

MEDDELELSE R OM GRØNLAND

UDGIVNE AF

KOMMISSIONEN FOR VIDENSKABELIGE UNDERSØGELSER I GRØNLAND

Bd. 173 • Nr. 6

EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND

E. G. I. G. 1957—1960 Vol. 2 No. 4

DIE GEODÄTISCHE LAGEMESSUNG
ÜBER DAS GRÖNLÄNDISCHE INLANDEIS
DER INTERNATIONALEN GLAZIOLOGISCHEN
GRÖNLAND-EXPEDITION (EGIG) 1959

von

WALTHER HOFMANN

SAMT EINEM BEITRAG VON KLEMENS NOTTARP

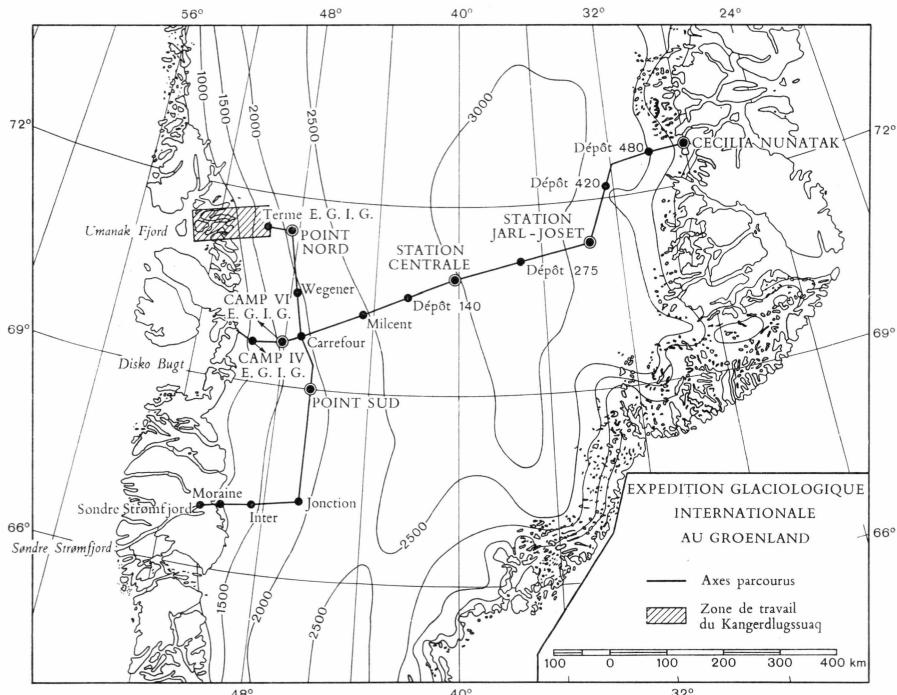
MIT 4 BILDERN, 25 FIGUREN, 13 TABELLEN
UND 1 KARTE

WITH AN ENGLISH SUMMARY
AVEC UN RÉSUMÉ FRANÇAIS

KØBENHAVN
C. A. REITZELS FORLAG

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI A/S

1964



EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND 1957-1960

Réalisation technique:
EXPEDITIONS POLAIRES FRANÇAISES
(Missions PAUL-EMILE VICTOR)

L'EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND est une expédition commune à un certain nombre d'organismes scientifiques des pays suivants: Allemagne, Autriche, Danemark, France et Suisse. Créée en 1956, elle fut autorisée par le Gouvernement de Danemark et patronnée par l'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE.

La direction scientifique de l'expédition est assurée par le COMITE DE DIRECTION, et sa réalisation confiée aux EXPEDITIONS POLAIRES FRANÇAISES. Le chef d'expédition est PAUL-EMILE VICTOR. Le support aérien a été assuré par les FORCES ARMEES AIR (France).

Après deux années de préparation et de reconnaissances (1957-1958), le programme de recherches glaciologiques dans la partie centrale du Groenland a été réalisé pendant la campagne d'été 1959 et l'hivernage à la Station JARL-JOSÉT (1959-1960). L'expédition proprement dite s'est terminée par une campagne réduite en 1960 ramenant hivernants et matériel.

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort des Direktionskomitees | 5 |
| Vorwort des Verfassers | 7 |
| I. Das Arbeitsprogramm der Lagemessung und seine operationelle Durchführung | 9 |
| 1. Aufgabe und Vorplanung | 9 |
| 2. Das geodätische und operationelle Arbeitsprogramm der Gruppe Lagemessung | 11 |
| 3. Personal und Instrumentarium der Gruppe Lagemessung | 16 |
| 4. Der zeitliche Ablauf der Lagemessung | 19 |
| II. Betriebstechnik der Tellurometer unter arktischen Bedingungen (NOTTARP) | 25 |
| 1. Vorbereitung der Geräte | 25 |
| 2. Verhalten der Geräte in Grönland | 26 |
| 3. Frequenzvergleiche und Maßstabskontrolle | 27 |
| 4. Wellenausbreitung | 32 |
| 5. Gerätetechnische Folgerungen | 34 |
| 6. Die elektrischen Eigenschaften von Schnee bei 3000 MHz | 37 |
| III. Die Lagemessung in den EIGG-Profilen West-Ost und Nord-Süd | 39 |
| 1. Die geodätischen Pegel der EIGG | 39 |
| 2. Versuchsmessungen | 41 |
| 3. Polygonzug TA 0 (Camp VI EIGG)-T 4 (Carrefour) | 42 |
| 4. Viereckskette T 4 (Carrefour)-TA 61 (Dépôt 420) | 43 |
| 5. Abweichung der Vierecke von der Quadratform | 46 |
| 6. Ablauf, Zeitbedarf und Fortschritt der Vierecksmessung | 48 |
| 7. Randliche Polygonzüge im West-Ost-Profil | 51 |
| 8. Vergleichsbasen Qapiarfit-Manitsoq (West) und Cecilia Nunatak N-S (Ost) | 54 |
| 9. Der Polygonzug im Nord-Süd-Profil | 58 |
| IV. Reduktion, Kontrolle und Ausgleichung der Tellurometermessungen | 61 |
| 1. Meteorologische Reduktion | 61 |
| 2. Kontrolle der Tellurometermessungen | 64 |
| 3. Frequenzkorrektur der Tellurometermessungen | 66 |
| 4. Exzentrische Aufstellungen | 67 |
| 5. Reduktion der Strecken auf die Horizontale und auf das Meeresniveau | 67 |
| 6. Ausgleichung der Viereckskette | 69 |
| 7. Zweitberechnung durch das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI), München | 73 |
| 8. Genauigkeit der Tellurometermessung | 74 |
| 9. Fehlerrechnung | 94 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| V. Horizontalwinkel und Schrägentfernungen zwischen den Pegeln der Profile West-Ost und Nord-Süd..... | 98 |
| 1. Winkel in der Viereckskette..... | 98 |
| 2. Genauigkeit der Brechungswinkel im Profilpolygon | 100 |
| 3. Ausschaltung der a-Punkte..... | 101 |
| 4. Schrägentfernungen im Messungsniveau der Viereckskette | 103 |
| 5. Einschaltung von Pegel T 6/1 | 103 |
| 6. Anschluß weiterer Punkte an die EGIG-Profile | 107 |
| 7. Theoretische Genauigkeit des Gesamtprofiles West-Ost | 109 |
| 8. Verschiebungsvektoren-Deformationen im Abschnitt T 4-T 301 | 109 |
| VI. Genäherte geographische Koordinaten der EGIG-Pegel auf dem Internationalen Erdellipsoid | 116 |
| 1. Berechnung geographischer Koordinaten aus den Polygonelementen | 116 |
| 2. Geographische Koordinaten der an die Profile angeschlossenen Punkte | 126 |
| 3. Vergleich der geodätisch bestimmten Koordinaten mit den astronomischen | 127 |
| 4. Winkelkorrektur in Pegel T 117 des Nord-Süd-Profiles | 132 |
| 5. Geographische Koordinaten der EPF-SIPRE-Pegel 1950 und 1959..... | 133 |
| Anhang | 135 |
| Zusammenfassung | 139 |
| Summary | 141 |
| Résumé..... | 143 |
| Literatur-Verzeichnis | 145 |

VORWORT DES DIREKTIONSKOMITEES

Eines der Hauptziele der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition (EGIG) ist die Bestimmung der Änderungen der Eismassen Grönlands. Wichtigste Methode zur Erreichung dieses Ziels ist die geodätische. Sie erfordert die Einmessung von Punkten nach Lage und Höhe in zwei auseinanderliegenden Zeitpunkten.

Die vorliegende Abhandlung gibt Aufschluss über die Bestimmung der Lage der Messpegel im Sommer 1959. Es ist wohl das erste Mal, dass quer durch das Grönlandeis eine genaue Vermessung durchgeführt wurde. Sie wurde nur dadurch möglich, dass die elektronische Distanzmessung eingesetzt werden konnte. Auch so noch erforderte sie einen sehr grossen Aufwand an Personal und an finanziellen Mitteln. Das Direktionskomitee dankt allen Mitgliedern der Gruppe Lagemessung für ihre nicht immer leichte Arbeit.

Die vorliegende Abhandlung des Beauftragten für die Lagemessung, Prof. Dr. W. HOFMANN, besteht in einer vollständigen ersten Bearbeitung des Beobachtungsmaterials von 1959. Sie enthält die Originalmessungen nicht; sie benutzt vielmehr bereits gemittelte Werte. Doch gibt der Verfasser an, wo sich Kopien der Originalmessprotokolle befinden, die Interessenten zugänglich sind.

Die endgültige Bearbeitung des umfangreichen Beobachtungsmaterials und namentlich die Interpretation der Ergebnisse kann erst nach Abschluss des zweiten Teils der EGIG erfolgen. Die vorliegende Abhandlung von W. HOFMANN gibt daher in erster Linie Aufschluss über die innere Übereinstimmung der Beobachtungen, die ausserordentlich gut ist. Sie darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die tatsächliche äussere Genauigkeit vielleicht geringer ist. Das Direktionskomitee möchte in diesem Zusammenhang, bei aller Anerkennung der grossen und gut durchdachten Arbeit von Prof. Dr. W. HOFMANN, für die es ihm aufrichtig dankt, auf zwei Punkte der Publikation hinweisen:

1. Die ursprünglichen Vierecks-Widersprüche haben weitgehend gleiches Vorzeichen. Der Verfasser bringt hier auf Grund physikalischer Überlegungen und auf Grund von Erfahrungen Korrek-

turen an den Beobachtungen an, durch welche die Widersprüche eine normale Verteilung erhalten.

2. Die geodätischen Messungen stimmen nicht befriedigend mit den astronomischen Werten überein. Trotz mancherlei Versuchen gelang es nicht, eine Uebereinstimmung zu erzielen. Der Verfasser gibt als einleuchtende Erklärung die der Eisbewegung.

Endgültige Abklärung über diese Fragen wird erst der zweite Teil der Expedition geben. Doch bildet der vorliegende Band die erste Grundlage für die Auswertung der nächsten Expedition, ohne die später zu befolgenden Methoden schon festzulegen.

F. KOBOLD

VORWORT DES VERFASSERS

Mit dem vorliegenden Bericht über ihre Arbeiten während der Sommerkampagne 1959 der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) und deren Ergebnisse kann die Gruppe Lagemessung zwar nur wenig zur glaziologischen Kenntnis des grönländischen Inlandeises beitragen, doch steht zu hoffen, daß die Messungen und Erfahrungen dieser ersten vollständigen geodätischen Überbrückung des Inlandeises eine gediegene Grundlage für die spätere Bestimmung der dynamischen Verhältnisse in den EGIG-Profilen abgeben werden.

Das auf dem Inlandeis gewonnene Beobachtungsmaterial wird nur insoweit mitgeteilt, als es für selbständige Nachprüfungen der daraus abgeleiteten Ergebnisse und für eine Wiederholung der geodätischen Lagemessung in der Zukunft notwendig erscheint. Die Meßprotokolle der Gruppe Lagemessung wurden bereits auf dem Inlandeis in mehrfacher Ausfertigung angelegt (3-fach für die Tellurometermessung, je 2-fach für die Winkelmessungen und meteorologischen Beobachtungen). Nach Abschluß der Expedition stellte das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut, 1. Abteilung, München, 4 weitere Kopien der Strecken- und Winkelmessungen, das Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main, ebensoviele Kopien der meteorologischen Beobachtungen her. Vollständige Sätze der Meßprotokolle sind derzeit bei folgenden Stellen deponiert und auf Wunsch dort zugänglich:

Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main, Forsthausstraße 151

Geodätisches Institut der Technischen Hochschule Karlsruhe, Englerstraße 7

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, 1. Abteilung, München, Marstallplatz 8

Institut für Photogrammetrie, Topographie und Allgemeine Kartographie der Technischen Hochschule München, Arcisstraße 21

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich.

Der Dank an Dänemark als Grönlands Souverän, durch dessen Großzügigkeit und Hilfe die Pläne der EGIG überhaupt erst Wirklich-

keit werden konnten, wird an anderer Stelle der EGIG-Veröffentlichungen von berufenerer Hand bekundet. Die Teilnehmer der Gruppe Lagemessung schliessen sich ihm an. Es ist ihnen aber ein aufrichtiges Bedürfnis, jenen Förderern und Stellen der EGIG zu danken, von denen sie mit den Arbeiten auf dem Inlandeis betraut wurden und die maßgeblich zu deren Gelingen beitrugen:

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft
als der Trägerin der deutschen Beteiligung an der EGIG
Dem Direktionskomitee der EGIG
für das Vertrauen, das es mit seinem Auftrag in die Gruppe
setzte,
Den Expéditions Polaires Françaises (EPF)
für die mustergültige technische Vorbereitung und Betreuung
der wissenschaftlichen Arbeiten
Der französischen Armée de l'Air
für ihre wirksame und verständnisvolle Unterstützung.

Aus dem nüchternen Bericht über Ablauf und Ergebnis der Lagemessung wird nur selten etwas von der Größe des Erlebnisses zu spüren sein, in dem die Teilnehmer vom Abflug aus Paris durch 5 Monate in Grönland bis zur glücklichen Rückkehr standen. Um diese Eindrücke wiederzugeben, bedürfte es dichterischer Gestaltungskraft. Doch wird jedem von uns die Weite und die grandiose Einfachheit des Inlandeises, wird das Gefühl der Freiheit, das er vor und in dieser Landschaft empfand, für immer in Erinnerung bleiben, auch wenn sie in Worten nicht mitteilbar sind. Im Mittelpunkt dieses Erlebnisses aber stand das Wissen um jene Kraft, der der entscheidende Anteil am Gelingen der Expedition und damit auch an der erfolgreichen Lösung ihrer geodätischen Aufgaben zukommt: der Geist freundschaftlicher Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und Technikern aus 5 Nationen im Dienste der Erforschung unserer Erde.

München, im Mai 1962.

WALTHER HOFMANN.

I. DAS ARBEITSPROGRAMM DER LAGEMESSUNG UND SEINE OPERATIONELLE DURCHFÜHRUNG

1. Aufgabe und Vorplanung.

Die Planung und Vorbereitung geodätischer Arbeiten auf dem grön-ländischen Inlandeis im Rahmen der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) reicht zurück bis auf die konstituierende Sitzung der Expedition in Grindelwald vom 3.-7. April 1956. Aus der Diskussion des wissenschaftlichen Gesamtprogrammes der EGIG ergaben sich damals für die Geodäsie zwei wesentliche Aufgaben, nämlich:

1. Schaffung der geodätischen Grundlagen für die Untersuchungen der glaziologischen und geophysikalischen Arbeitsgruppen.
2. Bestimmung der horizontalen und vertikalen Eisbewegung in den EGIG-Profilen West-Ost und Nord-Süd.

Während die erste Aufgabe den üblichen Rahmen vermessungstechnischer Arbeiten bei Inlandeis-Expeditionen nicht überschritt, wies die zweite der Geodäsie ein eigenes glaziologisches Forschungsziel zu. Die Größenordnung der Bewegungsvorgänge auf dem Inlandeis, die in großen Zügen durch theoretische Untersuchungen und vereinzelte Beobachtungen bekannt war, ließ die Lösung dieser zweiten Aufgabe im Verlauf einer einzigen Sommerkampagne von vornherein als unmöglich erscheinen. Glaziologisch bedeutsame Ergebnisse konnten vielmehr erst nach einer ein- oder mehrmaligen Wiederholung der geodätischen Arbeiten in angemessenen Zeitabständen erwartet werden. Deshalb mußte auch die Geodäsie ihr Arbeitsprogramm auf eine langfristige Überwachung der Inlandeisprofile abstellen, — ein Merkmal, das für alle von der EGIG geplanten und begonnenen Untersuchungen charakteristisch ist. Bei allen Vorerwägungen zur EGIG, besonders in den Projekten von Prof. Dr. R. HAEFELI, Zürich, kommt diese Planung auf lange Sicht deutlich zum Ansdruck.

Die genannte Aufgabenstellung verlangte von der Geodäsie keine grundsätzlich neuen Überlegungen und Methoden; sie hielt sich vielmehr durchaus im Rahmen dessen, was der messende Geodät bei seiner Arbeit laufend zu erfüllen hat: Bestimmung von Punkten der Erdober-

fläche nach Lage und Höhe. Neu war lediglich das hohe Maß an Genauigkeit, das von dieser Bestimmung in Polargebieten und auf einer Eiskalotte bei der EIGG gefordert wurde. Für die Festlegung dieser Genauigkeit waren vor allem glaziologische Gesichtspunkte bestimmend, deren Berücksichtigung zu folgenden Werten führte:

Gegenüber Festpunkten im Küstengebiet sollten die Pegel der EGIG mit einer Genauigkeit von

und $\pm 2 \text{ m}$ der Lage nach
 $\pm 1 \text{ m}$ der Höhe nach bestimmt werden.

Um diesen Forderungen zu genügen, mußten selbstverständlich die Abstände und Höhenunterschiede der 10 km auseinanderliegenden Pegel mit einer entsprechend höheren relativen Genauigkeit eingemessen werden. Sie war mit etwa ± 0.2 m für die Lage und ± 0.1 m für die Höhe anzunehmen. Diese Zahlenwerte konnten sich naturgemäß nur auf die innere Meßgenauigkeit der angewandten geodätischen Verfahren beziehen, da sowohl Distanzen wie Höhenunterschiede durch die Eisbewegung im Meßzeitraum einer ständigen, noch unbekannten Änderung unterworfen sind. Erst eine Doppel- oder Wiederholungsmessung gibt die Möglichkeit zur Elimination dieser Änderungen.

Damit stand fest, daß nur sorgfältige und intensive Meßverfahren angewandt werden konnten, die sowohl personell wie instrumentell einen relativ hohen Aufwand für die geodätischen Arbeitsgruppen erfordern würden. In Erkenntnis dieser Sachlage äußerte Prof. Dr. F. KOBOLD Zürich, schon auf der Sitzung in Grindelwald die Vermutung, »daß schätzungsweise die Hälfte des gesamten wissenschaftlichen Personals aus Geodäten bestehen wird«. Die fachliche Zusammensetzung des Teilnehmerkreises der Sommerkampagne 1959 bestätigte nicht nur diese Voraussage, sondern übertraf sie sogar: Unter den 23 wissenschaftlichen Teilnehmern der Inlandeisgruppen waren 13 Geodäten, von denen allerdings nur 9 den eigentlichen geodätischen Arbeitsgruppen Lagemessung und Nivellement angehörten, während die übrigen 4 glaziologisch-geodätische Aufgaben bei den Gruppen Küstenglaziologie (1), Geophysik (1) und Glaziologie (2, zugleich Überwinterer) zu erfüllen hatten.

Auf der Grundlage der genannten Überlegungen und Forderungen entwarf Prof. KOBOLD im November 1956 ein erstes »Programm für die geodätischen Arbeiten«. Dieses Programm ging von der Annahme aus, daß die Lage- und Höhenmessung in den Pegel-Profilen von einer Geodätengruppe gleichzeitig durchgeführt werden sollte, wobei mit Rücksicht auf das geforderte Maß an Genauigkeit nur die trigonometrische Höhenmessung als Methode zur Bestimmung der Höhenunterschiede in

Betracht gezogen wurde. Es analysierte vor allem die Methoden der Streckenmessung, die unter dieser Voraussetzung und unter arktischen Verhältnissen mit den Genauigkeitsforderungen in Einklang gebracht werden könnten. Dabei wurden in Betracht gezogen:

Direkte Streckenmessung mit langen Drähten

Indirekte Bestimmung durch Winkelmessung in einer Dreieckskette

Indirekte Streckenmessung mit 2 m — Basislatten.

Die mit diesen Methoden erreichbaren Strecken- und Höhengenauigkeiten wurden für Polygonseiten von 2.5 km und 5.0 km Länge, mit denen die 10 km — Distanzen zwischen den Pegeln überbrückt werden sollten, abgeschätzt.

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß dieses Programm bereits die Möglichkeit in Erwägung zog, »die Distanzmessungen mit modernen elektronischen Verfahren durchzuführen«, sie jedoch infolge des Fehlens geeigneter Instrumente für arktische Verhältnisse zur damaligen Zeit nicht weiter verfolgte.

2. Das geodätische und operationelle Arbeitsprogramm der Gruppe Lagemessung.

In ein neues Stadium traten die Pläne zur geodätischen Lagemessung mit dem Erscheinen des Tellurometers als neues elektronisches Entfernungsmeßgerät im Jahre 1957. Prof. A. BAUER, Straßburg, wies zuerst auf die Möglichkeiten hin, die sich aus der Unabhängigkeit dieses Gerätes von Beleuchtungs- und Sichtverhältnissen für geodätische Arbeiten auf dem grönlandischen Inlandeis eröffneten. Nach der Revision und Neufestsetzung des wissenschaftlichen Arbeitsprogrammes der EGIG auf der Sitzung des Direktionskomitees in Davos vom 3.–6. April 1957 stellte Prof. KOBOLD daher ein neues »Programm für die geodätischen Arbeiten bei der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition«, datiert zum 16. Mai 1957, zusammen. Darin wurde mit dem Vorbehalt, daß die Ergebnisse von Probe- und Versuchsmessungen abgewartet werden müßten, zum erstenmal das Tellurometer als Streckenmeßgerät in Aussicht genommen.

Zugleich wurde der Vorschlag eines motorisierten geometrischen Nivellements über das Inlandeis, der von Prof. Dr. H. LICHTE, Karlsruhe, ausgegangen war (siehe LICHTE, 1957, und Band III, Abhandlung 1, der EGIG-Veröffentlichungen), in das Programm aufgenommen, womit sich eine Aufteilung der geodätischen Messungen auf zwei Arbeitsgruppen, Lagemessung und Nivellement, abzeichnete.

Das Tellurometer selbst und sein Meßverfahren wurde Teilnehmern der EGIG zum ersten Mal im Rahmen einer von Prof. KOBOLD ange regten und vorbereiteten Demonstration durch die Firma Cook, Trough ton & Simms, London, vorgeführt. Sie fand am 25. und 26. August 1957 auf dem Jungfraujoch statt und führte über eine Meßdistanz von ca. 14 km zwischen den Punkten Sphinx und Marjelen-See. Außer Prof. KOBOLD nahmen von Seiten der EGIG Prof. BAUER und der Verfasser an den Versuchen teil. Wenn auch die gewählte Versuchsstrecke über dem Aletschgletscher infolge ihres großen Bodenabstandes, besonders vor dem Endpunkt Sphinx, den Verhältnissen auf dem grönlandischen Inlandeis nicht unmittelbar entsprach, so kamen doch die Vorteile der tellurometrischen Streckenmessung so deutlich zum Ausdruck, daß diese Methode zur Einmessung der EGIG-Pegelprofile fest in Aussicht genommen wurde. Zunächst war dabei freilich nur an die Messung der Seiten in den Pegelpolygonen gedacht, während deren Brechungswinkel nach wie vor mit dem Theodolit bestimmt werden sollten. Weitere Überlegungen führten jedoch bald zu dem Schluß, daß die Lagemessung auf dem Inlandeis von den Schwierigkeiten, mit denen dort jede Winkel messung zu rechnen hat, durch eine reine Trilateration mit dem Tellurometer ganz befreit werden könnte. Ein entsprechender Plan wurde vom Verfasser ausgearbeitet und dem Direktionskomitee auf der Sitzung in München vom 25.–28. Oktober 1957 vorgelegt. Auf dieser Sitzung fiel auch die Entscheidung für das geometrische Nivellement als Höhen messmethode, womit die Höhenbestimmung von der Lagemessung getrennt wurde. Weiter zeichnete sich die Möglichkeit ab, daß die Mittel für den Ankauf von 4 weiteren Weasel-Fahrzeugen, deren Bedarf sich aus den beabsichtigten Änderungen im geodätischen Programm zwingend ergab, ovm OP Deutschland aufgebracht werden könnten. Damit waren alle Vor aussetzungen für die Lagemessung durch reine Trilateration gegeben. Ihre meßtechnische und organisatorische Durchführung konnte daher detailliert im »Geodätischen Arbeitsprogramm« vom 3. Februar 1958 ausgearbeitet werden. Nach Besprechungen mit den Expéditions Polaires Françaises (EPF) und am Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/ Main, das inzwischen über eine reiche Meßerfahrung mit dem Tellurometer verfügte, erwiesen sich jedoch bald Änderungen dieses Program mes, vor allem in operationeller Hinsicht, als notwendig, die in den »Ergänzungen zum Geodätischen Arbeitsprogramm der EGIG« vom 30. Juli 1958 niedergelegt wurden. Die Folgerungen aus beiden Plänen für den Gesamtlauf der Expedition und speziell für die Operationen der Gruppen Lagemessung und Nivellement wurden von den Expéditions Polaires Françaises gezogen und im »Manuel d'Operations« berücksichtigt.

Diese Dokumente waren die Grundlagen für die Vorbereitung der Lagemessung in den EIG-Profilen. Ihr Inhalt sei daher im folgenden soweit wiedergegeben, als dies für den Vergleich zwischen Plan und Ausführung der Messungen auf dem Inlandeis von Bedeutung ist.

Auf Grund der Erfahrungen früherer Inlandeis-Expeditionen wurde das geodätische Programm — sowohl für das Nivellement wie für die Lagemessung — auf folgenden Grundprinzipien entwickelt:

1. Der Fortschritt im Meßprofil ist an den kontrollierten Abschluß der Arbeiten bis zum jeweils erreichten Punkt gebunden.
2. Die angewandten Methoden sollen so einfach wie möglich sein.
3. Erweist sich ein geplantes Verfahren aus operationellen oder meßtechnischen Gründen als undurchführbar oder unzweckmäßig, so muß auf Ersatzverfahren ausgewichen werden können.

Für die Lagemessung durch reine Trilateration mit dem Tellurometer ergab sich aus diesen Forderungen als geeignetstes Verfahren die Messung einer Kette von Vierecken mit angenähert quadratischer Form nach Figur 1. Jedes Quadrat enthält bei Messung beider Diagonalen eine Überbestimmung. Da je zwei Quadrate eine Seite gemeinsam haben, ergibt sich die Möglichkeit einer Ausgleichung über eine Folge von vollständig gemessenen Vierecken.

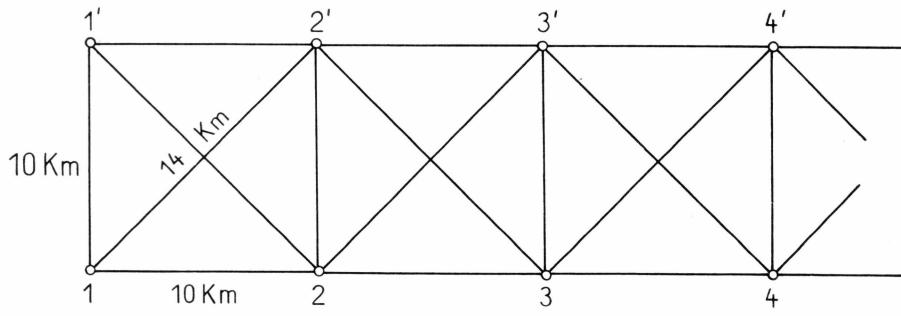


Fig. 1. Diagonalen-Quadratkette.

Bei der Planung des operationellen und zeitlichen Ablaufs der Vierecksmessung waren bei der EIG folgende Gesichtspunkte und Gegebenheiten zu berücksichtigen:

1. Ein Abschluß der Lagemessung in den beiden EIG-Profilen konnte nur erwartet werden, wenn die Gruppe über 4 Weasel-Fahrzeuge verfügte, wenn also die Eckpunkte eines Vierecks jeweils gleichzeitig besetzt werden konnten.
2. Erfahrungsgemäß war anzunehmen, daß die Seiten und Diagonalen jedes Vierecks in zeitlicher Aufeinanderfolge gemessen

werden müßten. Bei gleichzeitiger Messung zweier Strecken in relativ geringer Distanz war eine gegenseitige Störung der Tellurometer-Geräte zu befürchten.

3. Der Gruppe Lagemessung oblag zugleich die Errichtung der Pegelstangen. Da die Vierecksstrecken in jedem Fall zentrisch gemessen werden sollten, konnte ein Pegel jeweils erst nach der Messung eines vollständigen Vierecks gesetzt werden. Für das Setzen eines Pegels wurde ein Zeitbedarf von ca. 1 Stunde veranschlagt.

Unter diesen Voraussetzungen erwies sich folgende Verteilung der Tellurometergeräte auf die 4 Fahrzeuge der Gruppe als zweckmäßig:

Weasel I auf Pegelprofil: Master Station M_1

Weasel II auf Pegelprofil: Remote Station R_1

Weasel III auf Parallelprofil: Master Station M_2

+ Remote Station R_3

Weasel IV auf Parallelprofil: Remote Station R_2 .

Mit dieser Ausrüstung und unter der Annahme einer Weaselgeschwindigkeit von 10 km/h und eines Zeitbedarfs von 30 Minuten für eine Streckenmessung wurde folgendes Schema für den Arbeitsablauf der Vierecksmessung entwickelt:

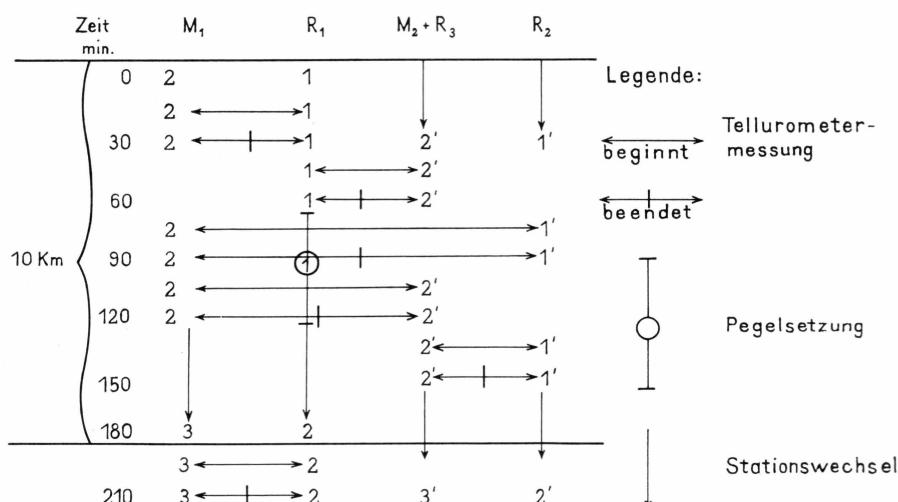


Fig. 2. Arbeitsschema für Tellurometermessung in der Viereckskette.

Es ergab sich somit ein Zeitbedarf von 3 Stunden für die Messung einer Vierecksmasche von 10 km Seitenlänge. Als Tagesleistung konnte die Messung von 3 Vierecken und damit ein Arbeitsfortschritt von 30

km pro Tag erwartet werden. Die Reduktion und Verprobung der Messungen sollte unmittelbar nach Abschluß jedes Vierecks vorgenommen werden.

Welche Modifikationen gegenüber diesem Programm sich bei der Durchführung der Vierecksmessung auf dem Inlandeis als notwendig und zweckmäßig erwiesen, ist in Kapitel III, Abschnitt 6. (Seite 48–51) dargestellt.

Als Ersatz der Trilateration in einer Viereckskette wurde die Messung eines Polygonzuges im Pegelprofil mit Tellurometer und Theodolit vorgesehen. Auf dieses Meßverfahren sollte übergegangen werden:

1. Am östlichen Ende des West–Ost–Profiles, wo die Spaltengebiete der gegen Cecilia Nunatak abfallenden Randzone den Aufbau einer Viereckskette verbieten.
2. Bei der Lagemessung in der bewegten und spaltengefährdeten Zone des Nord–Süd–Profiles.
3. Bei Ausfall von Tellurometer–Ausrüstungen oder Transportmitteln oder bei anderweitigen operationellen bzw. technischen Schwierigkeiten.

Da zur einfachen Polygonmessung eine Arbeitsgruppe mit 2 Weasel–Fahrzeugen genügte, standen ausreichende Mittel zur Kontrolle durch Doppelmessung zur Verfügung (siehe Kapitel III, Abschnitt 3. und 7.). Es konnte aber bei Zeitnot auch an eine Aufteilung der Gruppe in zwei selbständige Halbgruppen mit verschiedenen Aufgaben oder Arbeitsgebieten gedacht werden, wie sie sich am Ende der Sommerkampagne tatsächlich als notwendig erwies (siehe Kapitel III, Abschnitt 9.).

Unter Annahme derselben Richtzahlen für den zeitlichen Ablauf wie im Schema der Vierecksmessung konnte bei der Polygonmessung ein Arbeitsfortschritt von 40 km pro Tag erwartet werden.

Neben der Trilateration und Polygonmessung in den Pegelprofilen war die Gruppe Lagemessung mit folgenden Aufgaben betraut:

1.) Astronomische Ortsbestimmung in den Hauptpunkten (Depots) der Profile West–Ost und Nord–Süd zur unabhängigen Kontrolle und eventuellen Verbesserung der geodätischen Lagemessung. Für die astronomischen Beobachtungen war pro Station ein ganzer Arbeitstag vorgesehen. Über die Durchführung und die Ergebnisse der astronomischen Ortsbestimmung wird in Abhandlung 3 dieses Bandes berichtet (siehe jedoch auch Kapitel VI, Abschnitt 3.).

2.) Errichtung und Einmessung von Deformationsvierecken in den Hauptpunkten (Depots) des West–Ost–Profiles. Die hierzu notwendigen Arbeiten sollten zeitlich mit der astronomischen Ortsbestimmung verbunden werden. Der Bericht über die Durchführung und die erzielten

Ergebnisse findet sich in Band V, Abhandlung 3, der EGIG-Veröffentlichungen.

3.) Absteckung und Einmessung von Profilen als geodätische Grundlage für flächenhafte seismische Untersuchungen der Gruppe Geophysik an den Hauptpunkten (Depots) des West-Ost-Profiles. Auch diese Aufgabe, die keinen großen Zeitaufwand erforderte, konnte während der Aufenthalte an den Hauptpunkten erledigt werden. Die Verwendung der abgesteckten Profile wird in Band VIII, Abhandlung 1, der EGIG-Veröffentlichungen behandelt.

4.) Barometrische Höhenmessung in den Profilen West-Ost und Nord-Süd in Verbindung mit den meteorologischen Beobachtungen der Telluromettermessung. Durchführung, Reduktion und Ergebnisse dieser Höhenmessung wird in Band III, Abhandlung 2, der EGIG-Veröffentlichungen dargestellt.

5.) Paßpunktbestimmung im Einzugsgebiet des Kangerdlugssuaq-Gletschers zur photogrammetrischen Aufnahme durch das Dänische Geodätische Institut. Für diese Aufgabe, die zugleich den Anschluß des Nord-Süd-Profiles an die dänische Küstentriangulation vermitteln sollte, war eine unmittelbare Zusammenarbeit mit der Gruppe »Küsten-geodäsie« des Dänischen Geodätischen Institutes vorgesehen. Über ihre Durchführung und Ergebnisse wird in der Abhandlung 2 dieses Bandes berichtet.

An Hand des Arbeitsprogrammes und des dafür abgeschätzten Zeitbedarfes wurden die Operationen der Gruppe Lagemessung auf dem Inlandeis von den EPF in den Gesamtablauf der Expedition eingeplant und in Weg-Zeit-Diagrammen für die Profile West-Ost und Nord-Süd dargestellt. Figur 3 gibt diesen Weg-Zeit-Plan für die Gruppe Lagemessung als gestrichelte Linie wieder. Der tatsächliche Ablauf der Lagemessung ist zum Vergleich als ausgezogene Linie eingetragen. Seine chronologische Beschreibung in Stichworten findet sich in Abschnitt 4. dieses Kapitels.

3. Personal und Instrumentarium der Gruppe Lagemessung.

Der Gruppe Lagemessung gehörten 5 wissenschaftliche und 4 technische Teilnehmer an. Es waren dies:

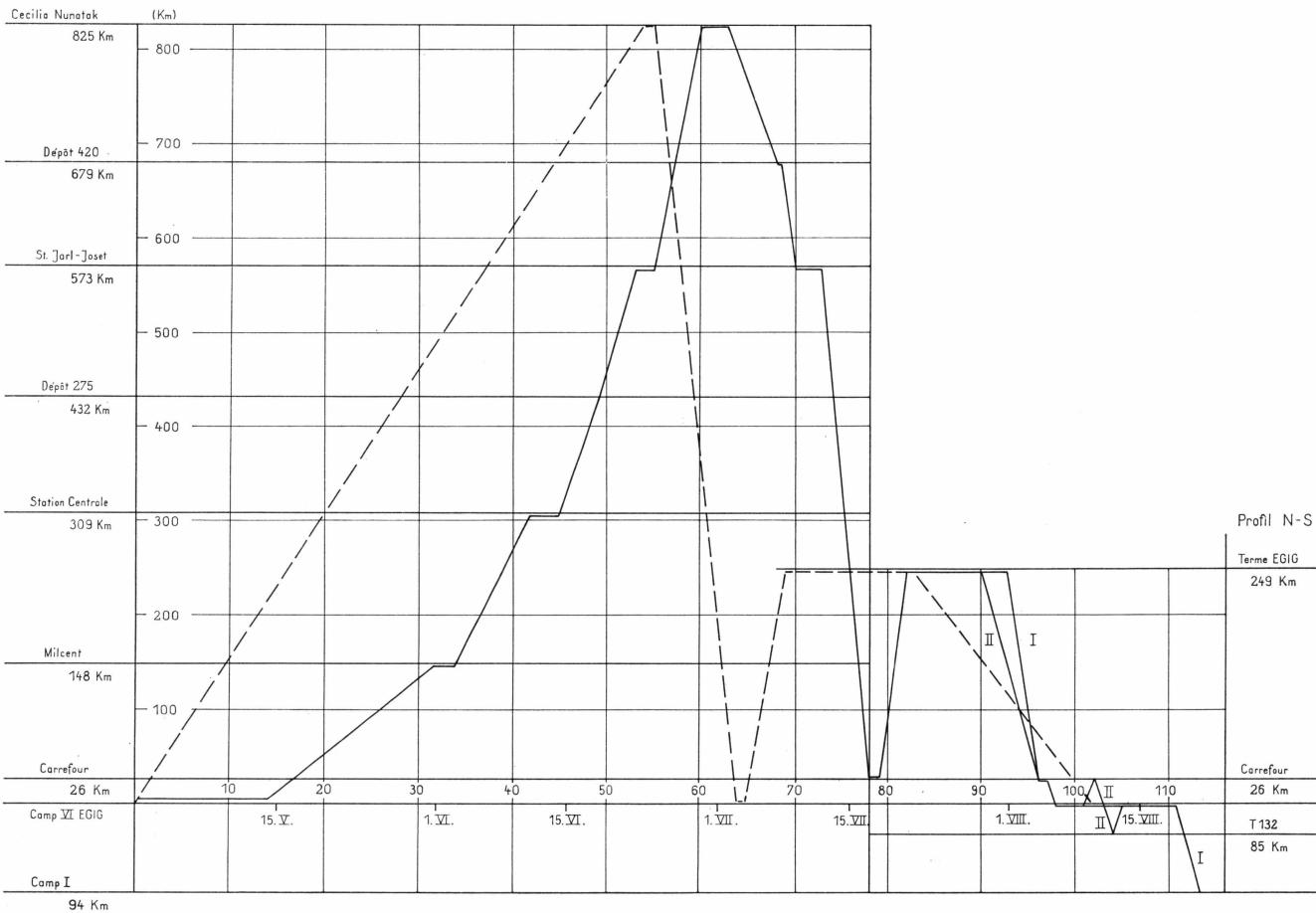
Wissenschaftliches Personal:

Prof. Dr.-Ing. WALTHER HOFMANN, Technische Hochschule Braunschweig, als wissenschaftlicher Gruppenleiter.

Regierungsvermessungsrat Dipl.-Ing. HANS MELCHERS, Institut für Angewandte

Fig. 3. Weg-Zeit-Diagramm der Gruppe Lagemessung, Sommerkampagne 1959.

Profil WV-0



Geodäsie, Frankfurt/Main, als geodätischer Teilnehmer, speziell betraut mit der barometrischen Höhenmessung.

Ingénieur Géographe JEAN COMMIOT, Institut Géographique National, Paris, als geodätischer Teilnehmer, speziell betraut mit der astronomischen Ortsbestimmung.

Dipl.-Ing. PAUL GFELLER, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, als geodätischer Teilnehmer, speziell betraut mit den Messungen in den Deformationsvierecken und mit den Klinometermessungen.

Ing. KLEMENS NOTTARP, Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main, als Spezialist für die elektrotechnische Seite der Tellurometermessung.

Technisches Personal:

ROBERT CHAUCHON, Expéditions Polaires Françaises, Paris, als technischer Gruppenleiter.

PIERRE CAMARET, Expéditions Polaires Françaises, Paris, als Funker.

DIDIER DESPÉRIÈS, Expéditions Polaires Françaises, Paris, als Fahrer und Fahrzeugmechaniker.

HEINZ WIEGANT, Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main, als Fahrer und Fahrzeugmechaniker.

Die Gruppe arbeitete auf dem Inlandeis selbständig und autark. Beim Anschluß von Camp VI EGIG an die Westküste und bei der Paßpunktbestimmung auf dem Kangerdlugssuaq-Gletscher war sie auf engste Zusammenarbeit mit der Helikopter-Gruppe der Armée de l'Air angewiesen, deren Kommandant, Adjudant — Chef ROBERT CLAIREAUX, den geodätischen Arbeiten und Erfordernissen größtes Verständnis entgegenbrachte.

Die instrumentelle Ausrüstung der Gruppe bestand durchwegs aus Leihgaben verschiedener Institute und Firmen. Im einzelnen verfügte die Gruppe über folgende Instrumente und Geräte:

Tellurometer:

Vollständige Ausrüstung der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, München, mit den Geräten MA 1-167, RA 1-232 und RA 1-234.

Vollständige Ausrüstung des Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule Stuttgart mit den Geräten MA 1-142 und RA 1-197.

Vollständige Ausrüstung des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main, mit den Geräten MA 1-87 und RA 1-141.

Frequenzprüfgerät T 4 der Tellurometer Ltd., London.

Theodoliten und Basislatten:

2 Präzisionstheodoliten Wild T 3 des Institut Géographique National, Paris (zugleich Bestandteil der astronomischen Ausrüstung).

1 Präzisionstheodolit Kern DKM 3 A des Geodätischen Instituts der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ausschließlich für astronomische Beobachtungen).

1 Theodolit Wild T 2 mit 2 m Basislatte der Firma Wild, Heerbrugg, Schweiz.

1 Theodolit Kern DKM 2 des Instituts für Photogrammetrie, Topographie und Allgemeine Kartographie der Technischen Hochschule München.

1 Kern-Basislatte 2 m mit 3 Leichtmetallstativen des Geodätischen Instituts der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.

Astronomische Ausrüstung:

Das Instrumentarium zur astronomischen Ortsbestimmung wurde – mit Ausnahme des Kern-Theodoliten DKM 3 A – vom Institut Géographique National, Paris, zur Verfügung gestellt (siehe Abhandlung 3 dieses Bandes).

Aneroid-Barometer:

Neben den zu den Tellurometer-Ausrüstungen gehörenden Aneroiden von Short & Mason verfügte die Gruppe über

4 Aneroiden Wallace & Tiernan des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main.

6 Aneroiden Fuess, die zusammen mit 2 spiritusbeheizten Hypsometern und 5 Assmann'schen Aspirationspsychrometern aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft beschafft wurden.

Rechenmaschinen:

1 Tischrechenmaschine Brunsviga ($12 \times 11 \times 20$ -stellig) des Instituts für Angewandte Geodäsie, Frankfurt/Main.

4 Handrechenmaschinen CURTA, Type II ($11 \times 8 \times 15$ -stellig) als Leihgabe der Herstellerfirma Contina/Liechtenstein.

Allen genannten Stellen, die mit ihren Leihgaben maßgeblich zum Gelingen der Lagemessung auf dem Inlandeis beigetragen haben, ist die EGIG in ihrer Gesamtheit, besonders aber die Gruppe Lagemessung zu aufrichtigem Dank verbunden.

Die Tellurometer mußten für den Gebrauch in Grönland kältefest gemacht, das Power-Pack durch einen Transistor-Umformer ersetzt werden. Beide Maßnahmen führte K. NOTTARP, Frankfurt/Main, durch, der darüber in Kapitel II, Abschnitt 1., selbst berichtet. Die zur Umstellung der Geräte benötigten Ersatzteile, insbesondere die CW-Kits, sowie ein ausreichender Satz von elektronischen Reserve-Elementen für die Kampagne in Grönland konnten aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft beschafft werden.

4. Der zeitliche Ablauf der Lagemessung.

In Ergänzung zur Darstellung der gesamten Operationen der EGIG während der Sommerkampagne 1959 durch P. E. VICTOR (Band I) sei im folgenden der zeitliche Ablauf der Lagemessung auf dem Inlandeis stichwortartig wiedergegeben:

1. Mai: 16 Uhr, Ankunft in Camp VI EGIG mit Convoi von Carrefour.

2.-14. Mai: Aufstellung und Vorbereitung der Gruppe Lagemessung in Camp VI EGIG:

- 2.-11. Mai: Einbau der Barometer in die vorbereiteten Transportkisten.
 Einrichtung der Tellurometer für den Weaseltransport durch K. NOTTARP.
 Astronomische Versuchsmessungen durch J. COMMIOT.
 Mithilfe beim Ausgraben und Ingangsetzen der Benson-Weasel.
 Bergung von abgeworfenen Versorgungsgütern.
 Einrichtung von Camp VI EGIG.
 Festsetzung der Pegel-Kennzeichnung und -Bezifferung.
5. Mai: Flug mit Helikoptern küstenwärts bis Qamusivik zur generellen Erkundung des Küstenanschlusses.
6. Mai: Erster Hypsometer-Vergleich der Aneroid-Barometer. Tellurometer-Frequenzvergleich durch K. NOTTARP.
 Errichtung des Pegels TA 0.
7. Mai: Aufbau und Einmessung des Deformationsvierecks bei TA 0.
8. Mai: Zweiter Hypsometer-Vergleich der Aneroid-Barometer.
10. Mai: Tellurometer-Justierung. – Einmessung des Fahnenprofils für Gruppe Geophysik. – Abends erste astronomische Beobachtung auf TA 0.
12. Mai: Telluromettermessung in einem kleinen Probeviereck bei Camp VI EGIG (siehe Kapitel III, Abschnitt 2, S. 41).
13. Mai: Weitere Tellurometerversuche von Camp VI EGIG aus (siehe S. 42).
 Abends Astronomie auf TA 0.
14. Mai: 11 Uhr, Aufbruch der Gruppe Lagemessung aus Camp VI EGIG ins West-Ost-Profil mit 4 Weaseln, 2 Wohnwagen und 2 Schlitten.
 Polygonmessung bis T 3 (17.3 km).
15. Mai: Fortsetzung des Polygonzuges bis T 4, Carrefour (9.3 km).
16. Mai: Aufenthalt in Carrefour zur Vorbereitung der Viereckskette, – Hypsometervergleich.
17. Mai: Aufbau des Ausgangsdreiecks T 4-T 5-5' der Viereckskette (7.5 km).
18. Mai: Viereck 6 eingemessen (10.6 km).
19. Mai: Messung der Vierecke 7 und 8 (17.6 km).
20. Mai: Morgens Schlechtwettereinfall. – Nachmittags Fortsetzung der Viereckskette bis 8 a (4.7 km).
21. Mai: Trotz heftigen Schneefegens (Wind 9 m/sec) Einmessung der Vierecke 9 und 9 a (14.2 km). Abends Defekt an Remote-Station Hofmann; Reparatur durch K. NOTTARP.
- 22.-26. Mai: Aufenthalt in 9 a infolge schlechten Wetters und wegen schweren Motordefektes am Weasel Nottarp. – 23. Mai: Hypsometervergleich.
 Am 23. Mai abends trifft Benson-Ersatzweasel aus Camp VI EGIG ein; Motorwechsel am 24. Mai; abends schwerer Schneesturm, der auch am 25. und 26. Mai anhält.
27. Mai: Bei gutem Wetter Messung von Viereck 10, jedoch verzögert durch Defekt an der Master-Station Melchers; Reparatur durch NOTTARP. Am späten Abend bis Mitternacht noch Messung von Viereck 10 a. Tagesfortschritt: 12.8 km.
28. Mai: Messung der Vierecke 11, 11 a und 12 (21.6 km).
29. Mai: Blizzard und Schneefall.
30. Mai: Vierecksmessung 12 a und 13 (15.3 km).
31. Mai: Messung von Viereck 14, Zwischendreieck 14 und Viereck 15 bis Milcent (17.1 km). Gesamtgruppe um 24 Uhr in Milcent vereinigt.

- 1.-2. Juni: Aufenthalt in Milcent:
1. Juni: Hypsometervergleich. – Absteckung des Fahnenprofiles für Gruppe Geophysik.
 2. Juni: Aufbau und Einmessung des Deformationsviereckes um TA 15. Tellurometer-Frequenzvergleich durch K. NOTTARP.
Abends astronomische Messungen durch J. COMMIOT.
3. Juni: 8 Uhr, Aufbruch von Milcent. – Messung der Vierecke 16, 17 und 17 a (24.4 km).
4. Juni: Vierecksmessung nach T 18, 18 a und T 19 (19.0 km). – Mittags kurzer Schlechtwetterdurchzug.
5. Juni: Fortsetzung des Profiles mit den Vierecken 19 a, 20 und 21 (20.5 km).
6. Juni: Bei starkem Schneefegen (Wind 8 m/sec) bis 14 Uhr Vierecke 22 und 23 eingemessen; nachmittags Viereck 23 a angefügt. Tagesfortschritt: 25.4 km.
7. Juni: Messung von Viereck 24. Von T 24 und 23 a Anschluß der EPF-SIPRE-Balise M 160 durch Winkelmessung. Dann Messung der Vierecke 25 und 26. – Tagesfortschritt: 25.7 km.
8. Juni: Vergrößerung der Modulationstiefe (Frequenzhub) an allen Tellurometergeräten durch K. NOTTARP. – Nachmittags Messung von Viereck 27 (10.0 km).
9. Juni: Fortschritt der Vierecksmessung über T 28, 28 a, T 29 und T 30 bis Station Centrale (TA 31) (36.1 km). – Gesamtgruppe um 24 Uhr in Station Centrale vereinigt.
- 10.-12. Juni: Aufenthalt in Station Centrale:
10. Juni: Ruhetag. – Besichtigung der EPF-Station.
Tellurometer-Frequenzvergleich durch K. NOTTARP.
 11. Juni: Hypsometervergleich. – Absteckung des Fahnenprofils für Gruppe Geophysik. – Fortsetzung des Tellurometer-Frequenzvergleiches.
 12. Juni: Aufbau und Einmessung des Deformationsvierecks um TA 31.
Astronomische Beobachtungen auf TA 31 durch J. COMMIOT.
13. Juni: 7 Uhr, Aufbruch von Station Centrale. – Messung von Viereck 32 und – nach Aufenthalt durch Weasel-Defekt – Viereck 33 (20.1 km).
14. Juni: Messung von Viereck 34 und – bei Schlechtwettereinfall – Viereck 35 (20.2 km).
15. Juni: Schneefall, White Out. – Nachmittags langsame Aufklärung.
16. Juni: Fortsetzung der Vierecksmessung über T 36, T 37, T 38, bis T 39 (40.2 km).
17. Juni: Vier Vierecke (40, 41, 42 und 42 a) bis dicht vor Dépôt 275 eingemessen. Tagesfortschritt: 35.6 km.
18. Juni: Nach Anlaufen von Dépôt 275 (T 43) Weitermessung über T 44, T 45 bis 45 a (34.1 km).
19. Juni: Messung von 5 Vierecken (46, 46 a, 47, 47 a, 48) mit je 7.5 km Grundlinie (37.6 km).
20. Juni: 5 weitere Vierecke (48 a, 49, 49 a, 50, 50 a) werden bei einem Tagesfortschritt von 42.6 km eingemessen (größte Tagesleistung der Vierecksmessung).
21. Juni: Nach Messung der Vierecke 51, 51 a, 52 und des Dreiecks 53 (33.0 km). Ankunft der Gesamtgruppe in Station Jarl-Joset um 21 Uhr.
- 22.-23. Juni: Aufenthalt in Station Jarl-Joset:
22. Juni: Ruhetag. – Besuch der Station Dumont.
Tellurometer-Frequenzvergleich.
 23. Juni: Hypsometervergleich. – Absteckung des Fahnenprofils für Gruppe Geophysik. – Vorbereitung der Pegel für das Deformationsviereck. – Fortsetzung des Tellurometer-Frequenzvergleiches.

24. Juni: 8 Uhr, Aufbruch von Station Jarl-Joset. Nach Anlaufen des Benzin-Depots Messung der Vierecke 54, 54 a und 55 (25.8 km). – Von T 55 ist Station Jarl-Joset am Abend durch abnorme Refraktion noch sichtbar.
25. Juni: Vierecksmessung über 55 a, T 56, 56 a, T 57 bis 57 a (40.2 km). Um 15 Uhr Begegnung mit der aus Cecilia Nunatak zurückkehrenden Transportgruppe Guillard.
26. Juni: Nach 5 Vierecken (58, 58 a, 59, 60, 61) mit 38.7 km Tagesfortschritt wird um 20 Uhr Dépôt 420 erreicht.
27. Juni: Aufbruch der Gesamtgruppe zur Erkundung des Geländes bis Cecilia Nunatak. – Abkürzung der Route Guillard in Richtung auf Dépôt 480. Ankunft im Dépôt um Mitternacht.
28. Juni: Weiterfahrt durch Spaltengebiet nach Cecilia Nunatak. Ankunft am Nordgipfel (CN) um 22 Uhr.
29. Juni–1. Juli: Aufenthalt auf Cecilia Nunatak:
29. Juni: Markierung von CN durch 6 m – Pegel in Steinmann. Nachmittags Fahrt nach CS, Markierung des Basis-Südpunktes durch 6 m – Pegel in Steinmann. Reparatur der Transportsschäden an den Tellurometern.
30. Juni: Besuch des Gletschervorfeldes unter Cecilia Nunatak. – Um 17 Uhr Basismessung mit 3 Mastergeräten. – Abends astronomische Messungen und Frequenzvergleich der Tellurometer.
1. Juli: Hypsometervergleich. – Markierung der Punkte CN und CS durch Bolzen und Metallplatten. – Nachmittags zweite Wiederholung der Basismessung mit 3 Mastergeräten.
2. Juli: 7 Uhr, Aufbruch von Cecilia Nunatak. – Polygonmessung über T 71 (29.7 km) bis T 70 zurück auf das Inlandeis in Richtung TA 61 (35.4 km).
3. Juli: Polygonmessung über T 69 und T 68 bis T 67 (44.1 km).
4. Juli: Bis Mittag Nebel und White Out. – Nachmittags Messung der Polygonseite T 67–T 66 (15.3 km).
5. Juli: Polygonmessung über T 65 a und T 65 bis T 64 (32.4 km), gelegentlich durch Schlechtwetter behindert.
6. Juli: Weiterführung des Polygonzuges über T 63 bis T 62 (19.5 km), stark verzögert durch schlechte Sichtverhältnisse.
7. Juli: Abschluß des Polygonzuges mit der Seite T 62–T 61 (8.0 km). Gesamtgruppe um 11 Uhr in Dépôt 420 vereinigt. – Nachmittags Hypsometervergleich, Tellurometer-Frequenzvergleich, Aufbau des Deformationsviereckes um TA 61, astronomische Messungen.
8. Juli: Einmessung des Deformationsviereckes um TA 61. – Um 14 Uhr Aufbruch zurück nach Station Jarl-Joset.
9. Juli: Ankunft in Station Jarl-Joset um 12 Uhr nach Kontrollmessungen in den Vierecken 54 a und 54.
- 9.–11. Juli: Aufenthalt in Station Jarl-Joset:
10. Juli: Aufbau und Einmessung des Deformationsvierecks um TA 53. – Filmaufnahmen der Tellurometermessung.
- 11.–17. Juli: Rückfahrt im West-Ost-Profil bis Carrefour. – Mechanische Defekte an den Weaseln und schlechte Sicht verzögern die Fahrt. – Begegnung mit der Gruppe Nivellement am 12. Juli bei T 39. – Ankunft in Carrefour am 17. Juli um 15 Uhr. – Radioverbindung mit VICTOR in Camp VI EGIG um 16 Uhr.
18. Juli: Umstellung der Gruppe auf 3 Weasel mit 2 Wohnwagen und 1 Schlitten,

- da Weasel Chauchon-Hofmann nicht mehr fahrfähig. – Um 23 Uhr Aufbruch ins Nord-Süd-Profil.
- 19.–20. Juli: Fahrt über Dépôt Wegener und Dépôt Nord bis Terme EGIG. Ankunft am 20. Juli um 23 Uhr.
21. Juli: Sturm und Schneefall. – Radioverbindung mit VICTOR und Gruppe Küsten-geodäsie im Fjord von Kangerdluarsuk. – Tellurometer-Frequenzvergleich.
22. Juli: Besprechung der Paßpunktmessung auf dem Kangerdlugssuaq-Gletscher mit VICTOR, EKHOLM und PODER in Terme EGIG. – Tellurometer-Abstimmung auf dänisches Mastergerät. – Um 17 Uhr Abflug mit Helikoptern zur Signalisierung der Paßpunktgruppen; Rückkehr um 20 Uhr.
- 23.–28. Juli: Schlechtwetterperiode ohne Flug- und Meßmöglichkeiten.
28. Juli: Teilung der Gruppe Lagemessung in zwei Halbgruppen:
 Gruppe I: HOFMANN, COMMIOT, NOTTARP, – CHAUCHON
 zur Paßpunktbestimmung und Astronomie in Terme EGIG.
 Gruppe II: GFELLER, MELCHERS, – CAMARET, DESPÉRIÈS, WIEGANT
 zur Polygonmessung im Nord-Süd-Profil.
 Um 21 Uhr Start der Halbgruppe II ins Nord-Süd-Profil. Polygonmessung bis T 101 (9.2 km).
29. Juli: Gruppe I: Ohne Messungen in Terme EGIG.
 Gruppe II: Polygonmessung von T 101–T 104 (37.2 km). – Anschluß von Point Nord (Dépôt).
30. Juli: Gruppe I: Bis Mittag Schneesturm und White Out in Terme EGIG. Ankunft der Helikopter um 21 Uhr. Messung der Strecke TA 100–IV a (Dänischer Paßpunkt auf Nunatak), mit 47.4 km längste gemessene Strecke. – Aufbruch zur Paßpunktmessung um 23.30 Uhr.
 Gruppe II: Schlechtwetter-Aufenthalt bei Point Nord (Dépôt).
31. Juli: Gruppe I: Von Mitternacht (0 Uhr) bis 19 Uhr – unterbrochen durch Schlechtwettereinfall von 4 Uhr–11.30 Uhr – Paßpunktbestimmung im Einzugsgebiet des Kangerdlugssuaq-Gletschers (siehe Abhandlung 2 dieses Bandes).
 Gruppe II: Polygonmessung T 104–T 110 (55.0 km).
1. August: Gruppe I: Startschwierigkeiten und Reparaturen bei den Helikoptern bis 18 Uhr. – Dann Abschluß der Paßpunktmessungen bis 22 Uhr.
 Gruppe II: Polygonmessung T 110–T 114 (27.7 km).
2. August: Gruppe I: Schlechtwetteraufenthalt in Terme EGIG.
 Gruppe II: Schlechtwetteraufenthalt bei T 114.
3. August: Gruppe I: Winkelmessung und Astronomie auf TA 100. – Tellurometer-Frequenzvergleich. – Abfahrt von Terme EGIG um 17.30 Uhr.
 Gruppe II: Polygonmessung T 114–T 116 (15.5 km).
4. August: Gruppe I: Rückfahrt durch das Nord-Süd-Profil bis T 106 mit Reparaturaufenthalt in Point Nord (Dépôt).
 Gruppe II: Polygonmessung T 116–T 117 (7.0 km), durch schlechte Sicht stark behindert.
5. August: Gruppe I: Defekte Fahrzeuge erlauben nur langsame Fahrt bis Dépôt Wegener.
 Gruppe II: Polygonmessung T 117–T 121 (38.9 km).

6. August: Gruppe I: Nach Reparatur-Aufenthalt Fahrt bis Carrefour.
 Gruppe II: Polygonmessung T 121-T 125 = T 4 (Carrefour) (31.9 km).
7. August: Gesamtgruppe bei Schneesturm und Nebel in Carrefour. – Weasel-Reparaturen.
8. August: 15.30 Uhr, Aufbruch nach Camp VI EIGIG; Ankunft 17.45 Uhr. – Tellurometer-Frequenzvergleich in Camp VI EIGIG.
9. August: Gruppe I: Aufenthalt in Camp VI EIGIG.
 Gruppe II: 11 Uhr, Aufbruch nach Carrefour zur Fortsetzung des Nord-Süd-Profiles nach Süden. – Polygonmessung T 125 = T 4-T 126 (2.6 km).
10. August: Gruppe I: Bei White Out in Camp VI EIGIG. – Tellurometer-Versuchsmessungen. – Tiefersetzen und Aufrichten der schiefstehenden Pegel des Deformationsvierecks.
 Gruppe II: Polygonmessung T 126-T 128 (24.1 km), stark verzögert durch Fahrzeugdefekte.
11. August: Gruppe I: Nachmessung des Deformationsvierecks um TA 0. – Astronomische Beobachtungen auf TA 0.
 Gruppe II: Polygonmessung T 128-T 131 (21.0 km).
12. August: Gruppe I: Aufräumungsarbeiten in Camp VI EIGIG. – 18 Uhr Start mit Helikoptern zur Messung des Polygonzuges TA 0 – Qapiarfit; Seite T 301-T 302 eingemessen.
 Gruppe II: Polygonmessung T 131-T 132 (10.3 km). Dann Abbruch der Messungen im Nord-Süd-Profil wegen Zeitnot und defekter Fahrzeuge.
13. August: Gruppe I: Aufräumungsarbeiten in Camp VI EIGIG.
 Gruppe II: Rückfahrt nach Camp VI EIGIG; dabei Nachmessung des Polygonzuges T 4-T 1. – Ankunft in Camp VI EIGIG um 17 Uhr. MELCHERS und CAMARET werden sofort nach Camp I ausgeflogen.
- 14.–18. August: Aufräumungsarbeiten in Camp VI EIGIG bei wechselhaftem Wetter.
 – COMMIOT und WIEGANT werden am 15. August nach Camp I ausgeflogen. COMMIOT stellt dort astronomische Beobachtungen auf A 1 an.
19. August: 13.30 Uhr Abflug zur Fortsetzung des Küstenanschlusses. Polygonmessung mit Helikoptern T 302 bis T 305 = B 30 (40.6 km). – Ankunft in Camp I um 19 Uhr.
20. August: Vollendung des Küstenanschlusses mit der Polygonseite T 305 = B 30 – Qapiarfit (37.1 km). – Messung und Vermarkung der Basis Qapiarfit-Manitsoq. – Winkelmessung auf Qapiarfit zum Azimut-Anschluß nach Kugssuk. – Abschluß der geodätischen Arbeiten und Rückflug nach Camp I um 18.30 Uhr. – Tellurometer-Frequenzvergleich.
23. August: 1 Uhr, Abfahrt der Restgruppe Lagemessung aus Camp I mit Kutter »Erik Røde« in Richtung Søndre Strømfjord.

II. BETRIEBSTECHNIK DER TELLUROMETER UNTER ARKTISCHEN BEDINGUNGEN

Von K. NOTTARP

1. Vorbereitung der Geräte.

Der EGIG standen die Tellurometer MA 1-167, RA 1-232, RA 1-234 der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung in München, MA 1-142, RA 1-197 des Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule Stuttgart und MA 1-87, RA 1-141 des Instituts für Angewandte Geodäsie in Frankfurt a.M. zur Verfügung. Die Instrumente wurden im Laufe des Monats November 1958 an die Expedition übergeben.

Der vom Hersteller für den Einsatz in kaltem Klima vorgesehene Einbau eines Thermostaten für die Steuerquarze der Maßstabsfrequenzen (CW-Kit) und die Umhüllung des Gerätes mit dem mitgelieferten Shower Muff erwiesen sich bei verschiedenen Kälteversuchen als nicht ausreichend. Stromversorgungs- und Telefonkabel wurden bei -15°C steif und brachen bei -20°C , die Potentiometer blockierten bei -20°C , die Kapazität der verwendeten Elektrolytkondensatoren verringerte sich bei abnehmender Temperatur so sehr, daß Störungen in der Meßwertanzeige auftraten.

Es wurden deshalb sämtliche Potentiometer, Kabel und Elektrolytkondensatoren gegen kältefeste Ausführungen ausgetauscht¹⁾ und eine größere Anzahl von Kondensatoren, Widerständen und Röhren durch entsprechende Bauteile kommerzieller Qualität ersetzt, um die Betriebssicherheit zu erhöhen.

Der seiner Konstruktion nach veraltete Original-Stromversorgungsteil (Power Pack) wurde durch einen speziell für diesen Zweck konstruierten Transistorumformer ersetzt, der direkt in das Tellurometer eingebaut wurde. Eine zusätzliche allgemeine Beheizung der Geräte wurde nicht vorgesehen. Die Kühlslitze wurden jedoch abgedichtet, um das Eindringen von Treibschnne und Schmelzwasser zu verhindern.

¹⁾ Potentiometer Typ 53 E mit Silicone-Fettung der Fa. Stemag, Berlin, MP-Kondensatoren der Fa. Bosch, Stuttgart, Silikone- u. Bunakabel der Fa. Eckmann, Hamburg.

Einige Geräte wurden mit Thermometern ausgerüstet, um die Innentemperatur zu überwachen.

Der thermostatisierte Maßstabsoszillator (CW-Kit) für die Masterstation MA 1-87 wurde bereits Anfang Oktober 1958 geliefert. Die Quarze konnten daher vor dem Einbau in das Tellurometer in zweimonatigem Dauerbetrieb gealtert werden.

Die Geräte wurden mit Unterstützung des Instituts für Angewandte Geodäsie in der Kältekammer der Fa. Bosch, Stuttgart, geprüft und im Zugspitzgebiet sowie im Raum München über Schneeflächen praktisch erprobt.

Bei den ersten Messungen im Camp VI EGIG stellte sich heraus, daß die Kapazität der vorhandenen 6-Volt Batterien nicht ausreichte. Die Tellurometer wurden daraufhin auf 12-Volt Betrieb umgestellt, so daß die Batterien während der Fahrt von der Weasel-Lichtmaschine aufgeladen werden konnten.

Die Reichweite der Tellurometer ließ sehr zu wünschen übrig (vgl. II. 4). An einem Ruhetag zwischen Station Milcent und Station Centrale ergaben an den Geräten vorgenommene Messungen, daß die Bandbreite des ZF-Verstärkers vom Hersteller im Interesse leichter Bedienbarkeit (Abstimmung der Trägerfrequenz) sehr reichlich bemessen war, was jedoch die Empfindlichkeit und damit die Reichweite des Gerätes gegenüber dem theoretisch erreichbaren Wert erheblich vermindert. Da es unter den obwaltenden Umständen nicht möglich war, die Bandbreite der ZF-Verstärker aller Geräte zu verringern, wurde umgekehrt der Frequenzhub der Meßmodulation wesentlich erhöht. Nachdem die Beobachter mit der nunmehr kritischen Abstimmung vertraut waren, ergab sich eine wesentliche Steigerung der Reichweite.

2. Verhalten der Geräte in Grönland.

Während der ganzen Kampagne wurden die Tellurometer außerhalb der Weasel transportiert und während der Meßperioden waren Quarzthermostat und Röhrenheizung ständig eingeschaltet. Auf diese Weise stellte sich eine hinreichend stabile Innentemperatur ein, außerdem wurde so die Bildung von Kondenswasser verhindert. Der mechanischen Beanspruchung während der Fahrt, besonders in der Randzone des Inlandseises waren die Geräte nicht ganz gewachsen. Die Schäden konnten jeweils kurzfristig behoben werden.

Die CW-Kits bewährten sich gut mit Ausnahme der Nummer MA 1-142, das offensichtlich ungenügend gealtert war.

Unangenehm war, daß die beleuchtete Ableseskala außen leicht vereiste und der Ablesetubus gelegentlich am Gesicht des Beobachters festfror.

Die Einstellungen von Justierung, Helligkeit, Schärfe und Phasenverschiebung am Braunschen Rohr waren nicht konstant genug, was gelegentlich die Grobablesung beeinträchtigte und häufiges Nachstellen an den Regelpotentiometern erforderte.

Die für einen Temperaturbereich von 0° bis -40°C entwickelten, eingebauten Transistorumformer bewährten sich auf dem Inlandseis gut, lediglich bei der Messung der Küstenanschlüsse kam es wegen der hohen Außentemperaturen bis $+10^{\circ}\text{C}$ zu gelegentlichen Startschwierigkeiten.

Probeweise wurde ein Original-Power-Pack eingesetzt; nacheinander traten im Verlauf von fünf Wochen folgende Defekte auf, die jeweils wieder behoben wurden: Bruch des Verbindungskabels, Durchschlag von drei Siebkondensatoren, Wicklungsschluß im Transformator.

Die zur Tellurometerausrüstung gelieferten Barometer Short & Mason waren zusammen mit Barometern der Fabrikate Fuess und Wallace & Tiernan in temperaturisolierten Transportkästen federnd aufgehängt. Im Gegensatz zu den beiden anderen Fabrikaten waren die Short & Mason-Barometer der Beanspruchung nicht ganz gewachsen (vgl. Die barometrische Höhenmessung).

Zur Bestimmung der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden anstelle der mitgelieferten Psychrometerschleudern Aspirationspsychrometer nach Assmann benutzt. Die Befeuchtung des Verdunsters machte bei tiefen Temperaturen gelegentlich Schwierigkeiten. Der Strahlungsschutz war für arktische Verhältnisse ungenügend.

Die gelegentlich für Bodenmessungen benutzten Holzstativen ließen sich im Gegensatz zu Metallstativen nicht mehr verstehen oder splitterten.

Die aus weichem, nicht profilverstärktem Leichtmetall hergestellten Transportkästen platzten auf, die Befestigungsringe für die Traggurte bogen sich auf und rissen aus.

Zur Funkverbindung innerhalb der Gruppe war das amerikanische Funkspiegelgerät BC 1000 vorgesehen. Infolge seiner ungünstigen Trägerfrequenz ($40\text{--}45\text{ MHz}$), seiner geringen Leistung ($1,0\text{ W}$) und vor allem wegen der großen Temperaturabhängigkeit des Frequenzabstandes von Sende- und Empfangskanal der einzelnen Geräte war nur über Entferungen bis zu 5 km eine sichere Verständigung möglich (vgl. III. 6).

3. Frequenzvergleiche und Maßstabskontrolle.

Zur Auswertung der Tellurometermessung ist die Kenntnis des genauen Wertes der Maßstabsfrequenz der Masterstation erforderlich. Sollen mehrere Masterstationen mit mehreren Remotestationen wahl-

weise zusammenarbeiten, so dürfen die Maßstabsfrequenzen der einzelnen Geräte nur um geringe Beträge voneinander abweichen.

Um beiden Forderungen zu genügen, wurden die Maßstabsfrequenzen während der Meßperioden mehrfach kontrolliert und soweit möglich mit der Standardfrequenz 10 MHz des Senders WWV verglichen. Die Messungen wurden mit dem Frequenzprüfgerät T 4 der Tellurometer Ltd. ausgeführt.

Das Prinzipschema des Gerätes zeigt Fig. 4.

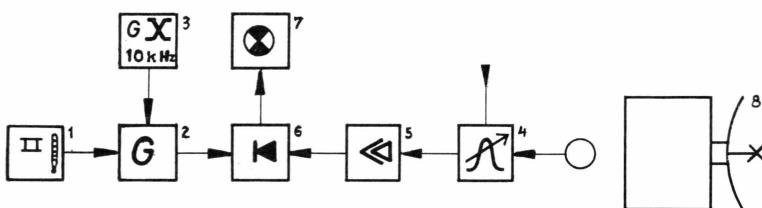


Fig. 4. Prinzipschema des Frequenzprüfgerätes T 4.

1 Quarz 100 kHz mit Thermometer, 2 100 kHz-Oszillator, 3 10 kHz Multivibrator, 4 abstimmbares Filter, 5 Verstärker, 6 Mischstufe, 7 Schwebungsindikator, 8 Tellurometer.

Zu Beginn der jeweiligen Frequenzkontrolle wurde, wenn möglich, die Standardfrequenz WWV mit dem abgestimmten Verstärker 4,5 empfangen, mit der 100. Oberwelle des 100 kHz Oszillators 1,2 verglichen und dieser, wenn nötig, auf Schwebungs-Null justiert, wobei die Quarztemperatur und der Skalenteil des Justierkondensators notiert wurden. Wenn der Vergleich mit WWV, wie zumeist, nicht möglich war, wurde der 100 kHz Oszillator 1,2 auf Schwebungs-Null mit der Maßstabsfrequenz A der Masterstation MA 1-87 justiert. Anschließend wurde der 10 kHz Multivibrator 3 mit dem 100 kHz Oszillator synchronisiert. Zur Kontrolle der Maßstabsfrequenzen A, B, C und D wurden die Tellurometer 8 über eine Koppelschleife im Streufeld des Maßstabsoszillators an den auf die jeweilige Frequenz abgestimmten Verstärker 4,5 angekoppelt und am Schwebungsindikator 7 die Abweichung von der entsprechenden Oberwelle des 100 kHz Oszillators 1,2 bzw. ihrer Mischprodukte mit dem 10 kHz-Multivibrator 3 betrachtet.

Abweichungen bis 6 Hz lassen sich bei diesen Verfahren direkt auszählen, noch sichtbares Flimmern des Indikators besagt, daß die Abweichung kleiner als ungefähr 20 Hz ist. Bei noch größerer Abweichung erscheint der Indikator gleichmäßig hell. Abweichungen über 6 Hz lassen sich zwar durch Änderung der Justierung des 100 kHz-Oszillators unter

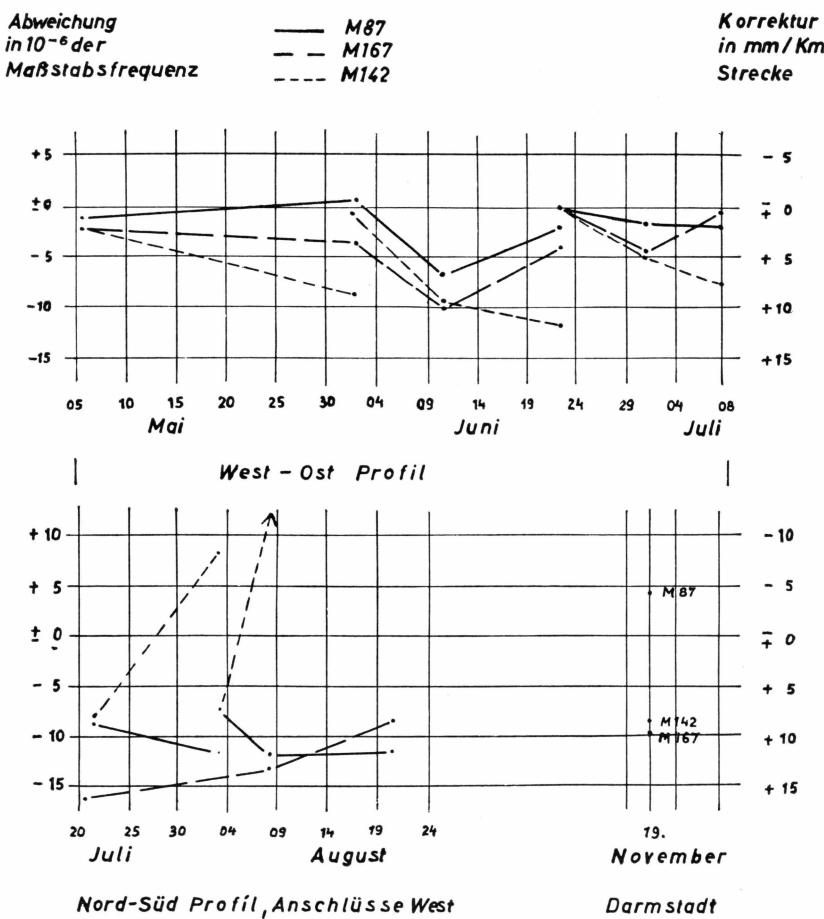


Fig. 5. Frequenzgang der Tellurometer-Master-Geräte, Sommerkampagne 1959.

Berücksichtigung der Quarztemperatur direkt erfassen, dieses Verfahren ist jedoch nur bei guten Empfangsbedingungen für die Standardfrequenz WWV opportun, um jederzeit den Sollwert wieder einstellen zu können.

Das Frequenzprüfgerät T 4 enthält keinen Thermostaten für den 100 kHz-Quarz 1. Trotz mehrstündigem Vorheizen des Gerätes stellte sich keine stabile Quarztemperatur ein. Die daraus resultierenden Frequenzänderungen erschweren die Ausführung und Auswertung der Frequenzvergleiche.

Die der Skala des Justierkondensators bei verschiedenen Quarztemperaturen zugeordneten Frequenzen wurden provisorisch am 4.5. 1959 in Camp VI EIG und am 22.7. 1959 in Terme EIG und endgültig am 19. 11. 1959 durch Frequenzmessung bei verschiedenen Tempera-

turen im Klimaraum des Fernmeldetechnischen Zentralamtes in Darmstadt ermittelt.

In einigen Fällen konnten die Abweichungen der Maßstabsfrequenzen der drei Masterstationen ohne Veränderung der Justierung des 100 kHz-Oszillators ermittelt werden, indem zunächst das Gerät mit der geringsten Abweichung eingemessen und anschließend die Differenz zwischen diesem und dem Gerät mit der nächst größeren Abweichung usw. bestimmt wurde.

Das Vorzeichen der Abweichung ergibt sich aus dem Vorzeichen der zum Abgleich der Maßstabsfrequenz auf den Sollwert notwendigen Kapazitätsänderung am Maßstabsoszillator des Tellurometers.

Das ganze Meßverfahren erscheint umständlich, unter den gegebenen äußereren und apparativen Bedingungen blieb keine Wahl, im übrigen sei auf Kap. II., Abschn. 5 verwiesen.

Die Maßstabsfrequenzen der Remotestationen wurden in üblicher Weise mit den im Tellurometer eingebauten Hilfsmitteln auf die Soll-Differenz von 1 kHz gegenüber der Masterstation justiert.

Die Ergebnisse der einzelnen Frequenzvergleiche und des abschließenden Anschlusses an die Normalfrequenz des Fernmeldetechnischen Zentralamtes sind in Tabelle I und Fig. 5 zusammengestellt.

Tabelle I
Abweichung der Maßstabsfrequenz in 10^{-6}
der Sollfrequenz

| Ort | Datum | MA 1-87 | MA 1-142 | MA 1-167 | Bemerkungen |
|-------------------|---------------|---------|----------|----------|----------------------|
| Camp VI EIGIG | 04.05.–06.05. | – 1,3 | – 2,2 | – 2,2 | |
| Milcent | 02.06. | + 1,0 | – 8,6 | – 3,4 | |
| | | | – 0,6 | | MA 1-142 justiert |
| Sta. Centrale .. | 10.06.–11.06. | – 6,5 | – 9,5 | – 10,0 | |
| Sta. 'Jarl-Joset. | 22.06.–23.06. | – 2,0 | – 11,6 | – 3,7 | |
| | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | auf WWV justiert |
| Cecilia N. | 01.07. | – 1,6 | – 4,9 | – 4,4 | |
| Dépôt 420 | 07.07. | – 2,0 | – 7,5 | – 0,3 | |
| Terme EIGIG .. | 21.07. | | | – 16,2 | |
| Terme EIGIG .. | 22.07. | | – 8,4 | – 7,7 | auf MA 1-27 justiert |
| Terme EIGIG .. | 03.08. | – 11,4 | + 8,0 | | |
| | | – 7,2 | – 7,2 | | auf T 4 justiert |
| Camp VI EIGIG | 08.08. | – 12,0 | | – 13,1 | |
| Camp I | 20.08. | – 11,2 | | – 8,1 | |
| Darmstadt | 19.11. | + 4,5 | – 8,1 | – 9,3 | |

Während der einzelnen Frequenzvergleiche in Grönland traten spontane Frequenzänderungen bis zu $\pm 2 \cdot 10^{-6}$ der Sollfrequenz auf. Damit ist die Größe der Frequenzunsicherheit für die Streckenmessung gegeben. Die wesentlich kleineren Unsicherheiten der Schwebungsmessung und der Bestimmung des Temperaturkoeffizienten des 100 kHz-Quarzes des Frequenzprüfergerätes mit $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ der Sollfrequenz können dagegen vernachlässigt werden. Beim abschließenden Frequenzvergleich der Tellurometer im Fernmeldetechnischen Zentralamt in Darmstadt am 19.11.1959 traten Frequenzsprünge bis zu $\pm 6 \cdot 10^{-6}$ der Sollfrequenz auf. Die Ursache dürfte in Einwirkungen während des Rücktransports der Geräte von Camp I in Grönland nach Deutschland zu suchen sein.

Auf Vorschlag und mit Unterstützung des Instituts für Angewandte Geodäsie wurden zur äußereren Maßstabskontrolle der Tellurometer im Februar 1959 und im Oktober 1959 einige Strecken im Basisvergrößerungsnetz München gemessen. Das Ergebnis ist in Tabelle II zusammengestellt.

Tabelle II

| | | |
|-----------------------------|----------|-------------|
| 1) München-Schweitenkirchen | | |
| MA 1-87 | 02.02.59 | 40 974,66 m |
| | 19.10.59 | 4,61 m |
| | 20.10.59 | 4,49 m |
| MA 1-142 | 19.10.59 | 4,99 m |
| | 20.10.59 | 4,99 m |
| MA 1-167 | 19.10.59 | 5,14 m |
| | 20.10.59 | 5,06 m |
| 2) Basis Nord-Basis Süd | | |
| MA 1-87 | 02.02.59 | 8 231,88 m |
| | 21.10.59 | 1,99 m |
| MA 1-142 | 21.10.59 | 2,07 m |
| MA 1-167 | 21.10.59 | 2,05 m |

Unter Berücksichtigung der bei der Frequenzmessung im Fernmeldetechnischen Zentralamt zu Tage getretenen sprunghaften Frequenzänderungen lassen sich aus diesen Messungen leider keine Rückschlüsse auf den Maßstab in Grönland ziehen.

Es erscheint notwendig, in Zukunft eine geeignete Kontrollstrecke in der Nähe des Einsatzgebietes anzulegen, um den unvermeidlichen Einwirkungen größerer Transporte zu entgehen (vgl. II. 4).

4. Wellenausbreitung.

Bei den Versuchsmessungen im Camp VI EGIG (vgl. III. 2) erwies sich die Absorption der Trägerwelle ($\lambda = 10$ cm) über dem Inlandseis wesentlich größer als aus den Ergebnissen der Versuchsmessungen im Zugspitzgebiet und über geschlossener Schneedecke in der Isarniederung zu erwarten war. Der normalerweise durch die Bodenreflexion verursachte »Swing« verschwand fast völlig, andererseits wurde auch die direkt übertragene Welle erheblich geschwächt. Trotz Aufstellung der Tellurometer auf dem Weaseldach ca. 3,5 m über der Schneoberfläche und theoretischer Sicht zwischen den beiden Stationen betrug die Reichweite nur 5–10 km. Durch Vergrößerung des Frequenzhubes der Meßmodulation und damit des Informationsinhaltes der Trägerwelle konnte die Reichweite schließlich auf 15–30 km erhöht werden (vgl. II. 1).

Der Brechungsindex der Luft wurde in üblicher Weise bestimmt (vgl. III. 6).

Sehr der häufige Fallwind zeitweilig auch den Beobachtern zusetzte, so vorteilhaft wirkte er sich auf die Messung aus, da er im jeweiligen Meßgebiet einigermaßen homogene meteorologische Verhältnisse schuf. Auch die Kälte und der dadurch bedingte niedrige Dampfdruck begünstigte das Tellurometer-Meßprinzip.

Inversionsschichten konnten während der ganzen Kampagne nur zweimal beobachtet werden, in diesen Fällen waren Messungen nicht möglich.

Die Änderung der Laufzeit in Abhängigkeit von der Trägerfrequenz, kurz Swing genannt, war mit $\pm 0,5 \cdot 10^{-9}$ Sek. über dem Inlandseis sehr gering, wuchs aber mit der Änderung der Trägerfrequenz von 2900 MHz bis 3100 MHz (Skalenteil 5 bis 14 der Trägerfrequenzskala) regelmäßig um ca. $+0,3 \cdot 10^{-9}$ Sek. an, Fig. 6 a und b. In der küstennahen Ablationszone mit zunehmend durchfeuchtetem Schnee vergrößerte sich der Swing auf $\pm 2 \cdot 10^{-9}$ Sek. Fig. 6 c und d. Bei der Abschlußmessung Qapiarfjord T 306 – Maniitsoq T 307 über großenteils schneefreiem, gebirgigem Gelände trat die von Messungen in den Alpen her bekannte Swingform auf, Fig. 6 e. Bei der Abschlußmessung Cecilia Nunatak Nord – Cecilia Nunatak Süd über das unter einer dünnen Firndecke in breiter Front abfließende Schmelzwasser hinweg trat typischer »Wasserswing« auf, Fig. 6 f.

Da gerade die auf festem Grund vermarkten Abschluß-Strecken durch den großen Swing beeinträchtigt sind, sollte in Zukunft versucht werden, an einer geeigneten Stelle in Grönland eine gut meßbare, dauerhaft vermarkte Kontrollstrecke anzulegen. Die Absorption läßt sich aus der Ausbreitungstheorie elektromagnetischer Wellen über der Grenzfläche zweier Medien erklären (ZENNECK, 1907). Eine Welle, die sich

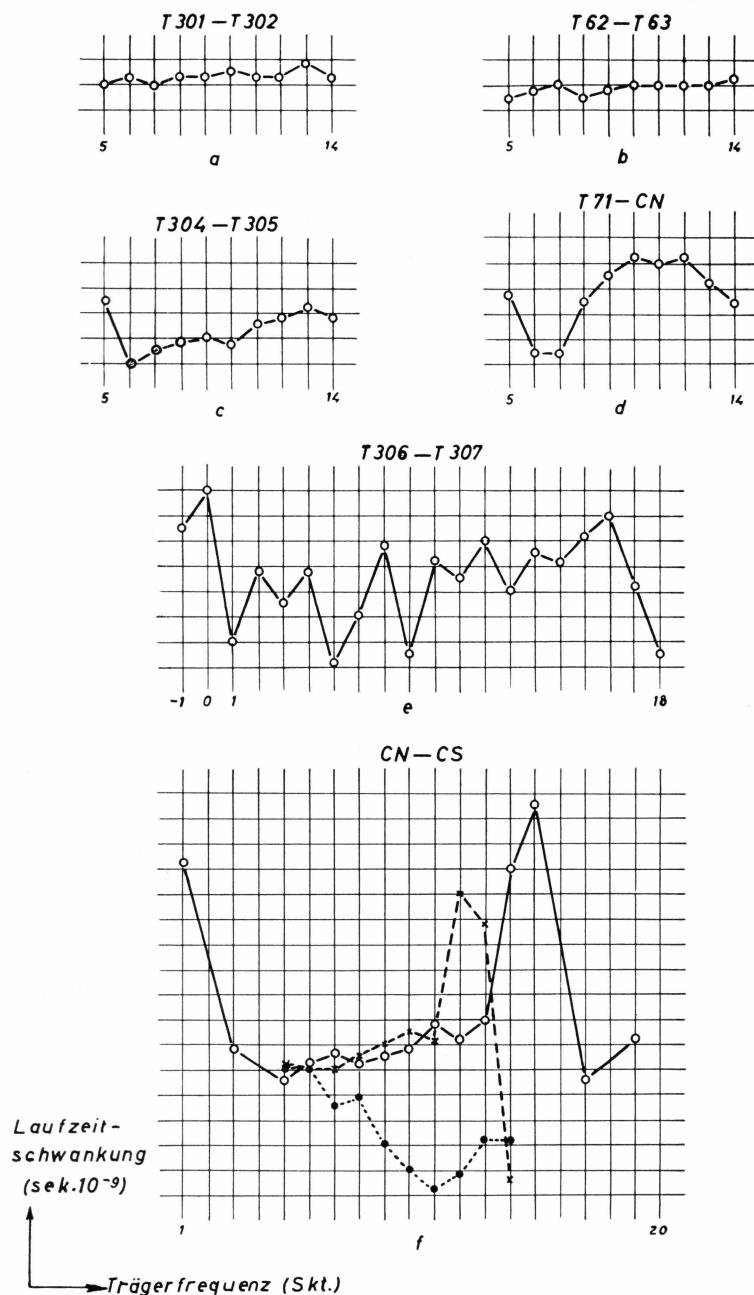


Fig. 6. Laufzeitschwankungen in verschiedenen typischen Meßstrecken.

entlang der Grenzfläche zweier Medien fortpflanzt, induziert in das angrenzende Medium einen Teil ihrer Energie. Dies bewirkt einen von der Differenz der Brechungsindizes beider Medien und vom Abstand des Wellenweges von der Grenzfläche abhängigen Energieverlust der Welle. Außerdem wird die Wellenfront deformiert, in der Nähe der Grenzfläche eilt die Phase der Welle nach. Daraus resultiert eine mit der Annäherung des Wellenweges an die Grenzfläche und der Differenz der Brechungsindizes zunehmende Additionskonstante bei der Streckenmessung.

Der bei der Streckenmessung aufgetretene geringfügige systematische Überschuß der Vierecksseiten gegenüber den Diagonalen (vgl. IV. 9) ist möglicherweise darauf zurückzuführen, daß die Seite u in den weitaus meisten Fällen längs des Scheitels einer crête lag und deshalb in geringerem Abstand von der Schneeeoberfläche gemessen wurde, als die meist von Scheitel zu Scheitel liegenden Seiten s und t und die Diagonalen v und w .

Die regelmäßig zu beobachtende steigende Tendenz des Swing mit zunehmender Trägerfrequenz resp. abnehmender Trägerwellenlänge (Fig. 6 a und b) ergibt sich aus der Abhängigkeit der Deformation der Wellenfront von der Wellenlänge.

Die Größe der über dem grönlandischen Inlandseis aufgetretenen Absorption und der damit zusammenhängenden Effekte legen die Vermutung nahe, daß der Brechungsindex der Oberfläche des grönlandischen Inlandseises größer ist als der Brechungsindex einer Schneeeoberfläche in mittleren Breiten. Hierzu sei auf Abschnitt 6 verwiesen.

5. Gerätetechnische Folgerungen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich entgegen mancherorts gehegten Befürchtungen die Tellurometer in Grönland bewährt haben. Besonders gilt das für das Meßverfahren, während gerätetechnisch noch manche Wünsche offen sind. Da die Lagemessung in Grönland in einigen Jahren wiederholt werden soll und ganz allgemein Interesse an einem arktischen elektronischen Entfernungsmeßgerät besteht, wurden Unterlagen für eine optimale Anpassung der Tellurometer MA 1-RA 1 und MRA 2 an arktische Verhältnisse ausgearbeitet.

Die Geräte erfüllen z. Zt. (Januar 1962) nicht die in den amerikanischen JAN-MIL Vorschriften gestellten Bedingungen für Kälte-, Höhen- und Transportfestigkeit. Die entsprechenden Änderungen (vgl. II. 1, Absatz 3 und 4) müssen vom Benutzer vorgenommen werden. Die verschiedentlich vorgeschlagene Beheizung des Gesamtgerätes erscheint wegen des großen zusätzlichen Leistungsbedarfs und des großen Temperaturgradienten wenig vorteilhaft.

Nach Abschnitt 4 sollte die Antenne etwa 6 m über der Schneoberfläche installiert werden. Diese Forderung macht eine Trennung von Antenne und Meßgerät unvermeidlich. Es genügt jedoch nicht, die Antenne allein hochzusetzen und über ein Koaxialkabel mit dem Meßgerät zu verbinden, da die Leitungsverluste der verfügbaren kältefesten Kabel zu groß sind. Die in dieser Hinsicht günstigere Hohlrohrleitung ist dagegen mechanisch sehr empfindlich und aus diesem Grunde für einen Einsatz mit häufigen Transporten nicht geeignet. Es wird deshalb eine Antenne mit angebautem Breitbandverstärker in Gitterbasisschaltung vorgeschlagen. Das gegen Schnee-Einweihung und Winddruck durch eine Kunststoffhaube weitgehend geschützte Antennensystem kann direkt auf das jeweilige Pegelrohr aufgesetzt werden. Die Richtung wird durch Drehen des Pegelrohres gesucht. Das Meßgerät kann dann fest auf dem Fahrzeug installiert werden, am besten in einem schneedichten Kasten, dessen Vorderfront nur zur Messung geöffnet wird. Der Thermostat für die Steuerquarze soll ununterbrochen in Betrieb sein.

Darüber hinaus wären noch einige Änderungen am Gerät wünschenswert. So sollte die Einstellung der Hilfsspannungen am Braunschen Rohr durch Spannungsstabilisierung und Verwendung von Widerständen mit kleineren Temperaturkoeffizienten über längere Zeit stabil gehalten werden. Durch Einbau einer Trennstufe sollte die Änderung des Frequenzhubs (Modulationsindex) ohne Rückwirkung auf die Maßstabsfrequenz ermöglicht werden.

Das zur Kontrolle der Maßstabsfrequenz der Tellurometer erforderliche Frequenzmeßgerät muß wegen des in den Polargebieten häufig auftretenden Black Outs unabhängig vom Empfang einer Normalfrequenz sein, außerdem soll es nicht nur die Sollfrequenz repräsentieren, sondern auch die Messung von Größe und Vorzeichen der Abweichung der Maßstabsfrequenz vom Sollwert ermöglichen.

Entsprechend diesen Forderungen wurde ein Frequenzprüfgerät entworfen, dessen Prinzip in Fig. 7 dargestellt ist. Es enthält in einem Thermostaten einen 10 MHz-Quarzoszillator als Frequenzstandard. In einem weiteren unabhängigen Thermostaten sind 5 Quarze mit den Frequenzen 11 MHz, 9,999 MHz, 9,989 MHz, 9,899 MHz und 8,999 MHz untergebracht, die wahlweise zur Steuerung eines Meßoszillators verwendet werden. Die Schwingung des Meßoszillators wird mit der Schwingung eines von 900 Hz bis 1100 Hz variablen Oszillators überlagert. Auf diese Weise entstehen die Frequenzen 10,000 MHz, 9,990 MHz, 9,900 MHz und 9,000 MHz, die jeweils um ± 100 Hz variabel sind, wobei die stets vorhandene Unsicherheit des variablen Oszillators von etwa 10^{-3} entsprechend dem Frequenzverhältnis nur mit dem Faktor 10^{-4} multipliziert eingeht.

In einem Schwebungsindikator wird die zu bestimmende Maßstabsfrequenz mit der entsprechenden Frequenz des Prüfgerätes überlagert und die Frequenzdifferenz durch Variation des variablen Oszillators zu Null gemacht. Die Abweichung vom Sollwert kann dann direkt an der Skala des variablen Oszillators abgelesen werden.

Zur Justierung der Maßstabsfrequenzen auf den Sollwert wird der variable Oszillator auf 0 (1 kHz) eingestellt. Die 11 MHz-Schwingung dient nach Verdreifachung und Modulation mit 1 kHz zum Abgleich der Zwischenfrequenz der Tellurometer.

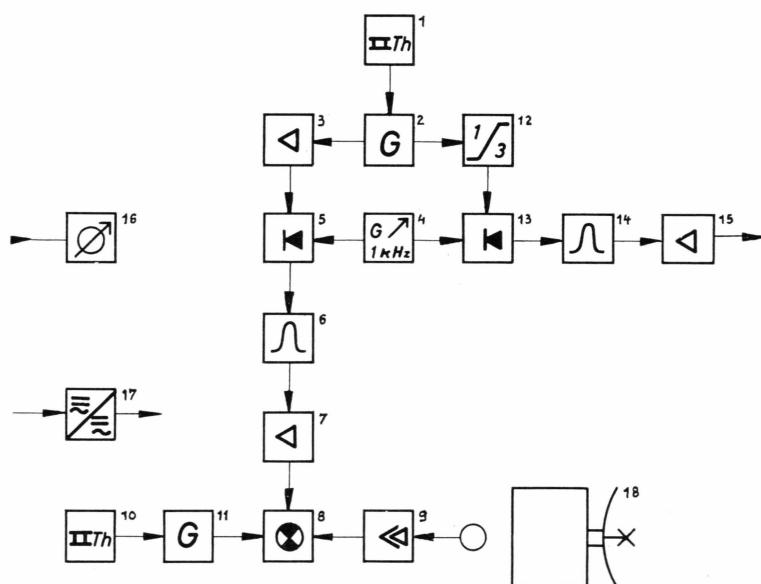


Fig. 7. Prinzipschema eines neuen Frequenzprüferätes.

1 Thermostat mit Quarzen 8,999 MHz, 9,899 MHz, 9,989 MHz, 9,999 MHz und 11,0 MHz 2 Meßoszillator, 3 Verstärker, 4 variabler Oszillator 900–1100 Hz, 5 Mischstufe, 6 Bandfilter 9–10 MHz, 7 Verstärker, 8 Schwebungsindikator, 9 zweistufiger Verstärker, 10 Thermostat mit Quarz 10,0 MHz, 11 Oszillator, 12 Frequenzverdreifacher, 13 Modulator, 14 Bandfilter 33 MHz, 15 Verstärker, 16 Voltmeter, 17 Stromversorgung 12 V = /110/220 VÖ, 18 Tellurometer.

Zur Justierung der Remote-Frequenzen wird der variable Oszillator abgeschaltet. Der unabhängige 10 MHz-Standard-Oszillator wird ebenso wie die Maßstabsfrequenzen der Tellurometer eingemessen, um die Gangschwankung des Meßoszillators zu kontrollieren.

Ferner enthält das Frequenzmeßgerät ein hochohmiges Voltmeter für Gleich- und Wechselspannung.

6. Die elektrischen Eigenschaften von Schnee bei 3000 MHz.

Die bei der Tellurometermessung über dem grönlandischen Inlandseis aufgetretenen Ausbreitungsphänomene lassen sich zunächst auf verschiedene Weise erklären.

So würde die Annahme einer höheren Dielektrizitätskonstante, als sie gemeinhin für Schnee angenommen wird, zum Ziele führen. Sie liesse sich aus einer größeren Dichte der Schneeeoberfläche erklären (WAITE, 1959).

Man könnte auch an Beugung an Objekten in der Größenordnung der Wellenlänge, wie zum Beispiel der häufig über weite Flächen hin auftretenden Schnee-Barchane, denken (SUZUKI, 1958).

Schließlich dürfte auch das oberflächennahe Mikroklima und die vom Fallwind hervorgerufene Schneedrift von Einfluß sein (EDER, 1947).

Um diese Fragen zu klären, erscheint es nützlich, sowohl die Wellenausbreitung über Schneeflächen, als auch die elektrischen Eigenschaften der Schneefläche selbst, möglichst bei verschiedenen Frequenzen, etwa 3 000 MHz und 9 000 MHz, zu untersuchen.

Die Messungen zur Wellenausbreitung können mit dem Tellurometer ausgeführt werden. Zu diesem Zweck sollte über Schneeflächen verschiedener Oberflächenform und Temperatur und bei verschiedenen Graden von Schneedrift eine Strecke von ca. 1 bis 2 km Länge mehrmals gemessen werden, wobei die Antennenhöhe auf den beiden Endpunkten nacheinander 6 m, 3 m, 1,5 m und 0,75 m betragen soll. Die Ablotung müsste dabei mit einem seitlich aufgestellten Theodoliten kontrolliert werden.

Die meteorologischen Messungen zur Bestimmung des Brechungsindex der Luft müßten auf beiden Stationen gleichzeitig in Antennenhöhe und außerdem etwa 0,5 m über der Schneeeoberfläche ausgeführt werden, eventuell auch noch bei 1,5 m.

Die Tellurometer wären zu dieser und der folgenden Messung mit einer etwas empfindlicheren Feldstärkenanzeige (AVC-meter) auszurüsten, was ohne Schwierigkeiten möglich ist.

Die elektrischen Eigenschaften der Schneefläche können unabhängig auf verschiedene Weise bestimmt werden. Installiert man beide Antennen knapp unter der Schneeeoberfläche in einem Abstand von ca. 100 m, der mit dem Meßband ausgemessen wird, so läßt sich aus der bekannten Strecke und der mit dem Tellurometer gemessenen Laufzeit der mittlere Brechungsindex des Schnees, und aus der abgelesenen Feldstärke bei bekannter Sende- bzw. Antennenleistung die Absorption direkt berechnen.

Ferner kann man eine kurzgeschlossene Koaxial- oder Hohlrohrleitung in den zu untersuchenden Schnee einstechen und Dielektrizitäts-

konstante, Permeabilität, Verlustfaktor und Leitfähigkeit der so in situ gewonnenen Probe nach dem Resonanzverfahren bestimmen (EICHACKER, 1948). Aus diesen Werten lässt sich nach bekannten Formeln (JOOS, 1945, SOMMERFELD, 1926) der Brechungsindex berechnen und mit dem aus der Laufzeitmessung bestimmten Brechungsindex vergleichen.

Bei allen derartigen Messungen müssen natürlich die Temperatur, das spezifische Gewicht und die Kristallform des Schnees bestimmt werden. Möglicherweise ergeben sich dabei auch glaziologisch interessante Zusammenhänge.

Literaturhinweise.

- EDER, F. X., 1947. Das elektrische Verhalten von Eis. Ann. Physik, 6. Folge, Bd. 1, S. 381, 1947.
- EICHACKER, R., 1948. Beitrag zur Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in quasi-homogenen, permeablen Medien und zur Bestimmung ihrer Stoffkonstanten bei sehr hohen Frequenzen. Dissertation T. H. München 1948.
- JOOS, G., 1945. Lehrbuch der theoretischen Physik, 3. Buch, 7.–10. Kapitel, Leipzig 1945.
- SOMMERFELD, A., 1926. Über die Ausbreitung der Wellen in der drahtlosen Telegraphie. Ann. Physik, Bd. 81, S. 1135, 1926.
- SUZUKI, M., 1958. Experimental analysis of 'equivalent reflection coefficient of various reflecting rough surfaces in microwave propagation. ETJ of Japan, March 1958, p. 3.
- WAITE, A. H., 1959. Ice depth soundings with ultra-high frequency radio waves in Arctic and Antarctic and some observed over-ice altimeter errors. USASRDL Technical report 2092, 16. Dec. 1959.
- ZENNEK, J., 1907. Über die Fortpflanzung elektromagnetischer Wellen längs einer ebenen Leiterfläche. Ann. Physik, Bd. 23, S. 846, 1907.

Anmerkung bei Drucklegung (April 1964):

Gelegentlich der Ross Ice Shelf Survey-Expedition 1962–63 der University of Michigan wurden die gerätetechnischen Vorschläge des Abschnittes 5 erfolgreich in die Praxis umgesetzt. Bei dieser Expedition konnten auch weitere Untersuchungen zur Wellenausbreitung über Schnee und zu den elektrischen Eigenschaften von Schnee bei hohen Frequenzen durchgeführt werden. Einzelheiten hierzu finden sich in den folgenden Veröffentlichungen:

- NOTTARP, K. Bemerkungen zur Wellenausbreitung bei Tellurometermessungen. – Allg. Verm. Nachr. 1962, Heft 5, S. 159–161.
- NOTTARP, K. Modifications to Tellurometers for polar use. – Tellurometer Symposium P 24, London 1962.
- HOFMANN, W. Geodätisch-glaziologische Arbeiten in der Antarktis. Dass Ross Ice Shelf Survey (RISS) – Unternehmen 1962/63. – ZfV 1963, Heft 6, S. 255–265.
- NOTTARP, K. Hochantennen für Tellurometermessungen in der Antarktis. – Allg. Verm. Nachr. 1963, Heft 8, S. 304–307.
- NOTTARP, K. Frequenzkontroll- und Prüfgerät für Tellurometer. – Allg. Verm. Nachr. 1964, Heft 3, S. 104–106.
- NOTTARP, K. Dielectric measurements on Antarctic snow at 3 000 Mc/sec. – Journal of Glaciology 1964, Vol. 5, Nr. 37, p. 134.

III. DIE LAGEMESSUNG IN DEN EGIG-PROFILEN WEST-OST UND NORD-SÜD

1. Die geodätischen Pegel der EGIG.

Zur Markierung von Punkten auf dem Inlandeis wurden Pegel (Balises) von einer Art verwendet, die sich bei früheren Grönland-Kampagnen der Expéditions Polaires Françaises bewährt hatte. Sie bestehen aus Aluminium-Rohren von 63.0 mm Durchmesser und 2.5 mm Wandstärke. Zur besseren Sichtbarkeit auf weite Entfernung sind sie mit orangefarbigem Lack gestrichen. Ein einzelnes Pegelement hat 2 m Länge und wiegt 4 kg. Jedes Element trägt in der Mitte (bei 1 m) einen schwarzen Lackring von 0.5 cm Breite. Die einzelnen Elemente wurden mit Manschetten (Manchons) aus naturfarbenem Aluminiumrohr derselben Querschnittsdimensionen stoßdicht verbunden. Die Manschetten sind 40 cm lang und längs einer Mantellinie aufgeschlitzt. Um sie auf die Pegelemente aufsetzen oder wieder abnehmen zu können, wird ein besonderes Werkzeug (Pegelschlüssel) benötigt. Nach dem Zusammenfügen zweier Elemente wurden über den Manschetten mindestens 2, später 4 Stahlbänder (Colliers) fest verschraubt, die ein elastisches Nachgeben oder gar Knicken der Manschetten in starkem oder böigem Wind verhindern sollen.

Zum Aushub des Standloches für einen Pegel diente ein Stangenbohrer mit Spiralspitze und Hohlkopf zur Aufnahme des Bohrgutes. Die Elemente der Bohrstange von je 1 m Länge sind miteinander verschraubar. Dieses Bohrgerät bewährte sich im Firngelände des Inlandeises ausgezeichnet und ermöglichte den Aushub eines Bohrloches von 3 m Tiefe in 8–10 Minuten. Im Ablationsgebiet, wo Blankeisschichten von 3–15 cm Dicke zu durchdringen waren, erwies sich der Spiralbohrkopf jedoch als ungeeignet. Hier führte das Einrammen der Pegelrohre bedeutend schneller zum Ziel.

Im West-Ost-Profil sind die Pegel der geodätischen Lagemessung im allgemeinen aus 5 Elementen, im Nord-Süd-Profil zwischen Terme EGIG und Carrefour aus 4 Elementen, von Carrefour bis T 132 wieder aus 5 Elementen zusammengesetzt. Sie wurden in allen Punkten außer T 11 a 3 m tief in den Firn der Oberfläche eingebohrt, ragten also nach

der Errichtung 7 m bzw. 5 m über die Oberfläche empor. Der Pegel T 11 a, der ursprünglich nur als vorübergehende Markierung eines Zwischenpunktes für den nachfolgenden Weasel der Hauptpiste gedacht war, wurde nur 1 m tief eingebohrt und bestand bei der Errichtung aus 2 Elementen. Er wurde im Sommer 1960 von W. PFROMMER auf 4 Elemente verlängert.

Da die unmittelbare Umgebung der Pegelfußpunkte bei der Errichtung naturgemäß stark gestört wurde, verzichtete die Gruppe Lagemessung auf eine genaue Bestimmung der Schneehöhe über dem Pegelfuß. Sie wurde später von den Gruppen Nivellement und Glaziologie präzis bestimmt und ein Jahr später von W. PFROMMER nachgemessen.

Jedes Pegelement wurde nahe seiner Mitte neben dem schwarzen Ring durch eingeprägte Buchstaben und Zahlen gekennzeichnet und zwar nach folgendem System:

1. Alle Pegel der Lagemessung sind an erster Stelle mit dem Buchstaben T (Trilateration, Tellurometer) markiert.
2. Astronomisch bestimmte Pegel tragen dahinter den Buchstaben A, also TA.
3. Pegel, die auf der Nebenpiste zur Markierung eines astronomisch bestimmten Azimuts errichtet wurden, tragen die Buchstabenfolge TAA.
4. Hinter dem oder den Buchstaben folgt die Nummer des Pegels, also T i oder TA i oder TAA i, z. B. T 17 oder TA 31.
5. Unter der Buchstaben- und Zifferngruppe steht die Nummer des Pegelementes in der Zählung von unten nach oben mit 1-5 bzw. 1-4.

Es bedeuten also zum Beispiel:

T 57
3

3. Element von unten im Pegel des geodätischen Profilpunktes 57.

TA 61
4

4. Element von unten im Pegel des astronomisch bestimmten geodätischen Profilpunktes 61.

Die Pegel der Gruppen Glaziologie, Rheologie und Geophysik tragen zur Unterscheidung statt des Buchstabens T die Buchstaben G (Glaziologie), R (Rheologie) und GP (Geophysik). Ihre Numerierung folgt im übrigen dem oben unter 4. und 5. beschriebenen System.

Die Pegel in den Eckpunkten der Deformationsvierecke sind durchwegs in ca. 500 m Abstand um einen astronomisch bestimmten TA-Pegel der Lagemessung angeordnet. Sie tragen je nach der ungefähren Himmelsrichtung, unter der sie vom Zentralpegel TA i erscheinen, die Kennbuchstaben DW, DN, DE und DS ohne weitere Pegelnummer. Ihre Elemente sind nach Ziffer 5. numeriert.

Die Pegelnummern der Lagemessung sind auf die einzelnen Profilabschnitte folgendermassen verteilt (siehe hierzu auch die Übersichtskarte 1:1000000):

| | |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| TA 0 | Camp VI EGIG |
| T 1...T 4 = T 125 | Camp VI EGIG – Carrefour |
| T 4...T 14 | Carrefour – Milcent |
| TA 15 | Milcent |
| T 16...T 30 | Milcent – Station Centrale |
| TA 31 | Station Centrale |
| T 32...T 43 | Station Centrale – Dépôt 275 (Crête) |
| T 43...T 52 | Dépôt 275 (Crête) – Station Jarl-Joset |
| TA 53 | Station Jarl-Joset |
| T 54...T 60 | Station Jarl-Joset – Dépôt 420 |
| TA 61 | Dépôt 420 |
| T 62...T 71 | Dépôt 420 – Cecilia Nunatak |
| CN, CS | Cecilia Nunatak Nord und Süd |
| TA 100 | Terme EGIG |
| T 101...T 125 = T 4 | Terme EGIG – Carrefour |
| T 126...T 132 | Carrefour – Bifur. |
| T 301 = 8 km westlich von Camp VI EGIG | |
| T 304 = B 34 | |
| T 305 = B 30 | |
| T 306 = Qapiarfít | |
| T 307 = Maniṣsoq. | |

2. Versuchsmessungen.

Zur Erprobung der Instrumente und des vorgesehenen Messungsablaufes wurde am 12. Mai ein kleines Diagonalenviereck westlich von Camp VI EGIG eingemessen. Als Länge der Außenseiten waren 2.5 km in Aussicht genommen. Doch schon bei diesem Versuch, der sich insgesamt über 6 Stunden hinzog, zeigten sich die typischen Schwierigkeiten, mit denen die Gruppe während der ganzen Vierecksmessung im West-Ost-Profil zu kämpfen hatte. In der Ausgangsaufstellung lag zwischen zwei Stationen ein Wellenzug der Eisoberfläche von 2–3 m relativer Höhe. Trotz der kurzen Entfernung zwischen Master und Remote und obwohl die Sprechverbindung zwischen beiden Stationen ohne weiteres herzustellen war, erwies sich die Laufzeitmessung als unmöglich. Nach mehrmaligem Stellungswechsel, der schließlich die beiden Stationen in gegenseitige Sicht auf zwei benachbarte Eiswellen brachte, konnten jedoch alle 6 Seiten des Vierecks gemessen werden. Die Maximaldistanz betrug dabei 4.3 km. Der Schlußfehler des Vierecks ergab sich zu 7 cm. Diese unerwarteter hohe Genauigkeit wurde von der Gruppe mit grosser Befriedigung aufgenommen.

Auf Grund der Erfahrungen des Vortages wurden die Versuchsmessungen am 13. Mai systematisch fortgesetzt. Die erste Messung galt einer langen Seite mit direkter Sicht, nämlich der Profilstrecke TA O (Camp VI EGIG) – T 301 mit einer Distanz von 8.8 km. Sie verlief glatt und sicher. Der zweite Versuch wurde mit verschiedenen Distanzen

bis 10 km von TA O aus in nördlicher Richtung über mehrere Wellenzüge der Eisoberfläche vorgetragen. Bis 1.6 km Entfernung konnte einwandfrei gemessen werden. Danach kam bis 8.0 km keinerlei Verbindung zustande, da sich die nach Norden fahrende Master-Station in einem Wellental befand. Von 8–10 km war Sprechverbindung möglich, jedoch keine Messung, obwohl beide Instrumente auf den Weasel-Dächern aufgestellt wurden.

Die Erfahrungen der beiden Versuchstage lassen sich in folgenden Regeln zusammenfassen, die sich auch bei allen späteren Messungen als gültig erwiesen:

1. Die Tellurometermessung ist nicht in der Lage, Wellenkämme (Crêtes) des Inlandeises zu überspringen, wenn diese Kämme eine direkte Sicht zwischen Master- und Remote-Station verhindern.
2. Die Meßbarkeit einer Strecke nimmt mit sinkender Bodenfreiheit der elektromagnetischen Wellen über der Eisoberfläche ab. Sie hört für Entfernung von 5–6 km bereits bei tangierender Sicht auf.
3. Jede mögliche Tellurometermessung über dem Inlandeis erreicht eine Genauigkeit, die etwa der inneren Meßgenauigkeit des Instrumentes entspricht. Dies gilt auch dann, wenn der Zeitbasiskreis auf dem Leuchtschirm des Braun'schen Rohres schwach oder aufgefaserst erscheint.

3. Polygonzug TA O (Camp VI EGIG) -T4 (Carrefour).

Die Ergebnisse der Versuchsmessungen führten zu dem Entschluß, die Viereckskette nicht – wie ursprünglich vorgesehen – bereits in TA O bei Camp VI EGIG beginnen zu lassen, sondern ihren Anfang nach Carrefour zu verlegen und die Strecke bis dorthin mit einem Polygonzug zu überbrücken. Das Gelände um Camp VI EGIG ist nach allen Seiten hin so stark bewegt, daß der Aufbau einer einigermaßen regelmäßigen Viereckskette unmöglich erschien; an eine Kette von Diagonalen-Quadraten war gar nicht zu denken. Die Wellenzüge verlaufen keineswegs gleichmäßig, etwa annähernd parallel zum Eisrand, sondern streben einander zu und verzweigen sich nach allen Seiten in einem Netzwerk, dem keine regelmäßige Konfiguration angepaßt werden kann.

Um die Genauigkeit der Polygonwinkel der Meßgenauigkeit des Tellurometers anzugleichen, wurde zur Winkelmessung der Wild-Theodolit T 3 verwendet. Außerdem wurde eine Verprobung des Polygonzuges durch seitliche Stützdreiecke vorgesehen. Doch erwies sich selbst diese Maßnahme infolge des unregelmäßigen Oberflächenreliefs als undurchführbar. Zur Verprobung wurden daher lediglich die Polygonseiten jeweils doppelt mit zwei verschiedenen Tellurometerausrüstungen, die Winkel in 5 Sätzen gemessen.

Gleich zu Beginn, am 14. Mai, erwies sich die Wahl des Platzes für den Pegel TA O, die vor den Tellurometerversuchen getroffen worden war, als sehr ungünstig. Die direkte Sicht beträgt dort landeinwärts in Profilrichtung nur ca. 700 m. Der erste Folgepegel T 1 mußte daher in nur 670 m Entfernung vom Ausgangspunkt errichtet werden. Er wurde am Ende der Kampagne direkt mit T 301, dem ersten Pegel nach TA O in westlicher Richtung, verbunden, um die kurze Polygonseite TA O – T 1 ausschalten zu können.

Über zwei weitere Zwischenpunkte erreichte die Polygonmessung den Pegel T 4 in Carrefour am 15. Mai, 21 Uhr.

4. Viereckskette T 4 (Carrefour) - TA 61 (Dépôt 420).

Auf der Strecke von Camp VI EGIG bis Carrefour (Gesamtlänge 26.5 km) hatte die Bewegtheit des Geländes sichtlich abgenommen, sodaß der Aufbau einer Viereckskette weiter landeinwärts nach Osten möglich erschien. Den bisherigen Erfahrungen entsprechend wurde jedoch vorgesehen, die Stationsabstände nicht schematisch konstant zu halten sondern dem Wellenrelief anzupassen, so daß jede Station auf einem Kamm liegen sollte.

Die Grundlinien der Vierecke wurden auf der *Hauptpiste* des Profiles angelegt, die bereits durch die vorausfahrende Transportgruppe Ost markiert worden war; die Decklinien folgten einer *Nebenpiste*, die plangemäß in etwa 10 km Abstand im Norden der Hauptpiste parallel laufen sollte.

Am 17. Mai wurde die Viereckskette aus dem Polygonzug mit Hilfe eines Dreiecks auf der Grundlinie T 4 – T 5 entwickelt. Pegel T 5 wurde auf dem nächsten Wellenkamm im Osten 7.5 km von T 4 errichtet. Es erforderte viel Zeit, bis im Gewirr der Oberflächenwellen eine geeignete Stelle für den Punkt 5' nördlich von T 5 als Anfangspunkt der Nebenpiste gefunden war. Sein Abstand von der Hauptpiste betrug 8.9 km. Zur Kontrolle der Seitenmessung im Dreieck T 4-T 5-5' wurden die beiden Winkel an der Grundlinie T4-T 5 gemessen.

Neue Geländeschwierigkeiten stellten sich am nächsten Tag, dem 18. Mai, beim geplanten Aufbau des ersten vollständigen Vierecks ein, das auf die volle Seitenlänge von ca. 10 km entwickelt werden sollte. Trotz langer Suche ließ sich keine Stelle für den Punkt 6' finden, die eine Messung der Diagonalen v_6 (T 5-6') und der Deckseite t_6 (5'-6') erlaubt hätte. Der Ausfall dieser beiden Seiten erforderte die Messung von Winkeln in T 5 und T 6; praktisch war also anstelle eines Vierecks ein durch Seitendreiecke kontrollierter Polygonzug von T 4 bis T 6 getreten.

Erst am 19. Mai gelang der Aufbau zweier vollständiger Vierecke auf den Grundlinien T 6-T 7 (Viereck 7) und T 7-T 8 (Viereck 8), der Geländeverhältnisse wegen freilich nur unter großen Schwierigkeiten und mit beträchtlichen Zeitverlusten. Im Punkt 8' kam zudem die Nebenpiste notgedrungen wieder bis auf 5.3 km an die Hauptpiste heran. Die Meßgenauigkeit, die in den Viereckswidersprüchen von +40 cm und -49 cm für diese beiden großen Vierecke zum Ausdruck kam, ermutigte jedoch zur Fortsetzung des Verfahrens.

Der Schlechtwettereinfall des nächsten Tages gab der Gruppe Gelegenheit zur eingehenden Diskussion der bisherigen Erfahrungen. Sie führte zu dem Entschluß, die Vierecke noch mehr dem Gelände anzupassen und die Seitenlängen vorläufig auf 5-7 km zu verkleinern. Die mitgeführten und verfügbaren Pegelrohre reichten jedoch keinesfalls zu einer Vermarkung der Hauptpiste in so kurzen Abständen aus. Im weiteren Messungsablauf bis zum Ende der Viereckskette wurden daher immer wieder unvermarkte Zwischenpunkte auf der Hauptpiste mit entsprechend zugeordneten Vierecken eingeschoben. Um die durchgehende Nummernfolge der Pegel aufrechtzuerhalten, wurden diese Zwischenpunkte und – vierecke mit dem Buchstabenzusatz »a« versehen, der jeweils zur Nummer des vorausgehenden Pegels hinzutrat.

Noch am Nachmittag des 20. Mai wurde nach einer Wetterbeserung das Viereck 8 a als erstes derartiges Zwischenviereck besetzt und eingemessen.

Die Oberflächenformen des Inlandeises zwangen demnach – entgegen dem ursprünglichen Plan – zu unregelmäßigen Pegelabständen und zum Aufbau von Vierecken, die mehr oder minder stark von der angestrebten Quadratform abwichen, ohne diese Idealform jemals exakt zu erreichen. Hinzu kamen die Navigationsschwierigkeiten auf der Nebenpiste. Während die Hauptpiste sich im wesentlichen an die bereits mit Fähnchen markierte Route des West-Ost-Profiles halten konnte, mußte die Nebenpiste ihren Parallelkurs selbst bestimmen und absetzen. Hierfür standen nur einfachste Navigationsmittel zur Verfügung, nämlich Sonnenkompaß und Weasel-Entfernungsähler. Der im Fahrzeug befestigte Magnetkompaß war während der Fahrt praktisch unbenutzbar; er zeigte sogar deutlich eine Abhängigkeit von der Drehzahl des Motors. Es ist daher leicht verständlich, daß – besonders an Tagen mit bedecktem Himmel – die Nebenpiste bei der Vorfahrt zu einem neuen Punkt mehr oder minder stark von der Parallelroute zur Hauptpiste nach links oder rechts abkam. Da das tatsächliche Ausmaß solcher Navigationsfehler sich meist erst bei der Tellurometermessung herausstellte, wurde aus Zeitgründen auf die nachträgliche Korrektur, die eine Neumessung des gesamten Vierecks erfordert hätte, verzichtet.

Trotz sorgfältiger Anpassung der Vierecke an die Wellenstruktur des Inlandeises erwiesen sich einzelne Seiten oder Diagonalen gelegentlich als nicht messbar. Die durchgehende Kontrolle der Vierecke durch überzählig gemessene Strecken erlitt damit immer wieder Unterbrechungen. Da die Gruppe durch ihre vielfältigen Versuche und Umstellungen, durch Geländeschwierigkeiten, mechanische Defekte und Schlechtwettertage gegenüber dem Operationsplan erheblich in Verzug geraten war, wurde auch in solchen Fällen auf einen neuerlichen Stellungswechsel verzichtet. Dafür wurden in den streckenmäßig nicht überbestimmten Vierecken Winkelmessungen vorgenommen, die eine durchgreifende Kontrolle der Tellurometermessungen erlaubten. Das Prinzip des Vorrückens nur nach *kontrollierter* Messung wurde damit durchwegs eingehalten.

Die Lücken in der Messung vollständiger Vierecke blieben auf die Diagonalen v und w und in drei Fällen auf die Deckseite t beschränkt, da die Grundseiten s und die Verbindungsstrecken u zur Nebenpiste für die homogene Längen- und Richtungsübertragung im Profil unentbehrlich waren. Eine Zusammenstellung der ausgefallenen Strecken gibt die folgende Tabelle III.

Tabelle III

| Profil-Abschnitt | Vier-eck Nr. | Ausgefallene Vierecksstrecke | | | An-zahl der Vier-ecke | un-voll-stän-dig in % | Aus-fälle in % aller Strecken |
|-------------------------------------|--------------|------------------------------|----|----|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | | v | w | t | | | |
| Carrefour–Milcent | 10 a | ... | × | .. | 14 | 21 % | 6 % |
| | 11 | × | .. | .. | | | |
| | 13 | × | .. | × | | | |
| Milcent–Station Centrale | 16 | × | .. | .. | 21 | 38 % | 8 % |
| | 17 | × | .. | × | | | |
| | 18 | .. | .. | × | | | |
| | 19 | × | .. | .. | | | |
| | 23 | × | .. | .. | | | |
| | 25 | × | .. | .. | | | |
| | 27 | × | .. | .. | | | |
| | 28 a | × | .. | .. | | | |
| Station Centrale–Station Jarl-Joset | 32 | × | .. | .. | 29 | 21 % | 4 % |
| | 34 | × | .. | .. | | | |
| | 36 | × | .. | .. | | | |
| | 39 | × | .. | .. | | | |
| | 41 | .. | × | .. | | | |
| | 44 | × | .. | .. | | | |
| Station Jarl-Joset–Dépôt 420 | 54 a | × | .. | .. | 13 | 8 % | 2 % |
| Summe | .. | 15 | 2 | 3 | 77 | 23 % | 6 % |

Von insgesamt 77 Vierecken blieben demnach 18 oder 23 % unvollständig im Sinne der reinen Streckenmessung. Die Verteilung der Ausfälle auf die einzelnen Teilstrecken des Profiles ist aus den letzten beiden Spalten der Tabelle ersichtlich. Bemerkenswert erscheint dabei der starke Rückgang der Ausfälle im Profil-Abschnitt Station Jarl-Joset – Dépôt 420. Da das Gelände auf dieser Strecke sich nicht wesentlich von dem zwischen Milcent und Station Jarl-Joset unterschied, ist er vor allem auf die inzwischen herangereifte Meßfahrung der Gruppe zurückzuführen. Mit dieser Erfahrung hätten wohl auch die Ausfälle auf den vorausgehenden Abschnitten kleiner gehalten werden können.

5. Abweichung der Vierecke von der Quadratform.

Die Abweichung der einzelnen Vierecke von der Quadratform kann an Hand der auf den Seiten 75–94 aufgeführten Meßwerte beurteilt werden. Es erscheint jedoch zweckmäßig, für jedes Viereck eine Kennziffer für diese Abweichung anzugeben, die in folgender Weise hergeleitet wurde:

Ein Quadrat läßt sich – unter anderem – durch die Bedingung charakterisieren, daß seine 4 Seiten u_{i-1} , s_i , t_i , u_i , die gleiche Länge q_i und seine beiden Diagonalen v_i und w_i die Länge $q_i\sqrt{2}$ besitzen. Im Quadrat gilt demnach streng die Beziehung:

$$q_i = \frac{u_{i-1} + s_i + t_i + u_i + \frac{1}{\sqrt{2}}(v_i + w_i)}{6}.$$

Bildet man diesen Ausdruck für ein beliebiges Viereck, so erhält man eine Größe q_i , die als »mittlere Vierecksstrecke« bezeichnet werden kann. Die Seiten u_{i-1} , s_i , t_i , u_i des Vierecks und seine »reduzierten Diagonalen« $\frac{1}{\sqrt{2}}v_i$ und $\frac{1}{\sqrt{2}}w_i$ weichen gegen q_i um Differenzen Δ_i ab. Das Mittel aus den Absolutbeträgen dieser Differenzen

$$m_i = \frac{\sum |\Delta_i|}{6}$$

kennzeichnet die Abweichung des Vierecks von der Quadratform; es ist jedoch noch von der absoluten Größe des Vierecks abhängig. Einen geeigneten Relativwert erhält man in dem Quotienten p_i von m_i und q_i :

$$p_i = \frac{m_i}{q_i},$$

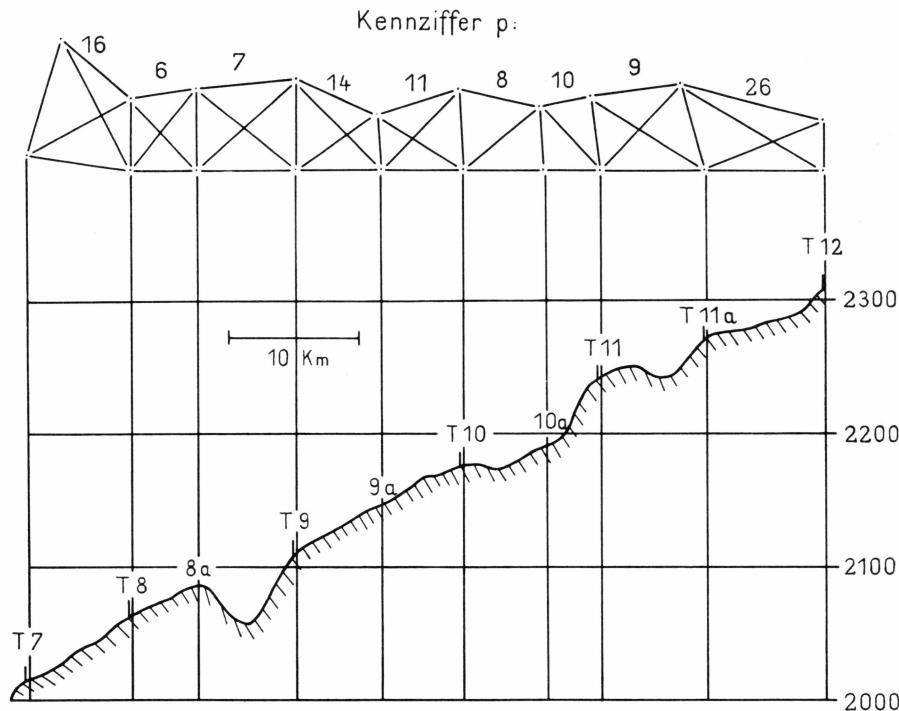


Fig. 8. Ausschnitt aus der Viereckskette Carrefour-Milcent. – Das Höhenprofil ist gegenüber dem Grundriß 100-fach überhöht, um das Wellenrelief der Eisoberfläche erkennbar zu machen.

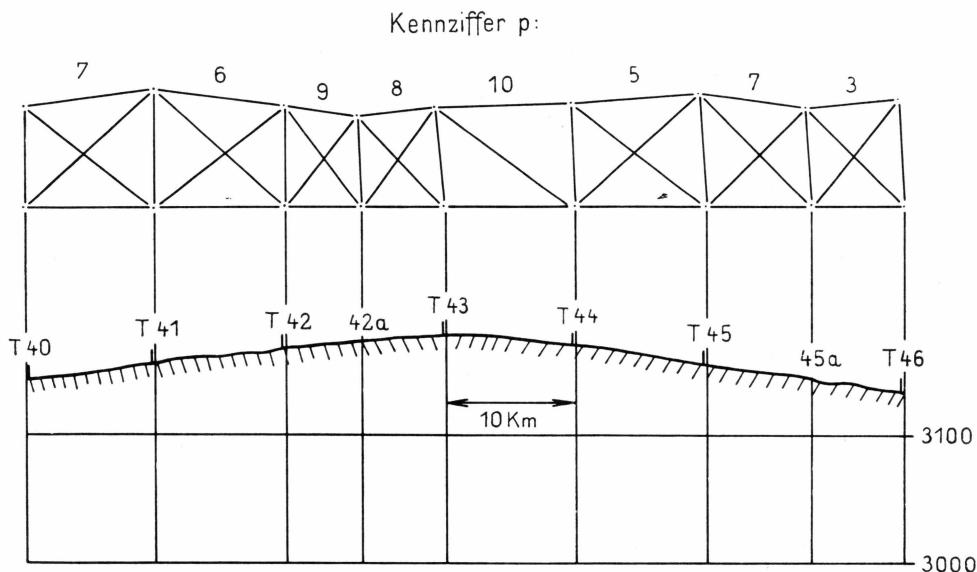


Fig. 9. Ausschnitt aus der Viereckskette zwischen Station Centrale und Station Jarl-Joset in der Umgebung des Scheitels des Inlandeises. – Höhenprofil 100-fach überhöht.

der zweckmäßig in Prozenten angegeben wird. p_i kann Werte zwischen 0 für ein strenges Quadrat und $66\frac{2}{3}$ (Grenzwert) für ein zur Strecke entartetes Viereck annehmen.

Die Kennziffern p_i wurden für alle Vierecke des West-Ost-Profiles berechnet. Sie sind in der Tabelle der Meßwerte auf den Seiten 75–94 in Spalte 12 enthalten. In den Figuren 8 und 9 sind sie den Vierecken der Teilstrecken Carrefour – Milcent und T 40–T 46 beigeschrieben. Die vergleichende Betrachtung der Vierecke lässt ihre Charakterisierung durch die einfach zu ermittelnde Kennziffer p_i als sinnvoll erscheinen.

In der Viereckskette streuen die Werte p_i zwischen 2 (Viereck 59) und 26 (Viereck 12 (vergl. Fig. 8) und Viereck 23). Die Mittelwerte von p_i sind über die einzelnen Teilstrecken der Kette folgendermaßen verteilt:

| Profil-Abschnitt | Anzahl der Vierecke | mittleres p in % |
|------------------------------------|---------------------|--------------------|
| Carrefour–Milcent | 14 | 12.6 |
| Milcent–Station Centrale | 21 | 13.5 |
| Station Centrale–Crête | 13 | 9.9 |
| Crête–Station Jarl-Joset | 16 | 7.6 |
| Station Jarl-Joset–Dépôt 420 | 13 | 8.3 |
| Gesamtkette | 77 | 10.5 |

In der Gesamtkette blieb demnach die durchschnittliche Abweichung der Vierecke von der Quadratform auf ca. 10 % beschränkt. Unterhalb dieses Mittels liegen die prozentualen Abweichungen für 44 Vierecke, darüber die für 33 Vierecke.

Die Abnahme der Abweichungen mit dem Fortschritt der Vierecksmessung von West nach Ost erscheint wiederum bemerkenswert. Sie ist sowohl auf die ausgeglicheneren Oberflächenformen im Innern des Inlandeises wie auf die zunehmende Meßerfahrung der Gruppe zurückzuführen.

Wie weit die Kennziffern p_i für die Wahl des Ausgleichungsverfahrens in der Viereckskette von Bedeutung sind, wird in Kapitel IV, Ziffer 6., S. 71 diskutiert.

6. Ablauf, Zeitbedarf und Fortschritt der Vierecksmessung.

Das Meßschema, wie es im Stadium der Expeditionsvorbereitungen geplant worden war (siehe Kapitel I, Abschnitt 2.), erfuhr auf dem Inlandeis einige grundsätzliche Änderungen:

1.) Um auf den nicht vermarkten Punkten der Nebenpiste eine Zwangszentrierung zu erreichen, rückten die beiden Fahrzeuge dort nicht – wie ursprünglich vorgesehen – gleichzeitig sondern sich gegenseitig überholend vor.

2.) Auf Grund dieser Änderung waren *beide* Fahrzeuge der Nebenpiste mit je einer Master- und Remote-Station des Tellurometers auszurüsten.

3.) Die Messung einer Vierecksseite mit Grobablesungen, 10 Feinablesungen und meteorologischen Beobachtungen nahm nur 10–15 Minuten, später sogar nur 7–10 Minuten in Anspruch. Im Plan war ein Zeitbedarf von 30 Minuten veranschlagt worden.

4.) Entgegen der ursprünglichen Annahme erwiesen sich gleichzeitige Parallelmessungen auf Haupt- und Nebenpiste als möglich; die erwarteten Störungen traten infolge der stark verringerten Reichweite der Tellurometermessung über der Firnoberfläche des Inlandeises nicht ein.

5.) Infolge der außerordentlich hohen Transportlast der Gruppe und wegen der sehr wechselhaften Oberfläche des Inlandeises durften die Fahrzeuge zur Schonung nie voll ausgefahren werden. Statt der angenommenen Geschwindigkeit von 10 km/h wurden daher nur 6–8 km/h erreicht. Der größte Zeitbedarf während der Messung entfiel daher auf die Stellungswechsel von Viereck zu Viereck.

6.) Hingegen konnten die Pegel viel schneller errichtet werden als erwartet: Statt der veranschlagten Zeit von einer Stunde wurden nur 10–15 Minuten benötigt.

Aus dem Zusammenwirken dieser Tatsachen ergab sich ein Messungsablauf, der vom vorgesehenen Schema erheblich abwich, ja, der überhaupt nicht mehr in ein einheitliches Schema zu fassen war, sondern von Viereck zu Viereck neu organisiert und vereinbart werden mußte. Hinzu kam, daß oft ein bereits festgelegter Ablauf durch unvorhersehbare Schwierigkeiten wie Fahrzeugdefekte, Navigationsfehler, Nichtmeßbarkeit einer Seite oder Diagonalen *ex tempore* abgeändert werden mußte.

Zur Verbindung während der Fahrt waren die 4 Weasel der Gruppe mit Sprechfunkgeräten vom Typ BC 1000 ausgerüstet, die regelmäßig in Halbstundenintervallen auf Empfang geschaltet wurden. Sie erwiesen sich jedoch als sehr unzuverlässig und empfindlich; außerdem war ihre Reichweite auf 8–10 km, bei dazwischenliegenden Geländewellen sogar noch stärker beschränkt. Die gegenseitige Verständigung war daher sehr behindert und mußte in vielen Fällen auf den stets zuverlässigen, aber nur zweiseitigen Sprechfunkverkehr mit dem Tellurometer beschränkt bleiben, der naturgemäß nur bei stehendem Fahrzeug nach Aufbau des Gerätes aufgenommen werden konnte.

Mit wachsender Meßerfahrung wurde die Gruppe jedoch von diesen Funkverbindungen weitgehend unabhängig. Die klaren Sichtverhältnisse auf dem Inlandeis liessen meist die Position der Nachbarfahrzeuge auf Entfernungen bis zu 15 km erkennen und aus ihr die richtigen Schlüsse ziehen. Endgültige Vereinbarungen waren dann leicht über den Sprechfunk des Tellurometers zu treffen.

Da in einem neuen Viereck (Nr. i) ein Weasel bereits auf dem rückwärtigen Eckpunkt der Nebenpiste (i-1)' stand und der vorausfahrende Weasel der Hauptpiste zuerst seine neue Position i erreichte, begann die Messung meist mit der Diagonalen w_i . Ihr folgte die Messung der Grundseite s_i , sobald der nachziehende Weasel der Hauptpiste den Punkt (i-1) erreicht hatte. Inzwischen war der überholende Weasel der Nebenpiste in i' angekommen und zur Messung der Deckseite t_i bereit, nach der die Station (i-1)' bereits abbauen und auf der Nebenpiste zur Überholung nachziehen konnte. Die Querverbindung u_i von i nach i' und die Diagonale v_i wurden meist zuletzt gemessen.

In dieser Anordnung bewährte sich die Vierecksmessung vor allem im ausgeglichenen Gelände von Dépôt 275 (T 43) bis Station Jarl-Joset (TA 53) und weiter bis Dépôt 420 (TA 61). In diesem letzten Abschnitt von 105 km Länge, der in nur 3 Tagen durchmessen wurde, hatte sich die Gruppe so gut in die Beurteilung des Geländes und der Nachbarsituation eingefühlt, daß zwischen den einzelnen Streckenmessungen so gut wie kein Funksprechverkehr mehr nötig war.

Die Telluromettermessung selbst lief nach folgendem Schema ab:

1. Meteorologische Beobachtungen der Trockentemperatur t , der Feuchttemperatur t' und des Luftdruckes p in Master- und Remote-Station.
2. Grobablesungen A^+, A^-, B, C, D .
3. Feinablesungen A^+, A^-, A^-R, A^+R mit den Frequenzen 5-14 der Abstimmungsskala.
4. Wiederholung der Grobablesungen A^+, A^-, B, C, D .
5. Wiederholung der meteorologischen Beobachtungen wie unter 1.

Für die meteorologischen Beobachtungen standen jeder Station ein Assmann'sches Aspirationspsychrometer und ein Aneroid-Barometer Wallace & Tiernan mit Millibar-Teilung zur Verfügung. Zusätzlich führte jede Station noch ein Aneroid-Barometer Fueß oder Short & Mason mit, dessen Stand regelmäßig mit abgelesen und auf gesonderten Formularen notiert wurde. Der Gang aller Aneroid-Barometer wurde in Abständen von mehreren Tagen durch Vergleich mit 2 Hypsometern bestimmt.

Die meteorologischen Verhältnisse auf dem Inlandeis erwiesen sich als so stabil, daß während einer Streckenmessung meist keinerlei Änderungen der Temperatur-, Feuchtigkeits- und Luftdruckwerte eintraten.

Auf die Notierung der meteorologischen Beobachtungen am Ende der Telluromettermessung konnte daher im allgemeinen verzichtet werden.

Der Zeitbedarf für eine tellurometrische Streckenmessung nach diesem Schema betrug – je nach den Verhältnissen – 7 – 15 Minuten.

Die gemittelten Laufzeiten wurden am Ende einer Vierecksmessung über Sprechfunk zum vorausfahrenden Weasel der Hauptpiste durchgegeben und dort zur Viereckskontrolle verwendet.

Ein Original – Protokoll der Telluromettermessung ist als Anlage 1 auf Seite 135 reproduziert.

Infolge der sehr unterschiedlichen Gelände- und Meßverhältnisse erscheint die Angabe eines mittleren Zeitbedarfs für eine Vierecksmessung sinnlos. Ein zutreffenderes Bild geben die Tagesfortschritte in Profil-Kilometern, die in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind:

| Teilkette | Datum 1959 | Tage | Vier-ecke | Profil-km | mittl. Tages- fortschritt km |
|---------------------------------------|-------------|------|-----------|-----------|------------------------------------|
| Carrefour–Milcent | 17.5.–31.5. | 16 | 14 | 121.2 | 7.6 |
| Milcent–Station Centrale..... | 3.6.– 9.6. | 7 | 21 | 161.3 | 23.0 |
| Station Centrale–Station Jarl-Joset . | 13.6.–21.6. | 9 | 29 | 263.6 | 29.3 |
| Station Jarl-Joset–Dépôt 420..... | 24.6.–26.6. | 3 | 13 | 104.8 | 34.9 |
| Gesamtkette..... | | 35 | 77 | 650.9 | 18.6 |

In diesen Zahlen sind die Aufenthalte durch Schlechtwetter (5 Tage) und mechanische Defekte (4 Tage) enthalten, zu denen die Gruppe vor allem auf der Teilstrecke Carrefour–Milcent gezwungen war. Berücksichtigt man nur die reinen Meßtage, so steigt der mittlere Tagesfortschritt auf 25.0 km.

Auch rein meßtechnisch absolvierte die Gruppe auf der Strecke Carrefour – Milcent ihre Lehrzeit. Der mittlere Tagesfortschritt zwischen Milcent und Dépôt 420 mit 30 km ist daher ein plausiblerer Wert für die Leistungsfähigkeit der Vierecksmessung auf dem Inlandeis.

Wie schon erwähnt, entfiel der größte Zeitanteil der Messung auf den Stellungswechsel mit den Weaselfahrzeugen. Stehen schnellere Transportmittel, etwa Hubschrauber, zur Verfügung, dann kann eine erhebliche Leistungssteigerung, etwa auf 80–100 km pro Tag, erwartet werden.

7. Randliche Polygonzüge im West-Ost-Profil.

Schon bei der Planung der Lagemessung war der Übergang von der Viereckskette auf den Polygonzug überall dort in Aussicht genommen worden, wo er sich infolge der Geländeverhältnisse oder aus operatio-

nellen Gründen als zweckmäßig oder notwendig erweisen sollte (siehe HOFMANN, 1958, S. 221–222). Diese Notwendigkeit ergab sich auf der Schlußstrecke Dépôt 420 – Cecilia Nunatak sowie beim Anschluß von Camp VI EGIG an den dänischen Küstenpunkt Qapiarfit am Ende der Kampagne.

a) Polygonmessung Cecilia Nunatak N – Dépôt 420 (TA 61):

Die Erkundung der Strecke von Depot 420 bis Cecilia Nunatak am 27. und 28. Juni hatte gezeigt, daß dort eine Viereckskette nur mit großen Schwierigkeiten und Gefahren entwickelt werden konnte. Das Inlandeis fällt etwa 60 km östlich von Dépôt 420 in großen Wellenzügen gegen die Ostküste um Cecilia Nunatak ab, die den Aufbau gleichmäßiger Vierecksmaschen sehr erschweren oder nur mit großem Zeitaufwand nach vielfältigen Probemessungen und Stellungswechseln gestatten würden. Die Scheitelregionen der Eiswellen sind außerdem zumeist mit ausgedehnten Systemen von Großspalten, teils offen, teils verdeckt überzogen, die das Operieren von Einzelfahrzeugen in diesem Gebiet abseits von einer bekannten und gesicherten Piste zu einem gefährlichen Unternehmen machen. Die Gruppe Lagemessung konnte das Risiko eines solchen Unternehmens keinesfalls auf sich nehmen.

Auf dem Rückweg von Cecilia Nunatak nach Dépôt 420 wurde daher vom 2.–7. Juli ein Polygonzug mit 12 Seiten und 155 km Länge eingemessen. Die Polygonpunkte wurden jeweils in gegenseitiger Sicht auf die Wellenscheitel der Eisoberfläche gesetzt, deren wechselnder Abstand zu sehr unterschiedlichen Polygonseiten führte. Die kürzeste Polygonseite (T 70–T 71) mißt 5.7 km, die längste (T 71 – Cecilia Nunatak N) 29.7 km; das Mittel liegt bei 12.9 km.

Die Polygonseiten wurden mit 2 verschiedenen Tellurometerausrüstungen jeweils doppelt eingemessen. Die Messung war so organisiert, daß immer 3 Folgestationen gleichzeitig besetzt waren. Dies erwies sich als große Erleichterung für die Winkelmessung auf der mittleren Station. Die Zielpunkte konnte mit Hilfe der danebenstehenden Fahrzeuge leicht und schnell aufgefunden, ihre Einstellbarkeit im Fernrohr notfalls durch Funkanweisungen an die Zielstation verbessert werden.

Die Winkelmessung erfolgte mit Theodoliten Wild T 3 jeweils in 4 Sätzen. Wie erwartet, ergaben sich bei der Zieleinstellung häufig Schwierigkeiten wegen schlechter Sicht, starken Flimmerns oder ungewöhnlicher Refraktionserscheinungen längs des Zielstrahls. Die Messung mußte oft für Stunden unterbrochen werden, bis die meteorologische Situation über der Oberfläche sich besserte. Am günstigsten waren die Meßverhältnisse bei leicht bedecktem Himmel und mittlerem Wind (2–5 m/sec), der die bodennahen Luftsichten durchmischt und Inversionen abbaute.

b) Polygonmessung Camp VI EIG (T 301) – Qapiarfit (T 306).

Die Helikopter-Erkundung am 5. Mai vom Lager VI EIG zur Westküste hatte ergeben, daß für den Küstenanschluß bis Qapiarfit prinzipiell eine Kette von 4–5 großen Vierecken entwickelt werden könnte. Ein entsprechender Plan, der selbverständlich auf ausgedehnter Unterstützung durch 2 Helikopter im Spaltengebiet des westlichen Eisrandes basierte, wurde ausgearbeitet.

Die Wetterverhältnisse und die operationelle Situation am Ende der Sommerkampagne zwangen jedoch zur Aufgabe dieses Planes. Die Möglichkeit der schnellen Rückführung von Personal und Material mit dem deutschen Forschungsschiff »Gauß« aus Camp I hatte die Gruppe Lagemessung in Camp VI EIG bereits am 15. August auf 3 Geodäten (GFELLER, HOFMANN, NOTTARP) und 2 Techniker (CHAUCHON, DESPÉRIÈS) verringert. Vom 14. bis 18. August herrschte über dem westlichen Randgebiet des Inlandeises sehr stürmisches und wechselhaftes Wetter, das Helikopter-Operationen nur stundenweise erlaubte. Die beiden Helikopter, mit denen seit dem 11. August ständig Personal und Material zur Küste ausgeflogen wurden, hatten zudem nur noch wenige Flugstunden zur Unterstützung der Meßarbeiten zur Verfügung.

Es wurde daher beschlossen, von Pegel T 301 einen Polygonzug zur Küste zu führen. Die erste Anschlußseite T 301–T 302 (5.6 km) konnte am Nachmittag des 12. August eingemessen werden. Das Wetter ließ jedoch eine sofortige Fortsetzung nicht zu.

Als sich endlich am 19. August die meteorologische Situation über dem westlichen Eisrand beruhigte, wurde sofort die Messung des Polygonzuges von T 302 nach Qapiarfit in Angriff genommen. Sie konnte sich nach einem weiteren Zwischenpunkt T 303 auf günstige Punkte der Gruppe Küstenglaziologie (B 34 = T 304 und B 30 = T 305) stützen, die damit in das geodätische West-Ost-Profil eingebunden sind. Am 20. August wurde die geodätische Arbeit im West-Ost-Profil durch Messung der Polygonseite B 30 = T 305 – Qapiarfit = T 306 (37.1 km), durch den Azimutanschluß von Qapiarfit nach dem dänischen Triangulationspunkt Kugssuk und durch Messung der Westbasis Qapiarfit – Maniitsoq abgeschlossen.

Auf eine Messung im Punkte Kugssuk selbst, die einen längeren Flug auf die Arve-Prinsens Ø über See erfordert hätte, mußte aus operationellen Gründen verzichtet werden. Dieser Punkt wurde nur aus Qapiarfit und Maniitsoq mit dem Theodolit angeschnitten, (siehe Kapitel VI, Abschnitt 3.).

Der Polygonzug Camp VI EIG – Qapiarfit besteht somit aus 6 einfach gemessenen Seiten zwischen 5.6 km und 37.1 km Länge (Ge-

samtliche 92.1 km; mittlere Seitenlänge 15.4 km). Die Winkelmesung erfolgte jeweils in 4 Sätzen mit Theodoliten Wild T 2 und Kern DKM 2.

8. Vergleichsbasen Qapiarfît - Manîtsoq und Cecilia Nunatak N - S.

An den Endpunkten des West-Ost-Profiles in Qapiarfît und Cecilia Nunatak wurden 2 Vergleichsbasen errichtet und in festem Fels vermarktet. Sie sollen zum Maßstabsvergleich der Entfernungsmeßgeräte bei einer zukünftigen Wiederholungsmessung dienen.

Die Basis-Endpunkte sind durch gußeiserne Bolzen vermarktet (Scheitelpunkt der halbkugelförmigen Bolzenköpfe) und durch gußeiserne Platten vom Format 12×12 cm mit der Aufschrift »Messungspunkt« und mit aufgeschraubten, beschrifteten Aluminium-Schildern bezeichnet. Bolzen und Platten wurden mit flüssigem Schwefel in Spalten oder Vertiefungen des anstehenden Felsen festgegossen.

Lage und Bezeichnung der Basis-Endpunkte:

a) Basis West: Qapiarfît – Manîtsoq.

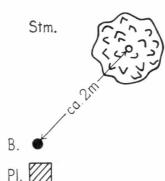


Fig. 10. Basisendpunkt
Manitsoq.

Südlicher Endpunkt: Manîtsoq.

Signal: Steinmann aus losen Steinen von ca. 1 m Höhe nahe östlich vom höchsten Punkt des Felsrückens.

Markierung: Bolzen, ca. 2 m südlich von Steinmann in Felsspalt eingegossen. – Platte, südlich des Bolzens mit Aufschrift »Messungspunkt 1 EGIG 1959«. (Siehe Bild II).

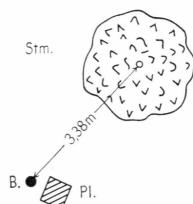


Fig. 11. Basisendpunkt
Qapiarfît.

Nördlicher Endpunkt: Qapiarfît.

Signal: Steinmann aus losen Steinen von ca. 3.50 m Höhe auf höchstem Punkt des Felsrückens.

Markierung: Bolzen, 3.38 m südsüdwestlich vom Steinmann-Zentrum in Felsspalt eingegossen. – Platte, östlich des Bolzens mit Aufschrift »Messungspunkt 2 EGIG 1959«.

b) Basis Ost: Cecilia Nunatak Nord – Süd.

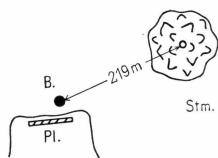


Fig. 12. Basisendpunkt Cecilia Nunatak Nord.

Nördlicher Endpunkt: Cecilia Nunatak Nord (CN).

Signal: Steinmann aus losen Steinen von ca. 1.50 m Höhe mit 6 m hohem Aluminium-Rohr auf höchstem Punkt des Nordgipfels.

Markierung: Bolzen, 2.19 m südwestlich vom Steinmann-Zentrum in Felsplatte eingebohrt und festgegossen. – Platte, südlich des Bolzens an der Wand der Felsnische um den Gravimeterpunkt Cecilia Nunatak festgegossen; Aufschrift »Messungspunkt 4 EIG 1959«.

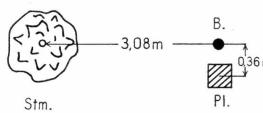


Fig. 13. Basisendpunkt Cecilia Nunatak Süd.

Südlicher Endpunkt: Cecilia Nunatak Süd (CS).

Signal: Steinmann aus losen Steinen von ca. 1.50 m Höhe mit 6 m hohem Aluminium-Rohr dicht östlich des höchsten Punktes des Nunatak. (Siehe Bild III).

Markierung: Bolzen, 3.08 m östlich vom Steinmann-Zentrum in Felsspalt eingegossen. – Platte, 0.36 m südlich des Bolzens mit Aufschrift »Messungspunkt 5 EIG 1959«. (Siehe Bild IV).

Die Basis West wurde am 20. August zweimal mit der Tellurometer-Ausrüstung Master Nr. 87 und Remote Nr. 141 gemessen. Die beiden Messungen differierten um 10 cm. Der Mittelwert für die schräge Entfernung im Messungsniveau zwischen den beiden Bolzen beträgt:

$$b_w = 23\ 895.40\ \text{m} \pm 0.05\ \text{m}.$$

Das Azimut von Qapiarfit nach Maniitsoq beträgt: 190.71°.

Bei der Messung der Basis Ost am 29. Juni zeigte das Laufzeit-Frequenz-Diagramm ausgesprochenen „Wasser-Swing“, verursacht durch die starke Schmelzwasseranreicherung der Firnoberfläche zwischen CN und CS. Die Messung wurde am 30. Juni mit allen drei Master-Geräten der Gruppe wiederholt, wobei das Laufzeit-Frequenz-Diagramm nach Phase und Amplitude annähernd gleichblieb. Die Reduktion der Laufzeiten lieferte folgende Werte für die schräge Entfernung zwischen den Bolzen CN und CS:

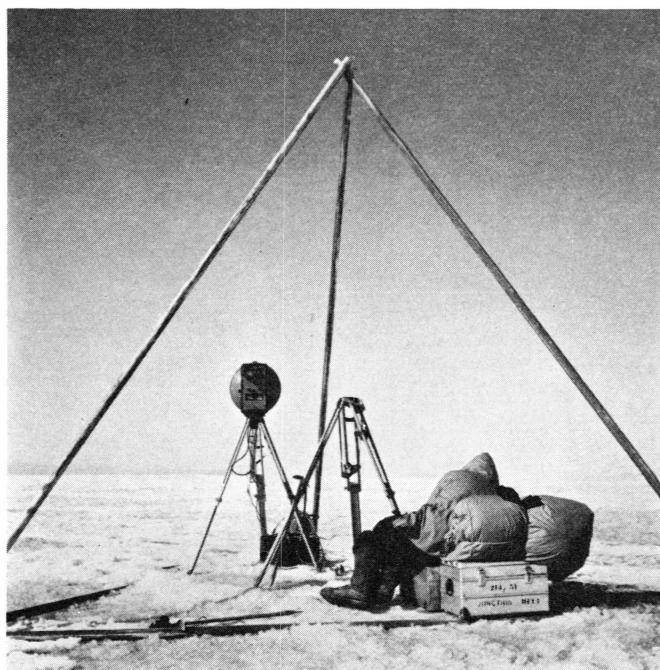


Bild I. Meßstation T 305 = B 30 gegen Qapiarfit.

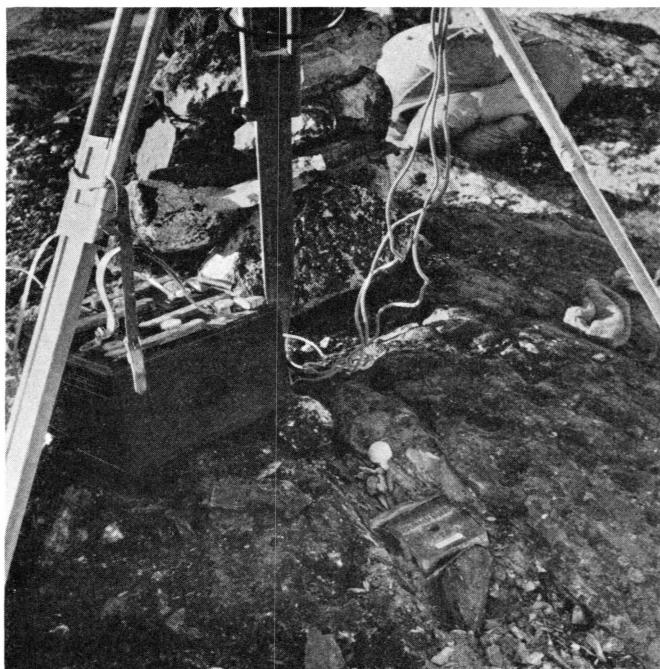


Bild II. Basisendpunkt Manîsoq; Steinmann (hinter Stativ), Bolzen und Platte.

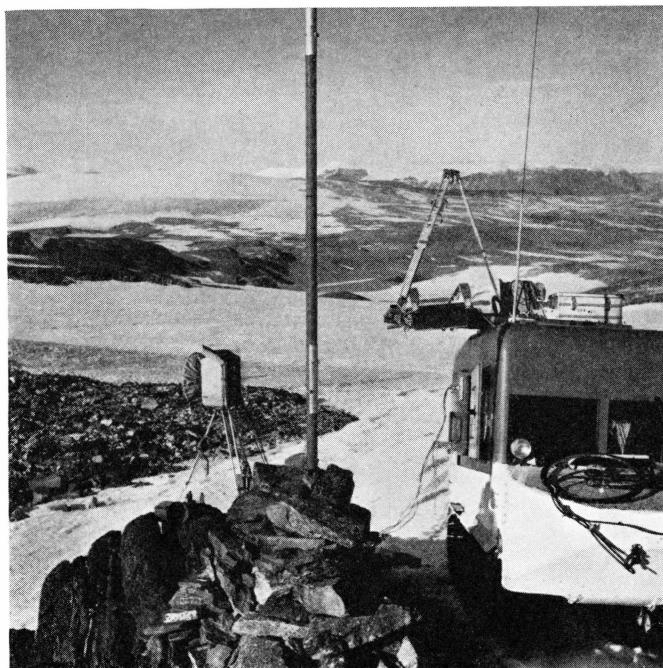


Bild III. Basisendpunkt Cecilia Nunatak Süd; Steinmann mit Pegelrohr, Tellurometer in Meßstellung gegen Cecilia Nunatak Nord über Bolzen.



Bild IV. Basisendpunkt Cecilia Nunatak Süd; Bolzen und Platte.

29. Juni, Master Nr. 87: 5 856.09 m
 30. Juni, » 87: 5 855.96 m
 30. Juni, » 142: 5 855.86 m
 30. Juni, » 167: 5 855.91 m

Hieraus ergibt sich der Mittelwert

$$b_0 = 5 855.96 \text{ m} \pm 0.05 \text{ m.}$$

Das Azimut von Cecilia Nunatak Nord nach Süd beträgt: 207.50 $^{\circ}$.

9. Der Polygonzug im Nord-Süd-Profil.

Für das Nord-Süd-Profil war schon im Stadium der Planung ein Polygonzug zur Lagebestimmung der Pegel vorgesehen; die Spaltengefahr in der randnahen Zone verbot ein Operieren längs getrennter Pisten mit Einzelfahrzeugen. Da das Nivellement keinesfalls auf das Nord-Süd-Profil erstreckt werden konnte, sollten die Höhenunterschiede – wenn möglich – trigonometrisch bestimmt werden.

Zur Messung des Polygonzuges hätte sich dieselbe Methode geeignet, die schon auf der Strecke Camp VI EIGIG – Carrefour und im östlichen Randgebiet des Inlandeises zwischen Cecilia Nunatak und Dépôt 420 Erfolg angewandt worden war, nämlich:

1. Besetzung von je 3 Folgestationen mit Fahrzeugen und Instrumenten.
2. Unabhängige Doppelmessung jeder Strecke mit 2 verschiedenen Tellurometer-Ausrüstungen.
3. Messung der Brechungswinkel in der jeweiligen Mittelstation mit Präzisionstheodoliten in 4 oder 5 Sätzen.

Die Gruppe kam jedoch mit erheblicher Verspätung gegenüber dem Zeitplan aus dem West-Ost-Profil nach Carrefour zurück und mußte von dort sofort nach Terme EIGIG weiterfahren, um in Zusammenarbeit mit der dänischen Gruppe Küstengeodäsie die Paßpunktbestimmung zur photogrammetrischen Aufnahme des Kangerdlugssuaq-Gletschers durchzuführen. Ein defektes Weasel-Fahrzeug und ein Schlitten wurden in Carrefour zurückgelassen, sodaß die Gruppe im Nord-Süd-Profil nur noch über 3 Fahrzeuge, 2 Wohnwagen und 1 Schlitten verfügte.

Als sich die Arbeiten in Terme EIGIG wegen anhaltenden Schlechtwetters bedenklich verzögerten, wurde eine Aufteilung der Gruppe in 2 Halbgruppen beschlossen:

Gruppe I (COMMIOT, HOFMANN, NOTTARP, – CHAUCHON) blieb mit einem Weasel und einem Wohnwagen in Terme EIG zurück, um die Paßpunktbestimmung zu Ende zu führen.

Gruppe II (GFELLER, MELCHERS, – CAMARET, DESPÉRIÈS, WIEGANT) brach mit 2 Weaseln, 1 Wohnwagen und 1 Schlitten am 28. Juli auf, um im Nord-Süd-Profil ein Pegelpolygon zu errichten und mit einem Minimalprogramm einzumessen.

Mit nur zwei verfügbaren Fahrzeugen konnte die oben umrissene Meßmethode mit Streckenkontrolle leider nicht angewandt werden. Die Polygonseite zwischen je zwei besetzten Stationen wurde daher mit dem Tellurometer nur einfach gemessen. Dem vorausfahrenden Weasel (MELCHERS) oblag die Pegelsetzung, dem Folgefahrzeug (GFELLER) die Winkelmessung. Wie zu erwarten war, hatte vor allem die Winkelmesung mit großen Schwierigkeiten beim Auffinden des zurückliegenden, nicht mehr besetzten Pegels zu kämpfen, obwohl dieser grundsätzlich durch ein ca. 50×60 cm grosses Kistenbrett in 4 m Höhe zentrisch signalisiert wurde. Die Eintragungen von P. GFELLER in den Meßprotokollen – wie zum Beispiel: »Sonnig, starkes Luftzittern, Ziel T 110 kaum zu sehen« auf T 109, »Von 12.00–17.30 Uhr Balise T 114 wegen Schneefegen trotz klarem Himmel und Sonnenschein nicht meßbar« auf T 115 oder »Sichten wechselnd verdeckt, mühsame Messung« auf T 116 – bestätigen diese Schwierigkeiten, die oft zu stundenlangem Warten auf bessere Sichtverhältnisse zwangen.

Da die atmosphärischen Verhältnisse über der Oberfläche des Inlandeises ungewöhnlich starke Refraktionseinflüsse befürchten lassen mußten, wurde auf die Messung von Vertikalwinkeln überhaupt verzichtet. Die Höhenbestimmung stützte sich ausschließlich auf die mit der Tellurometermessung verknüpften barometrischen Messungen mit Präzisions-Aneroiden.

Unter diesen Bedingungen schritt die Polygonmessung im Nord-Süd-Profil sehr schnell fort. Aufgehalten durch 3 Schlechtwettertage, erreichte die Gruppe bereits am 6. August wieder das West-Ost-Profil im Punkt Carrefour (T 4 = T 125). Auf der insgesamt 222.3 km langen Strecke hatte sie 24 Pegel errichtet und 25 Polygonseiten eingemessen. Die Entfernungen zwischen den Pegeln mußten sorgfältig der Oberflächenstruktur des Eises angepaßt werden. Die Pegelpunkte wurden auf den Scheiteln der flachen Eiswellen so ausgesucht, daß vom Boden aus der rückwärtige Punkt mit dem Fernglas noch vollständig gesehen werden konnte. Dabei wurde so nahe wie möglich an den beginnenden Abfall vom Wellenscheitel gegangen, weil der Folgetrupp sowohl die Winkelmessung als auch die Tellurometermessung vom leicht zu zentrierenden Bodenstativ aus vornahm und die Bahn der Messwellen so

schnell wie möglich einen grösseren Bodenabstand gewinnen sollte. Das vordere Tellurometergerät (Master Station) stand hingegen bei der Messung nach rückwärts immer auf dem Weaseldach. Der kürzeste Pegelabstand beträgt 3.8 km, der längste 17.2 km. Die Mehrzahl der Strecken liegt jedoch nahe beim Mittelwert aller Polygonseiten von 8.9 km (durchschnittliche Streuung ± 2.0 km).

Der Tagesfortschritt der Polygonmessung betrug in der Gesamtzeit 22.2 km, bei Abzug der Schlechtwettertage 31.8 km.

Nach einem Zwischenauftenthalt in Camp VI EIGIG zur Aufnahme neuer Pegel setzte die Halbgruppe II die Polygonmessung am 9. August von Carrefour aus nach Süden fort. Häufige Fahrzeugdefekte ließen sie nur langsam vorwärtskommen. Am 12. August zwang der schlechte Zustand der Fahrzeuge und die vorzeitige Rückführung aller Inlandeisgruppen aus Camp VI EIGIG nach Camp I zum Abbruch der Messungen und zur Umkehr. Die Gruppe hatte zu diesem Zeitpunkt mit T 132 einen Punkt 58.0 km südlich von Carrefour und ca. 40 km nördlich von Punkt Süd, dem geplanten Endpunkt des Nord-Süd-Profiles, erreicht.

Auf dem Rückweg nach Camp VI EIGIG wiederholte die Gruppe am 13. August die Polygonmessung zwischen Carrefour (T 4) und T 1 im West-Ost-Profil (siehe Kapitel V, Ziffer 6.).

IV. REDUKTION, KONTROLLE UND AUSGLEICHUNG DER TELLUROMETERMESSUNGEN

1. Meteorologische Reduktion.

Das arithmetische Mittel der 10 Feinablesungen, das sogleich im Anschluß an jede Messung gebildet wurde, lieferte die doppelte Laufzeit L der elektromagnetischen Wellen in der gemessenen Seite. Zur Umwandlung in die gesuchte Distanz s' zwischen den beiden Meßstationen war mit L der halben Ausbreitungsgeschwindigkeit $\frac{v}{2}$ der Wellen zu multiplizieren:

$$s' = L \cdot \frac{v}{2}. \quad (1)$$

v ergibt sich aus der Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum durch Division mit dem Brechungsindex n , der eine Funktion des meteorologischen Zustandes der Atmosphäre längs der Wellenbahn ist:

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{c}{n} \\ c &= 299\,792\,500 \text{ m/sec.} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Der Brechungsindex n ist stets, aber in Luft nur wenig größer als 1. Er kann aus den Formeln

$$(n - 1) \cdot 10^6 = \frac{77.60 \cdot (p + E)}{273.0 + t} \quad (3)$$

$$E = \frac{4744.4 \cdot e}{273.0 + t} \quad (4)$$

berechnet werden, in denen

p = Luftdruck in Millibar (mb)

t = Trockentemperatur der Luft in $^{\circ}\text{C}$

e = Dampfdruck in mb

bedeuten. Der Dampfdruck e wird mit Hilfe von Psychrometertafeln aus den Eingangswerten t' (Feuchttemperatur der Luft in $^{\circ}\text{C}$), $t - t'$ und p bestimmt.

Werden zahlreiche Messungen in einem Gebiet ausgeführt, dessen meteorologische Verhältnisse einheitlich geartet sind, dann ist es zweckmäßig, den Brechungsindex n in einen konstanten Grundanteil n_0 , der einer hypothetischen »Normalatmosphäre« im Meßgebiet entspricht, und eine variable Verbesserung Δn zu zerlegen:

$$n = n_0 - \Delta n, \quad (5)$$

und

$$v_0 = \frac{c}{n_0} \quad (6)$$

zu setzen. Mit dieser Grundgeschwindigkeit v_0 ergibt sich nach (1) eine Grunddistanz s'_0

$$s'_0 = L \cdot \frac{v_0}{2}. \quad (7)$$

Sie muß wegen der tatsächlichen atmosphärischen Verhältnisse auf den richtigen Wert

$$\left. \begin{aligned} s' &= L \cdot \frac{v_0}{2} \cdot \left(1 + \frac{n_0 - n}{n} \right) \\ &= L \cdot \frac{v_0}{2} \cdot \left(1 + \frac{\Delta n}{n} \right) \\ &= s'_0 + s'_0 \frac{\Delta n}{n} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

verbessert werden. Der Korrektionsfaktor $\frac{\Delta n}{n} = \frac{n_0 - n}{n}$ lässt sich dabei durch einfache Rechnungen und Nomogramme gewinnen.

Für die Telluromettermessung in Grönland wurde eine »Normalatmosphäre« mit

$$p_0 = 665 \text{ mm Hg} = 886.7 \text{ mb}$$

$$t_0 = -10^\circ \text{C}$$

$$E = e = 0$$

angenommen. Der zugehörige Wert von n_0 ist nach Formel (3)

$$n_0 = 1.000\,2616.$$

Die halbe Grundgeschwindigkeit $v_0/2$ ergibt sich damit nach (6) zu

$$\frac{v_0}{2} = 149\,857\,047 \text{ m sec}^{-1}.$$

Zur Ermittlung des Korrektionsfaktors $\frac{\Delta n}{n}$ war vom Institut für Angewandte Geodäsie (IfAG), Frankfurt am Main, die Formel

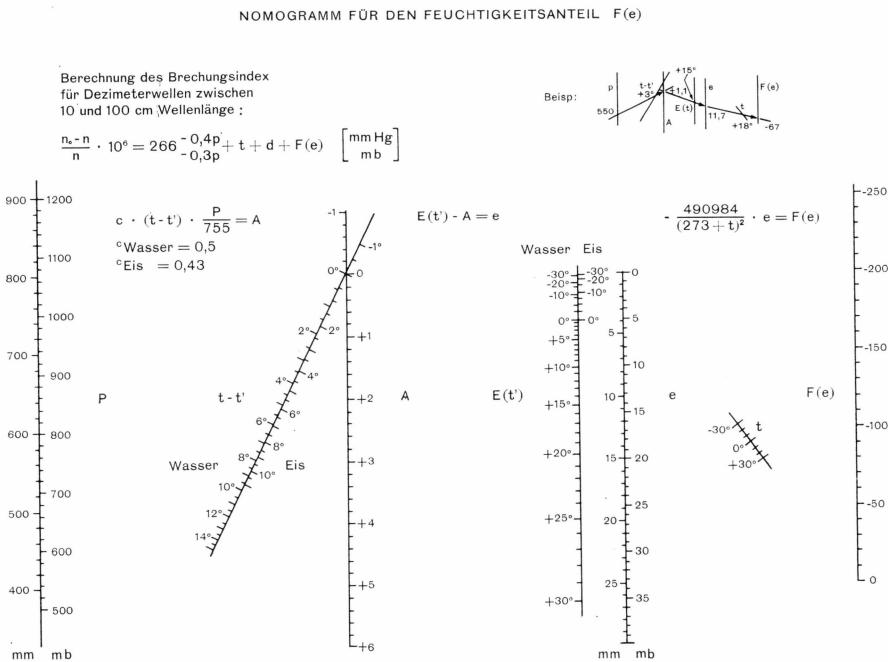


Fig. 14. Nomogrammtafeln zur meteorologischen Reduktion, Seite 1.

$$\frac{n_0 - n}{n} \cdot 10^6 = 266 - 0.3 p + t + d + F(e) \quad (9)$$

entwickelt worden, in der

$$d = d(p, t)$$

und

$$F(e) = F(e, t)$$

Funktionen der meteorologischen Elemente p , e und t sind. Für diese Funktionen waren am IfAG Nomogramme berechnet und konstruiert worden, aus denen die Funktionswerte mit einer Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-6}$ Einheiten abgegriffen werden konnten. Die Nomogramm-Tafeln, deren Originalformat 297×210 mm (DIN A 4) beträgt, sind nebenstehend in Verkleinerung (Fig. 14 u. 15) wiedergegeben. Sie waren für den Gebrauch in Grönland als Negativabzüge im Photokopierverfahren hergestellt, auf Karton aufgezogen und durch Überziehen mit Mipofolie wasserfest gemacht worden. Die so erhaltene weisse Schrift auf schwarzem Grund bewährte sich im grellen Licht des Inlandeises außerordentlich gut.

Mit diesen Hilfsmitteln konnten die gemessenen Laufzeiten bereits auf dem Inlandeis während der Ruhetage oder bei sonstigen Aufenthalten in gut genäherte Schrägentfernungen umgerechnet werden, an

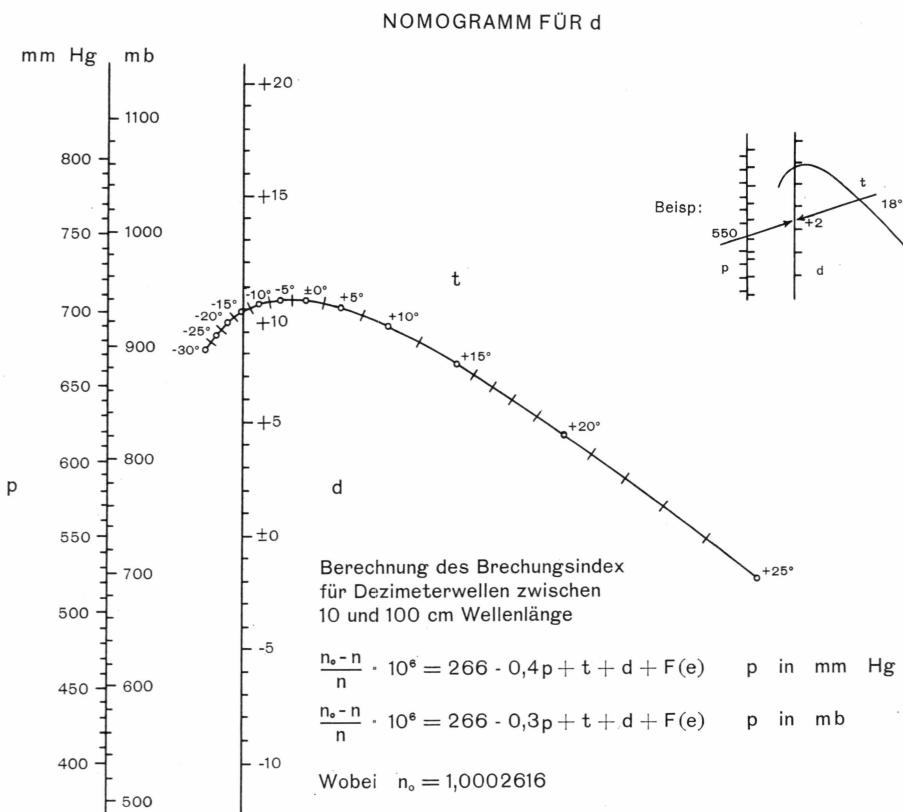


Fig. 15. Nomogrammtafeln zur meteorologischen Reduktion, Seite 2.

denen später nur noch eine durch die Frequenzänderungen der A-Kristalle bedingte Maßstabskorrektur anzubringen war (siehe Ziffer 3).

Die aus den meteorologischen Beobachtungen errechneten Brechungsindizes n sind in der Tabelle auf Seite 75–94 in Spalte 5 aufgeführt.

2. Kontrolle der Tellurometermessungen in der Viereckskette.

An jede Vierecksmessung schloß sich sogleich eine Verprobung der Beobachtungen mit Hilfe überzähliger Vierecksstücke an. Bei den ersten Vierecken wurde ein Stellungswechsel erst dann vorgenommen, wenn die Verprobung der Messungen keinen groben Beobachtungsfehler auswies, der dann sofort durch Wiederholung der Messung hätte beseitigt werden können. Bald stellte sich jedoch heraus, daß grobe Widersprüche immer auf falsche Reduktionen der Grobablesungen B, C und

D bei der Ermittlung der Laufzeit zurückzuführen waren, während die zehnfach durchgeführten Feinablesungen stets im Rahmen der Ablesegenauigkeit zusammenstimmten. Von da an wurde die Kontrolle der Messungen in die Fahrzeit von einem Viereck zum nächsten verlegt, wodurch der Messungsablauf insgesamt beträchtlich beschleunigt wurde. Eventuelle Reduktionsfehler der Grobablesungen konnten leicht nur an Hand der Meßprotokolle, also ohne Wiederholungsmessung gefunden und beseitigt werden.

a) Kontrolle vollständiger Vierecke.

Lag ein im Sinn der reinen Streckenmessung »vollständiges« Viereck mit 4 Außenseiten und beiden Diagonalen vor, so wurde eine von H. LICHTE angegebene und bei HOFMANN, 1958, ausführlich beschriebene Verprobung angewandt, bei der eine überzählige Vierecksstrecke aus 5 übrigen berechnet und das Resultat mit dem gemessenen Wert verglichen wird. Als Kontrollseite wurde die Deckseite t der Nebenpiste gewählt, deren Länge (t) sich aus den Stücken s , u_1 , u_2 , v und w nach folgenden Formeln berechnen lässt (siehe Figur 16):

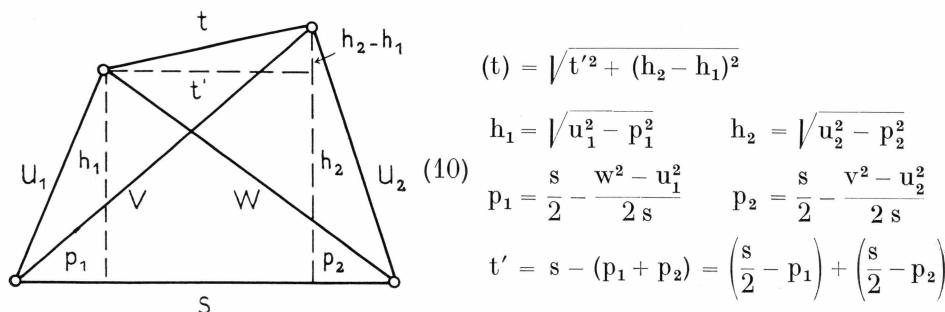


Fig. 16. Diagonalen-Viereck.

Der Vergleich des gerechneten Wertes (t) mit der gemessenen Strecke t ergab den Widerspruch W :

$$W = (t) - t,$$

der bei korrekter Messung die Größenordnung von wenigen dm nicht überschreiten durfte.

Das Formelsystem (10) gilt streng nur für ein ebenes Viereck. Da jedoch die Eckpunkte der Kettenvierecke auf dem Inlandeis höchstens einige Meter von einer mittleren, ausgleichenden Ebene abstanden, wurde zur Verprobung auf die langwierige Höhenreduktion der gemessenen Seiten verzichtet. Als Eingangswerte für die Formeln (10) wären dann prinzipiell die Laufzeiten L selbst geeignet gewesen. Um jedoch

mit handlicheren Zahlen rechnen zu können und die Ergebnisse sofort in der Längendimension zu erhalten, wurden zuerst die Grunddistanzen s'_0

$$\text{mit } s'_0 = L \cdot \frac{v_0}{2} \quad (7)$$

$$\frac{v_0}{2} = 149\,857\,047 \text{ m sec}^{-1}$$

berechnet und für die Verprobung benutzt.

Das Formelsystem (10) wurde für den Gebrauch auf dem Inlandeis in ein übersichtliches Schema auf vorgedruckten Formularen gebracht, das auch eine Vereinfachung der Rechnung für den Fall, daß die Größen p_1 , p_2 und $(h_2 - h_1)$ in den Wurzelaggregaten klein waren, vorsah. (Siehe Anlage 2, Seite 136).

Die Verprobung eines Vierecks auf diese Weise nahm mit einiger Übung 5–7 Minuten in Anspruch. Sie wurde durchwegs mit der Handrechenmaschine CURTA, Type II ($11 \times 8 \times 15$ – stellig) durchgeführt, von der dank dem Entgegenkommen der Firma Contina / Liechtenstein der Gruppe 4 Stück zur Verfügung standen. Nicht nur hier sondern bei allen grösseren Rechnungen auf dem Inlandeis bewährte sich diese Maschine hervorragend. Trotz rauher Behandlung und harter klimatischer Bedingungen blieb sie stets voll funktionsfähig und erlaubte auch Rechenarbeiten im beengten Raum der Weaselfahrzeuge auf holpriger Piste.

b) Winkelkontrollen.

Waren bei Ausfall einer Seite in einem Viereck ein oder mehrere Kontrollwinkel gemessen worden, so wurden diese aus den gemessenen Seiten nach den Halbwinkelformeln (siehe Kapitel V, Ziffer 1.) berechnet und die Resultate mit den Beobachtungen verglichen. Die Differenzen mußten im Bereich von ± 0 – 30° liegen. Als Ausgangswerte dienten dabei wiederum die Grunddistanzen s'_0 .

Die Auflösung eines Dreiecks – mit der Handrechenmaschine oder logarithmisch – dauerte 8–10 Minuten.

3. Frequenz-Korrektur der Tellurometermessungen.

Die Frequenz der A-Kristalle in den Master-Geräten, aus der sich die Feinablesungen am Tellurometer ergeben, wurde durch K. NOTTARP während der Sommerkampagne 1959 laufend mit einem Eichgerät T 4 überprüft (siehe Kapitel II, Abschnitt 4.). Die Frequenzvergleiche lieferten zunächst jedoch nur Relativ-Differenzen gegenüber dem Eichgerät. Erst der Absolutvergleich am Fernmeldetechnischen Zentralamt der Deutschen Bundespost in Darmstadt am 19. November

1959 ergab die endgültigen Frequenzänderungen der A-Kristalle gegenüber dem Sollwert im Meßzeitraum. Das Ergebnis wurde von K. NOTTARP in einem Diagramm niedergelegt, aus dem die Frequenz- bzw. Maßstabskorrekturen aller verwendeten Master-Geräte für einen bestimmten Zeitpunkt bei linearer Interpolation zwischen den einzelnen Frequenzvergleichen mit einer Genauigkeit von $0.5 \cdot 10^{-6}$ Einheiten der A-Frequenz bzw. 0.5 mm pro km abgelesen werden können.

Dieses Diagramm diente bei der Auswertung zur Reduktion der Telluromettermessungen auf endgültige Schrägentfernungen. Die sich dabei ergebenden Streckenkorrekturen k_f sind in der Tabelle auf Seite 75–94 in Spalte 7 aufgeführt.

4. Exzentrische Aufstellungen.

Die Gruppe Lagemessung war bestrebt, exzentrische Aufstellungen bei der Strecken- und Winkelmessung so weit wie möglich zu vermeiden. Auf den Nebenpiste der Viereckskette, deren Punkte nicht vermarkt wurden, und bei der vorausfahrenden Station der Hauptpiste konnte dieses Prinzip durchwegs eingehalten werden. Hingegen traten bei der Folgestation der Hauptpiste, die ihr Tellurometer über dem bereits gesetzten Pegel zentrieren mußte, gelegentlich Schwierigkeiten auf, die zu einer exzentrischen Aufstellung zwangen. Dasselbe gilt für Nach- oder Wiederholungsmessungen von schon vermarkten Strecken. In diesen Fällen wurde die Exzentrizität e in der Meßrichtung durch Bandmaß- und Winkelmessungen mit Zentimeter-Genauigkeit bestimmt. Die zur Reduktion auf zentrische Entfernung notwendigen Korrekturen e sind in der Tabelle S. 75–94 in Spalte 8 aufgeführt.

5. Reduktion der Strecken auf die Horizontale und auf das Meeresniveau.

Vor der Ausgleichung und Winkelberechnung in der Viereckskette waren die gemessenen Schrägentfernungen auf die Horizontale im Messungsniveau und von dort auf das Meeresniveau zu reduzieren. Hierzu dienten die bekannten Formeln

$$\left. \begin{aligned}
 a) \quad \Delta s_1 &= k_1 = \frac{\Delta H^2}{2 s'} \\
 \Delta s_1 &= k_1 = \text{Längenreduktion auf Horizontale im} \\
 &\quad \text{Messungsniveau} \\
 \Delta H &= \text{Höhenunterschied zwischen den Endpunkten} \\
 &\quad \text{Meßstrecke} \\
 s' &= \text{Schrägentfernung.}
 \end{aligned} \right\} (11)$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } \Delta s_2 &= k_2 = s \left(1 - \frac{H_m}{R} + \left(\frac{H_m}{R} \right)^2 - + \dots \right) \\
 \Delta s_2 &= k_2 = \text{Längenreduktion auf Horizontale im} \\
 &\quad \text{Meeresniveau} \\
 s &= \text{Horizontalentfernung im Messungsniveau} \\
 H_m &= \text{mittlere Meereshöhe der Streckenendpunkte} \\
 R &= \text{Krümmungsradius des Erdellipsoides längs} \\
 &\quad \text{der Meßstrecke.}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

a) Reduktion auf die Horizontale im Messungsniveau:

Bei der Reduktion nach Formel (11) konnten die Höhenunterschiede ΔH auf der Hauptpiste bis Station Jarl-Joset unmittelbar vom Nivellement übernommen werden. Die Höhenunterschiede für die übrigen Vierecksstrecken der Kette wurden aus den barometrischen Beobachtungen der Gruppe Lagemessung errechnet. Aus dem nivellierten Höhenunterschied ΔH_s der Grundseite s und der zugehörigen Differenz der Barometerstände Δp_s ergab sich eine barometrische Höhenstufe h_s

$$h_s = \frac{\Delta H_s}{\Delta p_s},$$

die bei den homogenen meteorologischen Verhältnissen innerhalb eines Vierecks auf dem Inlandeis auch für die benachbarten Vierecksstrecken als gültig angenommen werden konnte. Für den Höhenunterschied ΔH_i einer Vierecksstrecke i , die mit s im gleichen Viereck lag, galt daher:

$$\Delta H_i = h_s \cdot \Delta p_i.$$

Für Δs_1 ist eine Genauigkeit von ± 1 cm zu fordern. Die dazu notwendige Genauigkeit von ΔH ergibt sich durch Differenzieren von Formel (11) und Auflösung nach dem zulässigen Höhenfehler $d\Delta H$:

$$d\Delta s_1 = \frac{\Delta H}{s'} \cdot d\Delta H$$

$$d\Delta H = \frac{s'}{\Delta H} \cdot d\Delta s_1.$$

Mit $\frac{\Delta H}{s'} \approx \frac{1}{300}$ (mittleres Gefälle im Profil West-Ost) wird

$$d\Delta H_{zul} \approx 3 \text{ m.}$$

Diese Genauigkeit erscheint auch für die barometrisch bestimmten Höhenunterschiede als gesichert.

In den nicht nivellierten Teilstrecken des West-Ost-Profiles sowie im ganzen Nord-Süd-Profil wurden die Höhenunterschiede barometrisch

bestimmt. Die Meereshöhen selbst ergaben sich im Anschluß an die nivellierten Pegel TA 0 (Camp VI EGIG), T 4 (Carrefour) und TA 53 (Station Jarl-Joset).

Die Höhenreduktionen k_1 sind in der Tabelle S. 75–94 in Spalte 9 aufgeführt.

b) Reduktion auf den Meereshorizont:

Vor der Reduktion der Horizontalentfernungen auf den Meereshorizont war zu prüfen, mit welcher Genauigkeit die Rechnung zu führen und die Größen H_m und R einzusetzen waren. Für Δs_2 wurde dabei wiederum cm-Genauigkeit gefordert.

Zunächst zeigte eine einfache Abschätzung, daß das Glied 2. Ordnung in (12) für die Reduktion der EGIG-Profile unbedenklich vernachlässigt werden konnte.

Die Differentiation von (12) nach H_m und R ergibt:

$$d\Delta s_2 = \frac{s}{R} dH_m - \frac{sH_m}{R^2} dR,$$

woraus als zulässige Fehler von H_m und R die Beträge

$$dH_m \text{ zu 1} \approx 5 \text{ m} \quad dR_{zu 1} \approx 8500 \text{ m}$$

folgen. Die im Anschluß an das Nivellement barometrisch bestimmten Höhen sind vermutlich auch in den randlichen Polygonzügen und im Nord-Süd-Profil so genau, daß sie dieser Forderung für H_m genügen.

Der Krümmungsradius des Erdellipsoides variiert im Arbeitsgebiet der EGIG maximal um den Betrag

$$\Delta R_{\max} \approx 6 \text{ km}.$$

Für die Reduktion auf das Meeressniveau konnte daher durchwegs ein mittlerer Krümmungsradius von

$$R = r_m = 6394 \text{ km}$$

verwendet werden.

Die zur Reduktion verwendeten Mittelhöhen H_m und die sich daraus ergebenden Längenreduktionen k_2 sind in der Tabelle S. 75–94 in den Spalten 10 und 11 aufgeführt.

6. Ausgleichung der Viereckskette.

Nach den Reduktionen der Abschnitte 1., 3. und 4. lagen die Horizontalentfernungen im Meeressniveau für alle tellurometrisch gemessenen Strecken vor. Sie konnten nunmehr zu einer Ausgleichung der Viereckskette nach bedingten Beobachtungen herangezogen werden, soweit deren Maschen jeweils eine überzählige gemessene Strecke enthielten.

Der Gang dieser Ausgleichung ist für eine Kette von Diagonalen-Quadraten bei HOFMANN, 1958, ausführlich behandelt; auf eine Neudarstellung der Theorie wird deshalb hier verzichtet.

Als auszugleichende Widersprüche W_i wurden die Differenzen zwischen den berechneten und gemessenen Werten für die Deckseiten t_i der Nebenpiste gewählt:

$$W_i = (t_i) - t_i$$

(t_i) wurde nach dem Formelsystem (10), Seite 65, berechnet, das schon zur Kontrolle der Vierecksmessung auf dem Inlandeis gedient hatte. Doch war die Berechnung jetzt mit den Horizontalentfernung im Meeresniveau vorzunehmen. Ein erstes Mal wurden die Widersprüche W_i mit der Handrechenmaschine Curta, Type II, auf dem bereits geschilderten Formular (siehe Seite 66) berechnet, eine Zweitberechnung auf der Relais-Rechenanlage Z 11 am Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut in München führte zu denselben, in der folgenden Tabelle IV aufgeführten Resultaten:

Tabelle IV. Viereckswidersprüche.

| Vier- eck | W_i cm | | W'_i cm | | Vier- eck | W_i cm | | W'_i cm | | Vier- eck | W_i cm | | W'_i cm | |
|----------------|-------------|-----|--------------|----|---------------|-------------|-----|--------------|-----|---------------|-------------|-----|--------------|-----|
| | + | - | + | - | | + | - | + | - | | + | - | + | - |
| | | | | | Über- trag | 66 | 209 | 180 | 43 | Über- trag | 89 | 607 | 274 | 232 |
| 7 | 42 | | 56 | | 28 | | 40 | | 26 | 49 | | 31 | | 17 |
| 8 | | 19 | | 5 | 29 | | 20 | | 6 | 49 a | | 14 | | 0 |
| 8 a | | 17 | | 3 | 30 | | 1 | | 13 | 50 | | 1 | | 13 |
| 9 | | 6 | | 8 | 31 | | 16 | | 2 | 50 a | | 7 | | 7 |
| 9 a | 5 | | 19 | | 33 | | 35 | | 21 | 51 | | 39 | | 25 |
| 10 | | 17 | | 3 | 35 | | 16 | | 2 | 51 a | | 16 | | 2 |
| 11 a | | 13 | | 1 | 36 | | 38 | | 24 | 52 | | 43 | | 29 |
| 12 | | 7 | | 7 | 38 | | 19 | | 5 | 54 | | 9 | | 5 |
| 12 a | | 15 | | 1 | 40 | | 27 | | 13 | 55 | | 23 | | 9 |
| 14 | 11 | | 25 | | 42 | | 5 | | 9 | 55 a | | 14 | | 0 |
| 15 | | 3 | 11 | | 42 a | | 30 | | 16 | 56 | | 21 | | 7 |
| 17 a | | 32 | | 18 | 43 | | 23 | | 37 | 56 a | | 7 | | 21 |
| 18 a | | 17 | | 3 | 45 | | 44 | | 30 | 57 | | 34 | | 48 |
| 19 a | | 4 | | 10 | 45 a | | 0 | | 14 | 57 a | | 1 | | 13 |
| 20 | | 7 | | 7 | 46 | | 4 | | 10 | 58 | | 32 | | 18 |
| 21 | | 15 | | 1 | 46 a | | 28 | | 14 | 58 a | | 6 | | 8 |
| 22 | 8 | | 22 | | 47 | | 6 | | 8 | 59 | | 19 | | 5 |
| 23 a | | 2 | 12 | | 47 a | | 11 | | 3 | 60 | | 26 | | 12 |
| 24 | | 23 | | 9 | 48 | | 43 | | 29 | 61 | | 26 | | 12 |
| 26 | | 12 | | 2 | 48 a | | 15 | | 1 | | | | | |
| | + | - | + | - | | + | - | + | - | | + | - | + | - |
| ΣW_i | 66 | 209 | 180 | 43 | | 89 | 607 | 274 | 232 | | 130 | 935 | 389 | 368 |
| $\Sigma W_i $ | 275 | | 223 | | | 696 | | 506 | | | 1065 | | 757 | |

Die Zusammenstellung zeigt, daß die negativen Widersprüche beträchtlich überwiegen. Dies deutet auf einen systematischen Fehlereinfluss bei der Tellurometermessung im West-Ost-Profil hin, der sich im Mittel auf die Viereckswidersprüche mit $-805: 59 = -14$ cm auswirkt. Eingehende Untersuchungen haben gezeigt, daß diese Systematik keinesfalls mit eventuellen »Additionskonstanten« der Tellurometer oder mit fehlerhafter Zentrierung bei der Aufstellung über den Maßpunkten erklärt werden kann. Ihre Ursache scheint vielmehr in den Anomalien der Wellenausbreitung in der Luftsicht dicht über der Schneoberfläche des Inlandeises zu liegen, auf die K. NOTTARP in Kapitel II, Abschnitt 4., bereits hingewiesen hat. Da die Tellurometerstationen auf Haupt- und Nebenpiste durchwegs auf Scheiteln von Wellenzügen der Eisoberfläche lagen, verliefen die Bahnen der Tellurometermeßwellen über den Vierecksseiten s und t sowie über den Diagonalen v und w im allgemeinen in größerem Bodenabstand als über den Verbindungsseiten u. Es kann daher angenommen werden, daß die Reduktion der gemessenen Laufzeiten auf etwas zu große Entfernung für die Seiten u geführt hat. Den systematischen Anteil der Viereckswidersprüche von -14 cm entspricht eine Korrektur der Seiten u von -7 cm; sowohl dem Vorzeichen nach wie in ihrer Größenordnung stimmt diese Korrektur mit dem zu erwartenden Einfluß auf die Wellenausbreitung in Bodennähe überein.

Vor der Ausgleichung wurden daher alle Verbindungsseiten u um 7 cm verringert. Die nach dieser Reduktion verbleibenden Widersprüche W'_i , die mit den ursprünglichen W_i in der Beziehung

$$W_i = W'_i + 14$$

stehen, sind in Tabelle IV aufgeführt. Sie können als frei von systematischen Fehlern gelten und wurden der folgenden Ausgleichung zu Grunde gelegt.

Da die Vierecke im West-Ost-Profil der EGIG durchwegs von der Quadratform abweichen, war zu überlegen, ob die Ausgleichung nach der strengen Fehlerbedingungsgleichung (10) in HOFMANN 1958, durchgeführt werden mußte oder ob die weit einfachere Bedingungsgleichung (12) für Diagonalen-Quadranten herangezogen werden konnte. Wie ein Vergleich der beiden Formeln zeigt, unterscheiden sich die Koeffizienten der gesuchten Beobachtungsverbesserungen im wesentlichen um Faktoren, die proportional zu den Seitenlängen sind. Die Ergebnisse einer strengen Ausgleichung nach (10) werden sich also zu den genäherten Ergebnissen aus (12) etwa verhalten wie die Seitenlängen zu ihrem Mittelwert. Wie in Kapitel III, Abschnitt 5., gezeigt wurde, betragen die Abweichungen der Seitenlängen vom Mittelwert im Durchschnitt ca. 10% . Die relativ kleinen Widersprüche W'_i liessen Verbesserungen von nur wenigen

Zentimetern erwarten. Die Abweichungen zwischen strenger und genäherter Ausgleichung konnten daher nur in der Größenordnung weniger Millimeter liegen. Da im Endergebnis cm-Rechenschärfe angestrebt wurde, konnte die Ausgleichung unbedenklich so durchgeführt werden, als läge eine Kette von Diagonalen-Quadraten vor.

Unter diesen Voraussetzungen war die Ausgleichung sehr schnell und einfach zu bewältigen. Im Anschluß an Figur 17 seien die formelmäßigen Zusammenhänge nach HOFMANN, 1958, kurz zusammengestellt:

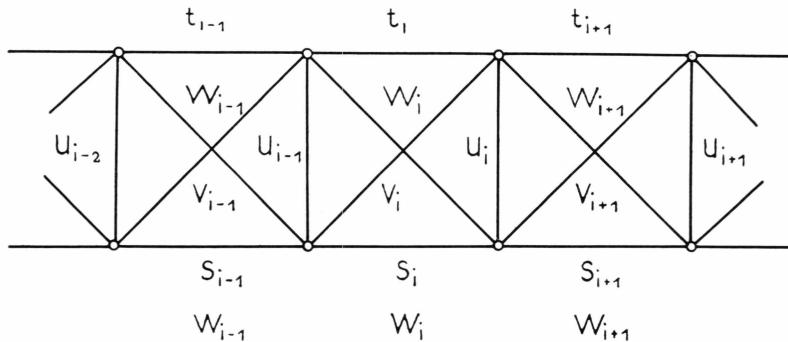


Fig. 17. Diagonalen-Quadratkette.

Fehlerbedingungsgleichung im i-ten Viereck:

$$-v_{s_i} - v_{t_i} - v_{u_{i-1}} - v_{u_i} + v_{v_i} \sqrt{2} + v_{w_i} \sqrt{2} + W_i = 0 \quad (13)$$

Korrelaten-Gleichungen im i-ten Viereck:

$$\left. \begin{aligned} v_{u_{i-1}} &= -k_{i-1} - k_i \\ v_{s_i} = v_{t_i} &= -k_i \\ v_{v_i} = v_{w_i} &= +k_i \sqrt{2} \\ v_{u_i} &= -k_i - k_{i+1} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Aus den daraus abgeleiteten Normalgleichungen lassen sich die Korrelaten k_i als explizite Funktionen der Widersprüche W_i darstellen (unbestimmte Auflösung). Diese Auflösung hängt naturgemäß von der Anzahl der Kettenglieder ab, wobei jeweils der Widerspruch W_i des i-ten Vierecks den größten Beitrag zur zugehörigen Korrelaten k_i liefert, während der Einfluß der Nachbarvierecke etwa mit Potenzen von $\frac{1}{8}$ abnimmt.

Die unbestimmte Auflösung der Normalgleichungen lautet bei Ketten mit

$$1 \text{ Viereck: } k = -0.125 W \quad (15)$$

$$2 \text{ Vierecken: } \begin{cases} k_1 = -0.127 W_1 + 0.016 W_2 \\ k_2 = +0.016 W_1 - 0.127 W_2 \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} k_1 + k_2 = -0.111 (W_1 + W_2) \\ \end{array} \right\} (16)$$

$$3 \text{ Vierecken: } \begin{cases} k_1 = -0.127 W_1 + 0.016 W_2 (-0.002 W_3) \\ k_2 = +0.016 W_1 - 0.129 W_2 + 0.016 W_3 \\ k_3 = (-0.002 W_1) + 0.016 W_2 - 0.127 W_3. \end{cases} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} (17)$$

Die eingeklammerten Ausdrücke deuten an, daß bei der Größenordnung der Widersprüche W_i in der EGIG-Viereckskette und bei der angestrebten Rechenschärfe bereits der Einfluß des jeweils vorletzten bzw. übernächsten Kettengliedes vernachlässigt werden kann. Dies gilt erst recht für den Einfluß noch entfernter Glieder, sodaß im vorliegenden Fall die Auflösung für eine Kette von n Vierecken lautet:

$$\begin{array}{ll} n \text{ Vierecke: } & k_1 = -0.127 W_1 + 0.016 W_2 \\ & k_2 = +0.016 W_1 - 0.129 W_2 + 0.016 W_3 \\ & k_3 = \quad \quad \quad +0.016 W_2 - 0.129 W_3 + 0.016 W_4 \\ & \dots \quad \quad \quad \dots \quad \quad \quad \dots \quad \quad \quad \dots \\ & k_i = \quad \quad \quad +0.016 W_{i-1} - 0.129 W_i + 0.016 W_{i+1} \\ & \dots \quad \quad \quad \dots \quad \quad \quad \dots \quad \quad \quad \dots \\ & k_n = \quad \quad \quad +0.016 W_{n-1} - 0.127 W_n. \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} (18)$$

Diese einfachen Formeln gestatten eine fortlaufende Berechnung der k_i mit dem Rechenschieber. Die Verbesserungen v_i werden dann sofort nach (14) erhalten. Sie müssen die Rechenprobe

$$v_{u_{i-1}} + v_{s_i} + v_{t_i} - \sqrt{2} (v_{v_i} + v_{w_i}) + v_{u_i} = W_i$$

erfüllen, die der Fehlerbedingungsgleichung (13) entspricht.

Eine durchgreifende Rechenprobe besteht in der Neuberechnung des Formelsystem (10), Seite 65, mit den verbesserten Seitenlängen, die bei richtiger Ausgleichung innerhalb der angestrebten Rechenschärfe keinen Widerspruch mehr ergeben darf.

Die Ausgleichung der Viereckskette nach jeweils fortlaufend überbestimmten Teilstücken ist in den Spalten 14–16 der Tabelle auf den Seiten 75–94 aufgeführt.

7. Zweitberechnung durch das Deutsche Geodätische Forschungsinstitut (DGFI), München.

Die Reduktionen unter Abschnitt 1., 3. und 5. sowie die Ausgleichung nach Abschnitt 6. wurden für die Viereckskette im West-Ost-Profil ein zweites Mal unabhängig am Deutschen Geodätischen For-

schungsinstitut in München durchgeführt. Der Vergleich deckte eine Anzahl von Rechenfehlern auf, die berichtigt wurden. Da die Zweitberechnung zur meteorologischen Reduktion nicht Nomogramme sondern die ursprünglichen Rechenformeln benutzte, ergaben sich verschiedentlich Differenzen in den Endresultaten von maximal ± 2 cm, die sich leicht als Rechenunschärfen und Rundungsfehler erklären lassen. In diesen Fällen wurde jeweils das Mittel aus Erst- und Zweitberechnung als endgültige Strecke festgehalten. In der Tabelle S. 75-94 ist diese Mitteilung bereits berücksichtigt.

Die Gruppe Lagemessung ist dem DGFI für die Übernahme der mühevollen Zweitberechnung zu großem Dank verbunden.

8. Genauigkeit der Telluromettermessung.

Die Fehlerrechnung für die Streckenmessung in der Viereckskette schließt sich unmittelbar an die Ausgleichung an. Für den mittleren Gewichtseinheitsfehler m_0 , der sich hier auf eine einmal tellurometrisch gemessene Vierecksstrecke bezieht, gilt die Formel:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n}}. \quad (19)$$

wobei $[vv] = \sum_1^n v_i^2$ über alle Verbesserungen in einer Kette von n Vierecken die jeweils in einem Guß ausgeglichen wurden, zu erstrecken ist.

Die v_i^2 sind in Spalte 17 der folgenden Tabelle nachgewiesen und nach Teilstücken aufsummiert. Ihre numerische Auswertung findet sich im Abschnitt 9., S. 94 ff.

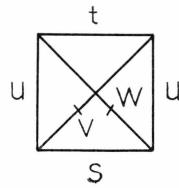
Tabelle V.

Meßwerte, Reduktion und Ausgleichung der Tellurometermessung in den Profilen West-Ost und Nord-Süd.

- Spalte 1: Polygonseite bzw. Viereck
Datum der Messung während der Sommerkampagne 1959.
- Spalte 2: Vierecksstrecke gemäß nebenstehender Skizze:
- Spalte 3: Nummer des verwendeten Master-Gerätes.
- Spalte 4: Laufzeit der Meßwellen in $m\mu$ sec (sec 10^{-9}).
- Spalte 5: Brechungsindex in der Form $(n-1) 10^6$.
- Spalte 6: Genäherte Schrägentfernung s' .
- Spalte 7: Frequenzkorrektur (siehe Abschnitt 3, Seite 67).
- Spalte 8: Exzentrizität (siehe Abschnitt 4, Seite 67).
- Spalte 9: Reduktion auf die Horizontale im Messungsniveau (siehe Abschnitt 5 a, Seite 68).
- Spalte 10: Mittlere Meereshöhe der gemessenen Strecke.
- Spalte 11: Reduktion auf das Meeressniveau (siehe Abschnitt 5 b, Seite 69).
- Spalte 12: Kennziffer für die Abweichung des Vierecks von der Quadratform (siehe Kapitel III, Abschnitt 5, Seite 46).
- Spalte 13: Horizontalentfernung im Meeressniveau:

$$\bar{s}_0 = s' + k_f + e + k_1 + k_2.$$
- Spalte 14–17: Ausgleichung (siehe Abschnitt 6, Seite 69 ff.).
- Spalte 14: Viereckswiderspruch W_i und W'_i .
- Spalte 15: Berechnung der Korrelaten k_i nach (15), (16), (17) oder (18).
- Spalte 16: Verbesserungen v .
- Spalte 17: Quadrate v^2 der Verbesserungen.
- Spalte 18: Ausgeglichene Horizontalentfernung im Meeressniveau:

$$s_0 = \bar{s}_0 + v.$$
- Spalte 19: Messungsdifferenzen d bei Doppelmessung.
- Spalte 20: Quadrate d^2 der Messungsdifferenzen.



Randliche Polygonzüge im West-Ost-Profil

| | | | | | | | | | | | d | dd |
|------------------|-----|------------|-----|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-----------|----|-----|
| TA 61-T 62 | 142 | 53 696.72 | 220 | 8 047.18 | + 6 | + 66 | - 1 | 2 762 | - 348 | 8 044.36 | 10 | 100 |
| 7.7. | 87 | 53 696.38 | 221 | 8 047.12 | + 2 | | | | | | | |
| T 62-T 63 | 142 | 42 987.88 | 222 | 6 442.30 | + 5 | 0 | - 1 | 2 762 | - 278 | 6 439.56 | 0 | 0 |
| 6.7. | 87 | 42 988.08 | 222 | 6 442.33 | + 2 | | | | | | | |
| T 63-T 64 | 167 | 87 574.82 | 221 | 13 124.25 | + 1 | + 72 | - 7 | 2 740 | - 562 | 13 119.24 | 9 | 81 |
| 6.7. | 87 | 87 574.02 | 220 | 13 124.14 | + 3 | | | | | | | |
| T 64-T 65 | 142 | 82 390.77 | 222 | 12 347.32 | + 8 | 0 | - 2 | 2 714 | - 524 | 12 342.10 | 9 | 81 |
| 5.7. | 87 | 82 390.52 | 223 | 12 347.28 | + 3 | | | | | | | |
| T 65-T 65a | 167 | 76 998.38 | 224 | 11 537.84 | + 7 | 0 | - 14 | 2 678 | - 482 | 11 532.90 | 10 | 100 |
| 5.7. | 87 | 76 998.62 | 224 | 11 537.73 | + 3 | + 5 | | | | | | |
| T 65a-T 66 | 142 | 57 330.08 | 227 | 8 591.62 | + 6 | + 53 | - 7 | 2 632 | - 354 | 8 588.62 | 5 | 25 |
| 5.7. | 167 | 57 330.70 | 226 | 8 591.72 | + 1 | | | | | | | |
| T 65-T 66 | 142 | 134 238.10 | 227 | 20 117.23 | + 14 | + 45 | - 22 | 2 657 | - 836 | 20 109.23 | 0 | 0 |
| 5.7. | 87 | 134 238.40 | 225 | 20 117.31 | + 6 | | | | | | | |
| T 66-T 67 | 167 | 102 091.70 | 231 | 15 299.63 | + 1 | + 9 | - 78 | 2 535 | - 606 | 15 292.95 | 12 | 144 |
| 4.7. | 87 | 102 092.82 | 231 | 15 299.80 | + 5 | 0 | | | | | | |
| T 67-T 68 | 142 | 77 802.05 | 236 | 11 659.49 | + 7 | 0 | - 89 | 2 387 | - 435 | 11 654.32 | 0 | 0 |
| 3.7. | 87 | 77 802.18 | 235 | 11 659.52 | + 4 | | | | | | | |
| T 68-T 69 | 142 | 87 553.90 | 239 | 13 120.87 | + 6 | 0 | - 122 | 2 230 | - 457 | 13 115.16 | 3 | 9 |
| 3.7. | 87 | 87 554.20 | 239 | 13 120.92 | + 4 | | | | | | | |
| T 69-T 70 | 167 | 128 880.60 | 244 | 19 314.02 | + 2 | - 137 | - 18 | 2 102 | - 635 | 19 306.17 | 6 | 36 |
| 3.7. | 87 | 128 880.75 | 245 | 19 314.03 | + 7 | | | | | | | |
| T 70-T 71 | 142 | 38 325.35 | 248 | 5 743.40 | + 3 | 0 | - 37 | 2 028 | - 182 | 5 741.27 | 6 | 36 |
| 2.7. | 87 | 38 325.90 | 249 | 5 743.47 | + 2 | | | | | | | |
| T 71-CN | 167 | 198 131.80 | 256 | 29 691.63 | + 4 | 0 | - 342 | 1 770 | - 822 | 29 680.13 | 20 | 400 |
| 2.7. | 87 | 198 132.22 | 254 | 29 691.75 | + 12 | | | | | | | |

Viereckskette Carrefour-Dépôt 420.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| Viereck Datum 1959 | Seite | Master Nr. | L sec. $\cdot 10^{-9}$ | (n-1) 10^6 | s' m | k _f | e | k ₁ | H _m m | k ₂ | p _i | \bar{s}_0 m | W _i W _{i'} em | k _i | v em | vv em ² | s ₀ m |
| 45 17.5. | s v | 142 142 | 50 150.80 69 560.10 | 253 259 | 7 515.52 10 424.11 | + 4 + 5 | - 14 - 252 | - 22 - 12 | 1 882 1 879 | - 221 - 306 | .. .. | 7 512.99 10 418.46 | .. .. | .. .. | .. .. | .. .. | 7 512.99 10 418.46 |
| | u | 167 | 58 629.38 | 256 | 8 786.08 | + 2 | 0 | 0 | 1 911 | - 263 | .. | 8 783.47 | .40 | .. | .. | .. | 8 783.40 |
| 6 18.5. | s t v w | 87 - - 167 | 70 580.58 - - 98 291.22 | 255 256 | 10 577.07 - - 14 729.72 | + 1 + 4 | 0 0 | - 17 - - - 15 | 1 941 - - 1 938 | - 321 - - 446 | .. .. .. | 10 573.70 - - 14 725.15 | .. .. .. .. | .. .. .. .. | .. .. .. .. | .. .. .. .. | 10 573.70 - - 14 725.15 |
| | u | 87 | 76 436.25 | 246 | 11 454.70 | + 3 | 0 | - 7 | 1 951 | - 349 | .. | 11 451.17 | .10 | .. | + 7 | 49 | 11 451.17 |
| 7 19.5. | s t v w | 87 142 87 142 | 63 113.10 102 932.58 104 337.85 107 708.45 | 248 245 246 245 | 9 458.08 15 425.43 15 636.01 16 141.14 | 0 + 8 + 1 + 9 | 0 0 0 0 | - 10 - 20 - 7 - 18 | 1 992 1 973 1 994 1 976 | - 295 - 476 - 488 - 499 | .. 12 | 9 455.03 15 420.55 15 631.07 16 136.06 | .. + 42 + 56 .. | - - 7.1 - 0.1 - 7.2 | + 7 + 7 - 10 - 10 | 49 49 100 100 | 9 455.10 15 420.62 15 630.97 16 135.96 |
| | u | 167 | 62 060.38 | 247 | 9 300.33 | + 3 | 0 | 0 | 2 016 | - 293 | .. | 9 297.43 | .36 | .. | + 6 | 36 | 9 297.42 |
| 8 19.5. | s t v w | 87 142 87 167 | 54 072.05 44 851.85 60 980.18 72 987.92 | 242 242 244 245 | 8 103.23 6 721.50 9 138.46 10 837.96 | 0 + 4 0 + 3 | 0 0 - 290 0 | - 16 - 7 - 11 - 7 | 2 039 2 040 2 036 2 046 | - 258 - 214 - 291 - 350 | .. 16 | 8 100.49 6 719.33 9 132.54 10 934.42 | .. - 19 - 5 .. | + 0.9 + 0.6 0 + 1.5 | - 1 - 2 + 2 + 2 | 1 4 4 4 | 8 100.48 6 719.31 9 132.56 10 934.44 |
| | u | 142 | 35 010.85 | 243 | 5 246.73 | + 3 | 0 | 0 | 2 065 | - 170 | .. | 5 245.06 | 4.99 | .. | - 2 | 4 | 5 244.97 |
| 8a. 20.5. | s t v w | 87 142 87 142 | 31 449.55 33 397.75 51 317.58 47 926.92 | 242 240 243 243 | 4 713.03 5 004.99 7 690.46 7 182.34 | 0 + 3 0 + 4 | 0 0 - 324 0 | - 4 - 1 - 1 - 3 | 2 075 2 068 2 070 2 075 | - 133 - 162 - 249 - 233 | .. 6 | 4 711.46 5 003.39 7 684.72 7 180.02 | .. - 17 - 3 .. | - 0.1 + 0.4 + 0.1 + 0.4 | 0 0 + 1 + 1 | 0 0 1 1 | 4 711.46 5 003.39 7 684.73 7 180.03 |
| | u | 167 | 40 364.30 | 242 | 6 049.00 | + 2 | 0 | - 1 | 2 079 | - 197 | .. | 6 047.04 | 6.97 | .. | 0 | 0 | 6 046.97 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-----|-----------|-----|-----------|-----|-------|------|-------|-------|----|-----------|------|-------|-----|-----|-----------|
| | s | 87 | 53 621.33 | 243 | 8 035.69 | 0 | 0 | - 4 | 2 098 | - 264 | .. | 8 033.02 | .. | 0 | + 1 | 1 | 8 033.03 |
| 9 | t | 167 | 52 358.42 | 242 | 7 846.43 | + 2 | 0 | - 5 | 2 088 | - 256 | 7 | 7 843.84 | - 6 | - 1.0 | + 1 | 1 | 7 843.85 |
| 21.5. | v | 87 | 68 258.82 | 242 | 10 229.26 | 0 | 0 | - 2 | 2 095 | - 335 | .. | 10 225.89 | + 8 | + 0.3 | - 1 | 1 | 10 225.88 |
| | w | 167 | 68 116.42 | 240 | 10 207.94 | + 3 | 0 | - 9 | 2 091 | - 334 | .. | 10 204.54 | .. | - 0.7 | - 1 | 1 | 10 204.53 |
| | u | 142 | 45 635.40 | 242 | 6 838.93 | + 4 | 0 | 0 | 2 108 | - 226 | .. | 6 836.71 | .64 | .. | + 3 | 9 | 6 836.67 |
| | s | 87 | 40 841.13 | 240 | 6 120.45 | 0 | - 21 | - 11 | 2 130 | - 204 | .. | 6 118.09 | .. | + 0.1 | + 2 | 4 | 6 118.11 |
| 9a | t | 142 | 46 215.20 | 241 | 6 925.82 | + 4 | 0 | - 9 | 2 125 | - 230 | 14 | 6 923.47 | + 5 | - 2.5 | + 3 | 9 | 6 923.50 |
| 21.5. | v | 87 | 46 525.50 | 240 | 6 972.33 | 0 | - 162 | - 8 | 2 129 | - 232 | .. | 6 968.31 | + 19 | 0 | - 3 | 9 | 6 968.28 |
| | w | 142 | 65 251.02 | 240 | 9 778.54 | + 6 | 0 | - 10 | 2 126 | - 325 | .. | 9 775.25 | .. | - 2.4 | - 3 | 9 | 9 775.22 |
| | u | 167 | 28 678.95 | 240 | 4 297.86 | + 1 | 0 | 0 | 2 147 | - 144 | .. | 4 296.43 | .36 | .. | + 2 | 4 | 4 296.38 |
| | s | 87 | 43 339.65 | 239 | 6 494.90 | 0 | - 23 | - 7 | 2 163 | - 220 | .. | 6 492.40 | .. | + 0.3 | - 1 | 1 | 6 492.39 |
| 10 | t | 167 | 46 515.20 | 240 | 6 970.78 | + 2 | 0 | - 4 | 2 155 | - 235 | 11 | 6 968.41 | - 17 | + 0.4 | - 1 | 1 | 6 968.40 |
| 27.5. | v | 87 | 59 644.66 | 241 | 8 938.34 | 0 | - 184 | - 1 | 2 156 | - 301 | .. | 8 933.48 | - 3 | - | + 1 | 1 | 8 933.49 |
| | w | 164 | 53 086.70 | 241 | 7 946.60 | + 2 | 0 | - 9 | 2 159 | - 268 | .. | 7 943.85 | .. | + 0.7 | + 1 | 1 | 7 943.86 |
| | u | 142 | 40 610.15 | 239 | 6 085.85 | + 4 | 0 | - 2 | 2 171 | - 207 | .. | 6 083.80 | .73 | .. | - 1 | 1 | 6 083.72 |
| | s | 87 | 41 915.03 | 241 | 6 281.40 | 0 | 0 | - 1 | 2 185 | - 215 | .. | 6 279.24 | .. | .. | .. | 455 | 6 279.24 |
| 10a | t | 142 | 40 965.55 | 241 | 6 139.11 | + 4 | 0 | - 17 | 2 189 | - 210 | 8 | 6 136.88 | - | .. | .. | .. | 6 136.88 |
| 27.5. | v | 87 | 52 032.45 | 240 | 7 797.60 | 0 | 0 | - 7 | 2 195 | - 268 | .. | 7 794.85 | .. | .. | .. | .. | 7 794.85 |
| | w | - | .. | .. | - | .. | .. | .. | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | - |
| | u | 164 | 32 803.65 | 240 | 4 915.96 | + 2 | 0 | - 5 | 2 202 | - 169 | .. | 4 914.24 | .17 | .. | .. | .. | 4 914.17 |
| | s | 87 | 29 228.85 | 237 | 4 380.25 | 0 | 0 | - 33 | 2 218 | - 152 | .. | 4 378.40 | .. | .. | .. | .. | 4 378.40 |
| 11 | t | 164 | 26 063.18 | 237 | 3 305.84 | + 2 | 0 | - 12 | 2 227 | - 136 | 10 | 3 904.38 | - | .. | .. | .. | 3 904.38 |
| 28.5. | v | - | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | - |
| | w | 164 | 43 664.10 | 237 | 6 543.53 | + 2 | 0 | - 8 | 2 228 | - 228 | .. | 6 541.19 | .. | .. | .. | .. | 6 541.19 |
| | u | 142 | 38 945.67 | 236 | 5 836.43 | + 4 | 0 | 0 | 2 243 | - 205 | .. | 5 834.42 | .35 | .. | 0 | 0 | 5 834.35 |
| | s | 87 | 53 626.83 | 236 | 8 036.57 | 0 | 0 | - 4 | 2 258 | - 284 | .. | 8 033.69 | .. | - | 0 | 0 | 8 033.69 |
| 11a | t | 142 | 46 046.82 | 239 | 6 900.60 | + 5 | 0 | - 5 | 2 256 | - 243 | 9 | 6 898.17 | - 13 | - 0.1 | 0 | 0 | 6 898.17 |
| 28.5. | v | 87 | 58 273.33 | 236 | 8 732.89 | 0 | 0 | - 3 | 2 257 | - 308 | .. | 8 729.78 | + 1 | + 0.1 | 0 | 0 | 8 729.78 |
| | w | 142 | 70 501.22 | 237 | 10 565.39 | + 8 | 0 | - 4 | 2 257 | - 373 | .. | 10 561.70 | .. | 0 | 0 | 0 | 10 561.70 |
| | u | 164 | 43 857.38 | 236 | 6 572.51 | + 2 | 0 | 0 | 2 272 | - 233 | .. | 6 570.20 | .13 | .. | + 1 | 1 | 6 570.14 |

(Fortsetzung)

Viereckskette (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|-------|---------------|---------------------------|-----------------|-----------|----------------|-------|----------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------------------------|----------------|---------|-----------------------|---------------------|
| Viereck Datum 1959 | Seite | Master Nr. | L sec. $\cdot 10^{-9}$ | (n-1) 10^6 | s' m | k _f | e | k ₁ | H _m m | k ₂ | p _i | s _o m | W _i W _{i'} em | k _i | v em | vv em ² | s _o m |
| 12 28.5. | s | 87 | 61 439.93 | 239 | 9 207.42 | 0 | 0 | -8 | 2 291 | -330 | .. | 9 204.04 | .. | 0 | + 1 | 1 | 9 204.05 |
| | t | 164 | 77 361.96 | 237 | 11 593.53 | + 3 | 0 | -6 | 2 291 | -415 | 26 | 11 589.35 | - 7 | - 0.9 | + 1 | 1 | 11 589.36 |
| | v | 87 | 67 797.10 | 237 | 10 160.14 | 0 | - 177 | -8 | 2 291 | -364 | .. | 10 154.65 | + 7 | 0 | - 1 | 1 | 10 154.64 |
| | w | 164 | 85 239.71 | 235 | 12 774.12 | + 4 | 0 | -5 | 2 292 | -458 | .. | 12 769.53 | .. | - 0.9 | - 1 | 1 | 12 769.52 |
| | u | 142 | 25 493.82 | 236 | 3 820.53 | + 3 | 0 | 0 | 2 312 | -138 | .. | 3 819.18 | .11 | .. | + 1 | 1 | 3 819.12 |
| 12 a 30.5. | s | 87 | 48 306.90 | 238 | 7 239.32 | - 1 | 0 | -9 | 2 329 | -264 | .. | 7 236.58 | .. | + 0.1 | 0 | 0 | 7 236.58 |
| | t | 142 | 47 558.52 | 236 | 7 127.16 | + 6 | 0 | -2 | 2 322 | -259 | 16 | 7 124.61 | - 15 | + 0.1 | 0 | 0 | 7 124.61 |
| | v | 87 | 63 829.60 | 238 | 9 565.54 | - 1 | - 185 | -3 | 2 322 | -347 | .. | 9 560.18 | - 1 | - | 0 | 0 | 9 560.18 |
| | w | 142 | 53 294.72 | 238 | 7 986.78 | + 6 | 0 | -6 | 2 331 | -291 | .. | 7 983.87 | .. | + 0.2 | 0 | 0 | 7 983.87 |
| | u | 164 | 45 913.38 | 238 | 6 880.63 | + 2 | 0 | -2 | 2 339 | -252 | .. | 6 878.11 | .04 | .. | 0 | 0 | 6 878.04 |
| 13 30.5. | s | 87 | 52 929.38 | 236 | 7 932.05 | - 1 | - 175 | -6 | 2 362 | -293 | .. | 7 927.30 | .. | .. | .. | 6 | 7 927.30 |
| | t | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | - | .. | .. | .. | - |
| | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | - |
| | w | 164 | 72 711.05 | 237 | 10 896.54 | + 3 | 0 | -10 | 2 354 | -401 | .. | 10 892.46 | .. | .. | .. | .. | 10 892.46 |
| | u | 142 | 46 377.38 | 236 | 6 950.16 | + 6 | 0 | -1 | 2 372 | -258 | .. | 6 947.63 | .56 | .. | + 3 | 9 | 6 947.59 |
| 14 31.5. | s | 87 | 63 924.28 | 234 | 9 579.79 | - 1 | 0 | -10 | 2 399 | -359 | .. | 9 576.09 | .. | - | + 3 | 9 | 9 576.12 |
| | t | 142 | 30 569.17 | 232 | 4 581.14 | + 4 | 0 | -8 | 2 380 | -170 | 20 | 4 579.40 | + 11 | - 3.1 | + 3 | 9 | 9 579.43 |
| | v | 87 | 69 865.72 | 234 | 10 470.18 | - 1 | 0 | -2 | 2 388 | -391 | .. | 10 466.24 | + 25 | - | - 4 | 16 | 10 466.20 |
| | w | 142 | 75 855.37 | 233 | 11 367.79 | + 9 | 0 | -12 | 2 395 | -426 | .. | 11 363.50 | .. | - 3.1 | - 4 | 16 | 11 363.46 |
| | u | 164 | 72 581.42 | 233 | 10 877.27 | - 1 | 0 | -3 | 2 408 | -410 | .. | 10 873.15 | .08 | .. | + 3 | 9 | 10 873.11 |
| Δ 14 | t | 142 | 44 828.00 | 235 | 6 717.97 | + 5 | 0 | -7 | 2 411 | -253 | .. | 6 715.42 | .. | .. | .. | 58 | 6 715.42 |
| 31.5. | u | 87 | 44 002.00 | 233 | 6 594.20 | - 1 | 0 | 0 | 2 433 | -250 | .. | 6 581.69 | .62 | .. | + 1 | 1 | 6 591.63 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-----|-----------|-----|-----------|-----|-------|------|-------|-------|----|-----------|-------|-------|-----|----|-----------|
| | s | 87 | 50 477.75 | 231 | 7 564.68 | - 1 | 0 | - 7 | 2 437 | - 288 | .. | 7 561.72 | .. | - | + 1 | 1 | 7 561.73 |
| 15 | t | 142 | 50 920.30 | 231 | 7 631.00 | + 6 | 0 | - 7 | 2 443 | - 292 | 9 | 7 628.07 | - 3 | -1.4 | + 2 | 4 | 7 628.09 |
| 31.5. | v | 87 | 66 774.68 | 231 | 10 006.96 | - 1 | - 144 | - 7 | 2 440 | - 382 | .. | 10 001.62 | + 11 | - | - 2 | 4 | 10 001.60 |
| | w | 142 | 62 256.12 | 235 | 9 329.78 | + 8 | 0 | - 4 | 2 440 | - 356 | .. | 9 326.26 | .. | -1.4 | - 2 | 4 | 9 326.24 |
| | u | 167 | 36 288.65 | 229 | 5 938.30 | + 2 | 0 | - 1 | 2 456 | - 209 | .. | 5 436.22 | .15 | .. | + 1 | 1 | 5 436.16 |
| | s | 87 | 66 099.88 | 228 | 9 905.89 | 0 | - 7 | - 9 | 2 474 | - 383 | .. | 9 901.90 | .. | .. | 15 | .. | 9 901.90 |
| 173 | t | 167 | 66 227.45 | 226 | 9 925.01 | + 4 | 0 | - 7 | 2 476 | - 384 | 15 | 9 921.14 | - | .. | .. | .. | 9 921.14 |
| 16 | v | - | - | - | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | - |
| 3.6. | w | 167 | 78 329.70 | 225 | 10 839.51 | + 5 | 0 | - 6 | 2 477 | - 419 | .. | 10 835.31 | .. | .. | .. | .. | 10 835.31 |
| | u | 142 | 43 214.40 | 226 | 6 476.22 | + 1 | 0 | 0 | 2 494 | - 353 | .. | 6 473.70 | .63 | .. | .. | .. | 6 473.63 |
| | s | 87 | 63 404.75 | 222 | 9 502.03 | 0 | - 4 | - 8 | 2 515 | - 374 | .. | 9 498.17 | .. | .. | .. | .. | 9 498.17 |
| 17 | t | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | - | .. | .. | .. | - |
| 3.6. | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | - |
| | w | 142 | 72 689.90 | 225 | 10 894.56 | + 2 | 0 | - 8 | 2 513 | - 428 | .. | 10 890.22 | .. | .. | .. | .. | 10 890.22 |
| | u | 167 | 43 158.65 | 225 | 6 467.87 | + 3 | 0 | - 2 | 2 530 | - 256 | .. | 6 465.32 | .25 | .. | - 2 | 4 | 6 465.23 |
| | s | 87 | 33 069.60 | 228 | 4 955.88 | 0 | - 3 | - 2 | 2 541 | - 197 | .. | 4 953.86 | .. | - | - 2 | 4 | 4 953.84 |
| 17 a | t | 167 | 31 583.38 | 224 | 4 733.18 | + 2 | 0 | - 3 | 2 532 | - 187 | 11 | 4 731.30 | - 32 | + 2.2 | - 2 | 4 | 4 731.28 |
| 3.6. | v | 87 | 55 626.00 | 225 | 8 336.25 | 0 | - 2 | 0 | 2 535 | - 331 | .. | 8 332.92 | - 18 | - | + 3 | 9 | 8 332.95 |
| | w | 167 | 54 572.90 | 226 | 8 178.43 | + 4 | 0 | - 7 | 2 532 | - 324 | .. | 8 175.16 | .. | + 2.2 | + 3 | 9 | 8 175.19 |
| | u | 142 | 46 153.72 | 223 | 6 916.73 | + 1 | 0 | - 3 | 2 544 | - 275 | .. | 6 913.96 | .89 | .. | - 2 | 4 | 6 913.87 |
| | s | 87 | 54 330.35 | 226 | 8 142.07 | + 1 | - 9 | - 7 | 2 565 | - 326 | .. | 8 138.66 | .. | .. | 34 | .. | 8 138.66 |
| 18 | t | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | - | .. | .. | .. | - |
| 4.6. | v | 87 | 66 503.60 | 225 | 9 966.41 | + 1 | - 12 | - 2 | 2 559 | - 399 | .. | 9 962.29 | .. | .. | .. | .. | 9 962.29 |
| | w | 142 | 70 638.32 | 226 | 10 586.04 | + 3 | 0 | - 15 | 2 554 | - 423 | .. | 10 581.69 | .. | .. | .. | .. | 10 581.69 |
| | u | 167 | 40 506.60 | 225 | 6 070.43 | + 3 | 0 | - 1 | 2 580 | - 245 | .. | 6 068.00 | 67.93 | .. | 0 | 0 | 6 067.93 |
| | s | 87 | 30 023.25 | 225 | 4 499.36 | 0 | 0 | - 4 | 2 592 | - 182 | .. | 4 497.50 | .. | - | 0 | 0 | 4 497.50 |
| 18 a | t | 167 | 31 213.70 | 226 | 4 677.76 | + 2 | 0 | - 9 | 2 589 | - 189 | 10 | 4 575.80 | - 17 | + 0.4 | 0 | 0 | 4 675.80 |
| 4.6. | v | 87 | 44 868.55 | 224 | 6 724.11 | + 1 | 0 | - 3 | 2 592 | - 272 | .. | 6 721.37 | + 3 | - | + 1 | 1 | 6 721.38 |
| | w | 167 | 52 402.55 | 223 | 7 853.20 | + 4 | 0 | - 5 | 2 586 | - 317 | .. | 7 850.02 | .. | + 0.4 | + 1 | 1 | 7 850.03 |
| 6 | u | 142 | 35 596.62 | 223 | 5 334.60 | + 2 | 0 | 0 | 2 600 | - 216 | .. | 5 332.46 | .39 | .. | 0 | 0 | 5 332.39 |

(Fortsetzung)

Viereckskette (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|-------|---------------|---------------------------|-------------------|-----------|----------------|-----|----------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------------------------------|----------------|---------|-----------------------|---------------------|
| Viereck Datum 1959 | Seite | Master Nr. | L sec. $\cdot 10^{-9}$ | $(n-1)$ 10^6 | s' m | k _f | e | k ₁ | H _m m | k ₂ | p _i | \bar{s}_0 m | W _i W' _i em | k _i | v em | vv em ² | s ₀ m |
| 19 4.6. | s | 87 | 42 581.50 | 226 | 6 381.36 | + 1 | - 7 | - 4 | 2 612 | - 261 | .. | 6 378.65 | .. | .. | .. | 2 | 6 378.65 |
| | t | 142 | 43 755.30 | 225 | 6 557.29 | + 2 | 0 | - 2 | 2 607 | - 267 | 8 | 6 554.62 | - | .. | .. | .. | 6 554.62 |
| | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | - | - |
| | w | 142 | 57 288.10 | 225 | 8 585.34 | + 3 | 0 | - 3 | 2 612 | - 351 | .. | 8 581.83 | .. | .. | .. | .. | 8 581.83 |
| 19 a 5.6. | u | 167 | 36 884.62 | 225 | 5 527.63 | + 3 | 0 | - 1 | 2 619 | - 227 | .. | 5 525.38 | .31 | .. | + 1 | 1 | 5 525.32 |
| | s | 87 | 37 392.28 | 225 | 5 603.70 | + 1 | 0 | - 2 | 2 631 | - 230 | .. | 5 601.39 | .. | .. | + 1 | 1 | 5 601.40 |
| | t | 167 | 37 324.82 | 225 | 5 593.59 | + 3 | 0 | - 2 | 2 622 | - 229 | 10 | 5 591.31 | - 4 | - 1.2 | + 1 | 1 | 5 591.32 |
| | v | 87 | 59 857.58 | 224 | 8 970.41 | + 2 | 0 | 0 | 2 626 | - 368 | .. | 8 966.75 | + 10 | + 0.1 | - 1 | 1 | 8 966.74 |
| 20 5.6. | w | 167 | 54 611.50 | 225 | 8 184.22 | + 5 | 0 | - 4 | 2 626 | - 336 | .. | 8 180.87 | .. | - 1.1 | - 2 | 4 | 8 180.85 |
| | u | 142 | 51 187.67 | 224 | 7 671.12 | + 3 | 0 | - 1 | 2 634 | - 316 | .. | 7 667.98 | .91 | .. | + 2 | 4 | 7 667.93 |
| | s | 87 | 27 611.42 | 224 | 4 137.93 | + 1 | - 5 | - 8 | 2 651 | - 172 | .. | 4 136.09 | .. | + 0.2 | + 1 | 1 | 4 136.10 |
| | t | 142 | 32 211.25 | 223 | 4 827.27 | + 2 | 0 | - 6 | 2 635 | - 199 | 18 | 4 825.24 | - 7 | - 0.9 | + 1 | 1 | 4 825.25 |
| 21 5.6. | v | 87 | 47 131.78 | 224 | 7 063.31 | + 1 | 0 | - 2 | 2 646 | - 292 | .. | 7 060.38 | + 7 | 0 | - 1 | 1 | 7 060.37 |
| | w | 142 | 60 858.12 | 224 | 9 120.38 | + 4 | 0 | - 7 | 2 647 | - 378 | .. | 9 116.57 | .. | - 0.7 | - 1 | 1 | 9 116.56 |
| | u | 167 | 40 325.35 | 224 | 6 043.28 | + 4 | 0 | - 4 | 2 653 | - 251 | .. | 6 040.77 | .70 | .. | 0 | 0 | 6 040.70 |
| | s | 87 | 72 309.22 | 225 | 10 836.45 | + 2 | 0 | - 5 | 2 680 | - 454 | .. | 10 831.88 | .. | + 0.1 | - 1 | 1 | 10 831.87 |
| 22 6.6. | t | 167 | 73 708.42 | 224 | 11 046.14 | + 7 | 0 | - 6 | 2 666 | - 461 | 19 | 11 041.54 | - 13 | - 0.1 | 0 | 0 | 11 041.54 |
| | v | 87 | 82 762.45 | 225 | 12 402.99 | + 2 | 0 | - 3 | 2 677 | - 519 | .. | 12 397.79 | + 1 | + 0.4 | + 1 | 1 | 12 397.80 |
| | w | 167 | 85 661.02 | 225 | 12 837.38 | + 8 | 0 | - 7 | 2 676 | - 537 | .. | 12 832.02 | .. | + 0.4 | + 1 | 1 | 12 832.03 |
| | u | 142 | 43 748.50 | 224 | 6 556.28 | + 3 | 0 | 0 | 2 693 | - 276 | .. | 6 553.55 | .48 | .. | + 2 | 4 | 6 553.50 |
| 22 6.6. | s | 87 | 64 975.88 | 223 | 9 737.47 | + 3 | - 7 | - 3 | 2 710 | - 413 | .. | 9 733.27 | .. | 0 | + 3 | 9 | 9 733.30 |
| | t | 142 | 66 195.00 | 221 | 9 920.19 | + 5 | 0 | - 1 | 2 700 | - 419 | 19 | 9 916.04 | + 8 | - 2.8 | + 3 | 9 | 9 916.07 |
| | v | 87 | 73 275.88 | 223 | 10 981.34 | + 3 | - 8 | - 1 | 2 708 | - 465 | .. | 10 976.63 | + 22 | - | - 4 | 16 | 10 976.59 |
| | w | 142 | 76 360.05 | 223 | 11 443.53 | + 6 | 0 | - 4 | 2 708 | - 484 | .. | 11 438.71 | .. | - 2.8 | - 4 | 16 | 11 438.67 |
| 22 6.6. | u | 167 | 29 678.05 | 221 | 4 447.65 | + 3 | 0 | - 1 | 2 717 | - 189 | .. | 4 445.78 | .71 | .. | + 3 | 9 | 4 445.74 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----|------|-------|-------|----|-----------|------|-------|-----|----|-----------|
| | s | 87 | 67 517.78 | 222 | 10 118.41 | + 3 | + 6 | - 5 | 2 738 | - 433 | .. | 10 114.12 | .. | .. | .. | 82 | 10 114.12 |
| 23 | t | 167 | 69 014.88 | 222 | 10 342.76 | + 7 | 0 | - 13 | 2 731 | - 442 | 26 | 10 338.28 | - | .. | .. | .. | 10 338.28 |
| 6.6. | v | 87 | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | - | - |
| | w | 167 | 72 470.65 | 222 | 10 860.68 | + 7 | 0 | - 6 | 2 736 | - 465 | .. | 10 856.04 | .. | .. | .. | .. | 10 856.04 |
| | u | 142 | 33 312.87 | 221 | 4 992.36 | + 3 | 0 | 0 | 2 753 | - 215 | .. | 4 990.24 | .17 | .. | + 2 | 4 | 4 990.19 |
| | s | 87 | 36 942.55 | 223 | 5 536.30 | + 2 | - 2 | - 3 | 2 763 | - 239 | .. | 5 533.88 | .. | - | + 2 | 4 | 5 533.90 |
| 23 a | t | 142 | 36 400.77 | 222 | 5 455.13 | + 3 | 0 | 0 | 2 759 | - 236 | 4 | 5 452.80 | - 2 | - 1.5 | + 2 | 4 | 5 452.82 |
| 6.6. | v | 87 | 51 215.78 | 222 | 7 675.35 | + 2 | - 7 | - 1 | 2 760 | - 332 | .. | 7 671.97 | + 12 | - 0.1 | - 2 | 4 | 7 671.95 |
| | w | 142 | 48 113.55 | 221 | 7 210.46 | + 4 | 0 | - 1 | 2 765 | - 312 | .. | 7 207.37 | .. | - 1.6 | - 2 | 4 | 7 207.35 |
| | u | 167 | 33 748.32 | 222 | 5 057.62 | + 4 | 0 | 0 | 2 768 | - 219 | .. | 5 055.47 | .40 | .. | 0 | 0 | 5 055.40 |
| | s | 87 | 37 567.90 | 223 | 5 630.03 | + 2 | - 8 | - 4 | 2 782 | - 245 | .. | 5 627.48 | .. | + 0.2 | - 1 | 1 | 5 627.47 |
| 24 | t | 167 | 42 595.92 | 221 | 6 383.56 | + 5 | 0 | - 6 | 2 778 | - 277 | 12 | 6 380.78 | - 23 | + 1.1 | - 1 | 1 | 6 380.77 |
| 7.6. | v | 87 | 62 620.95 | 222 | 9 384.56 | + 3 | - 6 | - 3 | 2 783 | - 408 | .. | 9 380.42 | - 9 | - | + 2 | 4 | 9 380.44 |
| | w | 167 | 51 231.38 | 220 | 7 677.70 | + 6 | 0 | - 5 | 2 779 | - 333 | .. | 7 674.38 | .. | + 1.3 | + 2 | 4 | 7 674.40 |
| | u | 142 | 49 259.67 | 222 | 7 382.20 | + 5 | 0 | 0 | 2 792 | - 322 | .. | 7 379.03 | 8.96 | .. | - 1 | 1 | 7 378.95 |
| | s | 87 | 73 423.15 | 221 | 11 003.42 | + 4 | 0 | - 5 | 2 809 | - 483 | .. | 10 998.58 | .. | .. | .. | 31 | 10 998.58 |
| 25 | t | 142 | 72 950.95 | 222 | 10 932.65 | + 7 | 0 | - 5 | 2 803 | - 479 | 15 | 10 927.88 | - | .. | .. | .. | 10 927.88 |
| 7.6. | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | - | - | .. | - | .. | .. | .. | - | - |
| | w | 142 | 85 808.30 | 221 | 12 859.51 | + 8 | 0 | - 4 | 2 808 | - 565 | .. | 12 853.90 | .. | .. | .. | .. | 12 853.90 |
| | u | 167 | 49 219.70 | 217 | 7 376.25 | + 6 | 0 | - 1 | 2 819 | - 325 | .. | 7 373.05 | 2.98 | .. | 0 | 0 | 7 372.98 |
| | s | 87 | 61 057.88 | 220 | 9 150.32 | + 4 | 0 | - 3 | 2 836 | - 406 | .. | 9 146.27 | .. | - | 0 | 0 | 9 146.27 |
| 26 | t | 167 | 61 048.25 | 221 | 9 148.89 | + 7 | 0 | - 7 | 2 830 | - 405 | 9 | 9 144.84 | - 12 | - 0.2 | 0 | 0 | 9 144.84 |
| 7.6. | v | 87 | 80 603.20 | 222 | 12 079.44 | + 4 | + 2 | - 2 | 2 837 | - 536 | .. | 12 074.12 | + 2 | - | 0 | 0 | 12 074.12 |
| | w | 167 | 74 701.45 | 220 | 11 195.00 | + 9 | 0 | - 5 | 2 831 | - 495 | .. | 11 190.09 | .. | - 0.2 | 0 | 0 | 11 190.09 |
| | u | 142 | 46 956.20 | 220 | 7 037.01 | + 4 | 0 | 0 | 2 847 | - 313 | .. | 7 033.92 | .85 | .. | 0 | 0 | 7 033.85 |
| | s | 87 | 66 787.88 | 217 | 10 009.07 | + 5 | 0 | - 3 | 2 860 | - 448 | .. | 10 004.61 | .. | .. | .. | 0 | 10 004.61 |
| 27 | t | 142 | 62 965.40 | 218 | 9 436.22 | + 7 | 0 | - 1 | 2 856 | - 422 | 15 | 9 432.06 | - | .. | .. | .. | 9 432.06 |
| 8.6. | v | .. | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | - | - |
| 6* | w | 142 | 78 198.62 | 220 | 11 719.11 | + 9 | 0 | - 2 | 2 860 | - 524 | .. | 11 713.94 | .. | .. | .. | .. | 11 713.94 |
| | u | 167 | 41 595.22 | 220 | 6 233.61 | + 5 | 0 | 0 | 2 869 | - 280 | .. | 6 230.86 | .79 | .. | - 3 | 9 | 6 230.76 |

(Fortsetzung)

Viereckskette (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|-------|---------------|---------------------------|-----------------|-----------|----------------|------|----------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------------------------------|-------|-----|-----------------------|---------------------|
| Viereck Datum 1959 | Seite | Master Nr. | L sec. $\cdot 10^{-9}$ | (n-1) 10^6 | s' m | k _f | e | k ₁ | H _m m | k ₂ | p _i | \bar{s}_0 m | W _i W' _i em | k | v | vv em ² | s ₀ m |
| 28 9.6. | s | 87 | 66 389.92 | 217 | 9 949.43 | + 6 | 0 | - 4 | 2 886 | - 449 | .. | 9 944.96 | .. | - | - 3 | 9 | 9 944.93 |
| | t | 167 | 61 406.32 | 217 | 9 202.57 | + 9 | 0 | - 10 | 2 885 | - 415 | 19 | 9 198.41 | - 40 | + 3.2 | - 3 | 9 | 9 198.38 |
| | v | 87 | 70 197.80 | 218 | 10 520.08 | + 6 | 0 | - 6 | 2 889 | - 475 | .. | 10 515.33 | - 26 | - | + 5 | 25 | 10 515.38 |
| | w | 167 | 77 578.50 | 217 | 11 625.20 | + 11 | 0 | - 6 | 2 881 | - 524 | .. | 11 621.01 | .. | + 3.2 | + 5 | 25 | 11 621.06 |
| 28 a 9.6. | u | 142 | 33 703.07 | 216 | 5 050.87 | + 4 | 0 | 0 | 2 902 | - 229 | .. | 5 048.62 | .55 | .. | - 3 | 9 | 5 048.52 |
| | s | 87 | 32 996.68 | 217 | 4 945.00 | + 3 | + 14 | - 4 | 2 909 | - 225 | .. | 4 942.88 | .. | .. | .. | 86 | 4 942.88 |
| | t | 142 | 35 686.25 | 215 | 5 348.08 | + 5 | 0 | 0 | 2 908 | - 243 | 6 | 5 345.70 | - | .. | .. | .. | 5 345.70 |
| | v | .. | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | - |
| 29 9.6. | w | 142 | 50 996.22 | 217 | 7 642.48 | + 7 | 0 | - 1 | 2 912 | - 348 | .. | 7 639.06 | .. | .. | .. | .. | 7 639.06 |
| | u | 167 | 29 182.58 | 215 | 4 373.43 | + 4 | 0 | - 3 | 2 916 | - 199 | .. | 4 371.45 | .38 | .. | - 1 | 1 | 4 371.37 |
| | s | 87 | 41 620.85 | 220 | 6 237.45 | + 3 | 0 | - 1 | 2 925 | - 285 | .. | 6 234.62 | .. | - | - 1 | 1 | 6 234.61 |
| | t | 167 | 49 232.20 | 217 | 7 378.13 | + 7 | 0 | - 4 | 2 920 | - 337 | 12 | 7 374.79 | - 20 | + 0.8 | - 1 | 1 | 7 374.78 |
| 29 9.6. | v | 87 | 57 096.35 | 218 | 8 556.68 | + 5 | 0 | - 1 | 2 925 | - 392 | .. | 8 552.80 | - 6 | + 0.2 | + 1 | 1 | 8 552.81 |
| | w | 167 | 53 882.95 | 218 | 8 075.10 | + 8 | 0 | - 6 | 2 914 | - 368 | .. | 8 071.44 | .. | + 1.0 | + 2 | 4 | 8 071.46 |
| | u | 142 | 35 305.25 | 218 | 5 290.96 | + 5 | 0 | 0 | 2 928 | - 242 | .. | 5 288.59 | .52 | .. | + 1 | 1 | 5 288.53 |
| | s | 87 | 61 998.58 | 217 | 9 231.34 | + 5 | - 9 | - 2 | 2 940 | - 427 | .. | 9 287.01 | .. | - 0.1 | + 2 | 4 | 9 287.03 |
| 30 9.6. | t | 142 | 66 282.62 | 217 | 9 933.35 | + 9 | 0 | - 1 | 2 936 | - 456 | 19 | 9 928.87 | - 1 | - 1.7 | + 2 | 4 | 9 928.89 |
| | v | 87 | 82 838.45 | 219 | 12 414.44 | + 7 | - 8 | - 1 | 2 938 | - 570 | .. | 12 408.72 | + 13 | 0 | - 3 | 9 | 12 408.69 |
| | w | 142 | 67 219.55 | 215 | 10 073.77 | + 9 | 0 | - 2 | 2 940 | - 663 | .. | 10 069.21 | .. | - 1.8 | - 2 | 4 | 10 069.19 |
| | u | 167 | 44 588.50 | 216 | 6 682.20 | + 6 | 0 | 0 | 2 947 | - 308 | .. | 6 679.18 | .11 | .. | + 1 | 1 | 6 679.12 |
| 31 9.6. | s | 87 | 38 340.30 | 221 | 5 745.79 | + 3 | + 15 | - 2 | 2 958 | - 266 | .. | 5 743.29 | .. | + 0.2 | 0 | 0 | 5 743.29 |
| | t | 167 | 37 657.02 | 219 | 5 643.31 | + 5 | 0 | - 3 | 2 956 | - 261 | 9 | 5 640.82 | - 16 | + 0.3 | - 1 | 1 | 5 640.81 |
| | v | 87 | 63 905.70 | 220 | 9 577.12 | + 5 | + 13 | - 2 | 2 959 | - 443 | .. | 9 572.85 | - 2 | - | + 1 | 1 | 9 572.86 |
| | w | 167 | 50 987.62 | 219 | 7 641.17 | + 7 | 0 | - 2 | 2 956 | - 353 | .. | 7 637.69 | .. | + 0.5 | 0 | 0 | 7 637.69 |
| 31 9.6. | u | 142 | 42 564.67 | 220 | 6 378.88 | + 6 | 0 | 0 | 2 966 | - 296 | .. | 6 375.98 | .91 | .. | - 1 | 1 | 6 375.90 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-----|-----------|-----|-----------|------|------|-----|-------|-------|----|-----------|------|-------|-----|----|-----------|
| | s | 87 | 67 203.15 | 216 | 10 071.32 | + 6 | + 6 | - 2 | 2 976 | - 469 | .. | 10 066.73 | .. | .. | .. | 34 | 10 066.73 |
| 32 | t | 167 | 68 083.16 | 219 | 10 203.20 | + 9 | 0 | - 4 | 2 976 | - 475 | 16 | 10 198.50 | - | .. | .. | | 10 198.50 |
| 13.6. | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | | - |
| | w | 167 | 80 627.50 | 220 | 12 083.12 | + 11 | 0 | - 4 | 2 971 | - 561 | .. | 12 077.58 | .. | .. | .. | | 12 077.58 |
| | u | 142 | 50 930.60 | 217 | 7 632.65 | + 8 | 0 | 0 | 2 986 | - 356 | .. | 7 629.17 | .10 | .. | - 3 | 9 | 7 629.07 |
| | s | 87 | 67 509.98 | 221 | 10 117.26 | + 6 | 0 | - 2 | 2 997 | - 474 | .. | 10 112.56 | .. | - | - 3 | 9 | 10 112.53 |
| 33 | t | 142 | 69 668.52 | 220 | 10 440.76 | + 11 | 0 | - 1 | 2 995 | - 489 | 11 | 10 435.97 | - 35 | + 2.6 | - 3 | 9 | 10 435.94 |
| 13.6. | v | 87 | 83 843.03 | 222 | 12 564.98 | + 7 | - 10 | - 1 | 2 996 | - 589 | .. | 12 559.05 | - 21 | - | + 4 | 16 | 12 559.09 |
| | w | 142 | 84 973.12 | 220 | 12 734.35 | + 13 | 0 | - 1 | 2 999 | - 597 | .. | 12 728.50 | .. | + 2.6 | + 3 | 9 | 12 728.53 |
| | u | 167 | 47 548.98 | 222 | 7 125.85 | + 7 | 0 | 0 | 3 005 | - 335 | .. | 7 122.57 | .50 | .. | - 3 | 9 | 7 122.47 |
| | s | 87 | 66 518.72 | 218 | 9 968.73 | + 5 | + 13 | - 2 | 3 017 | - 470 | .. | 9 964.19 | .. | .. | .. | 61 | 9 964.19 |
| 34 | t | 167 | 64 710.75 | 218 | 9 697.80 | + 8 | 0 | - 2 | 3 017 | - 458 | 14 | 9 693.28 | - | .. | .. | | 9 693.28 |
| 14.6. | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | | - |
| | w | 167 | 81 414.20 | 220 | 12 201.00 | + 10 | 0 | - 2 | 3 018 | - 576 | .. | 12 195.32 | .. | .. | .. | | 12 195.32 |
| | u | 142 | 45 794.55 | 219 | 6 862.94 | + 7 | 0 | 0 | 3 029 | - 325 | .. | 6 859.76 | .69 | .. | 0 | 0 | 6 859.69 |
| | s | 87 | 68 323.32 | 216 | 10 239.19 | + 5 | - 8 | - 3 | 3 040 | - 487 | .. | 10 234.26 | .. | - | 0 | 0 | 10 234.26 |
| 35 | t | 142 | 69 854.47 | 219 | 10 468.64 | + 11 | 0 | 0 | 3 038 | - 497 | 12 | 10 463.78 | - 16 | + 0.2 | 0 | 0 | 10 463.78 |
| 14.6. | v | 87 | 85 576.52 | 218 | 12 824.81 | + 7 | - 8 | - 1 | 3 036 | - 609 | .. | 12 818.70 | - 2 | - | 0 | 0 | 12 818.70 |
| | w | 142 | 82 891.00 | 218 | 12 422.34 | + 13 | 0 | - 1 | 3 044 | - 591 | .. | 12 416.55 | .. | + 0.2 | 0 | 0 | 12 416.55 |
| | u | 167 | 50 754.10 | 218 | 7 606.19 | + 6 | 0 | 0 | 3 049 | - 363 | .. | 7 602.62 | .55 | .. | 0 | 0 | 7 602.55 |
| | s | 87 | 65 848.12 | 219 | 9 868.22 | + 4 | - 16 | - 2 | 3 061 | - 472 | .. | 9 863.36 | .. | .. | 0 | | 9 863.36 |
| 36 | t | 167 | 66 111.32 | 219 | 9 907.67 | + 7 | 0 | - 3 | 3 058 | - 473 | 11 | 9 902.98 | - | .. | .. | | 9 902.98 |
| 16.6. | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | | - |
| | w | 167 | 81 627.28 | 217 | 12 232.97 | + 9 | 0 | - 3 | 3 057 | - 585 | .. | 12 227.18 | .. | .. | .. | | 12 227.18 |
| | u | 142 | 49 953.17 | 217 | 7 486.17 | + 8 | 0 | 0 | 3 070 | - 360 | .. | 7 482.65 | .58 | .. | - 3 | 9 | 7 482.55 |
| | s | 87 | 67 549.75 | 219 | 10 123.23 | + 5 | + 6 | - 1 | 3 079 | - 487 | .. | 10 118.46 | .. | - | - 3 | 9 | 10 118.43 |
| 37 | t | 142 | 70 666.87 | 219 | 10 590.39 | + 11 | 0 | - 1 | 3 077 | - 510 | 9 | 10 585.39 | - 38 | + 3.0 | - 3 | 9 | 10 585.36 |
| 16.6. | v | 87 | 89 584.48 | 219 | 13 425.45 | + 6 | + 9 | - 2 | 3 082 | - 647 | .. | 13 419.11 | - 24 | - 0.1 | + 4 | 16 | 13 419.15 |
| | w | 142 | 84 013.80 | 218 | 12 590.61 | + 14 | 0 | - 1 | 3 079 | - 606 | .. | 12 584.68 | .. | + 2.9 | + 4 | 16 | 12 584.72 |
| | u | 167 | 55 401.32 | 218 | 8 302.65 | + 6 | 0 | 0 | 3 085 | - 400 | .. | 8 298.71 | .64 | .. | - 3 | 9 | 8 298.61 |

(Fortsetzung)

Viereckskette (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 14 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|-------|---------------|---------------------------|-----------------|-----------|----------------|-----|----------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|----------------------------|----------------|---------|-----------------------|---------------------|
| Viereck Datum 1959 | Seite | Master Nr. | L sec. $\cdot 10^{-9}$ | (n-1) 10^6 | s' m | k _f | e | k ₁ | H _m m | k ₂ | p _i | \bar{s}_0 m | W _i W' cm | k _i | v cm | vv cm ² | s ₀ m |
| 38 16.6. | s | 87 | 68 439.12 | 218 | 10 256.53 | + 5 | - 3 | - 2 | 3 096 | - 497 | .. | 10 251.56 | .. | - 0.4 | 0 | 0 | 10 251.56 |
| | t | 167 | 63 727.05 | 219 | 9 550.35 | + 7 | 0 | - 4 | 3 096 | - 462 | 7 | 9 545.76 | - 19 | + 0.6 | 0 | 0 | 9 545.76 |
| | v | 87 | 89 448.00 | 218 | 13 405.00 | + 6 | - 6 | - 2 | 3 099 | - 649 | .. | 13 398.49 | - 5 | - | 0 | 0 | 13 398.49 |
| | w | 167 | 84 090.45 | 220 | 12 602.09 | + 9 | 0 | - 2 | 3 095 | - 610 | .. | 12 596.06 | .. | + 0.2 | + 1 | 1 | 12 596.07 |
| 39 16.6. | u | 142 | 57 314.85 | 218 | 8 589.42 | + 9 | 0 | 0 | 3 108 | - 418 | .. | 8 585.33 | .26 | .. | 0 | 0 | 8 585.26 |
| | s | 87 | 66 015.20 | 217 | 9 893.28 | + 4 | + 9 | - 1 | 3 114 | - 482 | .. | 9 888.58 | .. | .. | 69 | .. | 9 888.58 |
| | t | 142 | 72 597.62 | 217 | 10 879.75 | + 12 | 0 | - 1 | 3 116 | - 530 | 11 | 10 874.56 | - | .. | .. | .. | 10 874.56 |
| | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - |
| 40 17.6. | w | 142 | 86 192.15 | 216 | 12 917.11 | + 14 | 0 | - 1 | 3 116 | - 630 | .. | 12 910.94 | .. | .. | .. | .. | 12 910.94 |
| | u | 167 | 49 417.75 | 217 | 7 405.93 | + 5 | 0 | 0 | 3 121 | - 362 | .. | 7 402.36 | .29 | .. | - 2 | 4 | 7 402.27 |
| | s | 87 | 65 470.35 | 217 | 9 811.63 | + 4 | - 5 | - 2 | 3 131 | - 480 | .. | 9 806.79 | .. | - | - 1 | 1 | 9 806.78 |
| | t | 167 | 58 154.88 | 216 | 8 715.32 | + 6 | 0 | - 2 | 3 128 | - 427 | 8 | 8 711.09 | - 27 | + 1.6 | - 2 | 4 | 8 711.07 |
| 41 17.6. | v | 87 | 84 852.22 | 216 | 12 716.29 | + 5 | - 3 | - 1 | 3 128 | - 622 | .. | 12 710.08 | - 13 | - | + 2 | 4 | 12 710.10 |
| | w | 167 | 75 232.55 | 216 | 11 274.65 | + 8 | 0 | - 2 | 3 131 | - 552 | .. | 11 269.19 | .. | + 1.6 | + 2 | 4 | 11 269.21 |
| | u | 142 | 53 150.82 | 215 | 7 965.40 | + 9 | 0 | 0 | 3 139 | - 391 | .. | 7 961.58 | .51 | .. | - 2 | 4 | 7 961.49 |
| | s | 87 | 67 022.15 | 214 | 10 044.22 | + 4 | - 3 | - 1 | 3 147 | - 494 | .. | 10 039.28 | .. | .. | 21 | .. | 10 039.28 |
| 42 17.6. | t | 167 | 68 682.52 | 215 | 10 293.05 | + 7 | 0 | 0 | 3 144 | - 506 | 7 | 10 288.06 | - | .. | .. | .. | 10 288.06 |
| | v | 87 | 92 260.71 | 214 | 13 826.58 | + 6 | - 2 | 0 | 3 145 | - 680 | .. | 13 819.82 | .. | .. | .. | .. | 13 819.82 |
| | w | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - |
| | u | 167 | 61 981.40 | 213 | 9 288.80 | + 6 | 0 | 0 | 3 153 | - 458 | .. | 9 284.28 | .21 | .. | + 1 | 1 | 9 284.22 |
| 42 17.6. | s | 87 | 66 545.58 | 213 | 9 972.80 | + 4 | 0 | - 1 | 3 160 | - 493 | .. | 9 967.90 | .. | - | + 1 | 1 | 9 967.91 |
| | t | 167 | 66 226.50 | 214 | 9 924.97 | + 7 | .. | - 1 | 3 160 | - 490 | 6 | 9 920.13 | - 5 | - 1.1 | + 1 | 1 | 9 920.14 |
| | v | 87 | 85 687.75 | 213 | 12 841.54 | + 5 | 0 | - 1 | 3 160 | - 635 | .. | 12 835.23 | + 9 | - 0.3 | - 2 | 4 | 12 835.21 |
| | w | 167 | 89 693.40 | 212 | 13 441.85 | + 9 | 0 | 0 | 3 161 | - 664 | .. | 13 435.30 | .. | - 1.4 | - 2 | 4 | 13 435.28 |
| 42 17.6. | u | 142 | 53 028.75 | 212 | 7 947.14 | + 9 | 0 | 0 | 3 166 | - 394 | .. | 7 943.29 | .22 | .. | - 1 | 1 | 7 943.21 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-----|-----------|-----|-----------|------|------|-----|-------|-------|----|-----------|------|-------|-----|-----|-----------|
| | s | 87 | 39 102.38 | 220 | 5 860.06 | + 2 | - 6 | 0 | 3 169 | - 290 | .. | 5 857.12 | .. | + 0.1 | - 3 | 9 | 5 857.09 |
| 42 a | t | 142 | 39 097.55 | 216 | 5 859.33 | + 6 | 0 | 0 | 3 169 | - 290 | 9 | 5 856.49 | - 30 | + 2.1 | - 3 | 9 | 5 856.46 |
| 17.6. | v | 87 | 64 151.58 | 219 | 9 613.98 | + 4 | - 7 | 0 | 3 166 | - 476 | .. | 9 609.19 | - 16 | + 0.6 | + 4 | 16 | 9 609.23 |
| | w | 142 | 64 521.17 | 216 | 9 669.38 | + 11 | 0 | 0 | 3 172 | - 480 | .. | 9 664.69 | .. | + 2.8 | + 4 | 16 | 9 664.73 |
| | u | 167 | 49 226.40 | 217 | 7 377.25 | + 5 | 0 | 0 | 3 172 | - 366 | .. | 7 373.64 | .57 | .. | + 2 | 4 | 7 373.59 |
| | s | 87 | 43 439.92 | 207 | 6 510.14 | + 2 | + 5 | 0 | 3 174 | - 323 | .. | 6 506.98 | .. | - 0.3 | + 5 | 25 | 6 507.03 |
| 43 | t | 142 | 36 737.30 | 211 | 5 505.62 | + 6 | 0 | 0 | 3 172 | - 273 | 8 | 5 502.95 | + 23 | - 4.7 | + 5 | 25 | 5 503.00 |
| 18.6. | v | 87 | 65 512.42 | 213 | 9 817.98 | + 3 | + 4 | 0 | 3 173 | - 487 | .. | 9 813.18 | + 37 | - | - 7 | 49 | 9 813.11 |
| | w | 142 | 64 549.85 | 209 | 9 673.77 | + 10 | 0 | 0 | 3 176 | - 480 | .. | 9 669.07 | .. | - 5.0 | - 7 | 49 | 9 669.00 |
| | u | 167 | 53 506.30 | 312 | 8 018.70 | + 5 | 0 | 0 | 3 174 | - 398 | .. | 8 014.77 | .70 | .. | + 5 | 25 | 8 014.75 |
| | s | 87 | 66 541.62 | 212 | 9 972.23 | + 4 | - 4 | 0 | 3 172 | - 495 | .. | 9 967.28 | .. | .. | .. | 239 | 9 967.28 |
| 44 | t | 167 | 70 317.98 | 211 | 10 538.18 | + 7 | 0 | 0 | 3 171 | - 523 | 10 | 10 533.02 | - | .. | .. | .. | 10 533.02 |
| 18.6. | v | - | - | .. | - | .. | .. | .. | .. | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | - |
| | w | 167 | 89 130.95 | 212 | 13 357.57 | + 9 | 0 | 0 | 3 170 | - 662 | .. | 13 351.04 | .. | .. | .. | .. | 13 351.04 |
| | u | 142 | 53 502.20 | 211 | 8 018.10 | + 9 | 0 | 0 | 3 169 | - 397 | .. | 8 014.22 | .15 | .. | - 4 | 16 | 8 014.11 |
| | s | 87 | 67 123.30 | 209 | 10 059.43 | + 4 | + 10 | - 1 | 3 161 | - 497 | .. | 10 054.59 | .. | - | - 4 | 16 | 10 054.55 |
| 45 | t | 142 | 66 623.17 | 213 | 9 984.44 | + 11 | 0 | - 1 | 3 159 | - 483 | 5 | 9 979.61 | - 44 | + 3.8 | - 4 | 16 | 9 979.57 |
| 18.6. | v | 87 | 88 347.46 | 215 | 13 240.12 | + 5 | + 4 | - 1 | 3 159 | - 654 | .. | 13 233.66 | - 30 | + 0.2 | + 6 | 36 | 13 233.72 |
| | w | 142 | 87 237.87 | 210 | 13 073.87 | + 14 | 0 | - 1 | 3 162 | - 646 | .. | 13 067.54 | .. | + 4.0 | + 6 | 36 | 13 067.60 |
| | u | 167 | 60 484.65 | 214 | 9 064.49 | + 6 | 0 | 0 | 3 152 | - 447 | .. | 9 060.08 | .01 | .. | - 2 | 4 | 9 059.99 |
| | s | 87 | 50 412.30 | 214 | 7 555.00 | + 3 | + 2 | - 1 | 3 148 | - 372 | .. | 7 551.32 | .. | - 0.5 | + 2 | 4 | 7 551.34 |
| 45 a | t | 167 | 51 025.22 | 213 | 7 646.86 | + 5 | 0 | 0 | 3 145 | - 376 | 7 | 7 643.15 | 0 | - 1.8 | + 2 | 4 | 7 643.17 |
| 18.6. | v | 87 | 70 402.10 | 214 | 10 550.77 | + 4 | + 4 | - 1 | 3 148 | - 519 | .. | 10 545.65 | + 14 | + 0.2 | - 3 | 9 | 10 545.62 |
| | w | 167 | 79 866.38 | 214 | 11 969.12 | + 8 | 0 | 0 | 3 145 | - 589 | .. | 11 963.31 | .. | - 2.1 | - 3 | 9 | 11 963.28 |
| | u | 142 | 51 173.62 | 212 | 7 669.10 | + 8 | 0 | 0 | 3 142 | - 377 | .. | 7 665.41 | .34 | .. | + 3 | 9 | 7 665.37 |
| | s | 87 | 50 242.30 | 213 | 7 529.54 | + 2 | - 2 | - 1 | 3 137 | - 369 | .. | 7 525.84 | .. | + 0.2 | + 1 | 1 | 7 525.85 |
| 46 | t | 142 | 48 430.10 | 213 | 7 257.35 | + 8 | 0 | - 2 | 3 134 | - 356 | 3 | 7 254.45 | - 4 | - 1.3 | + 1 | 1 | 7 254.46 |
| 19.6. | v | 87 | 71 774.55 | 212 | 10 756.47 | + 3 | 0 | - 2 | 3 134 | - 527 | .. | 10 751.21 | + 10 | - 0.2 | - 2 | 4 | 10 751.19 |
| | w | 142 | 74 030.25 | 212 | 11 094.51 | + 12 | 0 | - 1 | 3 138 | - 544 | .. | 11 089.18 | .. | - 1.3 | - 2 | 4 | 11 089.16 |
| | u | 167 | 56 328.78 | 212 | 8 441.68 | + 5 | 0 | 0 | 3 129 | - 413 | .. | 8 437.60 | .53 | .. | - 1 | 1 | 8 437.52 |

(Fortsetzung)

Viereckskette (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|-------|---------------|---------------------|-------------------|-----------|----------------|------|----------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|-----------------------------------------|----------------|---------|-----------------------|---------------------|
| Viereck Datum 1959 | Seite | Master Nr. | L sec. 10^{-9} | $(n-1)$ 10^6 | s' m | k _f | e | k ₁ | H _m m | k ₂ | p _i | \bar{s}_0 m | W _i W' _i em | k _i | v em | vv em ² | s ₀ m |
| 46 a 19.6. | s | 87 | 50 305.90 | 212 | 7 539.06 | + 2 | - 6 | - 1 | 3 125 | - 368 | .. | 7 535.33 | .. | + 0.2 | - 2 | 4 | 7 535.31 |
| | t | 167 | 54 301.05 | 213 | 8 137.80 | + 5 | 0 | 0 | 3 121 | - 397 | 6 | 8 133.88 | - 28 | + 1.8 | - 2 | 4 | 8 133.86 |
| | v | 87 | 68 096.85 | 213 | 10 205.30 | + 3 | - 5 | - 1 | 3 125 | - 499 | .. | 10 200.28 | - 14 | + 0.1 | + 3 | 9 | 10 200.31 |
| | w | 167 | 78 440.75 | 213 | 11 755.47 | + 7 | 0 | 0 | 3 122 | - 574 | .. | 11 749.80 | .. | + 2.1 | + 3 | 9 | 11 749.83 |
| | u | 142 | 47 210.60 | 213 | 7 075.19 | + 8 | 0 | 0 | 3 118 | - 345 | .. | 7 071.82 | .75 | .. | - 1 | 1 | 7 071.74 |
| 47 19.6. | s | 87 | 50 520.10 | 212 | 7 571.16 | + 2 | + 7 | - 1 | 3 111 | - 368 | .. | 7 567.56 | .. | - 0.2 | + 1 | 1 | 7 567.57 |
| | t | 142 | 52 980.37 | 213 | 7 939.87 | + 9 | 0 | - 3 | 3 107 | - 386 | 4 | 7 936.07 | - 6 | - 1.0 | + 1 | 1 | 7 936.08 |
| | v | 87 | 68 823.88 | 214 | 10 314.25 | + 3 | + 2 | - 2 | 3 108 | - 501 | .. | 10 309.27 | + 8 | 0 | - 2 | 4 | 10 309.25 |
| | w | 142 | 69 602.40 | 312 | 10 430.93 | + 12 | 0 | - 1 | 3 109 | - 507 | .. | 10 425.97 | .. | - 1.2 | - 2 | 4 | 10 425.95 |
| | u | 167 | 44 777.58 | 212 | 6 710.58 | + 4 | 0 | 0 | 3 100 | - 325 | .. | 6 707.37 | .30 | .. | + 2 | 4 | 6 707.32 |
| 47 a 19.6. | s | 87 | 50 247.82 | 210 | 7 530.38 | + 2 | + 6 | - 1 | 3 097 | - 365 | .. | 7 526.80 | .. | + 0.1 | + 1 | 1 | 7 526.81 |
| | t | 167 | 51 012.82 | 213 | 7 645.00 | + 4 | 0 | - 1 | 3 092 | - 369 | 5 | 7 641.34 | - 11 | - 0.4 | + 1 | 1 | 7 641.35 |
| | v | 87 | 70 475.48 | 214 | 10 561.76 | + 3 | 0 | - 2 | 3 096 | - 511 | .. | 10 556.66 | + 3 | - 0.5 | - 1 | 1 | 10 556.65 |
| | w | 167 | 65 703.45 | 212 | 9 846.60 | + 6 | 0 | 0 | 3 095 | - 477 | .. | 9 841.89 | .. | - 0.8 | - 1 | 1 | 9 841.88 |
| | u | 142 | 46 417.95 | 213 | 6 956.40 | + 8 | 0 | 0 | 3 090 | - 336 | .. | 6 953.12 | .05 | .. | - 3 | 9 | 6 953.02 |
| 48 19.6. | s | 87 | 50 117.18 | 215 | 7 510.77 | + 2 | - 11 | - 1 | 3 083 | - 362 | .. | 7 507.05 | .. | 0 | - 4 | 16 | 7 507.01 |
| | t | 142 | 53 778.00 | 215 | 8 059.40 | + 9 | 0 | - 2 | 3 078 | - 388 | 5 | 8 055.59 | - 43 | + 3.7 | - 4 | 16 | 8 055.55 |
| | v | 87 | 76 105.57 | 215 | 11 405.51 | + 4 | - 6 | - 2 | 3 080 | - 550 | .. | 11 399.97 | - 29 | 0 | + 5 | 25 | 11 400.02 |
| | w | 142 | 65 788.32 | 214 | 9 859.31 | + 11 | 0 | - 1 | 3 084 | - 476 | .. | 9 854.65 | .. | + 3.7 | + 5 | 25 | 9 854.70 |
| | u | 167 | 50 906.38 | 216 | 7 629.02 | + 4 | 0 | - 1 | 3 072 | - 367 | .. | 7 625.38 | .31 | .. | - 3 | 9 | 7 625.28 |
| 48 a 20.6. | s | 87 | 50 780.00 | 215 | 7 610.10 | + 2 | 0 | - 2 | 3 068 | - 365 | .. | 7 606.45 | .. | - 0.5 | + 1 | 1 | 7 606.46 |
| | t | 167 | 45 423.45 | 214 | 6 807.36 | + 3 | 0 | 0 | 3 064 | - 326 | 4 | 6 809.13 | - 15 | + 0.1 | + 1 | 1 | 6 804.14 |
| | v | 87 | 72 610.85 | 215 | 10 881.76 | + 3 | - 4 | - 1 | 3 069 | - 522 | .. | 10 876.52 | - 1 | - 0.3 | - 1 | 1 | 10 876.51 |
| | w | 167 | 67 158.92 | 214 | 10 064.71 | + 5 | 0 | 0 | 3 062 | - 482 | .. | 10 059.94 | .. | - 0.7 | - 1 | 1 | 10 059.93 |
| | u | 142 | 50 775.05 | 214 | 7 609.37 | + 9 | 0 | 0 | 3 059 | - 364 | .. | 7 605.82 | .75 | .. | - 2 | 4 | 7 605.73 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-----|-----------|-----|-----------|------|------|-----|-------|-------|----|-----------|------|-------|-----|----|-----------|
| | s | 87 | 66 369.55 | 213 | 9 846.42 | + 3 | + 10 | - 2 | 3 048 | - 474 | .. | 9 941.79 | .. | 0 | - 2 | 4 | 9 941.77 |
| 49 | t | 142 | 67 593.47 | 213 | 10 129.86 | + 12 | 0 | - 6 | 3 043 | - 482 | 11 | 10 125.10 | - 31 | + 2.2 | - 2 | 4 | 10 125.08 |
| 20.6. | v | 87 | 83 104.75 | 214 | 12 454.43 | + 4 | + 9 | - 5 | 3 042 | - 592 | .. | 12 448.59 | - 17 | 0 | + 3 | 9 | 12 448.62 |
| | w | 142 | 82 723.05 | 213 | 12 397.24 | + 14 | 0 | - 2 | 3 049 | - 591 | .. | 12 391.45 | .. | + 2.2 | + 3 | 9 | 12 391.48 |
| | u | 167 | 47 046.00 | 215 | 7 050.51 | + 4 | 0 | - 1 | 3 032 | - 334 | .. | 7 047.20 | .13 | + 2.2 | - 2 | 4 | 7 047.11 |
| | s | 87 | 66 430.15 | 213 | 9 955.50 | + 3 | 0 | - 4 | 3 024 | - 471 | .. | 9 950.78 | .. | - 0.3 | 0 | 0 | 9 950.78 |
| 49 a | t | 167 | 65 745.98 | 214 | 9 852.97 | + 5 | 0 | - 1 | 3 018 | - 465 | 13 | 9 848.36 | - 14 | 0 | 0 | 0 | 9 848.36 |
| 30.6. | v | 87 | 80 794.10 | 215 | 12 108.15 | + 4 | 0 | - 3 | 3 023 | - 573 | .. | 12 102.43 | 0 | + 0.2 | 0 | 0 | 12 102.43 |
| | w | 167 | 79 047.95 | 215 | 11 846.46 | + 6 | 0 | - 1 | 3 019 | - 560 | .. | 11 840.91 | .. | - 0.1 | 0 | 0 | 11 840.91 |
| | u | 142 | 42 949.85 | 213 | 6 436.66 | + 7 | 0 | 0 | 3 010 | - 303 | .. | 6 433.70 | .63 | .. | + 2 | 4 | 6 433.65 |
| | s | 87 | 49 985.48 | 216 | 7 491.02 | + 2 | + 6 | - 2 | 3 002 | - 352 | .. | 7 487.56 | .. | 0 | + 1 | 1 | 7 487.57 |
| 50 | t | 142 | 55 109.55 | 215 | 8 258.95 | + 9 | 0 | - 5 | 2 996 | - 387 | 9 | 8 255.12 | - 1 | - 1.7 | + 2 | 4 | 8 255.14 |
| 20.6. | v | 87 | 68 855.38 | 217 | 10 318.94 | + 3 | + 10 | - 5 | 2 996 | - 484 | .. | 10 314.18 | + 13 | + 0.1 | - 2 | 4 | 10 314.16 |
| | w | 142 | 65 143.65 | 215 | 9 762.68 | + 11 | 0 | - 1 | 3 000 | - 458 | .. | 9 758.20 | .. | - 1.6 | - 2 | 4 | 9 758.18 |
| | u | 167 | 40 477.68 | 216 | 6 066.15 | + 3 | 0 | - 1 | 2 987 | - 284 | .. | 6 063.33 | .26 | .. | + 3 | 9 | 6 063.29 |
| | s | 87 | 51 025.22 | 218 | 7 646.83 | + 2 | + 4 | - 4 | 2 980 | - 357 | .. | 7 643.28 | .. | + 0.2 | + 1 | 1 | 7 643.29 |
| 50 a | t | 167 | 53 657.22 | 219 | 8 041.26 | + 4 | 0 | - 2 | 2 972 | - 374 | 10 | 8 037.54 | - 7 | - 0.9 | + 1 | 1 | 8 037.55 |
| 20.6. | v | 87 | 75 387.28 | 218 | 11 290.32 | + 3 | + 3 | - 3 | 2 979 | - 526 | .. | 11 285.09 | + 7 | - 0.4 | - 1 | 1 | 11 285.08 |
| | w | 167 | 59 997.65 | 219 | 8 991.46 | + 4 | 0 | - 1 | 2 974 | - 418 | .. | 8 987.31 | .. | - 1.1 | - 2 | 4 | 8 987.29 |
| | u | 142 | 46 868.40 | 217 | 7 023.88 | + 8 | 0 | 0 | 2 965 | - 326 | .. | 7 020.70 | .63 | .. | - 2 | 4 | 7 020.61 |
| | s | 87 | 49 160.10 | 217 | 7 367.33 | + 2 | 0 | - 3 | 2 957 | - 341 | .. | 7 363.91 | .. | + 0.1 | - 3 | 9 | 7 363.88 |
| 51 | t | 142 | 50 320.72 | 217 | 7 541.25 | + 9 | 0 | - 9 | 2 945 | - 347 | 5 | 7 537.78 | - 39 | + 3.2 | - 3 | 9 | 7 537.75 |
| 21.6. | v | 87 | 74 806.08 | 216 | 11 210.75 | + 2 | + 6 | - 8 | 2 947 | - 517 | .. | 11 205.58 | - 25 | 0 | + 5 | 25 | 11 205.63 |
| | w | 142 | 61 828.92 | 217 | 9 265.91 | + 11 | 0 | - 2 | 2 963 | - 430 | .. | 9 261.70 | .. | + 3.3 | + 5 | 25 | 9 261.75 |
| | u | 167 | 47 699.45 | 216 | 7 148.43 | + 3 | 0 | - 2 | 2 937 | - 328 | .. | 7 145.16 | .09 | .. | - 3 | 9 | 7 145.06 |
| | s | 87 | 45 005.75 | 215 | 6 744.74 | + 2 | + 19 | - 2 | 2 937 | - 310 | .. | 6 741.83 | .. | - 0.4 | 0 | 0 | 6 741.83 |
| 51 a | t | 167 | 49 735.88 | 216 | 7 453.62 | + 3 | 0 | - 2 | 2 920 | - 340 | 7 | 7 450.23 | - 16 | + 0.2 | + 1 | 1 | 7 450.24 |
| 21.6. | v | 87 | 75 879.72 | 216 | 11 371.62 | + 3 | + 11 | - 4 | 2 931 | - 521 | .. | 11 366.51 | - 2 | - 0.5 | - 1 | 1 | 11 366.50 |
| | w | 167 | 58 418.67 | 215 | 8 769.86 | + 4 | 0 | 0 | 2 930 | - 402 | .. | 8 765.88 | .. | - 0.6 | - 1 | 1 | 8 765.87 |
| | u | 142 | 49 298.65 | 218 | 7 388.07 | + 9 | 0 | - 2 | 2 921 | - 338 | .. | 7 384.76 | .69 | .. | - 3 | 9 | 7 384.66 |

(Fortsetzung)

Viereckskette (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|------------------------|-----|---------------------------|-------------------|-----------|----------------|------|----------------|---------------------|----------------|----------------|------------------|----------------------|----------------|---------|-----------------------|---------------------|
| Viereck Datum 1959 | Seite Master Nr. | | L sec. $\cdot 10^{-9}$ | $(n-1)$ 10^6 | s' m | k _f | e | k ₁ | H _m m | k ₂ | p _i | \bar{s}_0 m | W _i cm | k _i | v cm | vv cm ² | s ₀ m |
| 52 21.6. | s | 87 | 59 254.25 | 216 | 8 880.68 | + 2 | - 8 | - 4 | 2 915 | - 405 | .. | 8 875.93 | .. | 0 | - 4 | 16 | 8 875.89 |
| | t | 142 | 65 154.57 | 218 | 9 764.31 | + 11 | 0 | - 4 | 2 899 | - 443 | 17 | 9 759.95 | - 43 | + 3.7 | - 4 | 16 | 9 759.91 |
| 53 21.6. | v | 87 | 80 945.42 | 218 | 12 130.77 | + 3 | - 13 | - 7 | 2 908 | - 552 | .. | 12 125.08 | - 29 | - | + 5 | 25 | 12 125.13 |
| | w | 142 | 66 045.00 | 218 | 9 897.76 | + 11 | 0 | - 1 | 2 908 | - 450 | .. | 9 893.36 | .. | + 3.7 | + 5 | 25 | 9 893.41 |
| 54 24.6. | u | 167 | 33 037.60 | 219 | 4 951.14 | + 2 | 0 | - 3 | 2 894 | - 224 | .. | 4 948.89 | .82 | .. | - 4 | 16 | 4 948.78 |
| | s | 87 | 66 599.02 | 219 | 9 980.76 | + 2 | 0 | - 6 | 2 885 | - 450 | .. | 9 976.22 | .. | .. | .. | 577 | 9 976.22 |
| 54 24.6. | u | 167 | 58 360.68 | 219 | 8 746.14 | + 4 | 0 | - 1 | 2 876 | - 394 | .. | 8 742.23 | .. | .. | + 1 | 1 | 8 742.17 |
| | s | 87 | 55 329.45 | 227 | 8 291.79 | + 1 | + 6 | - 2 | 2 859 | - 371 | .. | 8 288.13 | .. | - | 0 | 0 | 8 288.13 |
| 55 24.6. | t | 167 | 57 103.60 | 228 | 8 557.66 | 0 | + 15 | - 1 | 2 877 | - 385 | 4 | 8 553.95 | - 9 | - 0.6 | + 1 | 1 | 8 553.96 |
| | v | 87 | 82 193.18 | 227 | 12 317.65 | + 1 | + 5 | 0 | 2 870 | - 553 | .. | 12 312.18 | + 5 | - | - 1 | 1 | 12 312.17 |
| 55 24.6. | w | 167 | 74 425.72 | 226 | 11 153.63 | 0 | + 18 | - 5 | 2 865 | - 500 | .. | 11 148.76 | .. | - 0.6 | - 1 | 1 | 11 148.75 |
| | u | 142 | 51 225.50 | 228 | 7 676.76 | + 1 | 0 | - 3 | 2 860 | - 344 | .. | 7 673.30 | .23 | .. | 0 | 0 | 7 673.33 |
| 54 a 24.6. | s | 87 | 64 991.52 | 227 | 9 739.77 | + 1 | + 12 | - 2 | 2 838 | - 432 | .. | 9 735.56 | .. | .. | .. | 4 | 9 735.56 |
| | t | 142 | 65 388.00 | 229 | 9 799.18 | + 1 | 0 | - 3 | 2 856 | - 438 | 14 | 9 734.78 | - | .. | .. | .. | 9 794.78 |
| 55 24.6. | v | - | - | .. | - | .. | .. | - | .. | .. | - | .. | .. | .. | .. | - | .. |
| | w | 142 | 81 476.77 | 227 | 12 210.29 | + 1 | 0 | - 6 | 2 848 | - 544 | .. | 12 204.80 | .. | .. | .. | .. | 12 204.80 |
| 55 24.6. | u | 167 | 41 186.38 | 230 | 6 172.27 | 0 | 0 | - 2 | 2 836 | - 274 | .. | 6 169.51 | .44 | .. | - 1 | 1 | 6 169.43 |
| | s | 87 | 52 302.18 | 227 | 7 838.12 | + 1 | + 5 | - 2 | 2 821 | - 346 | .. | 7 834.70 | .. | - | - 1 | 1 | 7 834.69 |
| 55 24.6. | t | 167 | 52 813.28 | 227 | 7 914.72 | 0 | 0 | - 1 | 2 837 | - 351 | 8 | 7 911.20 | - 23 | + 1.1 | - 1 | 1 | 7 911.19 |
| | v | 87 | 68 133.78 | 228 | 10 210.67 | + 1 | + 10 | 0 | 2 828 | - 352 | .. | 10 206.26 | - 9 | 0 | + 2 | 4 | 10 206.28 |
| 55 24.6. | w | 167 | 65 512.52 | 227 | 9 817.85 | 0 | 0 | - 3 | 2 826 | - 434 | .. | 9 813.48 | .. | + 1.1 | + 2 | 4 | 8 813.50 |
| | u | 142 | 41 395.00 | 229 | 6 203.54 | + 1 | 0 | - 2 | 2 821 | - 274 | .. | 6 200.79 | .72 | .. | - 1 | 1 | 6 200.71 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|-----|-----------|-----|-----------|-----|------|-----|-------|-------|----|-----------|------|-------|-----|----|-----------|
| | s | 87 | 53 814.18 | 229 | 8 064.71 | + 1 | + 13 | - 3 | 2 802 | - 353 | .. | 8 061.29 | .. | - 0.1 | 0 | 0 | 8 061.29 |
| 55 a | t | 142 | 53 513.37 | 230 | 8 019.63 | + 1 | 0 | - 1 | 2 819 | - 354 | 7 | 8 016.09 | - 14 | 0 | 0 | 0 | 8 016.09 |
| 25.6. | v | 87 | 72 861.98 | 229 | 10 919.24 | + 2 | + 16 | 0 | 2 813 | - 480 | .. | 10 914.62 | 0 | - 0.1 | 0 | 0 | 10.914.62 |
| | w | 142 | 67 013.65 | 229 | 10 042.80 | + 2 | 0 | - 6 | 2 807 | - 441 | .. | 10 038.35 | .. | - 0.2 | 0 | 0 | 10 038.35 |
| | u | 167 | 48 811.35 | 229 | 7 314.97 | 0 | 0 | - 2 | 2 800 | - 320 | .. | 7 311.75 | .68 | .. | - 1 | 1 | 7 311.67 |
| | s | 87 | 53 639.15 | 230 | 8 038.46 | + 1 | - 9 | 0 | 2 786 | - 350 | .. | 8 034.88 | .. | 0 | - 1 | 1 | 8 034.87 |
| 56 | t | 167 | 53 162.92 | 231 | 7 967.07 | 0 | 0 | - 1 | 2 801 | - 349 | 4 | 7 963.57 | - 21 | + 0.9 | - 1 | 1 | 7 963.56 |
| 25.6. | v | 87 | 70 396.68 | 231 | 10 549.76 | + 2 | - 6 | 0 | 2 795 | - 461 | .. | 10 545.11 | - 7 | + 0.3 | + 2 | 4 | 10 545.13 |
| | w | 167 | 72 053.50 | 231 | 10 798.06 | + 1 | 0 | - 3 | 2 793 | - 472 | .. | 10 793.32 | .. | + 1.2 | + 2 | 4 | 10 793.34 |
| | u | 87 | 45 526.72 | 230 | 6 822.71 | + 1 | - 5 | - 1 | 2 787 | - 297 | .. | 6 819.68 | .62 | .. | + 1 | 1 | 6 819.63 |
| | s | 87 | 53 836.08 | 232 | 8 067.96 | + 1 | - 4 | - 1 | 2 773 | - 350 | .. | 8 064.42 | .. | - 0.1 | + 2 | 4 | 8 064.44 |
| 56 a | t | 142 | 53 195.77 | 231 | 7 972.01 | + 1 | 0 | - 1 | 2 787 | - 347 | 13 | 7 968.54 | + 7 | - 2.7 | + 2 | 4 | 7 968.56 |
| 25.6. | v | 87 | 60 828.08 | 229 | 9 115.82 | + 1 | - 6 | - 1 | 2 775 | - 396 | .. | 9 111.80 | + 21 | + 0.8 | - 3 | 9 | 9 111.77 |
| | w | 142 | 70 592.25 | 232 | 10 579.07 | + 2 | 0 | - 4 | 2 779 | - 460 | .. | 10 574.45 | .. | - 2.0 | - 3 | 9 | 10 574.42 |
| | u | 167 | 32 537.12 | 232 | 4 876.07 | 0 | 0 | - 2 | 2 773 | - 212 | .. | 4 873.93 | .86 | .. | + 8 | 64 | 4 873.94 |
| | s | 87 | 53 384.55 | 229 | 8 000.30 | + 1 | 0 | 0 | 2 761 | - 345 | .. | 7 996.96 | .. | + 0.3 | + 5 | 25 | 7 996.91 |
| 57 | t | 167 | 53 049.82 | 228 | 7 950.15 | 0 | 0 | - 1 | 2 778 | - 345 | 16 | 7 946.69 | + 34 | - 6.2 | + 6 | 36 | 7 946.75 |
| 25.6. | v | 87 | 61 599.70 | 228 | 9 231.46 | + 1 | + 10 | 0 | 2 770 | - 400 | .. | 9 227.57 | + 48 | + 0.2 | - 8 | 64 | 9 227.49 |
| | w | 167 | 64 116.35 | 228 | 9 608.69 | + 1 | 0 | - 2 | 2 765 | - 416 | .. | 9 604.52 | .. | - 5.7 | - 8 | 64 | 9 604.44 |
| | u | 142 | 34 441.30 | 228 | 5 161.45 | + 1 | 0 | - 3 | 2 765 | - 223 | .. | 5 159.20 | .13 | .. | + 7 | 49 | 5 159.20 |
| | s | 87 | 53 594.12 | 226 | 8 031.75 | + 1 | 0 | 0 | 2 752 | - 346 | .. | 8 028.30 | .. | + 0.8 | + 1 | 1 | 8 028.31 |
| 57 a | t | 142 | 54 461.95 | 227 | 8 161.79 | + 1 | 0 | 0 | 2 770 | - 353 | 14 | 8 158.27 | - 1 | - 1.7 | + 1 | 1 | 8 158.28 |
| 25.6. | v | 87 | 64 626.75 | 228 | 9 685.09 | + 1 | 0 | 0 | 2 760 | - 418 | .. | 9 680.92 | + 13 | - 0.3 | - 2 | 4 | 9 680.90 |
| | w | 142 | 65 205.77 | 226 | 9 771.88 | + 2 | 0 | - 2 | 2 757 | - 421 | .. | 9 767.67 | .. | - 1.2 | - 2 | 4 | 9 767.65 |
| | u | 167 | 37 611.58 | 228 | 5 636.55 | 0 | 0 | - 3 | 2 756 | - 243 | .. | 5 634.09 | .02 | .. | - 1 | 1 | 5 634.01 |
| | s | 87 | 53 617.72 | 226 | 8 035.28 | + 2 | + 14 | 0 | 2 746 | - 345 | .. | 8 031.99 | .. | + 0.2 | - 2 | 4 | 8 031.97 |
| 58 | t | 167 | 54 718.50 | 225 | 8 200.25 | + 1 | 0 | 0 | 2 765 | - 355 | 10 | 8 196.71 | - 32 | + 2.3 | - 3 | 9 | 8 196.68 |
| 26.6. | v | 87 | 69 778.20 | 226 | 10 457.15 | + 2 | + 17 | - 1 | 2 756 | - 451 | .. | 10 452.82 | - 18 | + 0.1 | + 4 | 16 | 10 452.86 |
| | w | 167 | 65 885.58 | 226 | 9 873.77 | + 1 | 0 | - 1 | 2 751 | - 425 | .. | 9 869.52 | .. | + 2.6 | + 4 | 16 | 9 869.56 |
| | u | 142 | 44 424.57 | 226 | 6 657.58 | + 1 | 0 | - 3 | 2 755 | - 287 | .. | 6 654.69 | .62 | .. | - 1 | 1 | 6 654.61 |

(Fortsetzung)

Viereckskette (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|--------------------------|-------|---------------|---------------------------|-------------------|-----------|-------|------|-------|------------|-------|-------|------------------|-----------------------|-------|-------------|-----------------|------------|
| Viereck Datum 1959 | Seite | Master Nr. | L sec. $\cdot 10^{-9}$ | $(n-1)$ 10^6 | s' m | k_f | e | k_i | H_m m | k_2 | P_i | \bar{s}_0 m | W_i W'_i em | k_i | v_i em | vv em 2 | s_0 m |
| 58 a 26.6. | s | 87 | 54 203.68 | 227 | 8 123.07 | + 2 | + 4 | 0 | 2 745 | - 349 | .. | 8 119.64 | .. | - 0.3 | - 1 | 1 | 8 119.63 |
| | t | 142 | 53 427.42 | 228 | 8 006.76 | + 2 | 0 | 0 | 2 764 | - 346 | 6 | 8 003.32 | - 6 | - 1.0 | - 1 | 1 | 8 003.31 |
| | v | 87 | 75 111.35 | 228 | 11 256.35 | + 2 | - 6 | - 2 | 2 755 | - 485 | .. | 11 251.44 | + 8 | - 0.1 | + 2 | 4 | 11 251.46 |
| | w | 142 | 69 918.07 | 229 | 10 478.06 | + 2 | 0 | - 1 | 2 752 | - 451 | .. | 10 473.56 | .. | - 1.4 | + 2 | 4 | 10 573.58 |
| | u | 167 | 53 345.70 | 228 | 7 994.49 | + 1 | 0 | - 2 | 2 755 | - 344 | .. | 7 991.04 | 0.97 | .. | + 1 | 1 | 7 990.98 |
| 59 26.6. | s | 87 | 53 546.75 | 228 | 8 024.82 | + 2 | + 14 | - 1 | 2 750 | - 345 | .. | 8 021.32 | .. | + 0.1 | 0 | 0 | 8 021.32 |
| | t | 167 | 53 670.52 | 228 | 8 043.17 | + 1 | 0 | - 1 | 2 763 | - 347 | 2 | 8 039.70 | - 19 | + 0.6 | - 1 | 1 | 8 039.69 |
| | v | 87 | 73 511.15 | 227 | 11 016.55 | + 2 | + 9 | - 1 | 2 753 | - 475 | .. | 11 011.90 | - 5 | - 0.2 | + 1 | 1 | 11 011.91 |
| | w | 167 | 75 993.15 | 229 | 11 388.48 | + 1 | 0 | 0 | 2 750 | - 490 | .. | 11 383.59 | .. | + 0.5 | + 1 | 1 | 11 383.60 |
| | u | 142 | 50 905.95 | 228 | 7 628.87 | + 1 | 0 | 0 | 2 757 | - 329 | .. | 7 625.59 | .52 | .. | - 2 | 4 | 7 625.50 |
| 60 26.6. | s | 87 | 53 574.25 | 227 | 8 023.75 | + 2 | 0 | 0 | 2 752 | - 346 | .. | 8 025.31 | .. | - 0.1 | - 1 | 1 | 8 025.30 |
| | t | 142 | 52 183.90 | 227 | 7 820.39 | + 2 | 0 | 0 | 2 762 | - 338 | 6 | 7 817.03 | - 26 | + 1.5 | - 1 | 1 | 7 817.02 |
| | v | 87 | 67 222.20 | 228 | 10 074.05 | + 2 | 0 | - 1 | 2 759 | - 435 | .. | 10 069.71 | - 12 | - 0.2 | + 2 | 4 | 10 069.73 |
| | w | 142 | 73 883.57 | 228 | 11 072.35 | + 2 | 0 | 0 | 2 753 | - 477 | .. | 11 067.60 | .. | + 1.2 | + 2 | 4 | 11 067.62 |
| | u | 167 | 43 109.60 | 227 | 6 460.50 | 0 | 0 | - 2 | 2 758 | - 279 | .. | 6 457.69 | .62 | .. | - 2 | 4 | 6 457.60 |
| 61 26.6. | s | 87 | 43 620.55 | 227 | 6 537.08 | + 1 | + 5 | 0 | 2 754 | - 282 | .. | 6 534.32 | .. | - 0.2 | - 1 | 1 | 6 534.31 |
| | t | 167 | 42 468.80 | 228 | 6 364.47 | 0 | 0 | 0 | 2 766 | - 275 | 4 | 6 361.72 | - 26 | + 1.5 | - 1 | 1 | 6 361.71 |
| | v | 87 | 57 034.92 | 227 | 8 547.88 | + 2 | 0 | - 2 | 2 760 | - 369 | .. | 8 543.69 | - 12 | - | + 2 | 4 | 8 543.71 |
| | w | 167 | 61 921.88 | 228 | 9 279.75 | + 1 | 0 | 0 | 2 758 | - 400 | .. | 9 275.76 | .. | + 1.3 | + 2 | 4 | 9 275.78 |
| | u | 142 | 39 240.35 | 227 | 5 880.65 | + 1 | 0 | - 1 | 2 762 | - 254 | .. | 5 878.11 | .04 | .. | - 1 | 1 | 5 878.03 |

Profil Nord-Süd

| Polygonseite Datum 1959 | Master Nr. | L sec. 10^{-9} | $(n-1)$ $\cdot 10^6$ | s' m | k_f cm | e cm | k_1 cm | H_m m | k_2 cm | s_o m |
|-------------------------------|---------------|---------------------|-------------------------|-----------|-------------|---------|-------------|------------|-------------|------------|
| 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 18 |
| TA 100-T 101 ... 28.7. | 167 | 61 538.40 | 256 | 9 222.02 | + 14 | + 170 | - 17 | 1 882 | - 271 | 9 220.98 |
| T 101-T 102 29.7. | 167 | 114 859.20 | 253 | 17 212.62 | + 25 | 0 | - 59 | 1 981 | - 533 | 17 206.95 |
| T 102-T 103 29.7. | 167 | 75 578.35 | 250 | 11 326.09 | + 17 | 0 | - 18 | 2 084 | - 369 | 11 322.39 |
| T 103-T 104 29.7. | 167 | 57 577.95 | 249 | 8 628.57 | + 13 | 0 | 0 | 2 120 | - 286 | 8 625.84 |
| T 104-T 105 31.7. | 167 | 56 480.25 | 242 | 8 464.14 | + 12 | 0 | 0 | 2 104 | - 278 | 8 461.48 |
| T 105-T 106 31.7. | 167 | 68 284.50 | 237 | 10 233.17 | + 15 | 0 | 0 | 2 095 | - 335 | 10 229.97 |
| T 106-T 107 31.7. | 167 | 53 499.72 | 240 | 8 017.50 | + 12 | 0 | - 7 | 2 073 | - 260 | 8 014.95 |
| T 107-T 108 31.7. | 167 | 57 625.10 | 241 | 8 635.71 | + 13 | 0 | 0 | 2 056 | - 278 | 8 633.06 |
| T 108-T 109 31.7. | 167 | 66 141.68 | 242 | 9 911.99 | + 14 | 0 | - 11 | 2 033 | - 315 | 9 908.87 |
| T 109-T 110 31.7. | 167 | 64 657.42 | 244 | 9 689.54 | + 14 | 0 | - 1 | 2 018 | - 306 | 9 686.61 |
| T 110-T 111 1.8. | 167 | 25 384.20 | 242 | 3 804.08 | + 5 | 0 | 0 | 2 027 | - 120 | 3 802.93 |
| T 111-T 112 1.8. | 167 | 47 442.60 | 240 | 7 109.77 | + 10 | 0 | - 2 | 2 019 | - 225 | 7 107.60 |
| T 112-T 113 1.8. | 167 | 70 037.75 | 242 | 10 495.87 | + 15 | 0 | - 5 | 1 995 | - 328 | 10 492.69 |
| T 113-T 114 1.8. | 167 | 42 313.75 | 243 | 6 341.14 | + 9 | 0 | - 1 | 1 973 | - 196 | 6 339.26 |
| T 114-T 115 3.8. | 167 | 35 161.10 | 244 | 5 269.24 | + 7 | 0 | - 1 | 1 961 | - 162 | 5 267.68 |
| T 115-T 116 3.8. | 167 | 68 035.05 | 244 | 10 195.71 | + 14 | 0 | 0 | 1 957 | - 312 | 10 192.73 |
| T 116-T 117 4.8. | 167 | 46 841.28 | 249 | 7 019.59 | + 10 | 0 | 0 | 1 953 | - 214 | 7 017.55 |
| T 117-T 118 5.8. | 167 | 44 992.58 | 250 | 6 742.54 | + 9 | 0 | 0 | 1 946 | - 205 | 6 740.58 |
| T 118-T 119 5.8. | 167 | 60 225.18 | 250 | 9 025.28 | + 12 | 0 | 0 | 1 941 | - 274 | 9 022.66 |
| T 119-T 120 5.8. | 167 | 86 237.85 | 250 | 12 923.51 | + 18 | 0 | - 4 | 1 922 | - 388 | 12 919.77 |
| T 120-T 121 5.8. | 167 | 67 940.05 | 249 | 10 181.42 | + 14 | 0 | - 2 | 1 895 | - 302 | 10 178.52 |
| T 121-T 122 6.8. | 167 | 72 357.05 | 247 | 10 843.38 | + 14 | 0 | 0 | 1 886 | - 320 | 10 840.32 |

(Fortsetzung)

Profil Nord-Süd (fortgesetzt).

| Polygonseite Datum 1959 | Master Nr. | L $\text{sec} \cdot 10^{-9}$ | $(n-1)$ $\cdot 10^6$ | s' m | k_f cm | e cm | H_m m | k_2 cm | k_2 cm | s_0 m |
|-------------------------------|---------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------|-------------|---------|------------|-------------|-------------|------------|
| 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 18 |
| T 122-T 123 6.8. | 167 | 50 570.08 | 247 | 7 578.39 | + 10 | 0 | 0 | 1 890 | - 224 | 7 576.25 |
| T 123-T 124 6.8. | 167 | 57 627.12 | 246 | 8 635.97 | + 12 | 0 | - 2 | 1 882 | - 254 | 8 633.53 |
| T 124-T 125 = 4 6.8. | 167 | 32 590.40 | 247 | 4 483.97 | + 7 | - 142 | - 4 | 1 863 | - 142 | 4 881.16 |
| T 125 = 4-T 126 9.8. | 167 | 17 366.35 | 250 | 2 602.50 | + 3 | + 243 | 0 | 1 853 | - 75 | 2 604.21 |
| T 126-T 127 10.8. | 167 | 62 585.50 | 248 | 9 379.01 | + 12 | 0 | 0 | 1 853 | - 272 | 9 376.41 |
| T 127-T 127 a ... 12.8. | 167 | 43 279.75 | 249 | 6 485.86 | + 8 | 0 | 0 | 1 850 | - 188 | 6 484.06 |
| T 127a-T 128 ... 10.8. | 167 | 55 296.40 | 251 | 8 286.65 | + 10 | 0 | 0 | 1 843 | - 239 | 8 284.36 |
| T 127-T 128 10.8. | 167 | 98 388.42 | 250 | 14 744.37 | + 18 | 0 | - 1 | 1 877 | - 426 | 14 740.28 |
| T 128-T 129 11.8. | 167 | 45 243.62 | 245 | 6 780.20 | + 8 | 0 | 0 | 1 842 | - 195 | 6 778.33 |
| T 129-T 130 11.8. | 167 | 39 152.92 | 249 | 5 867.43 | + 7 | 0 | - 3 | 1 852 | - 170 | 5 865.77 |
| T 130-T 131 11.8. | 167 | 55 618.68 | 250 | 8 334.96 | + 10 | 0 | - 1 | 1 866 | - 243 | 8 332.62 |
| T 131-T 131 a ... 12.8. | 167 | 15 926.25 | 246 | 2 386.70 | + 3 | + 2 | 0 | 1 874 | - 70 | 2 386.05 |
| T 131-T 132 12.8. | 167 | 68 432.90 | 247 | 10 255.31 | + 12 | 0 | 0 | 1 872 | - 300 | 10 252.43 |

9. Fehlerrechnung.

a) Mittlere Gewichtseinheitsfehler m_0 und M_0 :

Der mittlere Fehler m_0 einer einmal gemessenen Vierecksstrecke kann nach Formel (19), S. 74, für jeden geschlossen ausgeglichenen Kettenteil berechnet werden. Dies ist in den Spalten 1-3 der folgenden Tabelle VI geschehen. Die von 0 cm bis ± 9.3 cm streuenden Werte von m_0 geben jedoch kein klares Bild von der in der Gesamtkette erreichten Meßgenauigkeit. Dies liegt vor allem daran, daß ein einzelnes Viereck, das nur eine Überstimmung besitzt, keine ausreichende Grundlage für eine Genauigkeitsuntersuchung abgeben kann. Eine bessere Charakteristik der Meßgenauigkeit bietet das allgemeine arithmetische Mittel M_0 der Gewichtseinheitsfehler m_0 :

$$M_0 = \frac{[n m_0]}{[n]}, \quad (20)$$

wobei n die Anzahl der Vierecke bedeutet, für die jeweils ein bestimmtes m_0 gilt. Die Werte M_0 sind in den Spalten 4 und 5 der Tabelle VI für die Hauptabschnitte des West-Ost-Profiles sowie für die ganze Viereckskette berechnet.

Tabelle VI

| Strecke | vv cm ² | n | m_0 cm | n m cm | M_0 cm |
|-------------------------------------|-----------------------|----|-------------|-----------|-------------|
| T 6-T 10 | 455 | 6 | 8.7 | 52.2 | |
| T 11-12 a | 6 | 3 | 1.4 | 4.2 | |
| T 13-T 14 | 58 | 1 | 7.6 | 7.6 | |
| T 14-TA 15 | 15 | 1 | 3.9 | 3.9 | |
| Carrefour-Milcent | | 11 | | 67.9 | 6.2 |
| T 17-17 a | 34 | 1 | 5.8 | 5.8 | |
| T 18-18 a | 2 | 1 | 1.4 | 1.4 | |
| T 19-T 22 | 82 | 4 | 4.6 | 18.4 | |
| T 23-T 24 | 31 | 2 | 3.9 | 7.8 | |
| T 25-T 26 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| T 27-T 28 | 86 | 1 | 9.3 | 9.3 | |
| 28 a-TA 31 | 34 | 3 | 3.4 | 10.2 | |
| Milcent-Station Centrale | | 13 | | 52.9 | 4.1 |
| T 32-T 33 | 61 | 1 | 7.8 | 7.8 | |
| T 34-T 35 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| T 36-T 38 | 69 | 2 | 5.9 | 11.8 | |
| T 39-T 40 | 21 | 1 | 4.6 | 4.6 | |
| T 41-T 43 | 239 | 3 | 8.9 | 26.7 | |
| T 44-T 52 | 577 | 15 | 6.2 | 93.0 | |
| Sta. Centrale-Sta. Jarl-Joset | | 23 | | 153.9 | 6.7 |
| TA 53-T 54 | 4 | 1 | 2.0 | 2.0 | |
| 54 a-TA 61 | 452 | 11 | 6.4 | 70.4 | |
| Station Jarl-Joset-Dépôt 420 ... | | 12 | | 72.4 | 6.0 |
| Gesamte Viereckskette | | 59 | | 347.1 | 5.9 |

Für die gesamte Viereckskette ergibt sich demnach ein Wert

$$M_0 = \pm 5.9 \text{ cm},$$

der als mittlerer Gewichtseinheitsfehler der Telluromettermessung allen weiteren Genauigkeitsbetrachtungen zu Grunde gelegt werden soll.

b) Genauigkeit der ausgeglichenen Vierecksstrecken:

Die mittleren Fehler m_r der ausgeglichenen Vierecksstrecken können für jedes geschlossen ausgeglichene Teilstück der Kette aus den mittleren Gewichtseinheitsfehlern m_0 nach der Formel

$$m_r = m_0 \sqrt{Q_{rr}} (r = s, t, u, v, w) \quad (21)$$

hergeleitet werden. Für die Gewichtskoeffizienten Q_{rr} gelten in einer Quadratkette nach HOFMANN 1958 folgende Zahlenwerte:

$$\begin{aligned} Q_{ss} &= Q_{tt} = 0.875 \\ Q_{uu} &= 0.782 \\ Q_{vv} &= Q_{ww} = 0.750. \end{aligned}$$

Für die Beurteilung der Gesamtgenauigkeit erscheint es jedoch sinnvoller, anstelle der einzelnen m_r den Mittelwert $M_0 = \pm 5.9$ cm zu benutzen und daraus mittlere Genauigkeiten der ausgeglichenen Vierecksstrecken herzuleiten. Gemäß (21) ergibt sich dann:

$$\begin{aligned} m_s &= m_t = \pm 5.5 \text{ cm} \\ m_u &= \pm 5.2 \text{ cm} \\ m_v &= m_w = \pm 5.1 \text{ cm}. \end{aligned}$$

Von besonderer Bedeutung ist hierbei der mittlere Fehler m_s der Vierecksgesetzlinien s auf der Hauptpiste des West-Ost-Profiles; er gibt die mittlere Genauigkeit der Pegelabstände im West-Ost-Profil an.

Weitere Genauigkeitsfragen in der Viereckskette werden im Kapitel V unter Ziffer 2. und 5. behandelt.

c) Beurteilung der Tellurometer-Meßgenauigkeit aus den Viereckswidersprüchen W'_i :

Eine zusätzliche Möglichkeit zur Abschätzung der Tellurometer-Meßgenauigkeit in der Viereckskette bieten die zur Ausgleichung benutzten Widersprüche W in den einzelnen Vierecken, für die gemäß Formel (13), S. 72, gilt:

$$W' = v_s + v_t + v_{u-1} + v_u - v_v \sqrt{2} - v_w \sqrt{2}. \quad (13)$$

Ersetzt man hierin die v_r durch m_0 , so gilt nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz unter Berücksichtigung der quadratischen und gemischten Gewichtskoeffizienten

$$W' = m_0 \sqrt{7.256}.$$

Für die Beurteilung der Gesamtgenauigkeit wird man wieder statt der einzelnen m_r den Mittelwert M_0 und analog statt der einzelnen Widersprüche W_i einen Mittelwert

$$W' = \frac{\sum |W'_i|}{n}$$

benutzen, so daß gilt:

$$M_0 = \pm \frac{W'}{\sqrt{7.256}} = \pm \frac{W'}{2.7}. \quad (22)$$

Der mittlere Widerspruch W' ergibt sich aus Tabelle IV, S. 70,

$$W' = 757: 59 = \pm 12.8 \text{ cm.}$$

Hieraus folgt nach Formel (22) ein Mittelwert M_0 für den Gewichtseinheitsfehler von

$$M_0 = \pm 4.8 \text{ cm.}$$

Dieser Wert stimmt mit dem unter a) auf Seite 95 aus den Verbesserungen berechneten gut überein.

d) Tellurometer-Meßgenauigkeit aus Doppelmessungen:

Eine dritte und letzte Möglichkeit zur Bestimmung der Tellurometer-Meßgenauigkeit ergibt sich schließlich aus den Doppelmessungen im Polygonzug TA 61 (Dépôt 420) – Cecilia Nunatak N. Die Messungsdifferenzen d und ihre Quadrate dd sind bereits in den Spalten 19 und 20 der Tabelle S. 77 aufgeführt. Nach der Formel

$$M_0 = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (23)$$

findet man

$$M_0 = \pm 6.2 \text{ cm.}$$

Auch dieser Wert, der freilich nur für die Messung im randlichen Polygonzug an der Ostküste gilt, paßt gut zu den unter a) und c) bestimmten Gewichtseinheitsfehlern der Tellurometermessung.

V. HORIZONTALWINKEL UND SCHRÄGENTFERNUNGEN ZWISCHEN DEN PEGELN DER PROFILE WEST-OST UND NORD-SÜD

1. Winkel in der Viereckskette.

Die Ausgleichung der Viereckskette lieferte die endgültigen Horizontalentferungen im Meeresniveau. Sie dienten zur Berechnung der Horizontalwinkel in den Vierecken, insbesondere der Winkel φ_i und ψ_i in den Punkten der Hauptpiste, aus denen sich die Brechungswinkel β_i des Profil-Polygons zusammensetzen. Die Winkel wurden aus je zwei Teildreiecken der Diagonalen-Vierecke gewonnen, wobei folgende 3 Fälle zu unterscheiden sind (siehe Fig. 18-20):

1. Beide Vierecksdiagonalen v_i und w_i sind gemessen. Die Winkelberechnung in den beiden schraffierten Dreiecken liefert dann unmittelbar die Teilwinkel ψ_{i-1} und φ_i der Brechungswinkel in T_{i-1} und T_i .

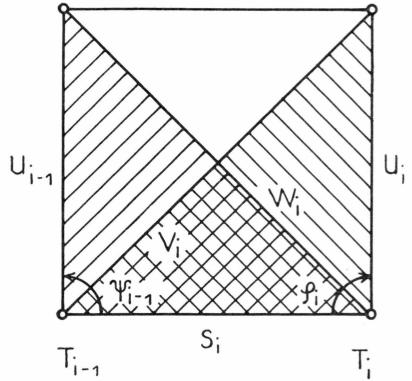


Fig. 18.

2. Von den beiden Diagonalen ist nur v_i gemessen. Der Winkel ψ_{i-1} wird aus τ_{i-1} und ω_i zusammengesetzt; φ_i ergibt sich direkt.

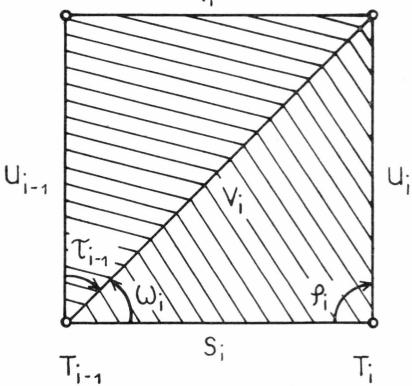


Fig. 19.

3. Von den beiden Diagonalen ist nur w_i gemessen. Der Winkel ψ_{i-1} ergibt sich direkt; φ_i wird aus ω_{i-1} und τ_i zusammengesetzt.

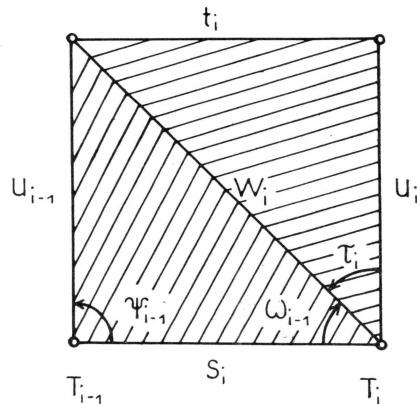
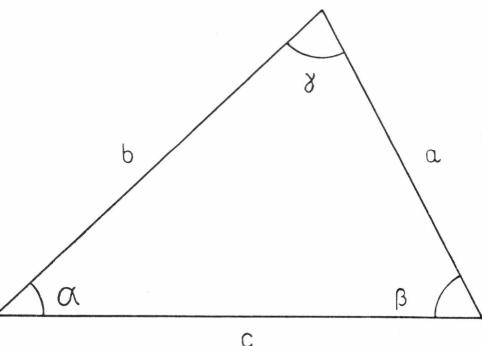


Fig. 20.

Als zweckmäßiges Formelsystem für die Berechnung bieten sich die Halbwinkel-Formeln an, die gleichermaßen für die logarithmische wie die maschinelle Rechnung geeignet sind. Auf sphärische oder gar ellipsoidische Rechnung konnte dabei verzichtet werden, da der maximale sphärische Exzess in den Teildreiecken der Viereckskette mit

$$\varepsilon_{\max} \approx 0.8^{\text{cc}}$$

weit unterhalb des mittleren Winkelfehlers bleibt. Zur Kontrolle der Rechnung wurden jeweils alle drei Winkel eines Teildreiecks bestimmt, die sich zu 200^{g} ergänzen müssen. Für ein beliebiges Dreieck gelten demnach entsprechend nebenstehender Figur folgende Formeln:



$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} &= \frac{s-a}{\varrho} \quad \sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(s-b)(s-c)}{bc}} \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{s(s-a)}{bc}} \\ \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} &= \frac{s-b}{\varrho} \quad \sin \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{(s-c)(s-a)}{ca}} \quad \cos \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{s(s-b)}{ca}} \\ \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} &= \frac{s-c}{\varrho} \quad \sin \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)}{ab}} \quad \cos \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{s(s-c)}{ab}} \\ s &= \frac{1}{2}(a+b+c) \quad \varrho = \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)(s-c)}{s}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Zwischenprobe: } (s-a) + (s-b) + (s-c) &= s \\ \text{Endprobe: } \alpha + \beta + \gamma &= \pi = 200^{\text{g}}. \end{aligned}$$

Für die praktische Rechnung sind die Formeln für die Cotangentialen der halben Winkel am günstigsten. Sie wurden logarithmisch oder mit Handrechenmaschinen sowohl bei Kontrollrechnungen während der Feldarbeiten als auch für eventuell notwendige Vorausbestimmungen genauerter Winkel während der Auswertung angewandt.

Die endgültige Berechnung aller Winkel aus den ausgeglichenen Horizontalentfernungen wurde auf der programmgesteuerten Relais-Rechenanlage Zuse Z 11 des Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule München vorgenommen. Da diese Maschine nicht für Rechnungen mit Cotangentialen oder Tangenten eingerichtet ist, mußten die Formeln für die Sinus bzw. Cosinus der halben Winkel verwendet werden. Die Programmierung durch H. SEIFERS sah die automatische Auswahl der Sinus-Formeln für Winkel $< 100^\circ$ bzw. der Cosinus-Formeln für Winkel $> 100^\circ$ vor. Auch die Endprobe für die Winkelsumme wurde von der Maschine selbstdärfig ausgewiesen.

Der Zeitbedarf für die Berechnung von 471 Winkeln in 157 Dreiecken der Viereckskette auf der Rechenanlage Zuse Z 11 betrug mit Ein- und Ausgabe etwa 6 Stunden.

Im Anschluß an die Winkelberechnung wurden die Brechungswinkel β_i im Profil-Polygon additiv aus ihren Teilbeträgen zusammengesetzt.

2. Genauigkeit der Brechungswinkel im Profil-Polygon.

Soweit die Polygonwinkel β_i aus den ausgeglichenen Vierecksseiten berechnet wurden, läßt sich ihre Genauigkeit aus der Ausgleichung herleiten. Wie bei der Fehlerrechnung für die Vierecksseiten selbst könnte dies für jede geschlossen ausgeglichene Teilkette gesondert geschehen. Die theoretischen Grundlagen für die Gewichtsbestimmung der Brechungswinkel sind bei HOFMANN, 1958, entwickelt; sie stimmen mit den Ergebnissen der Arbeit von K. LINKWITZ 1961 überein. Darnach beträgt der mittlere Fehler m_β eines ausgeglichenen Brechungswinkels β an der Grundlinie der Viereckskette

$$m_\beta = \varrho^{cc} \cdot \frac{m_0}{s} \sqrt{Q_{\beta\beta}}. \quad (1)$$

Hierin bedeutet $\frac{m_0}{s}$ den mittleren Relativfehler einer Außenseite der Vierecke (s, t, u). Der Gewichtskoeffizient $Q_{\beta\beta}$ ergibt sich aus der Ausgleichung einer Quadratkette zu

$$Q_{\beta\beta} = 2.759,$$

also

$$\sqrt{Q_{\beta\beta}} = 1.66.$$

Für die Beurteilung der Genauigkeitsverhältnisse im Pegel-Polygon ist jedoch ein Mittelwert für m_β von größerem Interesse. Er wird am zweckmäßigsten dadurch gewonnen, daß für m_0 der in Kapitel IV, Abschnitt 9., S. 95, berechnete Mittelwert M_0 der mittleren Strecken-

fehler m_0 und für s die mittlere Länge s_m der gemessenen Vierecksaußenseiten in (1) eingeführt wird:

$$M_\beta = \varrho^{cc} \frac{M_0}{s_m} \sqrt{Q_{\beta\beta}}. \quad (2)$$

Mit $M_0 = \pm 5.9$ cm und $s_m = 8346$ m ergibt sich

$$M_\beta = \pm 7.5^{cc}$$

als mittlere Genauigkeit der berechneten Polygonwinkel.

Der mittlere Fehler der unmittelbar gemessenen Brechungswinkel in den randlichen Polygonzügen sowie im Nord-Süd-Profil beträgt im Durchschnitt

$$M_\beta = \pm 5.4^{cc}.$$

3. Ausschaltung der a-Punkte.

Da die Zwischenpunkte, die als a-Punkte zur Verringerung der Vierecksdimensionen im West-Ost-Profil eingeschoben wurden (siehe Kapitel III, Abschnitt 4., S. 44), mit Ausnahme von T 11 a nicht dauerhaft mit Pegeln vermarkt wurden, sind sie für Wiederholungsmessungen wertlos. Spätere Vergleiche lassen sich nur in den Pegel-Polygonen West-Ost und Nord-Süd selbst anstellen. Die Brechungswinkel und Entfernungen auf der Hauptpiste des West-Ost-Profiles waren daher unter Ausschaltung der a-Punkte auf das Pegel-Polygon umzurechnen.

Hierzu dienten folgende trigonometrischen Formelsysteme (siehe Figur 21):

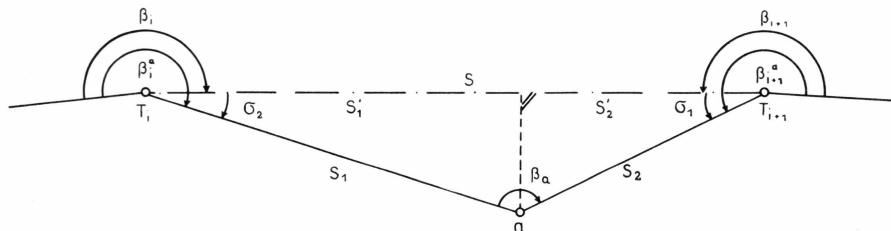


Fig. 21. Ausschaltung der a-Punkte.

a) Reduktion der Brechungswinkel β_i^a und β_{i+1}^a :

$$\tan \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{s_1 - s_2}{s_1 + s_2} \cdot \cot \frac{\beta_a}{2}$$

$$\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = 100 - \frac{\beta_a}{2}$$

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \left(100 - \frac{\beta_a}{2}\right) + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \\ \sigma_2 &= \left(100 - \frac{\beta_a}{2}\right) - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \\ \beta_i &= \beta_i^a \pm \sigma_2 \\ \beta_{i+1} &= \beta_{i+1}^a \pm \sigma_1\end{aligned}\right\} \pm \text{ für } \beta_a < 200^g$$

Wenn β_a nahe bei 200^g liegt, sind σ_1 und σ_2 kleine Winkel. Es gelten dann in guter Annäherung die Kontroll-Beziehungen:

$$\begin{aligned}\frac{\sigma_1}{\sigma_2} &\approx \frac{\sin \sigma_1}{\sin \sigma_2} = \frac{s_1}{s_2} = m \\ \sigma_1 + \sigma_2 &= 200 - \beta_a = \alpha \\ \sigma_1 &= \frac{m}{1+m} \cdot \alpha = m \cdot \sigma_2 \\ \sigma_2 &= \frac{1}{1+m} \cdot \alpha.\end{aligned}$$

b) Reduktion der Horizontalentfernungen auf die durchgehende Polygoneseite:

$$\begin{aligned}s'_1 &= s_1 \cdot \cos \sigma_2 & s'_2 &= s_2 \cos \sigma_1 \\ \Delta s_1 &= s_1 - s'_1 = s_1 (1 - \cos \sigma_2) & \Delta s_2 &= s_2 - s'_2 = s_2 (1 - \cos \sigma_1) \\ s'_1 &= s_1 - \Delta s_1 & s'_2 &= s_2 - \Delta s_2 \\ s &= s'_1 + s'_2.\end{aligned}$$

Bei kleinen Winkeln σ_1 und σ_2 sind die Reduktionen Δs_1 und Δs_2 leicht zu berechnende kleine Größen.

Nach diesen Formeln wurden die a-Punkte im West-Ost-Profil (insgesamt 22) auf das Pegelpolygon reduziert und ausgeschaltet. Sie lagen durchwegs so nahe an der Verbindungsline ihrer Nachbarpegel, daß die Näherungsformeln zur Reduktion der Brechungswinkel im Bereich von 0.1^cc gültig blieben. Die Rechnung wurde dadurch sehr vereinfacht. Ein Beispiel für den Gang der Rechnung in schematischer Anordnung findet sich im Anhang als Anlage 3, Seite 137.

Als Endergebnis dieser Berechnungen lag zusammen mit den Winkel- und Streckenwerten der randlichen Polygonezüge ein Gesamtverzeichnis der Brechungswinkel und Horizontalfernungen im Meeresniveau für das gesamte West-Ost-Profil vor. Diese Werte bildeten die Grundlage zur Berechnung genauerer geographischer Koordinaten auf dem Internationalen Ellipsoid für alle Pegel (siehe Kapitel VI).

4. Schrägentfernungen im Messungsniveau der Viereckskette.

Für die Ausgleichung der gemessenen Strecken, für die Winkelberechnung und die genäherte Koordinierung der Pegel war der Übergang auf Horizontaldistanzen im Meeresniveau notwendig. Glaziologische Untersuchungen werden sich jedoch nach einer Wiederholung der Messungen in erster Linie an die Schrägentfernungen zwischen den Pegeln auf der Oberfläche des Inlandeises knüpfen. Die ausgeglichenen Horizontalentfernungen zwischen den Pegeln waren daher wieder auf ihr Messungsniveau zu heben und der Geländeneigung entsprechend schräg zu legen. Da die geringfügigen Korrekturen der Ausgleichung keinen Einfluß auf die Reduktionen k_1 und k_2 wegen Höhenunterschied und mittlerer Meereshöhe haben, der die Größenordnung des cm erreichte, konnten diese Reduktionen unmittelbar aus der Tabelle Seite 75-94 entnommen und mit positiven Vorzeichen an den ausgeglichenen Horizontalfernungen angebracht werden.

Um für Pegeldistanzen, die aus der Ausschaltung eines a-Punktes gemäß Abschnitt 3. dieses Kapitels hervorgegangen waren, keine neuen Gesamtreduktionen berechnen zu müssen, wurden jeweils die beiden Teildistanzen s_1 und s_2 zum a-Punkt mit den entsprechenden Reduktionen k_1 und k_2 versehen und dann ihre Summe um den Wert $\Delta s_1 + \Delta s_2$ verringert.

Dasselbe Vorgehen lieferte die Schrägentfernungen in den randlichen Polygonzügen und im Nord-Süd-Profil.

Das Ergebnis der Berechnungen dieses Kapitels ist in der nachfolgenden Tabelle VI zusammengefaßt. In Übereinstimmung mit den operationellen Angaben der EPF liegt der Ausgangspunkt der durchgehenden Kilometrierung in Camp VI EGIG (Pegel TA O). Da die von den Weaseln befahrenen Pisten stets mehr oder minder stark vom geometrischen Pegelprofil abweichen, ist die Kilometrierung nur auf Dekameter angegeben. – Das in der letzten Spalte aufgeführte Datum gibt jeweils den Tag der Streckenmessung an.

5. Einschaltung von $T \frac{6}{1}$.

Während der Sommerkampagne 1960 stellte die Abholgruppe auf ihrem Weg nach Station Jarl-Joset fest, daß 3 Pegel im West-Ost-Profil umgestürzt bzw. geknickt waren. Von den Pegeln T 51 und T 52 konnten die Stümpfe im Oberflächenfirn gefunden, die Pegel selbst neu errichtet werden. Die eingehende Suche nach dem Pegel T 6 blieb jedoch erfolglos, obwohl die Gruppe über alle Anschlußdaten an die Pegel T 5 und T 7 verfügte. W. PFROMMER entschloß sich daher zur Errichtung eines neuen Pegels $T \frac{6}{1}$, den er aus Sichtgründen etwas weiter gegen Nord-

Tabelle VI.

Schrägentfernungen und Brechungswinkel in den Pegel-Polygonen der EGIG-Profile
West-Ost und Nord-Süd.

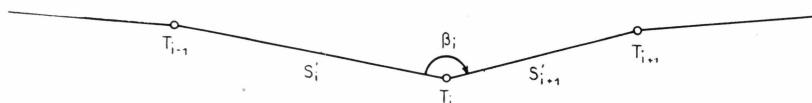
Spalte 1: Punkt, Pegel (Balise)

Spalte 2: Kilometrierung von TA 0 (Camp VI EGIG)

Spalte 3: Augeglichene Schrägentfernungen s' zwischen den Pegeln

Spalte 4: Ausgeglichene Winkel im Pegelpolygon

Spalte 5: Datum der Messung während der Sommerkampagne 1959.



I. Profil West-Ost

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|--------|-------------|----------------|---------------|------------|--------|-------------|----------------|---------------|
| Punkt | km | s'_i m | β_i g | Datum 1959 | Punkt | km | s'_i m | β_i g | Datum 1959 |
| Qapiarfít | -92.12 | | 275.6111 | | T 11..... | 98.23 | | 201.0015 | |
| = T 306 | | 37 100.18 | | 20.8 | | | 8 036.57 | | 28.5 |
| B 30 | -55.02 | | 158.2242 | | T 11a ... | 106.27 | | 199.5004 | |
| = T 305 | | 9 780.95 | | 19.8 | | | 9 207.43 | | 28.5 |
| B 34 | -45.24 | | 191.0184 | | T 12..... | 115.48 | | 199.5815 | |
| = T 304 | | 9 218.08 | | 19.8 | | | 15 169.55 | | 30.5 |
| T 303..... | -36.02 | | 187.0823 | | T 13..... | 130.65 | | 199.3703 | |
| | | 21 644.19 | | 19.8 | | | 9 579.81 | | 31.5 |
| T 302..... | -14.38 | | 215.0732 | | T 14..... | 140.23 | | 198.7697 | |
| | | 5 601.42 | | 12.8 | | | 7 564.68 | | 31.5 |
| T 301..... | -8.78 | | 193.8270 | | TA 15..... | 147.79 | | 204.3065 | |
| | | 8 781.62 | | 13.5 | (Milcent) | | 9 905.82 | | 3.6 |
| TA 0..... | 0 | | 181.1347 | | T 16..... | 157.70 | | 197.6980 | |
| (Camp VI) | | 670.72 | | 14.5 | | | 9 501.99 | | 3.6 |
| T 1..... | +0.67 | | 209.8078 | | T 17..... | 167.20 | | 197.0453 | |
| | | 7 936.30 | | 13.8 | | | 13 092.14 | | 4.6 |
| T 2..... | 8.61 | | 193.3907 | | T 18..... | 180.29 | | 201.1937 | |
| | | 8 669.94 | | 13.8 | | | 10 880.61 | | 4.6 |
| T 3..... | 17.28 | | 195.3682 | | T 19..... | 191.17 | | 202.9090 | |
| | | 9 277.38 | | 13.8 | | | 9 741.82 | | 5.6 |
| T 4..... | 26.56 | | 199.7096 | | T 20..... | 200.91 | | 200.4957 | |
| (Carrefour) | | 7 515.42 | | 17.5 | | | 10 836.46 | | 5.6 |
| T 5..... | 34.08 | | 196.3281 | | T 21..... | 211.75 | | 193.6358 | |
| | | 10 580 | | 18.5 | | | 9 737.46 | | 6.6 |
| T 6/1... | 44.66 | | 195.3910 | | T 22..... | 221.49 | | 201.4263 | |
| | | 9 460 | | 19.5 | | | 10 118.50 | | 6.6 |
| T 7..... | 54.12 | | 210.3952 | | T 23..... | 231.61 | | 203.6942 | |
| | | 8 103.22 | | 19.5 | | | 11 157.95 | | 7.6 |
| T 8..... | 62.22 | | 196.5362 | | T 24..... | 242.77 | | 199.8747 | |
| | | 12 746.78 | | 20.5 | | | 11 003.46 | | 7.6 |
| T 9..... | 74.97 | | 202.5393 | | T 25..... | 253.77 | | 197.3434 | |
| | | 12 600.64 | | 21.5 | | | 9 150.36 | | 7.6 |
| T 10..... | 87.57 | | 195.7322 | | T 26..... | 262.92 | | 200.6777 | |
| | | 10 657.29 | | 27.5 | | | 10 009.12 | | 8.6 |

(Fortsetzung)

Tabelle VI (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|--------|-----------|----------------|--------------------|-----------------------|--------|-----------|----------------|--------------------|
| Punkt | km | s' m | β_i g | Da- tum 1959 | Punkt | km | s' g | β_i m | Da- tum 1959 |
| T 27..... | 272.93 | 9 949.46 | 198.7559 | 9.6 | T 50..... | 532.10 | 15 013.95 | 200.8431 | 21.6 |
| T 28..... | 282.88 | 11 182.09 | 202.7371 | 9.6 | T 51..... | 547.11 | 15 623.82 | 200.5143 | 21.6 |
| T 29..... | 294.06 | 9 291.32 | 198.3299 | 9.6 | T 52..... | 562.73 | 9 980.76 | 201.8298 | 21.6 |
| T 30..... | 303.35 | 5 745.97 | 195.7759 | 9.6 | TA 53..... | 572.71 | 8 291.86 | 123.8592 | 21.6 |
| TA 31..... | 309.10 | 10 071.44 | 217.7335 | 13.6 | (Station Centrale) | | | | 24.6 |
| T 32..... | 319.17 | 10 117.29 | 199.4854 | 13.6 | T 54..... | 581.00 | 17 578.05 | 210.0181 | 24.6 |
| T 33..... | 329.29 | 9 968.91 | 201.5162 | 14.6 | T 55..... | 598.58 | 16 103.11 | 200.8288 | 25.6 |
| T 34..... | 339.26 | 10 239.16 | 199.1289 | 14.6 | T 56..... | 614.68 | 16 067.85 | 199.5285 | 25.6 |
| T 35..... | 349.50 | 9 868.10 | 198.3589 | 14.6 | T 57..... | 630.75 | 16 066.75 | 198.1979 | 25.6 |
| T 36..... | 359.37 | 202.7402 | | 16.6 | T 58..... | 646.82 | 16 148.52 | 199.0738 | 26.6 |
| T 37..... | 369.49 | 10 123.31 | 197.6140 | 16.6 | T 59..... | 662.97 | 8 028.76 | 198.8892 | 26.6 |
| T 38..... | 379.75 | 10 256.55 | | 16.6 | T 60..... | 671.00 | 6 537.13 | 198.3471 | 26.6 |
| T 39..... | 389.64 | 9 893.41 | 198.4605 | 16.6 | TA 61..... | 677.54 | 8 047.85 | 237.5099 | 7.7 |
| T 40..... | 399.45 | 9 811.60 | | 17.6 | (Dépôt 420) | | | | |
| T 41..... | 409.49 | 10 044.23 | 200.5250 | 17.6 | T 62..... | 685.59 | 205.3012 | | 6.7 |
| T 42..... | 419.46 | 9 972.85 | 199.6304 | 17.6 | T 63..... | 692.03 | 6 442.35 | 204.1504 | 6.7 |
| T 43..... | 431.83 | 12 370.13 | 198.4832 | 18.6 | T 64..... | 705.15 | 13 124.94 | 200.5828 | 5.7 |
| (Dépôt 275) | | 9 972.23 | 199.8340 | 18.6 | T 65..... | 717.50 | 12 347.35 | 203.0606 | 5.7 |
| T 44..... | 441.80 | | 200.7991 | 18.6 | T 65 a ... | 729.04 | 11 537.86 | 195.5291 | 5.7 |
| | | 10 059.53 | | | T 66..... | 737.63 | 8 592.24 | 219.2491 | |
| T 45..... | 451.86 | 15 083.33 | 199.8877 | 19.6 | T 67..... | 752.93 | 15 299.79 | 200.4125 | 4.7 |
| | | 15 109.98 | 199.3464 | 19.6 | T 68..... | 764.59 | 11 659.56 | 214.9972 | 3.7 |
| T 46..... | 466.94 | 15 040.89 | 198.7614 | 19.6 | T 69..... | 777.71 | 13 120.94 | 181.0614 | 3.7 |
| | | 200.1847 | | | T 70..... | 797.02 | 19 312.70 | 200.7077 | |
| T 48..... | 497.09 | 17 556.66 | | 20.6 | T 71..... | 802.76 | 5 743.46 | 204.4195 | 2.7 |
| T 49..... | 514.65 | 17 445.39 | 199.7974 | 20.6 | Cecilia N.N | 832.45 | 29 691.77 | | 2.7 |

(Fortsetzung)

Tabelle VI (fortgesetzt).

II. Profil N-S

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------|--------|-------------|----------------|---------------|--------------------------|-------|-------------|----------------|---------------|
| Punkt | km | s_i' m | β_i g | Datum 1959 | Punkt | km | s_i' m | β_i g | Datum 1959 |
| TA 100.... | 248.95 | 9 223.86 | 186.3332 | 28.7 | T 117.... | 97.37 | 6 742.63 | 200.7904 | 5.8 |
| {Terme EGIG) | | | | | T 118.... | 30.63 | | 198.6408 | |
| T 101.... | 239.73 | 17 212.87 | 199.3710 | 29.7 | T 119.... | 81.60 | 9 025.40 | 197.3301 | 5.8 |
| T 102.... | 222.52 | 11 326.26 | 210.9292 | 29.7 | T 120.... | 68.68 | 12 923.69 | 200.6341 | 5.8 |
| T 103.... | 211.19 | 8 628.70 | 258.0494 | 29.7 | T 121.... | 58.50 | 10 181.56 | 199.9093 | 5.8 |
| T 104.... | 202.56 | 8 464.26 | 223.9376 | 31.7 | T 122.... | 47.66 | 10 843.52 | 202.3961 | 6.8 |
| T 105.... | 194.10 | 10 233.32 | 199.1375 | 31.7 | T 123.... | 40.08 | 7 578.49 | 198.4866 | 6.8 |
| T 106.... | 183.87 | 8 017.62 | 198.1349 | 31.7 | T 124.... | 31.44 | 8 636.09 | 201.7363 | 6.8 |
| T 107.... | 175.85 | 8 635.84 | 198.3040 | 31.7 | T 125 = 4 (Carrefour) | 26.56 | 4 882.62 | 177.5587 | 6.8 |
| T 108.... | 167.21 | 9 912.13 | 200.1368 | 31.7 | T 126.... | 29.16 | 2 604.96 | 201.8887 | 9.8 |
| T 109.... | 157.30 | 9 689.68 | 201.2768 | 31.7 | T 127.... | 38.54 | 9 379.13 | 202.3949 | 10.8 |
| T 110.... | 147.61 | 3 804.13 | 201.4201 | 1.8 | T 127a ... | 45.03 | 6 485.94 | 192.0638 | 12.8 |
| T 111.... | 143.81 | 7 109.87 | 199.4127 | 1.8 | T 128.... | 53.32 | 8 286.75 | 220.2382 | 10.8 |
| T 112.... | 136.70 | 10 496.02 | 201.0594 | 1.8 | T 129.... | 60.10 | 6 780.28 | 176.0132 | 11.8 |
| T 113.... | 126.20 | 6 341.23 | 199.1465 | 1.8 | T 130.... | 65.97 | 5 867.50 | 203.1752 | 11.8 |
| T 114.... | 119.86 | 5 269.31 | 200.6993 | 3.8 | T 131.... | 74.31 | 8 335.06 | 210.4194 | 11.8 |
| T 115.... | 114.59 | 10 195.85 | 200.7817 | 3.8 | T 131a ... | 76.70 | 2 386.75 | 198.8223 | 12.8 |
| T 116.... | 104.39 | 7 019.69 | 200.4741 | 4.8 | T 132.... | 84.57 | 7 868.99 | | 12.8 |

westen gegenüber dem vermutlichen Ort des alten Pegels T 6 setzte. An der Lage des Pegels in der Längsrichtung des Profils wurde nichts geändert. Da die Neusetzung erst auf dem Rückweg erfolgte, konnte der neue Pegel nur mit einer Theodolit-Visur aus T 5 in seiner Lage zum Profil eingemessen werden. Die Messungen W. PFROMMER's ergeben eine Verlagerung von T $\frac{6}{1}$ gegen T 6 um 180 m nach Norden. Auf diese Versetzung wurden die Polygonwinkel in T 5 und T 7 der vorhergehenden Tabelle abgestimmt. Die Entferungen zwischen T $\frac{6}{1}$ und T 5 bzw. T 7 konnten nicht präzis bestimmt werden; sie wurden jedoch mit dem Kilometerzähler des Weasels so gut wie möglich den alten Entfernungen nach T 6 angeglichen. Die Entfernungen erscheinen daher in der Tabelle nur auf Dekameter genau angegeben, was ihrer tatsächlichen Genauigkeit entsprechen dürfte. Bei einer Wiederholungsmessung ist auf diese Unsicherheit in der Position von T 6 Rücksicht zu nehmen.

6. Anschluß weiterer Punkte an die EGIG-Profiles.

Sowohl während der Hauptkampagne 1959 wie während der Abhol-Kampagne 1960 wurden wiedergefundene Pegel und Punkte aus früheren Jahren und operationell bedeutsame Punkte an das Pegelprofil der EGIG angeschlossen. Die Schrägentfernungen und Horizontalwinkel zu diesen Punkten, jeweils vom nächstgelegenen EGIG-Pegel aus gerechnet, sind in der nachfolgenden Zusatz-Tabelle VII aufgeführt.

Im einzelnen handelt es sich um folgende Punkte:

West-Ost-Profil:

Milcent: Im Rahmen der Messungen im Deformationsviereck um TA 15 wurden die alten Pegel EPF M 100 und SIPRE 5-140 in ihrer Lage zu TA 15 bestimmt.

EPF-SIPRE-Pegel zwischen Milcent und Station Centrale:

Während der Sommerkampagne 1959 konnte nur einer der alten EPF-SIPRE-Pegel im West-Ost-Profil zwischen Milcent und Station Centrale aufgefunden werden, nämlich der Pegel M 160. Er wurde durch Winkelmessung an die Polygonseite 23 a - T 24 angehängt und um 2 m erhöht. W. PFROMMER fand während der Sommerkampagne 1960 drei weitere Pegel auf dieser Strecke, nämlich M 149, M 151 und 154, und schloß sie durch Winkelmessung an die nächstgelegenen EGIG-Pegel an. Die alten Pegel wurden um 4 m bzw. 6 m erhöht und erhielten neue Bezeichnungen, die sie in Bezug zur jeweils nördlich gelegenen EGIG-

Polygonseite setzen. Auch der Pegel M 160 wurde von W. PFROMMER nochmals eingemessen.

Station Centrale:

Im Rahmen der Messungen im Deformationsviereck um TA 31 wurden der Benson-Turm über dem Eingang zur Station und die Antenne der Hiran-Station an das EGIG-Profil angeschlossen.

Nord-Süd-Profil:

Point Nord, Dépôt:

Der Pegel im Depot des Punktes N wurde aus meßtechnischen Gründen nicht in das Pegel-Profil zwischen Terme EGIG und Carrefour aufgenommen. Er wurde jedoch sowohl in T 103 wie in T 104 in die Winkelmessung eingeschlossen. Die Entferungen T 103 – Point Nord und T 104 – Point Nord wurden außerdem genähert durch Tellurometer-Grobablesungen bestimmt.

Tabelle VII.

Schrägentfernungen und Horizontalwinkel nach zusätzlich eingemessenen Punkten in den Profilen West-Ost und Nord-Süd.

| Pegel eingemessen von ... | s' m | β bezogen auf g | Datum |
|-------------------------------|----------|-----------------------------|---------|
| EPF-SIPRE-Pegel: | | | |
| EPF M 100 von TA 15 | 633.33 | 294.4289 T 14 | 2.6.59 |
| Benson 5-140 von TA 15 | 675.94 | 297.2895 T 14 | 2.6.59 |
| T 22/1 = M 149 von T 22..... | 4 286.28 | 219.9923 T 21 | 4.8.60 |
| T 22/2 = M 151 von T 23..... | 3 134.72 | 169.5228 T 24 | 4.8.60 |
| T 23/1 = M 154 von T 23..... | 2 387.12 | 35.9488 T 24 | 4.8.60 |
| T 24/1 = M 160 von T 24..... | 1 065.37 | 305.9121 T 23 | 4.8.60 |
| Station Centrale: | | | |
| Benson-Turm von TA 31..... | 451.15 | 215.1649 T 30 | 12.6.59 |
| Hiran-Station von TA 31 | 431.68 | 224.3102 T 30 | 12.6.59 |
| Nord-Süd-Profil: | | | |
| Point Nord von T 103..... | 3 103.6 | 198.3764 T 102 | 29.7.59 |
| Point Nord von T 104..... | 7 237.3 | 22.4676 T 103 | 29.7.59 |

7. Theoretische Genauigkeit des Gesamtprofiles West-Ost.

Auf Grund der Untersuchungen in den theoretischen Arbeiten (HOFMANN, 1958) und (LINKWITZ, 1961) lassen sich aus der Ausgleichung der Viereckskette die mittleren Fehler der Polygonlänge und -richtung am Ende des Profiles herleiten. Es muß jedoch betont werden, daß im Falle der EGIG-Profile diese Fehlerangaben noch keinerlei reale Bedeutung haben: Die Genauigkeit der Messung wird hier nicht durch zufällige Fehler allein sondern sogar überwiegend durch systematische Fehler bestimmt, nämlich durch die Veränderung der Strecken und Winkel im Meßzeitraum infolge der Eisbewegung. Da zuverlässige Werte für die Bewegung des Inlandeises nach Größe und Richtung noch nicht bekannt sind, lassen sich diese systematischen Einflüsse nicht eliminieren. Die im folgenden aufgeführten Genauigkeitsangaben haben demnach nur Bedeutung im Hinblick auf eine spätere Reduktion der Polygon-Elemente nach einer Wiederholung der Messungen. Sie vermitteln weiter ein Bild von der Genauigkeit, die mit Tellurometermessungen über große Distanzen unter polaren Verhältnissen erreicht werden kann.

Für den Längsfehler M_L , den Richtungsfehler M_ϕ und den Querfehler M_q am Ende der Viereckskette gelten folgende Formeln:

$$M_L = M_0 \sqrt{0.90 n - 0.02}$$

$$M_\phi = \varrho^{cc} \frac{M_0}{s_m} \sqrt{2.00 n - 0.05}$$

$$M_q = M_0 \sqrt{0.67 n^3 - 0.25 n^2 - 0.64 n + 0.22},$$

worin n die Anzahl der Polygonseiten bedeutet. Sie beträgt im West-Ost-Profil $n = 101$. Bei so großem n brauchen jeweils nur die ersten Glieder unter den Quadratwurzeln berücksichtigt zu werden. Damit ergeben sich für das Gesamtprofil Qapiarfik – Cecilia Nunatak folgende theoretische Fehlergrößen:

$$M_L = \pm 57 \text{ cm}$$

$$M_\phi = \pm 64^{cc}$$

$$M_q = \pm 48.9 \text{ m}.$$

8. Verschiebungsvektoren – Deformationen im Abschnitt T 4 – T 301.

Mit Ausnahme des Polygonzuges T 4 (Carrefour) – T 301 (westlich Camp VI EGIG) wurden die EGIG-Profile während der Sommerkampagne 1959 nur einmal eingemessen und zwar zu Zeitpunkten, die für das

West-Ost-Profil zwischen den 14. Mai und dem 20. August, für das Nord-Süd-Profil zwischen dem 28. Juli und dem 13. August liegen. Über die Bewegung und Deformation des Inlandeises längs der eingemessenen Profile kann deshalb im allgemeinen noch nichts ausgesagt werden. Es erscheint jedoch schon jetzt angebracht, die glaziologische Auswertung einer zukünftigen Wiederholungsmessung methodisch vorzubereiten und auf das vorliegende Ausgangsmaterial abzustimmen.

Das Ziel der Lagemessung ist die Bestimmung der Fließbewegung an der Oberfläche des Inlandeises in den EGIG-Profilen nach Größe und Richtung, also der Verschiebungsvektoren der Pegel in einem bestimmten Zeitraum. Es liegt nahe, diese Vektoren aus dem Vergleich von geodätischen oder geographischen Koordinaten zu gewinnen, die sich für die Pegel aus einer ersten und zweiten Messung ergeben. Bei diesem Vorgehen ist jedoch zu berücksichtigen, daß aus einer einzelnen Messung der Profile, die sich über längeren Zeitraum erstreckt, noch keine exakten Pegelkoordinaten hervorgehen. Die Seiten und Brechungswinkel des Profilpolygons haben im Meßzeitraum infolge der Eisbewegung mehr oder minder große Änderungen erfahren, die eine kohärente Koordinierung für einen bestimmten Zeitpunkt nicht zulassen. Erst nach Wieder-

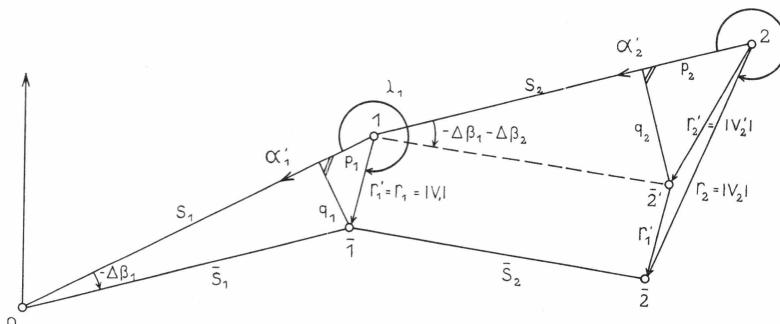


Fig. 22. Verschiebungsvektoren.

holung der Messungen können die Polygonelemente auf einen beliebig wählbaren Zeitpunkt reduziert werden. Die Reduktion auf mehrere Zeitpunkte erlaubt dann die Koordinierung der Pegel für verschiedene Zeiten und damit die Bestimmung der gesuchten Verschiebungsvektoren. Einer solchen Bestimmung wird immer eine Hypothese über den Charakter der Eisbewegung im Meßzeitraum zu Grunde liegen müssen, deren Richtigkeit sich aus 2 Messungen noch nicht überprüfen läßt.

Maßgeblich für die Bestimmung der Verschiebungsvektoren werden die gemessenen oder aus Messungen berechneten Veränderungen der Polygonelemente sein, also die Seitenänderungen Δs und die Winkeländerungen $\Delta\beta$. Es erscheint daher zweckmäßig, ein Berechnungsver-

fahren anzuwenden, das diese Veränderungen unmittelbar benutzt und den Umweg über die Pegelkoordinaten vermeidet.

Ein solches »differentielles« Verfahren lässt sich leicht aus folgender Tatsache ableiten: Der Verschiebungsvektor V_i eines Pegels i kann stets vektoriell aus dem Verschiebungsvektor V_{i-1} des vorausgehenden Pegels $(i-1)$ und der Verschiebung V_i des Pegels i relativ zum Pegel $(i-1)$ zusammengesetzt werden (siehe Figur 22). Beginnend an einem festen Punkt (Qapiarfik am Westende des West-Ost-Profiles) brauchen also nur die Relativverschiebungen V'_i von Folgepegeln berechnet und vektoriell addiert zu werden. Diese Berechnung sei an Hand der Figur 22 kurz erläutert. Es bedeuten dabei:

s_i = Entfernung zwischen Pegel $(i-1)$ und Pegel i bei der 1. Messung

\bar{s}_i = Entfernung zwischen Pegel $(i-1)$ und Pegel i bei der 2. Messung

$\Delta\beta_i$ = Änderung des Brechungswinkels im Pegel $(i-1)$

α'_i = Azimut der Polygonseite zwischen Pegel i und Pegel $(i-1)$.

Mit den Bezeichnungen der Figur ergeben sich die Verschiebungsvektoren V_i nach folgenden Formeln:

1.) Rechtwinklige »Profilkomponenten« p_i und q_i der Relativverschiebungen V'_i :

$$p_i = s_i - \bar{s}_i \cdot \cos \sum_1^i \Delta\beta_n \quad q_i = \bar{s}_i \cdot \sin \sum_1^i \Delta\beta_n.$$

Da die Winkeländerungen $\Delta\beta_i$ als klein anzunehmen sind, kann mit ausreichender Annäherung gesetzt werden:

$$\cos \sum_1^i \Delta\beta_n \approx 1 \quad \sin \sum_1^i \Delta\beta_n \approx \sum_1^i \Delta\beta_n.$$

Damit wird:

$$p_1 = s_1 - \bar{s}_1 = \Delta s_1 \quad p_2 = s_2 - \bar{s}_2 = \Delta s_2 \quad \dots \quad p_i = s_i - \bar{s}_i = \Delta s_i \\ q_1 = \bar{s}_1 \cdot \Delta\beta_1 \quad q_2 = \bar{s}_2 \cdot (\Delta\beta_1 + \Delta\beta_2) \quad \dots \quad q_i = \bar{s}_i \cdot \sum_1^i \Delta\beta_n.$$

2.) Polare »Profilkomponenten« λ_i und r'_i der Relativverschiebungen V'_i :

$$\operatorname{tg} \lambda_1 = \frac{q_1}{p_1} \quad \operatorname{tg} \lambda_2 = \frac{q_2}{p_2} \quad \dots \quad \operatorname{tg} \lambda_i = \frac{q_i}{p_i} \\ r'_1 = \frac{p_1}{\cos \lambda_1} = \frac{q_1}{\sin \lambda_1} \quad r'_2 = \frac{p_2}{\cos \lambda_2} = \frac{q_2}{\sin \lambda_2} \quad \dots \quad r'_i = \frac{p_i}{\cos \lambda_i} = \frac{q_i}{\sin \lambda_i}.$$

Die Radienvektoren r'_i sind bereits die Beträge der Relativverschiebungen V'_i :

$$r'_i = |V'_i|.$$

3.) Azimute A'_i der Relativverschiebungen V'_i :

$$A'_1 = \alpha'_1 + \lambda_1 \quad A'_2 = \alpha'_2 + \lambda_2 \quad \dots \quad A'_i = \alpha'_i + \lambda_i.$$

4.) »Geographische« Komponenten $\Delta x'_i$ (Süd-Nord) und $\Delta y'_i$ (West-Ost) der Relativverschiebungen V'_i :

$$\begin{aligned} \Delta x'_1 &= r'_1 \cdot \cos A'_1 & \Delta x'_2 &= r'_2 \cdot \cos A'_2 & \dots & \Delta x'_i = r'_i \cdot \cos A'_i \\ \Delta y'_1 &= r'_1 \cdot \sin A'_1 & \Delta y'_2 &= r'_2 \cdot \sin A'_2 & \dots & \Delta y'_i = r'_i \cdot \sin A'_i. \end{aligned}$$

5.) Rechtwinklige »geographische« Komponenten Δx_i und Δy_i der Verschiebungsvektoren V_i :

$$\begin{aligned} \Delta x_i &= \sum_1^i \Delta x'_n \\ \Delta y_i &= \sum_1^i \Delta y'_n. \end{aligned}$$

6.) Polare »geographische« Komponenten A_i (Azimut) und r_i (Betrag) der Verschiebungsvektoren V_i :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} A_i &= \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \\ r_i &= \frac{\Delta x_i}{\cos A_i} = \frac{\Delta y_i}{\sin A_i} = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}. \end{aligned}$$

Durch ihre Komponenten nach 5.) und 6.) sind die Verschiebungsvektoren der Pegel vollständig beschrieben. Je nach dem Zweck der Untersuchung können die rechtwinkligen oder die polaren Komponenten, beide bezogen auf die geographische Nordrichtung, herangezogen werden.

Die unter 1.) bis 6.) aufgeführten Formeln gelten streng nur in der Ebene. Auf der Kugel ist die Operation der Parallelverschiebung, die zur einfachen Addition der Relativverschiebungen führt, nicht anwendbar; weiter sind dort die Nordrichtungen in den Pegeln nicht parallel zueinander sondern konvergent. In kleinen Bereichen von der Größenordnung der Pegeldistanzen in den EGIG-Profilen und der zu erwartenden Änderungen Δs und $\Delta \beta$ kann jedoch die ebene Vektoraddition ohne Genauigkeitsverlust angewandt werden. Die Meridiankonvergenz ist weitgehend insofern berücksichtigt, als zur Berechnung der Azimute A'_i der Relativverschiebungen V'_i die Polygon-Azimute α_i verwendet werden, die sich von ihren Gegenazimuten α_i (von Pegel $(i-1)$ nach Pegel i) um die Meridiankonvergenz

$$\begin{aligned}\Delta \alpha &= \Delta \lambda \cdot \sin \varphi_m \\ \Delta \lambda &= \text{Längendifferenz} \\ \varphi_m &= \text{Mittelbreite} \quad \left. \right\} \text{der Polygonseite}\end{aligned}$$

unterscheiden. Durch die Verschiebung der Pegel mit der Eisbewegung ändern sich allerdings Breiten und Längen und damit auch die Meridankonvergenzen $\Delta \alpha$. Diese Tatsache kann durch Iteration der Rechnung ab 3.) mit Verbesserungen für die Azimute α'_i auf Grund der Verschiebungen V_i berücksichtigt werden. Wie weit dies notwendig sein wird, lässt sich erst an Hand der Ergebnisse einer Wiederholungsmessung in den EIG-Profilen beurteilen.

Wie bereits erwähnt, liegen Messungen, die Eisbewegungen gegenüber einem Festpunkt zu bestimmen gestatten würden, in den EIG-Profilen noch nicht vor. Die beschriebene differentielle Methode kann jedoch numerisch zur Bestimmung der Deformation in dem Profilabschnitt T 4 bis T 301 erprobt werden, der zu Beginn (14. Mai) und am Ende (13. August) der Sommerkampagne mit einem Polygonzug eingemessen wurde.

Die Meßdaten sind die folgenden:

Tabelle VIII.

| Punkt | s 14.5.59 m | \bar{s} 13.8.59 m | Δs m | β 14.5.59 g | $\bar{\beta}$ 13.8.59 g | $\Delta \beta$ cc |
|-------|-------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------|
| T 4 | 9 272.91 | 9 274.59 | -1.68 | 200.2889 | 200.2904 | - 15 |
| T 3 | 8 666.75 | 8 667.24 | -0.49 | 204.6347 | 204.6318 | + 29 |
| T 2 | 7 928.69 | 7 934.07 | -5.38 | 206.6231 | 206.6093 | +138 |
| T 1 | 9 422.49 | 9 424.04 | -1.55 | 207.7097 | 207.7352 | -255 |
| T 301 | | | | — | — | — |

Wendet man auf diese Messungen, ausgehend von T 4, das oben beschriebene Verfahren an, so ergeben sich Verschiebungen der Pegel T 3 bis T 301 gegenüber T 4 (Deformationen) nach folgendem Rechenschema. Die Azimute α' sind dabei der Tabelle X in Kapitel VI, Seite 120, entnommen.

Tabelle IX.

| Pkt. | Δs cm | $\Delta \beta$ cc | $\Sigma \Delta \beta$ cc | $\Sigma \Delta \bar{\beta}$ 10^{-5} | p cm | q cm | λ g | r' cm | α' g | A' g | $\Delta x'$ cm | $\Delta x'$ cm |
|--------|------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------------------|---------|---------|----------------|------------|----------------|-----------|-------------------|-------------------|
| T 4... | | - 15 | | | | | | | | | | |
| | - 168 | | - 15 | - 2.356 | - 168 | - 22 | 208.29 | 169 | 71.68 | 279.97 | - 52 | - 161 |
| T 3... | | + 29 | | | | | | | | | | |
| | - 49 | | + 14 | + 2.199 | - 49 | + 19 | 176.45 | 53 | 76.10 | 252.55 | - 36 | - 39 |
| T 2... | | + 138 | | | | | | | | | | |
| | - 538 | | + 152 | + 23.876 | - 538 | + 189 | 178.49 | 570 | 82.50 | 260.99 | - 328 | - 466 |
| T 1... | | - 255 | | | | | | | | | | |
| | - 155 | | - 103 | - 16.179 | - 155 | - 152 | 249.38 | 217 | 89.98 | 339.36 | + 126 | - 177 |
| T 301 | | | | | | | | | | | | |

| Punkt | Δx cm | Δy cm | A g | r cm |
|-----------|------------------|------------------|--------|---------|
| T 4.... | 0 | 0 | - | 0 |
| T 3.... | - 52 | - 161 | 279.97 | 169 |
| T 2.... | - 88 | - 200 | 273.61 | 219 |
| T 1.... | - 416 | - 666 | 264.46 | 785 |
| T 301.... | - 290 | - 843 | 278.91 | 891 |

Ein anschauliches Bild der Verschiebungsvektoren V_i vermittelt die graphische Darstellung der Komponenten Δx_i und Δy_i bzw. A_i und r_i :

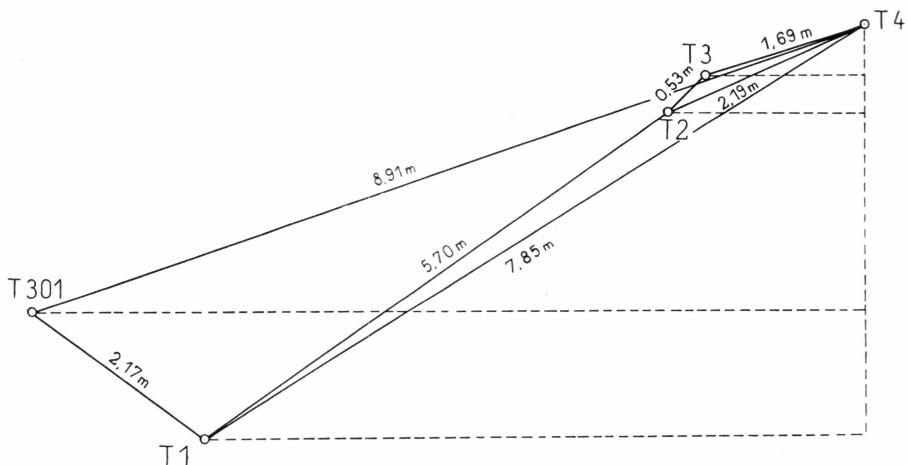


Fig. 23. Deformationen im Pegelprofil T 4-T 301.

Es sei jedoch nochmals betont, daß die berechneten und dargestellten Vektoren nicht die Gesamtbewegung der Pegel gegenüber einem festen Punkt der Erdoberfläche wiedergeben, sondern nur die Deforma-

tionen des Pegelprofiles gegenüber dem Punkt T 4 (Carrefour). Die Gesamtbewegung würde sich durch vektorielle Addition der – bisher unbekannten – Bewegung des Pegels T 4 ergeben.

Die Deformation längs des Profilabschnittes T 4 – T 301 erscheint durch die berechneten Werte in ihrem Gesamtverlauf wie in ihrer Differenzierung auf den einzelnen Teilstrecken sehr gut gekennzeichnet. Die Gesamtstrecke von ca. 35 km hat im Zeitraum von 90 Tagen vor allem eine Dehnung erfahren, die im Mittel 10 cm pro Tag beträgt. Die Gesamtdehnung ist dabei aus sehr unterschiedlichen Teilbeträgen längs der einzelnen Polygonseiten (0.6–6.3 cm pro Tag) hervorgegangen.

VI. GENÄHERTE GEOGRAPHISCHE KOORDINATEN DER EGIG-PEGEL AUF DEM INTERNATIONALEN ERDELLIPSOID

1. Berechnung geographischer Koordinaten aus den Polygon-Elementen.

Wie schon mehrfach hervorgehoben, sind die Ergebnisse der Lagemessung infolge der Eisbewegung im Meßzeitraum nicht kohärent. Die im allgemeinen nur einmal gemessenen Strecken und Winkel können nicht auf einen bestimmten Zeitpunkt reduziert werden. Es wäre daher verfehlt und irreführend, wenn aus ihnen geographische Koordinaten oder geodätische Projektionskoordinaten mit hoher Rechenschärfe hergeleitet würden. Abgesehen von ihrer Unsicherheit hätten solche Koordinaten auch keinen geodätischen Wert, da sie sich mit der Eisbewegung ständig verändern.

Hingegen erscheint es sinnvoll, genähere geographische Koordinaten zu berechnen. Sie werden weitgehend als Grundlage der Auswertung von den anderen Arbeitsgruppen der EGIG, deren Untersuchungen sich auf die Profile West-Ost und Nord-Süd erstreckten (Geophysik, Glaziologie), benötigt, ohne daß dabei höchste Genauigkeit gefordert wird. Sie bilden eine ausreichende Grundlage für die graphische Eintragung der EGIG-Pegel in Karten aller Maßstäbe. Vor allem aber sind sie für die spätere Wiederauffindung der Pegel, einzeln oder im Zusammenhang, zu Lande oder aus der Luft, unentbehrlich. Da die Gefahr besteht, daß bis zu einer Wiederholungsmessung eine Anzahl von Pegeln auf dem Inlandeis verloren gegangen sein wird, muß eine spätere Expedition neben den Daten für die relative Lage der Pegel auch über deren absolute Position im Rahmen der Navigationsgenauigkeit verfügen können.

Die ausgeglichenen Horizontalentfernungen im Meeresniveau und die Brechungswinkel in den Pegelprofilen wurden daher zu einer Bestimmung genäherter geographischer Koordinaten auf dem Internationalen Erdellipsoid herangezogen. Die Berechnung folgte der sog. »2. Geodätischen Hauptaufgabe«, bei der die geographische Breite φ_1 und Länge λ_1 eines Punktes P_1 sowie Azimut α_1 und Strecke s nach einem zweiten

Punkt P_2 auf der Bezugsfläche gegeben und die geographischen Koordinaten φ_2 und λ_2 sowie das Gegenazimut α_2 gesucht sind. Zu berechnen sind also die Breiten- und Längendifferenzen $\Delta\varphi$ und $\Delta\lambda$ zwischen den Punkten P_1 und P_2 sowie die Azimutänderung $\Delta\alpha$ längs der Linie $P_1 P_2$.

Als Bezugsfläche wurde in Anlehnung an die dänische Triangulation in Grönland das Internationale Erdellipsoid gewählt. Zur Berechnung dienten die Gauß'schen Mittelbreitenformeln, die in der Reihenentwicklung bis zu Gliedern 2. Ordnung folgendes Aussehen haben:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi' &= \varrho' \frac{s \cdot \cos \alpha_m}{M} \left(1 + \frac{\Delta\lambda^2 \cos^2 \varphi_m}{24} (2 + 3t^2 + 2\eta^2) + \frac{\Delta\varphi^2}{8} \cdot \eta^2 \frac{t^2 - 1 - \eta^2 - 4\eta^2 t^2}{V^4} \right) \\ \Delta\lambda' &= \varrho' \frac{s \cdot \sin \alpha_m}{N \cdot \cos \varphi_m} \left(1 + \frac{\Delta\lambda^2 \sin^2 \varphi_m}{24} - \frac{\Delta\varphi^2}{24} \frac{1 + \eta^2 - 9\eta^2 t^2}{V^4} \right) \\ \Delta\alpha &= \Delta\lambda \cdot \sin \varphi_m \left(1 + \frac{\Delta\lambda^2 \cos^2 \varphi_m}{12} V^2 + \frac{\Delta\varphi^2}{24} \cdot \frac{3 + 8\eta^2 + 5\eta^4}{V^4} \right). \end{aligned} \right\} (1)$$

Hierin bedeuten:

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \text{ (mittleres Azimut)}$$

$$\varphi_m = \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \text{ (Mittelbreite)}$$

M = Meridiankrümmungsradius des Erdellipsoides in der Breite φ_m

N = Querkrümmungsradius des Erdellipsoides in der Breite φ_m .

η , t und V sind breitenabhängige Funktionen des Ellipsoides, auf die hier nicht näher eingegangen werden muß.

Eine Abschätzung zeigte, daß die quadratischen Glieder in den Gleichungen (1) bei der Koordinierung der EGIG-Pegel vernachlässigt werden dürfen. Ihr maximaler Einfluß auf die Werte $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ und $\Delta\alpha$ der Polygonseiten beträgt:

$$d\Delta\varphi_{\max} = +0.006'' \quad d\Delta\lambda_{\max} = +0.01'' \quad d\Delta\alpha_{\max} = +0.004''.$$

Bei der begrenzten Genauigkeit der Ausgangselemente (Strecken und Winkel) und im Hinblick auf den angestrebten Grad der Näherung für die berechneten Koordinaten und Azimute fällt die Vernachlässigung dieser kleinen Größen auch bei der einseitigen Summierung längs der Profile nicht ins Gewicht.

Die Formeln (1) vereinfachen sich damit auf ihre Hauptglieder:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi' &= \varrho' \frac{s \cdot \cos \alpha_m}{M} \\ \Delta\lambda' &= \varrho' \frac{s \cdot \sin \alpha_m}{N \cdot \cos \varphi_m} \\ \Delta\alpha &= \Delta\lambda \cdot \sin \varphi_m. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Die breitenabhängigen Größen

$$\frac{M}{\varrho'} = c_1 = \text{Länge einer Meridianminute}$$

und $\frac{N \cos \varphi_m}{\varrho'} = c_2 = \text{Länge einer Breitenkreisminute}$ konnten den »Tables de l'Ellipsoïde de Référence international« der UGGI (2., verbesserte Ausgabe 1935) entnommen werden. Die endgültigen Rechenformeln lauteten daher:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi' &= \frac{s \cdot \cos \alpha_m}{c_1} \\ \Delta\lambda' &= \frac{s \cdot \sin \alpha_m}{c_2} \\ \Delta\alpha^{cc} &= \Delta\lambda^{cc} \cdot \sin \varphi_m. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Da α_m zu Beginn der Rechnung für eine Polygonseite noch nicht bekannt ist, müssen die Formeln (3) iterativ angewandt werden. Im ersten Schritt wird genähert

$$(\alpha_m) = \alpha_1$$

gesetzt; α_1 ergibt sich aus den Brechungswinkeln des Profilpolygons. Nach der Abschätzung von $\Delta\varphi'$ aus dem Wert $s \cdot \cos (\alpha_m)$ und der Entnahme des nur wenig veränderlichen Koeffizienten c_1 aus der Tafel folgt die Berechnung von $(\Delta\varphi')$ und (φ_m) , das bereits gut angenähert für den stark breitenabhängigen Koeffizienten c_2 benötigt wird. Damit können $(\Delta\lambda')$ und $(\Delta\alpha)$ bestimmt werden. Aus

$$(\alpha_m)' = (\alpha_m) + \frac{(\Delta\alpha)}{2} = \alpha_1 + \frac{(\Delta\alpha)}{2}$$

ergibt sich dann ein neuer Näherungswert für α_m . Im zweiten und in den folgenden Schritten werden nur noch Zuschläge zu den Näherungswerten $(\Delta\varphi')$, $(\Delta\lambda')$ und $(\Delta\alpha)$ berechnet, bis in dem rasch konvergierenden Verfahren die gewünschte Genauigkeit erreicht ist.

In der Annahme, daß die Lageänderungen im Meßzeitraum die Größenordnung weniger Meter nicht überschreiten, wurde für die geo-

graphischen Koordinaten der EIG-Pegel eine Rechenschärfe von $0.1''$ eingehalten. Die Azimute wurden – entsprechend der Genauigkeit der Brechungswinkel – auf $1''$ genau berechnet. Bei diesen Genauigkeitsforderungen genügte im allgemeinen eine Iteration für die Berechnung von φ_2 und λ_2 , während α_m und damit α_2 noch ein zweites Mal geringfügig verbessert werden mußte. Die Verbesserung wirkte sich jedoch im Rahmen der angestrebten Rechenschärfe nicht mehr auf φ_2 und λ_2 aus. Nur bei den langen Polygonseiten in Küstennähe waren 2 bzw. 3 Iterationen für $\Delta\varphi$ und $\Delta\lambda$ bzw. $\Delta\alpha$ notwendig.

Da die Berechnung der Azimute – entsprechend der Winkelmessung und -berechnung – in Neugrad erfolgte, die Tafeln für das Internationale Erdellipsoid jedoch nur in Altgrad zugänglich waren, wurde eine Zwischenumwandlung von $\Delta\lambda'$ in $\Delta\lambda^g$ notwendig.

Als Ausgangspunkt P_0 der Koordinatenberechnung wurde der Punkt Qapiarfit = T 306 gewählt (vergl. jedoch Abschnitt 4.); das Ausgangsazimut weist von dort zum Punkt Kugssuk. Beide Punkte liegen im Netz der dänischen Küstentriangulation in Grönland. Ihre geographischen Koordinaten wurden der EIG dankenswerterweise vom Dänischen Geodätischen Institut, Kopenhagen, mitgeteilt:

| Punkt | nördl. Breite | | | westl. Länge | | |
|------------------------|---------------|----|-------|--------------|----|-------|
| | ° | ' | " | ° | ' | " |
| I 5011 Qapiarfit | 69 | 52 | 56.40 | 50 | 12 | 08.59 |
| III 5140 Kugssuk | 69 | 42 | 01.45 | 51 | 09 | 32.70 |

Hieraus ergibt sich ein Ausgangsazimut

$$\text{Qapiarfit} \rightarrow \text{Kugssuk}: \alpha_0 = 268.4835^g.$$

Ein Beispiel für das Schema der Koordinaten- und Azimutberechnung findet sich im Anhang als Anlage 4, Seite 138.

Die umfangreichen Rechnungen zur Koordinatenbestimmung der EIG-Pegel wurden ein zweites Mal unabhängig von der 1. Abteilung des Deutschen Geodätischen Forschungsinstitutes in München ausgeführt und damit zuverlässig kontrolliert. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt.

Tabelle X.

Verzeichnis der geographischen Koordinaten, Azimute und Horizontalentferungen auf dem Internationalen Erdellipsoid in den EGIG-Profilen West-Ost und Nord-Süd.

Spalte 1: Punkt, Pegel (Balise)

Datum der Messung während der Sommerkampagne 1959.

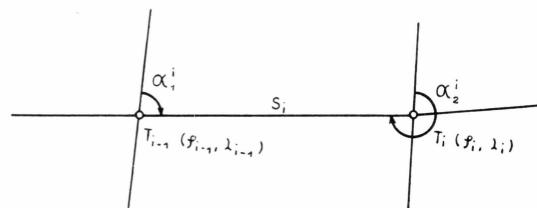
Spalte 2: Nördliche Breite φ in Altgrad.

Spalte 3: Westliche Länge λ in Altgrad.

Spalte 4: Azimut α_1^i

Horizontalentfernung im Meeressniveau

Gegenazimut α_2^i .



| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Punkt Datum Punkt | φ ° ' " | λ ° ' " | α_1^g s (m) α_2^g | Punkt Datum Punkt | φ ° ' " | λ ° ' " | α_1^g s (m) α_2^g |
| T 306... | 69 52 56.4 | 50 12 08.6 | 144.0946 | TA 0... (Ca. VI) | 69 44 16.8 | 48 04 20.5 | 72.6744 |
| 20.8. | | | 37 093.29 | | 14.5. | | 670.45 |
| | | | 344.8618 | | | | 272.6909 |
| T 305... | 69 40 06.5 | 49 27 59.7 | 103.0860 | T 1... | 69 44 25.7 | 48 03 23.5 | 82.4982 |
| = B 30 | | | 9 778.55 | | 13.8. | | 7 934.07 |
| 19.8. | | | 303.3482 | | | | 282.7043 |
| T 304... | 69 39 50.5 | 49 12 53.5 | 94.3666 | T 2... | 69 45 34.8 | 47 51 32.0 | 76.0950 |
| = B 34 | | | 9 215.55 | | 13.8. | | 8 667.24 |
| 19.8. | | | 294.6132 | | | | 276.3129 |
| T 303... | 69 40 16.2 | 48 58 41.6 | 81.6955 | T 3... | 69 47 16.9 | 47 38 59.3 | 71.6811 |
| 19.8. | | | 21 638.35 | | 13.8. | | 9 274.59 |
| | | | 282.2544 | | | | 271.9078 |
| T 302... | 69 43 31.3 | 48 26 30.9 | 97.3276 | T 4... = T 125 | 69 49 25.3 | 47 25 56.7 | 71.6174 |
| 12.8. | | | 5 599.78 | | 17.5. | | 7 512.99 |
| | | | 297.4783 | | | | 271.8012 |
| T 301... | 69 43 38.7 | 48 17 50.2 | 91.3053 | T 5... | 69 51 09.5 | 47 15 22.2 | 68.1298 |
| 13.5. | | | 8 779.15 | | 18.5. | | 10 570 |
| | | | 291.5397 | | | | 268.3843 |

(Fortsetzung)

Tabelle X (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|------------|------------|-----------------------|---------|------------|------------|-----------------------|
| Punkt | | | α_1^g s (m) | Punkt | | | α_1^g s (m) |
| Datum | φ | λ | α_2^g | Punkt | φ | λ | α_2^g |
| Punkt | ° ′ ″ | ° ′ ″ | | Punkt | ° ′ ″ | ° ′ ″ | |
| T 6/1 . | 69 53 53.5 | 47 00 44.0 | | T 16... | 70 20 27.3 | 44 20 28.6 | |
| 19.5. | | | 63.7753 | | | | 71.9964 |
| | | | 9 455 | 3.6. | | | 9 498.17 |
| | | | 263.9896 | | | | 272.2362 |
| T 7... | 69 56 36.3 | 46 48 24.5 | | T 17... | 70 22 37.3 | 44 06 43.5 | |
| 19.5. | | | 74.3845 | | | | 69.2815 |
| | | | 8 100.48 | 4.6. | | | 13 086.82 |
| | | | 274.5879 | | | | 269.6059 |
| T 8... | 69 58 18.3 | 46 36 42.8 | | T 18... | 70 25 52.3 | 43 48 07.6 | |
| 20.5. | | | 71.1241 | | | | 70.7996 |
| | | | 12 742.53 | 4.6. | | | 10 876.10 |
| | | | 271.4375 | | | | 271.0732 |
| T 9... | 70 01 17.6 | 46 18 41.9 | | T 19... | 70 28 27.0 | 43 32 26.9 | |
| 21.5. | | | 73.9768 | | | | 73.9822 |
| | | | 12 596.22 | 5.6. | | | 9 737.50 |
| | | | 274.2939 | | | | 274.2334 |
| T 10... | 70 03 58.3 | 46 00 28.9 | | T 20... | 70 30 31.5 | 43 18 03.5 | |
| 27.5. | | | 70.0261 | | | | 74.7291 |
| | | | 10 653.28 | 5.6. | | | 10 831.87 |
| | | | 270.2872 | | | | 275.0105 |
| T 11... | 70 06 33.6 | 45 45 29.1 | | T 21... | 70 32 45.7 | 43 01 56.4 | |
| 28.5. | | | 71.2887 | | | | 68.6463 |
| | | | 8 033.69 | 6.6. | | | 9 733.30 |
| | | | 271.4879 | | | | 268.8884 |
| T 11a . | 70 08 26.2 | 45 34 02.9 | | T 22... | 70 35 13.7 | 42 48 04.4 | |
| 28.5. | | | 70.9883 | | | | 70.3147 |
| | | | 9 204.05 | 6.6. | | | 10 114.12 |
| | | | 271.2164 | | | | 270.5704 |
| T 12... | 70 10 36.4 | 45 20 57.1 | | T 23... | 70 37 39.8 | 42 33 26.4 | |
| 30.5. | | | 70.7979 | | | | 74.2646 |
| | | | 15 163.83 | 7.6. | | | 11 153.04 |
| | | | 271.1743 | | | | 274.5554 |
| T 13... | 70 14 11.8 | 44 59 20.7 | | T 24... | 70 40 00.5 | 42 16 47.8 | |
| 31.5. | | | 70.5446 | | | | 74.4301 |
| | | | 9 576.12 | 7.6. | | | 10 998.58 |
| | | | 270.7824 | | | | 274.7178 |
| T 14... | 70 16 29.2 | 44 45 42.0 | | T 25... | 70 42 18.5 | 42 00 20.0 | |
| 31.5. | | | 69.5521 | | | | 72.0612 |
| | | | 7 561.73 | 7.6. | | | 9 146.27 |
| | | | 269.7387 | | | | 272.2970 |
| TA15... | 70 18 21.2 | 44 34 59.8 | | T 26... | 70 44 23.4 | 41 46 50.8 | |
| 3.6. | | | 74.0452 | | | | 72.9744 |
| | | | 9 901.90 | 8.6. | | | 10 004.61 |
| | | | 274.2984 | | | | 273.2345 |

(Fortsetzung)

Tabelle X (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Punkt Datum Punkt | φ ° ' " | λ ° ' " | α_1^g s (m) α_2^g | Punkt Datum Punkt | φ ° ' " | λ ° ' " | α_1^g s (m) α_2^g |
| T 27... | 70 46 35.8 | 41 31 58.1 | 71.9904 9 944.93 272.2477 | T 38... | 71 01 27.5 | 38 43 35.8 | 86.8177 9 888.58 287.0980 |
| 9.6. ... | | | | 16.6. | | | |
| T 28... | 70 48 51.9 | 41 17 15.3 | 74.9848 11 176.94 275.2807 | T 39... | 71 02 32.4 | 38 27 35.4 | 86.5054 9 806.78 286.7834 |
| 9.6. | | | | 17.6. ... | | | |
| T 29... | 70 51 09.2 | 41 00 20.4 | 73.6807 9 287.03 273.8547 | T 40... | 71 03 38.3 | 38 11 43.0 | 87.3084 10 039.28 287.5940 |
| 9.6. | | | | 17.6. | | | |
| T 30... | 70 53 09.4 | 40 46 23.5 | 69.6306 5 743.29 269.7773 | T 41... | 71 04 41.8 | 37 55 24.7 | 87.2244 9 967.91 287.5082 |
| 9.6. | | | | 17.6. | | | |
| TA 31... | 70 54 34.3 | 40 38 00.5 | 87.5108 10 066.73 287.7950 | T 42... | 71 05 45.2 | 37 39 12.6 | 85.9914 12 364.00 286.3424 |
| 13.6. | | | | 18.6. | | | |
| T 32... | 70 55 36.9 | 40 21 46.4 | 87.2804 10 112.53 287.5659 | T 43... | 71 07 11.2 | 37 19 10.5 | 86.1764 9 967.28 286.4599 |
| 13.6. | | | | 18.6. | | | |
| T 33... | 70 56 41.0 | 40 05 27.6 | 89.0821 9 964.19 289.3652 | T 44... | 71 08 19.8 | 37 02 59.8 | 87.2590 10 054.55 287.5463 |
| 14.6. | | | | 18.6. | | | |
| T 34... | 70 57 35.2 | 39 49 17.3 | 88.4941 10 234.26 288.7846 | T 45... | 71 09 23.6 | 36 46 36.1 | 87.4340 15 075.91 287.8657 |
| 14.6. | | | | 18.6. | | | |
| T 35... | 70 58 33.9 | 39 32 41.5 | 87.1435 9 863.36 287.4226 | T 46... | 71 10 57.4 | 36 21 58.4 | 87.2121 15 102.60 287.6449 |
| 16.6. | | | | 19.6. | | | |
| T 36... | 70 59 37.0 | 39 16 44.9 | 90.1628 10 118.43 290.4518 | T 47... | 71 12 33.0 | 35 57 17.2 | 86.4063 15 033.60 286.8366 |
| 16.6. | | | | 19.6. | | | |
| T 37... | 71 00 26.6 | 39 00 14.4 | 88.0658 10 251.56 288.3572 | T 48... | 71 14 14.2 | 35 32 44.6 | 87.0213 17 548.23 287.5256 |
| 16.6. | | | | 20.6. | | | |

(Fortsetzung)

Tabelle X (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Punkt Datum Punkt | φ ° ' " | λ ° ' " | α_1^g s (m) α_2^g | Punkt Datum Punkt | φ ° ' " | λ ° ' " | α_1^g s (m) α_2^g |
| | | | | | | | |
| T 49... | 71 16 06.6 | 35 03 59.3 | | T 60... | 72 10 03.6 | 32 23 22.0 | |
| 20.6. | | | 87.3230 17 437.10 287.8254 | 26.6. | | | 22.0734 6 534.31 222.1423 |
| T 50... | 71 17 55.7 | 34 35 20.6 | | TA 61... | 72 13 21.9 | 32 19 27.5 | |
| 21.6. | | | 88.6685 15 006.92 289.1032 | (Dépôt 420) 7.7. | | | 59.6522 8 044.36 259.8539 |
| T 51... | 71 19 19.8 | 34 10 33.7 | | T 62... | 72 15 55.3 | 32 08 01.7 | |
| 21.6. | | | 89.6175 15 616.61 290.0716 | 6.7. | | | 65.1551 6 439.56 265.3265 |
| T 52... | 71 20 39.8 | 33 44 40.6 | | T 63... | 72 17 43.2 | 31 58 18.7 | |
| 21.6. | | | 91.9014 9 976.22 292.1932 | 6.7. | | | 69.4769 13 119.24 269.8408 |
| TA53... | 71 21 19.9 | 33 28 02.6 | | T 64... | 72 20 57.3 | 31 37 41.1 | |
| (Jarl Joset) | | | 16.0524 8 288.13 216.1136 | 5.7. | | | 70.4236 12 342.10 270.7696 |
| T 54... | 71 25 38.8 | 33 24 33.3 | | T 65... | 72 23 54.7 | 31 18 04.7 | |
| 24.6. | | | 26.1317 17 570.23 226.3410 | 5.7. | | | 73.8302 11 532.90 274.1626 |
| T 55... | 71 34 18.2 | 33 12 38.4 | | T 65a ... | 72 26 22.5 | 30 59 15.1 | |
| 25.6. | | | 27.1698 16 096.05 227.3702 | 5.7. | | | 69.6917 8 588.62 269.9322 |
| T 56... | 71 42 10.6 | 33 01 14.0 | | T 66... | 72 28 29.0 | 30 45 37.8 | |
| 25.6. | | | 26.8987 16 060.89 227.0984 | 4.7. | | | 89.1813 15 292.95 289.6596 |
| T 57... | 71 50 02.9 | 32 49 52.9 | | T 67... | 72 29 50.7 | 30 18 42.1 | |
| 25.6. | | | 25.2963 16 059.84 225.4862 | 3.7. | | | 90.0694 11 654.32 290.4330 |
| T 58... | 71 58 00.3 | 32 39 05.6 | | T 68... | 72 30 48.0 | 29 58 06.9 | |
| 26.6. | | | 24.5600 16 140.57 224.7471 | 3.7. | | | 105.4302 13 115.16 305.8426 |
| T 59... | 72 06 02.4 | 32 28 28.5 | | T 69... | 72 30 10.5 | 29 34 45.7 | |
| 26.6. | | | 23.6363 8 025.30 223.7263 | 3.7. | | | 86.9040 19 306.17 287.5017 |

(Fortsetzung)

Tabelle X (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------|------------|------------|-----------------------|----------|------------|------------|-----------------------|
| Punkt | φ | λ | α_1^g s (m) | Punkt | φ | λ | α_1^g s (m) |
| Datum | ° ′ ″ | ° ′ ″ | α_2^g | Punkt | ° ′ ″ | ° ′ ″ | α_2^g |
| Punkt | | | | | | | |
| T 70... | 72 32 14.8 | 29 00 55.2 | | C N | 72 34 29.6 | 27 57 53.6 | |
| | | | 88.2094 | Zentrum | | | |
| 2.7. | | | 5 741.27 | | | | |
| | | | 288.3880 | C N | 72 34 31.8 | 27 57 42.3 | |
| T 71... | 72 32 48.7 | 28 50 48.6 | | Astro | | | |
| | | | 92.8075 | | | | |
| 2.7. | | | 29 680.13 | | | | |
| | | | 293.7422 | | | | |

II. Profil N-S.

| | | | | | | | |
|-----------|------------|------------|-----------|----------|------------|------------|-----------|
| TA 100... | 71 25 08.3 | 49 35 42.0 | | T 108... | 71 03 19.9 | 48 11 50.1 | |
| 28.7. | | | 94.5384 | | | | 184.0107 |
| | | | 9 220.98 | 31.7. | | | 9 908.87 |
| | | | 294.8104 | | | | 384.0818 |
| T 101... | 71 25 33.1 | 49 20 12.1 | | T 109... | 70 58 10.1 | 48 07 46.6 | |
| 29.7. | | | 94.1814 | | | | 185.3586 |
| | | | 17 206.95 | 31.7. | | | 9 686.61 |
| | | | 294.6892 | | | | 385.4220 |
| T 102... | 71 26 21.5 | 48 51 16.5 | | T 110... | 70 53 05.8 | 48 04 09.2 | |
| 29.7. | | | 105.6184 | | | | 186.8421 |
| | | | 11 322.39 | 1.8. | | | 3 802.93 |
| | | | 305.9524 | | | | 386.8645 |
| T 103... | 71 25 48.3 | 38 32 14.7 | | T 111... | 70 51 05.7 | 48 02 52.5 | |
| 29.7. | | | 164.0018 | | | | 186.2772 |
| | | | 8 625.84 | 1.8. | | | 7 107.60 |
| | | | 364.1382 | | | | 386.3206 |
| T 104... | 71 21 53.1 | 48 24 28.5 | | T 112... | 70 47 21.7 | 48 00 23.4 | |
| 31.7. | | | 188.0758 | | | | 187.3800 |
| | | | 8 461.48 | 1.8. | | | 10 492.69 |
| | | | 388.1221 | | | | 387.4387 |
| T 105... | 71 17 24.9 | 48 21 50.2 | | T 113... | 70 41 49.8 | 47 57 01.9 | |
| 31.7. | | | 187.2596 | | | | 186.5852 |
| | | | 10 229.97 | 1.8. | | | 6 339.26 |
| | | | 387.3191 | | | | 386.6227 |
| T 106... | 71 12 01.4 | 48 18 26.7 | | T 114... | 70 38 29.8 | 47 54 53.0 | |
| 31.7. | | | 185.4540 | | | | 187.3220 |
| | | | 8 014.95 | 3.8. | | | 5 267.68 |
| | | | 385.5069 | | | | 387.3514 |
| T 107... | 71 07 49.5 | 48 15 25.7 | | T 115... | 70 35 43.2 | 47 53 11.9 | |
| 31.7. | | | 183.8109 | | | | 188.1331 |
| | | | 8 633.06 | 4.8. | | | 10 192.73 |
| | | | 383.8739 | | | | 388.1862 |

(Fortsetzung)

Tabelle X (fortgesetzt).

| 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|--------------|
| Punkt | | | α_1^g | Punkt | | | α_1^g |
| Datum | φ | λ | s_g (m) | Datum | φ | λ | s_g (m) |
| Punkt | ° ′ ″ | ° ′ ″ | α_2^g | Punkt | ° ′ ″ | ° ′ ″ | α_2^g |
| T 116... | 70 30 19.9 | 47 50 09.4 | | T 125... | 69 49 25.3 | 47 25 56.7 | |
| 5.8. | | | 188.6603 | = T 4 | | | 166.5645 |
| | | | 7 017.55 | 9.8. | | | 2 604.21 |
| | | | 388.6946 | | | | 366.5998 |
| T 117... | 70 26 37.1 | 47 48 09.7 | | T 126... | 69 48 12.6 | 47 23 54.8 | |
| 5.8. | | | 189.4850 | 10.8. | | | 168.4885 |
| | | | 6 740.58 | | | | 9 376.41 |
| | | | 389.5159 | | | | 368.6085 |
| T 118... | 70 23 09.0 | 47 46 25.7 | | T 127... | 69 43 46.3 | 47 17 00.3 | |
| 5.8. | | | 188.1567 | 12.8. | | | 171.0034 |
| | | | 9 022.66 | | | | 6 484.06 |
| | | | 388.2031 | | | | 371.0801 |
| T 119... | 70 18 22.9 | 47 43 46.0 | | T 127 a .. | 69 40 38.3 | 47 12 35.5 | |
| 5.8. | | | 185.5332 | 10.8. | | | 163.1439 |
| | | | 12 919.77 | | | | 8 284.36 |
| | | | 385.6136 | | | | 363.2653 |
| T 120... | 70 11 36.7 | 47 39 09.1 | | T 128... | 69 36 54.5 | 47 05 35.9 | |
| 5.8. | | | 186.2477 | 11.8. | | | 183.5035 |
| | | | 10 178.52 | | | | 6 778.33 |
| | | | 386.3077 | | | | 383.5499 |
| T 121... | 70 06 15.8 | 47 35 42.4 | | T 129... | 69 33 23.1 | 47 02 55.6 | |
| 6.8. | | | 186.2170 | 11.8. | | | 159.5631 |
| | | | 10 840.32 | | | | 5 865.77 |
| | | | 386.2807 | | | | 359.6558 |
| T 122... | 70 00 34.2 | 47 32 02.8 | | T 130... | 69 30 50.7 | 46 57 35.0 | |
| 6.8. | | | 188.6768 | 11.8. | | | 162.8310 |
| | | | 7 576.25 | | | | 8 332.62 |
| | | | 388.7133 | | | | 362.9530 |
| T 123... | 69 56 33.5 | 47 29 56.8 | | T 131... | 69 27 06.3 | 46 50 33.1 | |
| | | | 187.1999 | 12.8. | | | 173.3724 |
| | | | 8 633.53 | | | | 2 386.05 |
| | | | 387.2467 | | | | 373.3981 |
| T 124... | 69 52 00.5 | 47 27 15.3 | | T 131 a .. | 69 25 55.9 | 46 49 04.2 | |
| 6.8. | | | 188.9830 | 12.8. | | | 172.2204 |
| | | | 4 881.16 | | | | 7 866.69 |
| | | | 389.0058 | | | | 372.3083 |
| | | | | T 132... | 69 22 05.8 | 46 43 59.9 | |

2. Geographische Koordinaten der an die Profile angeschlossenen Punkte.

Die in Kapitel V, Abschnitt 6., aufgeführten Anschlußmessungen nach Punkten außerhalb der EGIG-Profile wurden zur Berechnung genauerer geographischer Koordinaten auch für diese Punkte herangezogen. Die Rechnung folgte dem in Abschnitt 1. beschriebenen Gang. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle XI zusammengefaßt.

Tabelle XI
Geographische Koordinaten von Punkten außerhalb
der EGIG-Profile

| Punkt | φ ° ' " | λ ° ' " | α_1^g s(m) α_2^g | von.. nach.. | Datum |
|---------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------------|-----------------|---------|
| Bei Milcent: | | | | | |
| M 100 EPF | 70 18 03.9 | 44 34 27.5 | 164.1679 633.09 364.1773 167.0185 | TA 15 | 2.6.59 |
| 5-140 SIPRE | 70 18 02.3 | 44 34 27.8 | 675.68 367.0278 | TA 15 | 2.6.59 |
| Milcent-Station Centrale: | | | | | |
| T 22/1 = M 149 | 70 35 37.6 | 42 41 15.0 | 88.8806 4 284.45 288.9998 243.7874 | T 22 | 4.8.60 |
| T 22/2 = M 151 | 70 36 21.7 | 42 36 39.5 | 3 133.38 43.7312 110.2134 | T 23 | 4.8.60 |
| T 23/1 = M 154 | 70 37 27.5 | 42 29 37.5 | 2 386.09 310.2801 180.4676 | T 23 | 4.8.60 |
| T 24/1 = M 160 | 70 39 27.7 | 42 16 16.4 | 1 065.94 380.4750 | T 24 | 4.8.60 |
| Bei Station Centrale: | | | | | |
| Benson-Turm | 70 54 37.7 | 40 37 17.3 | 84.9422 450.94 284.9548 94.0875 | TA 31 | 12.6.59 |
| Hiran-Station | 70 54 35.6 | 40 37 18.2 | 431.48 294.0999 | TA 31 | 12.6.59 |
| Am Nord-Süd-Profil: | | | | | |
| Point N, Dépôt | 71 25 41.4 | 48 27 01.4 | 386.6053 7 234.9 186.5606 | T 104 | 29.7.59 |

3. Vergleich der geodätisch bestimmten Koordinaten mit den astronomischen.¹⁾

In den Hauptpunkten der EIG-Profile West-Ost und Nord-Süd, nämlich in

Camp VI EIG (TA 0)
Milcent (TA 15)
Station Centrale (TA 31)
Station Jarl-Joset (TA 53)
Dépôt 420 (TA 61)
Cecilia Nunatak N (N Astro)
Terme EIG (TA 100),

wurden astronomische Beobachtungen zur Bestimmung von Breite, Länge und Azimut ausgeführt. Instrumente, Verfahren und Auswertung der astronomischen Messungen während der Sommerkampagne 1959 werden von J. COMMIOT in Abhandlung 3 dieses Bandes ausführlich dargestellt.

Hauptzweck der astronomischen Arbeiten war die unabhängige Kontrolle der geodätischen Lagemessung, vor allem der Richtungsübertragung in den Profilen. Im Rahmen dieses Berichtes interessieren daher vor allem die Differenzen zwischen den astronomischen und geodätischen Positionen und Azimuten, die aus folgender Tabelle XII ersichtlich sind:

Tabelle XII.

| Punkt | φ | | λ | | α | | nach |
|----------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|------------|----------|-------|
| | Astro ° ' " | Geo ° ' " | Astro ° ' " | Geo ° ' " | Astro g | Geo g | |
| Camp VI EIG .. | 69 44 12.0 | 69 44 16.8 | 48 04 26.6 | 48 04 20.5 | 291.5119 | 291.5397 | T 301 |
| TA 0 | | | | | | | |
| Milcent | 70 18 25.0 | 70 18 21.2 | 44 35 03.9 | 44 34 59.8 | 269.5417 | 269.7387 | T 14 |
| TA 15 | | | | | | | |
| Station Centrale .. | 70 54 42.0 | 70 54 34.3 | 40 38 10.5 | 40 38 00.5 | 385.5900 | 385.5876 | TAA31 |
| TA 31 | | | | | | | |
| Sta. Jarl-Joset | 71 21 25.0 | 71 21 19.9 | 33 27 56.1 | 33 28 02.6 | 292.1520 | 292.1932 | T 52 |
| TA 53 | | | | | | | |
| Dépôt 420 | 72 13 33.0 | 72 13 21.9 | 32 19 30.0 | 32 19 27.5 | 222.1249 | 222.1423 | T 60 |
| TA 61 | | | | | | | |
| Cecilia N. N. | 72 34 55 | 72 34 31.8 | 27 57 30.0 | 27 57 42.3 | 208.5231 | 208.5374 | C S |
| Astro | | | | | | | |

(Fortsetzung)

¹⁾ Die in diesem Abschnitt gegebene Interpretation der Differenzen zwischen den astronomischen und geodätischen Positionen und Azimuten im West-Ost-Profil entspricht der persönlichen Auffassung des Autors; das Direktionskomitee der EIG trägt dafür keine Verantwortung.

Tabelle XII (fortgesetzt).

Differenzen Astro - Geo:

| Punkt | $\Delta\varphi''$ | $\Delta\lambda''$ | $\Delta\alpha^\circ$ |
|--------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| Camp VI EIGIG | - 4.8 | + 6.1 | - 2.78 |
| Milcent | + 3.8 | + 4.1 | (- 19.70) |
| Station Centrale | + 7.7 | + 10.0 | + 0.24 |
| Station Jarl-Joset | + 5.1 | - 6.5 | - 4.12 |
| Dépôt 420 | + 11.1 | + 2.5 | - 1.74 |
| Cecilia Nunatak | + 23.2 | - 12.3 | - 1.43 |

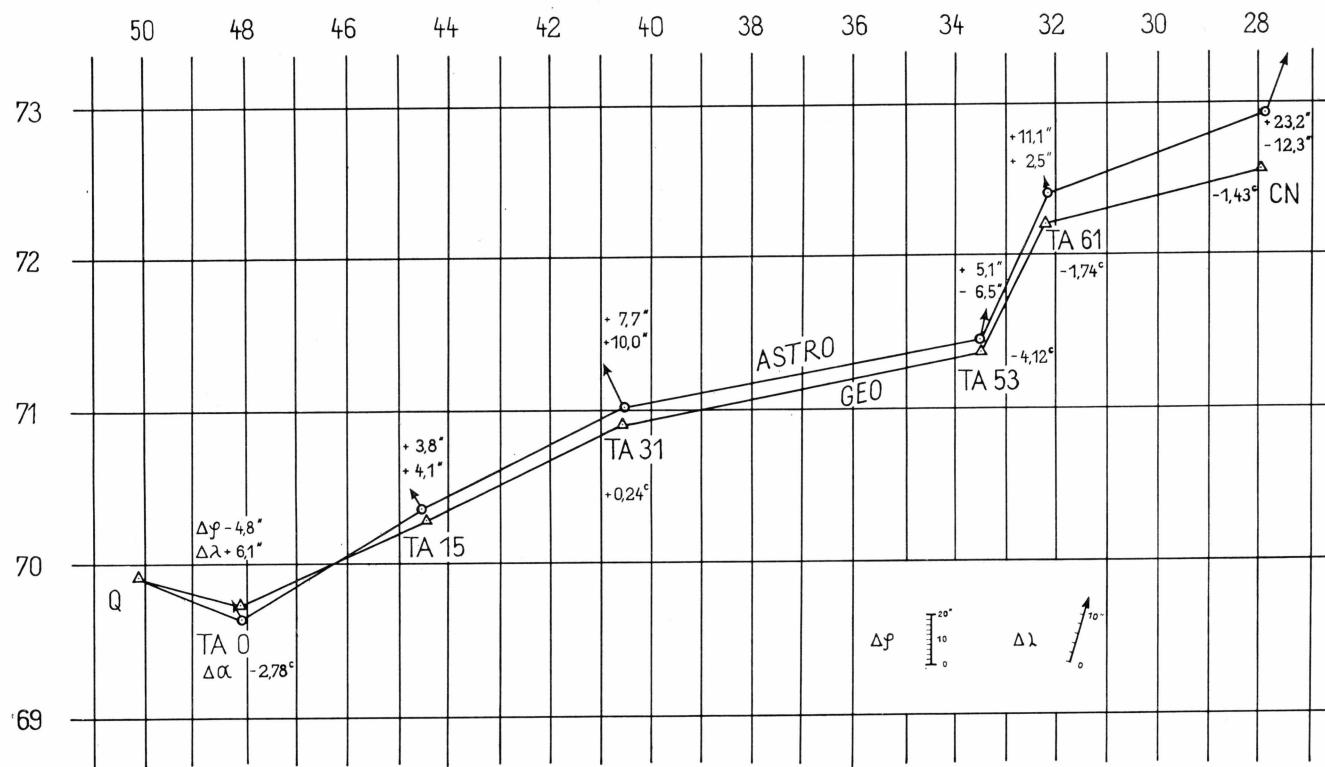
Zu Terme EIGIG = TA 100 siehe Abschnitt 4.

Die Analyse der Differenzen zeigt deutlich, daß es sich dabei nicht um zufällige Abweichungen im Rahmen der Meßgenauigkeit handelt, sondern daß sie systematischen Charakter besitzen. Dieser Eindruck wird durch die graphische Darstellung der Differenzen verstärkt. Vor allem lassen die Azimut-Differenzen im Zusammenhang mit den gleichsinnigen Breitendifferenzen einen systematischen Azimutfehler der geodätischen Koordinatenberechnung von der Größenordnung $-2\text{--}3^\circ$ vermuten. Die Möglichkeit und Ursache einer solchen systematischen Abweichung soll daher im folgenden näher untersucht werden. Dabei bleibt die ungewöhnlich große Azimut-Differenz von -19.70° in Milcent (TA 15) außer Betracht, da es sich hier offensichtlich um eine Zielverwechslung bei der astronomischen Azimutmessung handelt.

a) Ausgangsazimut der geodätischen Koordinatenberechnung.

Das Ausgangsazimut für die geodätische Koordinatenberechnung wurde – wie schon erwähnt – von den dänischen Triangulationspunkten Qapiarfit und Kugssuk hergeleitet. Der Anschluß-Polygonwinkel für das West-Ost-Profil wurde in Qapiarfit nach T 305 = B 30 gemessen. Entgegen dem ursprünglichen Plan konnte aus operationellen Gründen der Punkt Kugssuk selbst nicht aufgesucht und besetzt werden. Er wurde vielmehr nach der Karte und auf Grund der Beschreibung von R. CHAUCHON, der die örtliche Situation von früheren Arbeiten der EPF im Küstengebiet her kannte, von Qapiarfit aus identifiziert, wobei die klare Sicht eine fehlerhafte Zielansprache selbst über die große Distanz von 42 km auszuschließen schien. Trotzdem liegt die Vermutung nahe, daß bei der Winkelmessung auf Qapiarfit eine Zielverwechslung unterlaufen ist.

173



9

Fig. 24. Graphische Darstellung der Differenzen zwischen den astronomischen und geodätischen Koordinaten.

Wie weit diese Vermutung begründet ist, läßt sich durch Kontrollrechnungen im Dreieck Kugssuk-Qapiarfit-Manitsoq überprüfen, in dem bei der Messung der Vergleichsbasis West folgende Stücke gemessen wurden (siehe Fig. 25):

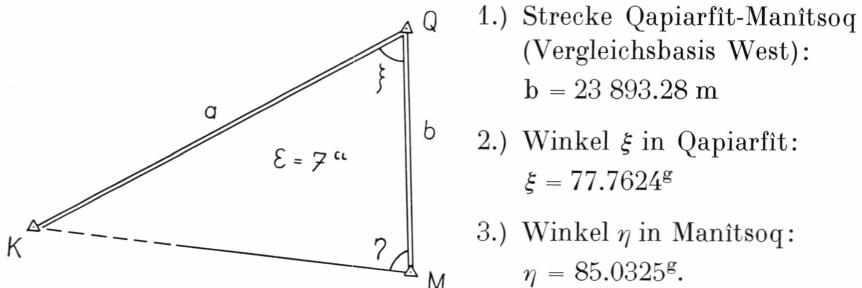


Fig. 25. Ausgangsdreieck Kugssuk–Qapiarfit–Manitsoq.

Da außerdem aus den Koordinaten von Kugssuk und Qapiarfit die Entfernung a dieser beiden Punkte mit

$$a = 42\ 113.82\text{ m}$$

bekannt ist, liegt eine Überbestimmung vor, die eine Kontrolle der Winkelmessung ermöglicht.

Die 4 bekannten Stücke a , b , ξ und η des Dreiecks QMK müßten der Bedingung

$$a \sin \left(\xi + \eta - \frac{2}{3} \varepsilon \right) - b \sin \left(\eta - \frac{1}{3} \varepsilon \right) = 0$$

genügen. Setzt man ihre Werte in diese Bedingungsgleichung ein, so ergibt sich ein Widerspruch w von

$$w = -0.91\text{ [m].}$$

Geometrisch bedeutet dieser Widerspruch die Differenz zwischen den beiden Werten für die Senkrechte (Höhe) von Q auf MK, die aus a und ξ , bzw. aus b und η berechnet werden können. Die Ausgleichung des Dreiecks, in die naturgemäß nur die Winkel ξ und η als Beobachtungen einzuführen sind, liefert die Verbesserungen

$$v_\xi = -7^\circ$$

$$v_\eta = -8^\circ.$$

Diese Kontrollrechnungen zeigen, daß sowohl in Qapiarfit wie in Manitsoq eine fehlerhafte Zieleinstellung von ca. 40 cm bei der Visur nach Kugssuk vorliegen kann und zwar in entgegengesetztem Sinn von beiden Standorten aus gesehen. Sie erweisen jedoch eindeutig, daß eine Fehlzielung von 2–3°, mit der die Azimut-Differenz im West-Ost-Profil

erklärt werden könnte, bei der Winkelmessung in Qapirarfik ausgeschlossen ist.

Trotzdem sollte bei einer Wiederholungsmessung auf eine sorgfältige Kontrolle des Anschluß-Azimutes durch örtliche Erkundung und Messung im Punkt Kugssuk nicht verzichtet werden.

b) Azimut-Änderungen im Meßzeitraum.

Als zweite Erklärung für die nicht unbeträchtlichen und systematischen Azimut- und Breiten-Differenzen im West-Ost-Profil kommen die Azimut-Änderungen in Betracht, die durch die Eisbewegung während der Messung vor allem im westlichen Randgebiet des Profiles eingetreten sind. Dieser Erklärung mißt der Verfasser die größte Wahrscheinlichkeit zu.

Der tatsächliche, durch die operationellen Möglichkeiten bedingte Ablauf der Profilmessung ist dabei von ausschlaggebender Bedeutung. Die Messung begann am 14. Mai in Camp VI EGIG, 92 km von der Westküste entfernt, und wurde praktisch in einem Zug bis zum 7. Juli über das Inlandeis bis Cecilia Nunatak vorgetragen. Der Anschluß von Camp VI EGIG zur Westküste konnte jedoch erst vom 12.-20. August durchgeführt werden. In den dazwischenliegenden 3 Monaten traten im westlichen Randgebiet des Inlandeises vor und um Camp VI EGIG mit der Eisbewegung erhebliche Punktversetzungen ein, die entsprechende Azimut-Änderungen der Polygonseiten zur Folge hatten. Da die Eisbewegung landeinwärts rasch abnimmt, war die Verbindungsstelle zwischen den Messungen im Mai und denen im August so weit wie möglich nach Osten zu legen. Zur Koordinatenberechnung wurden daher die Wiederholungsmessungen im Polygonzug T 301 (westlich Camp VI EGIG) bis T 4 (Carrefour) vom 13. August verwendet. Die Auswertung der Doppelmessung zwischen T 301 und T 4 in Kapitel V, Abschnitt 8., zeigt jedoch, daß auch in diesem Gebiet, also bis zum Verbindungspunkt Carrefour, noch mit Winkel- und Azimutänderungen von einigen Neuminuten im Meßzeitraum gerechnet werden muß. In der Berechnung geographischer Koordinaten aus den geodätischen Messungen sind also ältere, gewissermaßen »fossile« Polygonelemente mit jüngeren, geänderten verknüpft. Die astronomische Ortsbestimmung hingegen hat mit großer Annäherung die im Zeitpunkt der Messung gültigen Koordinaten und Azimute festgehalten.

Es könnte angebracht erscheinen, bei der geodätischen Koordinatenberechnung die Azimute in den Hauptpunkten jeweils den astronomisch bestimmten Werten anzugeleichen. Eine Abschätzung zeigt jedoch, daß dadurch die Breitendifferenzen noch keinerwegs ganz zum Verschwinden gebracht würden, daß also neben den jeweiligen Ausgangsazimuten auch die Brechungswinkel in den Polygon-Abschnitten ge-

ändert werden müßten. Vor allem ist dabei zu berücksichtigen, daß nicht nur die geodätischen sondern auch die astronomischen Beobachtungen nur den Augenblickszustand im Zeitpunkt der Messung festhalten konnten. Azimut-Änderungen im Meßzeitraum sind von keiner der beiden Lagebestimmungen erfaßbar. Eine Ausgleichung der geodätischen Lagemessung auf Grund der astronomischen Ortsbestimmung würde also noch unbekannte systematische Einflüsse in einer unzulässigen und unkontrollierbaren Weise als zufällige Fehler behandeln und verteilen.

Erst eine Wiederholung der Messungen, die sich auf die astronomischen Beobachtungen ebenso erstrecken sollte wie auf die geodätischen, kann Aufschluß über Charakter und Größe der vermuteten Systematik geben. Bis dahin müssen astronomische und geodätische Koordinaten gesondert nebeneinander bestehen bleiben.

4. Winkelkorrektur in Pegel T 117 des Nord-Süd-Profiles.

Eine wirksame Kontrolle der Lagemessung, die zur Aufdeckung eines Winkelfehlers führte, vermittelte die astronomische Ortsbestimmung in Terme EGIG (TA 100), dem Anfangspunkt des Nord-Süd-Profiles.

Die erste Durchrechnung des Polygonzuges T 125 (Carrefour) bis TA 100 mit den geographischen Koordinaten von T 4 = T 125 als Ausgangswerten ergab einen Schlußfehler von $12''$ der Breite und $1.3'$ der Länge gegenüber den astronomisch bestimmten Koordinaten von TA 100. Die Rückrechnung mit den Astro-Koordinaten von TA 100 als Ausgangswerten führte zu ähnlichen Schlußfehlern in T 125. Für den Zwischenpegel T 117 des Nord-Süd-Profiles stimmten jedoch die Koordinaten aus beiden Berechnungen überein. Dies ist als sicheres Zeichen dafür zu werten, daß der Brechungswinkel in T 117 falsch angenommen worden, daß also bei der Winkelmessung in T 117 ein Fehler unterlaufen war. Aus den Azimuten der Seiten T 117-T 118 und T 117-T 116 ergab sich dieser Fehler zu -0.8168^g . Er kann nur mit einer Zielverwechslung bei der Visur T 117-T 116 (Rückvisur im Polygonzug) erklärt werden, da bei der Visur von T 117 nach dem Pegel T 118, der mit einem Weasel besetzt war, ein Irrtum ausgeschlossen erscheint. Hingegen ist die Verwechslung des unbesetzten Pegels T 116 mit einer Markierungsfahne an der vorbeiführenden Piste bei schlechten Sichtverhältnissen durchaus denkbar. Als Lehre für die Polygonmessung auf dem Inlandeis folgt aus dieser Tatsache, daß immer 3 Folgestationen besetzt sein sollten und die Winkelmessung in der mittleren Station zu erfolgen hat.

Infolge des Winkelfehlers in T 117 mußten die geographischen Koordinaten im Nord-Süd-Profil zwischen Carrefour und Terme EGIG in 2 Abschnitten gerechnet werden:

1. Polygonzug T 125–T 117 mit den geodätisch aus Qapiarfit abgeleiteten geographischen Koordinaten von T 125 = T 4 als Ausgangswerten.
2. Polygonzug TA 100–T 117 mit den astronomisch bestimmten geographischen Koordinaten von TA 100 = Terme EGIG als Ausgangswerten.

Für Terme EGIG ergab sich dadurch keine Möglichkeit zu einem Vergleich zwischen astronomischen und geodätischen Koordinaten.

5. Geographische Koordinaten der EPF – SIPRE – Pegel 1950 und 1959.

Der Anschluß der alten EPF-SIPRE-Pegel zwischen Milcent und Station Centrale an das West-Ost-Profil der EGIG ermöglicht einen Vergleich zwischen deren geographischen Koordinaten aus dem Jahre 1950, die von L. TSCHAEN, 1959, S. 105, neu berechnet wurden, und den Positionen gemäß der genäherten Koordinierung aus den geodätischen Messungen während der EGIG-Sommerkampagne 1959 (siehe Tabelle XI, S. 126). Die Vergleichswerte sind:

Tabelle XIII.

| Pegel | φ | | | λ | | | $\Delta\lambda$ 59–50 |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------|--------------------------|
| | 1950 Tschaen ° ' " | 1959 EGIG ° ' " | $\Delta\varphi$ 59–50 | 1950 Tschaen ° ' " | 1959 EGIG ° ' " | | |
| M 100 | 70 18 04 | 70 18 04 | $\pm 0''$ | 44 33 18 | 44 34 28 | $+ 1'10''$ | |
| Milcent | | | | | | | |
| 5–140 SIPRE | 70 18 02 | 70 18 02 | $\pm 0''$ | 44 33 18 | 44 34 28 | $+ 1'10''$ | |
| Milcent | | | | | | | |
| M 149 = T 22/1 | 70 35.9 | 70 35.6 | $- 0.3'$ | 42 39.8 | 42 41.2 | $+ 1.4'$ | |
| M 151 = T 22/2 | 70 36.7 | 70 36.4 | $- 0.3'$ | 42 35.2 | 42 36.7 | $+ 1.5'$ | |
| M 154 = T 23/1 | 70 37.8 | 70 37.5 | $- 0.3'$ | 42 28.1 | 42 29.6 | $+ 1.5'$ | |
| M 160 = T 24/1 | 70 39 52 | 70 39 28 | $- 24''$ | 42 14.7 | 42 16.3 | $+ 1.6'$ | |
| Station Centrale | | | | | | | |
| Benson-Turm | 70 54 50 | 70 54 38 | $- 12''$ | 40 37 20 | 40 37 17 | $- 3''$ | |

Die Koordinaten-Differenzen zeigen zwar für die Pegel zwischen Milcent und Station Centrale eine ausgesprochene Systematik, im Hin-

blick auf dem mangelnden Zusammenhang und die unterschiedliche Methodik der Messungen und Berechnungen wäre es jedoch verfehlt, hieraus irgendwelche glaziologischen Schlüsse ziehen zu wollen. L. TSCHAEN schätzt die Genauigkeit der Koordinaten von 1950 auf $\pm 30''$ in der Breite und $\pm 1'$ in der Länge ein (siehe TSCHAEN, 1959, Seite 100). Die Differenzen liegen also durchwegs im Bereich der mittleren Fehler der Positionsbestimmung.

Wieweit aus den Koordinaten-Differenzen Rückschlüsse auf eine tatsächliche Bewegung der Pegel gezogen werden dürfen, wird erst die vorgesehene Wiederholung der Messungen erweisen.

Tellurometermessung

| F | A + A - | A + A - | Doppelte Feinablesung | Feinablesung | Bemerkungen |
|----|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-------------|
| | A + Diff. | A - Diff. | | | |
| 5 | 53 | 02 | 101.5 | 50.75 | RVC = 55 |
| | 51 | 01 | | | |
| | 102 | 101 | | | |
| 6 | 53 | 03 | 102.0 | 51.00 | |
| | 51 | 01 | | | |
| | 102 | 102 | | | |
| 7 | 53 | 02 | 101.0 | 50.50 | |
| | 52 | 01 | | | |
| | 101 | 101 | | | |
| 8 | 53 | 02 | 101.5 | 50.75 | |
| | 51 | 01 | | | |
| | 102 | 101 | | | |
| 9 | 53 | 02 | 101.5 | 50.75 | |
| | 51 | 01 | | | |
| | 102 | 101 | | | |
| 10 | 52 | 02 | 101.0 | 50.50 | |
| | 51 | 01 | | | |
| | 101 | 101 | | | |
| 11 | 53 | 03 | 102.0 | 51.00 | |
| | 51 | 01 | | | |
| | 102 | 102 | | | |
| 12 | 53 | 03 | 102.0 | 51.00 | |
| | 51 | 01 | | | |
| | 102 | 102 | | | |
| 13 | 53 | 03 | 102.0 | 51.00 | |
| | 51 | 01 | | | |
| | 102 | 102 | | | |
| 14 | 52 | 03 | 101.5 | 50.80 | |
| | 51 | 01 | | | |
| | 101 | 102 | | | |

M: 142/T4 I: Beob.: Nottarp

R: 141/T5 I: Beob.: Hofmann

Dat.: 17.05.1959 Uhrz.: 10.37 - 10.48

A+: 53 A+: 53 A+: 53 A+: 53

B: 00 C: 51 D: 37 A: 51

Diff.: 53 02 16 51

A+: 53 A+: 53 A+: 53 A+: 53

B: 00 C: 51 D: 38 A: 51

Diff.: 53 02 15 51

~Lz.: 50 151 ~Entf.: 7.5 Km

Met. Uhrzeit t t' t-t' e p

MA 10.42 -3.4 -4.2 +0.8 813.4

ME

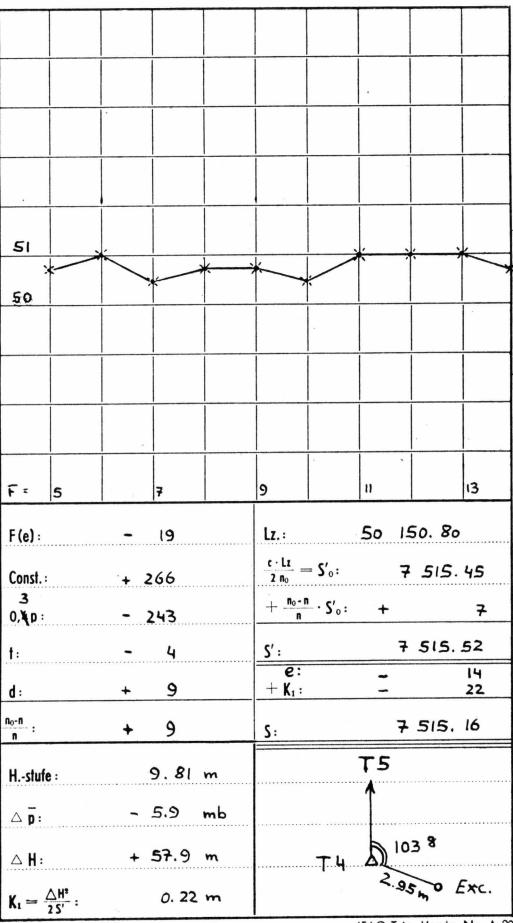
RA 10.42 -3.7 -4.4 +0.7 807.5

RE

Mitt. -3.5 -4.3 +0.8 810.5

E': :Ep. $\frac{n}{n}$ + 9

-A: :P + Ep. H-stufe: 9.81 m

E: :n $\Delta \bar{p}$ - 5.9 mb ΔH : + 57.9 m $K_1 = \frac{\Delta H^2}{2S}$: 0.22 m

IFAG-Trig.-Vordr. Nr. A 20

Anlage 1. Original-Protokoll der Tellurometermessung für die Seite T 4-T 5. (siehe Kapitel III, Abschnitt 6).

| | | | |
|-----------------------------------|------------|------------------------------------|------------|
| s | 9 733' 27 | Viereck Nr. 22 | |
| 1 2s | 19 466, 54 | | |
| u ₁ | 6 553' 55 | u ₂ | 4 445' 78 |
| 11 | — , | 12 | — , |
| w | 11 438, 71 | v | 10 976, 63 |
| 4 | | 7 | |
| 2-5 = p ₁ | 251, 45 | (2u ₁) | , |
| 5 = 4:1 | 4 515, 19 | | |
| 2 s:2 | 4 866, 64 | | |
| 8 = 7:1 | 5 174, 08 | | |
| 2-8 = p ₂ | 307, 44 | (2u ₂) | , |
| 5+8 = t' | 9 689, 27 | | |
| 13 | + | | |
| 3 = u ₁ ² | 42 949 018 | 6 = u ₂ ² | 19 764 960 |
| 9 = p ₁ ² | -123 517 | 10 = p ₂ ² | - 94 519 |
| 3-9 = h ₁ ² | 42 825 501 | 6-10 = h ₂ ² | 19 670 441 |
| h ₁ | 6 544, 12 | | |
| h ₂ | 4 435, 14 | (u ₁ - u ₂) | , |
| h ₁ - h ₂ | 2 108, 98 | (2t') | , |
| (t) ² | 98 329 750 | | |
| (t) | 9 916, 12 | | |
| t | 9 916, 04 | | |
| W | + 0.08 | | |

Anlage 2.

Vierecksverprobung und Berechnung des Viereckswiderspruches W.

Schema

Beispiel

| T _i - i _a - T _{i+1} | | | T 12 - 12 a - T 13 | | |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------|----------------------|--------|
| s ₁ | 1 - cos σ ₂ | Δ s ₁ | 7236.58 | 4 · 10 ⁻⁶ | 0.03 |
| s ₂ | 1 - cos σ ₁ | Δ s ₂ | 7927.30 | 3 · 10 ⁻⁶ | 0.02 |
| s ₁ - s ₂ | s ₁ ' | | 690.72 | 7 | 236.55 |
| s ₁ + s ₂ | s ₂ ' | | 15163.88 | 7 | 927.28 |
| β _a | s | | 199. 66 47 | 15 | 163.83 |
| 1/2 · β _a | β _i ^a | | 99. 83 23 ₅ | 199. | 75 68 |
| \| 100 - 1/2 β _a \| | ± σ ₂ | | 0. 16 76 ₅ | - 0. | 17 53 |
| 1/2 (σ ₁ - σ ₂) | β _i | | - 0. 00 76 ₅ | 199. | 58 15 |
| tg (\| 100 - 1/2 β _a \|) | β _{i+1} ^a | | 0.00 26334 | 199. | 53 03 |
| tg 1/2 (σ ₁ - σ ₂) | ± σ ₁ | | - 0.00 01201 | - 0. | 16 00 |
| m | β _{i+1} | | 0.91 28682 | 199. | 37 03 |

Anlage 3.

Ausschaltung der a-Punkte. (Siehe Kapitel V, Abschnitt 3).

| Punkt | s | β | α_1 $\Delta \alpha$ | $1/2 \Delta \alpha$ α_m | $\cos \alpha_1$ $\cos \alpha_m$ | $\sin \alpha_1$ $\sin \alpha_m$ | $c_1 = 1' \Delta \varphi$ $u = s \cdot \cos \alpha$ |
|----------------------|-----------|-----------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| | m | g | g | g | 0. | 0. | Δu |
| Kugssuk | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| | .. | .. | 268.48 35 | .. | .. | .. | .. |
| Qapiarfît = T 306 | .. | 275.61 11 | .. | .. | .. | .. | 1 859.41 |
| | .. | .. | 144.09 46 | + 38 56 | - 63 85 683 | + 76 95 652 | - 23 686.60 |
| | .. | .. | + 77 11 | 144.48 02 | - 64 32 177 | + 76 56 833 | .. |
| | 37 093.29 | .. | 344.86 57 | - 20 | - 46 494 | - 38 819 | - 172.46 |
| | .. | .. | - 39 | 144.47 82 | - 64 31 937 | + 76 57 035 | .. |
| | .. | .. | 344.86 18 | .. | + 240 | + 202 | .. |
| T 305 = B 30 | .. | 158.22 42 | .. | .. | .. | .. | 1 859.39 |
| | .. | .. | 103.08 60 | + 13 11 | - 04 84 558 | + 99 88 253 | - 473.83 |
| | 9 778.55 | .. | + 26 22 | 103.21 71 | - 05 05 126 | + 99 87 234 | .. |
| T 304 = B 34 | .. | .. | 303.34 82 | .. | - 20 568 | - 1 019 | - 20.11 |
| | .. | 191.01 84 | . | . | . | . | . |
| | . | . | . | . | . | . | . |

| Punkt | $\Delta \varphi$ $d \Delta \varphi$ | φ $\Delta \varphi$ | $1/2 \Delta \varphi$ φ_m | $\sin \varphi_m$ | $c_2 = 1' \Delta \lambda$ $v = s \cdot \sin \alpha$ | $\Delta \lambda$ $d \Delta \lambda$ | λ $\Delta \lambda$ |
|----------------------|----------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|
| | ' | ° | ° | 0. | m | ' | g |
| Kugssuk | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| | .. | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| Qapiarfît = T 306 | .. | 69 52 56.4 | - 6 22.1 | .. | 643.31 | .. | - 55.78 043 |
| | - 12.739 | - 12 44.3 | 69 46 34.3 | 9384 ₅ | + 28 545.71 | + 44.372 | + 82 170 |
| | .. | 69 40 12.1 | - 2.8 | .. | .. | .. | .. |
| | - 0.093 | - 5.6 | 69 46 31.5 | 9384 | - 143.99 | - 0.224 | - 415 |
| | .. | 69 40 06.5 | - | .. | .. | .. | .. |
| | .. | - | 69 46 31.5 | 9384 | + 0.75 | + 0.001 | + 2 |
| T 305 = B 30 | .. | 69 40 06.5 | - 7.6 | .. | 646.64 | .. | - 54.96 286 |
| | - 0.255 | - 15.3 | 69 39 58.9 | 9377 | + 9 767.06 | + 15.104 | + 27 970 |
| | .. | 69 39 51.2 | - 0.4 | .. | .. | .. | .. |
| T 304 = B 34 | - 0.011 | - 0.7 | 69 39 58.5 | 9377 | - 1.00 | - 0.002 | - 3 |
| | . | 69 39 50.5 | . | . | . | . | - 54.68 319 |
| | . | . | . | . | . | . | . |

Anlage 4.

Berechnung geographischer Koordinaten (siehe Kapitel VI, Abschnitt 4).

ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Bericht umfaßt die geodätischen Arbeiten der Gruppe Lagemessung der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) während der Sommerkampagne 1959 sowie deren Auswertung und Ergebnisse.

Ziel dieser Arbeiten war es, in zwei großen Profilen auf dem grönländischen Inlandeis durch präzise Einmessung von Festpunkten (Pegeln) die Grundlagen für die Bestimmung der Bewegung und des Spannungszustandes an der Eisoberfläche zu schaffen. Das Hauptprofil erstreckt sich über 925 km von der Westküste Grönlands am Atâ Sund zur Ostküste bei Cecilia Nunatak. In ihm wurden 79 Pegel mit einem mittleren Abstand von 11.5 km errichtet. Das zweite Profil von 330 km Länge verläuft in Nord-Süd-Richtung mit einem Abstand von ca. 100 km parallel zur Westküste; es enthält 36 Pegel (mittlerer Abstand 8.9 km) und hat mit dem West-Ost-Profil den Pegel im Punkte Carrefour gemeinsam. Die Pegel sind Aluminium-Rohre von 62 mm Durchmesser; sie ragten bei der Errichtung im West-Ost-Profil und im Südteil des Nord-Süd-Profiles (südlich Carrefour) 7 m, im übrigen Nord-Süd-Profil 5 m über die Schneeoberfläche.

Das Kernstück der geodätischen Arbeiten war die elektronische Entfernungsmessung mit dem Tellurometer. Sie wurde im W-O-Profil zur reinen Trilateration in Diagonalenvierecken, in den Randgebieten und im N-S-Profil zur Streckenmessung in Polygonzügen angewandt. Die Grundlinie der Diagonalenvierecke lag jeweils im W-O-Profil selbst und verband zwei der dort errichteten Pegel. Die Decklinie verlief annähernd parallel zum W-O-Profil; ihre Endpunkte wurden nicht vermarkt. Die Ausrüstung der Gruppe mit 4 Weasel-Fahrzeugen, 3 Master- und 3 Remote-Stationen des Tellurometers ermöglichte die vollständige Messung eines Vierecks in einer Aufstellung. Durch vorbereitende Maßnahmen waren die Tellurometer-Geräte auf die besonderen klimatischen Bedingungen auf dem Inlandeis eingestellt worden. Vor allem war das Original-Stromversorgungsteil (Power Pack) durch einen eingebauten Transistor-Umformer ersetzt worden (Kapitel II).

Nach Überwindung gewisser Anfangsschwierigkeiten konnte die Lagemessung in beiden Profilen plangemäß durchgeführt werden (Ka-

pitel III). Es erwies sich dabei als notwendig, zwei benachbarte Stationen im W-O-Profil jeweils auf die Scheitel der Wellenzüge des Eises zu legen, da die Telluromettermessung nicht in der Lage war, diese Wellen zu überspringen. Waren jedoch geländemäßig die Voraussetzungen für eine Messung gegeben, so lieferte das Tellurometer die Entferungen mit der unerwartet hohen Genauigkeit von ± 5 cm. Diese Genauigkeit ergab sich aus der Ausgleichung der überbestimmten Diagonalenvierecke nach bedingten Beobachtungen. (Kapitel IV). Die Viereckswidersprüche wiesen ursprünglich einen weitgehend einseitigen Vorzeichenverlauf auf; dies deutete auf einen durch die Reduktion nicht erfaßten systematischen Fehlereinfluß hin. Hierfür scheint nur eine Laufzeitverzögerung in Strecken mit geringen Bodenabstand in Betracht zu kommen, die auch theoretisch zu begründen ist. Durch eine entsprechende nachträgliche Reduktion wurde diese Systematik beseitigt (Kapitel IV, Abschnitt 6).

An den Endpunkten des W-O-Profiles in Qapiarfit und Cecilia Nunatak wurden auf festem Gelände Vergleichsbasen für zukünftige Wiederholungsmessungen errichtet und eingemessen (Kapitel III, Abschnitt 8).

Die Reduktion und Ausgleichung der Messungen (Kapitel IV) führte zu den Schrägentfernungen und Winkeln zwischen den Pegeln (Kapitel V); sie bilden die Grundlage für einen Vergleich nach einer Wiederholung der Messungen in einem angemessenen Zeitraum. Für diesen späteren Vergleich wird eine Methode zur Bestimmung der Verlagerung der Pegel auf der Basis der Addition von Verschiebungsvektoren angegeben und in einem randnahen Profilabschnitt, für den Doppelmessungen mit einem Zeitabstand von 3 Monaten vorliegen, erprobt (Kapitel V, Abschnitt 8). Die Gesamtdehnung dieses Profilabschnittes von ca. 36 km Länge beträgt 9 m. Doch verteilt sich dieser Betrag sehr unregelmäßig auf die 4 annähernd gleichgroßen Pegeldistanzen, aus denen der Abschnitt zusammengesetzt ist.

Aus den Horizontalentfernungen im Meeresniveau und aus den Azimuten der Profilseiten wurden genäherte geographische Koordinaten der Pegel auf dem Internationalen Erdellipsoid berechnet (Kapitel VI). Der Vergleich der geodätisch bestimmten Koordinaten der Profilhauptpunkte mit den astronomischen zeigt systematische Abweichungen, die vermutlich auf die Eisbewegung im Meßzeitraum zurückzuführen sind.

So wie die Messungen ihre glaziologische Bedeutung erst durch eine Wiederholung erhalten, so können auch geodätische Ergebnisse im Sinn einer exakten Lagebestimmung erst nach der Nachmessung erwartet werden.

SUMMARY

The present report deals with the geodetic work done by the group "Lagmessung" of the International Glaciological Greenland-Expedition (EGIG) during the summer campaign 1959 and with its evaluation and results.

This work was aimed to procure the basis for the determination of movement and strain of the ice surface in two big profiles over the Greenland Ice Cap by precise measurements of fixed points (markers). The main profile extends over 925 km from the west coast of Greenland at Atâ Sund to the east coast near Cecilia Nunatak; in this profile, 79 markers were established with an average distance of 11.5 km. The second profile of 330 km length runs in north-south-direction in a distance of about 100 km parallel to the west coast; it contains 36 markers (average distance 8.9 km) and crosses the West-East-Profile in the Point Carrefour. The markers are aluminium tubes with 62 mm diameter; when established, they rose in the West-East-Profile and in the southern section of the North-South-Profile (south of Carrefour) 7 m above the snow surface, in the remaining North-South-Profile only 5 m.

The main procedure of the geodetic work was the electronic distance measurement with the Tellurometer. It was applied for pure trilateration in quadrangles with diagonals in the W-E-Profile, and for distance measurement in traverses in the marginal zones and in the N-S-Profile. The base of the quadrangles coincided with the W-E-profile; it joined two of the markers there established. The covering line was approximately parallel to the W-E-profile. Its endpoints were not marked. As the group was equipped with 4 Weasels, 3 Master and 3 Remote Stations of the Tellurometer, the complete measurement of one quadrangle was possible in one putting-up. The Tellurometer sets were modified for the use under arctic conditions by preparatory measures; the original Power Pack was replaced by a built-in transistorized converter (Chapter II).

Having overcome certain difficulties, the measurements were carried out in both profiles according to plan (Chapter III). It proved to be necessary to set up two neighbouring stations in the W-E-Profile respectively to the crests of the ice waves because the Tellurometer measurement was not able to overleap these waves. But under terrain conditions favorable for the measurement the Tellurometer yielded the distances with the

unexpectedly high accuracy of ± 5 cm. This accuracy results from the adjustment of related observations in the redundant quadrangles with diagonals (Chapter IV). Originally, the signs of the discrepancies in the quadrangles showed a considerable one-sidedness; this indicated a systematical influence which was not eliminated by the reduction. It seems that only a retardation of the transit time in distances of small clearance which can be proved also theoretically comes into question for this phenomenon. The systematic portion of the discrepancies was eliminated by subsequent reduction (Chapter IV, Section 6).

Two base lines for the calibration of future measurements were established and measured at the endpoints of the W-E-Profile in Qapiarfitt and Cecilia Nunatak (Chapter III, Section 8).

The reduction and the adjustment of the measurements (Chapter IV) yielded the oblique distances and angles between the markers (Chapter V). They are the fundament for the comparison after the repetition of the measurements in an adequate time interwall. For this comparison, a method based on the addition of displacement vectors is developed and tested in a marginal profile section for which double measurements with a time intervall of 3 months existed (Chapter V, Section 8). The total expansion of this section of ca. 36 km is 9 m. But this expansion is distributed very irregularly over the 4 distances between markers of approximately equal length forming the section.

Approximate geographical coordinates of the markers at the International Earth Ellipsoid were computed from the horizontal distances at sea level and the azimuths of the profile members (Chapter VI). The comparison of the geodetically determined coordinates of the main points in the profile with the astronomical ones shows systematic differences, caused presumably by the ice movement during the measuring time.

As the glaciological meaning of the measurements will be achieved only by the repetition, also geodetic results in the sence of precise determination of positions can be expected only after this repetition.

RÉSUMÉ

Le présent rapport porte sur les travaux de géodésie effectués par le Groupe de Géodésie de l'EGIG au cours de la Campagne d'été 1959. Il présente l'exploitation et les résultats des mesures.

Le but consistait à matérialiser deux grands profils à travers l'Inlandsis du Groenland par des balises, à rattacher ces balises à des points fixes par des mesures géodésiques précises et, ainsi, à créer la base pour la détermination du mouvement et du tenseur de déformation superficielles. Le profil principal s'étend sur 925 km de la côte ouest du Groenland – Atâ Sund – au Cecilia Nunatak de la côte est. Il est matérialisé par 79 balises espacées en moyenne de 11.5 km. Le deuxième profil s'étend sur 330 km dans la direction nord-sud à environ 100 km et parallèle à la côte ouest. Il comporte 36 balises espacées en moyenne de 8.9 km et croise le prolif ouest-est au point Carrefour. Les balises sont constituées de tubes en Aluminium de 62 km de diamètre. A la pose, elles dépassaient de 7 m la surface sur le profil ouest-est, et sur le profil nord-sud au sud de Carrefour, et de 5 m pour le reste du profil nord-sud.

Les distances étaient mesurées à l'aide de telluromètres, par trilateration de chaines de quadrilatères et diagonales sur le profil ouest-est, par polygonisation sur les parties marginales et le profil nord-sud. La ligne principale de la chaîne de quadrilatères reliait deux des balises du profil ouest-est. La ligne secondaire non balisée était en gros parallèle à la première. La groupe comportait 4 Weasels, 3 Master et 3 Remote telluromètres et il pouvait ainsi en une position mesurer un quadrilatère et ses diagonales. Les telluromètres étaient adaptés aux conditions climatiques de l'Inlandsis. En particulier le power pack était transistorisé (Chap. II).

Après quelques difficultés initiales, le programme des mesures a été executé suivant les prévisions (Chap. III). Il s'est montré nécessaire d'installer les deux stations successives du profil ouest-est sur les crêtes des ondulations de l'Inlandsis, sans quoi le relief empêchait la mesure. Lorsque la mesure était possible, les distances étaient obtenues avec une précision de ± 5 cm à priori étonnante. Cette précision découle de la compensation des mesures surabondantes des cotés et diagonales des quadrilatères (Chap. IV). Les résidus montrèrent une dominante d'un

seul signe, ce qui laissa prévoir une erreur systématique non réducible. Il semble qu'une diminution de la vitesse de propagation pour les portées proches du sol en puisse être la cause, et c'est ce que théoriquement l'on peut justifier. Ces différences systématiques ont été éliminées par une réduction complémentaire (Chap. IV, Par. 6).

Des bases de comparaison pour des mesures futures ont été matérialisées aux extrémités du profil à Qapiarfit et Cecilia Nunatak (Chap. III, Par. 8).

La réduction et la compensation des mesures (Chap. IV) donnent les distances obliques et angles entre les balises (Chap. V); ce sont là les éléments qui serviront de base pour comparaison des résultats lors de la répétition des mesures dans un temps convenable. Pour cette comparaison ultérieure, une méthode de détermination du déplacement des balises par addition des vecteur de déplacement est indiquée. Elle a été utilisée pour une portion du profil bordier mesurée deux fois en un intervalle de 3 mois (Chap. V, Par. 8). L'elongation totale de cette partie de 36 km est de 9 m. Elle se répartit d'une façon inégale sur les quatre tronçons à peu près égaux de cette partie.

Des distances horizontales réduites au niveau de la mer et des azimuts des cotés des profils ont été calculées les coordonnées géographiques approchées sur l'ellipsoïde international. La comparaison de ces coordonnées avec les points astronomiques met en évidence une différence systématique qui doit probablement être attribuée au mouvement de la glace pendant la durée des mesures.

De même que les mesures n'auront leur valeur glaciologique qu'après une répétition des opérations, de même alors ne pourront prendre leur réelle valeur les résultats géodésiques dans le sens d'une détermination précise de position.

LITERATUR-VERZEICHNIS

- BENSON, C. S. und RAGLE, R. H., 1956. Measurements by SIPRE in 1955 on the Accumulation Markers of Expéditions Polaires Françaises in Central Greenland. – SIPRE Special Report Nr. 19, 1956.
- EXPÉDITIONS POLAIRES FRANÇAISES, 1957. Manuel d'Opérations, EGIG, Campagne d'été 1959, Hivernage 1959–1960, – Paris, 1957.
- HOFMANN, W., 1958. Lagemessungen bei der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) 1959. – Zeitschrift für Vermessungswesen, 1958, S. 216–222.
- 1958. Die freie Diagonalen-Viereckskette mit direkt gemessenen Strecken. – Ihre Ausgleichung und Fehlertheorie. – Zeitschrift für Vermessungswesen, 1958, S. 325–333.
- 1960: Die geodätische Lagemessung bei der Sommerkampagne 1959 der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG). – Zeitschrift für Vermessungswesen, 1960, S. 46–56.
- LICHTE, H., 1957. Geodätische Messungen auf dem grönländischen Inlandeis. – Zeitschrift für Vermessungswesen, 1957, S. 46–50 und 65–73.
- LINKWITZ, K., 1961: Fehlertheorie und Ausgleichung von Streckennetzen nach der Theorie elastischer Systeme. – Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe C, Nr. 46, München 1961.
- TSCHAEN, L., 1959. Groenland 1948–1949–1950, Astronomie–Nivellement Géodésique sur l'Inlandsis. – Nouveau Calcul. – EPF, Paris 1959.

Literatur-Hinweise für Kapitel II finden sich am Ende des Kapitels auf Seite 38.

