

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Band: 75 (1977)
Heft: 7

Artikel: Landestriangulation der Schweiz : Rückblick, Umschau und Vorschläge für die zukünftige Entwicklung
Autor: Matthias, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-228768>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Landstriangulation der Schweiz

Rückblick, Umschau und Vorschläge für die zukünftige Entwicklung

H. Matthias

Résumé

En Suisse, l'état de la triangulation est remarquable, que ce soit pour la densité des points, leur repérage, la précision, la sécurité et la conservation.

On constate un développement extraordinaire dans la construction des instruments et des méthodes en géodésie. Le but et la signification de la triangulation évoluent parallèlement.

Il y a lieu de temps à autre de faire le point sur l'évolution de la mensuration et d'en définir clairement le sens. Cela est valable bien sûr pour tous les domaines de la géodésie et des mensurations en général.

Cet exposé est un élément de discussion et contient des propositions pour une conception d'avenir de notre mensuration nationale.

1. Einleitung, Zweck des Aufsatzes

Am 19./20. März 1976 veranstaltete der SVVK, Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik und das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich unter der Leitung von Prof. R. Conzett eine Informationstagung zum Thema Triangulation. Der Autor hielt dabei einen Vortrag über Bedeutung, Grundlagen und Durchführung der Triangulation. Die darin zum Ausdruck gebrachten Ansichten über die zukünftige Entwicklung sollen hier wiedergegeben werden.

Die Triangulation in der Schweiz, Punktdichte, Punktversicherung, Genauigkeit, Zuverlässigkeit, und die ständigen Anstrengungen für die Erhaltung des Werkes weisen einen beachtlichen Stand auf. Die Geodäsie steht aber mitten in einer ausserordentlichen Entwicklung von Instrumenten und Methoden. Dasselbe gilt für den Zweck und die Bedeutung der Triangulation. Es gilt, sich darüber von Zeit zu Zeit Rechenschaft abzulegen und zu klaren Vorstellungen über die sinnvolle Fortentwicklung der Landesvermessung zu kommen. Selbstverständlich gilt das für alle Bereiche der Geodäsie und des allgemeinen Vermessungswesens. Dieser Aufsatz ist ein Diskussionsbeitrag und enthält Vorschläge zu einem Zukunftskonzept für die Landesvermessung.

Inhalt

1. Einleitung, Zweck des Aufsatzes
2. Überblick über die Triangulationsarbeiten in der Schweiz
3. Entwicklung der Instrumente und Methoden in den letzten Jahrzehnten
4. Zu den Begriffen Triangulation und geodätische Netze
5. Beurteilung der aktuellen Triangulation mit Bezug auf die bisherige Zweckbestimmung

6. Vorschläge für die erweiterte, zukünftige Zweckbestimmung der Landesnetze
7. Vorschläge für die zukünftigen Arbeiten
8. Schlussbemerkungen, Literatur

2. Überblick über die Triangulationsarbeiten in der Schweiz

In diesem Kapitel wird in geraffter Form über die Geschichte der Triangulationen in der Schweiz berichtet. Sicher finden diese Ausführungen allgemeines Interesse. In jedem Fall ist der Werdegang der heutigen Grundlagen aber für denjenigen unabdingbar, der sich über die zukünftige Entwicklung Gedanken machen will.

1780–1832

Trigonometrische Arbeiten vor G. H. Dufour (1)

Regionale und kantonale Triangulationen mit Basismessungen, astronomischen Beobachtungen und Nivellementen als Grundlage für Plan- oder Kartenwerke von einzelnen Regionen und Kantonen.

Beginn einer Triangulation der Schweiz durch französische Ingenieur-Geographen.

Die helvetische Regierung ist bestrebt, alle bisherigen trigonometrischen Unterlagen sowie Karten und Pläne von Gemeinden, Bezirken und Kantonen zu sammeln und zu ordnen. Arbeiten an einer eidgenössischen Triangulation, mit der das Topographische Büro (T+B) beim Oberstquartiermeisterstab erstmals 1810 beauftragt wird.

1832–1864

Periode von General G. H. Dufour (1)

Triangulation Primordiale

Zwei Kommissionssitzungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (SNG) 1832 und 1836 legen die Ziele fest. Die Triangulation dient der Landesaufnahme für die Dufourkarte im Massstab 1:100 000. 1835 gelingt der Alpenübergang. Netzteile aus der früheren Epoche werden verwendet. 75 Punkte. MF¹ Winkel ca. 1", 5. Vom geodätischen Datum sind bekannt: Nullpunkt Sternwarte Bern Bo: 46° 57' 06", 02; Lo: 5° 06' 10", 80; AZ o-Chasseral: 305° 11' 34", 4; Basislänge Walperswil reduziert auf Meereshorizont: 13 053,74 m. Ellipsoid von Schumacher. Ausgangshorizont Chasseral: 1609,57 m ü. M. (Dies entspricht Repère Pierre du Niton RPN 376,86 m ü. M.).

Sekundäre Triangulationen

In den allermeisten Kantonen werden derartige Triangulationen als Grundlage für die topographischen Aufnahmen in den Massstäben 1:25 000 und 1:50 000 ausgeführt. Die aus der früheren Periode bestehenden Triangulationen und Aufnahmen im Bistum Basel und den Kantonen Neuenburg und Solothurn werden übernommen.

¹ MF: Mittlerer Fehler a posteriori

1862–1910

Geodätische Kommission, Siegfriedatlas und Forstvermessungen (1)²

Die Schweizerische Geodätische Kommission (SGK) wird 1861 im Schoss der SNG gegründet.

Netz I. Ordnung der SGK

Die Messung und die Berechnung erfolgen in den Jahren 1854–1879 als Teil der Mitteleuropäischen Gradmessung. 29 Punkte exkl. die Basisnetze und Anschlussnetze für die Sternwarten Bern, Genf, Neuenburg und Zürich. Bedingte Ausgleichung mit 53 Bedingungen. MF Winkel 1", 3. Zum geodätischen Datum: Nullpunkt Sternwarte Bern Bo: 46° 57' 08", 66; Lo: Annahme 0°, 0; AZ o-Gurten: 180° 0' 37", 59 (o-Chasseral 305° 11' 33", 23). Auf Meereshorizont reduzierte Basislängen Aarberg: 2400, 1112 m, MF 0,9 mm; Weinfeld 2540, 3353 m, MF 1,3 mm; Bellinzona 3200, 4084 m, MF 1,3 mm.

Präzisionsnivellement der Schweiz der SGK

1864–1891 werden die ca. 4300 km messenden Linien mit 2200 Fixpunkten mit Zentimeterlatten und mm-Schätzung gemessen. Gesamtausgleichung ohne Schwere-reduktionen. MF 1 km Doppelniv. 3,8 mm. Die Linie Chasseral–RPN führt unter Verwendung der Höhe für Chasseral aus der Dufourperiode auf RPN 376,86 m.

Triangulationen in den Kantonen

In allen Kantonen wird intensiv trianguliert. Dafür gibt es drei Gründe. Einmal sind es die beiden Bundesgesetze von 1868 über die Publikation der topographischen Aufnahmen und über die Fortsetzung der topographischen Aufnahmen. Sie führen zum Siegfriedatlas. Für die topographischen Revisionsarbeiten und für Neuaufnahmen sind Triangulationen erforderlich. Dasselbe gilt sodann für den Vollzug des Schweizerischen Forstgesetzes von 1878 und des Bundesgesetzes betreffend die eidgenössische Oberaufsicht des Bundes über die Forstpolizei von 1902. Endlich werden in einzelnen Kantonen trigonometrische Punkte für Katastervermessungen benötigt. Am Ende dieser Periode besteht leider ein grosser Mangel an Systematik und Einheitlichkeit. Teils wird von vorläufigen und teils von definitiven Koordinaten für die Punkte des SGK-Netzes ausgegangen. Den Projektions-systemen der Kantone werden besondere Nullpunkte mit verschiedenen Höhenhorizonten zugrunde gelegt.

Versicherungsnivellement

Von 1893–1907 führt das T+B diese Arbeit durch. Es werden zahlreiche bereits zerstörte Fixpunkte des Präzisionsnivellementes der SGK neu gesetzt und bestimmt, einzelne Linien werden nachgemessen sowie die Pegel des hydrometrischen Dienstes an Aare, Reuss und Thur angeschlossen.

² In den mit dieser Fussnote versehenen Zeitabschnitten spielen Triangulationen für Vermessungsarbeiten im Ingenieurwesen eine wichtige Rolle. Dazu gehören Tunnels und Stollen für Verkehrs- und Wasserkraftanlagen sowie Gelände- und Bauwerküberwachung. Davon wird hier aber nicht berichtet.

1910–1950

Landestriangulation I.–III. Ordnung, Triangulation IV. Ordnung der Amtlichen Vermessung (1)²

Auf Beginn 1901 entsteht aus dem T+B die Eidgenössische Landestopographie (L+T) als selbständige Abteilung im Eidgenössischen Militärdepartement. Kurz darauf erfolgen die Einführung der schiefachsigen, winkeltreuen Zylinderprojektion und des Neuen Horizontes RPN 373,6 m.

Der ausschlaggebende Impuls für die Aktivität in dieser Periode geht von der Einführung des Schweizerischen Zivilgesetzbuches 1912 aus. Es bringt das Eidgenössische Grundbuch. Die amtliche Vermessung, auch Grundbuchvermessung genannt, mit den Werken Triangulation IV. Ordnung, Parzellarvermessung und Übersichtsplan wird Sache des Bundes. Bereits 1911 verfügen 15 Kantone über eigene Vermessungsaufsichtsämter; im Lauf der Jahre kommen bis heute 4 weitere hinzu.

Netz I. Ordnung der Landestriangulation

Die L+T realisiert das Netz I. Ordnung in den Jahren 1910–1917. Die Ost–West–Dreieckskette der SGK wird übernommen. Neu entsteht das Alpennetz, das in einen Ost- und einen Westteil gegliedert ist. Die Winkel sind im ganzen Netz neu gemessen. Im SGK-Teil geschieht dies anlässlich der Arbeiten für die II. und III. Ordnung. Die ellipsoidischen Koordinaten dieses Netzteiles bleiben bei der Auswertung aber unverändert. Das Alpennetz wird vermittelnd ausgeglichen, das Ostnetz in zwei Teilen und das Westnetz in einem Guss. Alle Teile werden mit Näherungsverfahren zusammengefügt. Merkliche Zwänge ergeben sich dabei vor allem im Westen. 50 Punkte, 100 Dreiecke, Seitenlängen im Alpennetz ca. 30 km und im SGK-Teil ca. 50 km. MF einer Richtung ca. 0", 6. Geodätisches Datum wie Netz I. Ordnung der SGK.

Netze II. und III. Ordnung der Landestriangulation

Die L+T bearbeitet diese Netze in zwei Perioden. 1896–1909: Genf, Waadt, Wallis westlicher Teil, Berner Jura, Baselstadt, Baselland sowie Teile von Luzern, Glarus, St. Gallen, Thurgau, Schaffhausen. 1910–1925: Alle übrigen Gebiete. Vor allem in der zweiten Periode wird dem sorgfältigen Netzaufbau grosse Bedeutung beige-messen. 150 Punkte II. Ordnung. 4800 Punkte III. Ordnung. Vermittelnde Ausgleichung nach Richtungen. Einzel- bis Dreipunkteinschaltungen. MF an Koordinaten-differenzen benachbarter Punkte 3 cm.

Triangulation IV. Ordnung der Amtlichen Vermessung

Sie entsteht mit Ausnahme ganz weniger Restoperate in der Periode 1910–1950. Total sind es 360 Operate. Davon führt die L+T selber 115 Operate aus. Die übrigen werden durch kantonale Behörden in Regie selbst ausgeführt oder an freierwerbende Geometer vergeben. Zum grossen Teil erfolgen die Arbeiten im Anschluss an die Fertigstellung der Netze II. und III. Ordnung, grosse Teile im Voralpen- und Alpengebiet zeitlich koordiniert mit den terrestrisch-photogrammetrischen Feldaufnahmen und Topo-Punktbestimmungen für die neue Landeskarte, die ab 1924 einsetzen. Das massgebliche Bundesgesetz über die Erstellung neuer Landeskarten folgt erst

1935. Total ca. 67 000 Punkte. Vermittelnde Ausgleichung nach Richtungen. Einzel- und Doppelpunkteinschaltungen. MF an Koordinatendifferenzen benachbarter Punkte 0,5–1,5 cm.

Landesnivellement

Es wird in den Jahren 1903–1927 neu versichert sowie gemessen und berechnet. Die 18 Polygone sind total ca. 4500 km lang. Die Fixpunktgruppen umfassen je 3–4 Punkte. Die Fixpunkte aus der früheren Periode werden einbezogen und alle 300–400 m Abstellnieten angeordnet. MF für 1 km Doppelniv. 1,4 mm. Mit wenigen Ausnahmen, insbesondere bei Gebirgsstrecken, werden die beobachteten Höhendifferenzen auf die Höhendifferenzen zwischen den Knotenpunkten des Präzisionsnivellementes der Schweiz der SGK ausgeglichen. Unter Berücksichtigung von RPN 373,6 m entstehen daraus die sogenannten Gebrauchshöhen. Sie werden in eidgenössischen Nivellementsverzeichnissen kantonsweise publiziert. Orthometrische Schwerereduktionen und eine strenge Ausgleichung erfolgen erst 1943, jedoch ohne Publikation zum Gebrauch.

1910–1970

Wissenschaftliche Arbeiten der SGK, Schweizerische Geodätische Kommission (2)

1910–1918: Pendel-Schweremessungen als Grundlage für die Niethammersche Schwerekarte.

1911–1914: Längendifferenzen zwischen Zürich und Genf einerseits und Gurten, Basel, Neuchâtel andererseits.

1916–1918: Astronomisches Nivellement im Meridian des St. Gotthard.

1919–1925: Längendifferenzen von Zürich und Genf gegenüber Chur, Brig, Poschiavo, Bellinzona, Gäbris, Rigi.

1925–1930: Längenanschlüsse von Zürich und Genf an Potsdam, Paris, Wien, Mailand.

1927–1930: Magnetische Aufnahmen als Grundlage für die geomagnetische Karte.

1934–1936: Längenbeobachtungen auf dem Geoidprofil im Parallel von Zürich.

1937–1938: Astronomische Beobachtungen auf Gurten und auf dem Koordinaten-Nullpunkt.

1939/1947–1948: Beobachtungen von E–W und N–S Geoidprofilen im Tessin.

1945: Laplace-Azimut Gurten–Rötiflüh.

1949: Laplace-Azimut Rigi–Lägern und Breite von Rigi.

1950: Lotabweichungen und Geoidbestimmung aus Höhenwinkeln im Gotthardprofil.

1953–1955: Astronomische Lotabweichungsbestimmungen im Berner Oberland.

1953–1957: Schweremessungen für das Schweizerische Schweregrundnetz und auf allen Nivellementslinien des Réseau Européen Unifié de Nivellement, REUN.

1957: Längendifferenz München–Genf.

1959–1960: Basis Heerbrugg samt Lotabweichungs- und Schwerebeobachtungen.

1961–1964: Lotabweichungs- und Geoidbestimmungen im Berner Oberland, Oberwallis und Bedrettal.

1961–1970: Laplace-Azimute auf 12 Punkten des Netzes I. Ordnung.

1962–1968: Schweremessungen. Verdichtung des Schweregrundnetzes zum Schweizerischen Schwerenet I. Ordnung.

1963–1970: Distanzmessungen mit Mikrowellen in den Netzen I. und II. Ordnung sowie in den Basisvergrößerungsnetzen.

Ab 1969: Distanzmessungen mit Lichtwellen in den Netzen I. und II. Ordnung sowie in den Basisvergrößerungsnetzen.

Ab 1967: Strenge Ausgleichung des Netzes I. Ordnung als Beitrag an die verschiedenen Phasen der Berechnung des Réseau Européen de Triangulation, RETRIG.

Literaturhinweise

Alle im geschichtlichen Überblick mit (1) bezeichneten Abschnitte stützen sich auf die eingehende Publikation von Dr. h. c. H. Zölly «Geschichte der geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz». Die Arbeit enthält eine ausführliche Bibliographie über die reichhaltige, einschlägige Literatur zu diesem Thema.

Für alle in der Aufsicht und in der Ausführung tätigen Berufskollegen ist die Entstehung der geodätischen Grundlagen in ihren Kantonen von besonderem Interesse. Die untenstehende Tabelle ist der o. g. Arbeit entnommen und zeigt, dass es separate Publikationen für jeden einzelnen Kanton gibt. Die mit * versehenen Hefte sind zurzeit allerdings vergriffen. Sicher gelingt es Interessenten aber in jedem Fall, ein Exemplar zum Studium zu beschaffen.

Veröffentlichungen über die geodätischen Grundlagen der einzelnen Kantone

Separata, zu beziehen durch den Kartenverlag der Eidgenössischen Landestopographie Wabern-Bern.

Kanton	Bearbeiter	Erscheinungsjahr	Zeitschrift
Aargau	H. Zölly	1926	VPK
Basel (Stadt u. Land)	H. Zölly	1934	VPK
Bern	H. Zölly	1945	VPK
Fribourg	H. Zölly	1927	BTSR*
Genève	H. Zölly	1923	BTSR
Glarus	H. Zölly	1937	VPK
Graubünden	J. Ganz	1946	VPK
Luzern	H. Zölly	1926	SBZ
Neuchâtel	H. Zölly	1930	VPK
Nid- u. Obwalden	W. Lang	1926	VPK
St. Gallen/Appenzell	J. Ganz	1943	VPK*
Schaffhausen	H. Zölly	1935	VPK
Schwyz/Zug	H. Zölly	1932	VPK
Solothurn	H. Zölly	1929	VPK
Tessin	H. Zölly	1932	VPK
	F. Imperatori		
Thurgau	H. Zölly	1925	SBZ*
Uri	H. Zölly	1940	VPK
Valais	H. Zölly	1933	VPK
Vaud	H. Zölly	1936/37	VPK
Zürich	H. Zölly	1941	VPK*

VPK : Zeitschrift «Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik»

SBZ : Schweizerische Bauzeitung

BTSR: Bulletin technique de la Suisse Romande

* : Separata zurzeit vergriffen

3. Entwicklung der Instrumente und Methoden in den letzten Jahrzehnten

Instrumente und Methoden der Geodäsie und des allgemeinen Vermessungswesens haben sich in den letzten Jahrzehnten, vor allem mit der Elektronik, in ganz ausserordentlichem Mass entwickelt. Wenn wir den Schwerpunkt der Konzipierung und Realisierung der heutigen Landesvermessung in den Zeitraum 1915–1930 legen, so gilt die Feststellung, dass sich die Mittel zur Lösung derartiger Aufgaben seither in mancher Beziehung grundlegend verändert haben.

In diesem Abschnitt wird versucht, die bedeutungsvollsten Entwicklungen im Überblick darzustellen und damit dem Leser den grossen Wandel in Erinnerung zu rufen.

3.1 Programmierbare elektronische Rechenmaschinen haben die vielfältigen Schwierigkeiten des numerischen Rechnens in der niederen und höheren Geodäsie fast ganz beseitigt.

Die *elektronische Datenverarbeitung* ermöglicht die Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate auf Systeme, in denen für die Art und die Anzahl der Beobachtungen und Unbekannten kaum Grenzen gesetzt sind. Geeignete funktionale und stochastische Modelle werden streng verarbeitet.

Die Verwendung der *Matrizenalgebra* vereinfacht Herleitungen und Programmierung. Funktionale Zusammenhänge und Resultate können mit einer der Geometrie vergleichbaren Klarheit dargestellt werden (3).

Datenbanken, Informationssysteme und Interaktive Geräte vermitteln für wissenschaftliche und praktische Arbeiten nahezu verzögerungsfrei umfassende Datenbestände und Informationen.

Statistische Verfahren vertiefen die Erkenntnisse über die Art und die Ursachen von Modellfehlern sowie die stochastischen Eigenschaften der Beobachtungen. Aussagen über die Konfidenz der Unbekannten der Ausgleichungssysteme und deren Kofaktoren sind möglich.

Numerische Filterverfahren nach der Methode der kleinsten Quadrate sind für die Lösung der Aufgaben der Geodäsie von grosser Bedeutung. In fast allen Bereichen werden Daten verschiedenster Art für diskrete Punkte gewonnen und daraus ein- oder mehrdimensionale kontinuierliche Ortsfunktionen abgeleitet (4).

3.2 Bei den *Theodoliten und Universalinstrumenten* für geodätische und geodätisch-astronomische Richtungs- und Winkelmessungen fällt die Perfektion von Genauigkeit, Handhabung und Feldtüchtigkeit ins Gewicht. Die Genauigkeit von analogen optischen und von digitalen optischen, mechanischen und elektronischen Kreisablesystemen kann in Apparaten dieser Grösse kaum mehr gesteigert werden. Die Mikrometer oder Interpolationssysteme sind von Unlinearitäten praktisch frei. Sekundäre Achsenfehler sind unter Kontrolle und weitgehend beseitigt. Zum Teil ist die Kompensation durch sinnvolle Systeme möglich (5); in jedem Fall kann dies rechnerisch erfolgen.

Genauigkeit: $\sigma^3 \approx 0,5 \div 1,5^{cc} \triangleq 1 \div 2 \cdot 10^{-6}$ für Instrument und Beobachter an einer einmal in beiden Fernrohrlagen beobachteten Richtung.

Automatische Präzisionsnivellierinstrumente bewirken Zeit- und Genauigkeitsgewinn. Die Kompensatorvorrichtungen können weitgehend temperaturunabhängig konstruiert und gebaut werden.

3.3 So wie das programmierte Rechnen und die elektronische Datenverarbeitung für die Auswertung der Beobachtungsbestände grundlegend erweiterte Dimensionen gebracht haben, so grundlegend haben die *direkten und indirekten Verfahren der Elektronischen Distanzmessung* die Methoden geodätischer Netze und die Art und den Umfang der Beobachtungsdaten erweitert. In allen Sparten der Geodäsie kann der Massstab beliebiger Strecken von Laboratoriumslängen bis hin zu Raumdistanzen nach Satelliten nun direkt bestimmt werden (6). Genauigkeit: $\sigma \approx 1 \div 3 \cdot 10^{-6}$ für Strecken in geodätischen Netzen bei guten atmosphärischen Bedingungen.

Neben der Anwendung der Technologie der Mikrowellen im mm-Bereich in geodätischen Apparaten und der Modulation von Lichtwellen im sichtbaren und Infrarotbereich kommt aber der Nutzbarmachung des *Laserlichtes* eine besondere Bedeutung zu. Systembedingt sind einerseits der hohe Grad von Monochromasie und Kohärenz und andererseits der hohe Grad der Bündelung der Energie. Die erstgenannten Eigenschaften sind für die *Interferenz-Längenmessung* im Laboratorium sowie bei geotechnischen, bautechnischen und geodynamischen Präzisionsuntersuchungen von Bedeutung. Die letztgenannte Eigenschaft ermöglicht hohe Reichweiten. Zur Interferenz-Längenmessung: Systemauflösung $0,01 \mu$. $\sigma \approx 0,5 \cdot 10^{-6}$ für absolute Längenmessungen im Laboratorium. Relative Längenmessungen, d. h. Längen- und Lageänderungen $\sigma \approx 1 \div 5 \cdot 10^{-8}$.

Zu erwarten ist die Weiterentwicklung von *Mehrfarbenlaser-Distanzmessgeräten* (7). Zusammen mit Entfernungsmessungen mit Trägerfrequenzen im Mikrowellenbereich wird es möglich sein, nach dem sogenannten Dispersionsprinzip den für die atmosphärische Reduktion

erforderlichen Integralwert $\frac{1}{S} \int N(s) ds$ des skalaren Brechungskoeffizienten längs des Messweges mit sehr hoher Genauigkeit zu bestimmen. Damit wird für den Bereich der Streckenmessung einer der bedeutendsten Modellfehler geodätischer Messmethoden, nämlich die Brechung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre, mit genügender und kaum mehr zu überbietender Genauigkeit erfasst werden können. Für den Bereich der Messung von Horizontalwinkeln und insbesondere aber von Höhenwinkeln und Raumrichtungen besteht diese Aussicht leider nicht. Massgebend ist hier das Integral $\int \frac{1}{N(s)} \vec{\text{grad}} N(s) ds$ der skalaren Produkte des Brechungskoeffizientengradienten mit dem Differentialvektor der Bogenlänge längs des Zielstrahles von der Station bis zum Zielpunkt. Die Refraktion wird wohl immer auf Grund von hypothetischen Atmosphärenmodellen abgeschätzt werden müssen.

³ σ : Standardabweichung, mittlerer Fehler a priori.

3.4 *Geodätische Satelliten* haben zu bedeutenden neuartigen Methoden geführt. Mit *Satellitenkameras* werden Rektaszension und Deklination der Raumrichtungen von geodätischen Netzen auf der Erde ganz unabhängig von der lokalen Lotrichtung im himmelfesten astronomischen Äquatorsystem der Fixsterne bestimmt (8). Wird gleichzeitig auch die Zeit beobachtet, so ist dieselbe Richtung mit Deklination und Stundenwinkel in einem erdfesten Äquatorsystem festgelegt. Genauigkeit: Für eine Raumrichtung $\sigma \approx 0,8^{\text{CC}} \triangleq 1,2 \cdot 10^{-6}$. Für einen im Netz berechneten Stationspunkt $\sigma_p \approx 4 \text{ m} \triangleq 1 \cdot 10^{-6}$ der Distanz zum Satelliten $\triangleq 0,6 \cdot 10^{-6}$ des Erdradius $\triangleq 0,5 \cdot 10^{-6}$ der Seitenlänge des Netzes.

Grosse *Impulslaser* weisen eine Leistung von ca. 10^9 Watt und eine Objektivöffnung von ca. 600 mm auf. Es gelingt, Distanzen zu Satelliten bis über 1000 km direkt zu messen (9). Genauigkeit der Massstabsbestimmung: Derzeit $\sigma \approx 1 \cdot 10^{-6}$. Es wird erwartet $\sigma \approx 1 \cdot 10^{-7}$.

Satellite-Doppler-Positioning ist die derzeit wohl bedeutendste geodätische Vermessungsmethode mit Hilfe von Satelliten. Mit transportablen Doppler-Messgeräten im Beobachtungspunkt P werden Streckendifferenzen (S_1P-S_2P) gemessen. S_1 und S_2 sind zwei Positionen desselben Satelliten zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Mit den in einem Raumkoordinatensystem bekannten Satellitenorten ergibt sich mit jeder solchen Streckendifferenz zu demselben Satelliten oder zu verschiedenen Satelliten ein geometrischer Ort für die räumliche Lage von P. Genauigkeit: $\sigma \approx 2-5 \text{ m} \triangleq 0,3 \div 0,8 \cdot 10^{-6}$ des Erdradius für die absolute Punktlage aus einer Mehrzahl von Streckendifferenzen; $\sigma \approx 0,3 \text{ m} \triangleq 0,5 \cdot 10^{-7}$ des Erdradius für die Lagedifferenz von zwei simultan mit demselben Beobachtungsprogramm bestimmten Punkten (10).

Bei der *Satelliten-Altimetrie* wird die Topographie der Meeresoberfläche in der erforderlichen Allgemeinheit und Genauigkeit mit Radartechnik vermessen (11), (12). Das ist ein bedeutender Beitrag zur globalen Bestimmung des Geoids. Die Meerestopographie ist beim derzeitigen Stand der Messtechnik eine gute Approximation für das Geoid. Genauigkeit: $\sigma \approx 2 \text{ m}$ für eine Höhendifferenz in der Lotrichtung zum Satelliten. Erwartet wird eine Steigerung auf $\sigma \approx 0,2 \text{ m}$.

Mit *dynamischen Satellitenverfahren* wird aus den Veränderungen der Bahnfigur auf die Grobstruktur des Schwerefeldes geschlossen.

Automatische Zenitkameras sollen geodätisch-astronomische Feldarbeiten vereinfachen und beschleunigen. Viele systematische Fehlerquellen konventioneller Universalinstrumente sind ausgeschaltet. Die Horizontierung und der unpersönliche Beobachtungsvorgang erfolgen weitgehend prozessgesteuert. Die Genauigkeit genügt für die Bestimmung von Lotabweichungen (13), (14). Genauigkeit: $\sigma \approx 1^{\text{CC}}$, bzw. $1^{\text{CC}} \cdot \text{sec. } \phi$ für geographische Breite bzw. Länge aus mehreren Sternpaaren.

Der Zeitdienst ist für alle geodätisch-astronomischen und Satellitenmethoden von ausschlaggebender Bedeutung. Feldtüchtige Zeitmessanlagen bestehen aus Zeitzeichenempfänger, Stationsquarzuhr und digitalem Druckchronographen. Genauigkeit: $\sigma \approx 0,5 \div 2 \cdot 10^{-7} \triangleq$

$0,004-0,015 \text{ s}/24 \text{ h}$ für den mittleren täglichen Gang; $\sigma \approx 1 \div 5 \cdot 10^{-7} \triangleq \approx 0,008-0,04 \text{ s}/24 \text{ h}$ für die maximalen Abweichungen vom mittleren täglichen Gang. Auflösung des Druckers 0,001 s.

Trägheitsmesssysteme für die Vermessung sind Weiterentwicklungen von Navigationssystemen für die Luft- und Raumfahrt. Die Beobachtungspunkte bilden Züge, die in Intervallen von ca. 50 km/2 h in Stützpunkte eingebunden sind. Das System wird motorisiert transportiert und auf allen Punkten stationiert. Nach der Auswertung, die auf jedem Stützpunkt unmittelbar erfolgt, ergeben sich für alle Stationen direkt ellipsoidische Längen, Breiten, Höhen und Lotabweichungskomponenten. Genauigkeit: $\sigma \approx 0,4 \text{ m}$ für Länge und Breite; $\sigma \approx 0,2 \text{ m}$ für die Höhe; $\sigma \approx 4 \div 5^{\text{CC}}$ für Lotabweichungskomponenten.

3.5 Die Gerätetechnologie der *Schweremessung* hat eine bedeutende Entwicklung erfahren. Gravimeter für die Beobachtung von Schwereunterschieden auf den Kontinenten und Seegravimeter ermöglichen die globale Lösung dieser Teilaufgabe der Geodäsie. Sowohl mit permanenten als auch mit transportablen Apparatesystemen werden dafür Stützpunkte mit absoluten Schwerewerten geschaffen. Diese registrieren auch Erdgezeiten und liefern gravimetrische Beiträge zur Geodynamik (16), (17). Genauigkeit: Relative Schwereunterschiede mit Gravimetern $\sigma \approx 0,01 \text{ m Gal}$. Seegravimeter auf Schiffen und in Unterseebooten $\sigma \approx 2 \text{ m Gal}$. Absolute Schwerebestimmungen mit permanenten Systemen $\sigma \approx 0,002 \text{ m Gal}$. Transportable Systeme $\sigma \approx 0,02 \text{ m Gal}$. Die beiden letzten Werte gelten für das Mittel einer Beobachtungsreihe von ca. 20–30 Beobachtungen. $0,001 \text{ m Gal} \triangleq \text{ca. } 0,5 \text{ cm}$ Höhendifferenz.

3.6 Mit der Aufzählung der nachfolgenden Begriffe soll die grosse Entwicklung auch in den, den Aufgaben der Triangulation etwas ferner gelegenen Fachbereichen *Photogrammetrie*, *Fernerkundung*, *Kartographie* in Erinnerung gerufen werden. Hardware und Software für die *analytische Photogrammetrie* mit numerischem und graphischem Output. *Orthophototechnik* (18). *Fernerkundung* mit Photointerpretation, Multispektralphotographie und Scanning. *Digitalisierung* und *Interaktive Systeme* für weitgehend *automatisierte Karten- und Planproduktion*.

4. Zu den Begriffen Triangulation und geodätische Netze

4.1 Die Aufgabe der Geodäsie

Die Aufgabe der Geodäsie ist es, die Figur und das äussere Schwerefeld der Erde aus den an der Erdoberfläche und im Aussenraum beobachteten Grössen sowie deren Veränderung im Lauf der Zeit zu bestimmen (11), (19). Im Begriff der Figur der Erde sind die physische Erdoberfläche und die mathematische Erdoberfläche – Geoid und mittleres Erdellipsoid – zusammengefasst.

Die physische Erdoberfläche umfasst die Begrenzung der festen Erdmassen und der Oberfläche der Ozeane zusammen gegenüber der Atmosphäre sowie den Meeresboden. Die Oberfläche der festen Erde, die Kontinente und der Meeresboden, lässt sich nicht durch eine mathe-

matische Beziehung darstellen. Sie wird deshalb *punktweise* mit Punktfeldern erfasst.

Die Aufgabe der Landesvermessung ist es (u. a.), diese Lage-, Höhen- und Schwere-Festpunktfelder anzulegen, zu bestimmen und zu erhalten.

4.2 Die klassische Triangulation

Die klassische Triangulation gliedert die Punktfelder flächenhaft in Dreiecke. Zur Überdeckung grosser Gebiete kommen Rahmennetze vor, die aus Dreiecks- oder Diagonalenvierecksketten gebildet sind. In diesem Sinn ist das Schweizerische Landesnetz I. und II. Ordnung ein klassisches Triangulationsnetz. Dasselbe gilt für das Europäische Triangulationsnetz RETRIG. Auch im Satellitenweltnetz des US National Geodetic Survey 1966–1973 bilden die 45 Stationen ein Polyeder mit Dreiecksflächen, deren Seiten räumlich bestimmt sind. Demgegenüber sind die Netze III. und IV. Ordnung keine eigentlichen Triangulationen mehr. Weder ist der Dreieckscharakter zu erkennen, noch ist er von Bedeutung. Die vermittelnde Ausgleichung hat die Dreiecksberechnungsmethode abgelöst.

4.3 Trilateration und Triangulation

sind Begriffe, die mit der Einführung der elektronischen Distanzmessung aufgekommen sind. Im ersten Fall handelt es sich um Netze, in denen ausschliesslich Distanzen, im zweiten Fall sowohl Distanzen als auch Richtungen beobachtet sind. Zu dieser letzten Kategorie gehören wohl alle modernen Netze mittlerer und niedriger Ordnung: Bei günstiger Topographie werden sie eher den Charakter von eigentlichen Richtungsnetzen, bei schwierigem Gelände eher polygonalen Charakter annehmen.

4.4 Geodätische Netze

Dieser Begriff vermag wohl am ehesten alle Bestimmungsmethoden zu umfassen, die bei der Lösung geodätischer Aufgaben vorkommen können. Es seien drei Beispiele genannt: *Kontinental- und Landesnetze* weisen als Beobachtungen terrestrische Richtungen, Distanzen, Höhenwinkel, Nivellemente, Raumrichtungen, Distanzen und Distanzdifferenzen zu Satellitenpositionen, astronomische Längen, Breiten und Azimute sowie Schwere-messungen auf. *Verdichtungsnetze mittlerer und niedriger Ordnung* können Richtungen, Distanzen, Höhenwinkel, Nivellemente, astronomische und Schwerebeobachtungen sowie luftphotogrammetrische Richtungsbündel umfassen. *Netze in Ingenieurwesen und Parzellarvermessung* weisen Richtungen, Distanzen, Höhenwinkel, Nivellemente, Polygonzüge, Vektoren, Spannmasse und luftphotogrammetrische Richtungsbündel auf.

5. Beurteilung der aktuellen Schweizerischen Triangulationsnetze

5.1 Die bisherige Zweckbestimmung der Landesnetze

Die Landestriangulation I.–III. Ordnung und das Landesnivellement bilden die Grundlage für die Landeskartierung in den Massstäben 1:200 000 bis 1:25 000 sowie die Werke der Amtlichen Vermessung mit der Triangulation IV. Ordnung, dem Übersichtsplan in den Massstäben 1:10 000 und 1:5000 und der Parzellarvermessung in den Massstäben 1:2500 bis 1:250.

5.2 Beurteilung der Netze

Die Landesnetze haben den Anforderungen bei dieser Zweckbestimmung *vollauf genügt*. Ebenso kann festgestellt werden, dass diese Aussage unter der Voraussetzung gleichbleibender Zweckbestimmung und bei gutem Unterhalt der Werke *auch in Zukunft* auf unbestimmte Zeit Gültigkeit haben wird.

5.3 Mängel der Netze

Natürlich gibt es bei heutiger Beurteilung Unvollkommenheiten. Es wird versucht, diese aufzuzählen:

Lagenetz I. Ordnung

Beim geodätischen Datum sind die Ellipsoiddimensionen überholt, und der Höhenbezug zwischen Geoid und Ellipsoid ist nicht eindeutig definiert. Die ellipsoidischen Koordinaten der Punkte der Ost–West-Transversalen des SGK-Netzes sind unverändert übernommen. Vor allem im westlichen Netzteil treten wahrscheinlich deshalb beachtliche Spannungen auf. In (1) wird über die Meinungsdifferenzen innerhalb einer im Jahre 1909 eingesetzten Kommission berichtet, die über die Verwendbarkeit des SGK-Netzes (1854–1879) als Grundlage für die damals bevorstehende Landesvermessung und Landeskartierung im 20. Jahrhundert zu beraten hatte. Laplacepunkte zur Versteifung der Orientierung und Lagerung des Netzes gibt es nicht. Lotabweichungen sind nicht eingeführt. Die Beobachtungen aus den Netzen der beiden nächsten Ordnungen wurden weder zur Abklärung von Widersprüchen noch in besonderen Fällen zur Versteifung mit einbezogen. Eine strenge Ausgleichung in einem Guss oder in Stufen ist nicht erfolgt⁴.

Lagenetze II. und III. Ordnung

Lotabweichungen sind nicht bestimmt und nicht berücksichtigt. Dieser Umstand ist vor allem in den Voralpen und Alpen im Netz III. Ordnung von Bedeutung. Demgegenüber sind im Mittelland im Netz III. Ordnung wegen topographischen Schwierigkeiten und wegen Wald in manchen Fällen die Bestimmungselemente ungenügend, und Verbindungen zwischen benachbarten Punkten fehlen. Viele Punkte III. Ordnung sind heute zudem stark eingewaldet. Die Netze sind einzel- und doppel-punktweise, in wenigen Fällen als Dreipunktschaltungen ausgewertet. Flächenhafte Gesamtausgleichungen fehlen.

Höhennetze

Die Gebrauchshöhen des Landesnivellementes stützen sich auf die Höhendifferenzen der Knotenpunkte des Präzisionsnivellementes der SGK von 1864–1891. In diesem sind die beobachteten Höhenunterschiede der geometrischen Nivellemente ausgeglichen. Schwerereduktionen sind vorgängig aber nicht erfolgt. Die Bezugsfläche der Gebrauchshöhen ist im Prinzip die Niveaufläche von RPN Repère Pierre du Niton. In aller Strenge handelt es sich dabei aber weder um orthometrische Höhen noch um Normalhöhen.

⁴ Diese Bemerkungen gelten für die Arbeiten, die zu den offiziellen Gebrauchskordinaten des Landesnetzes geführt haben, jedoch nicht für die mehr wissenschaftlichen Arbeiten, insbesondere für das RETRIG.

Ähnliches gilt für die trigonometrisch bestimmten Höhen. Lotabweichungen sind nicht berücksichtigt. Deshalb handelt es sich grundsätzlich um genähert geoidische und nicht um ellipsoidische Höhendifferenzen. Der strenge Bezug auf das Geoid fehlt aber, da keine Schwere- und Lotkrümmungsreduktionen erfolgt sind. Zudem fällt hier vor allem ins Gewicht, dass keine systematisch gegliederten, flächenhaften Ausgleichungen und keine differenzierten Refraktionsmodelle angesetzt wurden.

6. Vorschläge für die erweiterte, zukünftige Zweckbestimmung der Landesnetze

Die in Ziff. 5.1 dargestellte klassische Zweckbestimmung des Landesnetzes muss im Lauf der Zeit Erweiterungen erfahren. Sie wird sowohl – und wohl vor allem – wissenschaftlichen als auch praktischen Charakter haben. Es gilt, darüber klare Vorstellungen zu entwickeln.

6.1 Festpunktfeld für die geodätische Erforschung der Figur der Erde

Die Aufgabe der Geodäsie ist in Ziff. 4.1 formuliert. Zur Lösung wird die physische Erdoberfläche durch das Festpunktfeld erfasst. Darin sind die bisherigen klassischen Triangulations- und Nivellementsnetze vereinigt. Die gegenseitige räumliche Lage der Punkte sowie der Betrag und die Richtung des Schwerevektors sind zu bestimmen und deren Koordinaten in verschiedenen Bezugssystemen auszudrücken. Oder – umgekehrt formuliert – ist die lokale räumliche Lage und allenfalls geometrische Form verschiedener Bezugsflächen gegenüber den Punkten auf der physischen Erdoberfläche zu bestimmen.

Die Punktdichte richtet sich vor allem nach den besonderen topographischen und geologischen Verhältnissen sowie nach den durch nationale und internationale wissenschaftliche Vereinigungen im einzelnen vorgeschlagenen Zielsetzungen. Dasselbe gilt für die Art, den Umfang und die Genauigkeit der Beobachtungen der geometrischen und physikalischen Grössen sowie für die Anzahl und die Art der Auswertemodelle und der Bezugssysteme. Zudem soll der Entwicklung der Technologie von Aufnahme und Auswertung Rechnung getragen werden.

Die wissenschaftliche Zweckbestimmung eines Festpunktfeldes bedingt, dass am Bestand der Beobachtungs- und Resultatdaten ständig gearbeitet wird, und dass dabei von Zeit zu Zeit für das ganze Netz oder für Netzteile eine neue Generation von Resultatdaten definiert wird.

6.2 Festpunktfeld für die geodynamische Forschung

Als Grundlage für geodynamische Untersuchungen sind Aussagen über horizontale und vertikale Krustenbewegungen sowie zeitliche Veränderungen von Gradienten und Potentialunterschieden der Schwere von grosser Bedeutung. Es gehört zu den Aufgaben der Geodäsie, diese Grundlageninformationen für alle Geowissenschaften zu ermitteln, die geodynamische Forschungsarbeiten betreiben.

In (20) wird darüber berichtet, und es werden konkrete Lösungsmöglichkeiten vorgeschlagen. Von Bedeutung ist danach die rechtzeitige Planung und Realisierung von kontinentalen und nationalen Festpunktfeldern, die auf einem Grundsystem von sogenannten Geo-Stationen als Zentren aufgebaut sind.

Die Veränderungen im Raum des Alpenmassivs sind in Zentraleuropa von besonderem Interesse. Diesem Umstand kann einerseits mit einem flächenhaften Netz mittlerer Ordnung über das ganze Land Rechnung getragen werden. Lokale, flächenhafte Netzverdichtungen und Profile im Bereich von geologisch-tektonischen Störungslinien und Störungszonen vermitteln andererseits geometrische und physikalische Resultate für einzelne Detailprojekte.

Verschiedene Gesichtspunkte sind für derartige Netze von besonderer Bedeutung: Die Versicherung von Einzelpunkten ist zu Punktgruppen zu ergänzen. Der Verankerung mit den obersten Bodenschichten gilt dabei besondere Aufmerksamkeit. Steife Netze mit grosser Überbestimmung sind wichtig. Lokale und weiträumige Veränderungen sollen bei gewünschter Genauigkeit mit angemessener Zuverlässigkeit erkannt werden. Langfristig werden nur grosszügige Konzepte zufriedenstellen. Für Wiederholungsmessungen ist ein räumlich und zeitlich differenzierter Phasenplan zu entwerfen. Da zwischen den einzelnen Perioden sehr lange Zeitabschnitte verstreichen können, in denen sich viele Voraussetzungen, wie z. B. Personal, Technologie, Institutionen, territoriale Grenzen u. a. m. verändern können, ist eine gründliche Dokumentation über alle Belange grundlegend. Und endlich gilt die Feststellung, dass geodynamische Forschung auf der Grundlage von Beobachtungen erst dann betrieben werden kann, wenn der erste Schritt einmal tatsächlich vollzogen ist.

6.3 Experimentierfeld für Forschung und Ausbildung

Für geodätische Forschungsarbeiten auf instrumentellem Gebiet sowie im Bereich der Modelle und Methoden wird ein Experimentierfeld benötigt. Dasselbe gilt für die Ausbildung von Geodäten. Es wird oft zweckmässig sein, wenn Forschung und Ausbildung immer wieder in denselben, dafür besonders geeigneten Teilen des Festpunktfeldes erfolgen können.

7. Vorschläge für die zukünftigen Arbeiten

7.1 Vorbemerkung

Es fällt vor allem in den Aufgabenbereich der Schweizerischen Geodätischen Kommission, in der die Eidgenössischen Technischen Hochschulen, Kantonale Universitäten und die Eidgenössische Landestopographie vertreten sind, darüber zu befinden, ob für die zukünftigen Arbeiten gesamtheitliche Zielsetzungen beraten und beschlossen werden sollen. Die Realisierung wird einestils Aufgabe der Eidgenössischen Landestopographie sein (21) und andernteils Arbeiten umfassen, die von der Schweizerischen Geodätischen Kommission geleitet und koordiniert, von verschiedenen Institutionen und Einzelpersonen aber durchgeführt werden (22). Die nachfolgenden Vorschläge können dafür eine Diskussionsgrundlage bilden.

7.2 *Verschiedene Koordinatensysteme*

Die in Ziff. 6 genannten neuen Zweckbestimmungen führen dazu, dass es nicht mehr nur ein System von Landeskoordinaten geben wird. Im ersten Moment beunruhigt dieser Gedanke und erweckt Befürchtungen über den Beginn einer neuen Periode mit einem unüberblickbaren Durcheinander von verschiedenen Koordinatensystemen, nachdem in dieser Sache seit einem halben Jahrhundert Ordnung Platz gegriffen hat.

Neben dem System der *offiziellen Landes-Gebrauchskoordinaten und -höhen* (LK) wird es verschiedene Generationen von *wissenschaftlich-geodätischen Koordinaten und Höhen* (WK) geben. Sie sind als solche zu kennzeichnen und für das ganze Land oder für Teilgebiete mit dem zugehörigen geodätischen Datum und allen Informationen über verarbeitete Beobachtungen und Berechnungsverfahren eindeutig zu definieren. Die Jahreszahl der Bestimmung innerhalb eines Systems dient der Dokumentation von allfälligen tatsächlichen Punktverschiebungen. Ein Nummerncode hat die Identität der Punktversicherung und alle oben genannten sowie eventuell noch weitere Informationen zu enthalten.

Der Entscheid darüber, ob für ein Teilgebiet aus einem besonderen Anlass zu einem bestimmten Zeitpunkt die LK im Sinn einer Netzverbesserung geändert werden sollen, obliegt der zuständigen Behörde und wird unter Würdigung aller Vor- und Nachteile und den allfälligen erforderlichen Folgearbeiten fallen.

7.3 *Beobachtungs- und Punktedatei*

Es soll ein Informationssystem für alle Punkte I.–III. Ordnung und für das Landesnivellement geben, rückwirkend bis zu den Arbeiten der SGK im Jahre 1854. Die Automationskommission des Schweizerischen Vereins für Vermessungswesen und Kulturtechnik wird sich auf Vorschlag von Prof. R. Conzett dieser Sache annehmen. Beispiele zum Inhalt: Punktnummer, Versicherung, Änderungen mit Relationen, Begehungen, Beobachtungen mit Datum, Beobachter und Instrument, Dokumentation, Resultate der Stationsausgleichung mit Varianz-Kovarianzmatrizen, Koordinaten und Höhen im LK-System und in verschiedenen WK-Systemen.

7.4 *Vorschläge für die Arbeiten in den aktuellen Netzen I.–III. Ordnung*

Aufbau des Netzes III. Ordnung revidieren. Schlechte Punktbestimmungen verbessern. Fehlende Nachbarschaftsbeziehungen verwirklichen. Eingewaldete Punkte durch zusätzliche Punkte mit freien Sichten ergänzen. Alle Berechnungen im LK-System ausführen. Methoden für die Netzverbesserung entwickeln, wenn Teilnetze in derselben oder in der niedrigeren Ordnung neu beobachtet werden.

Gesamtausgleichung des Netzes I. Ordnung teilweise gemeinsam mit den Netzen II. und III. Ordnung in Stufen.

7.5 *Vorschläge für die Arbeiten am Festpunktfeld für die Geodätische und Geodynamische Forschung*

7.51 Das Festpunktfeld soll die Netze I.–III. Ordnung und das Landesnivellement umfassen. Beim Netz III. Ordnung kann man sich vielleicht auf besonders interessierende Teile beschränken.

Alle Punkte sollen mit denjenigen der Landestriangulation identisch sein. Wo Ergänzungen oder gar Verdichtungen erforderlich sind, sollen die Punkte ins Netz III. Ordnung aufgenommen werden oder mit Punkten VI. Ordnung der Amtlichen Vermessung identisch sein.

7.52 Die Versicherung derjenigen Punkte des Festpunktfeldes, die vor allem der geodynamischen Forschung dienen sollen, ist in geeigneter Weise zu ergänzen. Diese Arbeit muss besonders sorgfältig projektiert und ausgeführt werden.

7.53 Die Art, der Umfang und die Durchführung der neuen oder zusätzlichen Beobachtungen sind umfassend zu planen.

Das Ziel ist es, die Parameter der Schwere in allen Festpunkten und die Geometrie des Netzes sowie dessen räumliche Lage in verschiedenen Bezugssystemen mit hoher Genauigkeit, genügender Zuverlässigkeit und guter Redundanz zu bestimmen. Für einzelne Netzteile III. Ordnung sind unter Umständen Netzoptimierungsuntersuchungen angezeigt.

Das Beobachtungsprogramm wird demnach geometrische und physikalische Daten umfassen und sehr umfangreich sein. Dazu gehören horizontale geodätische Richtungen, Höhenwinkel, geodätische Distanzen, in besonderen Fällen eventuell Hochzielverbindungen, Schwerewerte, astronomische Längen-, Breiten- und Richtungsbestimmungen, Distanzen und Raumrichtungen zu Satelliten, Doppler-Distanzdifferenzen zu Satelliten.

7.54 Die Auswertung wird Anlass zu einer grossen Zahl von Untersuchungen geben. Beispiele dazu: Überprüfen der Beobachtungen. Statistische Analysen. Systematischer Ausbau der Beobachtungsdatei als Dokumentation und für den raschen Zugriff für die interaktive Arbeitsweise. Bestimmen von Geländemodellen für Lotabweichungsinterpolationen. Berechnen und Ausgleichen von Teilnetzen oder des ganzen Netzes mit vielfältigen mathematischen Modellen. Darstellen der Resultate in verschiedenen klassischen und modernen Bezugssystemen.

7.55 *Zusammenfassung*

Es geht darum, die Aufgabe der Geodäsie mit der modernen Erweiterung auf die geodynamische Betrachtungsweise zu lösen. Dies soll für unser Land mit besonderer Sorgfalt geschehen. Als Bezugssystem genügt die vorhandene Landesvermessung nur zum Teil. Das Festpunktfeld für die geodätische und geodynamische Forschung – Konzeption Beobachtung, Auswertung und Interpretation – ist eine interdisziplinäre Aufgabenstellung insbesondere der Geodäsie mit anderen Geowissenschaften.

8. **Schlussbemerkungen**

In der Einleitung wurde ausgeführt, dass es gilt, sich von Zeit zu Zeit über den Stand und die sinnvolle Weiterentwicklung von Zweck, Bedeutung und Realisierung der Vermessungswerke Rechenschaft abzulegen. Mit diesem Aufsatz wird versucht, dazu mit Bezug auf die Landes-

vermessung und die geodätische Forschung einen Beitrag zu leisten.

In Berufskreisen werden die dargelegten Vorschläge manchenorts recht umstritten sein. Der Autor gibt aber seiner Überzeugung Ausdruck, dass die Entwicklung in der aufgezeigten Richtung erfolgen wird. Es gilt, die Aufgaben für das nächste halbe Jahrhundert abzustecken. Dafür wird ein grosser persönlicher und finanzieller Einsatz erforderlich sein. Ein objektiver Vergleich mit den Leistungen im letzten und im ersten Teil dieses Jahrhunderts wird unter besonderer Berücksichtigung der grossen Entwicklung von Wissenschaft und Technik aber aufzeigen, dass der vorgeschlagene Weg massvoll, folgerichtig und notwendig ist.

Die geodätische Forschung in der Schweiz hat eine gute Tradition und in der Fachwelt auch einen guten Namen. Sie war wohl nie spektakulär, sondern solid und gründlich. Den bedeutenden Entwicklungen der letzten Jahrzehnte entsprechend, sind nun aber dringend neue Impulse nötig.

Literatur

- (1) *Zölly, H.*: Geschichte der Geodätischen Grundlagen für Karten und Vermessungen in der Schweiz. Eidgenössische Landestopographie, Bern 1948.
- (2) *SGK*, Schweizerische Geodätische Kommission: Procès-Verbaux und Bände XIV–XXX der Geodätisch-Astronomischen Arbeiten in der Schweiz. 1910–1970.
- (3) *Höpcke, W.*: Einführung in die Algebra der Matrizen. Kontaktstudium Ingenieurvermessung, Lehrbrief 1. Technische Universität Hannover 1974.
- (4) *Moritz, H.*: Least-Squares Collocation. Deutsche Geodätische Kommission. Reihe A. Heft Nr. 75, München 1973.
- (5) *Sigl, R., Bauch, A.*: Das Universal Theo 002; sein Einsatz bei zwei genauen Verfahren der Geodätischen Astronomie. Allgemeine Vermessungsnachrichten 1976. S. 113–128.
- (6) *Rinner, K.*: Distance measurement with the aid of electromagnetic waves. Geophysical Surveys I 1974. S. 459–479. Reidel Publishing Company, Holland.
- (7) *Shiely G., Bradsell, R. H.*: Georan I, a new two-Colour Laser Ranger. Internationales Symposium über terrestrisch-elektromagnetische Streckenmessung und atmosphärische Einflüsse auf Winkelmessungen. Presented paper, Stockholm 1974.
- (8) *Schmid, H. H.*: Triangulation mit Satelliten. Jordan/Eggert/Kneissel. Handbuch der Vermessungskunde, 10. Auflage. Band IIIa/3 Photogrammetrie. J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1972.
- (9) *Sigl, R.*: Die Arbeiten des Sonderforschungsbereiches 78, Satellitengeodäsie der Technischen Universität München im Jahre 1974. Veröffentlichung der Bayerischen Kommission für die internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Astronomisch-Geodätische Arbeiten. Heft Nr. 33. München 1975.
- (10) *Brown, D. C.*: Doppler positioning by the short arc method. International geodetic Symposium. New Mexico State University 1976.
- (11) *Rinner, K.*: Derzeitiger Stand und Entwicklung der Meeresgeodäsie. Mitteilungen der geodätischen Institute der technischen Universität Graz, Folge 23, 1976.
- (12) *Rinner, K.*: Übersicht über die Satellitengeodäsie und ihre Zukunft. Mitteilungen der geodätischen Institute der technischen Universität Graz, Folge 23, 1976.
- (13) *Carroll, J. E.*: Prototype Development and Testing AAPS Automated Astronomic Positioning System. Final Report. Control Data Corp., 1974, Minneapolis.
- (14) *Birardi, G.*: The establishment of a net of vertical deflection points in Italy by means of a photo-astronomical procedure. Bollettino di Geodesia e Scienze affini Nr. 2/1976.
- (15) *L. F. Gregerson, R. J. Corriere*: Inertial Surveying System Experiments in Canada. XVI. Generalversammlung der UGGI, 1975 Grenoble.
- (16) *Sakuma, A.*: A permanent Station for the absolute determination of Gravity approaching one micro-gal accuracy. Proceedings of the symposium on Earth's Gravitational Field and secular variations. 1973. S. 674–684.
- (17) *Cerutti, G., Cannizzo, L., Sakuma, A., Hostache, J.*: A transportable apparatus for absolute gravity measurement. IMEKO Technical Committee Measurement of force and mass, Udine 1974.
- (18) *Kraus, K.*: Anwendungsmöglichkeiten eines digital gesteuerten Differentialumbildgerätes. Technische Universität Wien. Geowissenschaftliche Mitteilungen. Heft Nr. 8, 1976.
- (19) *Torge, W.*: Geodäsie. Sammlung Göschen. W. de Gruyter, Berlin-New York 1975.
- (20) *Rinner, K.*: Der geodätische Beitrag zu geodynamischen Projekten. Zeitschrift für Vermessungswesen 1974, S. 325–335.
- (21) *Schweizerischer Bundesrat*: Verordnung über die Obliegenheiten der Eidgenössischen Landestopographie, Bern 10. Mai 1972.
- (22) *SGK*, Schweizerische Geodätische Kommission: Reglement der Schweizerischen Geodätischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. An der Sitzung der SGK vom 26. Juni 1976 zur Vorlage an die SNG verabschiedet.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. H. Matthias,
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich