

BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN
MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE KLASSE

SITZUNGSBERICHTE

JAHRGANG

1957

MÜNCHEN 1958

VERLAG DER BAYERISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

In Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

Zur Neuausgleichung der europäischen Haupttriangulationen

Von Max Kneißl in München

Vorgetragen am 8. November 1957

Übersicht

I. Vorbemerkungen	123
II. Die erste Ausgleichung der europäischen Hauptdreiecksnetze (R. E. 1950)	126
III. Die zweite Ausgleichung der europäischen Hauptdreiecksnetze (R. E. TRIG.)	
a) Allgemeines	127
b) Technische Empfehlungen. Rom 1954 und München 1956 . . .	128
IV. Arbeitsplan 1957–1959	137
a) Überprüfung des Netzaufbaues und der vorliegenden Beobachtungsdaten	137
b) Überprüfung der Genauigkeit der vorliegenden Beobachtungsergebnisse	139
c) Richtlinien für Neu- und Ergänzungsmessungen	141
d) Reduktion der Grundlinien auf das Ellipsoid	142
e) Gesamtausgleichung	143

I. Vorbemerkungen

Die klassische Triangulation mit Winkel-, Basis- und astronomisch-geodätischen Messungen wurde durch Tycho de Brahe (1589) in Dänemark und Willibrord Snellius (1615) in den Niederlanden begründet. Sie löste die Epoche der großen Landes- triangulationen und Gradmessungen aus und führte zu den ersten genauen Bestimmungen der Figur und Größe der Erde, sowie zur Definition des internationalen Meters. Der Gradmes-

sung verdanken wir in Europa den westeuropäischen Meridian (Meridian von Paris), der von den Shetlandinseln über Großbritannien, Frankreich, Spanien über das Mittelmeer hinweg bis Laghouat in Algerien reicht und eine Amplitude von 27 Breitengraden umfaßt; die russisch-skandinavische Breitengradmessung (F. G. W. Struve, C. Tenner) von Hammerfest bis zur Donaumündung mit einer Amplitude von rund 25 Breitengraden; ferner die europäische Längengradmessung in 52° Breite von Irland (Feaghmain) bis zum Ural (Orsk) mit einer Amplitude von 69° ; schließlich die europäische Längengradmessung in 48° Breite (Parallel von Paris) zwischen Brest und Astrachan mit einer Amplitude von 19 Längengraden.

Diese Gradmessungen gaben die erste Möglichkeit, die Lotabweichungen und damit die Figur der Erde in Europa in großen Zügen zu studieren. Mit der von Hayford um die Jahrhundertwende eingeleiteten Ablösung der Bogenmethode (Gradmessungsmethode) durch die Flächenmethode zur Bestimmung der Erdfigur oder des Geoids erhielt der schon von C. F. Gauß geforderte vollständige Zusammenschluß aller vorliegenden europäischen Triangulationen neuen Auftrieb und wesentliche Förderung durch die wissenschaftlichen Arbeiten Helmerts.

Der Zusammenschluß der europäischen Triangulationen ist seit etwa 30 Jahren mit ein Hauptanliegen der Internationalen Assoziation für Geodäsie. Heute ist es vor allem Pierre Tardi (Paris), der dem Zusammenschluß der europäischen Triangulationen seit Jahrzehnten einen großen Teil seiner Arbeitskraft und sein hohes Wissen widmet. Die Internationale Assoziation für Geodäsie ist außerdem bestrebt, das zu schaffende gesamteuropäische Hauptdreiecksnetz nicht zu einem isolierten Teilnetz werden zu lassen, sondern über den europäischen Kontinent hinweg mit den großen afrikanischen Triangulationen, mit den Triangulationen der UdSSR und Kleinasiens Verbindungen zu schaffen, damit es dereinst zu einem großen Ganzen zusammenwächst. Hier sei erinnert an den Eismeer-Mittelmeer-Meridian, der den alten Struveschen Bogen ersetzt – von dem er in Polen abzweigt – und sich zunächst bis Kreta erstreckte, bis er vor wenigen Jahren mit Hilfe der Hochzieltriangulation an die afrikanische Breitengradmessung in 30° östl. Länge angeschlossen

werden konnte. Die afrikanische Breitengradmessung erstreckt sich von Kairo bis Kapstadt. Der Gesamtbogen Murmansk-Kapstadt umfaßt damit rund 105° , also mehr als einen Erdquadranten. Erinnert sei ferner an die Variante des Eismeermeridians, die über die Türkei, Syrien und Palästina nach Ägypten verlaufen sollte.

Die Internationale Assoziation für Geodäsie bemüht sich seit ihrem Bestehen auch an anderen Stellen um die Durchführung gewisser Triangulationen, die eine internationale Zusammenarbeit erfordern. Ihrem Wirken verdanken wir die vorbildliche Verbindung der belgischen und französischen Triangulation, die Verbindung der französischen und italienischen Triangulation in Savoyen längs des mittleren Parallels, die Verbindung der spanischen und französischen Triangulation in Marokko, die den spanischen Meridian von Tetuan mit dem französischen Meridian von Meknès verbindet. Damit war ein wichtiger Ansatz gefunden für die heute bestehende westliche Mittelmeerschleife und ihre Fortsetzung rund um die Adria. Die derzeitigen politischen Schwierigkeiten erschweren leider den Zusammenschluß der östlichen Mittelmeerschleife, für die im Norden durch den bestehenden Anschluß der Triangulation von Griechenland, Bulgarien und der Türkei günstige Voraussetzungen vorliegen.

Vorbildlich ist der Zusammenschluß der Triangulationen rund um die Ostsee, wobei auch an dieser Stelle der mustergültigen Organisation und vertrauensvollen Zusammenarbeit in der Baltischen Geodätischen Kommission und ihres verständnisvollen und unermüdlichen Organisators Hilmar Bonshorff gedacht werden soll. Dänemark, Norwegen, Schweden, Finnland, Rußland, Polen und Deutschland nahmen an dieser so erfolgreichen Zusammenarbeit teil. Der geodätische Ostseering fand durch die vor wenigen Jahren durchgeführte Hochzieltriangulation zwischen Dänemark und Norwegen eine wertvolle Ergänzung. Im Westen wurde der englisch-französische Anschluß verbessert und zwischen Schottland und Norwegen eine Hiran-Verbindung geschaffen.

Mit dieser losen Aufzählung ist zugleich der große Block umrissen, den wir heute zur Europäischen Haupttriangulation zählen möchten, wenn wir dabei für einen Augenblick

von allen politischen Schwierigkeiten absehen und die europäischen Völker und alle Angrenzer als eine sorglos zusammenlebende Familie betrachten könnten. Dieser Block reicht im Norden von Island bis Murmansk, im Westen bis Portugal, im Süden umschließt er ganz Nordafrika von Marokko bis Ägypten; im Osten liegt seine Grenze in Vorderasien und sollte etwa längs des Meridians von Murmansk–Pulkowa–Nikolajew an die großen sowjetischen Triangulationen anschließen. Dieses phantastisch anmutende Wunschbild wäre wissenschaftlich und technisch schon jetzt innerhalb weniger Jahre ohne allzu große Schwierigkeiten zu erfüllen; seine politische Realisierung liegt sicher in weiter Ferne.

Diesem Wunschbild schließen sich im Osten in vorbildlicher Klarheit im Aufbau, mustergültig in der Organisation und Durchführung, ausgezeichnet in der wissenschaftlichen Planung, Beobachtung und Berechnung, einheitlich und vollständig ausgeglichen die sowjetischen Haupttriangulationen an, die sich in einer gewaltigen ununterbrochenen Kette von Polygonen I. O. etwa zwischen dem 56. und 51. Breitengrad vom Meridian Murmansk–Pulkowa–Nikolajew bis zum Stillen Ozean erstrecken. Gegenüber der wundervoll homogenen sowjetischen Haupttriangulation von wahrhaft kontinentaler Ausdehnung ist, um mit Georges Perrier zu sprechen, „das alte Europa seit zwei Jahrhunderten der Schauplatz aufeinanderfolgender Triangulationen gewesen, die unter ganz verschiedenen Umständen unternommen wurden und nicht zusammenpassen“.

Es ist daher eine wahrhaft wissenschaftliche Aufgabe, aus diesem Material ein einheitliches und homogenes europäisches Gesamtdreiecksnetz zu schaffen.

II. Die erste Ausgleichung der europäischen Hauptdreiecksnetze (R. E. 1950)

Die erste, wenigstens nach Methode und Umfang wissenschaftlich bedeutungsvollste Gesamtausgleichung der europäischen Hauptnetztriangulationen wurde nach 1945 durchgeführt

und etwa 1950 abgeschlossen. Die Einzelheiten dieser Ausgleichung und das Netzbild hierzu sind veröffentlicht. Die Koordinaten und Einzelergebnisse sind in Händen des Initiators dieser Ausgleichung, des Army Map Service (USA), im übrigen geheim und nicht einmal allen in die Ausgleichung einbezogenen europäischen Ländern für das eigene Land bekannt. Soweit die Landesvermessungsbehörden einzelner Länder Koordinaten erhalten haben, besitzen sie lediglich die des eigenen Landes. Diese Tatsache hat zur Folge, daß diese sogenannte erste Ausgleichung (R. E. 1950), abgesehen von der Methode, wissenschaftlich bedeutungslos ist; es ist daher eine vollständige Neuausgleichung der europäischen Triangulationen erforderlich. Dies fällt um so leichter, als die Ausgleichung von 1950 zahlreiche technische Mängel, Unzulänglichkeiten in der Gesamtanlage und in zahlreichen Details aufweist, die in der Zeit zwischen 1951 und 1954 untersucht und auf der X. Generalversammlung der I. U. G. G. in Rom (1954) diskutiert wurden. Eine weitere Analysierung der Ausgleichung von 1950 hat nur noch Bedeutung für die lokale Aufdeckung von Fehlern in den vorhandenen Haupttriangulationen und für ihre Verwendung zur Bestimmung eines vorläufigen einheitlichen Geoids für die Reduktion der neu auszugleichenden Beobachtungen.

III. Die zweite Ausgleichung der europäischen Hauptdreiecksnetze (R. E. TRIG.)

a) Allgemeines

Der Zusammenschluß der europäischen Hauptnetztriangulationen ist:

1. für die Internationale Assoziation für Geodäsie eine rein wissenschaftliche Aufgabe, die der Erforschung der Figur der Erde und ihrer Änderung im Laufe der Jahrzehnte und Jahrhunderte dienen soll;
2. für die europäischen Landesvermessungsbehörden eine rein praktische Aufgabe von außerordentlicher Tragweite, die für spätere Generationen die geodätische Integration Europas vorbereitet;

3. für die beteiligten Nationen trotz aller guten Absichten leider auch ein militärisches Problem. Wenn ein einheitliches europäisches Hauptdreiecksnetz aufgebaut wird, so wird dieses sicherlich eines Tages auch militärische Benutzer finden.

Die aus dieser dreifachen Zielsetzung entstehenden Schwierigkeiten erfordern zu ihrer Überwindung eine konsequente Konzentration auf das rein wissenschaftliche Problem, nämlich auf die Erforschung der Erdfigur. Hierzu sind die vorliegenden Messungsergebnisse der Landesvermessungsbehörden neu zu ordnen und über die Ländergrenzen hinweg vor allem in den Grundlagen (Grundlinien und Einrichtung von Laplacepunkten) so zu ergänzen, wie es die wissenschaftliche Aufgabe verlangt.

Die Frage, ob ein solches Werk nach Jahrzehnten der praktischen Landesvermessung die Grundlage für eine wirkliche Integration der europäischen Vermessungssysteme abgeben kann, ist gegenwärtig sekundär und erschwert nur die wissenschaftliche Arbeit. Im Augenblick besteht für eine solche Integration kein praktisches Bedürfnis.

Hinsichtlich der militärischen Bedeutung ist auf folgendes hinzuweisen. Die bei einer Neubearbeitung der Grundlagen zu erzielenden Verbesserungen sind militärisch bedeutungslos. Eine weitere Geheimhaltung etwa der Ergebnisse der europäischen Triangulationen I. O. ist daher militärisch nutzlos, sie erschwert aber außerordentlich den wissenschaftlichen Fortschritt der Geodäsie und ihre wirtschaftliche und kulturelle Aufgabe. Ohne Freigabe der Beobachtungs- und Berechnungsergebnisse und vertrauensvolle Sammlung in einer Hand, wie es J. J. Baeyer schon 1864 forderte, wird eine Neuausgleichung der europäischen Vermessungsunterlagen keine wesentlichen Fortschritte gegenüber der nunmehr vorliegenden Ausgleichung aus dem Jahre 1950/51 bringen können.

b) Technische Empfehlungen. Rom 1954 und München 1956

Im einzelnen wurde das weitere Vorgehen für eine neue Gesamtausgleichung der Europäischen Triangulation in Rom durch folgende Empfehlungen festgelegt:

Gesamtausgleichung der Europäischen Triangulationen

Im Hinblick darauf, daß die Europäischen Staaten, die an der ersten Phase der Europäischen Ausgleichung teilgenommen haben, gegenwärtig die besten Methoden untersuchen, um in eine zweite, mehr wissenschaftliche Phase dieser Gesamtausgleichung einzutreten, empfiehlt die I. U. G. G., daß sich die angeschlossenen Staaten soweit wie möglich nach folgendem Programm richten:

1. Vervollständigung der wissenschaftlichen Analyse der ersten Ausgleichung;
2. Verbesserung und Vervollständigung der Beobachtungen in den Gebieten, die den angrenzenden Landesnetzen gemeinsam sind;
3. Einrichtung einer Vergleichsbasis in jedem Land unter Benutzung des Apparates von Väisälä (oder ähnlicher Apparate), um einen einheitlichen Maßstab für alle Netze zu gewährleisten und um die Invardrähte und Geodimeter eichen zu können;
4. Verdichtung der Laplaceschen Azimute und der mit Invardrähten oder mit Geodimeter gemessenen Basen, gemäß einem einheitlichen Plan für Europa, um in allen Teilen eine relative Genauigkeit von 1 : 100000 zu gewährleisten;
5. Prüfung der Möglichkeiten, die Ländernetze oder die internationalen Verbindungen mit der Shoran-Methode von hoher Genauigkeit zu versteifen, und zu versuchen, eine größere Genauigkeit in der endgültigen Ausgleichung zu erreichen.

Diese Empfehlungen wurden ergänzt durch einen Vorschlag zur Durchführung internationaler Basismessungen.¹

¹ Internationale Basismessungen: Im Hinblick darauf, daß es schwierig sein wird, in jedem Staat eine Spezialausrüstung zur Messung sehr genauer geodätischer Entfernungen bereitzuhalten, beauftragt die I. A. G. ihr Zentralbüro, alle nötigen Schritte zu unternehmen, um einen internationalen Trupp zur Messung sehr genauer Basen aufzustellen. Dabei sollen auch Geodimeter benutzt werden, sobald erwiesen ist, daß diese Methode ausreicht. Die Ausrüstung soll von einigen großen Staaten gestellt werden. Die Personalkosten sollen von den Staaten getragen werden, zu deren Nutzen die Messungen ausgeführt werden.

Die allgemeinen Grundsätze für die Neuausgleichung konnten im wesentlichen auf einer Sondersitzung der Internationalen Assoziation für Geodäsie, die in der Zeit vom 22. bis 26. Mai 1956 in München stattfand, geklärt werden.

Der Präsident der Internationalen Assoziation für Geodäsie, Herr Dr. J. de Graaff-Hunter, bestätigte in seiner programmatischen Eröffnungsrede den wissenschaftlichen Charakter der Neuausgleichung, aus der wir etwa folgende Stellen zitieren dürfen:

1. „Wir wollen Maßnahmen verschiedener Dringlichkeit ergreifen, um ein ausgeglichenes Netz der Europäischen Triangulation zu erstellen, das eine zweite Näherung darstellt, die der ersten vor einigen Jahren erhaltenen überlegen ist.

Die zweite Näherung soll einen weitaus wissenschaftlicheren Charakter haben als die vorausgegangene. Sie soll die Differenzen zwischen Geoid und dem verwandten Ellipsoid festhalten, die aus den Resultaten der ersten Näherung mit Hilfe der sehr zahlreichen astronomischen Beobachtungsstationen in Europa hergeleitet werden können.“

2. „Wir haben es nicht sehr eilig. Wir wissen, daß, bevor man ein vollständig befriedigendes Resultat erhält, mehrere Jahre, vielleicht 10 Jahre, verstreichen können. Es ist daher von größter Wichtigkeit, daß wir eine Arbeitsmethode finden, die es uns jederzeit erlauben wird, Verbesserungen des Netzes zu berücksichtigen, um die Arbeit ständig auf dem laufenden zu halten.“

3. „Die Internationale Assoziation für Geodäsie übernimmt von nun an die Initiative für eine rein wissenschaftliche Berechnung, die im Einverständnis mit allen Nationen, deren Netze man verwenden wird, durchgeführt wird. Sie hofft, daß die im Verlauf dieser zweiten Berechnung erhaltenen Koordinaten durch die Nationen – besonders durch die an den nautischen und aeronautischen Navigationsproblemen interessierten – nicht geheimgehalten werden. Sie hofft auch, daß das Netz so weit wie möglich nach Ost-Europa ausgedehnt werden kann und eine sehr große Fläche bedecken wird. Sie hat die Absicht, die isostatischen Reduktionen aus allen Lotabweichungen zu berechnen und so für ganz Europa eine ähnliche

Berechnung vorzunehmen, wie diese Hayford in den Vereinigten Staaten vor etwa 50 Jahren unternommen hat.“

Weiter stellte der Präsident fest, daß die Internationale Assoziation für Geodäsie nur Teilergebnisse der ersten Ausgleichung erhalten hat, die lediglich einen Vergleich der ausgeglichenen geodätischen und der beobachteten astronomischen Koordinaten auf $\pm 0,1''$ zuließen. Dies genügte der Internationalen Assoziation für Geodäsie für die Zeichnung der Höhenschichtlinien des Geoids, bezogen auf das ausgeglichene europäische System. Damit können die vorliegenden Beobachtungen für die Neuausgleichung reduziert werden. Die erste Näherung bildet daher einen wesentlichen Bestandteil für die zweite Näherung, die wir jetzt in Angriff nehmen wollen.

Zur Förderung der praktischen Arbeiten für die Zweitausgleichung wurden in München innerhalb der Permanenten Kommission zur Neuausgleichung der europäischen Hauptnetztriangulationen zwei Unterkommissionen gebildet, denen gleichsam als Forschungsabteilung noch die von Brigadier Hotine (England) präsidierte Spezialstudiengruppe Nr. 1 (Berechnung und Ausgleichung großer Triangulationen unter Berücksichtigung der Geoidform) der Internationalen Assoziation für Geodäsie zur Seite steht. Dabei soll die Unterkommission A unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Marussi (Italien) alle Unterlagen über den Stand der europäischen Triangulationen sammeln, gemeinsame Netzergänzungen zwischen benachbarten Staaten anregen, Neumessungen, Basismessungen und die Beobachtung Laplacescher Punkte fördern und Fühlung mit den europäischen Staaten aufnehmen, die in der Permanenten Kommission für die Neuausgleichung der europäischen Hauptdreiecksnetze noch nicht vertreten sind.

Die Unterkommission B (Präs. Prof. Dr. Großmann, Hannover) sollte die allgemeinen Grundsätze für die Ausgleichung und die anzuwendenden Methoden im einzelnen festlegen. Das Zentralbüro der Internationalen Assoziation für Geodäsie empfahl, das Gesamtnetz in nationale Blöcke zu unterteilen, damit jedes Land eine interne Ausgleichung seines eigenen Netzes vornehmen könne. Die Länder hätten dann nur die Beobachtungsdaten

für die Verbindungsgleichungen mit den Nachbarländern der Zentralorganisation einzureichen, die für eine Gesamtausgleichung notwendig sind. Diese Vorschläge basieren auf folgenden Erkenntnissen:

- a) diese Methode ist nach Ansicht des Zentralbüros die einzig durchführbare, weil sie die Arbeit unter die Nationen aufteilt; die Internationale Assoziation für Geodäsie hat nicht die materiellen oder finanziellen Mittel, um eine Gesamtausgleichung der europäischen Triangulation in einem Guß vorzunehmen;
- b) auf diese Art kann die Ausgleichung auch noch nachträglich erweitert werden, wenn sich weitere Länder später dem Unternehmen anschließen;
- c) das ist auch die einzige Methode, die auf befriedigende Art die Frage der Geheimhaltung lösen könnte, auf die möglicherweise einige Nationen großes Gewicht legen.

Das noch zu schaffende Rechenzentrum benötigt nur die Koordinaten der Randpunkte der Teilnetze. Die Koordinaten der im Innern der Teilnetze liegenden Punkte können nach Abschluß der Gesamtausgleichung durch die einzelnen Länder nachträglich an diese angeschlossen werden. Jede Nation würde auf diese Weise alle Freiheiten haben, um über die Publikation der endgültigen Koordinaten oder ganz einfach wie jetzt über die Veröffentlichungen der Elemente der relativen Lotabweichungen zu entscheiden.

Die Münchner Beratungen führten zu folgenden Empfehlungen:

Überblick über Stand und Ergänzungen der europäischen Hauptdreiecksnetze.

1. Die I. A. G. empfiehlt, daß jedes Land ein Netzbild seiner Haupttriangulation soweit zeichnet und auf dem laufenden hält, als es für den zweiten Schritt der europäischen Ausgleichung erforderlich ist.

Das Netzbild sollte auf Grund der internationalen Weltkarte im Maßstab 1:1000000 gezeichnet werden und alle Verbindungen mit den Netzen der benachbarten Staaten, die Laplace-

Stationen, die gemessenen Basislinien und die direkt gemessenen Dreiecksseiten aufweisen. Für letztere sollen die bei den Messungen angewandten Methoden (Bessel-Apparat, Invardrähte, Väisälä-Apparat, Geodimeter, Radar), ferner die Länge und ihre relative Genauigkeit mittels des von der I. A. G. aufgestellten Zeichenschlüssels dargestellt werden.

Außerdem sollten in dem Netzbild auch die Netzteile, Laplace-Stationen und Basislinien oder Seiten, deren Messung für die nächste Zukunft (d. h. ungefähr innerhalb fünf Jahren) geplant ist, mittels geeigneter Zeichen dargestellt werden.

2. Die I. A. G. empfiehlt, daß alle europäischen Länder, die an der Münchner Tagung nicht teilgenommen haben, im Einvernehmen mit den Nachbarländern den besten Weg erkunden sollen, um eine Einbeziehung ihrer Netze in das europäische Hauptdreiecksnetz sicherzustellen, damit das Gebiet der zweiten Phase der europäischen Ausgleichung so weit wie möglich ausgedehnt werden kann.

3. Die I. A. G. empfiehlt, daß jedes Land, dessen Triangulationsnetz in die zweite Phase der europäischen Ausgleichung einbezogen ist, Genauigkeitsuntersuchungen durchführen soll, sowohl innerhalb des Landesnetzes als auch in Verbindung mit den Netzen der Nachbarländer, damit vermieden wird, daß zum Zeitpunkt des zweiten Abschnitts dieser Ausgleichung unerwartete Widersprüche auftreten. Diese Genauigkeitsuntersuchungen sollten sowohl bezüglich der inneren Bedingungen im Netz als auch bezüglich der Übereinstimmung in den Basislinien und Laplace-Punkten durchgeführt werden. Besondere Aufmerksamkeit sollte den Polygonschlußfehlern gewidmet werden.

Es wird empfohlen, daß bei dieser Gelegenheit eventuelle systematische Fehler, die zum Beispiel in den Ketten entlang den Küsten wegen der Seitenrefraktion auftreten könnten, untersucht werden.

4. Die I. A. G. empfiehlt, daß die relative Unsicherheit der Seitenlängen der in die zweite Phase der europäischen Ausgleichung einbezogenen Triangulationsnetze den Wert $1/100000$ nicht übersteigen soll.

Es wird empfohlen, daß bei der Einrichtung neuer Basislinien oder bei der Messung von Dreiecksseiten mit dem Geodimeter die Entfernung zwischen diesen Basislinien oder Seiten etwa 150 bis 300 km nicht übersteigen sollte. Dies gilt auch für die gegenseitigen Entfernungen der Basislinien über die Ländergrenzen hinweg von Land zu Land.

5. Die I. A. G. ist der Meinung, daß die relative Unsicherheit der Orientierung in den einzelnen Dreiecksseiten zwei Altsekunden nicht überschreiten soll. Mit Rücksicht hierauf sollen in Abständen von etwa je 150 km Laplace-Stationen eingerichtet werden.

Es wird empfohlen, Laplace-Punkte einzurichten, die nach Möglichkeit paarweise an den Enden derselben Dreiecksseite angeordnet werden.

6. Die I. A. G. empfiehlt, auf eventuelle horizontale Bodenbewegungen zu achten, die bereits stattgefunden haben oder gegenwärtig im Gange sind oder im Laufe der Zeit auftreten können.

Zu diesem Zweck wird empfohlen, einfache astronomische Azimute zwischen den Punkten, wo Bewegungen vermutet werden, zu beobachten.

Besondere Beachtung soll auf das Auftreten solcher Bewegungen bei der Durchführung von Längen- oder auch Azimutmessungen auf Punkten aus alten Netzen gelegt werden. Für diesen Fall wird empfohlen, die Unveränderlichkeit der Punkte durch neue Winkelmessungen zu überprüfen.

Vorläufige Empfehlungen zur Netzausgleichung

1. Der Vorschlag des Zentralbüros der Internationalen Assoziation für Geodäsie wird allgemein angenommen. Das neue Euromanetz soll als Flächennetz ausgeglichen werden, wobei das Gesamtnetz ländersweise in verschiedene Blöcke zu unterteilen ist. Jedes Land sollte sein eigenes Netz selbst ausgleichen und den Nachbarländern sowie einer noch zu schaffenden Rechenzentrale die Unterlagen für den Zusammenschluß der Teilnetze mitteilen.

2. Weiter besteht Übereinstimmung, daß der Beginn der neuen Ausgleichung nicht übereilt zu werden braucht, weil in den be-

teiligten Ländern zuvor noch zahlreiche Verbesserungs- und Ergänzungsmessungen durchgeführt werden sollen. Die Zwischenzeit sollte zu Untersuchungen an einem Versuchsnetz genutzt werden. Zunächst sollten Unstimmigkeiten an den Ländergrenzen beseitigt werden. Hierfür wird ein Netz an der Nordseeküste empfohlen, das etwa das nördliche Frankreich, Luxemburg, Belgien, die Niederlande und Nordwestdeutschland, vielleicht auch Dänemark umfassen könnte, wenn die betreffenden Länder das Beobachtungsmaterial zur Verfügung stellen können. Das Versuchsnetz sollte möglichst in jedem der beteiligten Länder vollständig durchgerechnet werden, damit am Schluß durch einen Vergleich neue – vielleicht entscheidende – Erkenntnisse gewonnen werden können.

3. Bevor mit der Ausgleichung begonnen wird, sollte mit modernen statistischen Methoden untersucht werden, inwieweit systematische Fehler vorhanden sind oder gefunden werden können. Zur Ausarbeitung eines Untersuchungsverfahrens erscheint das vorgeschlagene Versuchsnetz geeignet.

4. Die zweite Ausgleichung kann grundsätzlich sowohl mit geographischen wie mit ebenen Koordinaten durchgeführt werden. Die Kommission ist jedoch der Auffassung, daß bei der Endausgleichung des Netzes den Verbindungspunkten geographische Koordinaten zugrunde gelegt werden sollten.

5. Es besteht die Möglichkeit, daß die nationalen Teilnetze nach der Methode der bedingten Beobachtungen ausgeglichen werden. Für die Verbindungspunkte sind nur die Gewichtskoeffizienten zu berechnen. Es ergibt sich das Problem, die Matrix der Gewichtskoeffizienten durch Inversion aus der Matrix der Koeffizienten der Normalgleichung der Verbindungspunkte abzuleiten. Weiterhin muß darauf geachtet werden, daß dieselben Gewichtseinheiten für die ursprünglichen Beobachtungen von allen beteiligten Ländern angenommen werden. Wie das zu bewerkstelligen ist, muß besonderen Untersuchungen überlassen werden.

6. Bei der Endausgleichung soll eine Änderung der großen Halbachse der Erde vorgesehen werden; dagegen soll die Abplattung des internationalen Ellipsoides festgehalten werden.

Für Versuchszwecke können auch Abplattungsglieder in der Ausgleichung mitgeführt werden.

7. Die Frage, ob für einige ausgewählte Punkte neben den astronomischen Lotabweichungen die Lotabweichung auch gravimetrisch bestimmt werden sollte, wird grundsätzlich bejaht.

8. Die Entscheidung darüber, ob die Laplace-Azimute als fehlerfrei in die Ausgleichung einzuführen sind, ist abhängig davon, in welchem Verhältnis die mittleren Fehler der geodätischen Winkel zu denen der astronomischen Azimute stehen. Die Frage ist – zumal bei größerer Entfernung der Punkte – erfahrungsgemäß nicht übermäßig bedeutsam. Das Endergebnis wird bei Variation der Gewichte nur wenig geändert.

9. Es besteht Übereinstimmung, daß die Grundlinien als fehlerfrei angesehen werden können, sofern eine genaue gegenseitige Vergleichung des Maßstabs stattgefunden hat. Die aus der Basis abgeleitete Dreiecksseite dagegen sollte mit einem mittleren Fehler in die Ausgleichung eingeführt werden, welcher sich aus dem Übertragungsfehler im Vergrößerungsnetz und – gegebenenfalls – dem Beobachtungsfehler der betreffenden Grundlinie zusammensetzt.

10. Die horizontalen Richtungen sollten korrigiert werden wegen der Höhe des Geoids, wegen Reduktion des Vertikalschnitts auf die geodätische Linie und möglichst auch wegen der Lotabweichung. Die Basislinien sollten vom Meereshorizont (oder vom Geoid) auf das Ellipsoid reduziert werden.

Die Spezialstudiengruppe unter Leitung von Brig. Hotine (England) empfahl, die vorgeschlagenen Methoden für die Reduktion der Beobachtungen und für die Netzausgleichung an einem Beispiel zu erproben. Die Proberechnungen sollten mit Hilfe einer fiktiven Triangulationskette durchgeführt werden.

In einem Gebirgsland sollen Raumpunkten, die die Stationen einer ungefähr 100 bis 200 Meilen langen Triangulationskette darstellen, geodätische Koordinaten zugeordnet werden. Das Koordinatensystem bestehe aus geographischer Breite und Länge auf dem internationalen Ellipsoid mit der entlang der gradlinigen Normalen gemessenen Höhe. Dann sollen denselben Punkten Werte für die astronomische Breite und Länge zugeordnet wer-

den, damit sich vernünftige Differenzen gegenüber den geodätischen Koordinaten ergeben, wie sie in gebirgiger Gegend auftreten.

Aus diesen Angaben sollen nun fehlerfreie Horizontal- und Vertikalwinkel nach der in der Arbeit „Adjustment of Triangulation in Space“ von M. Hotine beschriebenen Methode berechnet werden. Diese könnten dann zusammen mit Grundlinien und einigen astronomischen Werten benützt werden, um die geodätischen Koordinaten der Punkte nach einer vorgeschlagenen Reduktionsmethode zu gewinnen, wodurch die ursprünglich zugeordneten Werte korrekt herauskommen sollten, gegebenenfalls nach einer etwa notwendigen Koordinatentransformation, falls die vorgeschlagene Methode ein anderes System von geodätischen Koordinaten benützt.

IV. Arbeitsplan 1957–1959

Nach dem vorausgehenden allgemeinen Überblick erhebt sich nun die Frage, wie die Arbeiten fortgesetzt werden sollen. Hierzu werden folgende Vorschläge unterbreitet:

a) Überprüfung des Netzaufbaues und der vorliegenden Beobachtungsdaten

1. Entsprechend den Empfehlungen in München (1956) sollen alle interessierten europäischen Länder etwa bis 1. 4. 1958 den derzeitigen Stand ihrer Triangulierungen I. O. in einem Netzbild im Maßstab 1:1000000 darstellen. Für eine einheitliche Darstellung hat die Permanente Kommission für die Neuausgleichung der europäischen Dreiecksnetze Musterbeispiele ausgearbeitet.

2. Die Kommission wird bis 1. 1. 1959 ein einheitliches europäisches Gesamtnetz auswählen, dieses im Maßstab 1:1000000 kartographisch bearbeiten, die identischen Punkte längs der Landesgrenzen überprüfen und soweit notwendig im Einvernehmen mit den beteiligten Ländern etwaige Zentrierungselemente ermitteln und die erforderlichen Zentrierungen durchführen.

3. Jedes Land stellt für sich folgende Beobachtungsdaten in einheitlicher Form zusammen:

- a) Winkelmessungen I. O. (mit Höhenreduktionen und Reduktion auf die geodätischen Linien).
- b) Basismessungen mit allen Reduktionen, einschließlich Reduktion auf N. N. (Normal-Null) und Berechnung der mittleren Fehler.¹
- c) Winkelmessungen in den Basisvergrößerungsnetzen und Ausgleichungsergebnisse hierzu, einschließlich der endgültigen Länge der Basisvergrößerungsseite und ihres Übertragungsfehlers.
- d) Astronomisch-geodätische Messungen (geographische Breite, Länge und Azimut) mit allen erforderlichen Reduktionen und mittleren Fehlern.
- e) Beobachtungs- und Ausgleichungsergebnisse der Azimutübertragungsnetze.

4. Jedes Land prüft, ob diese Daten veröffentlicht oder mindestens an das Zentralbüro der Internationalen Assoziation für Geodäsie in Paris abgegeben werden können.

Soweit diese Frage bejaht wird und soweit Veröffentlichungen vorliegen, sollen die Ergebnisse an das Zentralbüro der Internationalen Assoziation für Geodäsie in Paris übersandt und dort gesammelt werden. Für den Fall, daß ein Land von seiner Re-

¹ Hierbei sind folgende Angaben zu machen:

1. Invardraht- und Bandmessung
 - a) Zahl der verwendeten Meßdrähte, Nachweis über Laboratoriumseichungen und Eichungen auf Vergleichsgrundlinien;
 - b) Art der Spannböcke und Spannstativ;
 - c) Art der Markenträger (Stative, Pfähle);
 - d) Art der Lotung und der Lotstative;
 - e) Art der Vermarkung der End- und Zwischenpunkte der Grundlinien und Abstand der Zwischenpunkte;
 - f) Meßverfahren;
 - g) Art der Temperaturbestimmung;
 - h) Reduktion der Ergebnisse (vorhandene Hilfstafeln).
2. Messungen mit Väisälä-Interferenzkomparator, Art der Eichung und Verwendung.
3. Geodimeter- und Tellurometermessungen.

gierung nicht die Berechtigung hierzu erhält, wäre möglichst bald die Frage zu klären, ob gegebenenfalls die Ausgleichungsergebnisse und die Beobachtungsdaten für die Randpunkte des Netzes für eine spätere Gesamtausgleichung zur Verfügung gestellt werden können.

5. Jedes Land stellt in einem zusätzlichen Netzbild (Ziffer 1) neben dem derzeitigen Stand die für die Neuausgleichung noch notwendigen Ergänzungs- und Wiederholungsmessungen dar. Die Wiederholungsmessungen sollen bis 1965 im allgemeinen abgeschlossen sein.

b) Überprüfung der Genauigkeit der vorliegenden Beobachtungsergebnisse

1. Als Grundlage für eine einheitliche Genauigkeitsuntersuchung der Winkel- und Basismessungen sollen von jedem Land folgende Widersprüche und Fehler berechnet, tabellarisch zusammengestellt und in den Kartenübersichten bzw. Netzbildern ausgewiesen werden:

- a) Die Dreiecksschlußfehler bezogen auf das internationale Ellipsoid (Hayford-Ellipsoid).
- b) Die Widersprüche der Seiten- oder Sinusbedingungen. Diese werden nach dem Vorschlag von W. Höpcke¹ grundsätzlich auf das Gewicht der Dreiecksbedingungen umgerechnet.
- c) Der mittlere Fehler einer beobachteten Richtung nach der Internationalen Fehlerformel von Ferrero
 - α) unter Berücksichtigung der Dreieckswidersprüche,
 - β) unter Berücksichtigung der Dreiecks- und Sinuswidersprüche.
- d) Die Widersprüche der Grundlinienbedingungen.
- e) Die Widersprüche der Azimutbedingungen (Laplace-Widersprüche).

2. Zur Überprüfung der systematischen Fehler an den Landesgrenzen, insbesondere zur Aufdeckung von Zentrier- und Iden-

¹ Höpcke, W.: „Über die Widersprüche der Seitenbedingungen.“ ZfV 1954 S. 161–164.

titätsfehlern, sollen die Länder nach einem Vorschlag von H. Wolf (Bonn) „eine zwangsfreie oder geometrische Ausglei-
 chung ihres Landesnetzes ausführen. Diese ist ohnehin später für die
 Gesamtausgleichung erforderlich. Die Landesnetze wären dann
 etwa auf das RE 1950 aufzufeldern und die Koordinaten der
 gemeinsamen Punkte, jedoch aus verschiedenen Netzen stam-
 mend, miteinander zu vergleichen. Es werden dann nämlich
 alle Zentrierfehler sichtbar, sofern sie nicht im eigenen Streu-
 ungsbereich untergehen (und dann kaum schädlich sind); des-
 gleichen auch alle relativen Verdrehungen und Verstauchungen,
 die in den betreffenden Netzen enthalten sind.

Größere Widersprüche müssen untersucht und ihre Herkunft
 und Ursachen nach Möglichkeit aufgedeckt werden. Erst wenn
 Untersuchungen solcher Art abgeschlossen und diese Fragen
 hinreichend geklärt sind, kann später an die eigentliche Aufgabe
 der Gesamtausgleichung herangetreten werden.“

3. Zur Sicherung eines einheitlichen Maßstabes werden fol-
 gende Maßnahmen empfohlen:

- a) Jedes Land prüft, welche Grundlinien hinsichtlich der Anlage,
 Vergrößerung und Messung modernen Ansprüchen entspre-
 chen und unmittelbar bei einer Neuausgleichung benutzt
 werden könnten. Im allgemeinen dürften hierfür nur Grund-
 linien in Frage kommen, die in den letzten Jahren mit In-
 vardraht- oder Invarbandapparaten gemessen wurden. Für diese
 Grundlinien sollen alle Messungs- und Berechnungsergebnisse,
 Punktbeschreibungen und Netzbilder der Vergrößerungsnetze
 zusammengestellt und gegebenenfalls zusammengefaßt in einer
 gemeinsamen Schriftenreihe publiziert werden.
- b) Jedes Land prüft, welche Grundlinien – gegebenenfalls ein-
 schließlich der Vergrößerungsnetze – nachgemessen werden
 sollen.
- c) Jedes Land prüft, in welchen Fällen es sich empfiehlt, neue
 Grundlinien anzulegen.

4. Zur Sicherung der Orientierung wird jedem Land empfoh-
 len, die vorhandenen Laplace-Azimute (Doppelazimute und
 Laplace-Nester) kritisch hinsichtlich der Beobachtungsverfahren
 und der Genauigkeit zu untersuchen.

5. Wenn die für die zweite Ausgleichung beizubehaltenden Grundlinien und Laplace-Azimute samt ihrem Vergrößerungsnetz festliegen, ist zu prüfen, ob die gegenseitigen Entfernungen der Grundlinien und Laplace-Stationen zwischen benachbarten Ländern für die Sicherung des Maßstabes und der Orientierung ausreichen. Gegebenenfalls wird den Ländern vorgeschlagen, gemeinsame Grundlinien oder Laplace-Stationen möglichst in der Nähe der Landesgrenze neu anzulegen. Eine solche gemeinsame Messung von Laplace-Stationen wurde bereits zwischen Deutschland und der Schweiz im Rahmen der Bodenseetriangulation durchgeführt; eine gemeinsame Basismessung zwischen Deutschland, der Schweiz und Österreich wird zur Zeit im Raum von Bregenz vorbereitet.

c) Richtlinien für Neu- und Ergänzungsmessungen

1. Jedes Land führt alle erforderlichen Neu- und Ergänzungsmessungen grundsätzlich selbständig durch.

2. Bei Neu- und Ergänzungsmessungen an den Landesgrenzen werden Anschlüsse an die Nachbarnetze angestrebt.

3. Neue Grundlinien und Laplace-Punkte an den Landesgrenzen werden gemeinsam mit den Nachbarstaaten angelegt.

4. Zur Einrichtung und Ausstattung internationaler Basismesstrupps teilt jedes Land bis 1. 4. 1958 dem Zentralbüro der Internationalen Assoziation für Geodäsie mit, welche Geräte (Invardrähte, Invarbänder, Spannstativ, Lotstativ, Väisälä-Interferenzkomparatoren, Geodimeter, Tellurometer) leihweise und unentgeltlich anderen europäischen Nationen für die Grundlinien- und Vergleichsmessungen zur Verfügung gestellt werden können.

5. Alle neuen Basismessungen sollen auf Vergleichsgrundlinien bezogen werden. Hierzu sollen möglichst bald folgende international zugänglichen Vergleichsgrundlinien eingerichtet werden:

- a) Nummela/Finnland (bereits fertig),
- b) Stroe/Holland (bereits fertig),
- c) München/Deutschland (bereits fertig),

- d) Salon/Südfrankreich (erst vorgeschlagen),
- e) Belgrad/Jugoslawien (zur Zeit im Aufbau).

Die Vergleichsgrundlinien sollen mit Hilfe des Väisälä-Komparators nach einem einheitlichen, international festzulegenden Plan geeicht werden.

6. Alle für Basisneumessungen künftig zu verwendenden Invardrähte und Invarbänder sollen:

- a) beim Internationalen Büro für Maße und Gewichte in Sèvres (Paris) vor und nach jeder Basismessung einer Laboratoriums-eichung unterzogen werden,
- b) vor und nach jeder Basismessung auf einer der europäischen Vergleichsgrundlinien geeicht werden.

Damit ergibt sich für jede neue Basismessung folgender Beobachtungsplan:

- a) Eichung der Drähte bzw. Bänder beim Internationalen Büro für Maße und Gewichte
- b) Eichung der Drähte bzw. Bänder auf einer Vergleichsgrundlinie,
- c) Basismessung,
- d) Eichung der Drähte bzw. Bänder auf einer Vergleichsgrundlinie,
- e) Eichung der Drähte bzw. Bänder beim Internationalen Büro für Maße und Gewichte.

d) Reduktion der Grundlinien auf das Ellipsoid

Zur Reduktion der Grundlinien auf das Ellipsoid wird der folgende Vorschlag von H. Wolf (Bonn) zur allgemeinen Annahme empfohlen:

„Bei der in etwa 10 Jahren auszuführenden Neuausgleichung eines europäischen Einheitsnetzes wird beabsichtigt, in streng wissenschaftlicher Weise zu verfahren, indem die gemessenen Winkel, Grundlinien, Azimute vollständig auf das betreffende Referenz-Ellipsoid reduziert werden sollen. Hierzu ist aber die hinreichende Kenntnis der Lotabweichungen und Geoidhöhen

(über dem Referenzellipsoid) erforderlich, und zwar in einem einheitlichen System, das dem endgültigen schon so nahe wie irgend möglich kommen soll. Somit müssen bereits vor Beginn der Neuausgleichung verlässliche Werte für die Lotabweichungen und Geoidhöhen im genannten System zur Verfügung stehen.

Zu diesem Zweck werden z. Z. beim Zentralbüro der Internationalen Assoziation für Geodäsie in Paris (durch Herrn Levallois) die Lotabweichungen für Europa gesammelt, wie sie im System des ausgeglichenen europäischen Dreiecksnetzes I. O. „RE 1950“ errechnet wurden.

Was die zugehörigen Geoidhöhen anlangt, so werden diese durch Bomford (England) im Rahmen einer besonderen Studienkommission der Internationalen Assoziation für Geodäsie berechnet, und zwar im gleichen System „RE 1950“, in dem auch die Lotabweichungen ausgedrückt sind.

Auch von anderen Ländern wird das System „RE 1950“ dazu verwendet, Lotabweichungen darin auszudrücken, wie eine schwedische Publikation von B. Wideland bezeugt. (B. Wideland: An Investigation of the Geoid in Sweden. Rikets Allmänna Kartverk, Meddelande Nr. 24, Stockholm 1955).“

Hiernach wären also die bereits von Bomford empfohlenen Lotabweichungsberechnungen so zu fördern, daß bis spätestens 1965 die in Europa vorliegenden Grundlinien endgültig auf das Bezugsellipsoid reduziert werden können.

e) Gesamtausgleichung

Was nun die Theorie der Gesamtausgleichung anlangt, so wird man wohl allgemein der Auffassung von Wolf zustimmen, „daß über das Grundsätzliche der Methode wohl Einigkeit besteht. Es ist die Methode, die Herr Whitten (U.S.A.) angewandt hat, sie gleicht der von Helmert für das Europeanetz vorgeschlagenen, die auch von Pranis-Praniewitsch angegeben wurde, und zu der Professor Weiken in den AVN ein Beispiel gebracht hat. Auch ist es völlig unproblematisch, die ‚Beiträge der Korrelation‘ zwischen den ‚korrelierten Beobachtungen‘ zu berechnen, die im reduzierten Normalgleichungssystem der Verbin-

dungspunkte auftreten. Jede Nation kann diese Zahlenwerte nach ihrer eigenen Methode und eigenem Ermessen berechnen.

Übereinstimmung muß lediglich erzielt werden hinsichtlich der begrifflichen Fassung des geometrischen Inhalts der korrelierten Beobachtungen: Es könnten das geographische, ebene oder vielleicht auch andere Koordinaten oder Elemente sein. Das ist die Hauptfrage, die noch geklärt werden muß.“

Mit den unter III. und IV. aufgezählten und erläuterten Beschlüssen und Vorschlägen ist das Problem der Neuausgleichung der europäischen Hauptnetztriangulationen soweit geklärt, daß nunmehr die praktischen Vorarbeiten begonnen werden können.