

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München

1912. Heft II

Mai- bis Julisitzung

München 1912

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Neuberechnung des Anschlusses der südbayerischen Dreieckskette an die österreichische Triangulierung bei Salzburg und scheinbare Verschiebung der Hauptdreieckspunkte Watzmann und Rettenstein.

Von **M. Schmidt.**

Mit 3 Tafeln.

Vorgetragen in der Sitzung am 4. Mai 1912.

In dem der 15. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung in Budapest im Jahre 1906 vorgelegten Bericht über die Gradmessungsarbeiten des K. u. K. Militärgeographischen Instituts in Österreich-Ungarn (S. 180 des I. Teiles der Verhandlungen dieser Konferenz, Berlin 1908) wird erwähnt, daß die aus einer provisorischen Ausgleichung der in den Jahren 1903 und 1904 von österreichischer und bayerischer Seite an der Grenze von Salzburg, Oberösterreich und Nordtirol mit Oberbayern ausgeführten Dreiecksmessungen I. Ordnung berechneten Anschlußseiten Hochgern-Asten und Hochgern-Rettenstein eine gute Übereinstimmung zeigen, was auch in den Sitzungsberichten der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayer. Akademie der Wissenschaften, Bd. XXXVI, 1906, Heft I in der Abhandlung „Die Südbayerische Dreieckskette“ S. 143 rechnerisch näher nachgewiesen ist.

In dem Bericht über die in den Jahren 1906 bis 1908 ausgeführten Gradmessungsarbeiten desselben K. u. K. Instituts (S. 266 des I. Teiles der Verhandlungen der im Jahre 1909 in London abgehaltenen 16. Allgemeinen Konferenz der Internationalen Erdmessung, Berlin 1910) wird jedoch bemerkt, daß die Triangulierungen I. Ordnung in Salzburg, Kärnten und einem Teile von Tirol infolge dessen, daß auf vielen Beobachtungsstationen zu sehr verschiedenen und oft zeitlich weit auseinander liegenden Epochen beobachtet wurde, nicht durchaus befriedigende Resultate ergaben, und daß deshalb in den

genannten Landesteilen 1906 und 1908 Neutriangulierungen notwendig waren, deren Ergebnisse der definitiven Ausgleichung der vorerwähnten Dreiecksmessungen zu Grunde gelegt wurden, die nun auch kleine Änderungen der bayerischen Anschlußseiten zur Folge hatten, da die auf den Dreieckspunkten Watzmann und Rettenstein im Jahre 1906 ausgeführten neuen Winkelmessungen gegen die Messungen vom Jahre 1903 merkliche Abweichungen ergaben. Auf den bayerischen Dreieckspunkten Wendelstein, Hochgern und Asten wurden im Jahre 1906 neue Winkelmessungen nicht vorgenommen, da hiefür keinerlei Anlaß bestand. Die auf Grund der Ergänzungsmessungen vom Jahre 1906 durch das K. u. K. Militärgeographische Institut durchgeführte definitive Netzausgleichung hat nun im allgemeinen besser befriedigende Ergebnisse geliefert. In den Anschlußdifferenzen mit den bayerischen Dreiecksseiten ist jedoch eine Vergrößerung eingetreten, die teilweise als eine Folge der in neuer Anordnung und mit anderen Anschlußbedingungen erfolgten Ausgleichung betrachtet werden kann, aber auch durch die nicht ganz geringfügigen Abweichungen der neuen Winkelmessungen veranlaßt erscheint.

In Tabelle I sind die den österreichischen Anschlußdreiecken nach der definitiven Netzausgleichung zukommenden Werte der Dreieckswinkel und Seitenlogarithmen angegeben, welche einer handschriftlichen Mitteilung des K. u. K. Militärgeographischen Instituts entnommen und in der gleichen Form, wie die entsprechenden Werte der provisorischen Ausgleichung Bd. XXXVI, 1906, Heft I, S. 148 der Sitzungsberichte zusammengestellt wurden.

Die im Punkt Watzmann zusammenstossenden Dreiecke sind durch Hinzufügung der Dreieckspunkte Reißrachkopf und Großwand zu einem geschlossenen Kranzsystem ergänzt, welches die nach allen Seiten gesicherte Lage des Punktes Watzmann erkennen läßt; für die neu hinzugekommenen Dreiecke Nr. 16, 17, 18 der Netzskizze (S. 194) mußte jedoch in Tabelle I die ziffernmäßige Angabe der Bestimmungsstücke unterbleiben, da deren Zahlenwerte nicht zur Verfügung standen.

Tabelle I.

Zusammenstellung der definitiv ausgeglichenen Winkel und Seiten
der österreichischen Anschlussdreiecke.

Drei- eck Nr.	Station	Dreieckswinkel		Seitenlogarithm. a. d. öster. Seite Asten-Schafberg berechnet
		ausgeglichen	reduziert	
10	Hochgern	103° 00' 10"89	9"61	4.791 5474.0
	Asten	36 00 45.56	44.28	4.572 1751.3
	Watzmann	40 59 7.39	6.11	4.619 6404.7
	$E = 3"84$	180 00 3.84	0.00	
11	Asten	42° 11' 41"82	39"58	4.656 3523.9
	Schafberg	66 28 55.08	52.84	4.791 5474.0
	Watzmann	71 19 29.83	27.59	4.805 7199.5
	$E = 6"73$	180 00 6.73	0.01	
12	Hochgern	65° 27' 3"30	1"10	4.805 7199.5
	Asten	78 12 27.38	25.18	4.837 6038.3
	Schafberg	36 20 35.92	33.72	4.619 6404.7
	$E = 6"61$	180 00 6.60	0.00	
13	Hochgern	37° 33' 7"59	6"27	4.656 3523.9
	Schafberg	30 08 19.16	17.84	4.572 1751.3
	Watzmann	112 18 37.22	35.90	4.837 6038.3
	$E = 3"97$	180 00 3.97	0.01	
14	Rettenstein	42° 18' 25"22	23"72	4.572 1751.3
	Watzmann	62 48 27.93	26.43	4.693 2308.0
	Hochgern	74 53 11.36	9.86	4.728 8085.0
	$E = 4"51$	180 00 4.51	0.01	
15	Wendelstein	70° 35' 0"05	58"64	4.693 2308.0
	Hochgern	62 29 46.57	45.16	4.666 5747.7
	Rettenstein	46 55 17.61	16.20	4.582 2315.7
	$E = 4"23$	180 00 4.23	0.00	

Entnimmt man dieser Zusammenstellung die den Dreiecken 10 und 15 angehörenden Seitenlogarithmen Hg. Ast. und We. Hg. und vergleicht dieselben mit den entsprechenden, zuvor auf internationales Maß zurückgeführten Werten der südbayerischen Dreiecks-kette von S. 22 der Sitzungsberichte vom Jahre 1910, so erhält man

$\lg. \text{We Hg} = 4,582\ 2236.0$ (bayer.)	$\lg. \text{Hg Ast} = 4,619\ 6346.1$ (bayer.)
$\lg. \text{We Hg} = 4,582\ 2315.7$ (österr.)	$\lg. \text{Hg Ast} = 4,619\ 6404.7$ (österr.)
$\Delta_1 = \lg. b - \lg. b_0 = -79,7 \cdot 10^{-7}$	$\Delta_2 = \lg. b - \lg. b_0 = -58,6 \cdot 10^{-7}$

und im Mittel $\Delta_m = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} = -69,1 \cdot 10^{-7}$ oder $15,9 \pm 2,4$ mm

pro km = 1 : 62900, während sich bei der vorläufigen Ausgleichung der zehnmal geringere Anschlußwiderspruch von $+6,65 \cdot 10^{-7}$ oder 1,5 mm pro km = 1 : 650 000 ergab.

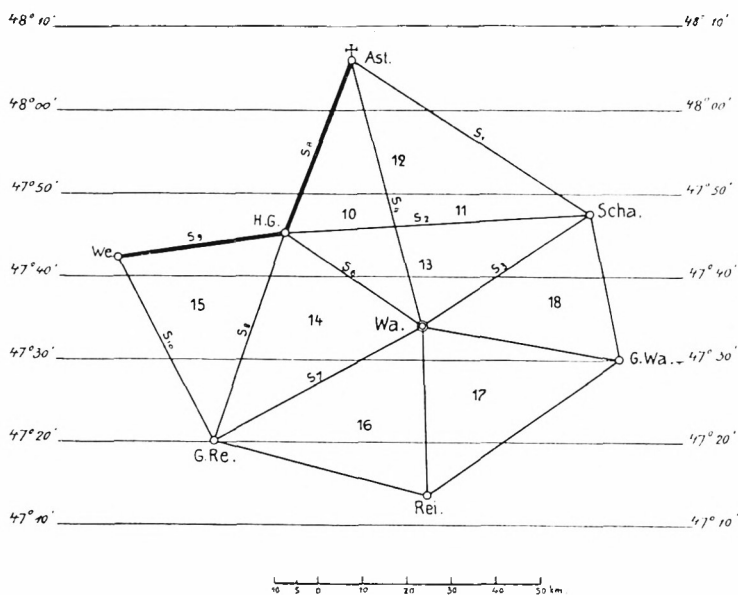


Fig. 1.

Die Seitenlängen der österreichischen Anschlußdreiecke sind ausschließlich aus der Grundlinie bei Josefstadt abgeleitet. Bei

der großen Zahl der Dreiecke, welche die Verbindung mit der genannten Grundlinie vermitteln, ist zu erwarten, daß durch die unvermeidlichen Fehler der Winkelmessung ein nicht unbeträchtlicher Längenübertragungsfehler entsteht, dessen Größe aus der Form der Verbindungsdreiecke und dem mittleren Triangulierungsfehler schätzungsweise bestimmt werden kann. Die durch das K. u. K. Militärgeographische Institut veröffentlichten Netzübersichtskarten und die von Tinter für die österreichische Gradmessungstriangulierung durchgeführte Genauigkeitsberechnung enthalten die für die erwähnte Fehlerberechnung erforderlichen Unterlagen und führen auf einen wahrscheinlichen Wert des Übertragungsfehlers vom ± 86 Einheiten der 7 Lg.-Stelle. Somit findet der oben angegebene Anschlußwiderspruch in den Seitenlogarithmen durch die unvermeidlichen Triangulierungsfehler eine ausreichende Erklärung.

Eine weitere Bestätigung hiefür ergeben die Werte der in den Mitteilungen des K. u. K. Militärgeographischen Instituts Bd. XX, S. 75 aufgeführten, und in Tabelle II wiedergegebenen Anschlußwidersprüche zwischen den aus der Josefstädter Grundlinie berechneten und den durch die direkte Messung erhaltenen Grundlinienlängen.

Tabelle II.

Nr.	Lage der Basis bei	Länge m	Widerspruch		Relativer Fehler
			in m	in mm pro km	
1	Budapest	4248	0.068	16.0	1 : 62 470
2	Sarajevo	4061	0.050	12.4	1 : 81 220
3	Scutari	3061	0.101	33.2	1 : 30 310
4	Eger	4188	0.037	8.8	1 : 113 200
5	Kleinmünchen	3163	0.002	0.8	1 : 1 581 000
6	Versecz	4023	0.111	27.6	1 : 36 240
7	Wiener Neustadt	9484	0.101	10.7	1 : 93 900
8	Dubica	2949	0.086	29.1	1 : 34 290
9	Kranichfeld	5697	0.040	7.0	1 : 142 400
10	Sinj	2475	0.016	6.5	1 : 154 700

Berechnet man die den Widersprüchen entsprechenden Kilometerfehler und faßt diese zu einem Durchschnittswerte zusammen, so erhält man, je nachdem der sehr kleine Widerspruchswert der Basis bei Kleinmünchen außer Betracht bleibt oder nicht, die Werte $16,8 \text{ mm/km} = 1 : 59500$ und $15,2 \text{ mm/km} = 1 : 65800$, während der Widerspruch mit den bayerischen Dreiecksseiten $15,9 \text{ mm/km} = 1 : 62900$ beträgt, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß diese Dreiecksseiten durch den ihnen anhaftenden Längenübertragungsfehler ebenfalls ungünstig beeinflußt sind, weshalb für sie ein noch etwas größerer Anschlußwiderspruch erklärlich wäre.

Verschiebung der Hauptdreiecksnetzpunkte Watzmann und Rettenstein.

Vergleicht man die aus der vorläufigen und definitiven Ausgleichung hervorgegangenen Logarithmen der Seitenlängen der den Anschluß der südbayerischen Dreieckskette an die Triangulierung von Salzburg und Tirol vermittelnden Dreiecke, die aus den im Jahre 1903 ausgeführten und 1906 ergänzten Winkelmessungen berechnet und in Tabelle III nach den hand-

Tabelle III.

Seiten	Lg s (1906)	Lg s' (1903)	Lg s - Lg s'	Lg s'' = Lg s' + A_m	Lg s - Lg s''	Δs
			$E 10^{-7}$		$E 10^{-7}$	cm
s_1	4.805 7199.5	4.805 7123.4	+ 76.1	4.805 7206.4	- 6.9	- 10.1
s_2	4.837 6038.3	4.837 5966.9	+ 71.4	4.837 6049.9	- 11.6	- 18.4
s_3	4.656 3523.9	4.656 3491.3	+ 32.6	4.656 3574.3	- 50.4	- 52.5
s_4	4.791 5474.0	4.791 5403.0	+ 71.0	4.791 5486.0	- 12.0	- 17.1
s_5	4.619 6404.7	4.619 6344.7	+ 60.0	4.619 6427.7	- 23.0	- 22.1
s_6	4.572 1751.3	4.572 1644.3	+ 107.0	4.572 1727.3	+ 24.0	+ 20.7
s_7	4.728 8085.0	4.728 7963.9	+ 121.1	4.728 8046.9	+ 38.1	+ 47.0
s_8	4.693 2308.0	4.693 2205.6	+ 102.4	4.693 2288.6	+ 19.4	+ 22.0
s_9	4.582 2315.7	4.582 2224.2	+ 91.5	4.582 2307.2	+ 8.5	+ 7.5
s_{10}	4.666 5747.7	4.666 5650.9	+ 96.8	4.666 5733.9	+ 13.8	+ 14.7
			$A_m = + 83.0$			

schriftlichen Mitteilungen des K. u. K. Militärgeographischen Instituts zusammengestellt sind, so bemerkt man zwischen denselben nicht unbeträchtliche Unterschiede, welche einen systematischen Charakter zeigen und deshalb einer näheren Betrachtung unterzogen werden sollen.

Da die in Spalte 4 angeführten Unterschiede der Seitenlogarithmen durchaus gleiche Vorzeichen tragen, ist zunächst ihre mittlere Differenz Δ_m gebildet und diese zu den Seitenlogarithmen $\text{Lg } s'$ in Spalte 3 hinzugefügt worden. Dadurch werden zwar die neugebildeten Unterschiede $\text{Lg } s - \text{Lg } s''$ von dem einseitigen Fehler Δ_m befreit und geben nunmehr, wie scheinbare Fehler, die algebraische Summe Null, es bilden sich aber wieder zwei, in den Vorzeichen verschiedene Wertgruppen, in welchen die vom Dreieckspunkt Watzmann auslaufenden beiden Seiten s_3 und s_7 durch besonders große positive und negative Unterschiede hervortreten, während die mit diesen beiden Seiten zunächst verbundenen übrigen Seiten mit ihnen im Vorzeichen übereinstimmende Differenzen zeigen.

Die in Spalte 7 eingetragenen, den Unterschieden der Seitenlogarithmen entsprechenden linearen Differenzen Δ_s lassen ferner erkennen, daß die im Jahre 1906 ausgeführten Ergänzungsmessungen die Seitenlänge s_3 gegenüber dem früheren Werte um 52,5 cm kleiner, die Seitenlänge s_7 dagegen um 47,0 cm größer ergeben, so daß es scheinen könnte, der Dreieckspunkt Watzmann habe sich zwischen den Beobachtungen der Jahre 1903 und 1906 in der Richtung gegen den Punkt Schafberg um etwa 50 cm verschoben.

Eine solche Verschiebung kann auch rechnerisch aus den Unterschieden der auf der Station Watzmann in den beiden genannten Jahren ausgeführten Winkelmessungen nachgewiesen werden. Diese Messungen haben die in Tabelle IV eingetragenen wahrscheinlichen Richtungen und Richtungsunterschiede ergeben, welche in der üblichen Weise von dem Fehler der Nullrichtung befreit und in der Tabelle als reduzierte Richtungsunterschiede eingetragen sind.

Tabelle IV.
Stationstafel Watzmann.

Nr.	Zielpunkt	Wahrscheinliche Richtung		Unterschiede 1906–1903		Ge- nähte Direk- tions- winkel
		beob. 1906	beob. 1903	beob.	reduz.	
1	Reißebrachkopf	0° 0' 0"00	0° 0' 0"00	0"00	+2"05	266°55'
2	Rettenstein	64 26 20.87	64 26 24.74	– 3.87	– 1.82	331 21
3	Hochgern	127 14 48.90	127 14 51.26	– 2.36	– 0.31	34 10
4	Asten	168 13 55.99	168 13 57.98	– 1.99	+ 0.06	75 9
5	Schafberg	239 33 25.67	239 33 27.15	– 1.48	+ 0.57	146 28
6	Großwand	279 47 6.00	279 47 8.59	– 2.59	– 0.54	186 42
Mittel				– 2.05	+ 2.68	
					– 2.67	

Aus den angegebenen reduzierten Richtungsänderungen kann man nun nach dem Verfahren der Koordinatenausgleichung für Rückwärtseinschneiden die wahrscheinlichsten Werte der Koordinatenänderungen des Stationspunktes Watzmann ableiten und findet für das in der bayerischen Landesvermessung angewendete Koordinatensystem, wenn die Richtung Rettenstein, welche für die hier zu bestimmende Lageänderung des Punktes Watzmann nur geringes Gewicht besitzt, außer Betracht bleibt, die beiden Normalgleichungen

$$+ 0,55 \, dy - 0,13 \, dx + 1,14 = 0$$

$$- 0,13 \, dy + 0,55 \, dx - 0,05 = 0$$

und aus diesen die Koordinatenänderungen dy und dx nebst ihren mittleren Fehlern

$$dx = - 0,425 \pm 1,32 \, dm$$

$$dy = - 2,170 \pm 1,32 \, dm$$

und den mittleren Richtungsfehler $m = \pm 0,95$.

Der Direktionswinkel der Verschiebungsrichtung ergibt sich zu $189^\circ 10'$ und der Betrag der Verschiebung wird $2,21 \, dm$; die $0,50 \, m$ betragende Änderung der Seitenlängen s_3 und s_7 ist somit nur zur Hälfte durch die berechnete Koordinaten-

änderung der Station Watzmann gedeckt und es entsteht die Frage, ob sich nicht auch für die beiden Punkte Rettenstein und Schafberg ähnliche Verschiebungen nachweisen lassen. Dieser Nachweis kann indessen nur für Rettenstein erbracht werden, da in Schafberg zwar im Jahre 1903, nicht aber auch 1906 Winkelmessungen vorgenommen worden sind. Die in Rettenstein beobachteten Richtungsunterschiede sind aus folgender Tabelle V zu entnehmen.

Tabelle V.
Stationstafel Rettenstein.

Nr.	Zielpunkt	Wahrscheinliche Richtung		Unterschiede 1906—1903		Ge- näherter Direk- tions- winkel
		beob. 1906	beob. 1903	beob.	reduz.	
1	Reihrachkopf	0° 0' 0"00	0° 0' 0"00	0"00	+ 0"32	193° 35'
2	Großglockner	29 23 15.04	29 23 17.00	— 1.96	— 1.64	222 58
3	Hinterthalkogel	98 5 1.08	98 5 3.53	— 2.45	— 2.13	291 40
4	Rofan	186 6 31.63	186 6 31.86	— 0.23	+ 0.09	19 42
5	Wendelstein	228 32 7.54	228 32 6.35	+ 1.19	+ 1.51	62 7
6	Hochgern	275 27 24.25	275 27 23.80	+ 0.45	+ 0.77	109 2
7	Watzmann	317 45 50.92	317 45 50.19	+ 0.73	+ 1.05	151 21
Mittel				— 0.32	+ 3.74	
					— 3.77	

Die mit diesen Richtungsunterschieden in gleicher Weise wie für den Punkt Watzmann und ohne Berücksichtigung der Richtung Watzmann durchgeführte Berechnung der Koordinatenänderungen für Rettenstein führt zu den Normalgleichungen

$$+ 1,58 \, dy + 0,19 \, dx - 3,66 = 0$$

$$+ 0,19 \, dy + 0,75 \, dx - 0,16 = 0$$

und ergibt als Werte der Koordinatenänderungen

$$dx = - 0,38 \pm 0,84 \, dm$$

$$dy = + 2,36 \pm 0,58 \, dm$$

und den mittleren Richtungsfehler $m = \pm 0,72$.

Der Direktionswinkel der Verschiebungsrichtung wird $350^{\circ} 50'$ und die Größe der Verschiebung in dieser Richtung $2,39 \text{ dm}$. Dieselbe ist somit annähernd entgegengesetzt gerichtet, wie jene des Punktes Watzmann. Durch beide Verschiebungen entsteht eine Vergrößerung der Seite s_7 im Gesamtbetrag von $1,75 + 2,25 = 4,00 \text{ dm}$, was der aus der Netzausgleichung hervorgegangenen Vergrößerung dieser Seite von 47 cm ungefähr gleichkommt.

Für die oben erwähnte Verkürzung der Seite Watzmann-Schafberg kann, da die erforderlichen Unterlagen für die Berechnung fehlen, eine ähnliche Kontrolle wie für die Dreiecksseite s_7 durch Ermittlung der Verschiebung ihres zweiten Endpunktes Schafberg nicht erbracht werden.

Ursachen der Verschiebung.

Beobachtete Lageänderungen trigonometrischer Punkte, die sich aus nach längerer Zwischenzeit wiederholten Winkelmessungen ergeben, lassen sich, wenn vermeidliche Beobachtungsfehler ausgeschlossen sind, auf tektonische oder meteorologisch-optische Vorgänge und Einflüsse zurückführen.

Die etwaige Annahme, daß im vorliegenden Falle Zentrierungsfehler an den beobachteten Richtungsunterschieden die Schuld tragen könnten, ist völlig von der Hand zu weisen, da Steinpfeiler zur Aufstellung des Theodolits dienten, deren zentrische Lage über dem unterirdisch festgelegten Dreieckspunkt durch wiederholte Einmessung von zahlreichen Nebenversicherungspunkten mehrfach geprüft worden ist. Besonders sorgfältig sind diese Anmessungen bei dem auf dem Watzmann Gipfel Hocheck gelegenen Hauptdreieckspunkt ausgeführt, wie aus der in Fig. 2 nach einer Skizze von Anton Waltenberger wiedergegebenen Darstellung des Berggipfels, die sich bei den Akten des K. Katasterbureaus befindet, ersichtlich ist; dieselbe rührt aus dem Jahre 1880 her und ist durch nachträgliches Einzeichnen des im Jahre 1903 errichteten Steinpfeilers und des darüber erbauten Bocksignales ergänzt worden. In dem bei-

gefügteten Lageplan sind die durch Stahlbandmessung bestimmten Abstände der zahlreichen Nebenversicherungspunkte eingetragen. Die eingeklammerten Messungszahlen rühren aus den Jahren

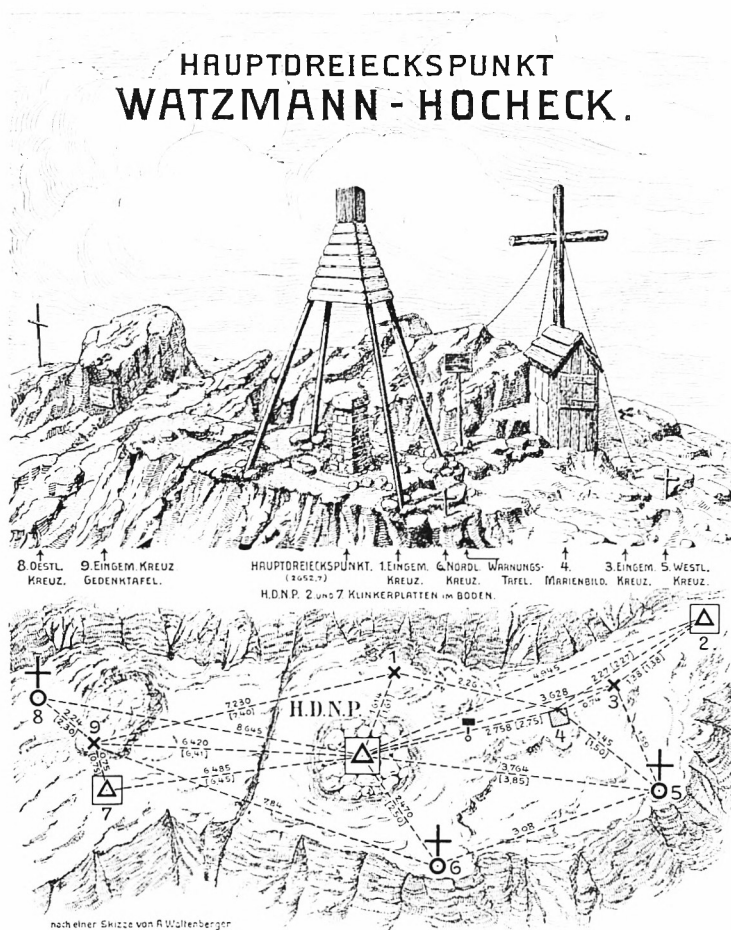


Fig. 2.

1880 und 1894 her, während die Zahlen ohne Klammern die in den Jahren 1907 und 1908, also nach Ausführung der Winkelbeobachtungen, wiederholten Messungen wiedergeben:

dieselben zeigen mit den vor dem Jahre 1903 ermittelten Maßen eine durchaus befriedigende Übereinstimmung, so daß eine merkliche Verschiebung des Hauptdreieckspunktes gegen die auf dem Gipfelplateau des Berges gelegenen Nebenversicherungspunkte nicht eingetreten sein kann. Eine Lageänderung des Hauptdreieckspunktes wäre sonach nur durch eine Bewegung des ganzen Berggipfels denkbar. Eine solche ist aber nicht sehr wahrscheinlich, wenn schon ihre Möglichkeit bei der orographischen Beschaffenheit des Berges nicht ganz ausgeschlossen sein dürfte, zumal mit dem Aufreissen neuer Spalten verbundene Bewegungen im Gipfelgestein in der in Betracht kommenden Zwischenzeit eingetreten sind, wie durch den die Versicherung des Hauptdreieckspunktes auf dem Watzmanngipfel im Herbst des Jahres 1907 kontrollierenden Katasterbeamten bekundet wurde. Derselbe machte hierüber in seinem Bericht vom 10. Oktober 1907 die Angabe, daß der ihn begleitende Bergführer sowohl, als auch der Hüttenwart des Watzmannhauses ihm mitteilten, im Jahre 1905 sei der Beobachtungspfeiler auf dem Hoheck und die darüber errichtete Pyramide durch einen Blitzstrahl zerstört worden, der auch den Felsen neben dem Signal, wie in der Skizze angegeben, spaltete und sogar die Unterstandshütte auf dem Gipfel verschoben habe. Gleichzeitig sei das Gipfelkreuz des jenseits des Wimbachtales gelegenen Hochkalter bei einem fürchterlichen Gewitter vom Blitze getroffen worden und mit einem Teil des Gipfels abgestürzt. Da die Aussicht vollkommen rein war, konnte am Hochkalter die Gipfelspaltung sowie ein riesiges Absturzfeld deutlich wahrgenommen werden. Wegen der sich noch öfter wiederholenden Felsabstürze sei vor der Besteigung gewarnt und die Jagd auf dieser Seite des Berges eingestellt worden.

Es dürfte indessen wohl nicht richtig sein, die vorstehend erwähnten Gipfelspaltungen und Felsabstürze als eine Folge von Blitzschlägen zu betrachten, dieselben sind vielmehr höchst wahrscheinlich durch Erdstöße verursacht worden, die in jener Gegend keine Seltenheit sind.

So berichtet beispielsweise Dr. Jos. Reindl in seinen Er-

gänzungen und Nachträgen zu v. Gümbels Erdbebenkatalog in diesen Sitzungsberichten Bd. XXXV, Jahrg. 1905 über Erdstöße, die am 10. März und 9. Dezember 1904 in der dortigen Gegend auftraten und von so heftigen Erschütterungen begleitet waren, daß sich in mehreren Häusern von Bischofshofen Risse bildeten und die auf den Kästen stehenden Gegenstände herabgeworfen wurden. Auch in Werfen, Berchtesgaden und Marquardstein wurden diese Erdstöße verspürt. Die in den Tafeln I, II und III angefügten photographischen Aufnahmen der drei Watzmann Gipfel lassen deutlich erkennen, daß der ganze Gebirgstock von zahlreichen, klaffenden Spalten durchsetzt ist und insbesondere der den Dreieckspunkt tragende oberste Gipfel des Hohecks vom Rücken des Berges durch eine mächtige, tief eingreifende Kluft abgetrennt ist, welcher zahlreiche lose Gesteins-trümmer vorgelagert sind. Es erscheint daher wohl möglich, daß die obersten, steil einfallenden Gesteinsschichten des Berggipfels durch Erderschütterungen in Bewegung kommen und auf ihren Lagerflächen kleine Verschiebungen erleiden, welche auch eine Lageänderung des Hauptdreieckspunktes zur Folge haben.

Scheinbare Punktverschiebung durch Seitenrefraktion.

Wenn nach den vorstehenden Ausführungen eine wirkliche Verschiebung der Dreieckspunkte Watzmann und Rettenstein nicht nur möglich, sondern in gewissem Grade sogar wahrscheinlich erscheint, so ist ein stichhaltiger Beweis dafür im Bisherigen doch nicht erbracht. Es entsteht daher die Frage nach einer besseren Erklärung der auf beiden Punkten tatsächlich beobachteten Richtungsänderungen. Eine solche kann in der sogenannten Seitenrefraktion gefunden werden.

Das Vorkommen von Seitenrefraktion beim Messen von Horizontalwinkeln ist durch unmittelbare Beobachtungen vielfach nachgewiesen worden, wie unter anderen Prof. A. Fischer in der Publikation des K. Preuß. Geodätischen Instituts „Der Einfluß der Lateralrefraktion auf das Messen von Horizontalwinkeln, Berlin 1882“ näher ausgeführt hat. Aus den daselbst mit-

geteilten Beobachtungen geht hervor, daß die Größe der Seitenrefraktion durch die Geländebeschaffenheit und die meteorologischen Verhältnisse bedingt ist, besonders wenn die Ziellinien nur in geringer Höhe über dem Boden liegen und somit allen Schwankungen ausgesetzt sind, welche sich infolge der Bodenstrahlung in den unteren Luftschichten vollziehen, die nicht wie in der freien Atmosphäre durch konzentrische Niveauflächen begrenzt sind, sondern sich der Geländeform mehr oder weniger anschließen. In den Wärme- und Dichtigkeitsschwankungen dieser Luftschichten ist es nach Fischers Ansicht namentlich begründet, wenn zu verschiedenen Zeiten wiederholt gemessene Winkel Unterschiede zeigen, die außerhalb der Grenzen der reinen Beobachtungsfehler liegen.

Fischer führt hierfür eine ganze Reihe von Belegen aus den Beobachtungen im rheinischen Dreiecksnetz an und weist Richtungsänderungen nach, welche Beträge bis zu 6" erreichen. Auch bei den Winkelmessungen auf dem Stationspunkt „Änger“ der südbayerischen Dreieckskette ist ein ähnlicher Fall von Seitenrefraktion zu verzeichnen.

In der Veröffentlichung der K. Württembergischen Kommission für die Internationale Erdmessung, III. Heft „Triangulierung zur Verbindung des Rheinischen Dreiecksnetzes mit dem bayerischen Hauptdreiecksnetz von E. Hammer, Stuttgart 1892, sind in § 19 die Richtungsbeobachtungen auf der Station Änger und ihre Stationsausgleichung aufgeführt.

Die ungünstigen Witterungsverhältnisse während der Beobachtungen veranlaßten eine große Anzahl Verwerfungen von Messungen, hauptsächlich wegen schlechter Heliotropenlichter. In der Richtung nach Waldburg und Roggenburg wurden von 54 bzw. 52 Doppelbeobachtungen 18 bzw. 16 Nummern verworfen. Die Unterschiede zwischen den größten und kleinsten Richtungswerten betrugen bei Waldburg 7,0, bei Bussen 6,3 und bei Roggenburg 5,5 bei Entfernungen von rund 34, 67 und 62 km. Der mittlere Fehler einer in beiden Fernrohrlagen mit je zwei Mikroskopablesungen beobachteten Richtung ergab

sich dabei zu $\pm 1,3$ und für das Hauptmittel aus 36 Beobachtungen zu $\pm 0,22$.

Der Winkel Waldburg-Roggenburg fand sich bei diesen im Jahr 1886 ausgeführten Messungen zu $86^{\circ} 38' 52,16 \pm 0,22$, während sich für denselben Winkel bei den auf dem gleichen Stationspfeiler im Jahre 1903 durch einen bayerischen Beobachter vorgenommenen Messungen der um $2,57$ kleinere Wert $86^{\circ} 38' 49,59 \pm 0,21$ ergab. Die 62 km lange Ziellinie Änger-Roggenburg verläuft zwischen dem in 1124 m Meereshöhe gelegenen Stationspfeiler Änger nach der 605 m hohen Spitze des Kirchturmes von Roggenburg zum größten Teil längs des die Täler der Günz und der Iller trennenden Höhenzuges. Sie liegt in 700 m Entfernung von Änger in geringer Höhe über dem flachen Rücken des Kreuzlesberges, wobei die Lichtkurve offenbar in den Einflußbereich der Bodenstrahlung fällt und im Jahr 1886 eine seitliche Ablenkung erfahren zu haben scheint, während bei den Messungen vom Jahr 1903 ein solcher Einfluß nicht nachweisbar ist; dafür zeugt der gute Horizontalabschluß der in diesem Jahre auf Änger beobachteten Winkel, welche zusammen mit den von Dr. Oertel im Jahre 1893 auf demselben Pfeiler ausgeführten Winkelmessungen, wie die Stationstafel VI erschen läßt, nur einen Widerspruch von $0,59$ ergeben.

Tabelle VI.
Stationstafel Änger.

Nr.	Zielrichtung	Gemessene Winkel	Mittlere Fehler	Beobachter
1	Waldburg	$86^{\circ} 38' 49,59$	$\pm 0,21$	Wölfel 1903
2	Roggenburg			
3	Kirchheim	$20 \quad 4 \quad 57,83$	$\pm 0,23$	Wölfel 1903
4	Peißenberg	$56 \quad 37 \quad 55,91$	$\pm 0,50$	Oertel 1893
5	Grünten	$64 \quad 49 \quad 14,30$	$\pm 0,54$	Oertel 1893
6	Waldburg	$131 \quad 49 \quad 2,96$	$\pm 0,38$	Oertel 1893
		$360 \quad 00 \quad 0,59$	$\pm 1,06$	

Da der vorerwähnte Winkel durch die 1886 ausgeführten Richtungsbeobachtungen um $2^{\circ}57'$ größer gefunden wurde als durch die Winkelmessungen vom Jahre 1903, so ergibt sich hieraus, wenn die Richtung nach Waldburg als unverändert angenommen wird, für den 62 km entfernten Punkt Roggenburg eine scheinbare Verschiebung in westöstlicher Richtung von 0,77 m.

Für die auch in anderen Fällen vielfach beobachtete seitliche Ablenkung der Lichtkurve, wenn diese auch nicht in unmittelbarer Bodennähe liegt, sondern tiefe Talsenkungen übersetzt oder in der Richtung der Rückenlinien von Bergzügen längs der Talwände verläuft, läßt sich folgende optisch-meteorologische Erklärung geben.

Die Theorie der atmosphärischen Strahlenbrechung nimmt an, daß die die Erdoberfläche umhüllende Luftmasse gegen die Erde hin an Dichtigkeit zunimmt und daß die Flächen gleicher Dichtigkeit und Temperatur Niveauflächen sind, welche parallel zum Meeresniveau verlaufen und die kugelförmig gedachte Erde in konzentrischen Kugelschalen umgeben.

Gewisse meteorologische Erscheinungen und in größeren Höhen über der Bodenfläche vorgenommene Temperaturmessungen, sowie das Auftreten scharf begrenzter Wolkenschichten lassen erkennen, daß sich in der Atmosphäre Schichtungsflächen bilden, welche sich bald mehr oder weniger der natürlichen Erdoberfläche anschmiegen. Diese Erscheinungen treten besonders bei ruhiger Luft an Bergabhängen und über Talsenkungen hervor, wobei sich die erwähnten Schichtungsflächen von den Kammlinien der Bergzüge oder den Talrändern aus gegen das Vorland und den Talboden hin senken. Aber auch bei bewegter Luft und insbesondere bei Föhnlage ist festgestellt worden, daß die über den Gebirgskamm in das Vorland abfließenden erwärmten Luftmassen die Bodenfläche erst in einem Abstand von 50 bis 60 km vom Gebirge erreichen, was sich dadurch bemerkbar macht, daß in dieser Entfernung warme Bodenwinde auftreten, während näher am Gebirge kalte Luftmassen lagern, welche nach oben durch geneigte Schich-

tungsflächen begrenzt sind. Darüber befinden sich wärmere Luftschichten, deren Begrenzungsflächen im allgemeinen dieselbe Neigung aufweisen, wie die Begrenzungsflächen der über dem Boden lagernden kalten Luftmassen.

Durchdringt nun ein unter dem Winkel h gegen die Niveaulfläche geneigter Lichtstrahl in einer parallel zur Kammlinie eines Höhenzuges liegenden Zielrichtung diese Schichtflächen, so steht seine Brechungsebene senkrecht zu dieser Fläche und bildet nach Fig. 3 mit der Normalen zur Niveaulfläche den gleichen Winkel i , welchen die Falllinie der Schichtfläche mit der Niveaulfläche einschließt.

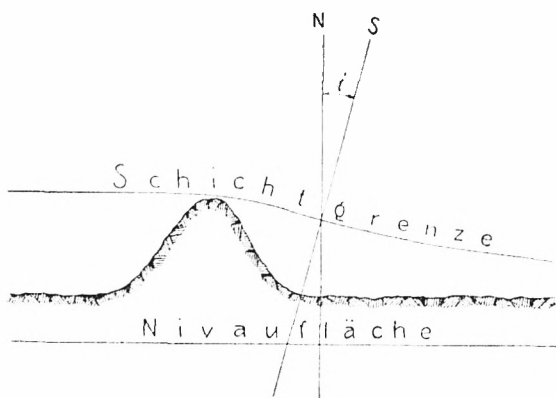


Fig. 3.

Wird nun die Richtung der Horizontalprojektion der geneigten Ziellinie, die nach einem in der Brechungsebene liegenden Zielpunkt läuft, durch Winkelmessung mit dem Theodolit bestimmt, so ergibt sich derselbe Richtungsfehler da , welchen man bei Richtungsbeobachtungen mit einem Theodolit erhält, dessen Kippachse den Neigungsfehler i und dessen Ziellinie die Neigung h besitzt. Dieser Fehler kann bekanntlich durch den Ausdruck bestimmt werden

$$\sin da = \operatorname{tg} i \cdot \operatorname{tg} h$$

oder für kleine Winkel i durch: $da = i \cdot \operatorname{tg} h$.

Bildet die Ziellinie mit der Streichrichtung der Schichtfläche den Winkel φ , so erhält man den entsprechenden Richtungsfehler der Ziellinie

$$da = i \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} h,$$

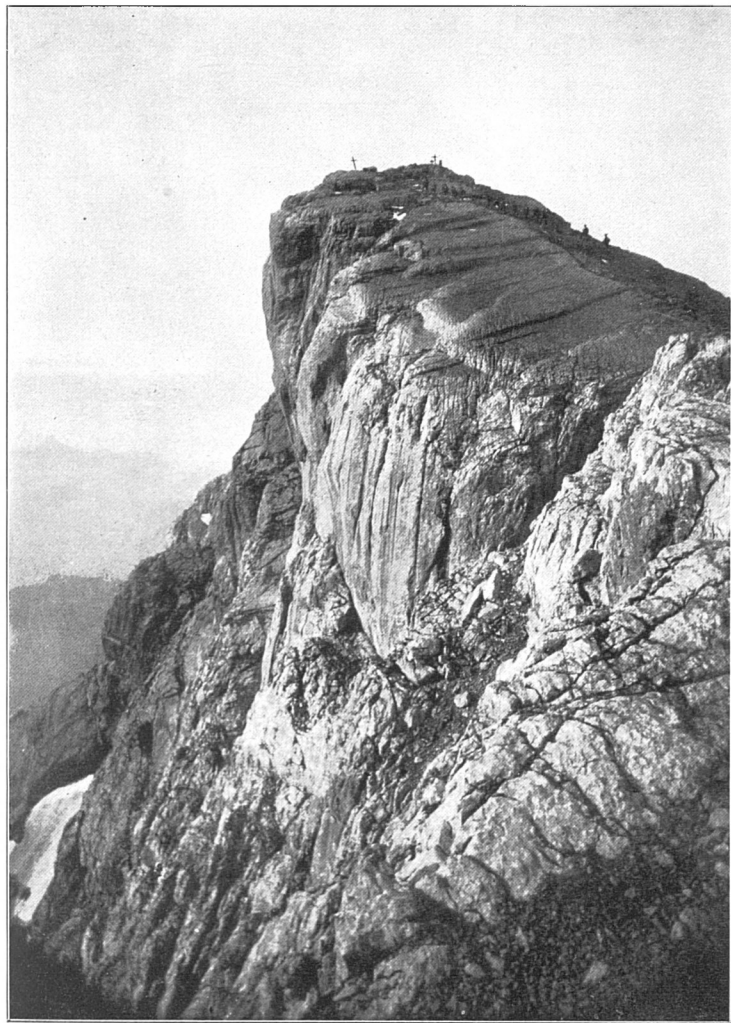
welcher für $\varphi = 90^\circ$, d. h. in der Fallrichtung der Schichtfläche zu Null wird. Der ungünstigste Wert von $da = i \operatorname{tg} h$ findet sich für $\cos \varphi = 1$, wenn, wie in der Figur angenommen ist, die Zielrichtung parallel mit der Kammlinie des Höhenzuges verläuft.

Nimmt man die Neigung der Ziellinie, wie es bei Hauptdreiecksmessungen vorkommt, zu 1° , 2° bzw. 3° und setzt man $da = 1''$ bzw. $5''$, so erhält man aus der Gleichung $da = i \cdot \operatorname{tg} h$ für i die entsprechenden Werte

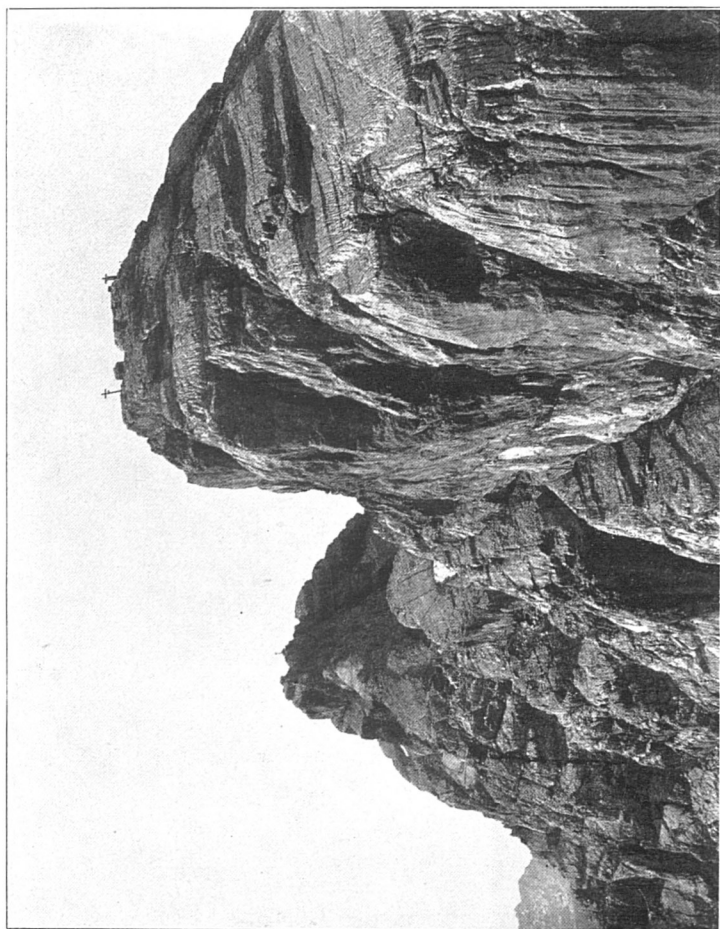
$$\begin{array}{lll} i_1 = 57,3 & 28,6 & 19,1 \\ i_5 = 4,8 & 2,4 & 1,6 \end{array}$$

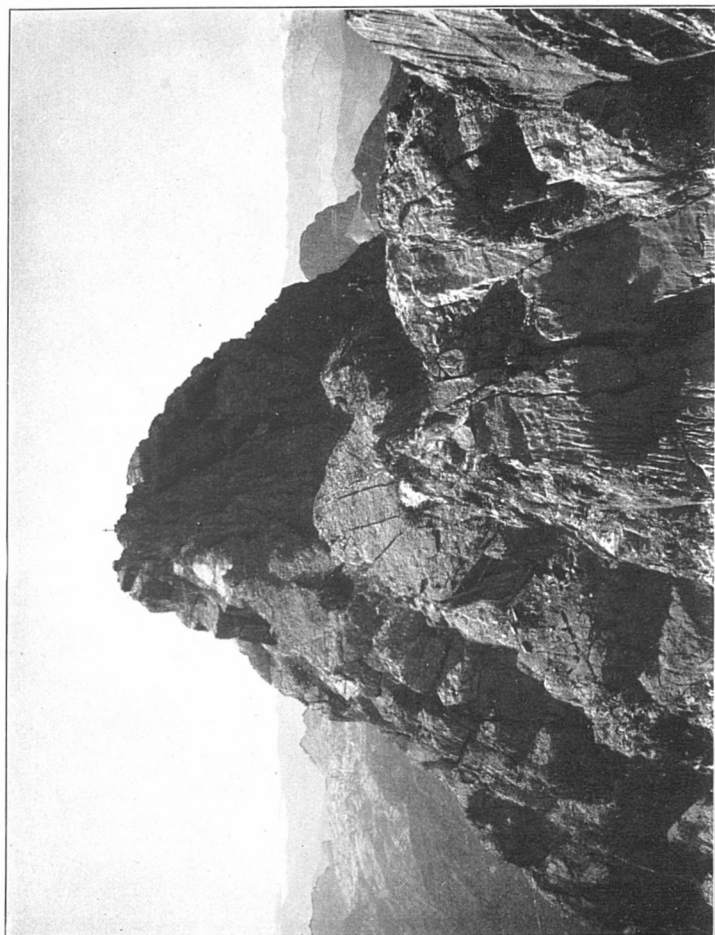
Abweichungen im Parallelismus zwischen Luftschichten gleicher Dichte und den Niveauflächen der Erde von dieser Größenordnung erscheinen aber durchaus möglich und werden im Falle ihres Vorkommens eine seitliche Ablenkung der Ziellinie von mehreren Bogensekunden verursachen können.

Die vielfach bei Winkelmessungen auftretenden kleinen Änderungen einzelner Zielrichtungen, die man als Seitenrefraktion bezeichnet, können daher durch meteorologisch-optische Vorgänge der erwähnten Art erklärt werden.



Watzmann-Hocheck





Watzmann - Mittelspitze