

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

**Band:** 64 (1966)

**Heft:** 1

**Artikel:** Distomat-Messungen im schweizerischen Triangulationsnetz 1. Ordnung

**Autor:** Fischer, W.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-220738>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 24.01.2026

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

# Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik

Revue technique Suisse des Mensurations, de Photogrammétrie et du Génie rural

Herausgeber: Schweiz. Verein für Vermessungs-  
wesen und Kulturtechnik; Schweiz. Gesellschaft für  
Photogrammetrie; Fachgruppe der Kulturingenieure des  
SIA

Editeurs : Société suisse des Mensurations et Amélio-  
rations foncières; Société suisse de Photogrammétrie;  
Groupe professionnel des Ingénieurs du Génie rural de  
la SIA

Nr. 1 • LXIV. Jahrgang

Erscheint monatlich

15. Januar 1966

## Distomat-Messungen im schweizerischen Triangulationsnetz 1. Ordnung

Von W. Fischer, Zürich<sup>1</sup>

### Zusammenfassung

Mit 4 elektronischen Distanzmeßgeräten Distomat Wild DI 50 wurde ein Streckennetz mit 19 gemessenen bei 11 notwendigen Seiten beobachtet, das vom Punkt 1. Ordnung Chasseral bis zum Punkt 1. Ordnung Hörnli reicht. Die Seitenlängen lagen zwischen 31 und 147 km und deren mittlere Fehler nahmen linear mit der Distanz zu. Eine vermittelnde Ausgleichung führte auf eine relative Genauigkeit von  $\pm 2,7 \cdot 10^{-6}$  am Mittel der über einen ganzen Tag verteilten Messungen einer Strecke.

### Résumé

On a mesuré à l'aide de 4 appareils électromagnétiques Distomat Wild DI 50 un réseau de trilateration de 19 côtés dont 11 nécessaires, reliant les sommets de 1<sup>er</sup> ordre Chasseral et Hörnli. Les côtés ont une longueur de 31 à 147 km et leurs erreurs moyennes augmentent linéairement selon la distance. Une compensation médiate a donné une précision relative de  $\pm 2,7 \cdot 10^{-6}$  pour la moyenne de toutes les mesures d'un côté pendant une journée.

### 1. Die Distomat-Messungen vom September 1964

Im September 1964 führte das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH im Rahmen der Arbeiten der Schweizerischen Geodätischen Kommission einen Versuch durch, das elektronische Distanzmeßgerät Distomat Wild DI50 über längere als bisher vorgesehene Distanzen einzusetzen. Am V. Internationalen Kurs für geodätische Streckenmessung in Zürich wurde kurz darüber referiert<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Mitteilung der Schweizerischen Geodätischen Kommission.

<sup>2</sup> W. Fischer: Erfahrungen mit Tellurometer und Distomat bei der Nachmessung von Hauptnetzseiten im Bodenseegebiet, in: Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe B, Heft Nr. 123, V. Internationaler Kurs für geodätische Streckenmessung 1965 in Zürich.

Ohne hier im einzelnen auf diese Arbeiten zurückzukommen, sei immerhin das positive Resultat festgehalten, daß alle vier vorgesehenen Strecken zwischen 70 und 147 km einwandfrei gemessen werden konnten. Es handelt sich um die vom Punkt 1. Ordnung Chasseral (1600 m über Meer) ausgehenden Strecken nach folgenden Punkten 1. Ordnung: Niesen (2360 m), Brienzer Rothorn (2350 m), Rigi (1800 m) und Hörnli (1130 m) (Abb. 1). Gemäß der Aufgabenstellung wurden also keine Seiten des Netzes 1. Ordnung gemessen, hingegen wurden bewußt alle Stationen auf Punkte dieses Netzes gelegt, um die Längen aus den Distomat-Messungen und aus dem Triangulationsnetz 1. Ordnung gegenseitig vergleichen zu können.

Das Ergebnis der Gegenüberstellung Distomat/Triangulation war erstaunlich gut, blieben doch alle Differenzen innerhalb  $4 \cdot 10^{-6} D$ . Doch mußte es mit größter Vorsicht aufgenommen werden, vor allem deshalb, weil jede Strecke nur an einem einzigen Tag gemessen wurde. Bedenken stiegen auf, ob der Zustand der Atmosphäre entlang dieser langen Strecken durch die meteorologischen Messungen an den beiden Endpunkten auch richtig erfaßt wurde. Es lag nämlich eine ausgesprochene Herbstwetterlage vor mit einer mehr oder weniger geschlossenen Hochnebeldecke; in den Niederungen war es kühl, während in der Höhe über dem Nebelmeer, wo sich die Messungen abspielten, sonniges, warmes Wetter herrschte. In den meisten Fällen ist es aber so, daß die Messungen ohne Rücksicht auf das zu erwartende Wetter zeitlich festgelegt werden müssen und daß dann eben die eingetretene Wetterlage als Tatsache hingenommen werden muß. Für den erwähnten Versuch war dies weiter nicht von Bedeutung, hingegen war ganz klar, daß die Messungen an mindestens einem Tag mit veränderten Wetterverhältnissen wiederholt werden sollten, um das gefundene Ergebnis zu erhärten – oder allenfalls auch umzustürzen.

## 2. Die Distomat-Messungen vom Juni 1965

Eine hochwillkommene Gelegenheit, die Messungen zu wiederholen, bot sich glücklicherweise im darauffolgenden Sommer. Ja es war nicht nur eine Wiederholung möglich, sondern die vier Streckenendpunkte der vom Chasseral ausgehenden Strahlen konnten auch noch unter sich verbunden werden. Damit ließ sich das längst postulierte geschlossene Netz verwirklichen, das allein zuverlässige Angaben über die Genauigkeit der Distomat-Messungen zuläßt.

Ermöglicht wurde die Durchführung dieser Aufgabe durch das Entgegenkommen der Firma Albiswerk Zürich AG, vier kurz vor der Ablieferung nach Übersee stehende Distomat-Ausrüstungen zur Verfügung zu stellen. Damit waren wir in der ebenso glücklichen wie (bis jetzt noch) seltenen Lage, vier Geräte gleichzeitig im Einsatz zu haben. So war es zum Beispiel möglich, auf einen Schlag alle sechs Seiten eines vollständigen Vierecks zu messen. Die Geräte standen allerdings nur während einer Woche, das heißt ganz genau vom 21. bis 25. Juni 1965, zur Ver-

fügung. Es erforderte natürlich eine gute Vorausplanung der Kampagne, um in dieser Zeit möglichst viele Messungen unter Dach zu bringen. Auch die Beschaffung des erforderlichen Personals war keine leichte Aufgabe, mußten doch für die vorgesehenen Gebirgspunkte drei Mann pro Station eingesetzt werden. Da die Assistenten der ETH wegen des laufenden Sommersemesters für diese Aufgabe nicht in Frage kamen, halfen die Firmen Albiswerk Zürich AG und Wild Heerbrugg AG nach Möglichkeit mit Personal aus. Auch zur Ausrüstung der vier Stationen mit meteorologischen Geräten, Batterien usw. sprang die Firma Wild Heerbrugg AG hilfreich ein. Schließlich wurden die benötigten Fahrzeuge von den verschiedenen Beteiligten gestellt. Wir stießen somit überall auf große Bereitschaft, zum Gelingen dieses Unternehmens beizutragen, wofür allen Stellen gedankt sei. Daß die zur Verfügung gestellten Distomat-Nr. 33, 34, 35 und 36 durch den einwöchigen Gebirgseinsatz eine selten scharfe «Endkontrolle» genossen, sei nur am Rande vermerkt.

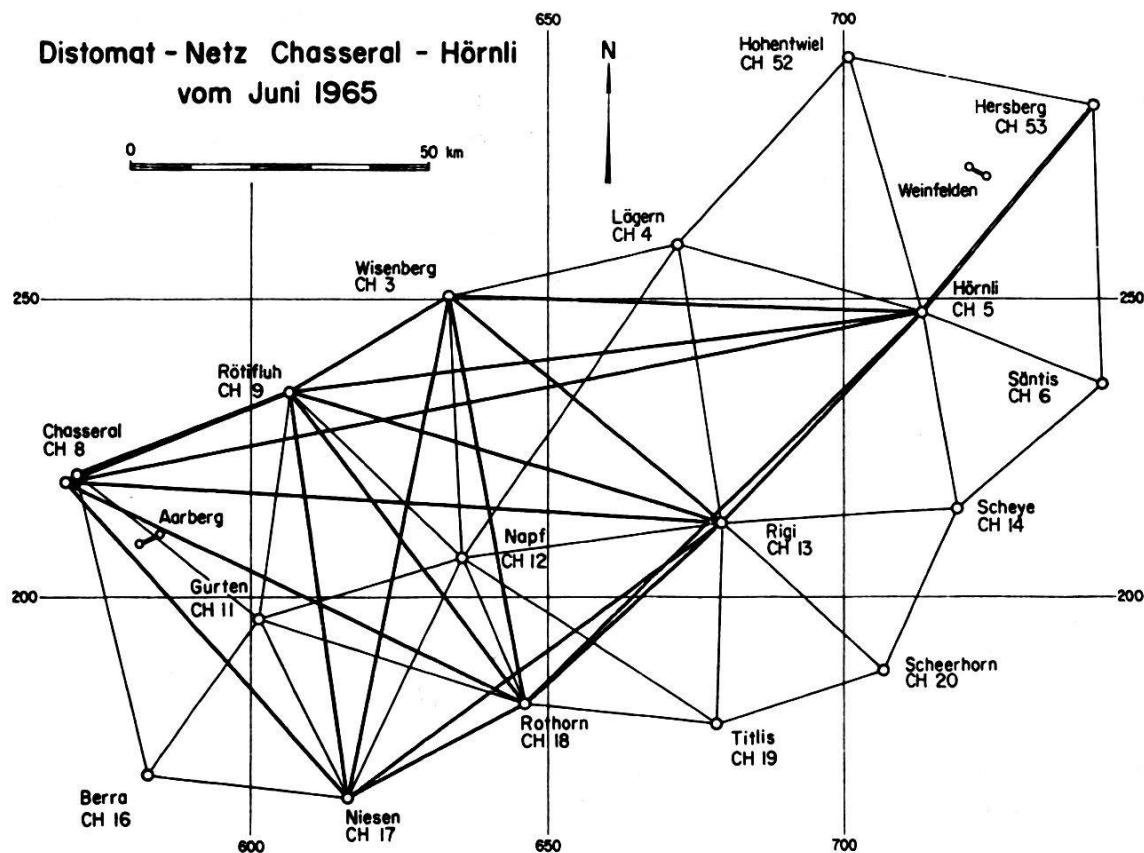


Abb. 1

### 2.1. Das Netz vom Juni 1965

Ursprünglich waren die fünf Stationen Chasseral, Niesen, Rothorn, Rigi und Hörnli vorgesehen, die durch Distomat-Messungen unter sich verbunden werden sollten. Der Aufbau dieses Netzes war aber nicht gerade glücklich, weshalb versucht wurde, ihn durch Einbezug weiterer Stationen zu verbessern (Abb. 1). Als solche kamen praktisch nur die auf

dem Jurakamm gelegenen Punkte 1. Ordnung Rötifluh (beim Weißenstein) und Wisenberg (beim Hauenstein) in Frage, wobei gleichzeitig die Vergrößerungsseite Chasseral–Rötifluh der Basis Aarberg 1880 mit in das Netz einbezogen werden konnte. Dadurch ergab sich nun ein ziemlich ausgeglichenes Netz von 7 Stationen und  $7 \cdot 6/2 = 21$  theoretisch möglichen Verbindungen. Von diesen fielen nur deren zwei aus, nämlich die Strecke Chasseral–Wisenberg (ca. 69 km), die wegen eines bewaldeten Jurarückens aller Voraussicht nach nicht gemessen werden konnte, und die Strecke Niesen–Hörnli (ca. 127 km), bei der infolge der Erdkrümmung verschiedene Hindernisse in den Weg traten. Die übrigen 19 Strecken sollten auf Grund des Geländeprofils meßbar sein, sogar die Strecke Rothorn–Hörnli, die allerdings die NW-Flanke des Rigi (etwa auf der Höhe der Seebodenalp) beinahe tangiert und dadurch gewisse Schwierigkeiten erwarten ließ. Das projektierte Netz ist durch  $2 \cdot 7 - 3 = 11$  Strecken bestimmt, so daß 8 Strecken überschüssig sind, was für ein Streckennetz schon höchst befriedigend ist.

Wie noch näher dargelegt werden soll, war für die Messung jeder Strecke ein ganzer Tag vorgesehen. Umstellungen sollten während des Tages keine erfolgen, so daß alle vier Distomat-Geräte ständig meßbereit waren. Dadurch konnte also von der Möglichkeit Gebrauch gemacht werden, in einer Aufstellung alle vier Seiten und die beiden Diagonalen eines vollständigen Vierecks zu messen. Im Bestreben, die Transporte von Station zu Station auf ein Minimum zu beschränken (Bergbahnen), wurden folgende vier Kombinationen entworfen, wodurch alle Strecken mindestens während eines Tages gemessen werden konnten:

<i>Station</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	
Tag	1.	Hörnli	Rigi	Rothorn	Chasseral
	2.	Wisenberg	Rigi	Rothorn	Niesen
	3.	Rötifluh	Chasseral	Rothorn	Niesen
	4.	Rötifluh	Rigi	Hörnli	Wisenberg

Alle sechs von der Rötifluh ausgehenden Strecken ließen sich am 3. und 4. Tag vollständig messen, während auf den ebenfalls sechs Verbindungen aufweisenden Stationen Rothorn und Rigi die gegenseitige und je zwei weitere Verbindungen an zwei verschiedenen Tagen gemessen werden konnten. Der 5. Tag wurde an sich nicht benötigt und konnte als Reservetag eingesetzt werden.

## 2.2 Die Stationen

Bereits im Herbst 1964 wurde zur Bedingung gemacht, daß auf einigermaßen leicht zugänglichen Punkten 1. Ordnung stationiert werden soll. Dies sollte auch im verdichteten Netz der Fall sein, weshalb zum Beispiel der Punkt Napf nicht in Frage kam.

Auf dem Chasseral machten sich 1964 zeitweise die Einflüsse der 140 m östlich des Zentrums gelegenen großen Sendeanlage bemerkbar, weshalb die Station auf das etwa 2 km entfernte Exzentrum Chasseral-SW verlegt wurde. Die Messungen vom Juni 1965 wurden durchwegs auf

diesem zweiten Punkt ausgeführt, wo nie irgendwelche Störungen auftraten. Auf der Rötifluh wurde der Sender des Distomats auf den zentralen Pfeiler unter der eisernen Pyramide gestellt und auf dem Wisenberg auf den Bolzen A auf der Geländerbrüstung des betonierten Aussichtsturms. Auf den übrigen Punkten erfolgte die Aufstellung gleich wie im September 1964, nämlich auf dem Niesen: Pfeiler West; auf dem Rothorn: Geländersockel nördlich des Zentrums; auf dem Rigi: Heliotropbolzen etwa 1 m vom nördlichen Abbruch entfernt; auf dem Hörnli: Pfahl auf dem nach Süden laufenden Grat.

Die Zugangsmöglichkeit zu den einzelnen Stationen sei zur Vervollständigung des Bildes wie folgt kurz umschrieben. Chasseral: Privatstraße bis ca. 50 m zur exzentrischen Station; Rötifluh: vom Kurhaus Weißenstein ca. 2 km über felsigen Weg und Jurawiese bis zum Punkt, nur mit Geländefahrzeug möglich; Wisenberg: schlechter Waldweg bis zum Fuß des Aussichtsturms; Hörnli: Privatsträßchen bis ca. 50 m vom Punkt; Niesen: Standseilbahn bis 2336 m Höhe, ca. 25 m Höhendifferenz bis zum Stationspunkt; Brienz Rothorn: romantische, dampfbetriebene Zahnradbahn bis 2252 m Höhe, Fußweg zur Überwindung der letzten 100 m Höhendifferenz auf den Gipfel; Rigi: Zahnradbahnen bis 1750 m Höhe und ca. 50 m Höhendifferenz bis zum Gipfel (welche die ganz Schlauen mit Hilfe des Elektromobils des Hotels Rigi-Kulm überwandten!).

### *2.3. Das Instrumentarium*

In den zur Verfügung stehenden Tagen sollte sehr intensiv gemessen werden, weshalb vielleicht überdurchschnittlich viel Material und Ersatzmaterial mitgeführt wurde. Auch die für den Aufenthalt auf den Gebirgsstationen benötigte Ausrüstung wurde ziemlich umfangreich, so daß das Unternehmen den Anstrich einer kleineren Expedition erhielt.

Ohne auf Einzelheiten einzugehen, sei unter anderem erwähnt, daß für die vorgesehenen Dauermessungen nur Bleiakkumulatoren in Frage kamen, die auf altbewährten Tragreifen auf die Gipfelstationen befördert wurden. Als Reserve besaß jede Equipe noch eine kleine NiCd-Batterie; außerdem waren alle Stationen mit einem Ladegerät ausgerüstet, womit die Batterien über Nacht wieder aufgeladen wurden.

Für den Transport des Meßteils und des Sendeteils des Distomats stellte uns die Firma Wild Heerbrugg AG ein Rückentraggestell zur Verfügung, das speziell auf dem Rothorn gute Dienste leistete und nebenbei auch als schützendes Gestell für den Meßteil während der Messung diente. Auch für das Zubehör, wie Stativ, Pfeilergrundplatte, Barometer, Psychrometer, Kabel usw., stand ein ähnliches Rückentraggestell in einer provisorischen Ausführung zur Verfügung.

Für die Messungen auf dem Aussichtsturm des Wisenbergs wurde versuchsweise ein 35 m langes Verbindungskabel zum Sender eingesetzt, das sich gut bewährte und die Arbeit wesentlich erleichterte.

Vor Beginn und nach Abschluß der Messungen wurden die Konstanten der vier Distomat-Geräte geprüft, die «Additionskonstante» auf einer

100-m-Eichstrecke, die «Multiplikationskonstante» durch labormäßigen Frequenzvergleich. Der Maßstabsfaktor erreichte bei der zweiten Prüfung nur bei einem Gerät  $10^{-6}$ , während der Fehler der Nullpunktstimmung bei diesen langen Strecken ganz vernachlässigt werden konnte.

Schließlich sei noch erwähnt, daß die vier benützten Thommen-Aneroidbarometer vor dem Einsatz an den Standbarometern der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt geeicht und nach Abschluß der Messungen unter sich verglichen wurden, wobei sich keine gegenseitigen Abweichungen zeigten.

#### 2.4. Die Durchführung der Distomat-Messungen

Die Messungen waren so angeordnet, daß an vier Meßtagen je sechs Strecken des projektierten Netzes gemessen wurden. Da es sich wegen den langen Dislokationswegen als unzweckmäßig erwies, während des Tages die Stationen zu wechseln, wurde jede Kombination von Stationen unverändert gelassen, um dafür auf diese Weise alle Strecken zu verschiedenen Tageszeiten messen zu können. Dabei nahmen wir wie im Herbst 1964 an, daß sich ein gewisser Tagesgang der Messungen zeigen sollte. Dieses Vorgehen konnte um so eher verantwortet werden, als ja im Gegensatz zu 1964 pro Tag nicht nur eine, sondern gleich sechs Netzseiten gemessen werden konnten.

Um einen ungestörten Tagesablauf der Messungen zu gewährleisten, wurde die Umstellung der Stationen am Abend vorgesehen. Dementsprechend wurden die vier ersten Stationen des Netzes bereits am Vortag des 1. Meßtages bezogen. Dieser Tag, der Montag, wurde gleichzeitig dazu benützt, das Personal über die vorgesehenen Messungen zu orientieren und soweit nötig zu instruieren und das Material zu verteilen und zu verladen. Sodann wurden am Nachmittag dieses «nullten» Meßtages alle sechs Strecken der ersten Kombination probemäßig gemessen. Vor allem ging es darum, Erfahrungen über das Arbeiten auf verschiedenen Verbindungen und über das gleichzeitige Messen paralleler oder sich schneidender Strecken zu sammeln. Nachdem sich weder bei den Verbindungsaufnahmen noch bei den gleichzeitigen Messungen irgendwelche Schwierigkeiten bemerkbar gemacht hatten, konnte der definitive Zeitplan für die vier Meßtage aufgestellt werden.

Der Ablauf der Messungen erfolgte somit nach dem folgenden Beobachtungsplan:

<i>Station</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Zeit (MEZ)				
09.00–09.30	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>C</b>
09.30–10.00	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
10.00–10.30	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
(10.30–11.00 Verbindung mit <i>B</i> und Pause)				
11.00–11.30	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>C</b>
11.30–12.00	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
12.00–12.30	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>
(12.30–15.00 Verbindung mit <i>B</i> und Pause)				
15.00–15.30	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>D</b>	<b>C</b>
15.30–16.00	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
16.00–16.30	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>A</b>

Die fett gedruckten Stationen begannen die Messung stets als Hauptstation und führten auch das Protokoll für die betreffende Strecke. Die Station *B* war für das reibungslose Funktionieren dieses Beobachtungsplans besorgt; sie suchte immer als Nebenstation die Verbindung mit der Gegenstation und führte nie selbst Protokoll. Als «Funkleitstelle» gab sie allen übrigen Stationen des Netzes gelegentlich notwendige Änderungen dieses Plans bekannt, weshalb die gemeinsamen Verbindungsaufnahmen, die selbstverständlich auch am Morgen vor Beginn der Messungen erfolgten, äußerst wichtig waren.

Rückblickend darf festgehalten werden, daß sich diese Organisation glänzend bewährte, was natürlich nur dank der disziplinierten Einhaltung des Zeitplans durch sämtliche Stationen möglich war. Aber auch instrumentell wurde dieses Vorgehen stark begünstigt durch die an den Sendern angebrachten Kreisskalen für Richtungs- und Höhenwinkel, so daß die Sender auf denkbar einfache Art auf eine schon einmal erstellte Verbindung ausgerichtet werden konnten. Diese erstaunlich sichere und einfache Art der Verbindungsherstellung führte geradezu zu einem Sport, wobei sich die Uhren gewisser Beobachter als der schwächste Teil erwiesen! An dieser Stelle sei höchstens noch der Wunsch eines Praktikers nach einem verstellbaren Richtungskreis angebracht, damit direkt das Azimut der Verbindungsleitung eingestellt werden kann (weil das Kopfrechnen bekanntlich immer wieder Mühe bereitet und allzu gerne Fehler verursacht).

Das genaue Ausrichten der Sender auf maximales Empfangssignal benötigte unter Verwendung eines besonderen, direkt am Sender angeschlossenen Richtinstruments nur etwa 1 bis 2 Minuten. Hierauf konnten in jeder Phase anstelle der einen vorgesehenen Hin- und Rückmessung in den meisten Fällen zwei vollständige Hin- und Rückmessungen durchgeführt werden. Eine vollständige Serie von Grobmessungen und von Feinmessungen bei den Trägerfrequenzen 10 250, 10 275 usw. bis 10 475 MHz benötigte somit rund 7 Minuten, die Umschaltung von Haupt- auf Nebenstation mit eingerechnet. Dabei wurden die Feinmessungen bei jeder Trägerfrequenz zwei- bis dreimal wiederholt. Einzig bei gewissen ganz langen Strecken, wo größere Streuungen in den Feinmessungen auftraten, konnten in der vorgesehenen halben Stunde nur 2 oder 3 vollständige Serien gemessen werden.

Die meteorologischen Messungen wurden von einem Mitglied der Equipe unabhängig von den Distomat-Messungen ausgeführt; das heißt, das Psychrometer wurde regelmäßig alle 3 bis 5 Minuten und das Barometer etwa alle halben Stunden abgelesen. Die Notierungen wurden nicht im Formular der Distanzmessung gemacht, wie es eigentlich vorgesehen war, sondern in einem separaten Feldbuch. Auch Eintragungen über Wind, Bewölkung usw. wurden so oft als etwa wünschenswert gemacht, so daß das Feldbuch ein Bild vom Witterungsablauf des ganzen Meßtages wiedergeben sollte. Die andern beiden Mitglieder der Equipe teilten sich in die Bedienung des Distomats und die Führung des Protokolls. Da für diese Aufgaben notfalls ein Mann genügt, stand stets jemand in Reserve,

um gewisse notwendige Handreichungen auszuführen, was auf Gebirgsstationen noch viel entscheidender ist als auf einer Feld-, Wald- und Wiesenstation.

Abschließend kann die erfreuliche Feststellung gemacht werden, daß das ganze Meßprogramm planmäßig und ohne irgendwelche störenden Zwischenfälle durchgeführt werden konnte. Unterbrüche traten zwar vereinzelt auf, hauptsächlich an den ersten Tagen; diese waren aber durch das Wetter bedingt und nie von längerer Dauer als etwa einer halben Stunde, dann nämlich, wenn eine Equipe die Gipfelstation wegen eines herannahenden Gewitters fluchtartig verlassen mußte. Aber selbst dann blieb die Verbindung nach der Gegenstation bestehen, wo man stets den beruhigenden Ton aus dem Lautsprecher hörte und sich dabei vielleicht seine Gedanken machte, wie hoch wohl die Geräte versichert seien. Im Laufe der Woche stabilisierte sich dann das Wetter (ausnahmsweise auf der besseren Seite), so daß mit sichtlicher Erleichterung das Programm zu einem guten Abschluß gebracht werden konnte. Dem war gut so, nachdem der zur Verfügung stehende Reservetag bereits zu Beginn für die Bereitstellung verausgabt worden war.

### *3. Die Auswertung*

In diesen wenigen Tagen sammelte sich ein ungeheures Zahlenmaterial an, das nach allen Regeln der Kunst verarbeitet werden wollte. An den fünf Tagen wurden gemessen: 19 Strecken, davon 11 an einem Tag, 5 an zwei Tagen und 3 an drei Tagen; das sind zusammen 30 Tagesserien. Eine Tagesserie umfaßte bei vollständiger Erledigung des Tagesprogramms 6 Hin- und 6 Rückmessungen, also 12 ganze Meßreihen. Dies war bei 16 Tagesserien der Fall, während 8 weitere Tagesserien nur 7 bis 11 Reihen umfaßten und am wenigsten natürlich die 6 Serien des «nullten» Meßtages (2-5). Gesamthaft wurden damit 289 einzelne Meßreihen gemessen oder durchschnittlich rund 10 Meßreihen pro Tagesserie. Jede Meßreihe bestand wiederum aus 10 Einzelmessungen bei den verschiedenen Trägerfrequenzen. Jede Einzelmessung war aber tatsächlich bereits das Mittel aus 2, gelegentlich auch 3 und mehr Wiederholungsmessungen, so daß also während dieser Kampagne rund 6000 Distomat-Ablesungen gemacht wurden.

Es darf gewiß anerkennend hervorgehoben werden, daß alle diese vielen Operationen ohne irgendwelche Störung erledigt werden konnten. Bei einem einzigen Gerät traten vereinzelt Fehlresultate auf, die aber sofort eindeutig als grobe Fehler erkannt und somit gestrichen werden konnten. Alle Meßreihen zeigten den von früheren Untersuchungen her bekannten internen Gerät-Swing von der Größenordnung  $\pm 6$  cm. Dieses eigenartige Verhalten wurde noch nicht näher statistisch erfaßt; eine rein visuelle Beurteilung der in Funktion der Trägerfrequenz aufgetragenen Feinmessungen zeigte jedoch, daß sich die Messungen auf allen Strecken gleich verhielten. Mit anderen Worten heißt das, daß sich auf keiner Strecke Abweichungen infolge von Bodenreflexionen bemerkbar mach-

ten. Diese Feststellung ist an sich nicht verwunderlich, wenn man die für elektronische Distanzmessungen außerordentlich günstigen Geländeprofile in Betracht zieht: steil abfallendes Gelände unmittelbar vor den Stationen, rund 1000 m unter dem Wellenweg liegendes Gelände längs der ganzen Strecke.

Die erste Aufgabe bei der Auswertung bestand in der Mittelbildung, die sich bei den konsequent auf 10 Einzelmessungen beschränkten Meßreihen sehr einfach gestaltete und «von Hand» durchgeführt wurde. Für alle weiteren Operationen war es hingegen am Platz, Algol-Programme zu erstellen, damit die vorkommenden Berechnungen auf der elektronischen Rechenmaschine CDC 1604-A des Rechenzentrums der ETH ausgeführt werden konnten.

### *3.1. Die gemessenen Distanzen*

Um einen ersten Überblick über das Meßergebnis zu erhalten, wurden für jede Strecke und jeden Tag die Mittelwerte jeder Meßreihe in Funktion der Zeit aufgetragen. Dabei waren wir uns absolut bewußt, daß infolge der zeitlichen Veränderungen in der Atmosphäre die Meßwerte Änderungen erfahren mußten, die um so deutlicher hervortraten, je länger die Strecke war. Das so erhaltene Bild entsprach ganz den Erwartungen, wenn auch das Verhalten von Tag zu Tag und von Strecke zu Strecke sehr unterschiedlich war.

Am extremsten waren die Änderungen am 1. Hauptmeßtag, wo zum Beispiel die Ablesungen auf der rund 85 km langen Strecke Chasseral–Rothorn innerhalb 6 Stunden ziemlich gleichmäßig um etwa 1,3 m zunahmen; das ist rund  $15 \cdot 10^{-6} \cdot D$ . Diese Änderung mußte als Hinweis dafür angesehen werden, daß während dieser Zeit der mittlere Brechungskoeffizient  $N$  längs der Strecke um 15 Einheiten zugenommen hatte. Tatsächlich traten an jenem Tag große (und spürbare) Wetteränderungen auf; am Vormittag war es sonnig bis leicht bewölkt, bei zunehmendem SW-Wind nahm die Bewölkung gegen Mittag zu, am Nachmittag war es regnerisch, wobei ein durchziehender Gewittersturm die Equipe auf dem Rothorn wegen der großen Blitzgefahr zum vorübergehenden Verlassen der Station zwang. Auch die übrigen Messungen jenes Tages zeigten eine eindeutige Zunahme der abgelesenen Streckenlängen, in diesem großen Ausmaß allerdings nur noch die rund 45 km lange Strecke Rothorn–Rigi, nämlich um etwa 0,7 m, also ebenfalls  $15 \cdot 10^{-6} \cdot D$ .

Auch am 2. Meßtag zeigten die drei Strecken zwischen den Punkten Niesen, Rothorn und Rigi eine deutliche Zunahme der Ablesungen von der gleichen Größenordnung, während die drei quer über das Mittelland laufenden Strecken nach dem Wisenberg während des ganzen Tages nahezu die gleichen Ablesungen lieferten. Der 3. Meßtag, an welchem bereits ziemlich ausgeglichenes Sommerwetter herrschte, zeigte für das Dreieck Chasseral–Rötifluh–Niesen beinahe konstante Messungen und nur noch für die Strecken nach dem Rothorn eine leichte Zunahme. Schließlich kann der 4. Meßtag dadurch charakterisiert werden, daß die

Messungen im Dreieck Rötifluh–Wisenberg–Hörnli im Laufe des Tages abnahmen, während diejenigen nach dem höher gelegenen Rigi sehr konstant blieben.

Das Verhalten der rohen Meßwerte sagt natürlich noch nichts über die Güte der endgültigen Strecken, da sie ja noch mit dem zur Zeit der Messung gültigen und aus unseren meteorologischen Beobachtungen abgeleiteten Brechungskoeffizienten der Luft reduziert werden müssen. Es wurde aber trotzdem hier kurz skizziert, da es einen anschaulichen Begriff von der Größenordnung und der Unterschiedlichkeit des Einflusses der Meteorologie auf die elektronische Distanzmessung zu geben vermag. So ist es doch zum Beispiel höchst merkwürdig, daß die Messungen einzelner Strecken deutlichen systematischen Änderungen unterworfen waren, während die zur gleichen Zeit quer über das Mittelland hinweg gemessenen Strecken während des ganzen Tages nahezu konstante Werte lieferten.

### 3.2. Die Reduktionen

Ausgangswerte für die Reduktionsrechnung waren die gemittelten Distanzablesungen ( $D[K]$ ) jeder Meßreihe, also zum Beispiel von  $A$  nach  $B$  ( $K = 1$ ) oder von  $B$  nach  $A$  ( $K = 2$ ). Ihnen zugeordnet wurde die mittlere Beobachtungszeit (ZEIT) der entsprechenden Meßreihe, also das Mittel der etwa 5 bis 6 Minuten auseinanderliegenden Zeiten von Meßbeginn und Meßende. Zu dieser mittleren Beobachtungszeit wurden die meteorologischen Elemente beider Streckenendpunkte aus einer graphischen Darstellung aller Meßwerte herausgelesen, also  $t$  (TT[K]) des trockenen und  $t'$  (TF[K]) des feuchten Thermometers in Grad Celsius sowie  $p$  (P[K]) in Millibar. Zudem wurden die für jedes Gerät bestimmten Eichkorrekturen eingegeben, also die Barometerkorrektur  $\Delta p$  (DP[K]), die Nullpunktкоррекция  $\Delta D$  ( $= 0$ ) (DD[K]) und die Frequenzkorrektur  $\Delta f$  (DF[K]) des Distomats. Auch die Meereshöhe (H[K]) und die Instrumentenhöhe (IH[K]) jeder Station wurde benötigt. Zur Berechnung des Erdkrümmungsradius wurde schließlich noch die Breite (PHI[K]) der beiden Streckenendpunkte aus der Karte und das Azimut (AZG) der Verbindungsline aus einer genäherten Distanz- und Azimutberechnung entnommen.

Den Berechnungen wurden die von der Internationalen Assoziation für Geodäsie empfohlenen Formeln zugrunde gelegt, die hier in Algol-Schreibweise wiedergegeben werden<sup>3</sup>.

‘FOR’ K:=1,2 ‘DO’

‘BEGIN’

```
PMM[K]:=(P[K]+DP[K])*0.750062;  
ES[K]:=10↑(7.5*TF[K]/(237.3+TF[K])+0.6609);  
E[K]:=ES[K]-0.000656*PMM[K]*(TT[K]-TF[K]);  
T[K]:=TT[K]+273.16;
```

<sup>3</sup> Revised Report on the Algorithmic Language Algol 60, in: «Numerische Mathematik» 4 (1963), Springer-Verlag, S. 420–453.

```

N[K]:=103.49/T[K]*(PMM[K] - E[K]) +
86.26/T[K]*(1 + 5748/T[K])*E[K]
'END';
NM:=(N[1] + N[2])/2;
DN:=320 - NM;

```

Da der Distomat für einen Brechungskoeffizienten  $N = 320$  geeicht wird, muß die gemessene Distanz entsprechend der Differenz des mittleren Brechungskoeffizienten der Strecke gegenüber diesem Ausgangswert sowie natürlich um die gefundenen Eichkorrekturen korrigiert werden.

```

'FOR' K:=1,2 'DO'
'BEGIN'
DEFF[K]:=D[K] + DD[K] + D[K]*DF[K]*10 - 6;
K0:=DEFF[K]*DN*10 - 6;
DKORR[K]:=DEFF[K] + K0
'END';

```

Für die Berechnung der Reduktionsglieder mußte der entsprechende Erdkrümmungsradius aus den Grundelementen des unserer Landesvermessung zugrunde liegenden Bessel-Ellipsoids abgeleitet werden.

```

PI:=3.14159265359;
A:=6377397.155;
EE:=0.006674372230614;
PHII:=(PHI[1] + PHI[2])/2;
W:=SQRT(1 - EE*SIN(PHII) ↑ 2);
M:=A*(1 - EE)/W ↑ 3;
Q:=A/W;                                (Q für Normalkrümmungsradius N)
AZ:=AZG/180*PI;
R:=1/(COS(AZ) ↑ 2/M + SIN(AZ) ↑ 2/Q);

```

Damit konnte schließlich die Reduktion auf das Ellipsoid vorgenommen werden, wobei des besseren Einblicks wegen die einzelnen Reduktionsglieder für sich gerechnet und ausgedruckt wurden.

```

K11:=-DH ↑ 2/2/DKORR[K];      (wegen Neigung)
K12:=-DH ↑ 4/8/DKORR[K] ↑ 3;  (für große Höhendifferenzen)
K2:=-HM/R*DKORR[K];          (auf Meereshöhe)
K31:=DKORR[K] ↑ 3/24/R ↑ 2;   (wegen Erdkrümmung)
K32:=-0.0625*K31;            (für  $k = 0.25$ )
K33:=-0.375*K31;             (zweite Geschwindigkeitsreduktion)
RED:=K11 + K12 + K2 + K31 + K32 + K33;
DELL[K]:=DKORR[K] + RED;

```

Die Algol-Schreibweise für die Darstellung der Reduktionsformeln wurde hier gewählt, da sie für den Maschinensatz bedeutende Vorteile in sich schließt; selbstverständlich muß man sich etwas an das neue Bild

gewöhnen. Im übrigen erhebt das Programm keinen Anspruch auf äußerste Zweckmäßigkeit; es ließe sich wohl in verschiedenen Punkten verbessern. Wichtig war uns letzten Endes, daß es funktionierte und uns damit wertvolle Dienste leistete, so daß wir die Mängel dieses «Erstlingswerks» gerne in Kauf nahmen.

### 3.3. *Die reduzierten Distanzen*

Gleich wie die gemessenen Strecken wurden auch die reduzierten Messungen in Funktion der Beobachtungszeit graphisch aufgetragen, um ein übersichtlicheres Bild über das Verhalten der einzelnen Strecken zu gewinnen. Dabei zeigte es sich, daß die im Abschnitt 3.1 beschriebene Systematik durch die Reduktion weitgehend verschwand. Hingegen traten auch bei den reduzierten Messungen noch ganz beträchtliche Abweichungen von einem Mittelwert auf, ein Zeichen dafür, daß durch Berücksichtigung des auf den beiden Stationen ermittelten Brechungskoeffizienten die meteorologisch bedingte Variation der Messungen nicht restlos kompensiert wurde. Andererseits wurden Tagesserien einzelner Strecken festgestellt, deren Messungen an sich konstant waren, nach Anbringen des mittleren Brechungskoeffizienten aber merkliche Diskrepanzen aufwiesen. Hier trat offenbar die gleiche Erscheinung auf, die bereits am V. Streckenmeßkurs erwähnt wurde, nämlich starke zeitliche und örtliche Schwankungen des Brechungskoeffizienten an den beiden Streckenendpunkten gegenüber sehr stabilen Verhältnissen längs der Strecke.

Es würde zu weit führen, das Verhalten der 30 Tagesserien vor und nach der Reduktion zu beschreiben. Ein anschauliches Bild vermittelt jedoch die Angabe der Streuung der Mittelwerte der einzelnen Meßreihen jeder Tagesserie, wie sie für die vier Hauptmeßtage in Funktion der Streckenlänge graphisch dargestellt wurde (Abb. 2). Da es sich weitgehend um systematische Änderungen handelt, wurde keine übliche Fehlerrechnung mit Bildung des mittleren Fehlers einer Beobachtung durchgeführt, sondern nur die maximale Differenz der reduzierten Messungen festgestellt. Überraschenderweise traten bei verschiedenen Tagesserien auch nach der Reduktion Differenzen zwischen einzelnen Meßreihen auf, die einen Meter überschritten.

Wie die graphische Darstellung zeigt, waren die Streuungen etwa von der Größenordnung  $10^{-5} \cdot D$ . Dabei waren sie zum Beispiel am 24. Juni durchwegs kleiner, am 22. Juni hingegen deutlich größer. Wenn diese Streuungen auf den ersten Blick und verglichen mit den teilweise sehr geringen Schwankungen der ursprünglichen Meßwerte auch etwas groß erscheinen, dürften die ganzen Tagesserien doch recht zuverlässige Mittelwerte liefern. Es ist immerhin zu berücksichtigen, daß bei den durchschnittlich 10 Beobachtungen einer Serie der mittlere Fehler einer Messung etwa ein Drittel der maximalen Streuung und der mittlere Fehler am Mittel etwa ein Zehntel derselben, also etwa  $10^{-6} \cdot D$  wird. Ein mittlerer Fehler von  $\pm 10$  cm an einer Strecke von 100 km ist aber sicher ein gutes Resultat, auch wenn es sich nur um die innere Meßgenauigkeit handelt.

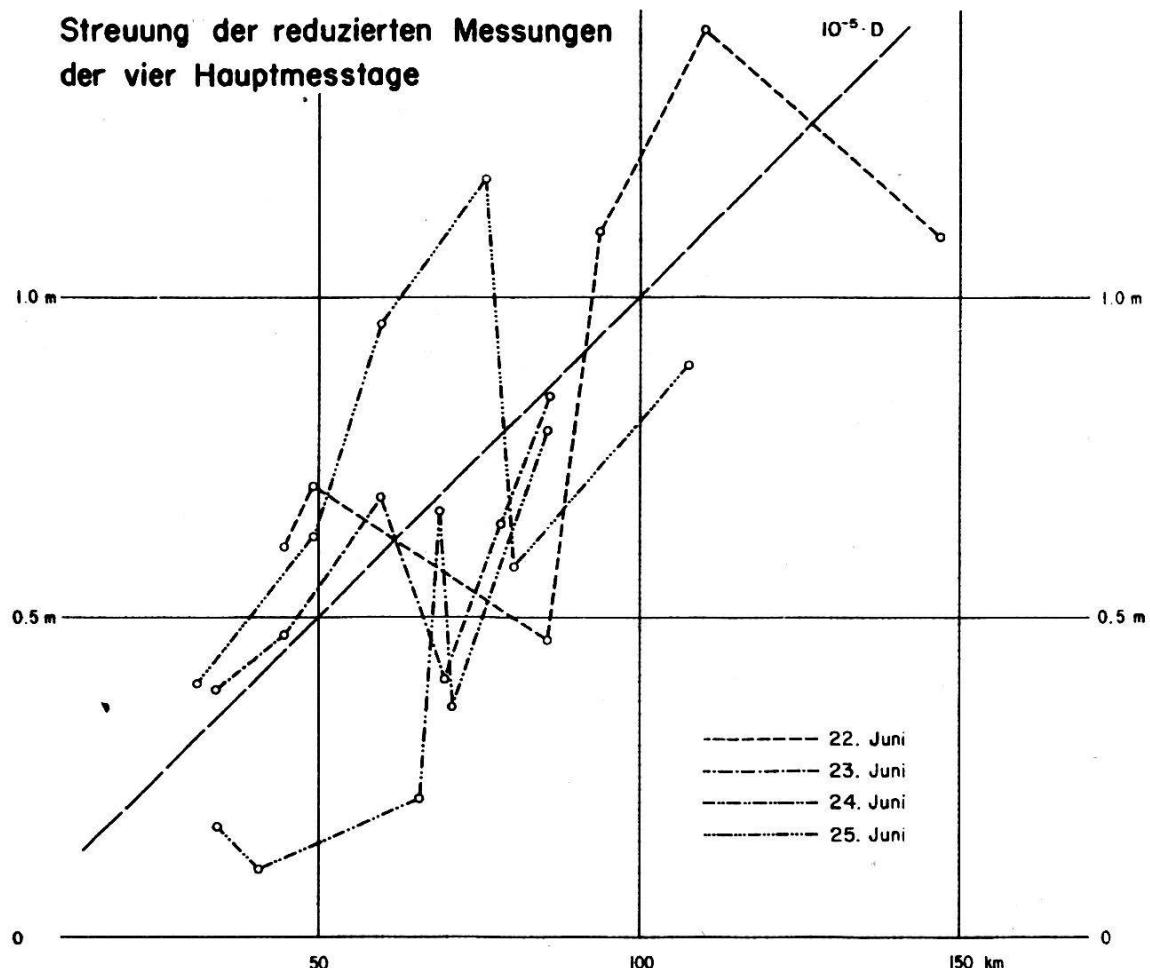


Abb. 2

### *3.4. Die Ausgleichung des Netzes*

Eine zuverlässigere Angabe über die Meßgenauigkeit konnte selbstverständlich nur eine Ausgleichung des ganzen Distomat-Netzes liefern. Dies war ja auch der Grund, weshalb die einzelnen Messungen zu einem möglichst starren Netz verbunden wurden. Unbekümmert um die etwas beunruhigenden Streuungen wurden für alle Strecken als wahrscheinlichste Werte die arithmetischen Mittelwerte aller Messungen eines Tages eingeführt.

Da für diese Operation ebenfalls die elektronische Rechenmaschine eingesetzt wurde, kam praktisch nur eine vermittelnde Ausgleichung in Frage, die gegenüber einer bedingten Ausgleichung wesentliche organisatorische Vorteile aufweist. An sich standen den 11 notwendigen 19 gemessene Strecken gegenüber. Um gleichzeitig Angaben über das Verhalten der Messungen an verschiedenen Tagen zu erhalten, wurden alle 30 Tagesserien für sich behandelt; es wurden also 30 Fehlergleichungen mit 11 Unbekannten aufgestellt, wobei als Unbekannte die Koordinatendifferenzen  $\Delta y$  und  $\Delta x$  von 6 Netzpunkten eingeführt wurden. Die Koordinaten der einzigen zentrisch beobachteten Station Rötifluh wurden festgehalten, ebenso die Richtung der alten Basisvergrößerungsseite

Rötifluh–Chasseral;  $\Delta x$  von Chasseral konnte somit eliminiert werden, so daß das System bestimmt wurde. Als Näherungskoordinaten wurden die aus den offiziellen Landeskoordinaten abgeleiteten Koordinaten der exzentrischen Stationen gewählt.

Die Absolutglieder  $f$  der Fehlergleichungen wurden als Differenz der aus den Näherungskoordinaten gerechneten geodätischen Linien und den auf das Ellipsoid reduzierten Meßwerten gebildet. Auch für die Berechnung der geodätischen Linien wurde ein Algol-Programm aufgestellt unter Verwendung der Formeln von Dr. math. H. Odermatt<sup>4</sup>, während die Fehlergleichungskoeffizienten gleichzeitig mit einem andern Algol-Programm zur Berechnung der ebenen Distanzen und Azimute ermittelt wurden. Die Fehlergleichungen erhielten damit die Form:

$$v = -\sin z_{ik} \cdot \Delta y_i - \cos z_{ik} \cdot \Delta x_i + \sin z_{ik} \cdot \Delta y_k + \cos z_{ik} \cdot \Delta x_k + f$$

Sie wurden entgegen dem heute fast durchwegs üblichen Vorgehen nicht gleichgewichtig behandelt, sondern mit folgenden Gewichten versehen:

$$p = \left(\frac{n}{10}\right) \cdot \left(\frac{100}{D}\right)^2,$$

$n$  Anzahl der Meßreihen jeder Tagesserie, im Durchschnitt rund 10

$D$  Distanz in Kilometern, wobei  $D = 100$  km etwas über dem Durchschnitt liegt

Während das Gewicht  $p = 1$  für kleine Netze und besonders für Geodimetermessungen sicher zulässig ist, dürfte es bei derart ausgedehnten Netzen mit stark unterschiedlichen Streckenlängen ebenso bestimmt nicht mehr gerechtfertigt sein. Bei langen Strecken überwiegen ohne Zweifel die Fehler an den meteorologischen Elementen (die sich proportional auf die Streckenlänge auswirken) die Fehler an der elektronischen Distanzmessung selbst, was sehr deutlich aus der Zunahme der Streuungen der reduzierten Messungen hervorgeht (Abb. 2).

Für die Gewichtseinheit, also eine Tagesserie mit 10 Meßreihen (5 Hin- und Rückmessungen) von 100 km Länge, lieferte die Ausgleichung einen mittleren Fehler von  $\pm 27,4$  cm. Das entspricht einer relativen Meßgenauigkeit von  $2,7 \cdot 10^{-6}$ , was sicher als brauchbar, wenn nicht zu sagen gut bezeichnet werden kann. Die Verbesserungen der 30 Tagesserien entsprachen dem gewählten Gewichtsansatz, wie aus der graphischen Darstellung der auf das Gewicht 1 reduzierten Verbesserungen hervorgeht (Abb. 3). Darin zeigen sich übrigens bemerkenswerte Unterschiede zwischen den einzelnen Meßtagen. Der 1. Hauptmeßtag wies mit Ausnahme der etwas kritischen Strecke Rothorn–Hörnli (94,0 km) lauter negative Verbesserungen auf. Die weitaus größten Verbesserungen traten am 2. Tag auf (Niesen–Rothorn mit 34,0 km und Niesen–Rigi mit 78,2 km),

<sup>4</sup> Tafeln zum Projektionssystem der schweizerischen Landesvermessung. Mitteilungen aus dem Geodätischen Institut Nr. 8, Zürich 1960.

### Auf gleiches Gewicht reduzierte Verbesserungen

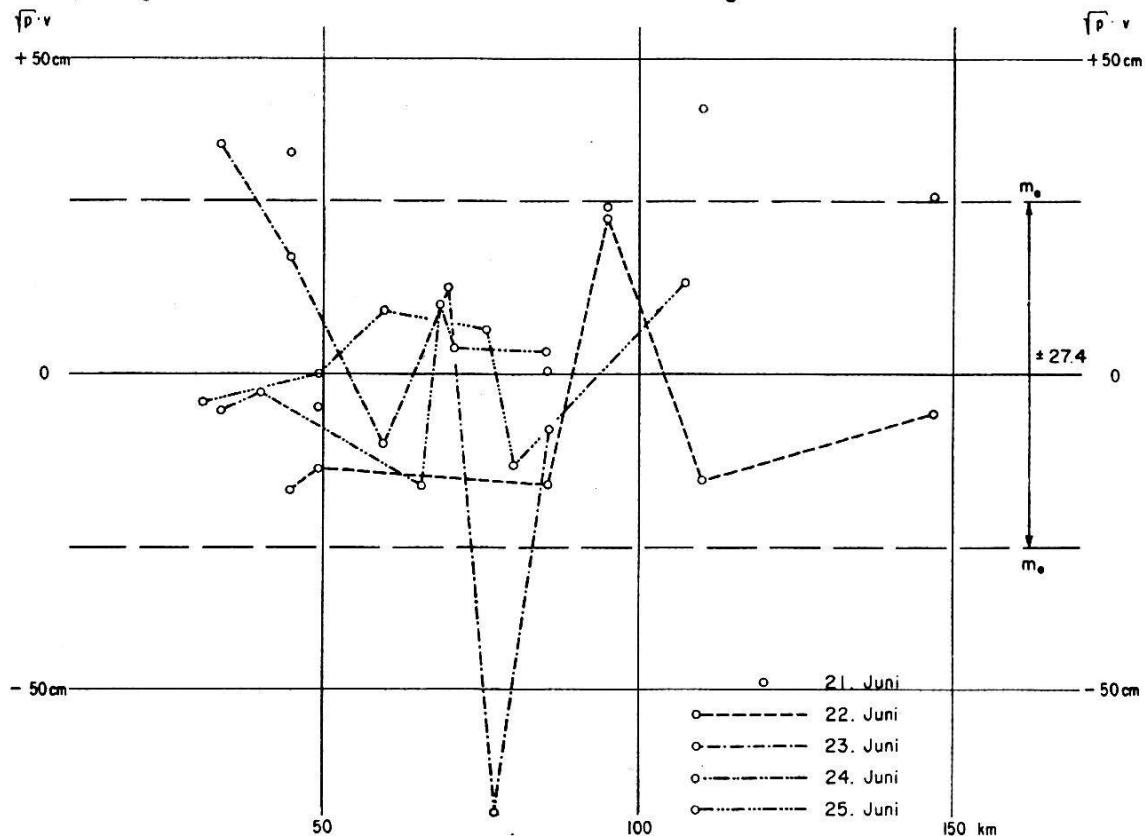


Abb. 3

was möglicherweise mit dem stark unterschiedlichen Verhalten der Messungen längs des Alpenrandes und derjenigen quer über das Mittelland im Zusammenhang steht. Die letzten beiden Meßtage waren hingegen durch kleine und ziemlich regelmäßige Verbesserungen gekennzeichnet.

Selbstverständlich waren bei dieser Ausgleichung auch die Unbekannten von Interesse, welche der besseren Veranschaulichung wegen als Lageänderungen der Punkte 1. Ordnung gegenüber dem Triangulationsnetz mit den zugehörigen mittleren Fehlerellipsen<sup>5</sup> aufgetragen wurden (Abb. 4). Diese Änderungen nahmen ganz beträchtliche und reelle Ausmaße an, besonders für die Punkte Hörnli, Rigi und Wisenberg (bei festgehaltenem Punkt Rötifluh). Aus ihnen konnte für die Zone Rötifluh-Hörnli ein Maßstabsunterschied gegenüber dem alten Triangulationsnetz der Schweizerischen Geodätischen Kommission von der Größenordnung  $-7 \cdot 10^{-6}$  abgeleitet werden. Dieses Resultat dürfte die am V. Streckenmeßkurs ausgesprochene Vermutung weitgehend decken, wenn es auch durch eingehendere Untersuchungen noch überprüft werden muß.

<sup>5</sup> Die Größe der Fehlerellipsen steht zur Hauptsache im Zusammenhang mit der Orientierung des Distomat-Netzes an der relativ kurzen Seite Rötifluh-Chasseral und hat mit der Genauigkeit der Distomat-Messungen an sich nicht viel zu tun. Die Darstellung zeigt aber recht drastisch, wie ungünstig die Richtungsübertragung in einem reinen Streckennetz ist.

Als weiteres Ergebnis konnte aus den gefundenen Lageänderungen eine Verdrehung des an der seit bereits historischen Zeiten<sup>6</sup> als Ausgangsseite dienenden Seite Rötifluh–Chasseral orientierten Distomat-Netzes festgestellt werden. Sie betrug rund  $-6,4 \cdot 10^{-6}$  oder  $-1,3''$ ; drehte man jedoch das Netz um den entgegengesetzten Betrag, so resultierte für den Punkt Chasseral eine Verschiebung von ca. 25 cm gegen N. Eine solche Verschiebung wurde schon bei früheren Untersuchungen des Triangulationsnetzes 1. Ordnung festgestellt und dürfte hier eine Bestätigung gefunden haben; sie dürfte am ehesten auf Beobachtungsfehler im alten Netz der SGK zurückzuführen sein.

#### Ausgleichung der Distomat - Messungen

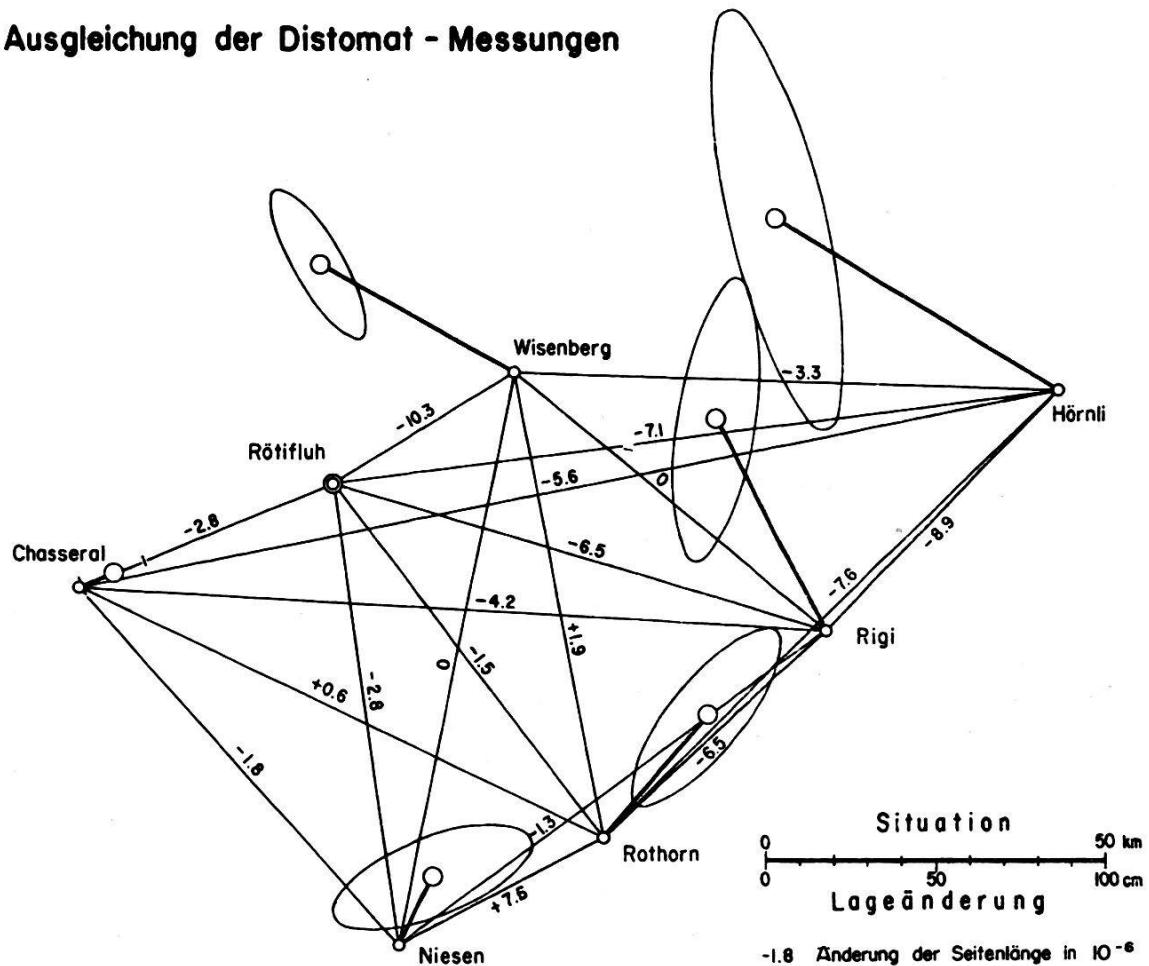


Abb. 4

#### 4. Das Resultat der Distomat-Messungen

Abschließend soll versucht werden, das Resultat unserer Distomat-Messungen in den wichtigsten Punkten zusammenzufassen.

1. Die Messung des aus 19 Strecken zwischen 31 und 147 km Länge bestehenden Distomat-Netzes war ohne irgendwelche Schwierigkeiten in der vorgegebenen Zeit möglich. So wurde vor allem neben dem internen

<sup>6</sup> J. Eschmann, Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz, Zürich 1840.

Geräte-Swing von  $\pm 6$  cm kein von äußeren Reflexionen herrührender Swing festgestellt.

2. Der gleichzeitige Einsatz von vier Geräten verursachte keine Komplikationen, weder beim Verbindungswechsel von einer auf eine andere Strecke noch bei der Messung paralleler Strecken. Die Messung wurde lediglich einmal in dem sehr flachen Dreieck Hörnli–Rigi–Rothorn gestört, indem die dritte Station die Verbindung mit der Gegenstation zu früh suchte; sie wurde bis zum vereinbarten Zeitpunkt «weggeschickt».

3. Die Messung von je sechs Strecken während eines ganzen Tages bewährte sich, indem sie wertvolle Aufschlüsse über das Verhalten der Messungen infolge der meteorologischen Einflüsse längs der Strecke ermöglichte. Einzelne Strecken führten während des ganzen Tages praktisch auf dieselben Ablesungen, während gleichzeitig andere Strecken systematische zeitliche Veränderungen bis über einen Meter erkennen ließen.

4. Auch die mit dem mittleren Brechungskoeffizienten beider Streckenendpunkte reduzierten Messungen wiesen eine beträchtliche zeitliche Streuung von der Größenordnung  $10^{-5} \cdot D$  auf, ein Zeichen dafür, daß der benützte Brechungskoeffizient offensichtlich nicht für die ganze Strecke gültig war.

5. Die in eine vermittelnde Ausgleichung eingeführten Tagesmittel aller Strecken führten bei einem Gewichtsansatz

$$p = \frac{n}{10} \cdot \left( \frac{100}{D} \right)^2$$

auf einen mittleren Fehler der Gewichtseinheit (10 Meßreihen einer 100 km langen Strecke)  $m_e = \pm 27,4$  cm, was einer sehr befriedigenden relativen Genauigkeit von  $2,7 \cdot 10^{-6}$  entspricht.

6. Das ausgeglichene Distomat-Netz erhielt im Raum Rötifluh–Hörnli Seitenlängen, die von der Größenordnung  $7 \cdot 10^{-6} \cdot D$  kleiner waren als die entsprechenden Strecken der Triangulation 1. Ordnung, womit wieder ein gewisser Beitrag zur Frage des Maßstabs unserer Triangulation geliefert wurde.

7. Der für die Orientierung des Distomat-Netzes benützte Punkt Chasseral dürfte auf Grund der Distomat-Messungen einen Lagefehler von etwa 25 cm aufweisen, eine Feststellung, die schon bei früheren Gelegenheiten gemacht wurde. Die Orientierung nach diesem Punkt war mehr «historisch» bedingt; der entfernte Punkt Hörnli wäre selbstverständlich geeigneter gewesen.

So erfreulich die Resultate der beschriebenen Distomat-Messungen auch sind, so darf die Untersuchung doch noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Dies schon deshalb nicht, weil das in diesen wenigen Tagen angefallene zahlreiche und wertvolle Beobachtungsmaterial sicher noch nicht restlos ausgeschöpft ist. Was vor allem noch näher untersucht werden muß, ist der Einfluß des Brechungskoeffizienten auf die langen und in großer Höhe über Grund verlaufenden Meßstrecken. Der Unterschied von der Größenordnung  $5 \cdot 10^{-6} \cdot D$  der vier vom Chasseral aus-

gehenden Strecken gegenüber den bei völlig anderen meteorologischen Bedingungen gemessenen Strecken vom September 1964 ist ein Hinweis dafür, daß systematische Abweichungen immerhin im Bereich des Möglichen liegen. So soll unter anderem der Versuch unternommen werden, in Ermangelung eigener Messungen die Radiosonden der aerologischen Station Payerne der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt heranzuziehen, um zuverlässigere Werte für den Brechungskoeffizienten der höheren Luftschichten abzuleiten.

## Ein Ortsplan aus der Bronzezeit

(um die Mitte des zweiten Jahrtausends vor Christus)

Von Walter Blumer, Bern

In der Umgebung von Capo di Ponte im Val Camonica in der Provinz Brescia (Oberitalien) befinden sich auf vom eiszeitlichen Gletscher glatt geschliffenen Felsen von Menschenhand eingeritzte prähistorische Zeichnungen. Sie stellen menschliche und tierische Figuren, kultische Szenen, Jagd und Ackerbau, Waffen, Werkzeuge, Geräte und rätselhafte magische Zeichen und Symbole dar. Diese Felszeichnungen wurden vor einem halben Jahrhundert von Hirten entdeckt, doch es wurde ihnen nicht sogleich die ihnen zukommende Beachtung geschenkt, und erst zwei Jahrzehnte später begannen Archäologen sich ernsthaft damit zu befassen. Die Zeichnungen stellen ununterbrochen die Entwicklung der Kultur der vorgeschichtlichen Bewohner dieses abgeschlossenen alpinen Tales dar, ihr Leben und ihre Gewohnheit in Dorf, Feld und Wald und sind während eines Zeitraumes von mehr als zweitausend Jahren, vom Ende der Steinzeit um 2000 vor Christus bis über die Bronze- und Eisenzeit, entstanden, bis die Römer kurz vor Beginn unserer Zeitrechnung das Land eroberten. Römische Kultur zog ins Tal ein und setzte der Gravierkunst der *Camuni*, wie die Römer die Talbewohner nannten, ein Ende. Die Felszeichnungen sind von hohem volkskundlichem Wert.

Im Laufe der Jahrhunderte sind die heute noch deutlich sichtbaren Gravierungen von Staub, Erde, Moos und Gras zugedeckt und dadurch vor zerstörenden natürlichen und menschlichen Einwirkungen geschützt worden. Man zählt mehrere Hundert Felsflächen mit vielen Tausend Darstellungen. Die Technik der Gravuren ändert sich je nach der Zeitepoche. Anfänglich ist sie mehr schematisch, abstrakt und symbolisch. Später wird sie realistischer, sorgfältiger und präziser. Oft finden sich Darstellungen verschiedener Epochen nebeneinander, oft überlagern sie sich sogar. Die höchste Stufe erreichte die Gravierkunst in der Mittleren Bronzezeit, um 1500 bis 1400 vor Christus, als die griechisch-mykenische Kultur durch ihren Tauschhandel mit dem Norden Europas starken Einfluß gewann. Der internationale Handelsweg führte damals vom Adriatischen Meer in der Nähe des Val Camonica, das reich an Kupfer und