

Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München

1918. Heft II

Mai- bis Julisitzung

München 1918

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



Untersuchung von Höhen- und Lageänderungen von Messungspunkten im bayerischen Alpenvorland.

Von M. Schmidt.

Mit 1 Kärtchen.

Vorgetragen in der Sitzung am 6. Juli 1918.

Die in den Jahren 1901 vom Vortragenden begonnenen Ergänzungsmessungen zum bayerischen Präzisionsnivellement, über deren Ergebnisse in einem im Jahre 1908 erschienenen 1. Heft berichtet worden ist, sind in den letzten 10 Jahren fortgeführt worden, um die S. 21 dieses Heftes erwähnte Höhenstörung bei Laufen in ihrem weiteren Verlauf zu verfolgen und womöglich aufzuklären.

Hiezu wurde das ganze oberbayerische Alpenvorland mit einem in dem beiliegenden Kärtchen dargestellten Netz von Feinnivellementslinien überspannt, das sich vom Fuß der Berge bis an das Inntal und von der Isar bis zur Salzach erstreckt.

Die Gesamtlänge der in den Jahren 1906 bis 1916 in beiden Richtungen nivellierten Linien dieses Netzes beträgt rund 600 km und der durch die Linien- und Netzausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate für dieses Nivellement ermittelte unregelmäßige Kilometerfehler fand sich zu $\pm 0,83$ mm nach der Linienausgleichung und zu $\pm 1,34$ mm aus der Schleifenausgleichung. Der mittlere systematische Fehler der Doppelnivellements beträgt $\pm 0,17$ mm für ein Kilometer. Die erreichte Genauigkeit entspricht somit den von der Hamburger Erdmessungskonferenz im Jahre 1912 für Feinnivellements von erhöhter Genauigkeit aufgestellten Genauigkeitsforderungen.

Die Höhenberechnung ist an die wagrechte Oberfläche zweier, auf dem Grundstück der Technischen Hochschule in München erbauten und auf die in 6 m Tiefe unter der Bodenfläche anstehenden tertiären Flinzschichten gegründeten Steinpfeiler angeschlossen, deren erstmals im Jahre 1878 durch Feinnivellement bestimmte Höhenlage in der inzwischen verflossenen Zeit von nahezu 40 Jahren unverändert geblieben ist.

Die Pfeiler liegen beiläufig in der Mitte zwischen den am Haupt- und Ostbahnhof durch Metallhöhenmarken I. Ordnung festgelegten Haupthöhenpunkten, an welche die in den genannten Bahnhöfen zusammenlaufenden Nivellementszüge angeschlossen sind.

Ihre Höhenlage über N. N. ist durch die von Norden kommenden Nivellements bestimmt, die nach dem Normalhöhenpunkt des Deutschen Reiches in Berlin führen und von dort einerseits an die Nordsee in Amsterdam und andererseits bis an die Ostsee bei Swinemünde weiterlaufen.

Mit dem Spiegel des Adriatischen Meeres bei Triest wird ihre Verbindung durch das über Salzburg laufende Nivellement der Tauernbahn vermittelt, in welches die von München nach Mühldorf und nach Freilassing über Rosenheim führenden Linien einmünden. München bildet somit einen Knotenpunkt der großen Nivellementszüge, die das Festland von Europa überqueren und an Küstenpunkten der Nord- und Ostsee sowie des Mittelmeeres endigen.

Dem nördlichen Nivellementspfeiler der Technischen Hochschule mit der Höhe 514,6702 m über N. N. gebührt wegen der besseren Beschaffenheit der Oberfläche seines durch einen polierten Syenitwürfel gebildeten Kopfes, sowie durch seine freiere Lage und seine größere Entfernung von den benachbarten Gebäuden der Vorzug vor dem südlichen Pfeiler. Er wird künftig als Hauptanschlußpunkt für alle weiteren von München auslaufenden Feinnivellements dienen können und dadurch die Bedeutung eines Hauptnetz-Knotenpunktes und Normalhöhenpunktes für das bayerische Landesnivellement erhalten.

Der Nachweis dafür, daß die Höhenlage der genannten beiden Pfeiler seit ihrer Erbauung unverändert geblieben ist, findet sich in den Sitzungsberichten der mathem.-physikal. Klasse der K. Bayer. Akademie vom Jahre 1915, S. 329 in der Abhandlung des Vortragenden mit dem Titel „Senkungserscheinungen an der Frauenkirche in München und Lageänderungen von Hauptdreieckspunkten in Südbayern.“

Die Höhenberechnung des neuen Nivellements hat für die Höhen der als Anschlußpunkte benützten älteren Höhenmarken bemerkenswerte Abweichungen ergeben, die als Folge von regionalen Bodensenkungen aufgefaßt werden müssen und in dem beigefügten Kärtchen durch Linien gleicher Senkung (Isokatabasen) dargestellt sind. Der zwischen der Ausführung beider Nivellements verflossene Zeitraum ist rund 45 Jahre; nur für die Linie Marktl-Freilassing ist derselbe kürzer und beträgt nur etwas über 20 Jahre.

Die angegebenen Senkungslinien liegen in gleicher Richtung mit der am Fuß der Alpenkette verlaufenden Grenze des Tertiär- und Triasschichtensystems und lassen eine einerseits vom Fuß des Gebirges gegen Norden, andererseits auch in westöstlicher Richtung zunehmende Bodensenkung erkennen, die längs des Inn- und Salzachtales bis auf 83 mm anwächst.

Für die wichtigsten Haupthöhenpunkte des Gebietes sind die als Unterschiede der früheren und der neu bestimmten Höhenkoten berechneten Senkungen sowohl im Lageplan als auch in dem darunter dargestellten Längenprofil der Umfangslinie des Senkungsgebietes angegeben.

Die Oberflächenform der Senkungsfläche läßt deutlich eine Längsfaltung erkennen, die man durch eine Stauchung erklären könnte, welche das Schichtensystem des Senkungsgebietes durch den Druck der gegen Norden vorrückenden Gebirgsmasse der Alpen erlitten hat.

Zur Bildung der beobachteten Senkung mag auch der Umstand beigetragen haben, daß das Alpenvorland durch die von den Gebirgsflüssen nordwärts abgeführten Geschiebmassen eine Mehrbelastung erfährt, während die von dieser Last be-

freiten Berge nach den Gesetzen der Isostasie Neigung zu aufsteigender Bewegung zeigen. Senkungen dieser Art in Beträgen bis zu 18 mm sind in der kurzen Zwischenzeit von sieben Jahren durch die in den Jahren 1906 und 1913 wiederholt ausgeführten Feinnivellements längs des Salzachtales von Marktl nach Freilassing und von Garching nach Freilassing bei den Orten Tittmoning, Laufen, Surheim und an der Eisenbahnbrücke über die Salzach zwischen Freilassing und Salzburg mit aller Sicherheit festgestellt worden, worüber in dem zum Druck vorbereiteten 2. Hefte der Ergänzungsmessungen zum bayerischen Präzisionsnivellement Zahlenangaben enthalten sind. Die in jenem Gebiet häufig auftretenden Erderschütterungen haben wohl auf den dasselbe durchsetzenden Bruchlinien der Erdkruste Bewegungen ausgelöst und Verwerfungen hervorgerufen, wie solche bei Laufen das Salzachtal überqueren und östlich von München die nach Holzkirchen, Graßing und Dorfen führenden Bahnlinien durchschneiden und in das beigelegte Kärtchen eingetragen sind. Diese in der Richtung N 55° O streichenden Bruchlinien sind gleich gerichtet mit der bekannten variskischen Strukturlinie und folgen auch in ihrer Richtung dem gleichlaufenden Abbruch des schwäbischen Jura nach der Donauebene und der großen Vulkanlinie, die von Karlsbad über Parkstein nach dem Ries und zur schwäbischen Alb hinzieht.

Die erwähnten, zwischen Isar, Inn und Salzach nachgewiesenen tektonischen Bewegungen können auch Lageänderungen der in das Störungsgebiet und seine Umgebung fallenden Dreieckspunkte hervorgerufen haben, die sich durch meßbare Richtungs- und Koordinatenänderungen dieser Punkte bemerkbar machen müssen.

Als solche kommen hauptsächlich Punkte der südbayerischen Dreieckskette in Betracht, die in den Jahren 1903/04 in Südbayern als Glied der Längengradmessung auf dem 48. Breitenparallelgrad gemessen worden ist, und einerseits durch die von Hammer beobachtete Dreieckskette durch Württemberg mit dem rheinischen Netz der preußischen Landesauf-

nahme, andererseits mit dem österreichischen Gradmessungsnetz bei Salzburg in Verbindung steht¹⁾.

Für die Berechnung dieser Kette ist die Länge und Orientierung der oberbayerischen Grundlinie München-Aufkirchen unverändert wie bei der v. Orffschen Berechnung des bayerischen Hauptdreiecksnetzes (vgl. das amtliche Werk „Die Bayerische Landesvermessung, München 1873“) beibehalten worden, in welchem die Winkelmessungen in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts zur Ausführung gekommen sind.

Um die neu berechneten Koordinaten der südbayerischen Dreieckskette mit jenen der identischen Netzkpunkte der bayerischen Landesvermessung vergleichen zu können, sind die beiden Punktsysteme nach dem Helmertschen Verfahren (Längengradmessung I, 1893, S. 47) so aufeinander gelegt und gegenseitig verschoben worden, daß die Quadratsumme der Abstände gleichnamiger Punkte ein Minimum wird²⁾.

In den Sitzungsberichten 1912, S. 191 ist diese Netzeinpassung wegen eines Fehlers in der Berechnung berichtigt und hiebei auch die scheinbare Lageänderung der Hauptdreieckspunkte Watzmann und Rettenstein näher untersucht und durch Seitenrefraktion zu begründen versucht worden.

Weitere Untersuchungen über Bodensenkungen und Lageänderungen von Hauptdreieckspunkten finden sich in den Sitzungsberichten der Jahre 1914 und 1915 mitgeteilt, von denen der letztgenannte Bericht auf S. 350/351 eine Zusammenstellung der bei drei verschiedenen Neuberechnungen der Netzeinpassung übrig bleibenden Koordinaten-Restfehler enthält.

Ordnet man die Beobachtungsstationen in der Reihenfolge von West nach Ost und faßt die Restfehler zu Mittelwerten zusammen, welche der Lageänderung der Mitten der die genannten Stationen in nordsüdlicher Richtung verbindenden Drei-

¹⁾ Sitzungsber. der mathematisch-physikal. Klasse, Bd. XXXVI, 1906, S. 139.

²⁾ Sitzungsber. 1910, 11. Abh. und ebenda 1912, S. 191.

ecksseiten entsprechen, so erhält man eine von Osten nach Westen anwachsende Lageänderung dieser Seitenmitten, die sich als Westwanderung dieser Punkte darstellt und einen Betrag von beiläufig 27 cm auf 100 km zeigt.

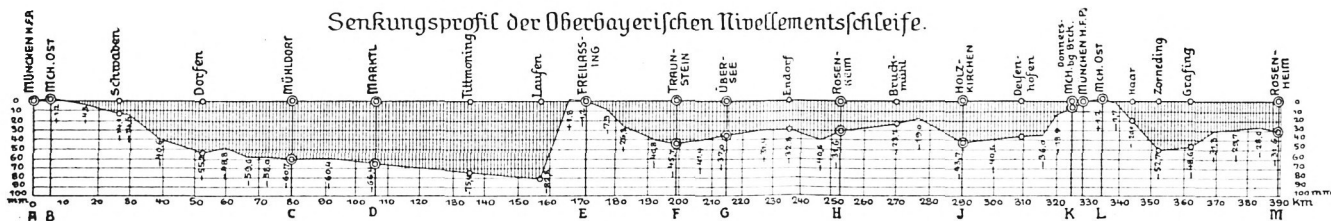
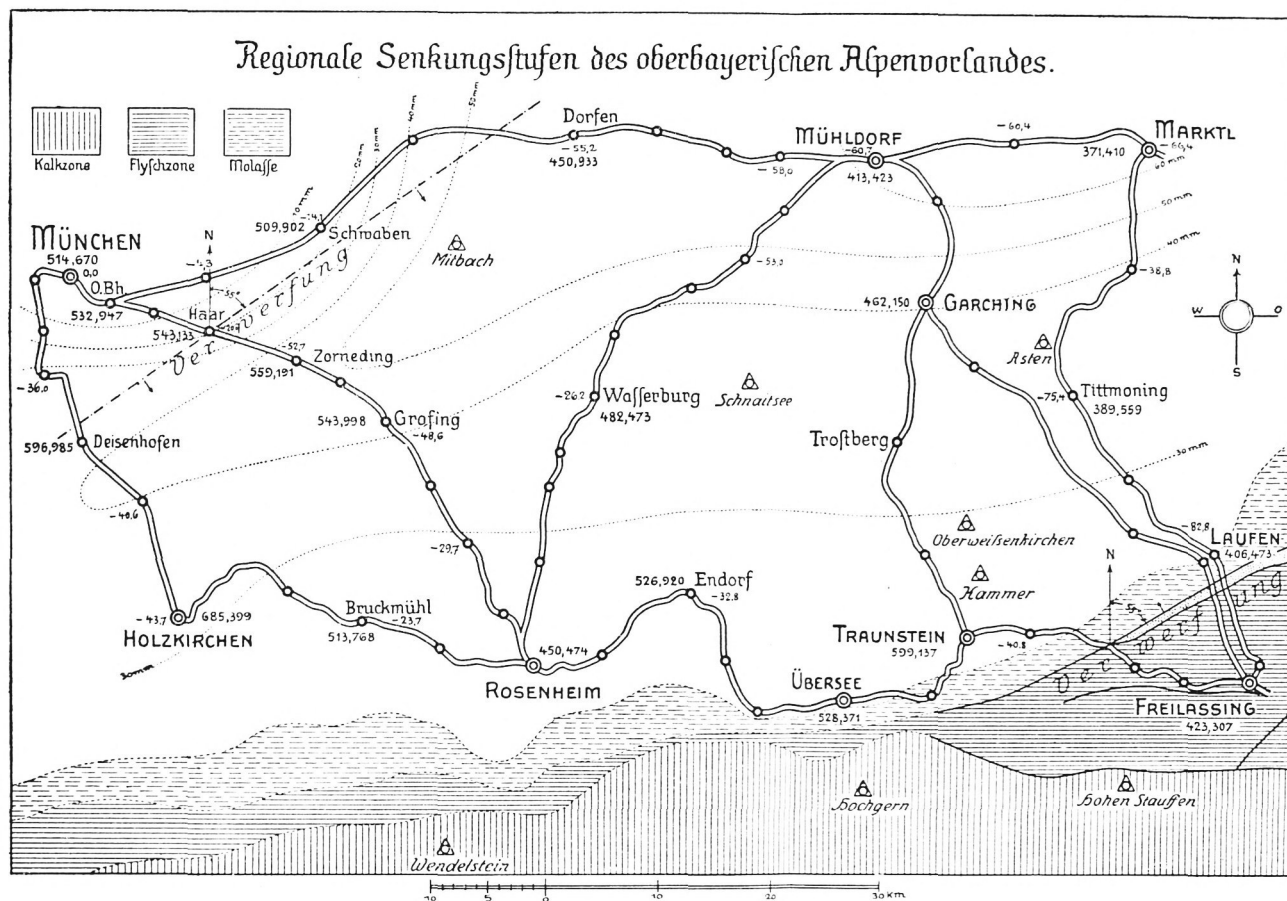
Koordinaten-Restfehler einiger Dreieckspunkte der bayerischen Landesvermessung.

Nr.	Dreieckseiten der südbayer. Kette	R_x cm	R'_x cm	R_y cm	R'_y cm	$\Delta_x = R_x - R'_x$ cm	$\Delta_y = \frac{1}{2}(R_y + R'_y)$ cm
1	Roggenburg-Aenger	+ 15	— 3	+ 33	+ 43	+ 18	+ 38
2	Kirchheim-Grünten	+ 9	— 11	+ 29	+ 42	+ 20	+ 35
3	Stauffersberg-Peißenberg	+ 16	— 8	+ 20	+ 22	+ 24	+ 21
4	Altomünster-Peißenberg	+ 9	— 8	+ 8	+ 22	+ 17	+ 15
5	München-Peißenberg	— 3	— 8	+ 4	+ 22	+ 5	+ 13
6	München-Wendelstein	— 3	— 17	+ 4	+ 12	+ 14	+ 8
7	Aufkirchen-Wendelstein	0	— 17	— 4	+ 12	+ 17	+ 4
8	Mitbach-Wendelstein	— 6	— 17	— 6	+ 12	+ 11	+ 3
9	Asten-Hochgern	— 10	— 20	— 11	— 1	+ 10	— 6

Den Punkten der Landesvermessung kommen mittlere Koordinatenfehler von ± 20 bis ± 25 cm zu, den Punkten der südbayerischen Dreieckskette solche von ± 42 mm; die mittleren Winkelfehler sind aus der Netzausgleichung für die Landesvermessung zu ± 2.45 und für die südbayerische Dreieckskette zu ± 0.82 erhalten worden.

Die in der vorstehenden Tabelle angegebenen Restfehler der Punkte der Landesvermessung entsprechen der Lageänderung dieser Punkte bis zur Zeit ihrer Neubestimmung durch die Messung der südbayerischen Dreieckskette und können durch die oben bereits angedeuteten tektonischen Erdkrustenbewegungen im oberbayerischen Voralpengebiet erklärt werden. Sie stehen offenbar mit den eingangs erwähnten regionalen Höhenänderungen in ursächlichem Zusammenhang.

Als wichtiges Beweismittel für die erwähnten Lageände-



rungen von Dreieckspunkten können auch die in den Jahren 1887 bis 1893 auf einigen Punkten des bayer. Hauptdreiecksnetzes durch den damaligen Observator der Bayer. Erdmessungskommission, Dr. K. Oertel ausgeführten astronomisch-geodätischen Ortsbestimmungen dienen, deren Ergebnisse in den „Astronomisch-Geodätischen Arbeiten“ der Bayerischen Erdmessungskommission Heft 3, 4, 5 veröffentlicht sind.

Oertel hat die geodätische Lage seiner Stationspunkte aus den Koordinaten der zunächst liegenden Hauptdreieckspunkte mit Hilfe der von ihm bis auf ± 0.5 genau beobachteten astronomischen Azimute durch Rückwärtseinschneiden abgeleitet und dabei die beobachteten Richtungen rechnerisch derart verbessert, daß sie sich im Standort schneiden und durch die als unverändert angenommenen Zielpunkte gehen, deren Koordinatenwerte der bayerischen Landesvermessung entnommen sind.

Durch diese Verbesserungen sind die Winkelmessungen der Lage der Ausgangspunkte zur Zeit der Ausführung der Landesvermessung angepaßt worden. Die für die Standorte berechneten Koordinatenwerte entsprechen somit der Lage der Punkte zur Zeit der Ausführung der Landesvermessung in der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts. Wenn nun seitdem Lageänderungen dieser Standorte infolge von Erdkrustenbewegungen eingetreten sein sollten, so müßten diese durch Abweichungen der Koordinaten der Landesvermessung von den für die Punkte der südbayerischen Dreieckskette neu berechneten Koordinatenwerten bemerkbar werden, wie das in der umstehenden Zusammenstellung in der Tat der Fall ist.

Die größeren Werte dieser Abweichungen gegenüber den oben angeführten Koordinaten-Restfehlern erklären sich dadurch, daß dort durch die Netzeinpassung, aus welcher die Koordinaten-Restfehler berechnet sind, die ursprünglichen Koordinaten der Landesvermessung bereits Verbesserungen erfahren haben, welche die Abweichungen der Koordinaten der Dreieckskette vermindern. Die größten Koordinatenabweichungen finden sich in beiden die Lageänderungen der Hauptnetzpunkte enthaltenden Tabellen zwischen München und dem Bodenseegebiet,

Lageänderungen von Hauptnetzpunkten in Südbayern.

Nr.	Standorte	Koordinaten der Landesvermessung von 1854	Mittlere Fehler	Koordinaten der südbayer. Dreieckskette von 1903/04	Mittlere Fehler	Lageänderung	$\Delta s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
		m	m	m	m	m	m
1	Aenger	$x = - 45909,16$ $y = + 106021,60$	$\pm 0,06$ $\pm 0,05$	$- 45909,40$ $+ 106022,59$	$\pm 0,04$ "	$\Delta x = - 0,24$ } $\Delta y = + 0,99$ }	$\Delta s = 1,01$
2	Grüntten	$x = - 64145,84$ $y = + 94295,52$	$\pm 0,01$ $\pm 0,02$	$- 64146,37$ $+ 94296,45$	" "	$\Delta x = - 0,53$ } $\Delta y = + 0,93$ }	$\Delta s = 1,05$
3	Peißenberg	$x = - 37406,93$ $y = + 41984,87$	$\pm 0,01$ $\pm 0,08$	$- 37407,17$ $+ 41985,35$	" "	$\Delta x = - 0,24$ } $\Delta y = + 0,48$ }	$\Delta s = 0,54$
4	Wendelstein	$x = - 48294,69$ $y = - 32962,46$	$\pm 0,15$ $\pm 0,12$	$- 48294,36$ $- 32965,15$	" "	$\Delta x = + 0,30$ } $\Delta y = + 0,31$ }	$\Delta s = 0,43$
5	Kammer	$x = - 23083,27$ $y = - 80874,31$	$\pm 0,11$ $\pm 0,06$	$- 23083,33$ $- 80874,44$	$\pm 0,06$ $\pm 0,23$	$\Delta x = - 0,06$ } $\Delta y = - 0,13$ }	$\Delta s = 0,14$

während östlich von der Linie Mitbach-Wendelstein diese Änderungen unter die Werte der mittleren Koordinatenfehler herabgehen. Letzteres gilt insbesondere auch für die astronomische Station Kammer, bei welcher die Bruchlinie von Laufen in einem Abstand von nur 10 km südlich vorüberstreicht. Die Lage dieses in die Koordinatenberechnung der südbayerischen Dreieckskette nicht einbezogenen Punktes ist im Sommer 1918 gegen dieselben 6 Ausgangspunkte der Landesvermessung wie im Jahre 1886 durch Winkelmessungen mit einem Mikroskoptheodolit von Hildebrand von 23 cm Kreisdurchmesser in 6 Kreisstellungen mit je 24 Doppeleinstellungen jeder Zielrichtung neu bestimmt worden.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind mit den im Jahre 1886 auf dem gleichen Stationspunkt aus Azimutmessungen des Polaris abgeleiteten Richtungen nach den gleichen Zielpunkten in der nachstehenden Stationstafel zusammengestellt und haben zu einer Neuberechnung der Koordinaten desselben Standortes gedient, der auch im Jahre 1886 zur Aufstellung des astronomischen Universalinstruments benützt wurde.

Stationstafel Kammer.

Nr.	Ziel- richtungen	Ent- fer- nung km	Beobachtet im Jahre 1886	Unter- schied	Beobachtet im Jahre 1918	Rest- fehler
1	Wendelstein	54,13	0° 0' 0" $\pm 0,26$	00	0° 0' 0" $\pm 0,48$	0,00
2	Schnaitsee	26,65	64 21 12,11 $\pm 0,32$	+ 0,26	64 21' 12,37 $\pm 0,40$	- 1,03
3	Oberweißen- kirchen	4,64	96 00 29,75 —	- 4,54	96 00 25,21 —	+ 2,29
4	Hochstauffen	22,35	264 44 35,41 $\pm 0,38$	- 2,24	264 44 33,17 $\pm 0,20$	+ 0,27
5	Hochfelln	19,56	318 31 59,82 $\pm 1,51$	- 2,33	318 31 57,49 $\pm 0,35$	+ 0,03
6	Hochgern	22,04	325 04 15,80 $\pm 0,68$	- 1,47	325 04 14,33 $\pm 0,30$	- 0,81

Die Richtungen nach den einzelnen Dreieckspunkten sind bei den Beobachtungen beider Jahre auf den nächstliegenden Hauptdreieckspunkt Oberweißenkirchen als Nullrichtung be-

zogen, nunmehr aber auf den entferntesten Zielpunkt Wendelstein, der durch Heliotropenlicht sichtbar gemacht war, umgerechnet worden, um den schädlichen Einfluß kleiner Lageänderungen der schlanken Turmspitze von Oberweißenkirchen auf die Winkelmessung möglichst auszuschalten. Für die Azimutmessungen im Jahre 1886 ergeben sich mittlere Winkelfehler von ± 0.52 , bei den Winkelmessungen im Jahre 1918 solche von ± 0.30 .

Die Unterschiede der auf Wendelstein als Nullrichtung bezogenen Messungen beider Beobachtungsreihen ergeben, wie ein Blick auf die Stationstafel zeigt, Beträge bis zu 4.5 und mit einer einzigen Ausnahme negative Vorzeichen, wodurch eine Lageänderung des Stationspunktes in der zwischen beiden Beobachtungsreihen liegenden Zeit deutlich zum Ausdruck kommt. Die neu ausgeführte Koordinatenberechnung und Ausgleichung ergab den Betrag dieser Lageänderung zu

$$\Delta x = -0,06 \pm 0,08 \text{ m}$$

$$\Delta y = -0,13 \pm 0,23 \text{ m.}$$

Durch die große Unsicherheit der Ordinatenänderung von $\pm 0,23 \text{ m}$ kommt hierbei die seit der Zeit der Ausführung der Landesvermessung eingetretene und für die einzelnen Punkte offenbar verschiedene Lageänderung der Ausgangspunkte in der Ostwestrichtung deutlich zum Ausdruck.

Reduziert man die Beobachtungen vom Jahre 1886 auf den durch die neu berechneten Koordinaten bestimmten Standort vom Jahre 1918, der in seiner natürlichen Lage mit jenem vom Jahre 1886 identisch ist, so verschwinden die einseitigen Richtungsunterschiede und es verbleiben nur geringe Restfehler mit verschiedenen Vorzeichen, deren Größe lediglich für den nächstliegenden Zielpunkt Oberweißenkirchen den beträchtlichen Wert von $+ 2.29$ zeigt. Bei dem geringen Abstand des Zielpunktes von 4,6 km entspricht diesem Wert nur eine lineare Abweichung von 5,1 cm, die sich durch eine mit der Zeit wahrscheinlich eingetretene Lageänderung der hohen und schlanken Turmspitze erklärt.

Die geringe Verschiebung des Stationspunktes Kammer, die durch die Ordinatenänderung von $\Delta y = -0,13$ m ihren Ausdruck findet, liegt indessen noch innerhalb der mittleren Unsicherheit von $\pm 0,23$ m, die auch den Koordinaten der Ausgangspunkte zukommt und kann deshalb wohl nicht zum zuverlässigen Nachweis einer Lageänderung des Stationspunktes Kammer infolge tektonischer Erdkrustenbewegungen dienen, wie sie sich westlich der Linie Mitbach-Wendelstein gegen den Bodensee hin durch die Lageänderung von Hauptdreieckspunkten bis zum Betrag von 1 m bemerkbar gemacht haben.

Nachtrag. Tektonische Erdkrustenbewegungen von 1 m Größe, wie sie aus den Koordinatenänderungen der Dreieckspunkte Aenger und Grünten hervorgehen, sind in jüngster Zeit infolge von Erderschütterungen in der 30 km südlich vom Grünten gelegenen Hornbachkette beobachtet worden.

Die Tagesblätter berichten hierüber folgendes:

Erdbeben. Der Seismograph der Münchener Sternwarte verzeichnete am 26. September, 1.17 Uhr nachts, ein Nahbeben in südwestlicher Richtung in einer Entfernung von etwa 140 Kilometer. Der Herd des Bebens war vermutlich Vorarlberg. Nach den eingelaufenen Berichten wurde die Erschütterung hauptsächlich im südlichen Teil des Allgäu verspürt; in München wurde sie nicht weiter wahrgenommen. Nach einer Meldung aus Immenstadt war das Erdbeben so stark, daß eine in der Kemptener Hütte nächtigende Gruppe württembergischer Jäger durch drei scharfe Stöße gerüttelt wurde, während um das Haus ein Poltern und Heulen losging. An vielen Stellen stürzten Felstrümmer nieder. In der gegen Osten sich anschließenden Hornbachkette spalteten sich zwischen der Hermannskarspitze und dem Hermannskarturm die Felsen. Dort gähnt eine 70 bis 80 Meter tiefe Kluft in einer Breite von fast 1 Meter. (Münchener N. N., 2. Okt. 1918, Morgenausgabe.)

Hiedurch erhält die Annahme, daß die auch an östlicher gelegenen Punkten der Alpen, wie am Watzmann und Rettenstein beobachteten Lageänderungen von Dreieckspunkten auf tektonische Vorgänge zurückzuführen sind, eine neue augenfällige Bestätigung.
