erster Versuch eines astronomischen Nivellementes aus dem letzten Jahrhundert bezog sich auf Punkte im Meridian und in der Nähe von Neuenburg. Im Gegensatz zu diesem Versuch, der kaum neue Erkenntnisse brachte, hat das ausgedehnte astronomische Nivellement im Meridian des St. Gotthard Abklärung über die Aufwölbung des Geoides unter dem Alpenkörper gebracht. Dieses bedeutende Werk, das nicht nur im Inland, sondern auch in wissenschaftlichen Kreisen des Auslandes Beachtung fand, deckte zudem ausgesprochene Anomalien in der Gegend von Locarno auf. Die Kommission sah sich daher veranlaßt, die Untersuchung im Meridian von Lugano bis in den Raum von Chiasso fortzusetzen. Dieses südlichste Nivellement zeigte in noch höherem Masse nicht erwartete Unregelmäßigkeiten. Das Problem des Geoides im südlichsten Teil unseres Landes ist noch nicht abgeklärt und kann nur durch eine Fortsetzung der Beobachtungen auf italienischem Gebiet gelöst werden.

Der Erfolg der astronomischen Nivellemente in den Meridianen des St. Gothard und von Lugano bewogen die Kommission, auch ein astronomisches Nivellement in E-W-Richtung zu beobachten. Es erstreckte sich längs des Parallels von Zürich. Man darf auch die Ergebnisse dieses Nivellements als wertvoll bezeichnen, wenn sie auch nicht sich über derartig interessante Gebiete erstrecken wie die N-S-Profile.

So hat die Schweizerische Geodätische Kommission namentlich im 20. Jahrhundert wertvolle Beiträge zur Kenntnis des Geoides geliefert. Es besteht aber kein Zweifel, daß diese Untersuchungen nicht abgeschlossen sind; ja es erscheint nach wie vor als Hauptziel der Kommission, das Geoid im zentral-europäischen Raum noch besser als bisher zu bestimmen, und dies auch dann, wenn man für die geodätischen Rechnungen sich vom Begriff des Geoides frei zu machen versucht. Aus diesem Grunde hat die Kommission die früheren Arbeiten fortgeführt und Untersuchungen im Berner Oberland, Oberwallis und Bedrettotol vorgenommen. Über diese neueren Arbeiten liegen provisorische Berichte vor. Als Methode wurde eine Kombination von Höhenwinkel-messungen mit astronomischen Beobachtungen gewählt, die sich im ganzen bewährt hat.

AUSBLICK

Unter den Arbeiten der Schweizerischen Geodätischen Kommission können die Beobachtungen für die Landestriangulation und für das Landesnivellement als abgeschlossen gelten. Diese Aufgaben gehören seit Jahrzehnten zum Pflichtenkreis der Eidgenössischen Landestopographie. Sie führt auch die normalen Berechnungsarbeiten für die Landestriangulation und für das Landesnivellement durch. Die Geodätische Kommission wird dagegen auch in Zukunft die wissenschaftlichen Teile der Triangulation und des Nivellementes zu bearbeiten haben. Derartige Verpflichtungen bestanden schon bis jetzt und werden in den nächsten Jahren in noch höherem Maße als bisher von der Kommission zu erfüllen sein. Sie stehen in engem Zusammenhang mit ihrer Hauptaufgabe, die noch auf lange Zeit hinaus in der Bestimmung des Geoides der Schweiz liegt. Manche Vorarbeiten sind geleistet, doch werden noch viele Beobachtungen und Berechnungen durchzuführen sein.

Die zukünftigen Arbeiten der Schweizerischen Geodätischen Kommission, die sich, wie alle wissenschaftlichen Arbeiten, nicht genau überblicken lassen, kann man in internationale und nationale Arbeiten gliedern.

Zu den internationalen Arbeiten zählt wohl als dringendstes Problem die Bestimmung der Erdform und der Erdgröße aus Beobachtungen von künstlichen Satelliten. Es steht außer Zweifel, daß die Schweizerische Geodätische Kommission sich an derartigen Untersuchungen beteiligen wird. Doch wird der Beitrag der Schweiz wegen der Kleinheit des Landes nur gering sein und die Schweizerische Geodätische Kommission wird demzufolge bei diesen Forschungsarbeiten lediglich die Rolle der Mitwirkenden und nicht die Rolle der Leitenden spielen.

Selbständigere Aufgaben fallen ihr im europäischen Rahmen zu. Die Lösung dieser Aufgaben wird zudem Einfluß auf die geodätischen Grundlagen der schweizerischen Landesvermessung ausüben.

Diese Aufgaben können allgemein wie folgt umschrieben werden:

1. Als Bestandteil der *europäischen Triangulation*, bei der die Landesnetze zu einem Ganzen zusammengeschlossen werden sollen, ist das *Triangulationsnetz erster Ordnung der Schweiz neu zu bearbeiten*.

Es liegen heute alle *Winkelmessungen* vor, nachdem die Eidgenössische Landestopographie in den letzten Jahren in Zusammenarbeit mit den Nachbarstaaten Anschlüsse an das Ausland in einwandfreier Art beobachtet hat. Alle Winkelmessungen weisen nun hohe Genauigkeiten auf. Sie stammen allerdings aus verschiedenen Jahrzehnten unseres Jahrhunderts und werden nur dann zu einem Ganzen vereinigt werden können, wenn sich die Triangulationspunkte im Laufe der Jahrzehnte nicht bewegt haben. Doch bestehen bis heute keine Anhaltspunkte, die vermuten lassen, daß Bewegungen in den Punkten erster Ordnung stattgefunden haben.

Der *Maßstab* des Netzes ist durch die drei Grundlinien von Aarberg, Weinfelden und Bellinzona festgelegt. Da die Beobachtungen aus den Achtzigerjahren des vorigen Jahrhunderts stammen, erhebt sich die Frage, ob sie heutigen Ansprüchen noch genügen. Nun zeigt sich in dem von Prof. Wolf in Bonn berechneten mitteleuropäischen Testnetz eine derart ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen den drei genannten alten Grundlinien und der im Jahre 1959 neu gemessenen Grundlinie von Heerbrugg, daß es angezeigt scheint, in die neue Netzausgleichung alle vier Basen einzubeziehen.

Von zweifelhafter Güte waren im bisherigen Triangulationsnetz erster Ordnung die astronomischen Koordinaten des Nullpunktes und insbesondere das Ausgangsazimut, auf das sich die Orientierung des ganzen Netzes stützte. In den vergangenen Jahrzehnten sind auf Gurten und Rigi erstklassige *astronomische Beobachtungen* durchgeführt worden, so daß beide Punkte als Laplace-

Punkte eingeführt werden können. Als weiterer Laplace-Punkt wurde, wenn auch nicht vollständig, der Säntis beobachtet. In das schweizerische Netz können zudem die deutschen Laplace-Punkte Feldberg, Hohentwil und Hersberg, der österreichische Laplace-Punkt Pfänder und der italienische Laplace-Punkt Mottarone einbezogen werden. Außerdem werden in der Schweiz noch wenige weitere Punkte des Netzes erster Ordnung als Laplace-Punkte zu beobachten sein. Mit diesen astronomischen Elementen sollte es möglich sein, einen mehr oder weniger lotabweichungsfreien Nullpunkt und eine gute Orientierung des Netzes herbeizuführen.

Die Berechnung dieses Netzes wird wahrscheinlich auf dem *internationalen Ellipsoid* erfolgen und sie wird neue Werte für die *Lotabweichungen* liefern. Zur Bestimmung dieser Größen sind die im letzten Jahrhundert durchgeführten astronomischen Beobachtungen auf verschiedenen Punkten des Netzes erster Ordnung hinreichend genau. In einer zweiten Ausgleichungsstufe und in vielleicht noch weiteren können diese Lotabweichungen berücksichtigt werden.

2. Wenn auch die heutigen Gebrauchshöhen den an sie gestellten Forderungen im allgemeinen genügen, und wenn auch der schweizerische Anteil am europäischen *Nivellementsnetz* an sich gut stimmt, so wird man doch nicht darumherumkommen, in absehbarer Zeit das schweizerische Höhennetz wenigstens für wissenschaftliche Zwecke einheitlich zu gestalten. Nötig sind dazu weitere Schweremessungen längs den Nivellementslinien, die nicht in das europäische Nivellementsnetz einbezogen wurden. Die Berechnung geopotentieller Koten dürfte nicht auf Schwierigkeiten stoßen. Erneut wird sich dann jedoch die Frage stellen, ob die bisherigen Gebrauchshöhen beizubehalten sind, oder ob nicht, vielleicht nur für interne Zwecke, eine neue Art von Gebrauchshöhen definiert werden sollte.

3. Auch die *gravimetrische Erforschung* unseres Landes wird noch weiter getrieben werden müssen. Es ist die Aufgabe der Schweizerischen Geodätischen Kommission, das Grundnetz und die Netze erster und zweiter Ordnung zu beobachten. Beobachtungen und Berechnungen des Grundnetzes sind abgeschlossen, dagegen befindet sich das Netz erster Ordnung noch in Arbeit. Die genaue gravimetrische Untersuchung begrenzter Gebiete, die eher geophysikalischen als geodätischen Zwecken dient, gehört kaum in den Aufgabenbereich der Schweizerischen Geodätischen Kommission.

Das Beobachten und das Berechnen von Oberflächenschwerewerten bietet heute keine schwierigen Probleme mehr. Nach wie vor aber erfordert die

Reduktion der Schwerewerte einen außerordentlichen Arbeitsaufwand. Diese Reduktionsrechnungen müssen unbedingt durchgeführt werden, da sich aus Oberflächenschwerewerten zuverlässige Schlüsse über das Potentialfeld der Erde nicht ziehen lassen. Der Schweizerischen Geodätischen Kommission stellt sich demzufolge die Aufgabe, Reduktionsmethoden zu entwickeln, durch welche die bisherige mühsame Rechenarbeit ohne wesentliche Einbuße an Genauigkeit vereinfacht werden kann. Die heutigen Mittel der elektronischen Datenverarbeitung berechtigen zur Hoffnung, daß die Bemühungen um einfachere Reduktionsmethoden erfolgreich sind.

Im gleichen Arbeitsgang sollen nicht nur die Schwerereduktionen, sondern auch die Lotabweichungskomponenten berechnet werden. Gelingt es, einfache Reduktionsmethoden für die Schwere zu finden, so sollte die zusätzliche Berechnung der Lotabweichungen nicht mehr besondere Schwierigkeiten bieten. Diese Reduktionsmethoden würden dann erlauben, für beliebige Punkte, die Lotabweichungen aus Maßen zu berechnen. Es müßte dann möglich sein, durch ein Interpolationsverfahren mit Hilfe von astronomischen und aus Maßen berechneten Lotabweichungen von benachbarten Punkten die nur aus den Maßen berechneten Lotabweichungskomponenten eines Stationspunktes so zu korrigieren, daß Lotabweichungen in bezug auf das Rechnungsellipsoid entstehen.

4. Endlich wird sich die Kommission erneut mit ihrem Hauptproblem, mit der Geoidform in der Schweiz, abzugeben haben. Die in den vorangehenden Abschnitten skizzierten Arbeiten bilden die Grundlage für diese Aufgaben. So ergeben sich die geodätischen Elemente aus der neuen Ausgleichung des Netzes erster Ordnung. Zur Ermittlung der Lotabweichungen, die sich dann auf das internationale und neu orientierte Ellipsoid beziehen werden, wird man sich auf ältere und neuere astronomische Beobachtungen, sowie auf gegenseitige Zenitdistanzbeobachtungen im Hochgebirge stützen. Außer diesen direkten Beobachtungen werden berechnete Lotabweichungen zu Hilfe genommen werden müssen, die sich aus dem im vorderen Abschnitt skizzierten Interpolationsverfahren ergeben. Da das vorgesehene Programm manche Neuerungen gegenüber dem bisher bekannten Verfahren aufweist, werden eine Menge von noch nicht übersehbaren Problemen gelöst werden müssen.

So wird es der Schweizerischen Geodätischen Kommission auch im zweiten Jahrhundert ihres Bestehens an Aufgaben nicht fehlen. Mögen ihre Bestrebungen von Erfolg gekrönt sein.

II. La triangulation par M. de Raemy

Au début du siècle dernier, grâce aux mesures d'arcs de méridiens et de parallèles qui avaient été exécutées dans différents pays, on avait établi que la forme de notre globe se rapprochait très sensiblement d'un ellipsoïde de révolution aplati aux deux pôles. Bessel, l'un des principaux savants qui s'étaient occupés de cette question, avait fixé les dimensions de l'ellipsoïde qui s'adaptait le mieux à l'ensemble de ces mensurations. L'ellipsoïde Bessel fut adopté par la plupart des pays. C'est encore lui qui sert de base à nos mensurations suisses.

Mais, si ces travaux avaient permis de déterminer pour la représentation de notre globe une surface géométrique idéale, ils avaient aussi prouvé qu'en différents lieux la figure réelle de la terre diffère sensiblement de cette forme géométrique. C'est ainsi que s'est posé le nouveau problème de déterminer toutes ces variations locales, afin d'en déduire la connaissance exacte de la dimension et la forme du sphéroïde terrestre, de ce qu'on est convenu d'appeler le *géοide*.

Pour ces études, il ne suffisait plus de connaître les dimensions de quelques arcs de méridiens ou de parallèles, il était indispensable de disposer de vastes espaces de terrain munis d'un bon réseau trigonométrique. Nulle part, à cette époque, les conditions n'étaient aussi favorables pour ces études que dans l'Europe centrale. En 1861, le général Baeyer prit l'initiative de ces recherches. Il élabora un plan qui s'étendait sur tous les pays du centre de l'Europe. Son projet fut soumis au Conseil fédéral qui, après avoir pris l'avis du général Dufour, chef du Bureau topographique, accepta pour la Suisse de prendre part à la réalisation de ce programme.

Le Département fédéral de l'Intérieur chargé de l'étude de cette affaire s'adressa à la Société helvétique des Sciences naturelles, et celle-ci, dans sa séance générale du 22 août 1861, constitua une commission spéciale pour s'occuper de ce travail. C'est ainsi qu'il y a 100 ans prit naissance la Commission géodésique suisse.

Dans sa première séance du 11 avril 1862, la Commission adopta le programme développé et mis au point par son président le professeur Wolf. Il comprenait des travaux de triangulation, d'astronomie et de mesures d'intensité de la pesanteur.

En ce qui concernait la triangulation, le premier problème qui se présentait était d'étudier jusqu'à quel point le réseau existant déjà en Suisse pouvait être utilisé pour les buts scientifiques que se proposait la Commission. Cette triangulation, dite « triangulation primordiale », était récente. Elle découlait principalement des travaux exécutés entre 1832 et 1839 sous la conduite experte du colonel G. H. Dufour, alors chef du Bureau topographique fédéral; elle servait de base à la belle carte de l'Etat-Major de la Suisse au 1:100 000, connue sous le nom de carte Dufour. Les résultats de cette triangulation sont contenus dans la publication « *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz* », 1840, par Eschmann qui en fut un des principaux artisans.

Ce travail de révision avait été entrepris, dès l'année précédente, par le Prof. Ritter, de Genève, qui, au mois de janvier 1862 déjà, écrivait à M. Wolf qu'à son avis l'ancienne triangulation ne satisfaisait pas aux exigences du but poursuivi par l'Association géodésique internationale et concluait à la nécessité d'entreprendre une nouvelle triangulation. Sa mort prématurée, survenue quelques semaines plus tard, devait malheureusement priver la Commission de ses conseils. Mais, sur l'insistance du général Dufour qui désirait que pour une opération aussi délicate on fasse quelque chose de complet et d'irréprochable et n'acceptait de l'ancienne triangulation que le côté Chasseral-Rötiflüh comme base, la Commission finit par se rallier aux conclusions de Ritter et décida d'entreprendre le travail à nouveau. Elle chargea de l'étude détaillée du projet l'ingénieur H. Denzler, de Zurich, qui se mit immédiatement à l'œuvre et qui lui présenta l'année suivante un plan d'ensemble pour la triangulation.

Ce plan comportait au total quarante triangles avec vingt-neuf sommets sur lesquels les angles devaient être mesurés. Il comprenait une chaîne qui traversant tout le plateau suisse allait du bassin du Léman jusqu'à celui du Bodensee, et une chaîne méridionale qui se soudait à celle-ci dans sa partie

centrale et reliait à travers les Alpes la Suisse primitive au canton du Tessin. Le raccordement avec les réseaux piémontais et français s'opérait par le côté Colombier-Trélod au sud-ouest, avec les réseaux badois et wurtembergeois par les côtés Feldberg-Lägern et Feldberg-Hohentwiel au nord, avec l'Autriche par le côté Gäbris-Pfänder au nord-est et avec la Lombardie par le côté Gridone-Menone au sud. On ne conservait de l'ancienne triangulation que la valeur du côté Chasseral-Rötiflüh, qui servait ainsi en quelque sorte de base provisoire, jusqu'à ce que de nouvelles mesures de bases eussent été entreprises.

Il était en outre prévu de petites triangulations secondaires pour relier les observatoires de Genève, Neuchâtel, Berne et Zurich au réseau principal.

Ce plan fut adopté par la Commission dans sa seconde séance du 1^{er} mars 1865, sauf les modifications qui au cours des travaux se montreraient nécessaires. Denzler fut officiellement chargé du travail de la triangulation; il devait l'exécuter lui-même ou diriger les ingénieurs par lesquels il devrait se faire remplacer. De fait, le plan primitif avait été si bien combiné qu'il ne fut presque pas modifié.

Denzler se mit avec ardeur au travail et dans son rapport adressé à la Commission, lors de sa séance du 10 mai 1868, il pouvait annoncer que les travaux de mesure d'angles étaient terminés: « Sur ce rapport la Commission remercie M. Denzler des soins et de l'énergie qu'il a apportés à la direction des opérations, et elle vote un témoignage de satisfaction et de remerciements aux deux ingénieurs intrépides qui avec une persévérance digne de tout éloge ont résisté aux intempéries et en partie bravé même des dangers réels pour mener à bonne fin les opérations pénibles dans les hautes stations. »

Il fallut, hélas, rapidement déchanter. En effet, les calculs préliminaires de réduction au centre, de compensation provisoire des stations et de fermeture des triangles, entrepris sous la direction de M. Plantamour, firent apparaître une quantité de lacunes ou d'insuffisances qui devaient nécessiter un grand nombre d'observations complémentaires. A la séance du 16 mai 1875, M. Plantamour s'exprime à ce sujet en termes assez sévères:

« Tandis que les observations individuelles sont pour la plupart irréprochables, on ne peut pas en dire autant pour l'ensemble du travail qui manque d'unité et d'homogénéité; certains angles ont été mesurés par un nombre de longues séries plus que suffisant; d'autres, au contraire, et des plus importants, sont donnés d'une manière incomplète par une ou deux séries seulement, quelquefois trop courtes. Dans un certain nombre de stations le tour

de l'horizon manque; dans quelques autres on a omis l'observation de directions fort importantes qui auraient été nécessaires pour la détermination des trois angles dans des triangles devant faire partie du réseau. Il est possible d'expliquer l'insuffisance dans le nombre des observations et les lacunes pour quelques stations très élevées et d'un accès fort difficile; on comprend la difficulté de suivre un programme fixe et uniforme lorsque l'ingénieur ne peut disposer que d'un petit nombre d'heures après une ascension fort pénible, et lorsqu'il est obligé d'attendre quelquefois pendant des semaines au pied de la montagne, avant de trouver un jour favorable. Mais la même absence d'une méthode systématique se retrouve pour des stations d'un accès relativement facile, pour lesquelles on comprend moins la cause des lacunes et de l'insuffisance dans le nombre des observations. Quant aux lacunes causées par la difficulté d'observer des signaux dont les dimensions étaient trop faibles, eu égard à la distance d'où ils devaient être observés, il aurait fallu y pourvoir d'emblée par leur reconstruction ou par l'usage de l'héliotrope. Dans tous les cas il aurait fallu dans le cours des opérations se rendre compte à la fin de chaque campagne des lacunes laissées dans les stations, afin de les remplir dans une campagne suivante. C'est ce que la Commission est obligée de faire maintenant pour l'ensemble du réseau.»

Il faut bien dire aussi que la multiplicité inutile des stations excentriques – on en compte, par exemple, pas moins de dix pour le seul point du Rigi – était non seulement une source d'erreurs, mais avait le gros inconvénient de rendre impossible tout contrôle rapide et permanent de la valeur des observations.

On n'avait pas l'habitude en Suisse de travaux géodésiques de cette importance et de cette précision, surtout en haute montagne, et il est compréhensible que nos prédécesseurs, malgré tout leur savoir et toute leur bonne volonté, aient dû payer un certain tribut à leur manque d'expérience.

L'ingénieur Denzler étant tombé malade – il devait mourir au printemps de l'année suivante – ce fut au colonel Siegfried que la Commission confia, dès 1875, la direction des opérations pour l'achèvement de la triangulation. Sous sa conduite énergique et pratique les travaux furent activement menés et prirent fin en 1879. Pendant cette période, 25 stations sur 29 furent en partie refaites ou complétées. L'emploi généralisé des héliotropes permit enfin une précision beaucoup plus grande des observations.

Douze observateurs, en tout, participèrent aux mesures; ce sont les ingénieurs Denzler, Gelpke, L'Hardy, Lechner, Kündig, Gysin, Jacky, Pfändler,

Stammbach, Haller, Koppe et Scheiblaue. Ils se servirent de théodolites Reichenbach, Ertel, Kern et Starke variant entre 12" et 7" de diamètre. La méthode généralement employée pour la mesure des angles fut celle de la répétition.

En 1881, la Commission pouvait publier son I^{er} volume contenant le détail de toutes les mesures d'angles et les calculs de compensation des 29 stations et, en 1885, le volume II renfermant la compensation générale du réseau et le rattachement à ce réseau principal des observatoires de Neuchâtel, Genève, Berne et Zurich, et de quelques stations astronomiques.

On peut juger de la précision du réseau principal par les erreurs de fermeture des triangles qui le composent. Suivant la formule internationale de Ferrero on obtient :

Erreur moyenne de fermeture d'un triangle :	1,49" sex.
Erreur moyenne d'un angle :	0,86" sex.

La plus grande erreur de fermeture est de + 3,17" pour le triangle Basodine-Gridone-Wasenhorn.

Cette précision, largement supérieure à celle de notre triangulation primordiale, pouvait être considérée comme très satisfaisante.

Les bases de l'ancien réseau suisse étaient celle de Sugiez-Walperswil, base fondamentale de 13 km de long et celle, secondaire, de Sihlfeld de 3,4 km, toutes deux mesurées par Eschmann en 1834. Par suite de la correction des eaux du Jura et de constructions nouvelles, ces deux bases ne pouvaient plus être utilisées en 1880.

Aussi la Commission décida-t-elle de mesurer trois nouvelles bases pour son réseau : une base centrale à Aarberg, tout près de l'ancienne base de Sugiez, et deux bases de contrôle, l'une à Weinfeld à l'extrémité orientale du réseau et l'autre à Bellizone au bout de sa branche méridionale.

Les trois bases furent mesurées avec l'appareil Ibañez qui avait été mis obligeamment à la disposition de la Commission géodésique suisse par son inventeur, le général espagnol Ibañez, directeur de l'Institut géographique de Madrid et président de la Commission permanente de l'Association géodésique internationale. Rappelons que cet appareil repose sur l'emploi d'une seule règle monométallique que l'on fait marcher sur l'alignement de la base, en déterminant les emplacements successifs de ses extrémités au moyen de repères mobiles munis de microscopes.

Le général Ibañez vint lui-même en Suisse, avec son personnel, en août

1880, pour procéder à une double mensuration de la base d'Aarberg. Une troisième mesure fut effectuée immédiatement après par une équipe suisse, sous la direction du colonel Dumur qui avait succédé à Siegfried comme chef du Bureau topographique. La même équipe suisse procéda, en été 1881, à la double mensuration des bases de Weinfelden et Bellinzone.

Voici le résultat définitif de ces opérations :

<i>Base</i>	<i>Longueur</i>	<i>Erreur probable</i>	<i>Incertitude</i>
Aarberg	2400,111 m	± 0,9 mm	1/2700 000
Weinfelden	2540,335 m	± 1,3 mm	1/1 960 000
Bellinzone	3200,408 m	± 1,3 mm	1/2 460 000

Tous les détails de la mensuration de ces bases sont donnés dans le volume III, publié en 1888, par la Commission, tandis que les résultats de leur rattachement au réseau principal ont paru dans le volume IV, publié en 1889.

L'exactitude des bases ne laissait en elle-même rien à désirer. Si, par contre, partant successivement de chacune des bases, on calculait la longueur d'un côté commun, on constatait des différences que ne pouvaient expliquer ni l'incertitude de celles-ci, ni celle du réseau principal.

Pour le côté Gridone-Menone par exemple, on obtenait :

38387,61 m ± 0,20 en partant de la base de Bellinzone
 38386,91 m ± 0,56 en la déduisant de la base d'Aarberg
 38385,95 m ± 0,62 en la déduisant de la base de Weinfelden

C'est donc dans les réseaux de jonction qu'il fallait rechercher la cause de ces divergences.

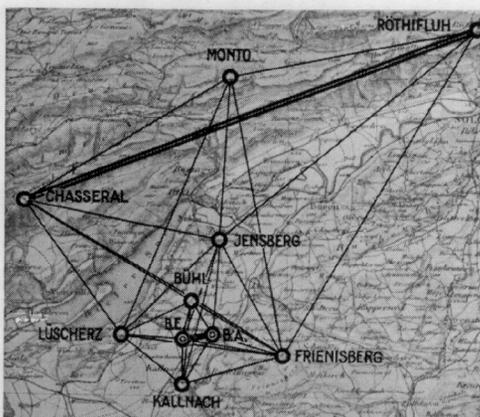
Celui d'Aarberg, bien équilibré et de beaucoup le plus favorable des trois, ne prêtait guère à la critique, si ce n'est peut-être une légère influence de la déviation de la verticale due à la chaîne du Jura.

L'écart du réseau de Weinfelden peut facilement s'expliquer par sa construction défavorable et les triangles à angles très aigus qu'il renferme. De nouvelles mesures d'angles, exécutées tant de jour que de nuit, ne modifièrent guère le premier résultat.

Quant au réseau de jonction de Bellinzone, s'il est statiquement bien constitué, il a l'inconvénient de partir d'une vallée très encaissée à l'altitude de 220 m pour s'élever rapidement, par des visées à très fortes inclinaisons (dépassant 20° pour certains côtés), jusqu'à une altitude de plus de 2200 m.

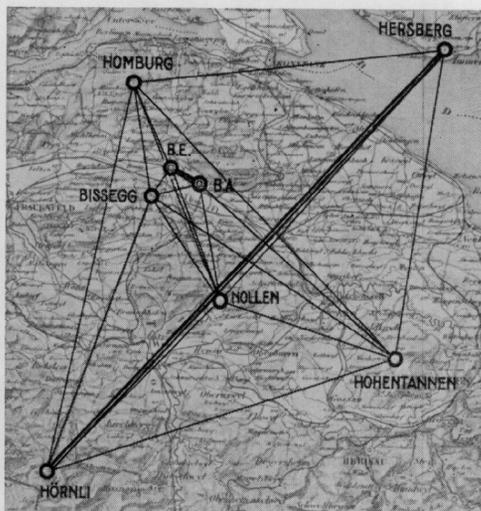
Base de Aarberg

et son réseau de rattachement
trigonométrique



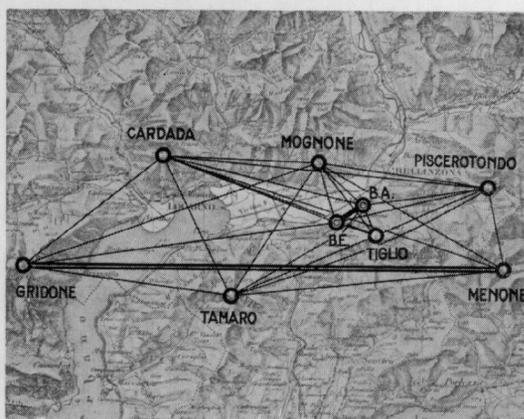
Base de Weinfelden

et son réseau de rattachement
trigonométrique



Base de Bellinzone

et son réseau de rattachement
trigonométrique





Il est clair que dans de telles conditions on pouvait s'attendre dans la mesure des angles à de fortes perturbations dues à la déviation de la verticale. Ce fut le mérite de M. Scheiblauser, ingénieur de la Commission, d'avoir très vite décelé cette source d'erreur et d'avoir cherché à y remédier en déterminant la déviation de la verticale pour les quatre stations les plus exposées du réseau : Tiglio, Magnone et les deux extrémités de la base, Cadenazzo et Giubiasco.

Il le fit par deux méthodes différentes, 1^o, par le procédé direct des observations astronomiques et 2^o, par le calcul des attractions des masses. Ces deux méthodes concordèrent de façon très satisfaisante, la première donnant une correction de $-0,75$ m et la seconde de $-0,66$ m pour la longueur du côté de rattachement Gridone-Menone. En adoptant cette première valeur, on obtient pour ce côté la longueur rectifiée de 38386,86 m qui ne diffère plus que de 5 cm de celle déduite de la base d'Aarberg. Excellente concordance comme on le voit.

Dans le volume V, publié en 1890, on trouve le calcul définitif des longueurs des côtés des triangles du réseau suisse et les coordonnées géographiques des sommets.

C'est ainsi que prenait fin ce grand travail de triangulation entrepris par la Commission géodésique suisse. Sa précision qui pour un côté quelconque pouvait être évaluée à 1/100 000 de sa longueur donnait satisfaction et le réseau pouvait servir aussi bien aux buts scientifiques internationaux qu'aux besoins internes de notre cartographie nationale.

Son exécution avait duré un peu plus d'un quart de siècle. Cela peut paraître beaucoup. Mais il ne faut pas oublier les inévitables tâtonnements du début, les difficultés des observations en haute montagne et surtout les moyens financiers très modestes dont la Commission disposait. Durant toute cette période, elle a vécu avec la subvention annuelle de Fr. 15 000. — que lui allouait la Confédération. Et, en plus de la triangulation, la Commission dut mener simultanément les travaux d'astronomie, de mesures de la pesanteur et du nivellement de précision qui, dès 1865, avait été ajouté à son programme primitif. Sur ce même crédit, elle devait encore faire face aux frais d'achat des instruments nécessaires et de publication de ses travaux.

Quelque vingt ans plus tard, l'entrée en vigueur du Code civil suisse fit rebondir toute la question de notre triangulation. Le nouveau cadastre suisse exigeait un réseau homogène de triangulation de IV^{ème} ordre couvrant tout le pays. Sur quelles bases serait fondée cette triangulation cadastrale ?

Dans la commission spéciale qui fut nommée pour étudier ce problème, un

membre ou deux se montrèrent partisans d'une triangulation entièrement nouvelle, mais la commission, dans sa grande majorité, se prononça pour le maintien intégral du réseau de la Commission géodésique.

Le Service topographique qui était chargé de l'exécution de la triangulation d'ordre supérieur adopta finalement, après une étude approfondie, la solution suivante. Il maintint sans changement toute la chaîne principale de 1^{er} ordre qui s'étend à travers le Plateau et le Jura, mais renonça par contre à conserver la branche méridionale qui franchissait les Alpes. Cette solution était logique, car cette branche était constituée par une chaîne de triangles assez étroite et un peu « en l'air » qui laissait complètement de côté les Alpes bernoises, valaisannes et grisonnes. Il régnait, en outre, quelque incertitude sur l'identification du centre des deux sommets du Hangendhorn et du Hundstock.

C'est ainsi que, de 1911 à 1915, le Service topographique, en s'appuyant sur la ligne des sommets Colonné–Naye–Berra–Gurten–Napf–Rigi–Hörnli et Hersberg de la Commission géodésique, compléta notre triangulation de 1^{er} ordre par un réseau homogène et bien équilibré qui s'étendait sur toute la région montagneuse de notre pays.

Pour terminer cet aperçu, on peut affirmer que la Commission géodésique suisse a exécuté, dans des conditions difficiles et avec des moyens financiers très limités, une œuvre scientifique de grande envergure qui, à l'époque, a pleinement répondu à ce qu'on attendait d'elle. Que l'on ait relevé par la suite quelques faiblesses à ce travail, susceptibles d'être améliorées, il n'y a là rien de surprenant. Depuis le début de ce siècle, grâce aux progrès de notre industrie, le géodésien dispose d'instruments de mesure tout à la fois beaucoup plus puissants, plus précis et plus légers. En outre, les ascensions de nos sommets des Alpes qui étaient, avec raison, redoutées il y a un siècle, ont été rendues singulièrement plus faciles par les progrès de la technique, du tourisme et des moyens de transport.

On peut remarquer au surplus que toute triangulation vieillit. Dans les Alpes, en particulier, région géologique encore en voie de tassement, il n'est pas rare que certains points trigonométriques se déplacent sous l'influence d'affaissements ou de glissements de terrain. Ces mouvements de terrain peuvent atteindre plusieurs centimètres ou même décimètres, mais ils sont difficiles à découvrir, car ils ne sont généralement pas apparents à première vue. C'est ainsi, par exemple, qu'on a constaté à plusieurs reprises, ces dernières années, à l'occasion de piquetages de précision pour la construction de galeries souterraines pour nos usines hydrauliques, que l'on ne pouvait plus

se fier à la position de points de triangulation dont les coordonnées avaient pourtant été déterminées avec une grande précision vingt ou trente ans auparavant!

Un réseau trigonométrique, et c'est le cas de celui de la Commission géodésique, répond aux besoins d'une époque plus ou moins longue, mais, malgré toutes les précautions, on ne peut lui demander de garder indéfiniment toute sa valeur.

III. Die Arbeiten der Schweizerischen Geodätischen Kommission am schweizerischen Landesnivellement

Nach einem Manuskriptentwurf von C. F. BAESCHLIN
bearbeitet von F. KOBOLD
und mit einem Nachtrag von M. SCHÜRER

1. DAS PRÄZISIONSNIVELLEMENT DER SCHWEIZERISCHEN GEODÄTISCHEN KOMMISSION

1.1. Auftrag und erste Beschlüsse

Mit der Schaffung eines Präzisionsnivellementes befaßte sich die Schweizerische Geodätische Kommission zum ersten Mal in ihrer dritten Sitzung, die am 24. April 1864 in Neuenburg stattfand. Die Schweiz besaß damals kein durchgehendes, einheitliches Nivellementsnetz, wie es von Wissenschaftlern für allgemeine Studien über die Höhenverhältnisse des Landes und von Ingenieuren für die Zwecke des Wasserbaues seit langem gefordert wurde. An der erwähnten Sitzung unterbreitete Prof. Hirsch erste Vorschläge, welche die Kommission veranlaßten, dem Bundesrat zu empfehlen, als erste Teile eines Landesnetzes die Strecken zwischen Genf, Basel, Luzern und Romanshorn nach den Methoden des Präzisionsnivellements zur Bestimmung genauer Meereshöhen beobachten zu lassen. Auf Grund dieser Eingabe erteilte das Eidgenössische Departement des Innern der Schweizerischen Geodätischen Kommission den Auftrag, das vorgesehene Nivellement beobachten und berechnen zu lassen. Die zur Ausführung der Arbeiten als notwendig erachteten Mittel wurden nach Erteilung des Auftrages von der Bundesversammlung bewilligt.

Schon an der Kommissionssitzung des Jahres 1865 konnte Prof. Hirsch einen Arbeitsplan für das in Angriff zu nehmende Nivellementsnetz unterbreiten, der Ausführungen über die Nivellementslinien, über die Instrumente, über die Arbeitsmethoden und über das Feldprogramm enthielt. Alle diese Vorschläge fanden die Zustimmung der Kommission.

1.2. *Das Instrumentarium*

Bevor mit den Beobachtungen begonnen werden konnte, mußten Nivellierinstrumente und Nivellierlatten beschafft werden. Obwohl im Ausland Präzisions-Nivellierinstrumente seit längerer Zeit im Gebrauch standen, entschloß sich die Kommission, einen von Prof. Hirsch im Prinzip entworfenen Instrumententyp bei der Firma Kern-Aarau entwickeln und bauen zu lassen.

An die Nivellierinstrumente wurden folgende Forderungen gestellt: Der Fehler einer Zielung soll den Betrag von 1 mm auf eine Entfernung von 100 m nicht überschreiten; es entspricht dies einem Winkelfehler von 2 Sekunden alter Teilung. Fernrohr und Libelle müssen umsetzbar sein, damit der Beobachter jederzeit das Instrument leicht prüfen kann.

Bei den von Kern gebauten Nivellierinstrumenten wies das Fernrohr eine Brennweite von 40,6 cm und eine Öffnung von 33,8 mm auf; die Vergrößerung war 39fach. Es wurde eine Libelle mit einer Angabe von nur 3" gewählt. Zufolge ihrer hohen Empfindlichkeit ließ man die Blase nur ungefähr einspielen und las die Blasenenden an der Teilung ab. Man arbeitete mit schiefer Ziellinie und benötigte demzufolge die Entfernung zwischen Instrument und Latte. Diese Strecke wurde nach dem Prinzip des Fadendistanzmessers ermittelt.

Als Miren bestellte die Kommission Holzlatten. Sie stellte recht strenge Vorschriften über die Lattenteilung auf und hoffte, auf Korrekturen wegen fehlerhafter Teilung verzichten zu können. Zur Prüfung des Lattenmeters sollte der Maßstab von Kern, der zur Teilung der Latten benützt worden war, mit dem Normalmeter in Bern verglichen werden, sobald der Präzisionskomparator im Eidgenössischen Amt für Maß und Gewicht eingerichtet sein würde. Man war der Ansicht, daß damit die Lattenkorrektur genau genug bekannt sein würde, die vielleicht überhaupt – ähnlich wie die Teilungskorrektur – vernachlässigt werden könne.

Die von Kern gelieferten Nivellierinstrumente befriedigten die Kommission in höchstem Maße. So schreibt Prof. Hirsch: «Je suis heureux de pouvoir constater que M. Kern, en qui la Suisse possède un artiste mécanicien d'un grand mérite, a rempli toutes ces conditions à notre satisfaction et que ses appareils avec de légères modifications que je vous proposerai, répondent parfaitement aux exigences de notre entreprise.»

1.3. Das Beobachtungsverfahren

Aus Berechnungen und aus Versuchen ergab sich, daß durch Schätzung an drei Horizontalfäden (Abstand der Außenfäden ca. $3\frac{1}{2}$ Minuten vom Mittelfaden) und Mittelbildung der drei Schätzungen ein kleinerer mittlerer Fehler erzielt werden konnte, als durch die Verwendung eines Mikrometers, wie es ursprünglich vorgesehen war. Man erreichte auf diese Art mittlere Fehler am Mittel von 0,48" bis 0,64". Diese Genauigkeit auf Grund von Schätzungen erscheint sehr hoch und man staunt auch darüber, daß die Schätzung der drei Fäden auf hundertstel Zentimeter genau erfolgte, wobei die Latte Zentimeterfelder aufwies.

Im einzelnen geschah die Beobachtung in folgender Reihenfolge:

- Nachdem das Fernrohr näherungsweise horizontal lag und der Vertikal-faden des Fernrohrs auf die Linie in der Mitte der Latte gestellt war, notierte der Beobachter die Ablesungen der Libelle.
- Nach der Meldung des Lattenträgers, daß die Latte vertikal stehe, machte der Ingenieur die Ablesungen und Notierungen der drei Fäden auf der Latte, indem er mit dem Unterfaden begann. Er versicherte sich durch Bilden der Differenzen, ob er sich nicht in den Zentimetern getäuscht hatte.
- Der Beobachter machte ein zweites Mal die Ablesungen an der Libelle und schrieb sie unterhalb der ersten Notierungen auf.

Grundsätzlich wurde das Nivellement aus der Mitte durchgeführt, die Abweichung der beiden Zielweiten sollte unter ungünstigen Verhältnissen 10 m nicht übersteigen.

Für die Zielweiten galten die folgenden Regeln:

- | | |
|---------------------------------------------------------|--------------------|
| 1. Auf Eisenbahnen, deren Steigung 1 % nicht übersteigt | 100 m |
| 2. auf Eisenbahnen mit größerer Steigung | von 50 m bis 100 m |
| 3. auf den großen Straßen der Ebene | von 25 m bis 50 m |
| 4. auf den Bergstraßen | von 10 m bis 25 m |

Da mit schiefer Ziellinie und gelegentlich mit ungleichen Zielweiten gearbeitet wurde, mußten am Anfang und am Ende jeder Serie von Beobachtungen, d. h. nachdem das Instrument aufgestellt und bevor es demontiert war, mindestens aber einmal im Tag die drei Instrumentenfehler bestimmt werden, nämlich die Kollimation der Ziellinie, der Fehler im Parallelismus und der Fehler der Libelle.

Alle Beobachtungen wurden in ein Feldbuch eingeschrieben. Der Ingenieur machte jeden Abend eine genaue Kopie der Beobachtungen des betreffenden Tages. Das Original wurde nach der Sternwarte Neuenburg, die Kopie nach der Sternwarte Genf gesandt. In den beiden Sternwarten erfolgten durch je einen Assistenten die Reduktionen und Berechnungsarbeiten. Später wurden die Feldingenieure mit der Auswertung der Beobachtungen betraut.

1.4. Die Reduktion der Beobachtungen

Zur Reduktion der Beobachtungen waren außer den täglich bestimmten Instrumentenfehlern noch drei Konstanten nötig, nämlich

- die Angabe der Libellen
- die Distanzen zwischen dem Mittelfaden und den beiden Außenfäden in Sekunden
- der mittlere Lattenmeter der beiden verwendeten Latten.

Die *Angaben der Libellen* wurden mit Hilfe des Meridiankreises der Sternwarte Neuenburg bestimmt; man befestigte die Libelle mit Hilfe einer Spezialfassung an einer der Speichen des Kreises, der einen Durchmesser von 3 Fuß aufweist und der mit Hilfe von zwei Mikroskopen auf die Sekunde genau abgelesen werden kann. Ebenso wurde die Gleichmäßigkeit der Krümmung der Libelle geprüft. Um die notwendige Genauigkeit zu erreichen, wurden diese Untersuchungen mindestens 8mal wiederholt.

Die *Winkelwerte der drei Fäden des Fernrohres* konnten in der Art bestimmt werden, daß die Latte in genau gemessenen Entfernungen von 10 bis 100 Metern aufgestellt wurde. Bei jeder dieser Entfernungen wurde die Lage der drei Fäden auf der Latte notiert. Um von zufälligen Teilungsfeldern unabhängig zu werden, wurde diese Operation häufig wiederholt, indem man die Höhe des Instrumentes änderte. Die Erfahrung zeigte, daß diese Konstanten sich mit den Jahren änderten. Sie wurden daher in jedem Jahr mindestens einmal bestimmt. Zur Berechnung der Entfernung der Latten vom Instrument aus den Ablesungen an den drei Fäden, sowie für die Korrektur der Lattablesung wegen Neigung der Ziellinie und wegen der Instrumentenfehler wurden Tabellen verwendet.

Man glaubte anfänglich, daß die Behandlung der Latten in siedendem Öl genüge, um den *mittleren Lattenmeter* als eine wenig veränderliche Größe betrachten zu dürfen. Die Erfahrungen bei den großen Höhenunterschieden der Schweiz zwangen zu einer Änderung dieser Ansicht. Doch konnte man

sich nicht dazu entschließen, Bestimmungen des mittleren Lattenmeters im Feld durchzuführen; man begnügte sich mit Eichungen im Laboratorium. Zwei verschiedene Verfahren kamen zur Anwendung, nämlich:

- die absolute Bestimmung, bei der die Latten mit einem geeichten 3 Meter langen Eisenmaßstab des Eidgenössischen Amtes für Maß und Gewicht verglichen wurden, und
- die relative Bestimmung. Um die Differenz Latte II–Latte I zu erhalten, wurden in den Fels vor der Sternwarte Neuenburg zwei Fixpunkte aus Bronze mit einem Höhenunterschied von ca. 290 cm einzementiert. Das Instrument wurde 80 m von den beiden Fixpunkten entfernt auf Fels aufgestellt und es wurde nun der Höhenunterschied der beiden Fixpunkte durch Wechsel der Latten auf Grund zahlreicher Wiederholungen bestimmt.

Die Übereinstimmung der nach den beiden Methoden bestimmten Lattenmeter ließ zu wünschen übrig. Durch Mittelbildungen suchte man möglichst zuverlässige Werte zu erhalten.

Verfolgt man die zahlreichen Publikationen über das Präzisionsnivellement und die Sitzungsprotokolle der Kommission, so fällt auf, mit welcher Sorgfalt Libellenangaben und Fadendistanzen geprüft wurden und wie wenig Mühe im Verhältnis dazu auf die Bestimmung des Lattenmeters verwendet wurde. Die Kommission überschätzte die Maßhaltigkeit der Holzlatten; doch war ihr von Anfang an klar, daß gerade in einem Gebirgsland der Kenntnis der Lattenlänge größte Bedeutung zukommt, da die von unrichtiger Lattenlänge entstehenden systematischen Höhenfehler leicht den Einfluß der zufälligen Fehler übersteigen können. Nach heutigen Begriffen halten die damals angewandten Methoden zur Bestimmung der Lattenlänge und die zugehörigen Überlegungen einer strengeren Kritik nicht stand. Doch soll nicht unerwähnt sein, daß sich die Kommission bei Abschluß der Arbeiten am Präzisionsnivellement im klaren war darüber, daß sie der Bestimmung des Lattenmeters jedenfalls zu Beginn der Beobachtungen zu wenig Beachtung geschenkt hatte.

1.5. Abschluß der Beobachtungen, Publikationen

Der Abschluß der Feldarbeiten am Präzisionsnivellement fiel in das Jahr 1887. Schon damals waren viele der bis dahin gesetzten Fixpunkte verloren gegangen. Eine im Jahr 1886 durchgeführte Revision ergab, daß von 255 Fix-

punkten erster Ordnung noch 229, von den insgesamt 2261 Fixpunkten verschiedener Ordnung nur noch 1428, also 63,2 %, intakt geblieben waren.

Die Kommission ließ 26 Bronzebolzen erster Ordnung, welche als verdorben oder verloren gelten mußten, womöglich am alten Ort oder ganz nahe dabei und auf einer wenig verschiedenen Höhe neu setzen und durch doppeltes Nivellement an die zwei nächsten noch bestehenden Bolzen anschließen.

Beobachtungen und Reduktionen sind in den Lieferungen 1 bis 9 des «Nivellement de Précision de la Suisse sous la Direction de A. Hirsch et E. Plantamour» veröffentlicht. An den Beobachtungen waren die Ingenieure Benz (1865–1873), Schönholzer (1865–1871), Spahn (1872), Redard (1873 bis 1875), Steiger (1875–1879), Kuhn (1879–1882), Autran (1880–1882 und 1887) beteiligt. Die Berechnungen und die Ausgleichung besorgten die Ingenieure Scheiblauber und Dr. Messerschmitt.

1.6. Die Ausgleichung des Netzes

Die Ausgleichung des beobachteten Netzes soll hier nur skizziert werden. Sie ist in den angeführten Publikationen ausführlich beschrieben. Wenn sie hier berührt wird, so geschieht das einmal aus dem Grunde, daß die ausgeglichenen Höhen zum Teil noch die Grundlagen des heutigen Nivellementsnetzes bilden, und sodann soll gezeigt werden, wie sehr sich die Kommission bemühte, die systematischen Fehlereinflüsse, deren sie sich vollständig bewußt war, zu eliminieren. Daß der beschrittene Weg nach heutigen Begriffen unzumutbar war, ist weniger bedeutsam als die Tatsache, daß man sich überhaupt um die Elimination dieser systematischen Fehler bemühte.

Das Netz weist 16 innere Schleifen und ein Umfassungspolygon auf. Zur Ausgleichung wurden aber nur 15 innere Schleifen und das unveränderte Umfassungspolygon verwendet. Die Linie (40) Brienz–Meiringen–Guttannen–Rhodnegletscher zeigte eine Differenz zwischen Hin- und Rückmessung von 399,5 mm. Vermutlich liegt ein grober Fehler vor, der die Kommission veranlaßte, die Linie 40 nicht in die Ausgleichung einzubeziehen.

Aus den Sitzungsberichten geht hervor, daß sich die Kommission schon in den Jahren zwischen 1880 und 1890 mit der Frage befaßte, ob orthometrische Korrekturen angebracht werden sollten. – Die Kommission entschloß sich, auf die Einführung zu verzichten.

Die Schwierigkeit bei der Ausgleichung des Netzes bestand namentlich darin, die Gewichte der Beobachtungen der verschiedenen Linien zu bestimmen,

weil drei Arten von Messungen vorlagen, nämlich: einfaches Nivellement, sodann doppeltes Nivellement, wobei die zwei Bestimmungen im gleichen Richtungssinne durchgeführt wurden, und endlich doppeltes Nivellement mit Beobachtungen im entgegengesetzten Richtungssinne.

Die Kommission ging von der Überlegung aus, daß sich die Differenzen zwischen den beiden Beobachtungen ein und derselben Strecke aus drei Fehlerquellen erklären lassen:

- *Aus den zufälligen Fehlern.* Wird der zufällige Fehler des einfachen Nivellements einer Strecke von 1 km Länge mit x bezeichnet, so läßt sich dessen Einfluß auf eine Linie von k km Länge durch die Formel

$$\pm x\sqrt{k}$$

ausdrücken.

- *Aus den Abweichungen der Lattenlängen vom Sollwert.* Bei den Linien mit großen Höhenunterschieden zeigten sich deutlich Abweichungen in den Ergebnissen der Doppelnivellements, die ohne Zweifel auf unrichtige Lattenlängen zurückzuführen waren.

Bedeutet γ^{mm} die Größe, um welche der Lattenmeter während der Dauer des Nivellements einer Linie vom Wert des Lattenmeters, der später zur Berechnung der Reduktionen verwendet wird, abweicht, so wird das Ergebnis des einfachen Nivellementes um den Betrag

$$\pm \gamma^{mm} \cdot H$$

verfälscht, wenn mit H der Höhenunterschied zwischen den beiden Endpunkten der Linie bezeichnet wird.

- *Aus dem Einsinken der Latten und des Instrumentes.* Das Einsinken der Latten, das zwischen zwei aufeinander folgenden Instrumentenstellungen auftritt, beeinflußt die Ablesung im Rückblick im Sinne einer Vergrößerung. Infolge eines möglichen Einsinkens des Instrumentes während der Beobachtung wird die Höhendifferenz nochmals im algebraischen Sinne zu groß. Da sich die Wirkung des Einsinkens immer im gleichen Sinne äußert, ist ein merkbarer Schlußfehler zu erwarten. Dabei ist im allgemeinen der Einfluß des Einsinkens der Latte stärker als der des Instrumentes.

Der Wert des Einsinkens ist proportional der Zahl der Lattenaufstellungen oder der Zahl der Aufstellungen des Instrumentes, und damit proportional zur Länge des Nivellierweges. Bezeichnet man mit z den Einfluß des Einsinkens auf eine Länge von 1 km, so wird an einem Nivellement, das von

A nach B , im Sinne $H = B - A$ durchgeführt wird, eine Korrektur von
 $- z \cdot k$

notwendig, wobei z eine wesentlich positive Größe ist.

Faßt man die drei Fehlerquellen zusammen, so erhält man die Höhendifferenz H aus dem Meßresultat H_1 nach folgender Formel:

$$H = H_1 \pm \sqrt{k} \cdot x_1 \pm H \cdot \gamma_1 - k \cdot z_1$$

Wird die Linie ein zweites Mal im gleichen Sinn durchnivelliert, so muß man für die zweite Messung schreiben:

$$H = H_2 \pm \sqrt{k} \cdot x_2 \pm H \cdot \gamma_2 - k \cdot z_2$$

Im allgemeinen sind die Resultate dieser zwei Nivellemente nicht gleich, sondern sie werden eine Differenz d aufweisen. Für eine doppelt nivellierte Linie, die beidemal im gleichen Richtungssinne gemessen wurde, ist gesetzt worden:

$$d = H_1 - H_2 = \pm \sqrt{2k} \cdot x \pm \sqrt{2} \cdot H \cdot \gamma \pm \sqrt{2} \cdot k \cdot z \quad (1)$$

Dabei wurden die unbekanntenen Fehler $x_1, x_2, \gamma_1, \gamma_2, z_1, z_2$ zu Mittelwerten vereinigt und berücksichtigt, daß die x_1, x_2 und γ_1, γ_2 sowohl positiv wie negativ sein können.

Lag eine doppelt nivellierte, in beiden Richtungen gemessene Linie vor, so traten bei der Differenzbildung die positiven Größen $(z_1 + z_2)$ auf und man setzte

$$d = H_1 - H_2 = \pm \sqrt{2k} \cdot x \pm \sqrt{2} H \cdot \gamma \pm 2k \cdot z \quad (2)$$

Da die Bestimmung der Unbekannten x, γ und z eine beträchtliche Unsicherheit in sich birgt, wurden die Formeln (1) und (2) auf möglichst lange Linien angewandt. Erhebt man sie ins Quadrat, so entstehen Fehlergleichungen von der Form

$$\begin{aligned} d^2 &\equiv 2kx^2 + 2H^2\gamma^2 + 2k^2z^2 \quad (17 \text{ Gleichungen}) \\ d^2 &\equiv 2kx^2 + 2H^2\gamma^2 + 4k^2z^2 \quad (31 \text{ Gleichungen}) \end{aligned} \quad (3)$$

welche die Bedingungen für die wahrscheinlichsten Werte von x, γ und z liefern.

Die Ausdrücke (3) sind somit proportional der mittleren Unsicherheit der Beobachtung d^2 . Folglich werden die Gewichte der d^2 proportional zu $1/d^4$. Um aus den Fehlergleichungen (3) die entsprechenden Normalgleichungen

für die Unbekannten x, y, z zu erhalten, müssen die Unbekannten bestimmt sein. Man kann also zur Kenntnis der x^2, y^2, z^2 nur durch *sukzessive Näherungen* gelangen.

Die Berechnung ergab folgende Werte:

$$\begin{aligned}x &= \pm 1,65 \pm 0,80 \\y &= \pm 0,038 \pm 0,012 \\z &= \pm 0,50 \pm 0,08\end{aligned}$$

aus denen die Gewichte der Höhendifferenzen folgen.

Die Ausgleichung der 15 Nivellementsschleifen geschah nun nach den Regeln für die Korrelatenausgleichung.

Von den 57 Verbesserungen sind 32 positiv, 25 negativ. Das stellt im Hinblick auf die kleine Zahl der Verbesserungen und die große Differenz der Gewichte eine befriedigende Verteilung der Vorzeichen dar.

Der mittlere Fehler der Gewichtseinheit wird $\pm 1,35$ mm.

Um den mittleren Fehler pro 1 km zu berechnen, haben die Verfasser eine zweifelhafte Methode angewendet.

Eigentlich gibt es beim Netz der Schweizerischen Geodätischen Kommission keinen mittleren Fehler pro Kilometer, weil die drei Unbekannten x, y und z eingeführt wurden. Nur wenn man $y = 0$ und $z = 0$ setzt, ist der mittlere Fehler einer Linie proportional zu \sqrt{k} . Die Verfasser haben zunächst den mittleren Fehler der ausgeglichenen Höhendifferenzen (bezeichnet mit m_x) nach der Formel berechnet:

$$m_x = \pm \mu \delta_x \sqrt{1 - F \delta_x^2}$$

mit μ = Gewichtseinheitsfehler

$$F = [(aa) - 2(a\beta) + (\beta\beta)]$$

δ_x = Mittlerer Fehler a priori der betreffenden Linie

$$\frac{1}{\delta_x^2} = \text{Gewicht der Messung}$$

Dieses m_x wurde durch \sqrt{k} dividiert, und die Verfasser nennen das den mittleren Fehler pro 1 km Distanz. Der aus diesen Werten x_m berechnete quadratische Mittelwert ergab

– für einfach nivellierte Strecken¹ $\pm 4,6$ mm

¹ In den Publikationen der S.G.K. sind $\pm 3,8$ mm angegeben. Es liegt ein Rechenfehler vor, der in den Veröffentlichungen nachgewiesen werden kann.

- für doppelt nivellierte Strecken, die zweimal im selben Sinne beobachtet wurden $\pm 3,9$ mm
 - für doppelt nivellierte Strecken, die je hin und her nivelliert wurden $\pm 3,7$ mm
- Die Verfasser erhalten daraus als mittleren Fehler pro 1 km den Wert von $\pm 3,8$ mm.

1.7. *Das Problem der absoluten Höhen beim Nivellementsnetz der Schweizerischen Geodätischen Kommission*

Wie ein roter Faden zieht sich durch alle Bände des «Nivellement de Précision de la Suisse» von 1867 bis 1891 und durch die Protokolle der Kommissionssitzungen die Frage nach den absoluten Höhen.

Obwohl verschiedene Vorschläge für die Einführung eines Höhennullpunktes vorlagen, schob die Kommission den Entscheid immer wieder hinaus. Sie begründete ihre Stellungnahme damit, daß es Sache der Mitteleuropäischen Gradmessung, resp. der an ihre Stelle getretenen Internationalen Assoziation für Geodäsie als des zuständigen wissenschaftlichen Gremiums sei, die Frage zu entscheiden. Prof. Hirsch hatte sie bereits in seinem von der Mitteleuropäischen Gradmessungskonferenz vom Oktober 1864 angenommenen Antrag folgendermaßen formuliert: «Das Mittelwasser der verschiedenen Meere soll in möglichst vielen Häfen bestimmt werden, unter Bevorzugung von registrierenden Geräten. Die Nullpunkte der Pegel sollen in das Nivellement erster Ordnung einbezogen werden. – Nach den Resultaten aller dieser Maßnahmen wird man später den Vergleichshorizont für alle Höhen von Europa wählen.»

Es war naheliegend, daß anlässlich der Redaktion des «Catalogue des Hauteurs Suisse» im Jahre 1890 neuerdings die Frage gestellt wurde, ob nicht für diese Veröffentlichung die absoluten Höhen gewählt werden sollten. Da die Entscheidung der Internationalen Assoziation für Geodäsie erst auf 1891 oder 1892 zu erwarten war, beschloß die Kommission, ihre bisherige Auffassung bestätigend, die Höhen des «Catalogue» auf Pierre du Niton mit der angenommenen Höhe Null zu beziehen und so zu veröffentlichen, da sie weitere Verzögerungen nicht verantworten konnte.

Im Jahre 1890 erteilte Direktor R. Helmert als Leiter des Geodätischen Institutes in Potsdam Prof. A. Börsch den Auftrag, die Nivellementsnetze der europäischen Länder, soweit sie bis 1890 fertig vorlagen, zusammenzu-

schließen. Als Ergebnis dieser Untersuchung erschien 1891 die Publikation «Dr. A. Börsch: Vergleichung der Mittelwasser der Ostsee und Nordsee, des Atlantischen Ozeans und des Mittelmeeres auf Grund einer Ausgleichung von 48 Nivellements-polygonen in Zentral- und Westeuropa, Berlin 1891.» Die drei auf verschiedene Arten durchgeführten Ausgleichungen deuteten alle darauf hin, daß die Mittelwasser der verschiedenen Meere nicht gleich hoch liegen, wenn auch der Beweis mit Rücksicht auf die uneinheitliche Genauigkeit der Nivellemente nicht sicher erbracht werden konnte.

Auch aus der Publikation von Dr. Hilfiker: «Untersuchungen der Höhenverhältnisse der Schweiz» (1902) erkennt man, daß die Frage, ob die Europa umspülenden Meere ein und derselben Niveaufläche angehören, in den Jahren 1892 bis 1900 heftig diskutiert wurde. Die damals gezogene Schlußfolgerung, daß die Nivellemente zu wenig genau seien, um die Frage entscheiden zu können, drängt sich auch heute vor der Erneuerung der Europäischen Nivellemente noch auf. Doch war die Schweiz aus praktischen Gründen gezwungen, im Jahre 1902 absolute, also Meereshöhen, einzuführen; waren doch für eine neue Karte mit Höhenkurven Meereshöhen notwendig. In der erwähnten Studie findet Dr. J. Hilfiker aus verschiedenen Nivellementen als Höhe von Pierre du Niton $373,585 \text{ m} \pm 0,074 \text{ m}$ bei Einführung von Gewichten, und $373,638 \text{ m} \pm 0,075 \text{ m}$ ohne Einführung von Gewichten.

Der Schlußantrag von Dr. Hilfiker lautet: «Als Ausgangshorizont des schweizerischen Höhennetzes wird das Mittelwasser des Mittelländischen Meeres im Hafen von Marseille eingeführt, das mit Abschluß der Mareographenangaben vom 1. Januar 1900 11 mm über «*zéro normal du nivellement général de la France*» liegt. Demgemäß wird die absolute Höhe von Pierre du Niton auf *373,6 Meter* festgesetzt. Diese Ausgangshöhe hat sich seit ihrer Einführung bewährt.

2. DAS VERSICHERUNGSNIVELLEMENT DER ABTEILUNG FÜR LANDESTOPOGRAPHIE (1893–1902)

Obwohl die Schweizerische Geodätische Kommission (SGK) an den späteren Feldarbeiten des schweizerischen Landesnivellements, das von der Eidgenössischen Landestopographie ausgeführt wurde, nicht mehr beteiligt war, sollen diese späteren Arbeiten kurz beschrieben werden, weil die Kommission wesentlichen Anteil an der Auswertung hatte und weil sie die Schweremessungen für das Nivellement ausführte.

Nachdem schon vor der Beendigung des schweizerischen Präzisionsnivelementes der Schweizerischen Geodätischen Kommission durch Revision festgestellt worden war, daß eine große Anzahl von Fixpunkten als verloren anzusehen war, führte die Abteilung für Landestopographie (abgekürzt L + T) ein sogenanntes Versicherungsnivellement vom Frühling 1893 bis Herbst 1902 durch, um alte Punkte zu kontrollieren und neue zu bestimmen. Die *Kontrollnivelemente* waren insgesamt 609 km und die *Neunivelemente* 1065 km lang.

Die L + T stützte sich in hohem Maße auf die Erfahrungen der SGK und beschloß wie folgt vorzugehen:

Instrumente und Nivellierverfahren. Von der Methode der Beobachtung der Neigung des Fernrohres wird abgegangen. Die Libellenangabe der neuen Instrumente wird zu 5,3" gewählt und erlaubt ohne großen Zeitverlust mit einspielender Libelle zu arbeiten. Die Ablesungen an den drei Horizontalfäden werden beibehalten.

Latten. Es wurde mit Präzisionslatten verschiedener Bauart, darunter Reversionsmiren und Kompensationslatten nach *System Goulier* gearbeitet. In den weißen Zentimeterfeldern waren die Millimeterstriche mit Hilfe der Teilmaschine eingezogen. Da die Zielweiten auch im Flachland auf 20 m verkürzt wurden, konnten die Millimeterstriche gut an den drei Horizontalfäden abgelesen werden. Ferner ließen sich bei diesen Latten die Feldvergleichungen mit dem Stahlstab durchführen und zwar an den Stellen der Latte, die man speziell wünschte. Es wurde täglich mindestens eine Vergleichung vorgenommen, so daß mit bekanntem Lattenmeter gerechnet werden konnte.

Das Einsinken der Latte und des Instrumentes wurde durch Verwendung von zwei Latten mit Doppelteilung, die gleichzeitig im Rückblick und Vorblick aufgestellt wurden, eliminiert. Die Latten wurden in besonderen Gestellen vertikal gehalten und die Fußplatten stabilisiert. Jedes Nivellement sollte grundsätzlich durch zwei Beobachter in entgegengesetztem Sinn ausgeführt werden. Zielungen durften nur bei ruhigem Lattenbild erfolgen. Die Arbeit wurde daher bei Tagesanbruch begonnen und unterbrochen, sobald infolge Verschlechterung der Luftverhältnisse die Unsicherheit der Ablesung den Betrag von ein bis zwei Zehntelmillimetern überschritt. Sie konnte am späten Nachmittag fortgesetzt werden. In der Zwischenzeit wurden die Lattenteilungen mit dem Normalstab verglichen und die Stationen für den folgenden Tag abgesteckt.

Um zu erreichen, daß in Zukunft weniger Fixpunkte verloren gehen würden, erließ die L + T Instruktionen über die Auswahl der Trägerobjekte der Fixpunkte. Außerdem wurden regelmäßige Begehung durch Kantons- und Gemeindeorgane angeordnet.

3. DAS NEUE LANDESNIVELLEMENT

3.1. *Die Beobachtungen 1903–1925*

Nachdem die L + T das Versicherungsnivellement im Jahr 1902 abgeschlossen hatte, entschloß sie sich im Jahre 1903, ein neues Präzisionsnivellement zu beginnen, da für manche Zwecke die Genauigkeit des Nivellements der SGK nicht mehr genügte.

Das neue Landesnivellement umfaßt 18 Polygone (siehe Kartenbeilage im Abschnitt «Die Schweremessungen der Schweizerischen Geodätischen Kommission») mit einer Gesamtlänge von 2900 km, die Auslandstrecken eingerechnet. Es folgt größtenteils den Linien des alten Netzes der Schweizerischen Geodätischen Kommission und enthält dessen gut erhaltene Punkte.

Beim neuen Landesnivellement wurden die Fixpunkte nicht einzeln, sondern in Gruppen von 3 bis 4 Stück gesetzt, wobei ein Punkt mit einer Nummer und die übrigen Punkte der Gruppe mit großen Buchstaben bezeichnet werden. Das Setzen der Punkte, die Aufnahme der Krokis und der Lagebeschreibung geschah unabhängig von der Vermessung gewöhnlich im Jahr vorher. In Abständen von 300 bis 400 m wurden zwischen den Fixpunkten Niete mit stark gewölbten Köpfen in Marksteine, Dolenplatten usw. einzementiert oder mit Blei verstemmt. Diese Punkte dienten als Abstellpunkte; auf ihnen konnte die Messung abends unterbrochen werden.

An den Nivellierinstrumenten und den Latten wurde zunächst gegenüber dem «Versicherungsnivellement» nichts geändert. Es erscheint jedoch bedeutsam, daß schon vor der Einführung der Wild-Zeiß-Apparatur eine Invarmire, die von der Firma Kern in Aarau hergestellt worden war, ausprobiert wurde. Sie gab gute Resultate, wurde jedoch sehr bald durch die vollkommene Ausrüstung von Wild-Zeiß ersetzt.

3.2. *Die Gebrauchshöhen*

Da eine strenge Reduktion und Ausgleichung des neuen schweizerischen Landesnivellements, das von 1903 bis 1925 resp. 1927 durchgeführt worden

war, nicht abgewartet werden konnte, weil so rasch als möglich brauchbare, wenn auch nicht genaueste Höhen zur Verfügung gestellt werden mußten, gab die L + T einen *Katalog von Gebrauchshöhen* heraus. Dr. h. c. H. Zoelly, früherer Chef der Sektion für Geodäsie der L + T, äußerte sich darüber wie folgt (Text leicht gekürzt):

«Für die Festlegung der sogenannten ‚Gebrauchshöhen des schweizerischen Landesnivellements‘ konnte im Zeitpunkt des Beginnes der Grundbuchvermessungen (1911) der Abschluß der Beobachtungen aller Nivellementszüge des neuen Netzes, der erst 1927 erfolgte, nicht abgewartet werden. Es mußten daher für die neuen im Gang befindlichen Triangulationen und Vermessungen provisorische Höhen zur Verfügung gestellt werden. Die L + T entschloß sich, in den festen Rahmen der Ergebnisse des Nivellement de Précision der SGK die neu gemessenen Höhendifferenzen mit dem Ausgangspunkt Pierre du Niton 373,600 m einzuzwängen. Die auf diese Weise errechneten neuen Höhen wurden *Gebrauchshöhen* genannt, die seither allen geodätischen, topographischen und weiteren technischen Zwecken vollauf genügen.

Grundsätzlich wurden die beobachteten Höhendifferenzen des neuen Landesnivellements mit den von der SGK im ‚Catalogue des Hauteurs Suisse‘ veröffentlichten Höhendifferenzen zwischen tektonisch unverändert vermuteten Fixpunkten verglichen. Lag die Differenz beider Nivellements innerhalb $3\sqrt{K}$ mm, wo ‚K‘ die Länge der untersuchten Strecken in Kilometern bedeutet, so wurden die Höhen dieser ‚Referenzpunkte‘, bezogen auf den PdN 373,600 m, als unverändert in das neue Landesnivellement übernommen und die Neumessungen in die festen Werte eingezwängt. Überschritt die Differenz wesentlich den Wert $3\sqrt{K}$ mm, so wurde der Referenzpunkt fallen gelassen und der nächst entferntere, gut versicherte Punkt gewählt und nach obiger Formel untersucht. So sind über die ganze Schweiz in großer Zahl ‚Referenzpunkte‘ eingeführt und in diese die neuen Messungen eingepaßt worden.»

So beruhen auch die heutigen Höhen der schweizerischen Nivellements-punkte noch auf den alten Messungen der Schweiz. Geodätischen Kommission aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Daß die Einpassung der neueren Messungen in das alte Netz überhaupt möglich war, ist ein Beweis für die Güte dieses Werkes.

Es besteht kein Zweifel, daß vom theoretischen Standpunkt aus diese Gebrauchshöhen zu mancher Kritik Anlaß geben. Wenn man sich aber vergewärtigt, was für Folgen für die Praxis sich aus Änderungen an bereits

beobachteten Werten ergeben, so ist der Entschluß begreiflich, die alten Höhengrundlagen, auch wenn sie strengen Ansprüchen nicht genügen, für die praktische Ingenieur Tätigkeit jedoch hinreichend genau sind, beizubehalten.

Bei der Ausgleichung des Präzisionsnivelementes der SGK war Rücksicht auf die systematischen Fehler durch die Mitnahme der Unbekannten x , y und z genommen worden. Beim neuen Landesnivelement konnten im Hinblick auf die Art der Durchführung der Messungen die Unbekannten y und z als Null betrachtet werden. Der mittlere Einkilometerfehler, berechnet nach der üblichen Formel, wurde $\pm 1,40$ mm.

Über die Berechnung der Genauigkeit eines Nivellementsnetzes bestehen keine allgemein gültigen Regeln. Einer Anregung von Prof. Schürer folgend könnte man versuchen, den mittleren Fehler der Höhendifferenz zweier weit entfernter Punkte des Netzes – in unserem Falle etwa Nyon–Zernez – durch die Quadratwurzel aus der Luftliniendistanz in km zu dividieren und damit mittlere «Kilometerfehler des Netzes» zu bilden. Das schweizerische Landesnivelement besäße nach dieser Definition einen mittleren «Kilometerfehler des Netzes» von 17,4: $\sqrt{291} = \pm 1,02$ mm.

3.3. Die Ausgleichung des neuen Nivellementsnetzes (1944)

Schon während der Durchführung und in vermehrtem Maße nach Abschluß der Beobachtungen des schweizerischen Landesnivelements hatten sich Mitglieder und Ingenieure der Schweizerischen Geodätischen Kommission mit der Reduktion der Nivellementshöhen und mit der Ausgleichung des Netzes befaßt. Es liegen Studien der Herren Baeschlin, Niethammer und Schürer über dieses Thema vor.

Die SGK schlug auf Grund verschiedener Studien der L + T vor, das Nivellementsnetz unter Berücksichtigung von Schwerewerten auszugleichen, eine Aufgabe, die Herrn Prof. Schürer übertragen wurde, der sie im Jahr 1944 publizierte. Zur Bestimmung der Schwerewerte mußte man sich auf die Schwerekarte von Niethammer stützen, da Gravimeter noch nicht zur Verfügung standen. Über diese Ausgleichung schreibt Prof. Schürer u.a.:

Es handelt sich in erster Linie darum, die theoretischen Schlußfehler der einzelnen Nivellementspolygone zu ermitteln und danach das ganze Landesnivelement auszugleichen. Ist h die Nivellementshöhe, so gilt für eine Schleife

$$\int gdh = 0$$

Setzt man $g = \bar{g} + (g - \bar{g})$ und $h = H + (h - H)$, wo \bar{g} eine mittlere Schwere (für die ganze Schweiz wurde hiefür 980 500 gal gesetzt) und H die sogenannte Gebrauchshöhe, die aus einer ersten unreduzierten Ausgleichung gewonnen wurde, so erhält man

$$\int g dh = \bar{g} \int dH + \bar{g} \int d(h-H) + \int (g-\bar{g}) dH + \int (g-\bar{g}) d(h-H) = 0$$

Das erste Integral verschwindet, das zweite wird gleich $\bar{g}h_0$ mit h_0 als theoretischem Schlußfehler, das vierte ist klein von zweiter Ordnung und kann vernachlässigt werden, so daß schließlich als Schlußfehler erhalten wird:

$$h_0 = - \frac{1}{\bar{g}} \int (g - \bar{g}) dH$$

Die Schwerewerte g mußten längs der Nivellementswege aus den beobachteten Schwerewerten von Niethammer durch Interpolation gewonnen werden. An den auf Höhe Null reduzierten Schwerewerten g_0'' der Isogammenkarte waren somit Freiluftreduktion, Plattenreduktion und topographische Reduktion (bis 42 km Entfernung) anzubringen.

Mit diesem Vorgehen nach Niethammer begeht man zwar systematische Fehler, die sich aber zum größten Teil aufheben. Die Schwerewerte sollten etwa alle 1 bis 2 km vorliegen. Freiluft- und Plattenreduktion ließen sich leicht berechnen. Die topographischen Reduktionen konnten teilweise früheren Arbeiten entnommen werden. Für eine Reihe von Punkten mußten sie aber gerechnet werden, vor allem für die Knotenpunkte des Nivellements, für die Anschlußpunkte an das Ausland, sowie für Berg- und Talpunkte der Paßstraßen.

Durch die Berücksichtigung der theoretischen Schlußfehler konnte in 14 Polygonen der beobachtete Schlußfehler, absolut genommen, verkleinert werden. In 4 Polygonen wurde er etwas größer, was nicht überrascht, da der Einfluß der reinen Beobachtungsfehler ungefähr von derselben Größenordnung wie der Schlußfehler ist.

Selbstverständlich ist die beschriebene Bestimmung der g -Werte längs des Nivellementsweges unsicherer als eine direkte Messung mittels Gravimetern. Es fragt sich aber, ob für die Ausgleichung des Nivellementsnetzes damit eine wesentliche Verbesserung erzielt und etwa der mittlere Kilometerfehler nochmals herabgesetzt werden könnte. Für das Polygon XVII (siehe Kartenbeilage zum Abschnitt Gravimetrie) wurde die Berechnung mit Gravimetern weiter

durchgeführt. Ein Vergleich der verschiedenen Verfahren zeigt folgende Werte für den theoretischen Schleifenschlußfehler:

Verfahren Baeschlin	+ 0,54 cm
Verfahren Niethammer	+ 0,52 cm
Verfahren Schürer	+ 0,26 cm (Ausgleichung 1944)
Verfahren neu, mit 549 Gravimeterstationen (Hunziker)	+ 0,27 cm

Soweit die Ausführungen von Prof. Schürer.

In den letzten Jahren hatten sich die Eidgenössische Landestopographie und die Schweizerische Geodätische Kommission mit dem Problem der Eingliederung von Teilen des schweizerischen Nivellementsnetzes in das europäische zu beschäftigen. Diese Eingliederung verlangte Ergänzungsmessungen im Feld und die Bestimmung vieler Schwerewerte längs der Nivellementslinien, worüber im Abschnitt über Schweremessungen kurz berichtet wird.

Die Arbeiten der Schweiz für das europäische Nivellementsnetz sind vorläufig abgeschlossen, solange nicht weitere Linien einbezogen werden. Über diese Arbeiten ist in Berichten der Internationalen Assoziation für Geodäsie vorläufig Bericht erstattet worden. Es darf festgestellt werden, daß der schweizerische Anteil am europäischen Netz zu den besten gehört.

Für die Schweizerische Geodätische Kommission können indessen die Arbeiten am schweizerischen Landesnivellement noch nicht als abgeschlossen gelten, wenn sie auch nicht zu den dringendsten gehören. Sie wird es sich zur Aufgabe machen müssen, nach Abschluß der Ausgleichung des europäischen Netzes für das schweizerische Netz neue Ausgangshöhen zu prüfen. Sie wird aber namentlich darauf ausgehen müssen, die Schwerebeobachtungen auch auf die Linien des Landesnetzes auszudehnen, die nicht Bestandteile des europäischen Netzes sind, um für das ganze Netz geopotentielle Knoten rechnen zu können. Und sie wird erneut vor dem Problem stehen, in welcher Art aus den geopotentiellen Knoten für die Praxis mit einfachen Mitteln gute Gebrauchshöhen bestimmt werden können.

IV. Die Schweremessungen der Schweizerischen Geodätischen Kommission von E. Hunziker

1. DIE BEDEUTUNG DER SCHWEREMESSUNGEN IN DER GEODÄSIE

Die Frage liegt nahe, warum die Bestimmung der Schwerebeschleunigung während des hundertjährigen Wirkens der Schweizerischen Geodätischen Kommission einen so großen Raum eingenommen hat. Es sollen deshalb, bevor auf die ausgeführten Messungen und Untersuchungen eingetreten wird, einige Worte über die Bedeutung der Schwerebestimmungen in der Geodäsie vorausgeschickt werden.

Unter den Hilfsmitteln, die sich zur Feststellung der Form und der Größe der Erde eignen, spielen die Schweremessungen eine bedeutende Rolle. Als besonders wertvoll haben sich Bestimmungen der Schwerebeschleunigung zur Überprüfung der Hypothese des isostatischen Gleichgewichtes innerhalb der Erdrinde erwiesen. Damit ist auch die Erforschung der Massenverteilung in den äußeren Schichten der Erde in den Bereich der geodätischen Arbeiten getreten.

Wenn vom isostatischen Gleichgewicht gesprochen wird, so will man damit sagen, die Kontinente und Gebirgsmassen stammen aus der Erdrinde, seien also nicht als zusätzliche, das Gleichgewicht störende Massen zu betrachten. Recht anschaulich hat man dies in der Mitte des vorigen Jahrhunderts ausgedrückt, indem man sich vorstellte, ein Gebirge sei wie ein Teig emporgestiegen aus der Erdrinde, deren Dichte um so geringer werde, je mehr sie sich erhebe. Um mit der Hypothese der Isostasie arbeiten zu können, galt es, an vielen Orten die Schwere zu messen.

Die Schwerebeschleunigung ändert sich mit der geographischen Breite und mit der Meereshöhe des Beobachtungsortes; ferner ist sie abhängig von der Gesteinsdichte des Untergrundes und den topographischen Formen des Ge-

ländes. Dies führte dazu die beobachtete Schwere g , die Normalschwere γ_0 und die reduzierte Schwere g_0'' auseinander zu halten.

Als Normalschwere γ_0 bezeichnet man die Schwerebeschleunigung auf einem in der geographischen Breite φ auf der Oberfläche des Erdellipsoides – das der Normalschwere zu Grunde liegt – befindlichen Punktes.

Anläßlich des Kongresses in Stockholm im Jahre 1930 hat die Internationale Assoziation für Geodäsie sich für die im nachstehenden Ausdruck auftretenden Koeffizienten entschieden:

$$\gamma_0 = 978,049 (1 + 0,005'2884 \sin^2 \varphi - 0,000'0059 \sin^2 2\varphi) \text{ gal}$$

In neuerer Zeit bezeichnet man mit

$$\begin{aligned} 1 \text{ Gal} &= 1 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2} \\ 1 \text{ Kilogal} &= 1 \cdot 10^3 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2} \\ 1 \text{ Milligal, abgekürzt mgal} &= 1 \cdot 10^{-3} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-2} \end{aligned}$$

Die, einem Punkte P der Erdoberfläche zugeordnete, reduzierte Schwere g_0'' geht aus der beobachteten Schwere g hervor, indem man rechnerisch den Einfluß aller oberhalb des Meeresniveau befindlichen Massen beseitigt und dann noch in freier Luft auf die Meereshöhe Null hinunter reduziert.

Nimmt man an, der Erdkörper bestehe bis hinauf zum Geoid aus homogenen Schalen und das Geoid stimme überein mit dem Erdellipsoid, es seien ferner alle Massen oberhalb des Geoides zusätzlich aufgesetzt, so müßte die reduzierte Schwere g_0'' gleich der Normalschwere γ sein.

Setzt man hingegen voraus, die Kontinente und Gebirgsmassen stören das Gleichgewicht nicht, sie seien also nicht als zusätzliche Massen zu betrachten, so weicht die reduzierte Schwere von der Normalschwere ab. Kommt der hypothetischen isostatischen Massenverteilung Wirklichkeitsbedeutung zu, so muß in unserem Lande die reduzierte Schwere kleiner sein als die Normalschwere, was einem Massendefekt unterhalb der Meeresoberfläche entspricht.

Weiter bleibt die enge Verbundenheit der Nivellements-Auswertung mit den Schwerebeschleunigungen zu erwähnen. Weil die Niveauflächen nicht parallel zueinander verlaufen, hängt der zwischen zwei Punkten A und B der Erdoberfläche nivellierte Höhenunterschied vom eingeschlagenen Nivellementsweg ab. Die als Längen der Lotlinienabschnitte zwischen der Erdoberfläche und dem Meeresniveau definierten orthometrischen Höhen, auch Seehöhen genannt, haben den Vorteil sehr anschaulich und den Nachteil nicht direkt meßbar zu sein.

Die Korrektur, die zu einem rohen Nivellementsunterschied zugefügt werden muß, um orthometrische Höhenunterschiede zu erhalten, läßt sich berechnen. Ihre Bestimmung erfordert aber einen sehr großen Arbeitsaufwand, weil nicht nur Schwerewerte von Punkten der Erdoberfläche, sondern auch Durchschnittswerte der Schwere längs der Lotlinie zwischen der Oberflächenstation P und ihrer Projektion P' eingeführt werden müssen. Ferner wirkt es störend, daß die Punkte einer Niveauläche – also zum Beispiel eines stehenden Gewässers – nicht die gleichen Seehöhen haben. Es läßt sich also denken, daß das Wasser von einem Punkte von kleinerer Seehöhe zu einem Punkte von größerer Seehöhe fließt, eine Vorstellung, die einem Praktiker nicht besonders liegt.

Eine ruhende Wasseroberfläche bildet eine Fläche gleichen Potentials. Die negative Potentialdifferenz zwischen einem Punkte P und der Meeresoberfläche, dividiert durch die Normalschwere γ_0 in 45° Breite, wird dynamische Höhe genannt. Sie ist bestimmbar mit Hilfe der Beziehung:

$$H' = \frac{-\Delta W_0^P}{\gamma_0^{45}} = + \frac{1}{\gamma_0^{45}} \int_0^P g \cdot dh = + \frac{1}{\gamma_0^{45}} \sum_0^P \bar{g} \cdot \Delta h$$

Die dynamischen Höhen lassen sich demnach in aller Strenge aus den Nivellementsergebnissen Δh und den an der Erdoberfläche gemessenen Schwerebeschleunigungen g ableiten. Sie eignen sich wegen ihrer starken Abweichung von den rohen Nivellementshöhen nicht als praktische Gebrauchshöhen, wohl aber als Ausgangswerte zur Ableitung von Höhensystemen, welche die Dimension von Längen haben.

Die Internationale Assoziation für Geodäsie beschloß im Mai 1955 zur Berechnung des « Réseau Européen Unifié de Nivellement » (REUN) sogenannte geopotentielle Koten einzuführen. Die geopotentielle Kote eines Punktes P läßt sich ausdrücken durch

$$c = \int_0^P g \cdot dh = \sum_0^P \bar{g} \cdot \Delta h$$

Eine geopotentielle Kote hat die Dimension einer Arbeit pro Masseneinheit. Wie der Ausdruck für die dynamische Höhe zeigt, braucht man die geopotentielle Kote c nur mit γ_0^{45} zu dividieren, um die dynamische Höhe H' zu erhalten. Dividiert man statt mit γ_0^{45} mit dem mittleren Schwerewert \bar{G} längs

der Lotlinie, so geht die orthometrische Höhe H hervor. Ob dynamische oder orthometrische Höhen abgeleitet werden, wesentlich ist, daß auf dem Nivellementswege die Schwerebeschleunigung g bekannt sein muß.

Bestimmt man in einem Profil auf regelmäßig verteilten Stationen die Lotabweichungskomponente, die in die Profilrichtung fällt, so liefert die Integration dieser Lotabweichungskomponente die Abweichung des Geoides vom Ellipsoid längs des Profils. Man nennt dieses Vorgehen ein astronomisches Nivellement. Wegen der Krümmung der Lotlinie muß hier die gleiche Korrektur angebracht werden wie bei der Ableitung der orthometrischen Höhen, nur hat sie umgekehrtes Vorzeichen. Die Kenntnis der Schwerebeschleunigungen auf dem Nivellementsweg – hier in einem Profil gelegen – ist wiederum unerlässlich.

Aus all dem Gesagten geht eindrucksvoll hervor, was für eine große Bedeutung die Schweremessungen in der höheren Geodäsie haben. Das Gleiche gilt auch in den verwandten Gebieten der Geophysik und der Geologie.

2. MIT PENDELAPPARATEN AUSGEFÜHRTE SCHWEREMESSUNGEN DER SCHWEIZERISCHEN GEODÄTISCHEN KOMMISSION

Im vorangehenden Abschnitt war davon die Rede, weshalb die Pflege der Geodäsie als Wissenschaft die Kenntnis der Schwerebeschleunigung erfordert. Hier soll über die Schweremessungen berichtet werden, die im Auftrage der Schweizerischen Geodätischen Kommission mittels Pendelapparaten zur Ausführung gekommen sind. Schicken wir noch voraus, daß unter Schwerkraftmessungen, Schweremessungen oder Bestimmung der Schwere, stets eine Messung der Schwerebeschleunigung g – der Resultante aus der Beschleunigung der Massenanziehung der Erde und der Zentrifugalbeschleunigung, herrührend aus der Erddrehung – verstanden wird.

a. Messungen der absoluten Größe der Schwerebeschleunigung

Heute gilt die Messung der absoluten Größe der Schwerebeschleunigung als eines der schwierigsten Beobachtungsprobleme. Damals, im Jahre 1862, als die Geodätische Kommission im zweiten Jahr ihres Bestehens Schweremessungen in ihr Programm aufgenommen hatte, legte man sich darüber noch keine Rechenschaft ab. Es wurde beschlossen, ein Reversionspendel zu verwenden. Das Instrument kam als erstes dieser Art aus der Werkstatt des

bekanntem Instrumentenbauers Repsold und Söhne in Hamburg. Die Angaben zur Konstruktion des Instrumentes stammten von keinem Geringeren als von Bessel.

Aus den Beobachtungen mit einem Reversionspendel läßt sich die Länge l' eines mathematischen Pendels ableiten, das eine Schlagdauer von einer Sekunde mittlerer Zeit aufweist. Es ist

$$g = \pi^2 \cdot l'$$

da die Schlagdauer D oder die halbe Periode $T/2$ eines mathematischen Pendels von der Länge l im luftleeren Raum bei unendlich kleiner Schwingungsamplitude

$$D = \frac{T}{2} = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

beträgt.

Mit dem neu angeschafften Reversionspendel beobachtete E. Plantamour in den Jahren 1864 bis 1867 in Genf und auf dem Rigi. Die Beschreibung der Apparatur findet man in der Veröffentlichung «Expériences faites à Genève avec le pendule à Réversion par E. Plantamour, 1866» und «Nouvelles expériences faites avec le pendule à Réversion et détermination de la pesanteur à Genève et au Righi-Kulm par E. Plantamour, 1872». Es zeugt von der großen Umsicht und Sorgfalt mit der Plantamour die Beobachtungen angeordnet und durchgeführt hat, daß es ihm gelang die Schwere von Genf mit einem mittleren Fehler von $\pm 2,1$ mgal abzuleiten. Aber dieser errechnete Fehler gibt nur über die innere Genauigkeit der Messergebnisse Auskunft; über die systematischen Fehler sagt er nichts aus. In Anbetracht der zu jener Zeit zur Verfügung stehenden Mittel ist es nicht verwunderlich, daß der für Genf abgeleitete Schwerewert um ungefähr 150 mgal zu klein ausfiel. Die Bestimmungen bleiben trotzdem eine bemerkenswerte Leistung. Es wurde dann in den Jahren 1868–1872 von E. Plantamour noch auf 4 weiteren Stationen mit dem Reversionspendel beobachtet, wobei das Pendel auf dem Weißenstein (1868) in einem Lokal des Hotels, in Bern (1869) in einem Raum der Sternwarte, auf dem Simplon (1870) in einem Raum des Hospiz und auf dem Gäbris (1872) in einer Holzhütte auf einem Pfeiler aufgestellt wurde.

In der zweiten Hälfte der Siebzigerjahre begann man sich der großen Schwierigkeiten, die absolute Schweremessungen in sich bergen, bewußt zu werden. Man forschte nach systematischen Verfälschungen. Von derartigen

Fehlerquellen sei vor allem das Mitschwingen des Dreifußes erwähnt, ferner kleine Verschiebungen der Schneiden, Veränderungen des Abstandes der Schneiden, Temperaturbestimmungen des Pendels, Ausdehnungskoeffizient in der Gebrauchsstellung des Pendels im Gegensatz bei horizontaler Lage. Das Mitschwingen des Statives wurde folgendermaßen beschrieben: «ce défaut consiste en ce que, sous l'influence du pendule oscillant, le trépied se déforme, ou se plie, de façon à influencer très sensiblement le temps d'oscillation.» Schon im Jahre 1878 erschien von E. Plantamour eine Veröffentlichung über Mitschwingen: «Recherches expérimentales sur le mouvement simultané d'un pendule et de ses supports.» Entsprechend der durchbrechenden Erkenntnis, daß nur auf wenigen Fundamentalstationen absolute Messungen der Schwere, auf Feldstationen hingegen Relativbestimmungen ausgeführt werden sollen, hat die Geodätische Kommission bloß noch einmal mit dem Reversionspendel arbeiten lassen und zwar im Jahre 1889 in der Eidgenössischen Sternwarte in Zürich. Diese Bestimmung, von J. B. Messerschmitt auf einem jetzt abgebrochenen Pfeiler im Keller der Sternwarte vorgenommen, ergab eine Schwerebeschleunigung, die nur um 10 mgal größer ausfiel, als der im Potsdamersystem aus neuesten Gravimeterbestimmungen abgeleitete Wert. Als mittlerer Fehler gibt Messerschmitt ± 2 mgal an. Es bedurfte nicht nur guter Beobachtungen, sondern auch der Mitwirkung günstiger Zufälle, damit ein solch vorzügliches Ergebnis zu Stande kam.

Im nächsten Abschnitt wird vom international anerkannten Potsdamer-Schweresystem gesprochen. Deshalb soll noch kurz die in Potsdam ausgeführte absolute Schwerebestimmung erwähnt werden. Die Messungen fanden unter der Leitung Helmerts in den Jahren 1898–1904 statt; Ausführende waren F. Kühnen und Ph. Furtwängler. Die Veröffentlichung fällt in das Jahr 1906; als mittlerer Fehler des Ergebnisses

$$g_{\text{Potsdam}} = 981\,274 \text{ mgal}$$

wird ± 1 mgal angegeben, das heißt rund $1:10^6$ der gemessenen Größe. Später, mit verbesserten Reversionspendeln und Beobachtungsmethoden in Washington und in Teddington bei London ausgeführte Absolutmessungen lassen es als sehr wahrscheinlich erscheinen, daß der oben angegebene Betrag um rund 13 mgal zu groß ist. Bestätigen weitere Bestimmungen diese Vermutung, so wird dadurch nochmals eindringlich bewiesen, wie ausschlaggebend sich bei Absolutmessungen die systematischen Fehler geltend machen. Um zu zeigen, wie weit die Genauigkeit getrieben werden muß, greifen wir

als Beispiel heraus, daß die in den Dreißigerjahren in Teddington gemessene Pendellänge, das heißt der Abstand der beiden Schneiden, einen mittleren Fehler von $\pm 0,25 \mu$ aufwies. Der Krümmungsradius der außerordentlich scharfen Schneiden konnte zu 20μ angenommen werden. Von derartig hochgeschraubten Forderungen war natürlich zur Zeit Plantamours noch nichts bekannt.

b. Messungen von Schweredifferenzen

Das Verhältnis der Schwerebeschleunigungen zweier Stationen – und damit auch deren Differenz – läßt sich sehr viel einfacher bestimmen als die absolute Größe der Schwere. Mißt man sowohl auf der Station P mit der Schwere g , als auch auf der Station P' mit der Schwere g' , die Schlagdauer D und D' ein und desselben, unveränderten Pendels, so besteht die Beziehung

$$\frac{D^2}{D'^2} = \frac{g'}{g}$$

Ist die Schwere g auf einer Referenzstation bekannt, so läßt sich der Unterschied gegenüber der Schwere g' einer beliebigen anderen Station ableiten mittels des Ausdruckes

$$g' - g = g \left(\frac{D^2}{D'^2} - 1 \right)$$

Im Jahre 1887 hat der österreichische Major von Sterneck zur Bestimmung von Schwereunterschieden seinen weltbekannt gewordenen Pendelapparat konstruiert, bestehend aus dem eigentlichen Pendelapparat und aus den Instrumenten zur Bestimmung der Schwingungsdauer. Die Länge der Pendel beträgt 25 cm, die Schlagdauer ungefähr eine halbe Sekunde. Eine eingehende Beschreibung der Pendelapparatur ist in Band 7 der Veröffentlichungsreihe «Das Schweizerische Dreiecknetz», herausgegeben von der Schweizerischen Geodätischen Kommission, zu finden.

Schon im Jahre 1891 hat die Geodätische Kommission eine Sternecksche Apparatur mit 4 invariablen Pendeln – 3 Pendel mit Achatschneiden, ein Pendel mit Stahlschneide – zum Preise von Fr. 2500. – angeschafft. In ihrem Auftrage beobachtete J. B. Messerschmitt in den Jahren 1892 bis 1898 auf einer Anzahl von Feldstationen mit den neuen Pendeln. Zur Aufstellung des Pendelträgers diente ein mitgeführter, aus 4 Teilen bestehender Steinpfeiler.

In den ersten Jahren belief sich die erreichte Genauigkeit einer Schwere-differenz zwischen der Referenzstation Zürich und einer Feldstation auf ± 10 mgal; später, bei Verwendung eines neuen Chronometers, ging der mittlere Fehler auf ± 4 mgal zurück.

Die Schweremessungen mit dem Sterneckschen Pendelapparat sind im Jahre 1900 von Th. Niethammer wieder aufgenommen und bis im Jahre 1918 weitergeführt worden. Als Referenzstation diente nun durchgehend die Station Basel, Bernoullianum. Bald nach der Jahrhundertwende erfuhr das Meßverfahren nennenswerte Verbesserungen. Wir führen sie nachstehend auf.

Der Pendelträger wurde möglichst fest aufgestellt, zum Beispiel auf eine Basis in Form eines dreiteiligen, gußeisernen Kreuzes, unmittelbar auf dem Boden oder auf festgemauerten Steinen. War kein fester Boden vorhanden, so wurde von 1904 an in einer Ecke des Beobachtungsraumes in diagonaler Richtung zwei Eisenstangen festgemauert und auf diesen die Unterlagsplatte festgekipst. Dem störenden Einfluß von Bodenerschütterungen konnte auf diese Weise besser begegnet werden.

Eine weitere Steigerung der Genauigkeit brachte es mit sich, daß als Beobachtungsuhr nicht mehr ein Chronometer, sondern eine Pendeluhr Verwendung fand.

Im Jahre 1910 erwarb die Geodätische Kommission einen weiteren Pendel-satz, hergestellt aus dem neuen Metall «Baros». «Baros» besteht zur Hauptsache aus einer Nickel-Chromlegierung. Die Prüfung der vier neuen Pendel hat gezeigt, daß «Baros» beinahe unmagnetisch ist, auf alle Fälle weniger magnetisch als Invar.

Bei den Zeitbestimmungen sind die Fadendurchgänge seit dem Jahre 1914 nicht mehr nach der Aug- und Ohrmethode beobachtet, sondern auf dem Chronographen registriert worden.

Die genannten Verbesserungen und das große Geschick des Beobachters brachten es mit sich, daß im Durchschnitt der mittlere Fehler der Differenz zwischen den Schwerebeschleunigungen auf einer Feldstation und in Basel auf rund ± 1 mgal fiel.

Die Direktion der Eidgenössischen Landestopographie stellte im Jahre 1905 an die Geodätische Kommission das Gesuch, fortschreitend mit dem Präzisions-nivellement weitere Schwerebestimmungen durchführen zu lassen. Im Gesuch waren 73 Stationen genannt. Auch in den darauffolgenden 13 Jahren ist bei der Wahl der Stationen oft auf den Wunsch der Eidgenössischen Landes-topographie abgestellt worden.

Im ganzen hat Th. Niethammer auf 231 schweizerischen Stationen Pendelbeobachtungen ausgeführt; durchschnittlich fällt also eine Station auf 170 km². Am dichtesten liegen die Stationen in den Walliser- und Bündneralpen, sowie im Gebiet des St. Gotthard und auf dem Südabhang der Alpen. Die eingehende Veröffentlichung der Beobachtungen, Auswertungen und Ergebnisse findet man in den Bänden 12, 13, 15 und 16 der «Astronomisch-geodätischen Arbeiten in der Schweiz». Es sei noch besonders aufmerksam gemacht auf die Zusammenstellung auf den Seiten 186–190 des Bandes 16, wo von allen Stationen das Beobachtungsjahr, der mittlere Fehler der beobachteten Schwere g und der mittlere Fehler des reduzierten Wertes g_0'' angegeben sind.

Außer auf Punkten der Erdoberfläche kamen auch auf 9 Stationen im Simplontunnel (1905) und auf 2 Stationen im Lötschbergtunnel (1913) Pendelbeobachtungen zur Ausführung.

Es mag noch erwähnenswert sein, was für einen Zeitaufwand die Messungen auf einer Feldstation erforderten. Die Einrichtung der Station, die Beobachtungen, provisorischen Reduktionen, Verpackung der Instrumente und der Transport zur nächsten Station benötigten durchschnittlich eine Woche bis zehn Tage. Es mußten ja nicht nur die Schwingungszeiten der Pendel beobachtet, sondern auch astronomische Zeitbestimmungen vorgenommen werden, weil es damals noch keine drahtlos gesendete wissenschaftliche Zeitzeichen gab. Gleich nach der ersten Zeitbestimmung wurde jeweils eine Pendelreihe durchbeobachtet und an den folgenden Tagen in regelmäßigen Intervallen täglich weitere zwei Reihen, so lange, bis die zweite Zeitbestimmung gelang.

Um aus den beobachteten Differenzen die Schwere auf den Feldstationen ableiten zu können, war es unumgänglich die Schwerebeschleunigung der Referenzstation zu bestimmen. Zu diesem Zwecke dienten die Anschlußmessungen in Potsdam und in Karlsruhe. Die Differenz Karlsruhe–Basel ist nicht nur von schweizerischen, sondern auch von deutschen Beobachtern abgeleitet worden. Die schweizerischen Anschlußmessungen fielen in die Jahre 1902 und 1905.

Es zeigten sich recht merkwürdige Ergebnisse. Die beiden aus schweizerischen und deutschen Beobachtungen hervorgehenden Werte der Schwere-differenz Karlsruhe–Basel stimmten bis auf 0,5 mgal miteinander überein. Aber die daraus abgeleitete Schwerebeschleunigung von Basel wich um 9 mgal ab vom Ergebnis des direkten Anschlusses Potsdam–Basel. Während der Messungen der Differenz Potsdam–Basel hatten sich vermutlich gewisse Ver-

änderungen an den Pendeln bemerkbar gemacht. Deshalb wurde auf den Anschluß an Karlsruhe abgestellt und daraus die Schwerebeschleunigung der Referenzstation Basel abgeleitet.

Spätere, im Jahre 1929 ausgeführte Messungen haben einwandfrei erwiesen, daß der für Karlsruhe angenommene Schwerewert – und damit auch das g der Referenzstation Basel – einer Korrektur von 10 mgal bedarf. Berücksichtigt man diese Korrektur, so geben die von Th. Niethammer bestimmten Anschlüsse an Potsdam und an Karlsruhe bis auf 1 mgal die gleiche Schwerebeschleunigung für Basel. Die seinerzeit angezweifelte Differenz Potsdam–Basel hat sich also nachträglich als durchaus zuverlässig und einwandfrei erwiesen.

Im Sommer 1928 wurde die Schwere der Referenzstation Bernoullianum in Basel auf die neue Astronomisch-meteorologische Anstalt in Binningen übertragen. Th. Niethammer verwendete dabei die 4 Barospindel. Die Messung hat eine Schweredifferenz von $-14 \pm 0,4$ mgal ergeben, im Sinne Basel–Binningen minus Basel–Bernoullianum.

Wie man schon im ersten Abschnitt erwähnt findet, sind die beobachteten Schwerewerte g nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar, wohl aber die reduzierten Schwerebeschleunigungen g_0'' und ihre Differenzen $g_0'' - \gamma$ mit der Normalschwere γ . Leider bringt die Reduktion an der Erdoberfläche beobachteter Schwerebeschleunigungen auf Meeresniveau einen beträchtlichen Genauigkeitsverlust mit sich. Die Hauptursache liegt darin, daß die Massenverteilung zwischen der Erdoberfläche und dem Geoid nur genähert bekannt ist. Es läßt sich deshalb nicht vermeiden, über die Dichte dieser Massen mehr oder weniger richtige Annahmen zu treffen. Die Unsicherheit der Schwereabweichungen $g_0'' - \gamma$ beträgt schätzungsweise und durchschnittlich im schweizerischen Mittelland ± 1 bis ± 2 mgal, bei Stationen in Gebirgsnähe ± 3 bis ± 4 mgal und bei einzelnen im Gebirge gelegenen Stationen ± 5 bis ± 8 mgal. Ist die Schwereabweichung $g_0'' - \gamma$ positiv, so spricht man von einem Massenüberschuß, im andern Falle von einem Massendefekt. Kurven gleicher $g_0'' - \gamma$ werden Isogammen genannt.

Eine graphische Darstellung der Isogammen ist in der Kartenbeilage gegeben. Das Kurvenbild zeigt, daß die Schwereabweichungen nördlich und südlich der Alpen abnehmen. Der Massendefekt wird auf der Nordseite der Alpen in nordwestlicher Richtung durchschnittlich auf 10 km Entfernung um 10 mgal geringer. Eine äußerst rasche Abnahme des Defektes tritt auf der Südseite des St. Gotthard auf, wo sich starke Störungen der Massen-

lagerung in der Erdrinde geltend machen. Mit Ausnahme der zwei Stationen Basel und Brissago treten in der Schweiz keine Massenüberschüsse auf. Spätere Untersuchungen der hier besprochenen Schwereabweichungen lassen erkennen, daß in der Schweiz in einem Gebiet von einer gewissen Größe an die Forderungen der Isostasie erfüllt sind, in kleinen Gebieten hingegen nicht.

Mit dem Abschluß der in diesem Abschnitt besprochenen Schweremessungen hatte sich die Schweiz an die Spitze gestellt; sie besaß ein vorzügliches und dichteres Schwerenetz als die umliegenden Staaten.

3. STATISCHE SCHWEREMESSUNGEN DER GEODÄTISCHEN KOMMISSION

Im August 1950 fand in Stockholm ein Kongreß der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik statt. In einer von zahlreichen Gästen besuchten Sitzung der Kommission für Schwerebeschleunigung wurde ein neuer Apparat, konstruiert von Dr. Isnig, erläutert. Es handelte sich um ein statisches Instrument; bei einem solchen wird ein kleiner Körper in der Gleichgewichtslage gehalten unter der Wirkung einerseits der Schwerkraft und andererseits einer ihr entgegenwirkenden elastischen Kraft. Als elastische Kraft verwendete Isnig einen horizontal gespannten Quarzfaden. Der mittlere Fehler der Bestimmung einer Schweredifferenz betrug rund ± 10 mgal. Zu jener Zeit konnte man mit Recht die wohlbegründete Vermutung äußern, es sei zweifelhaft, ob es je zur Ausbildung eines statischen Instrumentes kommen werde, das mit den bisher benützten Pendelapparaten in Konkurrenz treten könne. Nur 23 Jahre später, als die Geodätische Kommission daran ging, ein neues schweizerisches Schweregrundnetz zu erstellen, stand ihr ein Gravimeter zur Verfügung mit dessen Hilfe sich Schweredifferenzen mit einem mittleren Fehler von wenigen Hundertstelmilligal messen ließen. Das bedeutet gegenüber den Pendelbestimmungen eine Verkleinerung des mittleren Fehlers um rund das Vierzigfache. An eine solche stürmische und erfolgreiche Entwicklung hätte damals, am Kongreß in Stockholm, noch niemand zu glauben gewagt.

Es gibt heute verschiedene Arten statischer Gravimeter. Die Messungen der Schweizerischen Geodätischen Kommission in den Jahren 1953 bis 1957 sind alle mit Worden-Gravimetern ausgeführt worden.

Das Worden-Gravimeter, gebaut von der Firma «Texas Instruments Incorporated» in Houston, Texas, ist im wesentlichen ein Vertikalseismograph

nach dem Hebeltypus mit Ewingscher Astasierung. Von Astasierung spricht man, wenn die elastische Kraft, die den Körper in die Gleichgewichtslage bringt, nur wenig verschieden ist von der Kraft der Schwere, die ihn daraus zu entfernen sucht. In der Mitte einer horizontalen Drehachse ist ein waagrechtlicher Arm angebracht; an seinem freien Ende trägt er eine kleine Masse. Diese Masse übt auf die Achse ein Drehmoment aus. Ihm wirken zwei feine, nach oben ziehende Quarzfedern entgegen. Die Zugkraft dieser Federn wird mittels zweier Schrauben gemessen. Bei zunehmender Schwerebeschleunigung müssen entweder nur eine oder beide Federn stärker gespannt, bei abnehmender Schwerebeschleunigung entspannt werden. Der bewegliche Teil des Instrumentes ist in eine Kammer eingebaut; der Luftdruck darin beträgt 5 bis 10 mm Hg. Wie alle statischen Gravimeter bedarf auch das Worden-Gravimeter einer Eichung.

Die Gehäuse der Worden-Gravimeter haben die Form eines stehenden Zylinders. Das hauptsächlich verwendete Instrument Nr. 26, Eigentum des Institutes für Geophysik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule, gekauft im Jahre 1949 zum Preise von Fr. 40 000.—, wies eine Höhe von 26 cm und einen Durchmesser von 11 cm auf. Sein Gewicht betrug 2,5 kg. Mit alleiniger Betätigung der kleinen Schraube – bei unveränderter Stellung der großen Schraube – ließen sich Schweredifferenzen bis zu ungefähr 60 mgal messen. Die Einstellgenauigkeit hat in diesem Falle $\pm 0,01$ mgal betragen. Um größere Schweredifferenzen in einem Schritte zu bestimmen, hätte auch die große Schraube, mit einem Teilwert der Trommel von ~ 4 mgal, benutzt werden müssen, was aber eine merkliche Verringerung der Genauigkeit mit sich gebracht hätte.

Nach einer Überholung in Houston erlitt das Instrument auf dem Rücktransport trotz sorgfältigster Verpackung so große Schäden, daß es nicht mehr instand gestellt werden konnte. Mit einem im Jahre 1957 von den «Texas Instruments Incorporated» ausgeliehenen Gravimeter, geodätisches Model, ließ sich ohne Betätigung der großen Schraube in einem Bereich von 305 mgal messen.

Das Worden-Gravimeter erlaubt ein sehr rasches Arbeiten. Die Aufstellung des Instrumentes auf einem Pfeiler oder auf einem ungefähr 50 cm hohen, dreibeinigen Stativ, das Beobachten und das Abbrechen benötigen nur ein paar Minuten. Mit dem einmaligen Bezug einer Station ist es aber nicht getan; die eine der beiden Stationen *A* und *B*, deren Schwereunterschied bestimmt werden soll, muß zweimal bezogen werden. Diese Forderung stellt ein

Minimum dar; sie muß erfüllt werden wegen der Drift. Stellt man zu verschiedenen Zeiten auf der gleichen Station ein Worden-Gravimeter ein, so erhält man nicht die gleichen Ablesungen, eine Erscheinung, die «Drift» genannt wird. Das Worden-Gravimeter Nr. 26 wies durchschnittlich in einem Tag eine Drift von $+1$ mgal auf. Während der Feldarbeit konnte aber an wolkenlosen Sonnentagen die Drift anwachsen auf 0,30 mgal in einer Stunde. Zur Unschädlichmachung der Drift werden geschlossene Schleifen beobachtet, oder man kehrt nach dem Bezug einer Station B unverzüglich auf die Ausgangsstation A zurück und wiederholt das Ganze einmal oder mehreremale. Es kann zum Beispiel die Beobachtungsreihe $A_1-B_1-A_2-B_2-A_3-B_3$ durchgeführt werden, wobei mit A_1 der erste, mit A_2 der zweite und mit A_3 der dritte Bezug der Station A bezeichnet wird. Entsprechende Bedeutung haben B_1, B_2, B_3 . Nach diesem Schema ist bei den Messungen auf den Linien des schweizerischen Schweregrundnetzes gearbeitet worden, was also eine dreimalige Hin- und Herfahrt zwischen den beiden Stationen A und B bedingte. Das von F. Gassmann angegebene Auswertungsverfahren ist als Annex zum Procès-verbal der Sitzung der Schweizerischen Geodätischen Kommission vom 31. Mai 1958 veröffentlicht worden; der Annex trägt den Titel: «Zur Messung der Schweredifferenz zwischen zwei Punkten mit einem statischen Gravimeter.»

a. Das schweizerische Schweregrundnetz

Um den neuzeitlichen Genauigkeitsforderungen zu genügen, beschloß die Geodätische Kommission ein neues Schwerenet zu erstellen und ihm den Namen «Schweizerisches Schweregrundnetz» zu geben. Dieses kann als Rahmen für Schwerenetze niederer Ordnung oder von Detailaufnahmen dienen. Bereits sind vom Institut für Geophysik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule und vom Institut de Géophysique de l'Université de Lausanne zahlreiche gravimetrische Einzelaufnahmen ausgeführt worden.

Die großen Genauigkeitsansprüche und das zur Verfügung stehende Instrument verlangten beim Entwerfen des Schweregrundnetzes das Innehalten verschiedener Bedingungen. Unter anderen:

Die Stationen mußten mit Fixpunkten des eidgenössischen Präzisionsnivelements zusammenfallen. Die große Empfindlichkeit des Gravimeters verlangt, daß der Aufstellungsort des Instrumentes nach Lage und Höhe auf Zentimeter genau eingemessen wird. Eine Höhenänderung in freier Luft von

nur 3 cm bewirkt ja schon eine Änderung der Schwerebeschleunigung von 0,01 mgal.

Auf die Eigenschaften des Worden-Gravimeters Rücksicht nehmend, war darauf zu achten, daß der Unterschied zwischen den Schwerebeschleunigungen benachbarter Stationen 50 mgal nicht wesentlich überstieg.

Benachbarte Stationen durften nur so weit auseinanderliegen, daß zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bezügen der gleichen Station nicht mehr als zwei Stunden verflossen. Zu bevorzugen waren Stationen, in deren Nähe früher Pendelbeobachtungen ausgeführt wurden.

Das gewählte Netz besteht aus sieben geschlossenen Schleifen, die von Linien des eidgenössischen Präzisionsnivelements gebildet werden. Ferner gehören die zwei offenen Züge Martigny–Grand St. Bernard und Castione–Brissago dazu. Die Lage und die Form der Netzlinien sind aus der Kartenbeilage ersichtlich, ebenso die Verteilung der Gravimeterstationen.

Das Netz zählt 123 Stationen. Im ganzen weisen die 7 Schleifen 112 Intervalle auf; die durchschnittliche Entfernung benachbarter Stationen einer Schleife schwankt zwischen 8,7 und 18,1 km.

Die Messungen nach dem oben gegebenen Schema wurden vom Autor ausgeführt, wobei also stets die Schweredifferenz zwischen zwei benachbarten Stationen für sich allein und ohne jede Verquickung mit anderen Stationen bestimmt worden ist.

Eine einzelne beobachtete Schweredifferenz weist einen mittleren Fehler von der Größenordnung $\pm 0,025$ mgal auf. Dieser Fehler ist so klein, daß man auch die im Laufe eines Tages von Sonne und Mond verursachten Schwereänderungen beachten muß. Je nach Stellung von Sonne und Mond kann die Änderung der Schwerebeschleunigung in unserer Breite bis 0,2 mgal im Verlaufe von 6 Stunden betragen. Es zeigte sich indessen, daß das gewählte Beobachtungs- und Reduktionsverfahren erlaubt, den Einfluss der täglichen Veränderung zu vernachlässigen. Er fällt infolge Differenzbildung zum größten Teil weg.

Bei Gravimetermessungen ist es gebräuchlich, die Schleifenschlußfehler anzugeben. Beim Schweregrundnetz liegen ihre Absolutwerte zwischen den Grenzen 0,01 und 0,09 mgal. Sie sind durch Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate zum Verschwinden gebracht worden.

Um die ausgeglichenen, aber immer noch in Trommeleinheiten ausgedrückten Schweredifferenzen in Milligal umrechnen zu können, mußte die

Trommeleinheit bestimmt werden. Dazu dienten die 44 an das Gravimeternetz angeschlossenen Pendelstationen. Es ergab sich, daß 10 Trommeleinheiten des Worden-Gravimeters Nr. 26 $1,0060 \pm 0,0010$ mgal entsprechen. Eine mittels dieser Trommeleinheit gerechnete Schweredifferenz von 100 mgal wäre demnach mit einem von der Eichung herrührenden mittleren Fehler von $\pm 0,1$ mgal behaftet und die größte im Schwerenetz auftretende Differenz von 700 mgal, zwischen den Stationen Basel–Grand St. Bernard, mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,7$ mgal. Daraus ist ersichtlich, wie ausschlaggebend die Eichung eines Gravimeters sich geltend macht.

Die eben besprochene Eichung fußte vollständig auf schweizerischen Messungen. Zur Kontrolle ließ die Schweizerische Geodätische Kommission noch auf der Eichstrecke Paris–Toulouse–Bagnères Beobachtungen vornehmen. Der auf diese Weise erhaltene Trommelwert $1,0075 \pm 0,0003$ mgal des Worden-Gravimeters Nr. 26 ist zur Umrechnung aller in der Schweiz gemessenen Schwereunterschiede verwendet worden.

Infolge von Umbauten ging die ehemalige Referenzstation Basel, Bernoullianum, verloren. Als neue schweizerische Fundamentalstation ist ein Pfeiler im Geodätischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich gewählt worden. Die gravimetrische Übertragung der aus Pendelmessungen bekannten Schwere im Keller der Sternwarte in Zürich, ergab eine Schwerebeschleunigung auf der neuen Fundamentalstation von 980 667 mgal.

Im Herbst 1957 sind die nötigen Messungen ausgeführt worden – ebenfalls von P. Gleinsvik mit einem Worden-Gravimeter geodätisches Modell wie die Beobachtungen auf der Eichstrecke – um die Fundamentalstation an die vier ausländischen Stationen Mühlhausen, Donaueschingen, Feldkirch und Mailand anzuschließen. Rechnet man von jeder dieser Stationen ausgehend die Schwere der Fundamentalstation, so erhält man:

Zürich, Fundamentalstation,	
abgeleitet aus Mühlhausen	980 667,18 mgal
Donaueschingen	667,08 mgal
Feldkirch	666,50 mgal
Mailand	666,21 mgal
und daraus den Mittelwert	980 666,74 $\pm 0,23$ mgal

Solange am Schwerewert g_{Potsdam} 981 274 mgal festgehalten wird, dürfte es angezeigt sein, als Schwerebeschleunigung auf der Fundamentalstation

Zürich, Pfeiler im Geodätischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule, den runden Wert

$$g_{\text{Zürich}} = 980\,667,00 \text{ mgal}$$

anzunehmen. Als ergänzende Anschlüsse an das Schweregrundnetz bleiben noch die vier in Genf liegenden Stationen Flughafen Cointrin, Institut de Physique, Observatoire und Pierre du Niton zu nennen, sowie die Astronomisch-meteorologische Anstalt Binningen bei Basel. Mit etwas geringerer Genauigkeit wurde ferner die Schwerebeschleunigung auf den beiden Stationen Jungfrauoch, Stollen zum Forschungsinstitut und trigonometrischen Punkt Sphinx, bestimmt.

Alle hier erwähnten Schwerebestimmungen findet man im Band 25 der «Astronomisch-geodätischen Arbeiten in der Schweiz», betitelt «Gravimetermessungen in den Jahren 1953 bis 1957» veröffentlicht.

b. Gravimetrische Einzelaufnahme einer Testschleife des Schweregrundnetzes

Im Mai 1955 tagte in Florenz die Internationale Kommission für die Ausgleichung der europäischen Nivellementsnetze. Diese Kommission der «Association Internationale de Géodésie» empfahl, in jedem Lande eine charakteristische Nivellementsline auszuwählen und auf dieser die Schwerebeschleunigung in sehr kurzen Intervallen zu messen.

Schon im Herbst des gleichen Jahres ging die Schweizerische Geodätische Kommission an die Aufnahme einer solchen Testschleife. Die Wahl fiel auf die Schleife Castione–Airolo–St. Gotthard–Andermatt–Oberalppaß–Disentis–Flims–Reichenau–Splügen–Passo de San Bernardino–Mesocco–Castione. Im ganzen zählt die Testschleife 549 Gravimeterstationen. Die Entfernung benachbarter Stationen beträgt bei starkem Gefälle der Paßstraßen 250 bis 300 m, in ebenem Gebiet höchstens ein Kilometer. Wenn immer möglich fiel die Wahl auf Bolzen und Niete des Präzisionsnivellements. Die Meereshöhen der übrigen Stationen wurden barometrisch bestimmt. Die Schwerebeschleunigungen und Meereshöhen, wowie die Beschreibung der Lage aller Stationen der Testschleife, sind ebenfalls im oben erwähnten Band 25 der «Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz» veröffentlicht und damit weiterer Bearbeitung zugänglich gemacht.

c. *Gravimetrische Messungen auf den schweizerischen Teilstücken des « Réseau Européen Unifié de Nivellement » (REUN)*

Ebenfalls an der Tagung in Florenz beschloß die « Association Internationale de Géodésie » zur Berechnung des « Réseau Européen Unifié de Nivellement » sogenannte geopotentielle Knoten einzuführen und jedes Land seinen Anteil bearbeiten zu lassen. In der Schweiz fällt der Großteil der zu behandelnden Linien mit dem Schweregrundnetz zusammen.

Die Definition der geopotentiellen Kote ist im ersten Abschnitt dieser Ausführungen gegeben. Sie läßt sich genügend genau rechnen mittels des Ausdruckes

$$c = \sum_A^B \left[\frac{g_i + g_k}{2} \cdot \Delta h_i^k \right]$$

Die auf schweizerisches Gebiet fallenden Linien des REUN lassen sich gliedern in :

ein Umfangspolygon Lausanne–Neuenburg–Olten–Kaiserstuhl–Schaffhausen–Rorschach–Sargans–Reichenau–Oberalppaß–Furkapaß–Brig–Martigny–Lausanne;

eine Diagonale Basel–Olten–Luzern–Schwyz–St. Gotthardpaß–Bellinzona–Chiasso;

die Auslandsanschlüsse Lausanne–Genf–Moillesullaz, Schaffhausen–Bietingen und Landquart–Davos–Flüelapaß–Süs–Martinsbruck–Vinadi.

Um die verlangte Genauigkeit der geopotentiellen Knoten zu gewährleisten, ist der Abstand und der Höhenunterschied benachbarter Stationen nach der folgenden Faustregel gewählt worden: in verhältnismäßig ebenem Gebiet bis 4 km Distanz; im Gebiet mit mittleren Höhenunterschieden weniger als 2 km Distanz und Höhenunterschiede kleiner als 50 m; bei steiler Straßenführung Distanzen unter 1,5 km und Höhenunterschied höchstens 100 m. Diese Stationsverteilung führte zu insgesamt 864 Gravimeterstationen auf dem schweizerischen Anteil am REUN. Von den 492 im Sommerhalbjahr von N. Wunderlin und aushilfsweise von P. Gleinsvik neu bestimmten Stationen fallen 460 zusammen mit Fixpunkten des Präzisionsnivellements, zwei sind Triangulationspunkte, und 30 neue Stationen mußten als Zwischenpunkte eingeschaltet werden. Es mag recht absonderlich anmuten, daß es genügte die Meereshöhen dieser Zwischenpunkte barometrisch mit einer Genauigkeit von

ungefähr ± 1 m festzulegen, während die Nivellementsunterschiede auf 0,01 mm genau in die Rechnung eingeführt werden. Die Erklärung liegt darin, daß den Zwischenpunkten näherungsweise nur die Funktion eines Rechnungsträgers zukommt, dessen Genauigkeit nicht groß zu sein braucht.

Eine kurze Beschreibung aller Gravimeterstationen, sowie die Verzeichnisse der Schwerewerte findet man wiederum im Band 25.

Die umfangreiche Berechnung der geopotentiellen Kosten und deren Weiterleitung an das Zentralbureau der « Association Internationale de Géodésie » hat die Eidgenössische Landestopographie besorgt.

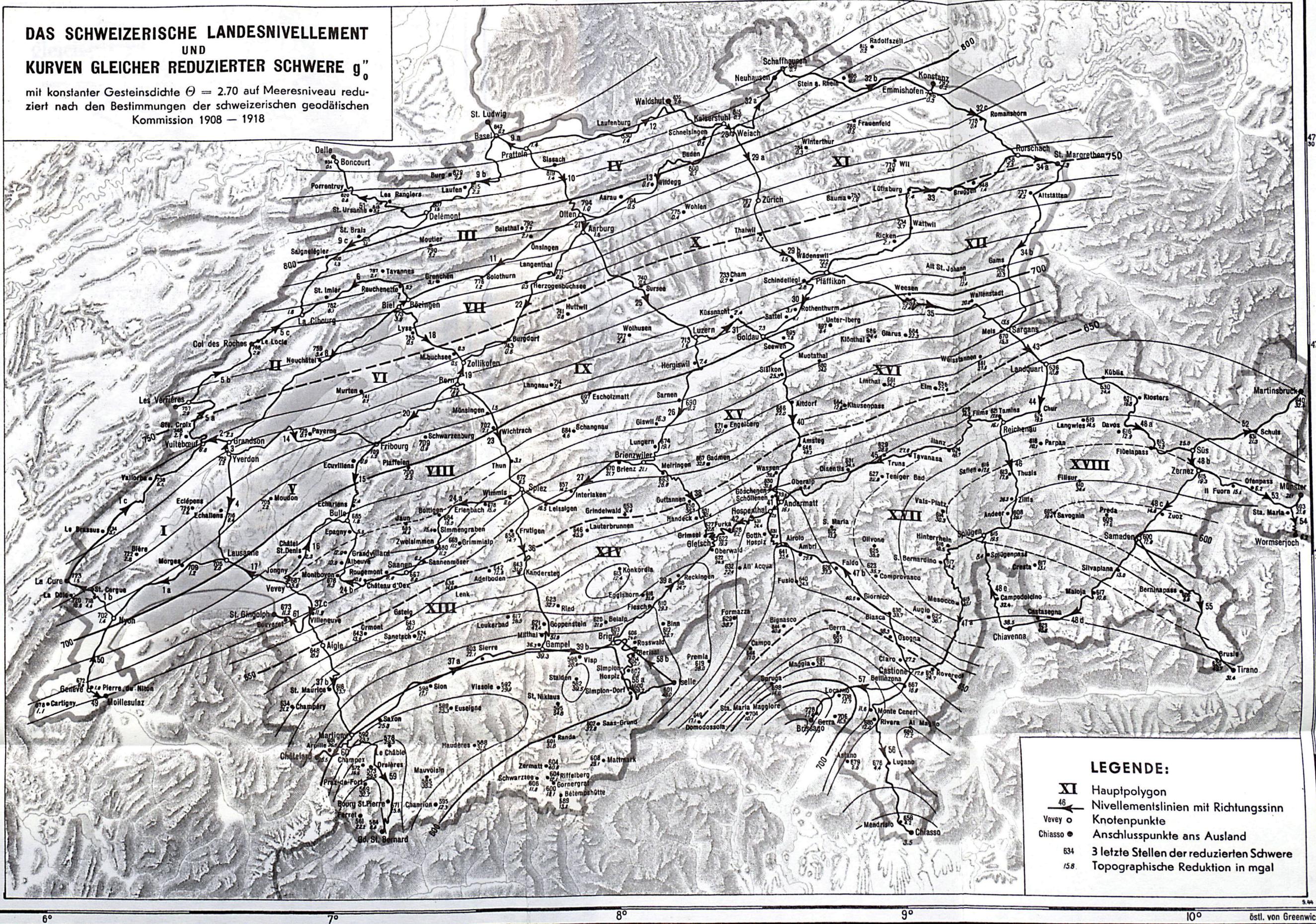
Von allen in die Jahre 1953–57 fallenden Gravimetermessungen ist zu sagen, daß sie in enger Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Landestopographie und mit Unterstützung durch die Abteilung für Heeresmotorisierung des Eidgenössischen Militärdepartementes ausgeführt wurden.

Blickt man auf die bis heute von der Schweizerischen Geodätischen Kommission ausgeführten Bestimmungen der Schwerebeschleunigung zurück, so wird einem eindringlich bewußt, wie sehr sich im Laufe eines Jahrhunderts die Kenntnisse, die Auffassungen, die verwendeten Methoden und die Instrumente geändert haben. Man braucht nur an die Unbefangenheit zu denken, mit der ehemals absolute Schweremessungen vorgenommen wurden, und damit die langwierigen Vorbereitungen und den gewaltigen Aufwand an Apparaten und an Arbeit zu vergleichen, mit denen an neuzeitliche Messungen herangegangen wird.

Abschließend ist es am Platze, nochmals die in den ersten zwei Dezennien unseres Jahrhunderts ausgeführten Pendelmessungen zu erwähnen. Die damals geschätzte Genauigkeit einer gemessenen Schweredifferenz zwischen einer Feldstation und der Referenzstation Basel von ± 1 mgal ist durch die Gravimeterbeobachtungen vollauf bestätigt worden. Ferner verdient es Beachtung, daß aus den Anschlußmessungen in Karlsruhe und in Potsdam für die neue Fundamentalstation Zürich ein Wert hervorgeht, der mit dem auf ganze Milligal abgerundeten Betrag der neuesten gravimetrischen Anschlüsse zusammenfällt. Man darf deshalb getrost sagen, die damaligen Mittel seien von der Schweizerischen Geodätischen Kommission und ihrem Ingenieur in vorbildlicher Weise eingesetzt und angewendet worden.

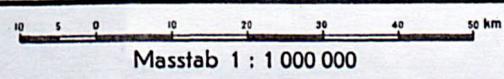
DAS SCHWEIZERISCHE LANDESNIVELLEMENT UND KURVEN GLEICHER REDUZIRTER SCHWERE g_0

mit konstanter Gesteinsdichte $\Theta = 2.70$ auf Meeresniveau reduziert nach den Bestimmungen der schweizerischen geodätischen Kommission 1908 — 1918



LEGENDE:

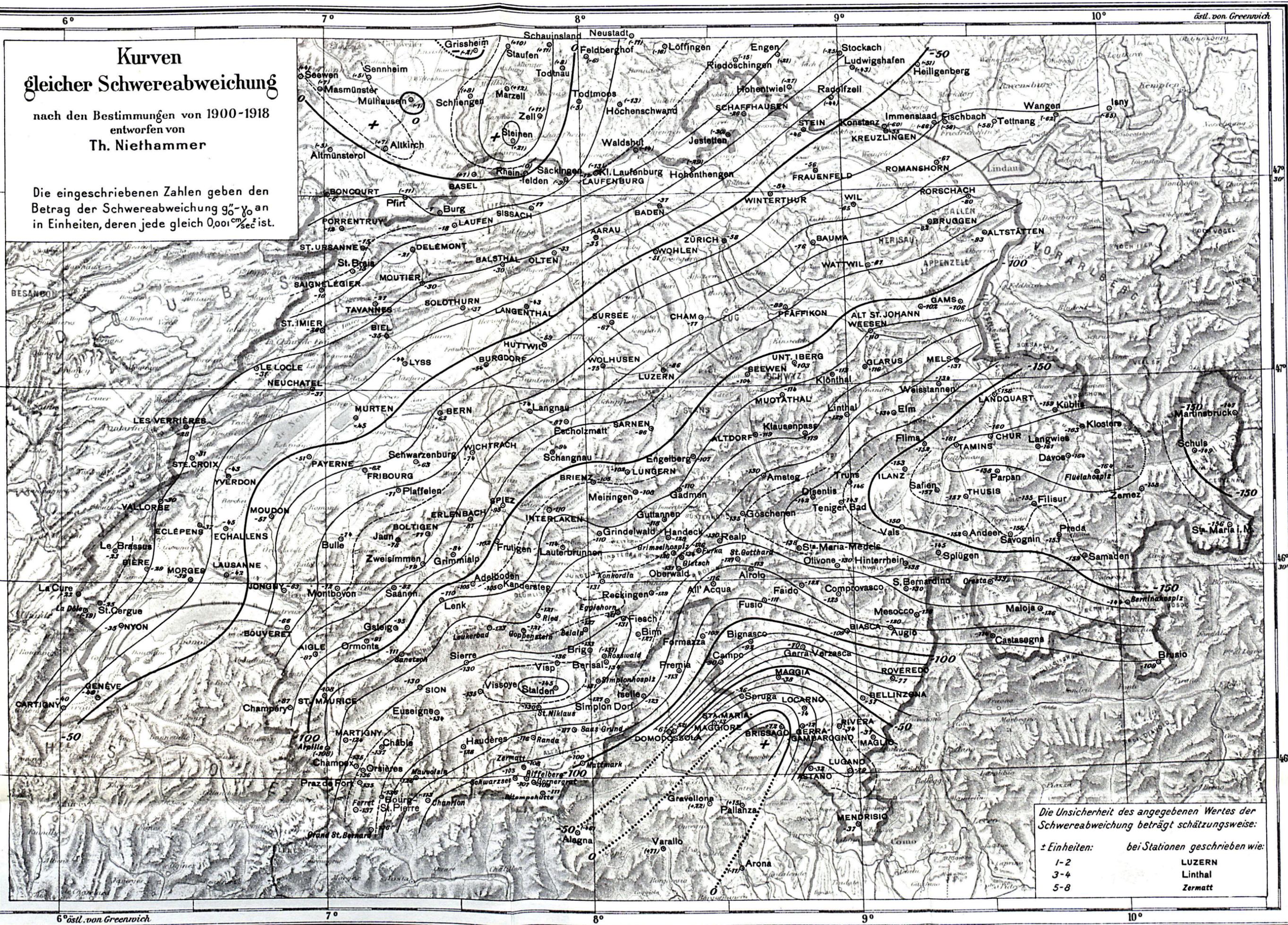
- XI** Hauptpolygon
- Nivellementslinien mit Richtungssinn
- Knotenpunkte
- Anschlusspunkte ans Ausland
- 634** 3 letzte Stellen der reduzierten Schwere
- 15.8** Topographische Reduktion in mgal



Kurven gleicher Schwereabweichung

nach den Bestimmungen von 1900-1918
entworfen von
Th. Niethammer

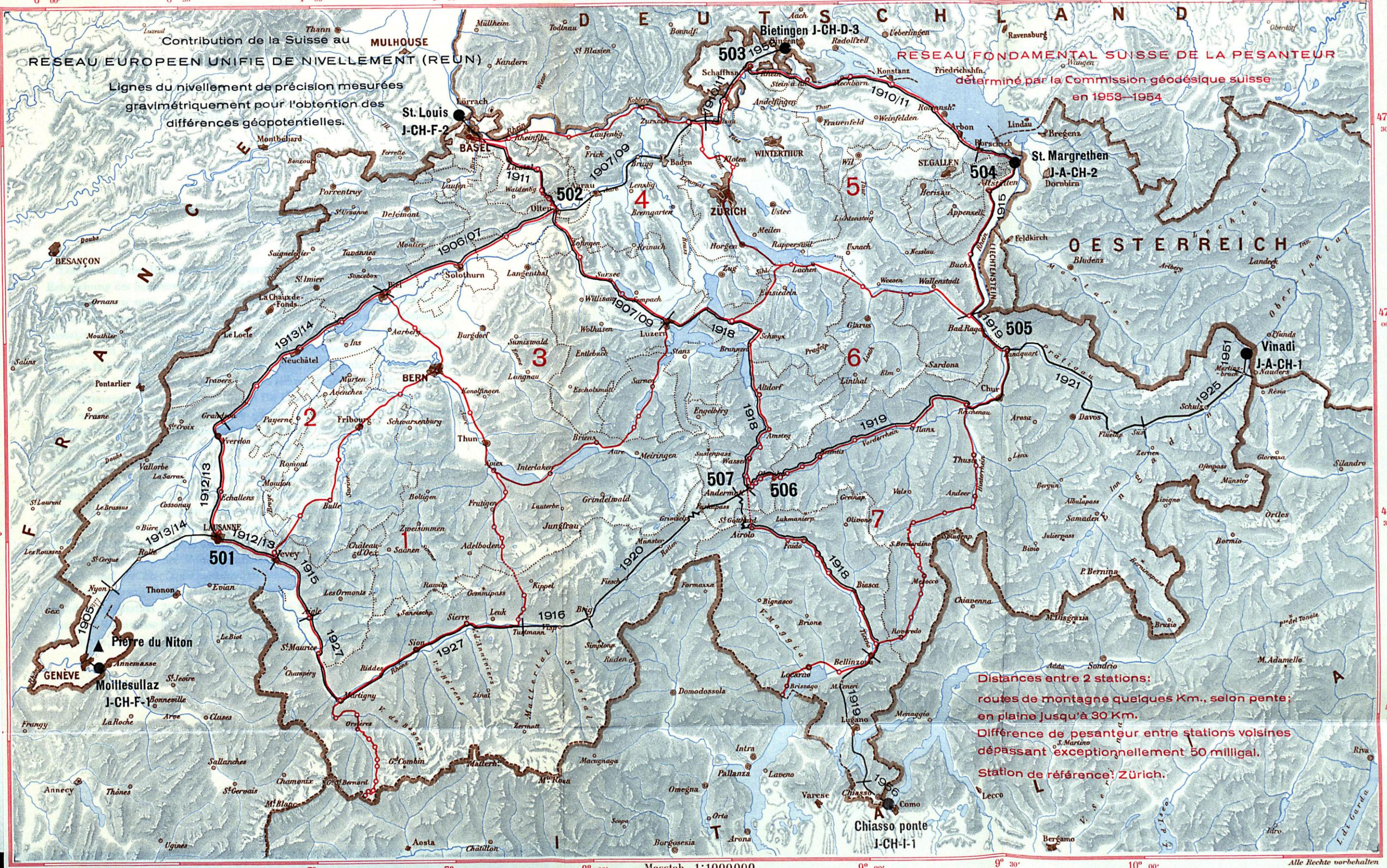
Die eingeschriebenen Zahlen geben den Betrag der Schwereabweichung $g_0 - \gamma_0$ an in Einheiten, deren jede gleich $0,001 \frac{cm}{sec^2}$ ist.



Die Unsicherheit des angegebenen Wertes der Schwereabweichung beträgt schätzungsweise:

± Einheiten:	bei Stationen geschrieben wie:
1-2	LUZERN
3-4	Linthal
5-8	Zermatt

6° 00' 6° 30' 7° 00' 7° 30' 8° 00' 8° 30' 9° 00' 9° 30' 10° 00' 10° 30' östlich Greenwich



RESEAU EUROPEEN UNIFIE DE NIVELLEMENT (REUN)
Lignes du nivellement de précision mesurées gravimétriquement pour l'obtention des différences géopotentielles.

RESEAU FONDAMENTAL SUISSE DE LA PESANTEUR
déterminé par la Commission géodésique suisse en 1953-1954

Distances entre 2 stations:
routes de montagne quelques Km., selon pente;
en plaine jusqu'à 30 Km.
Différence de pesanteur entre stations voisines dépassant exceptionnellement 50 milligal.
Station de référence: Zürich.

V. Stand und Aufgaben der geodätischen Gravimetrik in der Schweiz von Fritz Gassmann

Die Messung der Intensität der Schwere zum Zwecke der wissenschaftlichen Erforschung des Schwerefeldes der Erde und der Anwendung auf geodätische Probleme kann man als *geodätische Gravimetrik* bezeichnen. In der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik wird sie von der Internationalen Assoziation für Geodäsie betreut. Die Messung der Schwere für Prospektionszwecke wird man entsprechend *geologische Gravimetrik* nennen. In der Schweiz fällt die geodätische Gravimetrik in den Aufgabenkreis der Schweizerischen Geodätischen Kommission. In den letzten Jahren hat sich dabei eine enge Zusammenarbeit mit dem Institut für Geophysik der ETH ergeben, die auch weiterhin bestehen wird. Eine genaue Abgrenzung der geodätischen Gravimetrik gegen die geologische ist nicht immer möglich. Zum Beispiel hat Th. Niethammer seinerzeit für die Reduktion seiner Schweremessungen den geologischen Aufbau des Untergrundes der Stationen und die zugehörigen Gesteinsdichten von Geologen bestimmen lassen.

Eine grundlegende Aufgabe der geodätischen Gravimetrik ist die Bestimmung der Schwere in einem geeigneten über das ganze Land ausgebreiteten Netz von Punkten, dem Schwerenetzen erster Ordnung. Zur Bestimmung der absoluten Schwere in irgend einem Punkte des Netzes genügt es, die Schweredifferenz gegenüber der Fundamentalstation Zürich ETH und die *absolute Schwere auf der Fundamentalstation* zu kennen. In Europa werden absolute Schwerewerte auf die Schwere 981274 mgal von Potsdam bezogen. Für die Fundamentalstation Zürich erhält man dabei 980667 mgal. Auf Grund der heutigen Kenntnisse über die absolute Schwere an der Erdoberfläche muß man annehmen, daß der erwähnte Potsdamer Schwerewert 10–15 mgal zu groß

ist. In wenigen Jahren dürfte ein für die ganze Erdoberfläche einheitliches System von absoluten Schwerewerten international festgelegt werden. Für die Fundamentalstation Zürich resultiert daraus ein neuer absoluter Schwerewert. Es ist dann zu prüfen, ob zur Ermittlung dieses Wertes die bis anhin zwischen Punkten des schweizerischen Netzes und ausländischen Punkten ausgeführten Anschlußmessungen genügen oder ob neue Anschlußmessungen auszuführen sind.

Vom geplanten Schwerenetzen erster Ordnung ist ein grundlegender Teil, sozusagen das Skelett, schon ausgeführt, nämlich das *Schweregrundnetz*. Außer dem Fundamentalpunkt Zürich besteht das Grundnetz aus 122 Punkten, deren Schweredifferenzen zum Fundamentalpunkt in Trommeleinheiten ausgedrückt sind. Die dabei erzielte Genauigkeit dürfte in absehbarer Zukunft für alle Zwecke genügen, so daß die in Trommeleinheiten ausgedrückten Schweredifferenzen im Schweregrundnetz als definitiv zu betrachten sind. Eine Eichung des Grundnetzes besteht in der Bestimmung des Wertes der Trommeleinheit, ausgedrückt in mgal. Bei der Vermessung des Schweregrundnetzes 1953/54 wurden 44 Pendelstationen von Niethammer an unmittelbar benachbarte Punkte des Grundnetzes angeschlossen. Auf diese Weise erhielt man eine erste provisorische Eichung des Grundnetzes. Zum Zwecke einer genaueren zweiten Eichung wurde das Grundnetz 1957 durch Schweremessungen mit der französischen Eichstrecke Paris–Toulouse–Bagnères verglichen. Es ergab sich daraus der Wert $1,0075 \pm 0,0003$ mgal für die Trommeleinheit. Mit Hilfe dieses Wertes sind die heute gültigen in mgal ausgedrückten Schweredifferenzen im Grundnetz berechnet worden. Es ist aber zu bemerken, daß auch diese zweite Eichung nur provisorisch ist, da die in mgal ausgedrückten für die Eichung benützten Schweredifferenzen auf der französischen Eichstrecke nur provisorisch sind. Es wird gegenwärtig an der Errichtung eines einheitlichen europäischen Gravimetereichsystems gearbeitet. Die französische Eichstrecke wird ein Bestandteil dieses Systems sein. Sobald das europäische Eichsystem vollendet ist, werden für die französische Eichstrecke definitive Werte für die Schweredifferenzen vorliegen, so daß dann auch das Schweizerische Schweregrundnetz definitiv geeicht werden kann. Es ist allerdings zu erwarten, daß dadurch der provisorische Trommelwert 1,0075 nur noch eine geringfügige Änderung erfahren wird. Ausdrücklich sei darauf hingewiesen, daß das Schweizerische Schweregrundnetz seinerseits als *Eichsystem* für alle Schweremessungen mit Gravimetern in der Schweiz dient.

Auf Veranlassung des Verfassers hat E. Hunziker einen Entwurf für das

Schweizerische Schwerenetz erster Ordnung ausgearbeitet (Bericht an die Schweizerische Geodätische Kommission vom Januar 1960). Nach diesem Entwurf besteht dieses Netz aus 211 möglichst gleichmäßig über das Land verteilten Punkten. Davon sind 104 Punkte schon vermessen, nämlich 81 Punkte des Schweregrundnetzes und 23 nicht zum Grundnetz gehörende Punkte auf den Linien des «Réseau européen unifié de nivellement». Wie diese Punkte sind auch die vorgesehenen 107 Neupunkte so gewählt, daß sie für Schweredifferenzmessungen leicht zugänglich sind. Nach Durchführung dieser Messungen, die für die nächsten Jahre vorgesehen sind, werden die 211 Punkte zu einem einheitlichen Netz erster Ordnung mit einer durchschnittlichen Punktdichte von ca. einer Station auf 200 km² zusammengeschlossen sein. Zur Bestimmung der Schwere in einem beliebigen Punkte der Schweiz wird es dann genügen, die Schweredifferenz zu dem nächstgelegenen Punkt des Netzes erster Ordnung zu messen. Die Distanz zu diesem Punkt wird nur in Ausnahmefällen 20 km übersteigen.

Es ist naheliegend, sich zu fragen, ob auf Grund des neuen Schwerenetzes erster Ordnung eine *neue Schwerekarte* der Schweiz zu konstruieren sei. Diese Frage führt auf folgende Überlegungen: Bekanntlich hat es keinen Sinn, die gemessenen Schwerewerte direkt kartographisch darzustellen, da die Schwere von der Meereshöhe der Station und der Topographie ihrer Umgebung abhängt. Man muß daher die Schwerewerte reduzieren, d. h. vom Einfluß der Topographie befreien und auf ein einheitliches Niveau beziehen. Man kann die Reduktion auf verschiedene Arten ausführen. Die Art der Reduktion richtet sich u. a. auch nach dem Zweck, dem die Schwerekarte in erster Linie dienen soll. In jedem Falle muß man aber, um den Einfluß der Topographie zu erfassen, die Dichte der Gesteine, aus denen die Geländeerhebungen aufgebaut sind, kennen. Th. Niethammer hat die Fehler, mit denen die von ihm reduzierten Schwerewerte infolge der Unsicherheiten in der Erfassung der Inhomogenitäten in der Erdkruste behaftet sind, je nach der Lage der Station auf 1 bis 8 mgal geschätzt. Eine Reduktion der Meßwerte des neuen Schwerenetzes erster Ordnung, das ungefähr die gleiche mittlere Stationsdichte wie das Netz von Niethammer aufweist, wird also trotz der erheblich größeren Meßgenauigkeit nichts Neues bringen, wenn die Genauigkeit der topographischen Reduktionen nicht ganz erheblich gesteigert werden kann. Eine wesentliche Steigerung der Genauigkeit ist aber nicht für beliebige Stationen möglich, sondern nur dort, wo man genügend genau über den geologischen Aufbau des Untergrundes und über die Gesteinsdichten orientiert ist. Gerade

verkehrstechnisch günstig liegende Stationen des Netzes erster Ordnung in mit Quartärmaterial aufgefüllten Tälern sind aber punkto Kenntnis der Gesteinsdichten besonders ungünstig. Überdies sollte, damit eine Steigerung der Genauigkeit wirklich ausgenützt werden kann, auch das Stationsnetz verdichtet werden. Eine neue Schwerekarte der Schweiz müßte daher auf ein dichteres *Schwerenetz 2. Ordnung* gegründet werden, wobei die Stationspunkte nach geologischen Gesichtspunkten sorgfältig auszuwählen wären. Die Vermessung eines solchen Netzes, die Bestimmung der Gesteinsdichten und die Reduktion der Meßresultate ist eine umfangreiche Aufgabe, die der geologischen Gravimetrie zuzurechnen ist, für deren Lösung daher höchstens eine Mitwirkung der Geodätischen Kommission in beschränktem Umfange in Frage käme. Unabhängig von diesem größeren Werk kann es sein, daß die Geodätische Kommission im Rahmen internationaler Zusammenarbeit, z. B. für die Schaffung einheitlicher Schwerekarten für die gesamte Erdoberfläche, Schwerewerte ausgewählter Stationen nach international vereinbarten Methoden reduzieren und zur Verfügung stellen wird.

Stellt man sich generell die Frage nach den Aufgaben der geodätischen Gravimetrie in der Schweiz, so hat man davon auszugehen, daß die Schweiz gemessen am Flächeninhalt der Kontinente sehr klein ist und daher zu gravimetrischen Problemen, die ein über die ganze Erde oder größere Teile davon zu erstreckendes Netz von Beobachtungen erfordern, nur wenig beitragen kann. Hingegen liegen bei uns besonders günstige Verhältnisse für die Untersuchung von speziellen, sich in gebirgigem Gelände stellenden Problemen vor, da die Schweiz auch im Hochgebirgstheil vermessungstechnisch, kartographisch und verkehrstechnisch ausgezeichnet erschlossen ist.

Ein gewichtiges Problem ist die Bestimmung der Gesteinsdichten in der Erdkruste. Sobald man die durch Schweremessungen an der Erdoberfläche gewonnenen Meßwerte reduzieren oder das Schwerfeld in das Innere der Erdkruste hinein fortsetzen (extrapolieren) will, ist man auf möglichst zuverlässige Werte der Gesteinsdichten angewiesen. Mangelhafte Kenntnis dieser Dichten hat in den Resultaten von Reduktionen resp. Extrapolationen oft so große Unsicherheiten zur Folge, daß diese Resultate nicht mehr viel besagen oder überhaupt bedeutungslos werden. Dies gilt namentlich für gebirgiges Gelände. Sicher ist, daß, wo immer die Verhältnisse es erlauben, die Bestimmung der Dichte von Gesteinsproben im Labor ergänzt oder ersetzt werden sollte durch *gravimetrische Gesteinsdichtebestimmungen*, d. h. durch Dichtebestimmungen auf Grund von Schweremessungen an Ort und Stelle. Fehler

in Gesteinsdichtewerten beeinflussen das Resultat der Reduktion von Schwerewerten um so mehr, je höher die Stationen über Meeresniveau liegen. Andererseits aber wird, von speziell ungünstigen geologischen Verhältnissen abgesehen, die gravimetrische Gesteinsdichtebestimmung um so genauer, je bewegter die Topographie ist. Es besteht daher durchaus die Möglichkeit, bei der Reduktion von Schweremessungen auch im Gebirge eine Genauigkeit zu erzielen, die wesentlich größer ist, als was mit den bisher üblich gewesenen Methoden erreicht werden konnte. Die Steigerung der Genauigkeit erfordert allerdings, daß die Geländeformen genauer als bisher erfaßt werden. Die Vermehrung des Arbeitsaufwandes wird aber teilweise wettgemacht durch die Verwendung elektronischer Rechenmaschinen zur Auswertung von gravimetrischen Gesteinsdichtebestimmungen und zur Ermittlung der Terrainkorrekturen. Ungünstig im Hinblick auf Gesteinsdichtebestimmungen sind Täler, die mit Quartärmaterial aufgefüllt sind. Die Mächtigkeit einer solchen Auffüllung kann mehrere hundert Meter betragen. Für die Gewinnung eines zuverlässigen Wertes für ihre durchschnittliche Dichte ist es oft vorteilhaft, Schweremessungen mit andern Sondierverfahren (Bohrungen, seismische oder geoelektrische Aufschlußmessungen) zu kombinieren.

Auf eine Fehlerquelle bei gravimetrischen Gesteinsdichtebestimmungen und Reduktion von Schweremessungen ist noch hinzuweisen, nämlich auf den Umstand, daß für die Freiluftreduktion der Vertikalgradient der Normalschwere benützt wird. Denkt man sich das Schwerefeld zusammengesetzt aus dem Feld der Normalschwere, dem Gravitationsfeld der sichtbaren Störungsmassen (= topographische Massen in einer gewissen Umgebung der Station) und dem *Gravitationsfeld der unsichtbaren Störungsmassen*¹, so wird bei Verwendung des normalen Freiluftgradienten der letztgenannte Bestandteil des Schwerefeldes vernachlässigt. Die Berücksichtigung des Feldes der unsichtbaren Massen hat überdies den Vorteil, daß man den Umkreis um die Station, für den die topographischen Korrekturen ausgeführt werden, nicht zu groß zu wählen braucht. Der Einfluß der außerhalb dieses Umkreises liegenden topographischen Massen wird dann automatisch im Feld der unsichtbaren Massen mitberücksichtigt.

¹ Siehe dazu F. GASSMANN, Zur gravimetrischen Bestimmung von Gesteinsdichten und Lotlinienkrümmungen in der Erdkruste. Schweiz. Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, Nr. 2, 1960, und Mitteilungen Nr. 37 aus dem Institut für Geophysik.

Die gravimetrische Gesteinsdichtebestimmung und die Reduktion von Schweremessungen gehören im Grunde genommen zur allgemeinen Aufgabe, das *Schwerefeld* von der Erdoberfläche her *ins Innere der Erdkruste hinein fortzusetzen*. Es gibt verschiedene Probleme der Geodäsie, für die eine solche Fortsetzung erforderlich ist, und es ist eine interessante, nicht aussichtslose Aufgabe der geodätischen Gravimetrik, in jedem gegebenen Falle, selbst im Hochgebirge, zu prüfen, ob die Fortsetzung mit hinreichender Genauigkeit möglich ist, und sie bejahendenfalls auch praktisch durchzuführen. Ein Beispiel ist die 1960/61 ausgeführte Bestimmung der Form der Lotlinie bis hinunter zum Geoid für den Punkt St. Anton des Vergrößerungsnetzes der Basis Heerbrugg². Besonders interessant wäre es, nach einer Anregung von F. Kobold das Schwerefeld an einem Orte im Hochgebirge fortzusetzen, wo die Möglichkeit bestände, das Ergebnis der Fortsetzung durch Schweremessungen in einem Stollen nachzuprüfen.

Bei der Reduktion von Schweremessungen nach einer der üblichen Methoden wird im Grunde genommen die *Normalschwere* von der wirklichen Schwere subtrahiert. Dies geschieht in zwei Schritten, nämlich mit der Breitenkorrektur und der Freiluftkorrektur. Zur Ausführung der Breitenkorrektur liegen Tabellen vor, die die Normalschwere im Nullniveau mit genügender Genauigkeit als Funktion der geographischen Breite geben. Für alle gravimetrischen Arbeiten in der Schweiz wäre es aber sehr zweckmäßig, wenn eine Tabelle die Normalschwere direkt als Funktion der rechtwinkligen Landeskoordinaten geben würde. Ein Umstand wird bei der Reduktion von Schweremessungen gewöhnlich außer Acht gelassen, nämlich der, daß das Nullniveau der Normalschwere nicht das Meeresniveau ist, sondern die Oberfläche eines Erdellipsoides oder eines Normalsphäroides. Zum Beispiel muß dies bei der Erstellung einer neuen Schwerekarte der Schweiz unbedingt berücksichtigt werden. Dies erfordert allerdings die Kenntnis der Geoidundulationen nicht nur in einzelnen Schnitten, sondern lückenlos für das ganze Land, etwa in Form einer Isohypsenkarte des Geoides. Dabei würde die Berücksichtigung der Undulationen bis hinunter zu 1 m Amplitude (3. Näherung nach M. Schürer) die Ermittlung der Normalschwere für beliebige Punkte auf 0,1 mgal genau

² Siehe dazu F. GASSMANN und P. MÜLLER, Gravimetrische Bestimmung der Gesteinsdichte und der Lotkrümmungen für den Punkt St. Anton des Basis-Vergrößerungsnetzes Heerbrugg. Schweiz. Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, Nr. 9, 1961, und Mitteilungen Nr. 40 aus dem Institut für Geophysik.

erlauben, allerdings vorläufig noch abgesehen von einer für die ganze Schweiz gültigen additiven unbekanntem Konstanten, herrührend von der heute noch bestehenden Unsicherheit über die Geoiderhebungen kontinentalen Ausmaßes. Es wäre in diesem Zusammenhang für die Geodätische Kommission zu erwägen, ob nicht in Ergänzung zu der von M. Schürer vorgeschlagenen astronomisch-geodätischen eine *gravimetrische Bestimmung des Geoides* versucht werden sollte.

Will man die Genauigkeit der heutigen Gravimeter voll ausnützen, so hat man die zeitlichen Variationen der Schwere zu berücksichtigen. Eine spezielle Kommission der Internationalen Assoziation für Geodäsie beschäftigt sich mit diesen Variationen und mit den geophysikalisch hoch interessanten *Gezeiten-deformationen der festen Erde*. Wenn sich auch die Schweizerische Geodätische Kommission bisher nicht damit befaßt hat, wird sie sich vorbehalten, später darauf einzutreten, wenn sie dies für wünschenswert hält.

VI. Les observations astronomiques par Edmond Guyot Neuchâtel

La géodésie utilise les observations astronomiques pour déterminer la position géographique d'un lieu, c'est-à-dire pour obtenir sa *longitude* et sa *latitude*, et pour orienter certains côtés d'un réseau de triangulation (détermination d'*azimuts*).

LA DÉTERMINATION DES DIFFÉRENCES DE LONGITUDE

Les méthodes. La détermination d'une différence de longitude entre deux stations comporte une détermination de l'heure en chacune de ces stations et la comparaison de ces heures. La différence entre ces heures est la différence de longitude. De 1861 à 1925, cette dernière opération s'est faite en envoyant des signaux télégraphiques d'une station à l'autre, grâce à des lignes mises à la disposition des observateurs par l'administration des PTT. A partir de 1924, on utilisa uniquement des signaux horaires émis par des postes de TSF et reçus en chacune des stations sur un appareil approprié.

Pour déterminer l'heure, plusieurs méthodes ont été utilisées.

La méthode méridienne consiste à noter les heures marquées par le garde-temps lors des passages d'étoiles dans un instrument méridien dont on connaît l'*inclinaison* et l'*azimut* de l'axe de rotation, ainsi que la *collimation* de l'axe optique. Au moment du passage d'une étoile dans le méridien, l'heure sidérale du lieu est égale à l'ascension droite de l'étoile.

La méthode de Döllén (observations d'une étoile dans le vertical de la polaire) a été appliquée en utilisant un instrument des passages de Bamberg.

Celui-ci étant placé approximativement dans le vertical de la polaire, on a d'abord observé la polaire, puis l'étoile horaire et enfin de nouveau la polaire,

La méthode des hauteurs égales de Gauss a aussi été utilisée, mais surtout pour déterminer la latitude.

Longitudes unilatérales et bilatérales. Une détermination de différence de longitude est *unilatérale* lorsque l'un des astronomes observe en l'une des stations seulement, l'autre en l'autre station. La détermination devient *bilatérale* quand, au milieu des observations, les astronomes changent de station en emportant leur instrument.

Détermination de différence de longitude avec un seul observateur. Certaines déterminations de différence de longitude se sont faites en Suisse avec un seul astronome qui observait tout d'abord en la première station, puis en la seconde et enfin de nouveau en la première. Connaissant la longitude de la première station qui sert de référence, on en déduit celle de la seconde.

Les observations de longitude de 1861 à 1911

Ce premier demi-siècle d'observations pourrait être appelé la période héroïque des déterminations de différence de longitude. Comme l'a fait remarquer très justement Raoul Gautier en 1915: «Malheureusement ces déterminations, quels qu'aient été les soins apportés à leur exécution, ne répondaient plus aux exigences de la science au XX^e siècle. Depuis 30 ou 40 ans les méthodes se sont perfectionnées et simplifiées. On emploie, en particulier, pour éliminer les différences d'équation personnelle entre observateurs, des procédés qui étaient inconnus il y a un demi-siècle.» Nous partageons d'autant plus l'opinion de Raoul Gautier que nous disposons maintenant des observations faites de 1912 à 1960 et qui sont dignes d'un pays où la précision a toujours été à l'honneur. Mais qu'on nous comprenne bien; si nous savons maintenant tout ce qui manquait aux anciennes observations pour être plus précises, nous n'avons pas l'intention de jeter le discrédit sur le travail de nos prédécesseurs qui ont fait le maximum avec les moyens dont ils disposaient.

C'est au début de 1861 que E. Plantamour et A. Hirsch, directeurs des observatoires de Genève et de Neuchâtel, décidèrent de fixer la longitude du nouvel observatoire de Neuchâtel par rapport à Genève et de relier télégraphiquement les observatoires suisses aux observatoires de Paris et de Greenwich. Les premières observations eurent lieu au cours de 8 soirs en mai, septembre et octobre 1861 et furent exécutées par Plantamour à Genève et

par Hirsch à Neuchâtel. La lunette méridienne de Genève était un instrument de Gambey de 10 cm d'ouverture et de 1,387 m de distance focale, avec un grossissement de 105 fois. La lunette de Neuchâtel construite par Ertel avait une ouverture de 115 mm et une distance focale de 1,83 m. Les observations étaient enregistrées sur un chronographe de Hipp à bande à Genève, à cylindre à Neuchâtel.

On observait jusqu'à 19 étoiles la même nuit (en moyenne 15), les mêmes aux deux stations de sorte que les erreurs d'ascension droite n'entrent pas en ligne de compte dans le calcul de l'erreur. Les étoiles horaires avaient une déclinaison comprise entre -9° et $+10^\circ$ (étoiles équatoriales). La collimation était obtenue par des visées sur des mires, l'inclinaison par un niveau à Neuchâtel, par un bain de mercure à Genève. La différence d'équation personnelle a été mesurée par des observations sur des étoiles, l'un des astronomes observant derrière les fils précédant celui du milieu du champ, l'autre derrière les fils suivant le fil du milieu. En outre, les équations personnelles absolues ont aussi été déterminées avec un chronoscope de Hipp permettant de lire le millième de seconde et un dispositif d'étoile artificielle imaginé par Hipp. Le chronoscope mesurait le temps entre le passage de l'étoile artificielle derrière le fil et le moment où l'observateur notait ce passage. La méthode suppose que l'observateur observe toujours trop tard, ce qui ne s'est pas toujours réalisé pour Plantamour. La différence d'équation personnelle Plantamour-Hirsch obtenue par les étoiles varia de $+0,082^s$ à $+0,202^s$; l'appareil donna la valeur $+0,108^s$. On adopta $+0,123^s$.

Pour comparer les deux pendules, on échangeait 390 signaux chaque soir. On constata des variations dans les durées de transmission qui, au cours de 2 minutes, pouvaient aller jusqu'à 1 à 2 centièmes de seconde. La différence de longitude trouvée: $3^m 12,966^s$, avec une erreur moyenne de $\pm 0,021^s$ était fautive d'environ $0,27^s$ comme l'ont montré les observations modernes.

En 1867, on entreprend la détermination des différences de longitude entre la station astronomique du Rigi-Kulm et les Observatoires de Zurich et de Neuchâtel. E. Plantamour se charge des observations du Rigi-Kulm avec un théodolite d'Ertel à lunette coudée de 40 mm d'ouverture et de 43,5 cm de distance focale avec un grossissement de 47 fois. Il dispose d'un chronomètre de marine à enregistrement électrique William Dubois. Les observations sont enregistrées sur un chronographe à bande. L'inclinaison est fournie par un niveau, tandis que la collimation et l'azimut sont calculés à partir des résultats d'observations corrigés pour l'inclinaison. A Neuchâtel, Hirsch utilise la lunette

méridienne et en détermine les constantes comme dans l'opération précédente. A Zurich, le directeur de l'Observatoire R. Wolf observe au cercle méridien de Kern qui a un objectif de 12,2 cm d'ouverture et de 1,83 m de distance focale. Le grossissement est de 180 fois. L'erreur probable des résultats varie de $\pm 0,008^s$ à $\pm 0,019^s$.

Les auteurs font une remarque très juste lorsqu'ils écrivent: «Il est préférable d'augmenter autant que possible le nombre de jours d'observations plutôt que d'augmenter le nombre d'étoiles observées chaque soir. *L'incertitude due aux erreurs fortuites commises dans l'observation des étoiles est notablement plus faible que la variation d'un jour à l'autre.*»

La différence de longitude entre la station astronomique du Weissenstein et l'Observatoire de Neuchâtel en 1868 s'obtient comme dans l'opération précédente, Hirsch observant à Neuchâtel avec la lunette méridienne, Plantamour au Weissenstein avec le théodolite d'Ertel. L'erreur moyenne est de $\pm 0,027^s$.

En 1869, c'est la mesure de la différence de longitude Berne-Neuchâtel qui est entreprise par Hirsch observant à Neuchâtel et Plantamour qui utilise le cercle méridien de l'Observatoire de Berne, de 76 mm d'ouverture et 1,07 m de distance focale, avec un grossissement de 83 fois. L'erreur moyenne de l'observation est de $\pm 0,012^s$.

Il s'agit ensuite de relier les stations du Simplon et de Milan à l'Observatoire de Neuchâtel (1870). Les observations sont faites par Plantamour au Simplon, Schmidt et Hirsch à Neuchâtel et Celoria à Milan. Ce dernier emploie un théodolite d'Ertel. Les erreurs probables sont de $\pm 0,013^s$ (Milan-Simplon) et de $\pm 0,021^s$ (Simplon-Neuchâtel).

En 1872, les stations du Pfänder et du Gäbris qui se trouvent aux extrémités d'un côté commun aux triangulations autrichienne et suisse sont reliées à l'Observatoire de Zurich. Plantamour observe au Gäbris, R. Wolf à Zurich et Oppolzer au Pfänder. Puis, en 1876, on mesure la différence de longitude entre Genève (Observatoire) et Strasbourg (Citadelle). A Genève, Plantamour utilise un altazimut de 60 mm d'ouverture permettant l'observation du nadir et Löw à Strasbourg un instrument des passages Pistor et Martins. Les équations personnelles mesurées à Genève ont varié de $+0,051^s$ à $+0,270^s$. L'erreur moyenne de la différence de longitude vaut $\pm 0,020^s$.

L'année suivante (1877), Plantamour à Genève et le colonel von Orff à l'Observatoire royal de Bogenhausen près de Munich déterminent la différence de longitude entre ces 2 observatoires. Les différences d'équation personnelle

déterminées à la même lunette du 12 au 16 juin 1877 varient de $-0,048^s$ à $-0,238^s$. L'erreur moyenne de la détermination de longitude vaut $+0,018^s$. Pendant la même année 1877, on entreprend les déterminations de différence de longitude entre les stations suisses de Neuchâtel et de Genève d'une part, les stations françaises de Paris et Lyon d'autre part. Le commandant Perrier observe à Paris, le capitaine Bassot à Lyon, Plantamour à Genève et Hirsch à Neuchâtel. Mais on ne réussira pas à faire jouer les observations et on trouvera une erreur de fermeture de $0,41^s$ en combinant les différences de longitude Neuchâtel-Genève, Genève-Lyon, Lyon-Paris et Paris-Neuchâtel. La valeur trouvée pour la différence de longitude Neuchâtel-Paris est trop faible de $0,32^s$ d'après les mesures modernes, mais entre Neuchâtel et Genève il y a aussi une erreur de $0,27^s$ comme nous l'avons déjà écrit. Ainsi, Hirsch avait tort d'attribuer l'erreur de fermeture aux seules stations françaises. En 1881, Oppolzer et Gautier mesurent la différence de longitude entre Vienne et Genève avec une erreur probable de $\pm 0,05^s$.

Les observations de longitude de 1912 à 1960

Dès 1912, les observations de longitude deviennent beaucoup plus précises grâce à l'adoption d'un équipement instrumental et de méthodes de calcul judicieusement choisis. Les premières déterminations qui bénéficient de ces nouvelles conditions sont celles de Zurich-Gurten et Zurich-Bâle effectuées en 1912. Dans les deux stations on utilise le même instrument des passages de Bamberg de 67 mm d'ouverture et 66 cm de distance focale, avec un grossissement de 70 fois. L'instrument se retourne au milieu de l'observation de chaque étoile, ce qui élimine la collimation. Cependant, il reste dans la formule de Mayer un terme dû à l'aberration diurne, au chemin mort du micromètre impersonnel et à la demi-largeur des ponts de contact. *L'inégalité des tourillons*, c'est-à-dire leur différence de diamètre, est aussi éliminée par le retournement. En revanche, si les tourillons ne sont pas tout à fait circulaires et présentent des *irrégularités* (par exemple s'ils sont elliptiques), l'influence de ces irrégularités n'est pas éliminée. Les déclinaisons des étoiles polaires observées sont comprises entre $+75^\circ$ et $+87,5^\circ$ et celles des étoiles horaires entre $+35,5^\circ$ et $+57,5^\circ$. Ces dernières sont donc des *étoiles zénithales* et non équatoriales; c'est un progrès, car la moyenne des coefficients qui multiplient l'azimut dans la formule de Mayer est à peu près nulle, ce qui élimine presque complètement l'influence d'une erreur de l'azimut adopté.

Une observation d'essai effectuée par les deux observateurs Trümpler et

Kubli sur deux piliers rapprochés à Bâle ont donné comme différence de longitude $+0,032^s$ avec une erreur moyenne de $\pm 0,004^s$. En réalité, la différence était de $+0,040^s$; elle s'écartait de $0,008^s$ de la valeur observée, valeur trop forte par rapport à l'erreur moyenne trouvée. Les erreurs moyennes des différences de longitude Zurich-Bâle et Zurich-Gurten sont respectivement de $\pm 0,005^s$ et $\pm 0,0065^s$. Avec le même équipement les observateurs Trümpler et Bottlinger observent en 1913 les différences de longitude Gurten-Genève et Bâle-Genève et en 1914 celles de Neuchâtel-Genève et Zurich-Neuchâtel avec des erreurs moyennes du même ordre de grandeur.

De 1919 à 1923, des mesures sont entreprises entre les stations de Zurich, Genève, Coire, Brigue, Poschiavo, Bellinzona et Gäbris. Les observateurs sont E. Brunner et E. Hunziker. Les comparaisons sont faites par fil, 30 signaux étant envoyés chaque soir dans les 2 sens. Les erreurs moyennes des résultats oscillent entre $\pm 0,003^s$ et $\pm 0,012^s$. Lors des observations de 1923, les heures des 2 stations ont aussi été comparées par TSF à titre d'essai. On a utilisé les signaux rythmés qui donnent 306 battements en 5 minutes de temps moyen. Pour trouver les moments des coïncidences, c'est-à-dire les instants où un battement des signaux coïncide avec un battement de seconde, on a utilisé le procédé du D^r A. Hänni. L'observateur écoutait les signaux dans un écouteur téléphonique. L'horloge était munie d'un contact à seconde. Un dispositif spécial supprimait les signaux dans l'écouteur dès qu'ils tombaient dans la partie de la seconde pendant laquelle le contact était fermé. Connaissant le moment de la coïncidence, on pouvait calculer l'heure marquée par la pendule lors du premier et du dernier signal et leur moyenne correspondait au signal 153,5. Les résultats n'ont différés des résultats télégraphiques que de l'ordre d'un centième de seconde et dorénavant, toutes les comparaisons seront faites par TSF.

Les observations de longitude par TSF. Les observations de 1924 à 1930 ont pour but de relier entre elles les stations suisses de Zurich, Genève, Bâle et Rigi, ainsi qu'aux stations étrangères de Potsdam, Paris, Vienne, Milan. Les observateurs sont E. Brunner (1924), D^r P. Engi (1925-1930) et D^r E. Hunziker (1924-1930). Les comparaisons de pendules se font grâce aux signaux horaires rythmés LY de Bordeaux (21 h), FL de Paris (23 h) et POZ de Nauen (1 h), les observations des passages ayant lieu de 21 heures à 1 heure. On utilise la méthode méridienne, sauf en 1927 où l'on adopte la méthode de Döllén. Pour le calcul de l'azimut, on combine l'observation d'une polaire à la moyenne des observations des étoiles horaires.

Les observateurs font remarquer qu'au point de vue de la précision, la méthode méridienne et la méthode de Döllen se valent, mais la dernière demande davantage de temps pour l'observation et les calculs. Lorsqu'on dispose d'un pilier stable, la méthode méridienne est plus avantageuse que la méthode de Döllen.

La différence de longitude entre deux stations s'obtient grâce à la formule

$$\lambda = \Delta U_E - \Delta U_W + D + \Delta l$$

ΔU_E et ΔU_W sont les corrections de pendules des stations est et ouest, D la différence entre les heures des 2 pendules lors de la réception des signaux horaires et Δl la réduction de la différence de longitude des méridiens instantanés aux méridiens moyens. Les erreurs moyennes oscillent entre $\pm 0,0038^s$ et $\pm 0,0139^s$. La différence de longitude Milan-Zurich trouvée par les astronomes italiens observant en même temps que les Suisses dépasse celle de ces derniers de $0,008^s$.

Différence de longitude avec un observateur. De 1934 à 1936, les ingénieurs de la Commission Géodésique Suisse déterminèrent le profil du géoïde le long du parallèle de l'Observatoire fédéral de Zurich. Ils déterminèrent la longitude de 32 stations allant de Réclère à l'ouest jusqu'à Diepoldsau, sur le parallèle de $47^\circ 22,75'$. L'ingénieur observait tout d'abord à la station de référence à Zurich dont la longitude $34^m 12,286^s$ était supposée bien déterminée. Ensuite, il observait en quelques stations du parallèle pour revenir à la station de référence. Si les longitudes obtenues à la station de référence avant et après jouaient dans les limites de la précision adoptée, on admettait que les équations personnelle et instrumentale n'avaient pas varié au cours de l'intervalle. La longitude est alors donnée par la formule

$$\lambda = U + \Delta U - T + \Delta l + p$$

U est l'heure marquée par le garde-temps au moment du signal 153,5 de l'émission horaire utilisée, compte tenu de la correction donnée par le Bulletin horaire, ΔU la correction de pendule fournie par la détermination de l'heure, T l'heure sidérale de Greenwich du signal 153,5 tirée des observations du Bureau International de l'Heure, Δl la correction de longitude à cause du déplacement du pôle instantané et p la réduction au méridien de Zurich. Cette dernière s'obtient en faisant la différence entre la longitude obtenue par

l'observateur à Zurich et la longitude adoptée pour Zurich. p représente la somme des équations personnelle de l'observateur et de l'instrument. L'erreur moyenne d'une détermination de longitude tirée d'un seul soir d'observation vaut $\pm 0,016^s$.

Dans le même volume qui contient ces résultats, le D^r Hunziker étudie les circonstances les plus favorables lors de l'emploi de la méthode des coïncidences. Lorsque l'horloge est réglée sur le temps moyen, il faut que sa marche diurne soit égale ou supérieure à + 28,9 secondes. Pour une horloge sidérale, la marche doit être comprise entre + 3,8 et + 4,5 secondes.

Pour fixer le point zéro du système de coordonnées suisses (Cercle méridien de l'ancien Observatoire de Berne), on détermina en 1937 sa différence de longitude avec le point trigonométrique fondamental Gurten-Ost (B). On en profita pour faire la liaison avec Zurich. L'erreur moyenne pour la différence de longitude Gurten-Berne, avec échange d'observateurs et d'instruments, fut de $\pm 0,0076^s$ et celle pour la différence Zurich-Berne avec un seul observateur $\pm 0,011^s$.

Les déterminations à un seul observateur furent encore utilisées en 1939 pour trouver la différence de longitude Monte Generoso-Bellinzone, Bellinzone fonctionnant comme station de référence, puis en 1947 et 1948 pour trouver les longitudes des points du parallèle de Locarno: Aula, Intragna, Losone, Minusio, Gordola et Cugnasco. Ces résultats encouragèrent la Commission Géodésique Suisse à employer le même procédé pour la différence de longitude Munich-Genève. Les observations se firent en 1957. Deux observateurs, les ingénieurs Engi et Wunderlin, opérèrent chacun séparément et trouvèrent le même résultat à 0,002^s près.

Conclusions

Jusqu'à 1911, les observations de longitude laissèrent à désirer, l'erreur pouvant atteindre quelques dixièmes de seconde. Dès 1912, la précision augmenta fortement, ce que montrent immédiatement les erreurs moyennes.

Peut-on encore améliorer les derniers résultats et arriver à la précision du millième de seconde que les géodésiens voudraient bien atteindre? Pour la détermination de l'heure par la méthode méridienne, l'instrument des passages de Bamberg est tout indiqué, mais il pourrait être amélioré. L'entraînement du micromètre impersonnel se fait à la main. Nous avons pratiqué régulièrement ces observations à l'Observatoire de Neuchâtel pendant 8 ans,

puis nous avons eu à notre disposition la lunette méridienne avec micromètre entraîné au moteur. Ce dernier procédé est certainement meilleur quand le dispositif fonctionne tout à fait bien comme c'était le cas à Neuchâtel. Le professeur Niethammer avait installé un entraînement au moteur sur l'instrument des passages de Bâle; nous n'avons malheureusement pas eu l'occasion de l'essayer. Un tel dispositif, tout en augmentant la précision des observations, diminue la fatigue de l'observateur.

Le point faible de l'instrument des passages est le niveau. Il faut que ce dernier soit de qualité. Même en maintenant l'inclinaison aussi faible que possible, on ne supprime pas certaines anomalies dans le fonctionnement du niveau, anomalies qui ont été constatées par les ingénieurs de la Commission Géodésique Suisse et que nous avons signalées en 1931. Enfin, les tourillons doivent être aussi circulaires que possible, car leurs irrégularités faussent la définition de l'axe de rotation et, par conséquent, l'inclinaison et l'azimut. Cette influence devient très grande pour les étoiles polaires, c'est pourquoi il vaut mieux n'observer que des étoiles zénithales et déterminer l'azimut par la méthode des moindres carrés avec les seules étoiles horaires. Le professeur André Danjon a supprimé cet inconvénient des irrégularités des tourillons en imaginant son instrument des passages avec autocollimation.

On pourrait renoncer à la méthode méridienne et utiliser la méthode des hauteurs égales avec l'astrolabe à prisme; nous en parlerons à propos des déterminations de latitude. Est-ce à dire qu'on arrivera à une précision beaucoup plus grande? Non, car on ne supprimera jamais complètement l'équation personnelle dont les causes sont diverses comme l'a fort bien montré M. N. Stoyko dans sa thèse de doctorat en 1931. En outre, il faut aussi compter sur les conditions météorologiques et, en particulier, sur la réfraction latérale qui peut provoquer une erreur de l'ordre de quelques centièmes de seconde. Même avec un instrument tout à fait impersonnel et d'une grande stabilité comme la lunette zénithale photographique (qu'on ne peut évidemment pas utiliser en campagne), on obtient des résidus pouvant atteindre $0,04^s$ en représentant la variation de la correction de pendule en fonction du temps par une courbe qui est généralement du deuxième degré s'il s'agit d'une horloge à quartz. Les sauts constatés dans la correction de pendule ne sont pas imputables à l'horloge, mais bien à la détermination de l'heure. Pour diminuer l'influence de ces sauts sur la détermination des longitudes, il est préférable d'augmenter le nombre des soirs d'observation et non pas d'augmenter le nombre d'étoiles observées chaque soir.

LA DÉTERMINATION DES LATITUDES

Les méthodes. Au cours d'un siècle, les méthodes utilisées pour déterminer les latitudes ont beaucoup évolué. Elles ont bénéficié de l'invention de nouvelles lunettes spécialement adaptées à certaines méthodes.

Méthode des distances zénithales méridiennes et circumméridiennes. Cette méthode fut appliquée à l'étoile polaire et à des étoiles culminant au sud du zénith et dont les déclinaisons étaient voisines de $2\varphi - 90^\circ$, φ étant la latitude. L'étoile polaire et les étoiles au sud ont été observées rapidement l'une après l'autre pour éliminer l'influence de la réfraction. On utilisait un théodolite ou un instrument universel.

Méthode par l'observation des passages dans le premier vertical. On a observé les passages dans le premier vertical à l'est puis à l'ouest d'une étoile dont la déclinaison est légèrement inférieure à la latitude, c'est-à-dire qui passe par le premier vertical très près du zénith. L'instrument a été retourné de 180° entre les deux observations.

Méthode des hauteurs égales. Elle a été utilisée avec un astrolabe à prisme de Claude et Driencourt. Connaissant les valeurs approchées de la hauteur d'observation, de la latitude et de la correction de pendule, on obtient des valeurs plus précises grâce à des équations différentielles.

Méthode de Horrebow-Talcott. C'est la méthode pratiquée par les stations internationales de latitude. Elle a été utilisée avec un instrument des passages de Bamberg grâce auquel on mesure la différence de distance zénithale de 2 étoiles culminant à quelques minutes d'intervalle l'une au sud du zénith, l'autre au nord.

Méthode par l'observation des plus grandes digressions de deux étoiles circumpolaires. Cette méthode, proposée en 1855 par J. G. Böhm et reprise en 1952 par W. Embacher, permet de déterminer simultanément la latitude et l'azimut d'un objet terrestre.

Les observations de latitudes

Les observations de latitudes effectuées par les soins de la Commission Géodésique Suisse avaient deux buts : 1° Fixer la position géographique de points fondamentaux du réseau de triangulation suisse ; 2° Calculer la déviation de la verticale en latitude le long d'arcs de méridien. Les premières observations publiées sont celles faites au Rigi-Kulm, au Weissenstein et à l'Observatoire

de Berne. Bien entendu, elles ne sont pas ramenées au pôle moyen de sorte que le centième de seconde n'a guère de sens. L'observateur fut Plantamour. Au Rigi-Kulm (1867) et au Weissenstein (1868), les observations furent faites avec un théodolite d'Ertel par la méthode des distances zénithales méridiennes et par des observations dans le premier vertical (avec α Aurigae). A Berne, le cercle méridien ne permettait que la méthode des distances zénithales méridiennes. Les erreurs des cercles n'ont pas été déterminées. Les erreurs moyennes sont de $\pm 0,031''$ (Rigi-Kulm), $\pm 0,032''$ (Weissenstein) et $\pm 0,13''$ (Berne).

En 1885 et 1886, les ingénieurs Scheiblauser et Haller déterminent les latitudes des points du réseau raccordant la base du Tessin au réseau de triangulation fondamental suisse, c'est-à-dire de Giubiasco, Tiglio, Mognone et Cadenazzo, ainsi que les latitudes du Gäbris et du Simplon. Ils utilisent un instrument universel de Repsold et des observations de distances zénithales méridiennes et de passages dans le premier vertical. Les deux méthodes donnent en général des résultats concordants.

Pour déterminer les déviations de la verticale dans l'ouest de la Suisse, Messerschmitt observe de 1886 à 1892 les latitudes des lieux suivants: Berra, Chasseral, Naye, Lüscherz, Portalban, Chaumont, Tête-de-Rang et Middel. Il se sert du nouvel instrument universel acheté par la Commission Géodésique et dont l'objectif a 55 mm de diamètre et 51 cm de distance focale. Comme méthodes, il s'en tient toujours à la mesure des distances zénithales méridiennes et aux observations de passages dans le premier vertical. Les deux méthodes donnent généralement des résultats concordants, la plus grande différence étant de $0,85''$ (Chasseral). Des observations analogues sont effectuées par le même observateur de 1890 à 1893 en Suisse Centrale et du Nord, toujours pour obtenir la déviation de la verticale en latitude. Concernant la précision des mesures, l'auteur signale qu'il s'est efforcé d'observer des étoiles culminant au sud à la même hauteur que les étoiles nord pour diminuer l'influence de la flexion de la lunette et les anomalies de la réfraction. La flexion de la lunette, proportionnelle au sinus de la distance zénithale, a toujours été trouvée très petite. Les erreurs périodiques de division du cercle vertical ont été tirées des observations. L'erreur moyenne d'une latitude est d'environ $\pm 0,1''$

Comme il existe des différences entre les observations du soir et celles du matin, l'auteur se demande si elles proviennent d'une équation personnelle provoquée par le changement de direction du mouvement. En utilisant un grand nombre de comparaisons, il arrive à la conclusion qu'il existe une équation personnelle d'environ $0,3''$ à $0,4''$ qui fausse d'autant les mesures des

distances zénithales. La différence entre les résultats des distances zénithales et ceux du premier vertical vaut $+0,34''$. On a constaté que pour le premier vertical, l'erreur de pointage est maximum lorsque l'étoile se meut de gauche en haut vers la droite en bas, c'est-à-dire lors du passage est. L'erreur est nulle lorsque l'étoile se meut de gauche en bas vers la droite en haut (passage ouest). A l'est, le passage est compté trop tôt, d'où une latitude trop petite.

Le même observateur Messerschmitt effectue de 1893 à 1898 une série de mesures de latitudes en Suisse allemande dans le but d'étudier le géoïde en utilisant uniquement la méthode des distances zénithales méridiennes. Puis de 1899 à 1903, Theodor Niethammer qui désire obtenir les déviations de la verticale par rapport à Berne observe la latitude à Brigue, Iselle, Rosswald, Oberried, Arpille, Suchet, Dôle, Riffelberg et Râmel. Il a recours à la méthode des distances zénithales méridiennes et à celle du passage par le premier vertical.

Les latitudes de Chanrion, Sauseregg et Boncourt sont mesurées de 1906 à 1908 par Th. Niethammer par la méthode des distances zénithales circum-méridiennes. L'inégalité des tourillons de l'instrument universel de Repsold a été déterminée. *On a muni l'instrument d'un éclairage électrique*, alors que jusqu'à cette date, on avait toujours utilisé un éclairage au gaz. On a mesuré les distances zénithales méridiennes en 8 positions de l'instrument sur 8 étoiles culminant des deux côtés du zénith. L'erreur moyenne est de $\pm 0,13''$ pour Chanrion, de $\pm 0,17''$ pour Sauseregg et Boncourt.

C'est encore pour déterminer les déviations de la verticale que le D^r E. Hunziker observe, de 1916 à 1918, la latitude de 54 stations dans le méridien du St-Gotthard, de Sotteneegg au nord à Ghiridone au sud. Il applique la méthode des hauteurs égales et emploie un astrolabe à prisme de Claude et Driencourt, modèle géodésique Jobin, de 40 mm d'ouverture et 35 cm de distance focale, avec un grossissement de 70 fois. La longueur d'un côté du prisme est de 45 mm. L'erreur moyenne d'une latitude vaut $\pm 0,18''$. *L'observateur a constaté que la distance zénithale instrumentale varie avec la position de l'oculaire; celui-ci ne doit donc pas être déplacé pendant l'observation d'un groupe*. L'oculaire a été muni de 5 fils horizontaux derrière lesquels on observe les passages des deux images pour compléter l'observation de la coïncidence.

La méthode de Horrebow-Talcott a servi en 1938 au D^r P. Engi pour déterminer la latitude de Zurich, Berne et Gurten-Ost (B). Il observait avec un instrument des passages de Bamberg. Les erreurs moyennes sont de $\pm 0,10''$ (Zürich), $\pm 0,07''$ (Berne) et $\pm 0,04''$ Gurten-Ost (B).

Pour étudier le profil du géoïde le long du méridien de Lugano, le D^r Hunziker observe en 1939, avec un astrolabe à prisme, les latitudes de Giubiasco, Medeglia, Lelgio, Lugaggia, Canobbio, Cassarate, Punta di Bissone, Maroggia, Riva S. Vitale, Rancate et Brusata. L'observateur n'enregistre pas seulement les instants des coïncidences, mais aussi les heures des passages de l'image directe et de l'image réfléchie derrière 3 fils horizontaux. La lunette était placée de manière que la coïncidence des deux images se produise près du fil horizontal du milieu, au-dessous de ce fil pour une étoile, au-dessus pour la suivante. On corrigeait ainsi l'influence de l'inclinaison du fil.

En 1939, le D^r P. Engi détermine la latitude du Monte Generoso par la méthode de Horrebow-Talcott; l'erreur moyenne atteint $\pm 0,10''$. La même méthode est employée par le D^r Hunziker pour obtenir, au cours de 4 soirs de l'année 1949, la latitude du Rigi (erreur moyenne $\pm 0,06''$). Puis en 1950, le D^r Engi observe à Cortignelli avec le théodolite T2 de la Maison Wild, ouverture 40 mm, distance focale 148 mm, grossissement 28 fois. Appliquant la méthode des distances zénithales méridiennes, il combine les observations faites avec le cercle à gauche à celles avec le cercle à droite. Avec 20 observations, il arrive à une erreur moyenne de $\pm 0,7''$. Le même théodolite T2 muni d'un prisme additionnel pour le transformer en astrolabe sert en 1951 au D^r Hunziker à observer la latitude sur le toit de l'Ecole polytechnique fédérale avec une erreur moyenne de $\pm 0,6''$. L'auteur a l'impression que par ce procédé, la latitude serait obtenue en un temps plus court si l'on arrivait à obtenir une image indirecte aussi forte que l'image directe.

C'est la méthode des distances zénithales méridiennes avec le théodolite T4 qui a servi en 1953 au D^r Engi dans l'Oberland bernois pour trouver les latitudes de Spiez, Niesen et Daube, avec une erreur moyenne de $\pm 0,21''$ et aux ingénieurs W. Fischer et Hauser en 1954 qui observèrent au Jungfrau-joch et à l'Eggishorn avec une précision du même ordre de grandeur. Au cours de l'année 1955, 4 autres stations sont aussi visitées par l'ingénieur W. Fischer avec 2 aides: Männlichen, Aeschiallmen, Niederhorn et Riederhorn. La précision des mesures va de $\pm 0,08''$ à $\pm 0,17''$. Les observateurs constatent que *les mesures méridiennes sont plus exactes que les mesures circumméridiennes*.

En 1955 encore, les ingénieurs P. Engi et W. Fischer font des essais avec le théodolite T4 à l'Observatoire de Zurich. Ils appliquent la méthode de détermination simultanée de la latitude et de l'azimut d'un objet terrestre par l'observation de plus grandes digressions d'étoiles circumpolaires. Lorsque les conditions sont favorables, il est facile de répéter l'opération 5 fois en un

soir, ce qui donne pour 2 soirs d'observation une erreur moyenne de $\pm 0,425''$ pour l'azimut et de $\pm 0,42''$ pour la latitude.

Mentionnons encore les mesures de latitude faites à Konkordiahütten en 1958 avec le théodolite DKM5-A de la maison Kern, avec une erreur moyenne de $\pm 0,17''$ par l'ingénieur N. Wunderlin.

Conclusions

La plupart des méthodes connues de détermination de la latitude ont été employées par les observateurs de la Commission Géodésique Suisse: méthode des distances zénithales méridiennes et circumméridiennes, méthode des passages dans le premier vertical, méthode des hauteurs égales, méthode d'Horrebow-Talcott, méthode des plus grandes digressions d'étoiles circumpolaires. Toute une gamme d'instruments divers a servi à effectuer ces observations. Il est clair que la précision exigée n'est pas la même suivant le but que l'on se propose. S'il s'agit de déterminer la latitude pour contrôler les déplacements du pôle, une très grande précision est de rigueur. Pour les mesures de déviations de la verticale, on est beaucoup moins exigeant. D'autres facteurs que la précision entrent aussi en ligne de compte: durée des observations, personnel nécessaire, ampleur des calculs de réduction, etc., c'est-à-dire surtout des questions financières.

Concernant la précision, les observateurs nous fournissent généralement des indications très complètes sur l'erreur moyenne de la latitude déterminée, erreur qui varie entre quelques centièmes et quelques dixièmes de seconde d'arc. Comme pour les longitudes, on s'exposerait à des mécomptes en s'imaginant que l'écart entre la valeur mesurée de la latitude et la valeur exacte est de l'ordre de grandeur de l'erreur moyenne. *Cette dernière nous renseigne sur l'homogénéité des observations*, mais elle laisse de côté les erreurs systématiques souvent notables, attribuables à l'instrument, à l'observateur ou aux conditions météorologiques.

La méthode la plus employée est celle des distances zénithales méridiennes ou circumméridiennes. Elle présente l'avantage de ne pas nécessiter de calculs préliminaires ennuyeux. En revanche, elle fait appel à un cercle divisé dont les erreurs de division sont généralement mal connues. C'est l'inconvénient de la méthode, mais on ne l'emploie que lorsque sa précision suffit. Les observations méridiennes donnent de meilleurs résultats que les observations circumméridiennes.

Les stations internationales de latitude utilisent la méthode d'Horrebow-Talcott. Elle est très avantageuse du point de vue observation et précision car *seule une réfraction différentielle entre en ligne de compte*. Concernant les étoiles de chaque paire, on ne peut pas toujours porter son choix sur celles qui figurent dans les éphémérides astronomiques, c'est-à-dire dont les positions apparentes sont déjà calculées, d'où un travail de calcul supplémentaire.

Depuis longtemps, les ingénieurs de la Commission Géodésique Suisse ont renoncé à la méthode des passages par le premier vertical. Sa précision semble être un peu moins bonne que celle des distances zénithales méridiennes. Elle a cependant l'avantage de ne pas utiliser de cercle divisé, les calculs de réduction sont relativement simples et comme on observe très près du zénith, la réfraction a une très faible influence.

Il nous reste à parler de la méthode des hauteurs égales pratiquée avec un astrolabe à prisme. Du point de vue de la précision, elle peut certainement rivaliser avec la méthode d'Horrebow-Talcott si l'instrument est bien construit et si, en particulier, le prisme ne s'écarte pas trop de la forme équilatérale théorique. Cependant, l'ingénieur de la Commission Géodésique Suisse qui a utilisé l'astrolabe conçu par Claude et Driencourt a constaté, comme tous les astronomes, qu'une modification de la mise au point de l'oculaire change la hauteur d'observation. Ce grave inconvénient a disparu dans le modèle modifié par le professeur André Danjon qui prolonge la coïncidence des deux images au moyen d'un prisme de Wollaston et enregistre les observations par un dispositif analogue au micromètre impersonnel de Repsold. Nous ignorons si cet astrolabe pourrait être facilement utilisé en campagne, éventuellement sous une forme réduite. Il aurait l'avantage de donner l'heure et la latitude du même coup avec une grande précision et de permettre l'emploi d'étoiles dont les positions apparentes figurent dans les éphémérides astronomiques. Le seul inconvénient est le travail de préparation des tables donnant l'heure où chaque étoile atteint la hauteur de 60° ainsi que son azimut à ce moment-là.

LA DÉTERMINATION DES AZIMUTS

Les méthodes. Au cours du siècle qui vient de s'écouler, trois méthodes de détermination de l'azimut ont été utilisées par les géodésiens suisses.

Méthode par l'observation de la polaire. C'est la plus connue.

Méthode par l'observation des plus grandes digressions de deux étoiles circum-polaires. Nous en avons parlé à propos de la détermination de la latitude.

Méthode par l'observation des passages d'un couple d'étoiles par un vertical très voisin de celui de l'objet terrestre. La méthode comprend l'observation des passages de couples d'étoiles dans un instrument dont le plan perpendiculaire à l'axe de rotation se trouve très voisin du vertical de l'objet. Le petit angle entre l'azimut de ce plan et celui de l'objet est mesuré à l'aide d'un micromètre. On utilise un instrument des passages de Bamberg.

Précision des différentes méthodes. Comme l'a fait remarquer le D^r P. Engi, la méthode par l'observation des plus grandes digressions de deux étoiles circumpolaires est un peu plus précise que celle par l'observation de la polaire. L'erreur moyenne pour 6 mesures d'azimut est de $\pm 0,55''$ par le premier procédé et de $\pm 0,61''$ par le second. Mais la méthode consistant à mettre l'instrument dans un vertical très voisin de celui de l'objet est encore plus précise car on élimine ainsi toute influence des erreurs de division du cercle horizontal. L'azimut instrumental est fourni exclusivement par des mesures de passages et l'azimut de l'objet est raccordé à cet azimut instrumental par des mesures micrométrique. Pour 19 couples d'étoiles, on arrive à une erreur moyenne de $\pm 0,17''$ et pour 80 couples répartis sur 9 jours à $\pm 0,10''$. Si l'on désire une grande précision, c'est donc à cette méthode que l'on aura recours, mais il est clair qu'elle demande un travail plus considérable que la méthode par l'observation de l'étoile polaire.

Bibliographie

Nous avons consulté: Les publications de la Commission Géodésique Suisse, Das Schweizerische Dreiecknetz, Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Procès-verbaux de la Commission Géodésique Suisse, et en outre:

RAOUL GAUTIER. La Commission Géodésique Suisse. Tirage à part du volume L des Nouveaux Mémoires de la Société Helvétique des Sciences Naturelles: Centenaire. 1915.

EDMOND GUYOT. Etude sur l'instrument des passages et la détermination de l'heure. Neuchâtel 1931.

N. STOYKO. Sur la mesure du temps et les problèmes qui s'y rattachent, Paris 1931.

VII. Das Geoid in der Schweiz

von M. Schürer

Eine der vornehmsten Aufgaben der SGK ist sicher die Bestimmung des Geoids in der Schweiz. In seinem «Exposé historique des travaux de la Commission de 1862 à 1892» schreibt R. Gautier (P.V. 1893, p. 39)¹: «Mais leurs (Bessel u. a.) recherches ont aussi prouvé que, en différents lieux, la figure de la terre diffère sensiblement de cette forme géométrique (Rotationsellipsoid); et c'est ainsi que s'est posé le nouveau problème de déterminer toutes ces variations locales, afin d'en déduire la connaissance du sphéroïde terrestre, de ce qu'on est convenu d'appeler le géoïde.» R. Gautier führt dann weiter aus, daß diese Aufgabe General Baeyer veranlaßt habe, internationale Zusammenarbeit zu suchen, und daß dies die eigentliche Veranlassung zur Gründung der SGK war. Und weiter schreibt er (p. 63): «Ces déviations (des Lotes) sont un des sujets d'études les plus importants de la géodésie moderne... La Suisse ne pouvait rester en arrière dans ce domaine.» Und aus Anlaß des 50jährigen Bestehens der Kommission schreibt derselbe Autor (P.V. 1914, p. 52): «La détermination des déviations de la verticale est toujours au premier plan des préoccupations des géodésiens pour déterminer la vraie surface physique de la terre, le géoïde.» (p. 69): «La connaissance des déviations de la verticale en Suisse doit être complétée par des mesures de latitude et d'azimut dans un certain nombre de stations astronomiques situées surtout dans les régions orientales de notre pays.» Seither hat die Kommission auf diesem Gebiet zwar erhebliche Arbeit geleistet und auch neue Methoden zur Lösung der Aufgabe angewandt, ohne jedoch die Arbeiten zu einem befriedigenden Abschluß zu

¹ P.V.: Procès-verbal de la X^e séance de la Commission géodésique suisse.

bringen. Nach einem Überblick über die bisher beobachteten und berechneten Lotabweichungen sollen deshalb Vorschläge gemacht werden, die zu einem Abschluß der bisherigen Arbeiten führen könnten.

BEOBSACHTETE LOTABWEICHUNGEN

Die vordringlichste Aufgabe der Kommission zur Zeit ihrer Gründung war die Messung des Schweizerischen Dreiecknetzes für die von Baeyer angeregte Gradmessungstriangulation mit den dazu gehörigen Basismessungen. Bei der Ausgleichung des Tessiner Basisnetzes kamen dabei so große Widersprüche zum Vorschein, daß nach andern Ursachen als nach Meßfehlern gesucht werden mußte. In Frage kamen Lateralrefraktionen und Lotabweichungen (Bd. IV)². Haller und Scheiblauser plädierten für Lotabweichungen. Scheiblauser berechnete Lotabweichungen aus den genannten Widersprüchen. Die mittleren Fehler waren aber größer als die so berechneten Lotabweichungen selber. Eine zweite Netzausgleichung mit Bestimmung der Lotablenkungen nach der sichtbaren Bodengestalt ergab für die Dreiecksschlüsse fast ebenso gute Resultate. 1886 beschloß die Kommission (P.V. 1886, p. 12), zuerst auf vier Punkten des Tessiner Basisnetzes Lotabweichungen mit Hilfe von astronomischen Breiten- und Azimutmessungen bestimmen zu lassen und dann später auch auf den Punkten der Basisnetze von Aarberg und Weinfelden. Daß sich die Anziehung der Alpen aus den Messungen geringer ergab, als aus den sichtbaren Maßen errechnet wurde (P.V. 1887, p. 15), war für die Kommission anscheinend eine Überraschung, obschon Pratt und Airy die Hypothese der Isostasie im Jahre 1855 aufgestellt hatten. Die Messungen der Lotablenkung in Lüscherz im Aarberger Netz im Jahre 1886 und eine Überschlagsrechnung zeigten, daß sich die Berücksichtigung der Lotablenkungen nicht lohnen würde, ebensowenig im Weinfelder Basisnetz, da die Lotabweichungen in den einzelnen Punkten dieser Netze sich wenig voneinander unterscheiden und damit auf die Winkel einen geringen Einfluß ausüben³. Das Interesse an den Lotablenkungen war aber geweckt worden, und man beschloß, auf den offensichtlich lokalpatriotisch gefärbten Vorschlag von A. Hirsch

² Bezieht sich auf die Bände « Das schweizerische Dreiecknetz » bzw. « Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz ».

³ Bei der neuen Rheintaler Basis ist jedoch diesem Einfluß wieder die volle Aufmerksamkeit geschenkt worden, und es wurden sogar Schweremessungen zur Ermittlung der Lotkrümmung angestellt.

einzufragen und Lotabweichungen im Meridian von Neuenburg zu bestimmen.

Damit war der Anfang für eine Reihe von Beobachtungen gemacht, die zu Lotabweichungsbestimmungen in etwa 60 Punkten, zur Hauptsache mittels Breiten- und Azimutbestimmungen, führten und ihren Niederschlag in einer Arbeit von Messerschmidt, «Das Geoid der Schweiz» (Bd. IX, 1901), fanden. Messerschmidt verwandte dazu Beobachtungen in den Meridianen von Neuenburg (Bd. VI), Bern (Bd. VIII), Simplon, St. Gotthard und Gäbris (Bd. IX) und in den Parallelen $47,0^\circ$ (Bd. VIII) und $47,4^\circ$ (Bd. IX). Das Verfahren ist prinzipiell dasjenige des sogenannten astronomischen Nivellements. In einem rechtwinkligen Koordinatensystem trägt man auf der Abszisse die Meridianbogen- bzw. Parallelkreisbogenlänge, auf der Ordinate die in den Meridian bzw. den Parallel fallende Komponente der Lotabweichung ab. Die erhaltenen Punkte verbindet man durch eine möglichst schlanke Kurve, die nun mittels eines Planimeters beispielsweise integriert werden kann und so die Höhe des Geoids über dem Referenzellipsoid ergibt. Messerschmidt faßte diese Aufgabe ziemlich großzügig an. Die verwandten Punkte lagen oft bei weitem nicht immer in der Nähe eines Meridians oder eines Parallels und zudem so weit auseinander, daß die genannte schlanke Kurve die Lotabweichungen in den Zwischenpunkten kaum mehr richtig interpolierte. In großen Zügen vermag seine Bestimmung des Geoids den Verlauf wiederzugeben. Sein Geoid erhebt sich in den Alpen auf fast 5 Meter, während die neueren Messungen nur ungefähr 2 Meter ergeben, und seine Schätzungen des möglichen Fehlers in der Geoidhöhe von 0,5 m dürfte sicher zu optimistisch gewesen sein. Seiner Geoidbestimmung können zwei wesentliche Mängel vorgeworfen werden:

1. Die Lotabweichungskomponenten in der West-Ost-Richtung wurden, wie erwähnt, zur Hauptsache aus Azimutbestimmungen abgeleitet. Nun beruht aber bis heute die Orientierung unseres Triangulationsnetzes auf einer einzigen und zudem noch fragwürdigen astronomischen Azimutbestimmung, der Azimutbestimmung des Blitzableiters eines Hauses auf dem Gurten, den Plantamour noch im Gesichtsfeld des Meridiankreises der alten Sternwarte Bern hatte, und der ihm als Mire bei seinen Längenbestimmungen im Jahre 1869 diente. (E. Plantamour et A. Hirsch, *Détermination télégraphique de longitude entre des stations suisses*, 1872, und F. Flury, *Beitrag zur Geschichte der Astronomie in Bern*, Mitt. d. NGB 1928, p. 222 ff.) Mit dem Okularmikrometer wurde der Abstand des Blitzableiters vom Mittelfaden ausgemessen, und es ergab sich daraus ein Azimut des Blitzableiters von $180^\circ 0' 37,59'' \pm 0,23''$, selbstverständlich ohne Berücksichtigung der Polhöfenschwankung.

Mit Hilfe eines Theodoliten hat dann Jacky dieses Azimut im Jahre 1876 auf das Azimut Bern–Chasseral übertragen. Diese Orientierung unserer schweizerischen Triangulation dürfte wohl heute noch der schwächste Punkt in den geodätischen Grundlagen unseres Landes sein. Insbesondere geht ihr Fehler ganz in sämtliche geodätische Azimutbestimmungen ein und damit auch in die Ost–West-Komponenten der Lotabweichungen. Die seither durchgeführten Beobachtungen auf Laplace-Punkten ergaben denn auch die folgenden Widersprüche, die ein offensichtlich systematisches Verhalten zeigen und eine Verdrehung des Triangulationsnetzes um 2" bis 3" vermuten lassen:

$$\alpha_a - \alpha_g - (\lambda_a - \lambda_g) \sin \varphi^4$$

Weißenstein	+ 3,6"	}	Bd. VIII, p. 187
Neuenburg	+ 3,4"		
Pfänder	- 3,2"	}	Bd. IX, p. 188
Gäbris	+ 1,6"		
Simplon	+ 3,6"		
Zürich	+ 2,9"		
Rigi	+ 2,2"		
Gurten	+ 0,5"	P.V. 1946, p. 22	
Rigi	+ 1,9"	P.V. 1950, p. 28	

2. Die Ableitung des Geoids aus den derart beobachteten Lotabweichungen in Punkten, die im Mittel etwa 30 km auseinander liegen, ist sicher, wie schon erwähnt, anfechtbar. Die Lotabweichungen zeigen ein bewegtes Verhalten, und schon relativ bescheidene lokale Erhebungen oder Täler beeinflussen sie wesentlich. Dieser Fehler kann nur behoben werden, wenn entweder die Beobachtungspunkte dichter gelegt oder die beobachteten Lotabweichungen von den lokalen Einflüssen (im Umkreis von 5 km oder 10 km) befreit werden.

Im Jahre 1902 wurde eine Subkommission gebildet, die sich mit dem Programm für künftig auszuführende Arbeiten zu befassen hatte. Diese schlug vor, auf weiteren Punkten in den Meridianen von Neuchâtel, Bern, Simplon, St. Gotthard, Generoso, Gäbris, Flüela und Samnaun, ferner in den Parallel-

⁴ α_a, α_g = astronom. bzw. geod. bestimmtes Azimut
 λ_a, λ_g = geogr. Länge, positiv nach Osten
 φ = geogr. Breite

kreisen von ca. 46° , $46\frac{1}{2}^\circ$, 47° und $47\frac{1}{2}^\circ$ Lotabweichungen zu beobachten. In Bd. X: «Relative Lotabweichungen gegen Bern» von A. Riggenbach, findet man eine Zusammenstellung der Werte der Lotabweichungen für die bis Ende 1905 beobachteten 60 Stationen mit genauen Quellenangaben. Seit diesem Zeitpunkt wurden von Niethammer nur noch drei Polhöhen auf den Stationen Chanrion, Sauseregg und Boncourt bestimmt (Bd. XIII), ohne daß man es aber der Mühe wert fand, auch nur die Lotabweichungskomponenten auszurechnen. Um die Ost-West-Komponente sicherer erhalten zu können, wurden auch astronomische Längenbestimmungen vorgeschlagen, die dann in der Folge zu dem heute umstrittenen umfangreichen Programm der Längenbestimmungen in der Schweiz führten. Eine Zusammenstellung der beobachteten Längen findet sich am Ende des Bandes XXI, aus denen sich sofort die Lotabweichungskomponenten in Ost-West-Richtung ableiten ließen. Auf den Punkten Brig, Bellinzona, Chur und Poschiavo liegen keine Breitenbestimmungen vor. Es wäre angezeigt, dies noch nachzuholen. Die Längenbestimmungen und die noch nachzuholenden Breitenbestimmungen ergäben dann wenigstens beide Komponenten der Lotabweichungen. Ein anderer Nutzen kann ja aus diesen Längenbestimmungen nicht gezogen werden, da die Beobachtungsorte sich kaum als Laplace-Punkte eignen würden.

Dieselbe Kommission holte auch ein Gutachten Helmerts ein, das in der Folge die ganze Arbeitsrichtung der Geoidbestimmung in der Schweiz beeinflussen sollte. Er schlug vor, ein astronomisches Nivellement im Meridian des Gotthard ausführen zu lassen, wobei die Breitenstationen in Abständen von 3 bis 5 km zu liegen hätten, um die Variationen der Lotabweichungen in sämtlichen Details zu erhalten (P.V. 1903, p. 13). Rosenmund und Rebstein legten 1905 der Kommission ein diesbezügliches detailliertes Programm vor. In den folgenden Jahren waren die Ingenieure der Kommission aber hauptsächlich mit Schweremessungen und Messungen der genannten Längendifferenzen beschäftigt. Erst im Jahre 1916 konnte man wieder an dieses Nivellement denken, und es wurde ein neues Programm, bei welchem keine Übergänge auf verschiedene Meridiane wie beim früheren vorkamen, von Baeschlin aufgestellt. Die Breitenbestimmungen wurden 1916 und 1918 mit Hilfe eines Prismen-Astrolabs ausgeführt. Die Reduktion konnte erst im Jahre 1930, wegen Inanspruchnahme durch Längenbestimmungen, vervollständigt werden (Bd. XIX). In den folgenden Jahren leitete Niethammer daraus die Geoid-Erhebungen und den Verlauf des Geoid-Schnittes her (Bd. XX). Wie aus dem Vorwort zu Band XIX hervorgeht, bestand die Absicht, in der Folge

zwei bis drei Ost–West-Profile und weitere Meridian-Profile in derselben Art bearbeiten zu lassen. 1934–36 wurden dann auch Längenbestimmungen im Parallelkreis der Eidgenössischen Sternwarte zu Zürich (Einbeobachter-Längen mit Hilfe von Durchgangsinstrumenten) angestellt, und das entsprechende Geoid-Profil abgeleitet (Bd. XXII). Da das Geoid-Profil im Meridian des St. Gotthard am S-Ende stark abfällt, war es wünschenswert, dasselbe nach Süden zu verlängern. Um die Messungen ganz auf Schweizer Gebiet anstellen zu können, mußte man die Beobachtungen im Süd-Tessin 25 km nach Osten verlegen und die beiden Meridian-Profile durch ein Ost–West-Profil im Parallelkreis von Locarno verbinden. Die Beobachtungen wurden durch den 2. Weltkrieg unterbrochen und konnten erst in den Jahren 1947/48 vollendet werden (Bd. XXIV).

Die bis jetzt ausgeführten astronomischen Nivellements haben uns wertvolle Aufschlüsse über das Verhalten des Geoids in den beiden Schnitten gegeben. Doch vermögen sie wenig über den Verlauf der Geoid-Fläche in der ganzen Schweiz auszusagen und sollten deshalb durch weitere Schnitte ergänzt werden. Der Aufwand dafür ist aber recht groß, und es ist deshalb zu begrüßen, wenn neue Verfahren geprüft werden.

1950 hat Kobold vorgeschlagen, Lotabweichungen mit Hilfe von Höhenwinkelmessungen nach Villarceau-Finsterwalder zu bestimmen, und es wurde ein erster Versuch im Meridian des St. Gotthards angestellt, der den Vergleich mit dem astronomischen Nivellement aushielt. Eine größer angelegte Untersuchung derselben Art wurde 1953–58 im Berner Oberland und Oberwallis vorgenommen. Sie zeigte, daß mit relativ geringem Aufwand auch über größere Gebiete diese Bestimmungen zu sehr brauchbaren Resultaten führen. Allerdings nur im Hochgebirge; im Flachland vereiteln Refraktionsstörungen den Erfolg⁵.

Es stellt sich nun die dringende Frage, welche Vorkehrungen getroffen werden müssen, um die bisherigen Beobachtungen der Lotabweichungen so weit zu ergänzen, daß ein Geoid für das gesamte Gebiet der Schweiz abgeleitet werden kann. Vorher soll aber auch noch auf die Berechnung der Lotabweichungen und ihren Vergleich mit den Beobachtungen eingegangen werden.

⁵ Siehe auch: P. GLEINSVIK, Studien über die Ermittlung der Geoidform und die Bestimmung von Meereshöhen aus Höhenwinkeln. 1960. Mitt. Geodät. Institut, ETH Zürich.

BERECHNETE LOTABWEICHUNGEN

In der Schweiz hat wohl, noch außerhalb des Rahmens der Kommission, H. Denzler als einer der ersten Berechnungen über die Lotablenkung durchgeführt, Berechnungen, die bis in die vierziger Jahre des letzten Jahrhunderts zurückreichen. (H. Denzler, Die Ablenkung des Senklots durch die Gebirge. Jahrbuch des Schweizer Alpenclub, 1866.) Er hat störende Massen zwischen 18° und 35° östlicher Länge von Ferro und zwischen 42° und 52° nördlicher Breite berücksichtigt, und damit Lotstörungen für Genf, Bern, Zürich, Mailand und Andrate ermittelt. Er fand, daß das Lot beispielsweise in Bern um $7,73''$ gegen Süden und in Mailand $12,38''$ gegen Norden abgelenkt sein müsse. Die Beobachtungen ergaben astronomisch eine gegenüber der geodätischen um $20,3''$ zu große Breitendifferenz, was mit seinen Rechnungen sehr gut übereinstimmte. Er schrieb schon damals: «Bei diesen Berechnungen ist die Bestimmung der mittleren Höhe der einzelnen Gebiete ein zeitraubendes Geschäft», und ersuchte dafür Liebhaber zu gewinnen, denen er einen warmen Nachruf versprach.

Die berechneten Lotabweichungen im Tessiner Basisnetz wurden schon erwähnt und beanspruchen nur ein begrenztes Interesse. Gründlicher sind die Arbeiten von Du Pasquier, die er im Auftrag der Kommission vom Jahre 1891 im Meridian von Neuenburg vornahm und der Kommission als erstes Provisorium im Jahre 1894 vorlegte (P.V. 1894). Du Pasquier konnte diese Arbeit nicht vollenden, und die Vorarbeiten wurden Messerschmidt zum Abschließen übergeben. Dieser verließ die Kommission plötzlich im Jahre 1899. Er erhielt jedoch noch den Auftrag, das Manuskript über die Arbeiten von Du Pasquier fertigzustellen. Sein Interesse daran scheint aber nicht mehr groß gewesen zu sein, und das abgelieferte Manuskript war unbefriedigend (P.V. 1907, p. 27), so daß sich die Kommission entschloß, die Arbeit nicht zu publizieren. Riggensbach schlug vielmehr vor, die Untersuchung über die Anziehung sichtbarer Massen auf eine größere Zahl von Stationen auszudehnen und die Arbeit zum Gegenstand eines Schläfli-Preises der SNG zu machen. Es wurde verlangt, daß die umliegenden Massen bis zu einer Entfernung von 100 km von der Station berücksichtigt werden sollen. Es liefen zwei Arbeiten ein, die 1909 preisgekrönt wurden. Im selben Jahr erschien aber auch die fundamentale Arbeit von Hayford «The figure of the earth and isostasy from measurements in the United States». Die beiden preisgekrönten Arbeiten, wie auch diejenige von Du Pasquier, hatten der Isostasie nicht Rechnung getragen und waren

deshalb überholt. Auch war die Berücksichtigung der Massen nur bis zu 100 km völlig ungenügend, hatte doch schon Denzler gezeigt, daß in Zürich durch Hochasien das Senklot um 3" abgelenkt werde. Man beschloß deshalb, nochmals das Problem als Preisaufgabe für den Schläfli-Preis ausschreiben zu lassen (P.V. 1916). Dabei wurde verlangt, daß für den Punkt Gurten die Topographie der ganzen Erde in Rechnung zu ziehen sei und für die übrigen Punkte die vernachlässigten Partien keinen größeren Einfluß als 0,3" haben sollten. Ferner sollte ohne und mit Berücksichtigung der Isostasie gerechnet werden, mit einer Tiefe der Ausgleichsfläche von 113 km. Die Aufgabe wurde von Lalive und Niethammer gelöst und wegen des ersten Weltkrieges mit einem Jahr Verspätung 1919 eingereicht, und als Band XVII veröffentlicht. Die beobachteten und berechneten Lotabweichungen stimmen im allgemeinen recht gut überein mit Ausnahme der beiden Punkte: St. Gotthard und Generoso. Der Punkt Generoso wurde aus diesem Grunde im Jahre 1939 nochmals beobachtet, aber die alten Beobachtungen wurden bestätigt (Bd. XXIV).

Lotabweichungen wurden schließlich auch noch in den Punkten des astronomischen Nivellements gerechnet. Allerdings war hier der Vergleich mit den Beobachtungen nicht der primäre Anlaß. Da man besonders an den Hängen nicht gut beobachten konnte, die Lotabweichungen aber gerade dort die größten Beträge annehmen, suchte man dieselben rechnerisch zu bestimmen. Zu diesem Zwecke berechnete man die Lotabweichungen isostatisch unter Berücksichtigung der Massen bis zu 70 km Entfernung in den Beobachtungspunkten und subtrahierte die so berechneten Lotabweichungen von den beobachteten. Die Differenzen zeigten als sogenannte reduzierte Lotabweichungen einen viel glatteren Verlauf. An Stellen ohne Beobachtung wurde an die dort einfach zu interpolierende reduzierte Lotabweichung die auf die gleiche Weise errechnete addiert, und man erhielt damit den gewünschten interpolierten Wert. Die reduzierten Lotabweichungen sind nun aber weder Fisch noch Vogel. Die Berücksichtigung der Massen geht zu wenig weit, als daß daraus bindende Schlüsse gezogen werden könnten, und als Darstellung einer «mittleren» Lotabweichung können sie auch nicht dienen, da man für diesen Fall zu weit gegangen ist. Wahrscheinlich hätte für letzteren Zweck die Berücksichtigung der Massen bis zu 5, 10 oder höchstens 20 km völlig ausgereicht. Immerhin zeigen schon diese reduzierten Lotabweichungen im Südtessin ein auffälliges und außerordentlich merkwürdiges Verhalten, das unbedingt noch näher untersucht werden sollte. Die Schweremessungen von

Niethammer haben in der Gegend des Lago Maggiore einen Massenüberschuß nahe der Oberfläche wahrscheinlich gemacht. Es wäre deshalb zu erwarten gewesen, daß das Geoid in dieser Gegend ansteigt. Tatsächlich wird aber ein starkes Abfallen des Geoids gegen die Poebene hin beobachtet. Auch die Diskrepanz der Lotabweichungen auf dem Generoso besitzt gerade das umgekehrte Vorzeichen als erwartet. Die genannte Oberflächenmasse sollte doch das Lot anziehen. Auf dem Generoso ist aber der beobachtete Zenitpunkt gegenüber dem berechneten in Richtung zum Lago Maggiore verschoben, und da gerade aus den von der Norm abweichenden Fällen am meisten gelernt wird, ist eine Abklärung der Verhältnisse im Süd-Tessin, die allerdings auch Beobachtungen im benachbarten Italien erfordert, äußerst wünschenswert. Wir kommen aber damit schon zur Frage der zukünftigen Aufgaben der SGK auf dem Gebiet der Geoidbestimmung, der noch der letzte Teil dieses Berichtes gewidmet sein soll.

VORSCHLAG FÜR KÜNFTIGE UNTERSUCHUNGEN

Um entscheiden zu können, welche Arbeiten für die Geoidbestimmung in der Schweiz in Zukunft noch auszuführen sind, müssen wir uns zuerst über die zu erreichende Näherung einigen. Seiner Natur nach ist es das Problem der Bestimmung einer Fläche aus den an verschiedenen Orten beobachteten Normalen zu ihr. Wir können verschiedene Näherungslösungen dieser Aufgabe unterscheiden:

1. Näherung: Ellipsoid.
2. Näherung: Undulationen von ungefähr 100 m Amplitude, bewirkt durch Kontinente und Meere.
3. Näherung: Undulationen von 1–2 m Amplitude, hervorgerufen durch Gebirgszüge (Jura, nördlicher und südlicher Alpenwall) und größere Massenüberschüsse und Massendefekte in der äußersten Erdrinde.
4. Näherung: Undulationen von ungefähr 1–10 cm Amplitude, verursacht durch einzelne Berge und Bergketten.
5. Näherung: Undulationen, die durch einzelne Felsen, Flußläufe und Hügel entstehen und bis etwa 0,1 mm Amplitude besitzen.

Diese verschiedenen Näherungen unterscheiden sich nicht etwa in der Größenordnung der Lotabweichungen. Letztere sind für die zweite bis vierte

Näherung ungefähr von derselben Größenordnung, nur ihr Wirkungsbereich ist verschieden.

Für die Schweiz als ganzes interessiert uns wohl in erster Linie die 3. Näherung. Die 5. Näherung hat nur ganz lokale Bedeutung und könnte eventuell mit einer Drehwaage bestimmt werden. Auch die 4. Näherung wird stark durch die lokale Topographie beeinflusst, und es fragt sich, ob ein allgemeines Interesse an ihr besteht. Allerdings sind diese Undulationen sehr gut astronomisch nachweisbar und durch die astronomischen Nivellements in der Schweiz beobachtet worden. Prinzipiell kann man sich jedoch fragen, ob man Größen beobachten soll, die ökonomischer durch Rechnung gefunden werden können. Die Betrachtung der Profile der beobachteten Lotabweichungen zeigt uns nämlich, daß beim Übergang über einen Berg dieses Profil jeweils ungefähr sinusförmig verläuft. Dieser Verlauf hätte durch die Anziehung dieses Berges und seiner näheren Umgebung allein berechnet werden können. Da diese sinusförmigen Schwankungen der Lotabweichungen nur lokalen Buckeln in der Geoidfläche entsprechen, könnte man die beobachteten Lotabweichungen von diesen lokalen Einflüssen befreien und die dann wesentlich glattere Lotabweichungskurve integrieren, woraus man die 3. Näherung erhalten würde. Diese 3. Näherung ist durch Rechnung allein nicht mehr zu bestimmen, da sie ja, wie oben erwähnt, auch noch durch oberflächliche Massenüberschüsse und Massendefekte beeinflusst wird, die gerade durch diese Beobachtungen erkannt werden können. Die durch das erwähnte Verfahren erreichte Vereinfachung könnte es ermöglichen, das Geoid 3. Näherung nicht nur in Profilen, sondern über die ganze Fläche der Schweiz zu bestimmen. Selbstverständlich ist die damit erreichbare Genauigkeit geringer als nach der Methode des astronomischen Nivellements. Man könnte aber diese gewonnene Fläche benützen, um Abweichungen der Lotstörungen von einem einigermaßen normalen Verhalten zu bestimmen, und das dürfte ja auch der Hauptzweck all dieser Geoiduntersuchungen sein. Wir möchten deshalb das folgende zukünftige Programm zur Diskussion stellen:

1. Es ist das Geoid 3. Näherung in der Schweiz zu bestimmen. Dazu sind die alten Messungen sehr wohl noch verwendbar und müssen nur an einigen Stellen ergänzt werden, vor allem im Wallis und in Graubünden, was teilweise mit Hilfe der bereits bewährten Höhenwinkelmessung geschehen könnte. Alle Lotabweichungen müssen durch Berücksichtigung lokaler Störungen auf solche des Geoids 3. Näherung reduziert werden. Zur Bestimmung der geodätischen Koordinaten ist eine Ausgleichung unseres Triangulationsnetzes mit

Hilfe von Laplace-Punkten unbedingt erforderlich. Erste Versuche (Schürer, Verh. der SNG 1951, p. 102) haben gezeigt, daß es mit den so reduzierten Lotabweichungen möglich sein könnte, durch Ausgleichung die Geoidfläche in der Schweiz (Höhen über dem Referenzellipsoid) mittels eines zweidimensionalen Polynoms von der Form

$$z = \sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^n a_{ik} x^i y^k, \text{ wo } i + k \leq h$$

darzustellen. Man erhält dann für die Lotabweichungskomponenten

$$\xi = \frac{\partial z}{\partial x} \text{ und } \eta = \frac{\partial z}{\partial y}$$

Fehlergleichungen mit den unbekanntem Koeffizienten a_{ik} , im ganzen $\frac{(n+1)(n+2)}{2} - 1$ Gleichungen ($a_{00} = 0$). n sollte mindestens = 5 ge-

nommen werden, was auf 20 Unbekannte führt. Selbstverständlich würde damit den Beobachtungen ein gewisser Zwang angetan. Eine graphische Darstellung der Differenzen der beobachteten (und für die lokalen Einflüsse reduzierten) Lotabweichungen und der ausgeglichenen Werte würde aber bald erkennen lassen, wo Anomalien oder Zwänge vorliegen, und die Geoiddarstellung ließe sich dann dort noch lokal verbessern.

2. Aufschlußreich wären weiter zum mindesten je ein zweites Meridian- und Parallelkreisprofil, etwa im Meridian des Gurten und im Parallel von Brig. Man hätte damit ein geschlossenes Rechteck von Profilen mit einer Kontrolle. Einzelne Stücke der Profile im Hochgebirge könnten wiederum mit Höhenwinkeln gemessen werden.

3. Vom wissenschaftlichen Standpunkte aus ist es bedauerlich, wenn man die Bestimmung des Geoids auf unser Land beschränken muß. Vor allem fehlt uns der Südabfall der Alpen. Die Festlegung des Geoids auf einem 200 bis 300 km breiten Streifen senkrecht zu den Alpen in nordwest-südöstlicher Richtung durch unser Land und bis in die Poebene dürfte ein großes Interesse vor allem auch bei den Geologen beanspruchen.

4. Nach Durchführung des bisher erwähnten Programms würde man sicher auf Anomalien stoßen, die es durch Detailuntersuchungen zu erforschen gälte. Schon jetzt kann die Ivreazone als ein derartiges Gebiet namhaft gemacht werden. Allerdings sind auch in diesem Falle wieder Messungen auf italienischem Gebiete notwendig.

Die Durchführung des ersten Programmpunktes ließe sich wohl in absehbarer Zeit bewerkstelligen. Die Beobachtungen der Kommission in den letzten hundert Jahren würden damit zu Ehren gezogen und nicht in Vergessenheit geraten, wie jetzt noch befürchtet werden muß.

MITGLIEDER DER SCHWEIZERISCHEN GEODÄTISCHEN KOMMISSION
 ENDE 1961

<i>Name</i>	<i>ernannt</i>
F. Gassmann, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich ..	1943
M. de Raemy, a.Vice-Direktor der Eidg. Landestopographie, Bern	1943
M. Schürer, Universität Bern	1946
F. Kobold, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich	1947
W. K. Bachmann, Ecole polyt. de l'Université Lausanne	1947
E. Guyot, Université, Neuchâtel	1948
M. Waldmeier, Eidgenössische Sternwarte, Zürich	1948
S. Bertschmann, a.Direktor der Eidg. Landestopographie, Zürich	1955
J.-P. Blaser, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich	1958
E. Huber, Direktor der Eidg. Landestopographie, Bern	1959

PRÄSIDENTEN DER SCHWEIZERISCHEN GEODÄTISCHEN KOMMISSION
WÄHREND IHRES HUNDERTJÄHRIGEN BESTEHENS VON 1861–1961

<i>Name</i>	<i>Dauer der Präsidentschaft</i>	<i>gestorben</i>
General H. Dufour, Ehrenpräsident	1861–1873	1875
R. Wolf	1861–1893	1893
A. Hirsch	1894–1901	1901
J.-J. Lochmann, Präsident	1901–1920	1923
Ehrenpräsident	1920–1923	
R. Gautier	1920–1931	1931
C. F. Baeschlin, Präsident	1932–1958	1961
Ehrenpräsident	1958–1961	
F. Kobold	1958–1961	

INHALTSVERZEICHNIS

Zum Geleit von F. Kobold	3
I. Hundert Jahre Schweizerische Geodätische Kommission. Entstehung, Arbeiten, Ausblick von F. Kobold	5
II. La Triangulation par M. de Raemy	26
III. Die Arbeiten der Schweizerischen Geodätischen Kommission am schweizerischen Landesnivellement nach einem Manuskriptentwurf von C. F. Baeschlin, bearbeitet von F. Kobold und mit einem Nachtrag von M. Schürer.....	36
IV. Die Schweremessungen der Schweizerischen Geodätischen Kom- mission von E. Hunziker	53
V. Stand und Aufgabe der geodätischen Gravimetrik in der Schweiz von F. Gassmann	71
VI. Les observations astronomiques par Edmund Guyot	78
VII. Das Geoid in der Schweiz von M. Schürer	94
Verzeichnis der Mitglieder der Schweizerischen Geodätischen Kom- mission Ende 1961	106
Verzeichnis der Präsidenten und der Mitglieder der Schweizeri- schen Geodätischen Kommission während ihres hundertjährigen Bestehens von 1861–1961	107