

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: 65 (1967)

Heft: 7

Artikel: Distomat-Messungen im Verbindungsnetz Feldberg

Autor: Fischer, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-221531>

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: 14.01.2026

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. 7 • LXV. Jahrgang

Erscheint monatlich

15. Juli 1967

Distomat-Messungen im Verbindungsnetz Feldberg

von W. Fischer, Zürich¹

Zusammenfassung

Die Seiten und Diagonalen im Viereck Lägern–Wisenberg–Feldberg–Hohentwiel wurden mit dem Distomat Wild DI50 gemessen. Die Messungen vom August 1965, vom Frühjahr 1966 und vom Oktober 1966 werden beschrieben. Das Resultat von vermittelnden Ausgleichungen der Strecken sowie von Gesamtausgleichungen der Strecken und Richtungen wird angegeben. Zwischen einzelnen Meßperioden treten Maßstabsunterschiede bis zur Größenordnung 5 mm/km auf; daneben ist der mittlere Streckenfehler rund $\pm 1,3$ mm/km.

Résumé

Les côtés et diagonales du quadrilatère Lägern–Wisenberg–Feldberg–Hohentwiel ont été mesurés à l'aide du Distomat Wild DI50. On décrit ici les observations d'août 1965, du printemps 1966 et d'octobre 1966. Les résultats de la compensation médiate des côtés et de la compensation simultanée des directions et des côtés sont donnés. On constate entre les différentes périodes d'observations des variations d'échelle atteignant jusqu'à 5 mm/km; l'erreur moyenne d'un côté est de $\pm 1,3$ mm/km.

1. Einleitung

Die Winkelmessungen zur Bestimmung des Punktes Feldberg im schweizerischen Dreiecksnetz wurden in den Jahren 1864–1879 von der Schweizerischen Geodätischen Kommission durchgeführt. Bei der Neumessung der Triangulation 1. Ordnung in den Jahren 1911–1916 wurden die Richtungen von und nach dem Feldberg nicht mehr beobachtet. Im Rahmen der Neuausgleichung des Europäischen Triangulationsnetzes war es jedoch erwünscht, auch für diese Verbindung moderne Messungen zur Verfügung

¹ Mitteilung der Schweizerischen Geodätischen Kommission (SGK).

zu haben. So wurden im Juli 1965 die entsprechenden Winkel in gemeinsamer Arbeit des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg und der Eidgenössischen Landestopographie gemessen.

Es war naheliegend, neben den Winkeln auch die Strecken zu messen, um so mehr, als für die Zwecke der Winkelmessung auf Lägern und Feldberg provisorische Holztürme errichtet wurden, die auch für elektronische Distanzmessungen zweckmäßig schienen. Auf Wisenberg konnte auf dem Beobachtungs- und Aussichtsturm aus Eisenbeton stationiert werden, und auf Hohentwiel war der Gradmessungspfeiler von 1875 auf dem alten Kirchturm Stationspunkt. Somit war auf allen vier Stationen die Messung auf Türmen möglich. Das Netz ist in Abbildung 1 dargestellt; im Viereck wurden alle Seiten und beide Diagonalen gemessen:

Lägern–Wisenberg	40,1 km
Wisenberg–Feldberg	53,2 km
Feldberg–Hohentwiel	62,3 km
Hohentwiel–Lägern	44,5 km
Lägern–Feldberg	52,9 km
Wisenberg–Hohentwiel	81,2 km

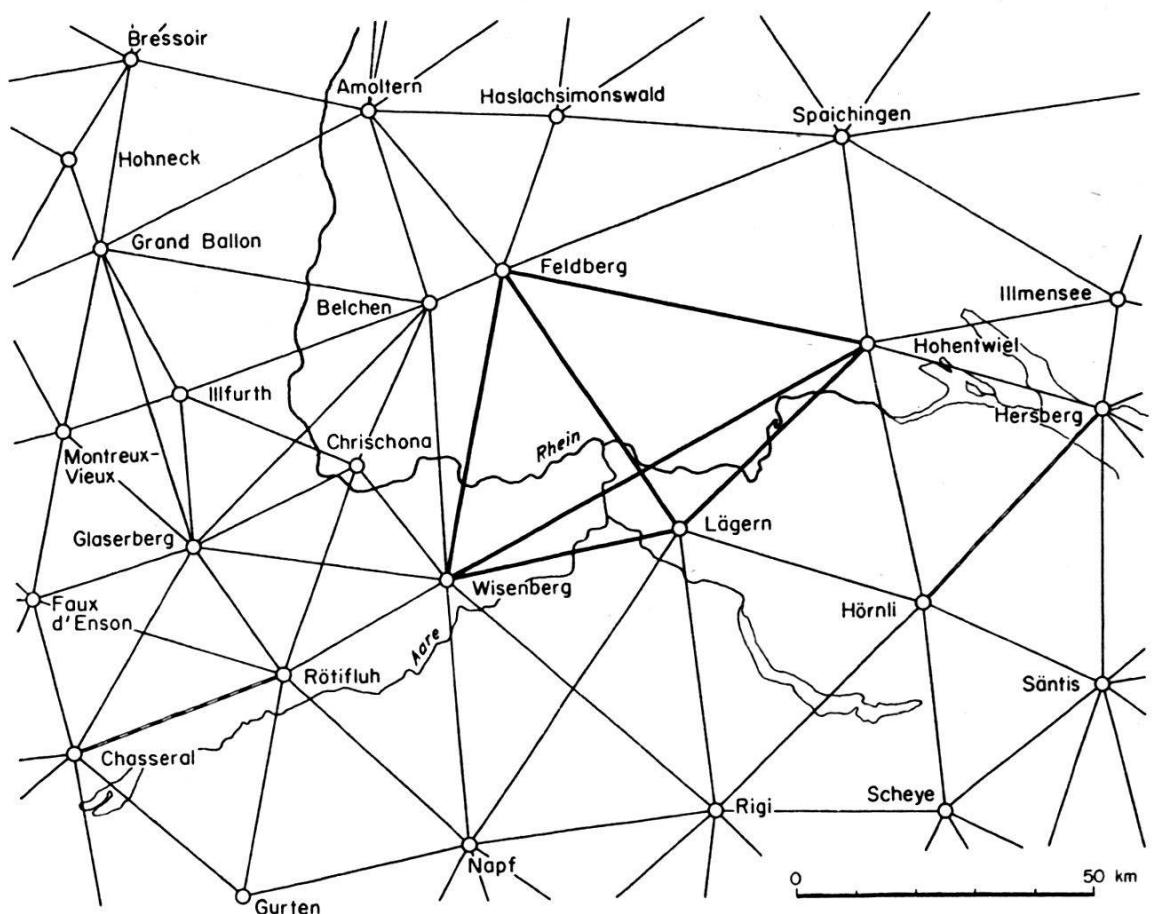


Abb. 1: Verbindungsnetz Feldberg im RETRIG

Dazu ist zu bemerken, daß für die lange Diagonale Wisenberg–Hohen-twiel keine Sichtverbindung besteht; die Richtung wurde also nicht beobachtet, während die Streckenmessung möglich war.

Die ersten Streckenmessungen erfolgten kurz nach Abschluß der Winkelmessungen im August 1965 [1]. Dabei zeigte sich für die fünf gemessenen Strecken² eine erstaunlich gute Konstanz des Maßstabverhältnisses zwischen dem Streckennetz und dem von der Seite Lägern–Wisenberg abgeleiteten Winkelnetz [2].

Die Messungen vom August 1965 wiesen den Mangel auf, daß sie nur je an einem Tag und zudem bei recht ungünstigen meteorologischen Verhältnissen durchgeführt worden waren. Um einwandfreie Werte für die Strecken zu erhalten, drängte sich deshalb eine Wiederholung unter anderen Bedingungen auf. Diese sollte im Frühjahr 1966 stattfinden, solange die provisorisch errichteten Beobachtungstürme auf Lägern und Feldberg noch benützbar waren.

Die Wiederholungsmessungen vom Frühjahr 1966 waren insofern wertvoll, als sie einen recht eindeutigen Maßstabsunterschied gegenüber den Messungen vom August 1965 erkennen ließen. Damit schien es aber wünschenswert, zur Abklärung der Frage des Maßstabes von elektromagnetischen Distanzmessungen eine weitere Wiederholungsmessung durchzuführen, dies um so mehr, als ohnehin für Seiten 1. Ordnung die Messung zu drei verschiedenen Zeiten international empfohlen wurde. Als Zeitpunkt für die Durchführung kam der Oktober 1966 in Betracht.

Alle Messungen wurden mit elektronischen Distanzmeßgeräten Disto-mat Wild DI50 ausgeführt. Die Firma Albiswerk Zürich AG stellte jeweils zwei Geräte zur Verfügung, während bei der letzten Messung zwei Geräte des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg und zwei Geräte des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH, also gleichzeitig vier Geräte, eingesetzt werden konnten. Die Firma Albiswerk Zürich AG (AWZ) half außerdem mit Fachpersonal aus; ebenso beteiligten sich das Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (LVA) und die Eidgenössische Landestopographie (L + T) an den Messungen. Die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Stellen klappte stets ausgezeichnet, und die mannigfache Unterstützung in materieller und personeller Hinsicht sei hier dankbar erwähnt. Das Landesvermessungsamt Baden-Württemberg gab sein Einverständnis zur Veröffentlichung der Resultate, wofür ihm ebenfalls gedankt sei.

2. *Messungen vom August 1965*

2.1 *Durchführung*

Trotzdem nur zwei Geräte zur Verfügung standen und also immer nur eine Strecke gemessen werden konnte, wurde wie im Netz Chasseral–Hörnli [3] vorgesehen, jede Strecke während eines ganzen Tages zu mes-

² Die lange Diagonale konnte aus zeitlichen Gründen nicht gemessen werden.

sen. Auf diese Weise sollten wiederum Erfahrungen über das Verhalten der Messungen während des Tages gesammelt werden.

Ursprünglich war auch an die Messung der langen Diagonalen Hohen-twiel-Wisenberg gedacht worden. Da aber nach dem Höhenprofil keine direkte Sichtverbindung besteht und die Zeit zu knapp war, wurde sie fallengelassen. Damit ergab sich folgender Arbeitsplan:

Datum	Station A	Station B
Mo 16. 8.	Wisenberg	Lägern
Di 17. 8.	Wisenberg	Feldberg
Mi 18. 8.	Lägern	Feldberg
Do 19. 8.	Hohen-twiel	Feldberg
Fr 20. 8.	Hohen-twiel	Lägern

2.2 Instrumentarium

Die Firma Albiswerk Zürich AG stellte zwei Distomat-Ausrüstungen zur Verfügung, die vor und nach der Meßperiode im Labor und auf einer Eichstrecke der Albiswerk Zürich AG geprüft wurden. Der Maßstabfaktor (Meßfrequenz) wurde vor der Meßperiode auf $\pm 1 \cdot 10^{-7}$ abgestimmt und nachher bei beiden Geräten um $(2,8 \pm 1) \cdot 10^{-7}$ zu klein gefunden. Demnach mußten an den Messungen keine Maßstabkorrekturen angebracht werden. Der Nullpunktfehler der Gerätekombination 21–22 wurde im Labor vor der Meßperiode zu $-2,5$ cm und nachher zu -1 cm festgestellt. Dementsprechend wurde an den Messungen eine Nullpunkt Korrektion von $+1,5$ cm angebracht, welcher Wert auch aus der Prüfung auf der Eichstrecke hervorging.

Das ziemlich umfangreiche Zubehörmaterial setzte sich aus Beständen der Albiswerk Zürich AG, der Wild Heerbrugg AG, des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH und der Schweizerischen Geodätischen Kommission zusammen. Die beiden Aneroid-Barometer Thommen wurden vor Beginn der Kampagne mit dem Quecksilberbarometer der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich verglichen; die gefundenen Barometerkorrekturen wurden nachträglich in die Rechnung eingeführt. Leider fiel das Gerät Nr. 61745 zu Beginn der zweiten Meßwoche aus, weil vermutlich durch Erschütterungen beim Transport ein Defekt im Federsystem entstand. Es wurde durch ein altes Aneroid von Usteri (Nr. 3926) ersetzt. Bei den beiden Aspirationspsychrometern Haenni beschränkte sich die Prüfung auf die Kontrolle, ob die beiden Thermometer eines Gerätes im trockenen Zustand die gleiche Ablesung gaben, was innerhalb $1/10^{\circ}\text{C}$ stets der Fall war.

2.3 Meßbedingungen

Leider ist es selten möglich, die Messungen zeitlich so anzuordnen, daß die bestmöglichen Beobachtungsbedingungen vorliegen. Dies ist schon gar nicht der Fall, wenn Personal und Geräte von verschiedenen Seiten beigezogen werden müssen, was notgedrungen nicht kurzfristig geschehen

kann. Als günstigste Beobachtungsbedingungen erwiesen sich auf Grund unserer bisherigen Messungen bedeckter Himmel und mäßiger Wind. Diese Erfahrungen deckten sich weitgehend mit den Forderungen, die vom Institut Géographique National an Präzisionsmessungen gestellt werden.

Die Wetterverhältnisse an den Beobachtungstagen sind nachfolgend kurz umschrieben:

Datum	Station A	Station B
16. 8.	schön, sonnig, leicht bewölkt	schön, leichter E-Wind, leicht bewölkt
17. 8.	bewölkt, windstill, zeitweise Regen	Bewölkung 8/10, leichter Wind aus W, einzelne Regenschauer, Gewitter
18. 8.	sonnig, leicht bewölkt, windstill	bewölkt, Nebel, leichter Wind aus W, zeitweise Regen, Nachmittag zunehmend Sonne
19. 8.	sonnig, leichter Wind	Bewölkung 5/10 (Cumuli mit dunkler Unterseite), leichter Wind aus E
20. 8.	sonnig, leichter Wind aus W, Nachmittag Gewitter im SW	sonnig, dunstig, leichter Wind aus S-SW, Nachmittag zunehmend bewölkt, Gewitter im N (Visur)

Das Wetter war demnach in der zur Verfügung stehenden Woche sehr wechselhaft. Warme, sonnige Tage wurden von kühlen Regentagen abgelöst. Außerdem traten auch Tage auf, an denen die meteorologischen Verhältnisse an den beiden Endpunkten einer Strecke stark verschieden waren und wo man demzufolge Zweifel an der Zuverlässigkeit des mittleren Brechungskoeffizienten haben konnte, der aus den Messungen auf den beiden Stationen abgeleitet wurde. Die meteorologischen Meßbedingungen konnten somit sicher nicht an allen Tagen gleich günstig taxiert werden. Dementsprechend mußte angenommen werden, daß die Messungen der verschiedenen Tage ein eher unhomogenes Beobachtungsmaterial darstellen.

2.4 Meßresultate

Die Messungen wurden nach Möglichkeit über mehrere Stunden verteilt, um Änderungen der meteorologischen Verhältnisse während dieser Zeit berücksichtigen zu können. Normalerweise lagen sie zwischen 9 und 15 Uhr, wobei mindestens während dreier Zeitabschnitte, am Vormittag, am Mittag und am Nachmittag, je zwei Reihen von Hin- und Rückmessungen ausgeführt wurden.

Die Mittelwerte jeder Meßreihe (Hin- und Rückmessung getrennt) wurden in Funktion der Tageszeit graphisch aufgetragen. Ähnlich wie bei den Großdistanzmessungen im Netz Chasseral-Hörnli [3] zeigten sich auch hier deutliche Änderungen der Mittelwerte mit dem Tagesverlauf. Nahmen sie jedoch dort mehrheitlich zu, war hier fast durchwegs das Ge-

genteil der Fall. Die mehr oder weniger konstante Abnahme der Meßwerte läßt auf eine entsprechende Abnahme des mittleren Brechungskoeffizienten im Laufe des Tages schließen. Die folgende Zusammenstellung soll einen Eindruck von den vorliegenden Verhältnissen vermitteln:

Datum Strecke	D km	Dauer h	Änderung cm	$10^{-6} \cdot D$	Art der Änderung
16. 8. Wisenberg-Lägern	40,1	3,5	-43	-10,7	konstant
17. 8. Wisenberg-Feldberg	53,2	6,5	-35	-6,6	zwischen 12.30 und 14.30 Uhr, dann Zunahme
18. 8. Lägern-Feldberg	52,9	5,2	-36	-6,8	konstant
19. 8. Hohentwiel-Feldberg	62,3	5,5	-68	-10,9	sehr stetig
20. 8. Hohentwiel-Lägern	44,5	5,0	-62	-13,8	zuerst Zunahme bis 11 Uhr, dann konstante Abnahme

Zur Reduktion der Reihenmittel wurde dasselbe Rechenprogramm benutzt, das im Bericht über die «Distomat-Messungen im schweizerischen Triangulationsnetz 1. Ordnung» von 1965 [3] beschrieben ist. Es war naheliegend, die reduzierten Reihenmittel ebenfalls in Funktion der Beobachtungszeit graphisch aufzutragen, um den «Erfolg» der Reduktion besser beurteilen zu können. Das Verhalten der reduzierten Messungen war demnach von Strecke zu Strecke recht unterschiedlich. Bei den einen lagen die Werte ziemlich gut beieinander, bei andern hingegen war eine deutliche Systematik erkennbar. Der Unterschied geht am augenfälligsten aus der folgenden Tabelle hervor, wo die Streubereiche der reduzierten Reihenmittel angegeben sind.

Datum	Strecke	D km	Streubereich cm	$10^{-6} \cdot D$
16. 8.	Wisenberg-Lägern	40,1	28	7,0
17. 8.	Wisenberg-Feldberg	53,2	30	5,6
18. 8.	Lägern-Feldberg	52,9	32	6,0
19. 8.	Hohentwiel-Feldberg	62,3	-67*	-10,8
20. 8.	Hohentwiel-Lägern	44,5	-60*	-13,4

* Das Minuszeichen soll besagen, daß die Messungen im wesentlichen zeitlich abnahmen.

Die Messungen streuten somit im Laufe eines Tages in einem Bereich von der Größenordnung $10^{-5} \cdot D$ wie im Netz Chasseral-Hörnli vom Juni 1965. Die Annahme wäre naheliegend, daß die Strecken mit den kleineren Schwankungen den zuverlässigeren Mittelwert lieferten als diejenigen mit

den systematisch ändernden Werten. Es wäre aber umgekehrt auch denkbar, daß gerade die scheinbar recht konstanten Messungen einen systematischen Fehler aufweisen, wie das in ähnlicher Weise auch von der Winkelmessung her bekannt ist. Um diese Frage abklären zu können, war es unumgänglich, die Messungen mindestens einmal bei veränderter Wetterlage zu wiederholen.

3. Messungen vom Frühjahr 1966

3.1 Durchführung

Wie bei den früheren Messungen war vorgesehen, jede Strecke während eines ganzen Tages zu messen. Da auch die lange Diagonale Wisenberg-Hohentwiel gemessen werden sollte, war es nicht möglich, das ganze Programm in einer Woche unterzubringen; die Messungen sollten deshalb auf je drei Tage der beiden letzten Märzwochen verteilt werden. Zu Beginn der letzten Märzwoche herrschten jedoch derart heftige Schneestürme, daß die Durchführung des Programms besonders auf dem Feldberg ernstlich in Frage gestellt war. In der Folge wurde der zweite Teil um eine Woche verschoben, so daß sich die Messungen wie folgt abwickelten:

Datum	Station A	Station B
Di 22. 3.	Wisenberg	Lägern
Mi 23. 3.	Wisenberg	Hohentwiel
Do 24. 3.	Lägern	Hohentwiel
Di 5. 4.	Feldberg	Hohentwiel
Mi 6. 4.	Feldberg	Lägern
Do 7. 4.	Feldberg	Wisenberg

Am 21. März wurden die letzten Vorbereitungen getroffen, die für die reibungslose Durchführung der Arbeit unerlässlich waren. Vor allem wurde das benötigte Material sorgfältig zusammengestellt und auf die Fahrzeuge der beiden Meßequipen verladen.

Die Messungen liefen in der Folge (mit Ausnahme des erwähnten Unterbruchs) programmgemäß ab. Lediglich am 23. März stellte sich eine Panne ein: der Sender auf dem Hohentwiel, der auf einer Wild-T2-Pfeilerplatte montiert war, wurde vom mäßig starken Westwind auf der glatten Pfeileroberfläche (Metallplatte mit eingraviertem Panorama) verschoben, worauf er 1,5 m tief zu Boden stürzte. Glücklicherweise wurde dabei nur der Parabolreflektor beschädigt, für den die AWZ unverzüglich Ersatz beschaffte, so daß nach einem Unterbruch von knapp 4 Stunden die Messungen fortgesetzt werden konnten.

Als große Erleichterung wurde die Möglichkeit empfunden, das Material auf dem Hohentwiel in einer Turmkammer sicher unterzubringen. Dank diesem Umstand konnte auch darauf verzichtet werden, das Material während des Beobachtungsunterbruchs bis zum 5. April nach Zürich mitzuführen, wodurch zwei Durchgänge durch den Zoll vermieden werden konnten.

Am 4. April erfolgte die Hinreise der Equipe für den Feldberg mit der Erledigung der Zollformalitäten im Zollamt Säckingerbrücke beziehungsweise Säckingen und dem Quartierbezug in der Todtnauer Hütte. Auf dem Feldberg lag der Schnee noch 1,5 m hoch, so daß der Zugang mit unserem Geländefahrzeug unmöglich war. Dank der Hilfsbereitschaft des französischen Armeepostens auf dem Feldbergturm konnte jedoch ohne Schwierigkeiten die ganze Ausrüstung auf dessen Raupenfahrzeug vom Parkplatz beim Hotel «Feldbergerhof» bis zum Beobachtungsturm und wieder zurück transportiert werden.

3.2 Instrumentarium

Wie im August 1965 stellte die AWZ zwei Distomat-Ausrüstungen mit den Nummern 21 und 22 sowie verschiedenes Zubehörmaterial. Die Meßfrequenzen wurden vor Beginn der Messungen auf die Sollwerte eingestellt und nach Abschluß kontrolliert, wobei sich keine nennenswerten Abweichungen ergaben. Auf Grund von Labormessungen mußte am Gerät Nr. 22 eine Additionskonstante von + 2 cm eingeführt werden.

Der Betriebsstrom der einen Distomat-Station wurde versuchsweise durch ein kleines Benzinaggregat Honda geliefert, dessen Ausgangsspannung durch einen von der AWZ dazu gebauten Umformer auf die erforderlichen 12 V Gleichstrom gebracht wurde. Trotzdem der Generator an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit lag, versah er zur großen Genugtuung aller Beteiligten fast ununterbrochen seinen Dienst. Als Reserve stand ein Bleiakkumulator bereit, da gelegentlich die Zündkerze gereinigt werden mußte. Die zweite Distomat-Station wurde während eines ganzen Meßtages von zwei kleinen Nickel-Kadmium-Batterien zu 6 V gespiesen, die während der Nacht wieder aufgeladen wurden. Zur Reduktion des Energiebedarfs wurde der Distomat in den Meßpausen auf die Sparstellung «Quarzofen» geschaltet, das heißt, die Sprechfunkverbindung wurde jeweils bis zur vereinbarten Zeit unterbrochen.

Zu jeder Distomat-Station stellte die AWZ ein 35 m langes Senderkabel zur Verfügung, so daß auf allen vier Punkten nur der Sender auf dem Turm eingerichtet werden mußte, während das Bedienungsgerät im Fahrzeug oder sonst an einer geschützten Stelle aufgebaut werden konnte.

Die Geräte zur Messung der meteorologischen Elemente stellte das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH zur Verfügung. Jede Station erhielt ein Assmannsches Aspirationspsychrometer Haenni sowie als Reserve ein Schleuderpsychrometer Maglia. Zur Druckmessung diente je ein Aneroidbarometer Thommen, wobei wegen den gelegentlich zu erwartenden sprunghaften Nullpunktänderungen je ein zweites Gerät mitgeführt wurde. Alle Barometer wurden vor und nach den Feldarbeiten mit dem Normalbarometer der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt (MZA) verglichen, aber nicht korrigiert.

3.3 Meßbedingungen

Die Messungen vom Frühjahr mußten bei stark unterschiedlichen Wetterverhältnissen durchgeführt werden. Sie begannen bei recht mildem

Frühlingswetter, dem ein plötzlicher Kaltlufteinbruch folgte (der schließlich zum erwähnten Meßunterbruch führte), während sich am Schluß ein leichter Föhneinfluß bemerkbar machte. Die Verhältnisse werden am klarsten durch die Wettercharakteristiken für das Gebiet von Zürich wiedergegeben, die von der Sektion Klimatologie der MZA freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden:

Datum	Wetterlage	Wichtige Frontdurchgänge
22. 3.	Antizyklonale Flachdrucklage	
23. 3.	Indifferente Flachdrucklage	Kaltfront nachmittags aus NW
24. 3.	Indifferente NW-Wind-Lage	
5. 4.	Antizyklonale SW-Wind-Lage	In den Alpentälern gebietsweise mäßiger S-Föhn
6. 4.	Indifferente Flachdrucklage	Kaltfront in der ersten Nachmittagshälfte aus SW
7. 4.	Zyklonale SW-Wind-Lage	Mäßig starke Warmfront morgens aus SW, mäßiger S-Föhn

Als Ergänzung dazu werden nachfolgend die Notizen über das Wetter, die unabhängig voneinander auf den beiden Stationen gemacht wurden, in den wesentlichsten Punkten zusammengefaßt:

Datum	Station A	Station B
22. 3.	<i>Wisenberg</i> sonnig, windstill, zeitweise leichter Wind aus N	<i>Lägern</i> wolkenlos, dunstig, meist windstill
23. 3.	<i>Wisenberg</i> sonnig, Bewölkung von W zunehmend, dünne Wolkenschicht, leichter Wind aus W	<i>Hohentwiel</i> wolkenlos, frischer Wind aus W, bedeckt, böiger W-Wind
24. 3.	<i>Lägern</i> W-Wind, bewölkt, zeitweise Riesel und Schneetreiben, Wolken und Nebel knapp über Station	<i>Hohentwiel</i> böiger W-Wind, bedeckt, Rieselschauer, zeitweise Schneefall, niedrige Wolkendecke
5. 4.	<i>Feldberg</i> sonnig, leichter W-Wind, zeitweise windstill	<i>Hohentwiel</i> wolkenlos, stark dunstig, fast windstill
6. 4.	<i>Feldberg</i> starker Wind aus SW, Regen, Nebeltreiben	<i>Lägern</i> bedeckt, Wind 1-2 aus SW, vereinzelt Regen
7. 4.	<i>Feldberg</i> mäßiger Wind aus SW, klare Sicht, vereinzelte Regentropfen, Wolken	<i>Wisenberg</i> bedeckt, leichter Regen, Wind 1-2 aus SW-S, Feldberg sichtbar

3.4 Meßresultate

Auf jeder Strecke wurden 14–16 Hin- und Rückmessungen gemacht, verteilt über rund 6 Stunden. Am ersten Tag war die Wiederholungszahl etwas kleiner, ebenso auf der Strecke Wisenberg–Hohentwiel infolge des Unterbruchs; ferner mußte am letzten Tag auf dem Feldberg die Meßzeit wegen des Grenzübertritts auf 3 Stunden reduziert werden. Gemessen wurde auf den gleichen Punkten wie im August 1965; auch die Tischplatten der beiden Holztürme auf Lägern und Feldberg befanden sich noch genau über den bodenebenen Punktversicherungen. Einzig auf der Strecke Feldberg–Hohentwiel wurden zwei Hin- und Rückmessungen auf exzentrischen Punkten ausgeführt und mußten entsprechend zentriert werden.

Wie bei den ersten Messungen vom August 1965 wurden die Mittelwerte der 10 Ablesungen jeder Meßreihe in Funktion der Zeit graphisch aufgetragen. Der Vergleich mit den ersten Messungen zeigte, daß die Tageschwankungen im allgemeinen geringer waren. Eine Ausnahme bildete die am sonnigen 5. April gemessene Strecke Feldberg–Hohentwiel, wo die Ablesungen zwischen 10 und 16 Uhr MEZ nahezu einen Meter kleiner wurden.

Die Reduktionsrechnung erfolgte wiederum mit dem vorhandenen Rechenprogramm im Rechenzentrum der Eidgenössischen Technischen Hochschule (RZETH). Die alle 3–5 Minuten abgelesenen Temperaturen des trockenen und des feuchten Thermometers wurden aber vorgängig in Funktion der Zeit aufgetragen, worauf die für die Zeit der Distomat-Messungen benötigten Werte einer geglätteten Kurve entnommen wurden. (Der Einheitlichkeit wegen wurden auch die Messungen vom August 1965 noch auf diese Weise bearbeitet, wobei die Kurven der reduzierten Messungen wie erwartet ruhiger wurden, ohne daß sich am Tagesmittel viel geändert hätte.)

Die reduzierten Messungen wiesen eindeutig kleinere Streuungen auf als diejenigen vom August 1965, wie aus der Fehlerrechnung hervorging, aber auch aus der graphischen Darstellung des Tagesverlaufs deutlich zu erkennen war. Die zeitlichen Änderungen der Ablesungen wurden also durch die meteorologische Reduktion recht gut kompensiert. Beim Beispiel der Strecke Feldberg–Hohentwiel war die Reduktion um 16 Uhr 95 cm größer als um 10 Uhr. Mit anderen Worten heißt das, daß der durchschnittliche Brechungsindex der Luft, der auf den beiden Endpunkten bestimmt wurde, auf der 62 km langen Strecke um $15 \cdot 10^{-6}$ zugenommen hatte.

4. Messungen vom Oktober 1966

4.1 Durchführung

Bei der Planung der Herbstmessungen von 1966 war der Gedanke wegleitend, alle vier Punkte des Verbindungsnetzes Feldberg gleichzeitig mit Distomat-Geräten zu besetzen, wodurch sich verschiedene Vorteile erreichen ließen. Erstens konnten so die sechs Strecken im Viereck mit einem minimalen Zeitaufwand gemessen werden. Zweitens ließen sich alle sechs Strecken bei gleichen Bedingungen messen, was zu einem homogenen Netz

führen sollte, während bei den früheren Messungen stets beträchtliche Unterschiede in den Meßbedingungen der einzelnen Strecken aufgetreten waren. Drittens ergaben sich organisatorische Erleichterungen, indem beim Einsatz der Distomat-Geräte des LVA auf den Punkten Feldberg und Hohentwiel keine Grenzübertritte erforderlich waren.

Mit Schreiben vom 8. August 1966 erklärte sich das LVA mit der vorgeschlagenen gemeinsamen Ausführung der Distomat-Messungen einverstanden, die schließlich auf die Tage vom 11. bis 13. Oktober 1966 festgelegt wurde. Der 11. Oktober war als Hinreisetag vorgesehen, wobei ab 14 Uhr einige Versuchsmessungen ausgeführt werden sollten. Sodann war eine 24stündige Dauermessung der sechs Strecken vom 12. Oktober 9 Uhr bis 13. Oktober 9 Uhr vorgesehen. Infolge einer durchgehenden Hochnebeldecke war es aber sehr unwahrscheinlich, daß sich der normale Tag-Nacht-Effekt der Temperaturschichtung stark ausbilden würde, weshalb auf dieses Experiment verzichtet werden konnte. Im Einvernehmen mit den Kollegen vom LVA wurden aber am Vormittag des 13. Oktober drei vollständige Meßzyklen durchgemessen, bevor die Rückreise angetreten wurde, was sich wegen den inzwischen veränderten Wetterverhältnissen als wertvoll erwies.

Das Beobachtungsprogramm sah vor, daß jeweils während einer halben Stunde gleichzeitig zwei Strecken gemessen werden sollten. Normalerweise waren in dieser Zeit zwei Hin- und Rückmessungen zu erledigen, wobei zur Beschleunigung der Messung bei jeder der 10 Meßfrequenzen nur noch eine Ablesung zu notieren war (anstatt wie früher deren zwei oder das Mittel aus zweien). Ein vollständiger Meßzyklus sollte nach folgendem Schema absolviert werden:

Phase	Zeit	1. Strecke	2. Strecke
1	00.00–00.30	Feldberg–Hohentwiel	Lägern–Wisenberg
2	00.30–01.00	Wisenberg–Feldberg	Lägern–Hohentwiel
3	01.00–01.30	Feldberg–Lägern	Wisenberg–Hohentwiel

Die erstgenannte Station war jeweils zuerst Hauptstation und führte auch das Protokoll für die betreffende Strecke. Zwischen den einzelnen Zyklen konnten längere oder kürzere Pausen eingeschaltet werden. Die meteorologischen Elemente sollten wiederum alle 3–5 Minuten gemessen und in ein separates Feldbuch eingetragen werden.

Die Zusammenarbeit der vier Stationen war erfreulich gut und gewährleistete einen reibungslosen Ablauf der Messungen. Zur vereinbarten Zeit nahmen alle Stationen mit der als Netzeitstation bestimmten Station Wisenberg Verbindung auf, so daß die Organisation der Messungen besprochen und festgelegt werden konnte. Vorher war ja keine direkte Absprache mit den Beobachtergruppen des LVA möglich gewesen.

Leider stellte sich eine instrumentale Schwierigkeit ein, indem schon zu Beginn der Messungen am Distomat Nr. 53 des LVA (auf dem Hohen-

twiel) die Frequenz f_{8N} verstimmt war. Dadurch war in der Stellung «Nebenstation» keine Synchronisation mit den Gegenstationen möglich; hingegen konnte die Station in der Stellung «Hauptstation» messen. Dank dem raschen Einsatz der Leute von der AWZ konnte der Meßfrequenzgenerator noch am Abend des 11. Oktober durch einen neuen ersetzt werden. Nachträglich zeigte es sich allerdings, daß die Frequenzen dieses Ersatzgenerators vorher nicht geprüft worden waren, doch war immerhin die Hin- und Rückmessung nach dem Hohentwiel möglich.

Daneben kann festgehalten werden, daß trotz dem herrschenden dichten Nebel das Meßprogramm ohne Ausfälle abgewickelt werden konnte. Da die Sichtweite zeitweise nur 20 m betrug, war es für die rasche Umstellung von einer Strecke auf die nächste von Bedeutung, daß sich die Sender mittels des am Fuß angebrachten Horizontalkreises auf die früher notierte Ablesung einrichten ließen.

4.2 Instrumentarium

Die beiden neuen Distomat-Ausrüstungen des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH wurden auf der Lägern (Nr. 81) und auf dem Wisenberg (Nr. 82) eingesetzt, diejenigen des LVA auf dem Hohen-twiel (Nr. 53) und auf dem Feldberg (Nr. 54). Das Gerätelpaar 81/82 wurde am 29. 9. 1966 auf einer Prüfstrecke der AWZ auf allfällige Nullpunktfehler geprüft; beim Gerät Nr. 81 wurde keine Additionskonstante festgestellt, während sich beim Gerät Nr. 82 eine Nullpunktkorrektur von + 15 mm als notwendig erwies. Die Meßfrequenzen waren vorher im Labor der AWZ auf den Sollwert eingestellt worden und wurden am 17. 10. 1966 am gleichen Frequenzzähler geprüft; dabei ergaben sich folgende zu vernachlässigende Abweichungen der Frequenz f_{7H} vom Sollwert: Nr. 81: — 13 bis — 10 Hz, Nr. 82: — 2 bis 0 Hz. Die Meßfrequenzen der beiden Geräte des LVA wurden am 10. 10. 1966 an der TH Stuttgart auf die Sollwerte abgeglichen und am 17. 10. 1966 wiederum gemessen; dabei ergaben sich bei der Station Nr. 54 praktisch keine Abweichungen (+ 3 Hz für f_{7H}), während bei der Station Nr. 53 (mit dem ausgewechselten Frequenzgenerator) erhebliche Abweichungen auftraten (— 59 Hz für f_{7H}). Dementsprechend wurde bei der Auswertung für dieses Gerät eine Frequenzkorrektur von $+ 4,0 \cdot 10^{-6}$ rechnerisch eingeführt.

Die AWZ stellte wiederum zwei 35 m lange Senderkabel für den Betrieb der Stationen 81 und 82 zur Verfügung, während die Equipen des LVA bereits lange Kabel besaßen. (Die Anschaffung derartiger Kabel empfiehlt sich auch für unsere Verhältnisse.) Ferner konnte auf dem Wisenberg erneut das Benzinaggregat Honda eingesetzt werden; die übrigen Stationen wurden von Bleiakkumulatoren gespiesen.

Auf Lägern und Wisenberg wurden je zwei Assmannsche Aspirations-psychrometer eingesetzt, eines von Haenni und eines von Lambrecht (zur Distomat-Ausrüstung geliefert), ferner je zwei Aneroid-Barometer von Thommen (beziehungsweise ein altes Usteri-Aneroid), welche vor und nach der Feldarbeit am Standbarometer des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie verglichen wurden.

Auf dem Hohentwiel konnten zwei verschiedene Wetterstationen betrieben werden, eine auf dem Turm und eine in der Festung. Auf dem Feldberg waren die meteorologischen Geräte nur in einer Ausführung vorhanden, hingegen konnte der Thommen-Barometer Nr. 89785 am Standbarometer der Wetterwarte Feldberg verglichen werden.

4.3 Meßbedingungen

Nachdem am 4. Oktober 1966 noch ausgesprochen sommerliches Wetter mit Temperaturen in Zürich bis gegen 30 °C am Schatten geherrscht hatte, stellte sich bald darauf das erhoffte Herbstwetter ein. Die Wetterlage an den drei Meßtagen wurde von der Sektion Klimatologie der MZA wie folgt charakterisiert:

Datum	Wetterlage	Wichtige Frontdurchgänge
11. 10.	Zyklonale Flachdrucklage	
12. 10.	Zyklonale Flachdrucklage	Kaltfront abends aus SW
13. 10.	Antizyklonale Flachdrucklage	

Am 11. und 12. Oktober lagen alle vier Stationen in oder unter einer geschlossenen Hochnebeldecke, die sich am Vormittag des 13. Oktober allmählich auflöste.

4.4 Meßresultate

Am Hauptmeßtag (12. Oktober) konnten vier vollständige Meßzyklen durchgemessen werden (9.00–10.30, 11.30–13.00, 14.00–15.30, 16.00–17.30 Uhr MEZ), am folgenden Tag noch deren drei (von 9.00 ohne Unterbruch bis 13.30 Uhr MEZ). Dazu kamen noch einzelne Versuchsmessungen vom Vortag, so daß in der knappen Zeit vom 11. Oktober (14.00) bis zum 13. Oktober (14.00) folgende Zahlen von Hin- und Rückmessungen absolviert werden konnten:

Strecke	11. 10.	12. 10.	13. 10.	Total
Wisenberg–Lägern	2	8	6	16
Feldberg–Wisenberg	2	7	7	16
Feldberg–Lägern	3	8	6	17
Feldberg–Hohentwiel	0,5*	9	6	15,5
Lägern–Hohentwiel	0,5*	7	6	13,5
Wisenberg–Hohentwiel	0,5*	8	6	14,5
Total	8,5	47	37	92,5

* Messung nur auf Hohentwiel möglich

Die 195 einzelnen Meßwerte wurden wie üblich in Funktion der Zeit aufgetragen. Als Folge der stabilen Wetterverhältnisse war am 12. Oktober

die Variation sehr gering; bei allen sechs Strecken hatten die Ablesungen im Laufe des Tages eine leicht abnehmende Tendenz. Auch der Brechungsindex der Luft nahm auf allen vier Stationen durchschnittlich etwa $2 \cdot 10^{-6}$ ab, so daß die reduzierten Messungen nur sehr wenig streuten. Am 13. Oktober ließ sich in der Zeitspanne von jeweils drei Stunden keine eindeutige Tendenz der Messungen feststellen. Der Brechungsindex der Luft nahm zwischen 9.00 und 13.30 Uhr größtenteils ab, wies aber dazwischen größere Schwankungen auf. Dies stand offensichtlich im Zusammenhang mit dem Kampf zwischen Sonne und Nebel, der sich im Lauf des Vormittags auf allen Stationen abspielte. Die Folge davon war, daß die reduzierten Messungen etwas stärker streuten als am Vortag.

Mit Ausnahme des Hohentwiel waren alle Stationen identisch mit denen der früheren Messungen. Auf dem Hohentwiel wurde der Sender des Distomat nicht mehr auf dem Gradmessungspfeiler aufgebaut, sondern auf dem Leuchtbolzen X auf der vordersten Ecke der Turmbrüstung. Um die Messungen mit den früheren Ergebnissen vergleichen zu können, wurden sie auf den Gradmessungspfeiler zentriert.

5. Ausgleichung der Distomat-Messungen

5.1 Resultate der Distomat-Messungen

Fünf Strecken des Verbindungsnetzes Feldberg waren an 5 verschiedenen Tagen gemessen worden, die lange Diagonale Wisenberg–Hohentwiel an 4 Tagen. Damit war sehr viel Beobachtungsmaterial beisammen, wie es für eine kritische Untersuchung der Streckenmessungen erwünscht war. Die Mittelwerte der reduzierten Messungen jeder Strecke sind nachfolgend für jeden Tag zusammengestellt:

Strecke	Geodätische Linie*	1. Tag	2. Tag	3. Tag	4. Tag	5. Tag
		m	m	m	m	m
Wisenberg–Lägern	40 132,224	2,324	2,660	2,574	2,697	2,575
Feldberg–Wisenberg	53 216,943	6,682	6,647	6,951	6,994	6,792
Feldberg–Lägern	52 856,547	6,573	6,765	6,657	6,781	6,618
Feldberg–Hohentwiel	62 271,273	1,102	1,525	1,660	1,584	1,496
Lägern–Hohentwiel	44 478,335	7,869	8,002	7,885	7,968	7,862
Wisenberg–Hohentwiel	81 194,158	–	4,390	4,213	4,199	4,024

* Aus den offiziellen Landeskoordinaten gerechnet

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, daß die Messungen des 1. Tages deutlich kürzer waren als diejenigen der übrigen Tage, wie ja bereits nach den Wiederholungsmessungen vom Frühjahr 1966 festgestellt worden war (vgl. 1). Daneben zeigten sich aber auch zwischen den einzelnen Messungen vom Oktober 1966 Unterschiede, indem die Werte des 5. Tages eindeutig unter denjenigen des 4. Tages lagen. Der 3. Tag wies nur wenige

Messungen auf (Versuchsbeobachtungen vom 11. Oktober 1966) und ließ daher keine näheren Aussagen zu.

Es wurde nun versucht, Zusammenhänge zwischen den einzelnen Meßreihen zu finden, wobei sich als zweckmäßigstes Mittel die vermittelnde Ausgleichung der Streckenmessungen erwies. Das Diagonalenviereck weist zwar nur eine einzige überschüssige Strecke auf; in Anbetracht der großen Zahl von Wiederholungsmessungen konnte aber trotzdem ein zuverlässiges Resultat erwartet werden.

5.2 Ansatz für die Ausgleichung

Als Ausgangspunkt für die Ausgleichung wurden mit Vorteil die Tagesmittel aller Strecken gewählt (vgl. 5.1). Als Näherungswerte wurden die aus den offiziellen Landeskoordinaten der vier Punkte gerechneten geodätischen Linien betrachtet, so daß sich die resultierenden Koordinatenänderungen auf die bisherige Lage der Punkte bezogen. Die Fehlergleichungskoeffizienten wurden aufgestellt, indem der Punkt Lägern und die Richtung nach dem Punkt Wisenberg festgehalten wurden.

Auf Grund der Überlegungen und des Ergebnisses in [3] wurde das Tagesmittel jeder Strecke mit dem Gewicht

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

versehen, worin D die Distanz in Kilometern und n die Anzahl der Meßreihen jedes Tages bedeuten. Auf die Berücksichtigung einer Korrelation zwischen den am selben Tag gemessenen Strecken (Oktober 1966) wurde verzichtet.

Die festgestellten systematischen Abweichungen der Messungen einzelner Tage (vgl. 5.1) ließen es richtig erscheinen, diese Messungen mit einem jeweiligen Maßstabsfaktor zu erweitern. Um keine zusätzlichen Zwänge in das System zu bringen, sollten diese Faktoren als Unbekannte aus der Ausgleichung hervorgehen. Neben den fünf Koordinatenunbekannten X_1 bis X_5 waren somit noch zwei Maßstabsunbekannte X_6 (für den 1. Tag) und X_7 (für den 5. Tag) zu bestimmen.

5.3 Resultat der Ausgleichung

Es sei vorweggenommen, daß nicht nur eine Ausgleichung, sondern mehrere durchgeführt wurden. Dabei wurde von dem Umstand Nutzen gezogen, daß alle Berechnungen auf der elektronischen Rechenmaschine des RZETH ausgeführt werden konnten, wobei sich die einmal auf Lochkarten abgelochten Fehlergleichungen in beliebiger Kombination eingeben ließen. Aus der Gegenüberstellung der verschiedenen Ausgleichungsresultate sollten sich eindeutigere Aussagen über die Streckenmessungen machen lassen als aus dem Resultat einer einzigen Rechnung, die durch gewisse Zufälligkeiten verfälscht sein konnte. Die wichtigsten Resultate dieser Ausgleichungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Nr.	<i>n</i>	<i>u</i>	m_e	X_6	X_7	Bemerkungen
				mm/km	mm/km	mm/km
1	5	5	—	—	—	keine Überbestimmung
2	6	5	± 3,5	—	—	
3	18	6	± 1,0	—	+ 2,4	
12	11	6	± 3,7	+ 4,3	—	
23	23	6	± 1,1	—	+ 2,6	ohne Messung der Strecke Feldberg-Wisenberg vom Frühjahr 1966
31	23	7	± 1,7	+ 5,3	+ 2,4	
123	28	7	± 1,2	+ 5,4	+ 2,5	ohne Messung der Strecke Feldberg-Wisenberg vom Frühjahr 1966, <i>p</i> des 1. Tages auf $\frac{1}{4}$ reduziert

Darin bedeuten

- Nr.** Wiederholungsmessung und Kombination derselben
 (1 = August 1965, 2 = Frühjahr 1966, 3 = Oktober 1966, alle 3 Tage)
n Anzahl Beobachtungen (= Tagesmittel einer Strecke)
u Anzahl Unbekannte (5 Koordinatenunbekannte + allfällige Maßstabs-unbekannte)
 m_e mittlerer Fehler der Gewichtseinheit ($D = 100 \text{ km}$, $n = 10$), umgerechnet auf $D = 1 \text{ km}$
 X_6 Maßstabsfaktor des 1. Tages
 X_7 Maßstabsfaktor des 5. Tages

Zu einzelnen Ausgleichungen sind noch Bemerkungen anzubringen.

Die Messungen vom August 1965 (1) sind selbstverständlich nur der Vollständigkeit halber aufgeführt und gaben zu keiner Ausgleichung Anlaß.

Die Messungen vom Oktober 1966 (3) zeigten eine äußerst gute innere Übereinstimmung (abgesehen von der erwähnten systematischen Abweichung der Werte vom 5. Tag), was auf den kleinen mittleren Fehler von ± 1,0 mm/km führte.

Demgegenüber wiesen die beiden ersten Ausgleichungen mit den Messungen vom Frühjahr 1966 (2) und (12) einen verhältnismäßig großen mittleren Fehler auf. Die Ursache für diesen großen Betrag konnte erst bei der Kombination mit den homogenen Messungen vom Oktober 1966 herausgefunden werden; sie lag eindeutig in dem sehr kleinen Wert für die Messung der Strecke Feldberg–Wisenberg vom Frühjahr 1966 begründet. Diese Messung wurde in der Folge nicht mehr berücksichtigt; sie wurde im Vergleich zur ausgeglichenen Strecke als 32 cm zu kurz gefunden. Dabei waren sich gerade bei dieser Messung alle Beobachter einig, daß die Meßbedingungen außerordentlich günstig waren (Feldbucheintragung: Ideales Meßwetter! kühl, windig, bewölkt, ganze Strecke vermutlich gleich).

Die Ausgleichungen mit den Messungen vom August 1965 ließen erkennen, daß die Messungen dieser Meßperiode deutlich größere Verbesserungen aufwiesen als die übrigen. Ging man zurück auf die Zusammenstellung der Einzelmessungen jedes Tages, ließ sich leicht feststellen, daß die redu-

zierten Messungen im Sommer rund doppelt so stark streuten als im Frühling und Herbst. Damit erschien es gerechtfertigt, die Gewichte der Sommermessungen auf $\frac{1}{4}$ zu reduzieren; die endgültige Ausgleichung (123) aller Messungen (mit Ausnahme der bereits erwähnten) bestätigte die Richtigkeit dieses Vorgehens.

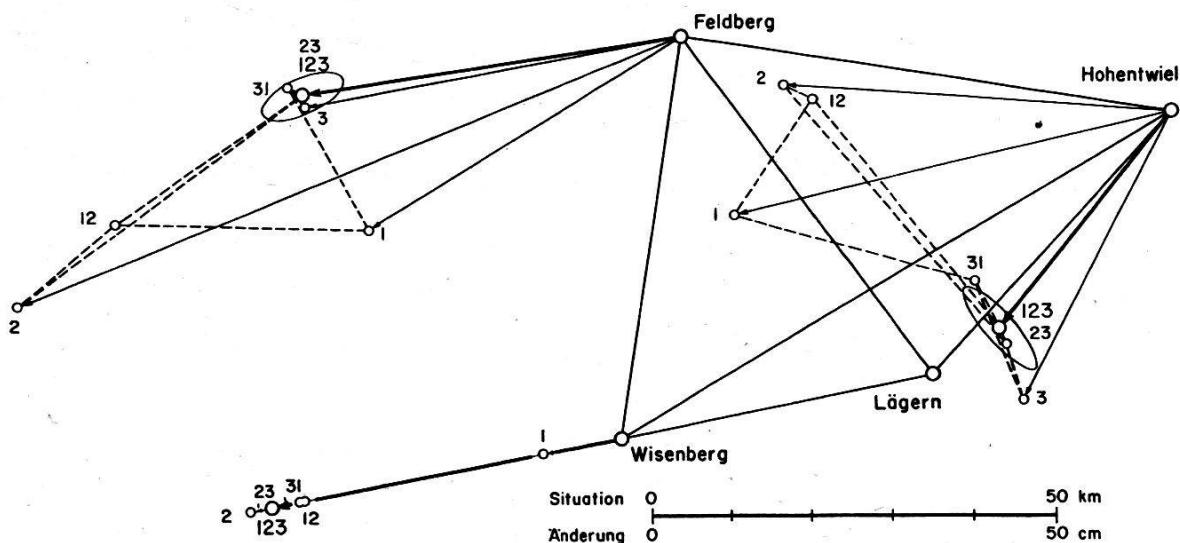


Abb. 2: Änderungen der Punktlage aus Streckenmessungen

Die Resultate der verschiedenen Ausgleichungen sind in Abbildung 2 graphisch dargestellt. Es besteht wohl kein Zweifel, daß die homogenen Messungen vom Oktober 1966 (3) die günstigsten Voraussetzungen für die Festlegung der Netzform hatten. Die Lage der Punkte (3) war denn auch nur wenig verschieden von der endgültig ausgeglichenen Punktlage (123). Demgegenüber zeigen die Punkte (1), daß die Messungen vom August 1965 deutlich kürzer waren als die übrigen. Schließlich kommt in der grafischen Darstellung auch das merkwürdige Verhalten der Frühjahrsmessung der Strecke Feldberg–Wisenberg zum Ausdruck. Durch diese kurze Messung wurde der Punkt Feldberg (2) und (12) nach SW und der Punkt Hohentwiel (2) und (12) in der Folge nach NW «gezogen». Im übrigen wird durch diese Darstellung augenfällig, wie die Unsicherheit der Punktbestimmung in der Richtung der großen Achse der Fehlerellipse für (123) liegt.

6. Gesamtausgleichung von Richtungs- und Streckenmessungen

6.1 Ausgleichung der Richtungen

Die bisherigen Ausgleichungen lieferten ein einigermaßen klares Bild über das Verhalten der Streckenmessungen. Doch war es erwünscht, das Streckennetz nicht nur in sich, sondern auch noch «von außen» zu prüfen. Nichts war naheliegender, als die Winkelmessungen von 1965 beizuziehen.

Die Eidgenössische Landestopographie stellte die stationsausgeglichenen Richtungen der zwei schweizerischen und der zwei deutschen Stationspunkte zur Verfügung. Mit Ausnahme des Wisenbergs waren die Punkte identisch mit den Distomat-Standpunkten; auf dem Wisenberg mußten die Richtungen vom Stationsbolzen Turmmitte auf den von uns benützten Turmbolzen A umgerechnet werden.

Trotzdem das Richtungsnetz nur zwei überschüssige Elemente aufwies [4], wurde vorerst eine vermittelnde Ausgleichung mit den gleichen Ausgangswerten wie bei der Streckenausgleichung durchgeführt. Zur Festlegung des Maßstabes mußte jedoch der Punkt Wisenberg festgehalten werden. Wie aus den beiden kleinen Dreieckswidersprüchen erwartet werden konnte, lieferte die Ausgleichung für den mittleren Fehler einer beobachteten Richtung einen sehr kleinen Wert, nämlich $\pm 0,24^{\circ}$. In Anbetracht der schwachen Überbestimmung konnte diesem Wert allerdings keine große Bedeutung beigemessen werden.

6.2 Ansatz für die Gesamtausgleichung

Zum vornherein stand fest, daß nur eine Gesamtausgleichung der Richtungen und Strecken den tatsächlichen Verhältnissen am nächsten kam. Die korrekte Lösung hätte zwar in der Einführung der beobachteten Winkel bestanden, da nur auf den deutschen Stationen die Winkel in allen Kombinationen gemessen wurden; dies ließe sich jedoch bei Gelegenheit nachholen.

Die erste Aufgabe bestand in der Wahl geeigneter Einheiten. Bei der Streckenausgleichung wurde der Meter als Einheit für die Beobachtungen (Absolutglieder und Verbesserungen) und die Unbekannten (Koordinatenänderungen) genommen. Diese Einheit sollte beibehalten werden, um die vorhandenen Lochkarten mit den Fehlergleichungen weiterverwenden zu können. Für die Richtungen erwies sich damit die Einheit von 10° als zweckmäßig, um gleiche Größenordnungen für Richtungen und Strecken zu erhalten.

Zur Festlegung des Richtungsgewichtes wurde auf das Ergebnis der vorgängigen Richtungsausgleichung abgestellt. Der mittlere Fehler einer Beobachtung wurde bei den gewählten Einheiten rund fünfmal kleiner als der mittlere Fehler der Gewichtseinheit bei der Streckenausgleichung; somit wurde vorerst $p_R = 25$ gesetzt.

Endlich mußte das Fehlergleichungssystem der Richtungen noch ergänzt werden, indem die beiden Beobachtungen der Seite Feldberg-Wisenberg in Abhängigkeit zur Unbekannten X_5 (Koordinatenänderung von Wisenberg in y -Richtung) gesetzt wurden. Damit konnten nun die beiden Fehlergleichungssysteme zu einem einzigen zusammengefügt werden.

6.3 Resultat der Gesamtausgleichung

Auch diese Ausgleichung erforderte die Durchrechnung verschiedener Varianten, was aber dank dem Einsatz einer elektronischen Rechenmaschine nicht ins Gewicht fiel. Zur Kontrolle des Ansatzes wurden nach der

Ausgleichung die Gewichtseinheitsfehler für Strecken ($m_e)_D$ und Richtungen ($m_e)_R$ getrennt berechnet. Dabei zeigte es sich, daß für $p_R = 25$ ($m_e)_R$ gegenüber der Annahme zu groß wurde, ebenso für $p_R = 16$. Erst $p_R = 9$ führte auf das endgültige Ausgleichungsresultat, in dem die mittleren Fehler von Strecken und Richtungen den Ansätzen entsprachen.

Der mittlere Fehler einer (zehnmal gemessenen) Strecke wurde mit $m_D = \pm 1,3 \text{ mm/km}$ nur wenig größer als aus der Streckenausgleichung allein. Daraus darf wohl geschlossen werden, daß das Resultat der Streckenausgleichung einwandfrei gesichert ist. Außerdem lag der mittlere

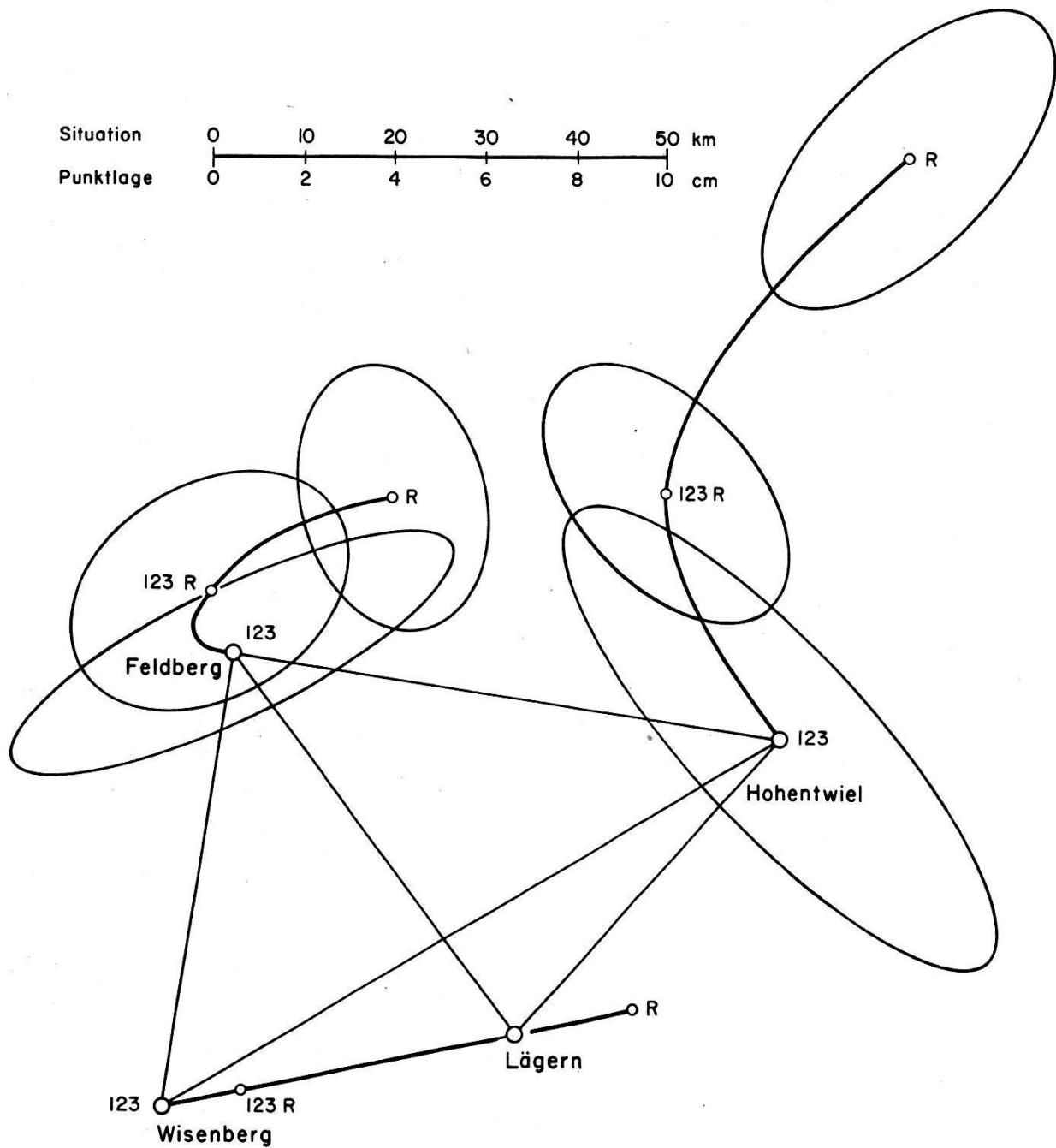


Abb. 3: Punktlage aus Strecken- und Richtungsmessungen

Fehler einer beobachteten Richtung mit $m_R = \pm 0,44^{\circ}$ im Rahmen der tatsächlichen Beobachtungsfehler [4]. Dies ist um so beachtlicher, als nicht nur die zwei Dreiecksbedingungen, sondern auch die vielen und starken Streckenbedingungen berücksichtigt sind. Daneben gab die reine Richtungsausgleichung ein offensichtlich zu günstiges Bild.

Das Resultat der Gesamtausgleichung wurde graphisch festgehalten, indem in Abbildung 3 die Koordinatenänderungen der Punkte Wisenberg, Feldberg und Hohentwiel mit den entsprechenden mittleren Fehlerellipsen aufgetragen wurden (123 R). Zum Vergleich sind die Punkte (123) der endgültigen Streckenausgleichung mit ihren mittleren Fehlerellipsen (Abb. 2) dargestellt, ebenso das koordinatenmäßige Resultat der Richtungsausgleichung (R). Dabei zeigt sich, daß die Punkte der drei Ausgleichungen innerhalb weniger Zentimeter beisammen liegen. Dies ist besonders für den Feldberg der Fall, während die Richtungsmessungen die Strecke Lägern–Wisenberg eher etwas zu kurz, die Strecke Lägern–Hohentwiel hingegen etwas zu lang gaben. (Dabei ist natürlich alles relativ!) Die Punkte sind durch Kurven miteinander verbunden; sie zeigen den Weg, den die Punkte bei zunehmender Berücksichtigung des einen oder andern Meßelements beschreiben, und da in diesem Beispiel eine leichte Diskrepanz zwischen den Resultaten der Strecken- und Richtungsmessungen vorliegt, sind sie nicht uninteressant.

Die folgende Zusammenstellung enthält die mittleren Fehler, die aus den mit verschiedenen Gewichtsannahmen durchgeführten Ausgleichungen hervorgingen:

p_D	p_R	m_e	$(m_e)_D$	$(m_e)_R$	m_D	m_R	Bemerkungen
					mm/km	$^{\circ}$	
*	–	$\pm 1,19$	–	–	$\pm 1,19$	–	Streckenausgleichung
*	1	$\pm 1,09$	$\pm 1,22$	$\pm 0,59$	$\pm 1,22$	$\pm 0,59$	
*	4	$\pm 1,20$	$\pm 1,25$	$\pm 1,01$	$\pm 1,25$	$\pm 0,50$	
*	9	$\pm 1,31$	$\pm 1,31$	$\pm 1,31$	$\pm 1,31$	$\pm 0,44$	
*	16	$\pm 1,42$	$\pm 1,38$	$\pm 1,53$	$\pm 1,38$	$\pm 0,38$	
*	25	$\pm 1,53$	$\pm 1,46$	$\pm 1,68$	$\pm 1,46$	$\pm 0,33$	
–	1	$\pm 0,24$	–	–	–	$\pm 0,24$	Richtungsausgleichung
*	900	$\pm 2,76$	$\pm 2,26$	$\pm 3,82$	$\pm 2,30$	$\pm 0,13$	

* p nach Definition unter 5.2

Daraus geht hervor, daß die mittleren Fehler m_D und m_R für die Gewichtsannahmen $p_R = 1$ bis $p_R = 25$ nur wenig variieren. Sie geben die Größenordnung an, mit der offenbar auf Grund dieser Untersuchung gerechnet werden kann. Daneben ist noch der Fall $p_R = 900$ interessant, da er der zwangsweisen Ausgleichung der gemessenen Strecken in das ausgeglichene Richtungsnetz sehr nahekommt. Durch dieses den tatsächlichen Beobachtungsverhältnissen widersprechende Vorgehen wird m_D fast doppelt so groß als ohne Berücksichtigung der Richtungen.

7. Schlußbemerkungen

Mit den Wiederholungsmessungen von 1966 lagen im Verbindungsnetz Feldberg so viele Streckenmessungen vor, daß konkrete Aussagen über das Verhalten von Streckenmessungen erwartet werden konnten. Vor allem konnten die Messungen bei recht unterschiedlichen meteorologischen Verhältnissen durchgeführt werden, wie das wohl kaum in einem andern Netz der Fall war. Aus der Untersuchung des Beobachtungsmaterials ließen sich einige Feststellungen ableiten, die abschließend kurz zusammengefaßt werden:

1. Die Streuungen der Messungen während eines Tages waren im August 1965 doppelt so groß als im Frühjahr und Herbst 1966. (Dementsprechend wurde das Gewicht der Sommermessungen auf $\frac{1}{4}$ reduziert.)
2. Die Messungen vom August 1965 waren durchschnittlich $5,4 \pm 0,9$ mm/km kürzer als diejenigen vom Frühjahr und Herbst.
3. Derartige Unterschiede zwischen Messungen verschiedener Jahreszeiten wurden bisher kaum systematisch nachgewiesen. Festgestellt wurden sie aber zum Beispiel im sogenannten Testnetz Pforzheim, wo nach [5] die Messungen vom Juli 1963 durchschnittlich $4,0 \pm 0,4$ mm/km kürzer waren als diejenigen vom November 1963. Die Ähnlichkeit mit den Verhältnissen im Verbindungsnetz Feldberg ist auffallend, wogegen die Erklärung in [6], S. 880 (daß der Maßstabunterschied auf die fehlerhafte Eichung eines der Instrumente zurückzuführen sei), nicht recht befriedigen kann.
4. Daß die festgestellten Unterschiede offenbar auf unterschiedliche Einflüsse der Meteorologie zurückzuführen sind, zeigt sich an den Messungen vom 12. und 13. Oktober 1966. Am 13. Oktober mit teilweise sonnigem Wetter waren die Strecken durchschnittlich $2,5 \pm 0,5$ mm/km kürzer als am Vortag, an dem nebliges und regnerisches Wetter herrschte.
5. Eine Ausnahme machte die Messung vom Frühjahr 1966 auf der Strecke Feldberg–Wisenberg (53,2 km), die im Vergleich zu den andern Messungen etwa 32 cm zu kurz war. Eine Erklärung für diesen offensichtlichen Fehler, der in der Abbildung 2 drastisch zum Ausdruck kommt, konnte nicht gefunden werden.
6. Ein absoluter Maßstab für die Streckenmessungen ließ sich aus den vorliegenden Messungen selbstverständlich nicht festlegen. Es bleibt also noch offen, ob die August- oder die Oktober-Messungen oder das Mittel aus allen den tatsächlichen Werten näher kommen.
7. Insbesondere ist auch keine Maßstabsbestimmung aus dem Triangulationsnetz 1. Ordnung möglich. Die ausgeglichene Länge der Seite Lägern–Wisenberg (40,1 km) ist nämlich ca. 44 cm länger, diejenige der Seite Lägern–Hohentwiel (44,5 km) ca. 34 cm kürzer als die Triangulationsseite. Ein Unterschied im Maßstabsverhältnis der beiden Seiten ergab sich auch aus dem Richtungsnetz, allerdings in etwas kleinerem Ausmaß (Lä-

gern–Wisenberg ca. + 34 cm, Lägern–Hohentwiel ca. – 23 cm). Der geringe Unterschied zwischen Strecken- und Richtungsnetz wurde jedoch nicht weiter diskutiert.

8. Offenbar handelt es sich bei den festgestellten Unterschieden um Unregelmäßigkeiten im Triangulationsnetz 1. Ordnung, wobei festzuhalten ist, daß die Koordinaten der Punkte Wisenberg, Lägern und Hohentwiel aus der Bestimmung der SGK vom letzten Jahrhundert stammen. Ähnliche Unterschiede wurden übrigens auch bei einer Teilausgleichung des Triangulationsnetzes 1. Ordnung von 1911–1916 gefunden, dessen Koordinaten auf Grund der Basislänge von Heerbrugg gerechnet wurden [7]. Aus der Figur 2 in [7] können folgende Längenänderungen gegenüber dem Netz der SGK herausgelesen werden: Lägern–Wisenberg + 21 cm, Lägern–Hohentwiel – 34 cm.

9. Eindeutig wurde die Änderung der Punktlage für den Feldberg, sowohl aus dem Streckennetz wie auch aus dem Richtungsnetz. Bei der gewählten Lagerung des Anschlußnetzes im Punkt Lägern wurde der Unterschied gegenüber der Bestimmung der SGK rund 50 cm. Damit ist wohl die Zweckmäßigkeit dieser Nachmessung erwiesen.

10. Die Untersuchung ist noch nicht abgeschlossen, indem nun vor allem versucht werden soll, die Ursache für das festgestellte Verhalten der Streckenmessungen zu erforschen.

Literatur

- [1] Bericht an die Schweizerische Geodätische Kommission über die Distomat-Messungen vom August 1965 im Verbindungsnetz Feldberg, erstattet von W. Fischer im April 1966 (vervielfältigt).
- [2] *W. Fischer*: Elektronische Distanzmessungen, Protokoll der 112. Sitzung der Schweizerischen Geodätischen Kommission vom 4. Juni 1966, Neuchâtel 1967, S. 12.
- [3] *W. Fischer*: Distomat-Messungen im schweizerischen Triangulationsnetz 1. Ordnung. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie und Kultertechnik, LXIV. Jg. (1966), S. 1.
- [4] *M. Bonanomi*: Die Winkelmessungen im Verbindungsnetz Feldberg. Protokoll der 112. Sitzung der Schweizerischen Geodätischen Kommission vom 4. Juni 1966, Neuchâtel 1967, S. 8.
- [5] *A. Strobel*: Versuchsmessungen mit dem Wild-Distomat im trigonometrischen Netz II. Ordnung. Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 71. Jg. (1964), S. 258.
- [6] *Jordan/Eggert/Kneissl*: Handbuch der Vermessungskunde. Zehnte Ausgabe. Bd. VI, Stuttgart 1966.
- [7] *W. Keller*: Untersuchungen eines Teils des schweizerischen Triangulationsnetzes erster Ordnung. Protokoll der 110. Sitzung der Schweizerischen Geodätischen Kommission vom 25. April 1964, Neuchâtel 1965, S. 26.