

Paper-ID: VGI_191401



Über die Beobachtungen zur Polhöenschwankung

Richard Schumann ¹

¹ o. ö. Professor an der k. k. technischen Hochschule in Wien

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen **12** (1), S. 1–15

1914

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Schumann_VGI_191401,  
Title = {"\U}ber die Beobachtungen zur Polh{"\o}henschwankung},  
Author = {Schumann, Richard},  
Journal = {"\O}sterreichische Zeitschrift f{"\u}r Vermessungswesen},  
Pages = {1--15},  
Number = {1},  
Year = {1914},  
Volume = {12}  
}
```



ÖSTERREICHISCHE ZEITSCHRIFT FÜR VERMESSUNGSWESEN.

ORGAN

DES

VEREINES DER ÖSTERR. K. K. VERMESSUNGSBEAMTEN.

Redaktion: Hofrat Prof. E. Doležal und Bauinspektor S. Wellisch.

Nr. 1.

Wien, am 1. Jänner 1914.

XII. Jahrgang.

Über die Beobachtungen zur Polhöenschwankung.

Von Prof. Dr. R. Schumann in Wien.

Auf Veranlassung der Redaktion dieser Zeitschrift möge im Folgenden ein Auszug aus einigen Untersuchungen gegeben werden, die der Verfasser über die im Titel genannten Beobachtungen angestellt hat; dabei wird sich Gelegenheit ergeben, auf einige Untersuchungen Anderer aus der neuesten Zeit Bezug zu nehmen. Da in dieser Zeitschrift noch wenig über die Polhöenschwankung berichtet wurde, so sei es erlaubt, einige geschichtliche Notizen vorzuschicken.

Nachdem Bessel aus einer besonderen Reihe eine Veränderung der Polhöhe der Königsberger Sternwarte nicht hatte nachweisen können, gelang es in den Jahren 1884/5 Herrn Küstner, damaligem Observator der Berliner Sternwarte, jetzigem Direktor der Bonner Sternwarte, zu zeigen, daß mit Sicherheit eine Änderung der Polhöhe φ seines Instrumentes um $0.2''$ im Laufe eines Jahres eingetreten sein müsse. An der Erdoberfläche entspricht dies einer Strecke von 6 m. Die Meßmethode war die nach Horrebow-Talkott, die wohl als die schärfste gelten kann. Sie beruht auf der Verwendung von Sternpaaren, je eines Sternes im Norden und im Süden, derart, daß ihre Zenithdistanzen z_N und z_S bis auf einen Bruchteil eines Grades gleich sind, während die Unterschiede ihrer Durchgangszeiten durch den Meridian nur einige Minuten betragen. In den beiden Grundgleichungen $\varphi = \delta_N - z_N$ und $\varphi = \delta_S + z_S$ bedeuten δ_N und δ_S die Deklinationen der beiden Sterne; aus dem Mittel

$$\varphi = \frac{\delta_S + \delta_N}{2} + \frac{z_S - z_N}{2}$$

folgt, daß am Instrument nur die Differenz $z_S - z_N$ zu messen ist, was mit Schraubenmikrometern in wünschenswerter Schärfe geschehen kann. Die Konstanz der Vertikalachse beim Übergang von einer Hälfte des Meridians auf die andere wird durch gute Libellen von $1''$ Empfindlichkeit geprüft. Gleichsinnige Refraktionsänderungen auf beiden Hälften des Meridians erscheinen unschädlich, asymmetrische haben wesentlichen Einfluß. Bewegungen der Erdachse im Erd-

körper, Verschiebungen der Erdscholle gegen diese Achse, Änderungen der Lotrichtung sowie solche des Refraktionszeniths zeigen sich durch entsprechende Veränderungen des aus solchen Beobachtungen berechneten Wertes von φ an. Fehler in den Reduktionselementen, wie z. B. in der Aberrationskonstante, können scheinbar die Konstanz von φ gefährden; von solchem Einflusse sei hier abgesehen.

Zur Verfeinerung der Beobachtung werden vielfach Sterngruppen benützt, die sich über mehrere Stunden der Rektaszension erstrecken; die Anzahl dieser Gruppen liegt zwischen 4 und 12. Die Beobachtungszeit liegt meist in den ersten Nachtstunden. Da die Sternzeit sich gegen die mittlere Zeit verschiebt, derart, daß die Sterne allmählich in die Abenddämmerung und in den Tag hinein rücken, so wird es wegen der schwächeren Sterne der Gruppen nach einiger Zeit nötig, die Gruppen zu wechseln und spätere Gruppen zu nehmen; nach Ablauf eines Jahres kehrt dann die erste Gruppe wieder.

Den Tag über lassen sich bekanntlich nur die hellsten Sterne unter günstigen Verhältnissen beobachten; verfolgt man nur einen Stern, so hat man allerdings den großen Vorteil, unabhängig zu sein von der Deklinationsunsicherheit. Mit dem Übergang dagegen von einer zur anderen Sterngruppe tritt leider die Notwendigkeit hinzu, die Verbesserungen der Deklinationen zu bestimmen, wie aus der Grundgleichung $\varphi = z + \delta$ hervorgeht. Auch die beste Bestimmung der δ , etwa an Meridiankreisen, ist nicht so genau, daß diese ohne Bedenken zur Bestimmung so kleiner Größen verwendet werden könnten, wie es die Änderungen der Polhöhen sind.

Neben der Horrebow-Talkott-Methode mit sukzessivem Gruppenwechsel sind auch andere Methoden vielfach angewendet worden.

Bald nach der wichtigen Feststellung Küstner's wurden auf zahlreichen Sternwarten Reihen zur Messung von Polhöhenschwankungen vorgenommen, hauptsächlich innerhalb der gemäßigten Zone der Nordhalbkugel. Wichtig war die 1891 durch die Internationale Erdmessung veranlaßte Jahres-Reihe gleichzeitiger Beobachtung in Berlin—Potsdam—Prag einerseits und Honolulu andererseits. Während die drei ersten Stationen einen im allgemeinen gleichen Verlauf einer Polhöhenänderung aufwiesen, ergab Honolulu bei einer Längendifferenz von rund 180° eine entgegengesetzte Änderung nach Art eines Spiegelbildes. Dieser Effekt kann erzeugt werden durch eine entsprechende relative Verlagerung oder Wanderung der Rotationsachse im Erdkörper, und die Sternwartenbeobachtungen zwischen 1890 und 1900 wurden denn auch benützt, um eine Wanderung des Poles, eine «Polbahn», zu berechnen; zu bemerken ist, daß einige Reihen systematisch abweichende Resultate ergaben. Gegen eine mittlere Lage des Poles stellt sich die unter gewissen Voraussetzungen berechnete Polbahn dar als eine Kurve spiraliger Art, die Abstände der Kurvenpunkte von einem mittleren Pol schwanken zwischen einigen $0.01''$ und $0.32''$; sie läßt sich durch eine jährliche und eine etwa $14\frac{1}{2}$ monatliche (= die Chandler'sche) Periode mit einiger Annäherung numerisch darstellen, aber nur für kürzere Zeitabschnitte.

1900 begann das sehr verdienstliche Unternehmen des «Polhöhendienstes»

durch die Internationale Erdmessung; es wurden auf dem Parallel 39° nördlicher Breite sechs Stationen eingerichtet, und auf ihnen wurden mit gleichen Instrumenten in gleichen Beobachtungshäuschen dieselben Sterne nach der Horrebow-Talkott-Methode mit Gruppenwechsel in den ersten Nachtstunden so oft als zugänglich beobachtet. Zu beachten ist, daß die absoluten Zeiten der Beobachtung auch bei gleichem Datum doch um die Längendifferenzen verschieden sind. Die Gleichheit der Sterne erleichtert die Berechnung, zudem werden die Messungen unabhängig von den wahren Deklinationsverbesserungen, im Gegensatz zu den aus den Beobachtungen selbst berechneten; bei der Berechnung dieser letzteren ergeben sich mehrfache, zu große Widersprüche. Es wurden 12 Gruppen von je 8 Sternen ausgewählt, jede Beobachtung erstreckte sich über rund zwei Stunden. An einem Tage werden immer zwei Nachbargruppen beobachtet; da nach einem Monat die Sternzeit um 2 Stunden gegen die mittlere Zeit voreilt, so gelangt dann die zweite Tagesgruppe in die Tagesstunde der ersten Gruppe. Es tritt dann Gruppenwechsel ein, d. h. die erste wird weggelassen, dagegen die dritte hinzugezogen; nach einem weiteren Monat werden die dritte und vierte zusammen beobachtet u. s. f., bis nach Ablauf eines Jahres die erste Sterngruppe als zweite Tagesgruppe wieder erscheint; siehe oben.

Die gleichzeitige Beobachtung zweier Gruppen geschah, um die unbekanntes Deklinationsverbesserungen aus dem Problem mit bestimmen zu können, immer unter der Voraussetzung, daß inzwischen keine anderweitigen Änderungen bei der Polhöhenmessung eintreten. Von der Änderung infolge langperiodischer Polhöhenschwankung darf man dabei absehen; denn ändert sich auch die Polhöhe binnen einem halben Jahre um 0.5", so entfällt auf die Zwischenzeit von zwei Stunden nur ein verschwindender Betrag. Es wird deshalb bei dem üblichen Verfahren, Deklinationsverbesserungen abzuleiten, die Voraussetzung gemacht: eine beobachtete Differenz $\Delta\varphi$ zwischen den beiden Gruppenpolhöhen eines Tages rühre nur von Deklinationsfehlern her, so daß es erlaubt wäre anzusetzen: $d\delta_2 - d\delta_1 = \Delta_1\varphi$ und nach dem nächsten Gruppenwechsel $d\delta_3 - d\delta_2 = \Delta_2\varphi$ bis $d\delta_1 - d\delta_{12} = \Delta_{12}\varphi$ u. s. f. Hierbei sei der Einfachheit wegen jede Gruppe durch einen einzelnen Stern ersetzt gedacht. Für die weitere Rechnung sind wieder Voraussetzungen über die Kleinheit gewisser Kombinationen der $\Delta\varphi$ zu machen, erst dann gelingt diese Ermittlung von Deklinationsverbesserungen und Polhöhenschwankungen; tatsächlich zeigen jene Kombinationen systematisches Verhalten, abgesehen von ihren zu großen Beträgen.

Einige Sternwarten haben auch nach 1900 Beobachtungen zur Polhöhenschwankung unternommen, teils nach ähnlichen, teils nach ganz verschiedenen Methoden; in den letzten Jahren hat die Tätigkeit der Sternwarten wieder intensiv eingesetzt, und zwar infolge verschiedener zu großer Widersprüche systematischer Art, die sich in den Ergebnissen teils auf dem 39. Parallelkreis selbst, teils anderen Beobachtungsreihen gegenüber mit immer größerer Deutlichkeit herausgestellt haben. Sie verlangen nach einer Revision der Voraussetzungen, und unter diesen ist als nächste anzuzweifeln: die Konstanz der die Messungen beeinflussenden Umstände zwischen den beiden Gruppen eines Abends.

Bald nach der Anwendung geschlossener Ketten von Gruppen zeigten sich die sogenannten Schlußfehler; dies sind die Beobachtungswerte der Summen

$$\begin{aligned} & \Delta_1\varphi + \Delta_2\varphi + \dots + \Delta_{12}\varphi, \\ & \Delta_2\varphi + \Delta_3\varphi + \dots + \Delta_{12}\varphi, \\ & \dots \end{aligned}$$

die den obigen Gleichungen gemäß so nahe 0 sein sollten, als die Beobachtungsungenauigkeit zuläßt. Diese Schlußfehler schwanken aber zwischen $+0.6''$ und $-0.6''$ in systematischer Weise; beispielsweise ergeben sich für zwei Stationen des 39. Parallels folgende Werte:

1903/4 bis 4/5	Gaithersburg	Cincinnati
Gruppen	"	"
VII	-0.57	-0.31
VIII	-0.48	-0.45
IX	-0.27	-0.49
X	-0.20	-0.51
XI	-0.22	-0.53
XII	-0.14	-0.50
I	-0.14	-0.47
II	-0.04	-0.38
III	-0.01	-0.42
IV	+0.14	-0.37
V	+0.36	-0.37
VI	+0.43	-0.36
VII	+0.60	-0.46

Solche Verschiedenheit tritt auf trotz der Gleichheit der Sterne!

In anderen Jahren hat auch Cincinnati Änderungen um mehrere $0.1''$ zu verzeichnen; es treten bei sämtlichen Stationen mehrjährige Schwankungen zutage, ihre Amplituden sind verschieden.

Zunächst wurden die Schlußfehler einer einzelnen Jahresreihe angesehen als entstanden durch einen Fehler in der Aberrationskonstante; diese Hypothese mußte bald aufgegeben werden. Wenn man das vorliegende rechnerische Problem als eine Ausgleichungsaufgabe nach vermittelnden Beobachtungen mit Bedingungen auffaßt, so können die Schlußfehler mit zu einer Schätzung der Unsicherheit der zu ermittelnden Unbekannten, nämlich der Polkoordinaten und der Deklinationsverbesserungen, dienen; sie wird mehrmals größer erhalten, als bisher angenommen.

Aus der Verschiedenheit der Schlußfehlerreihen der verschiedenen Stationen folgt, daß sich für die verschiedenen Stationen auch verschiedene Deklinationsverbesserungen ergeben müssen; man würde andere Polhöhen erhalten, wenn man diese auf der Station selbst erhaltenen Verbesserungen anwenden wollte. In diesem Sinne ist man berechtigt zu sagen, die Polkoordinaten x und y sind nicht unabhängig von der üblichen Art der Bestimmung von Deklinationsverbes-

serungen.*) Würde man auch Mittelwerte über die auf einem Parallel verteilten Stationen anerkennen, so wäre eine einzelne Sternwarte nicht in der Lage, nach dieser Kettenmethode die Deklinationsverbesserungen ihrer Sterne zu bestimmen; tatsächlich geschieht dies aber mehrfach.

Streng genommen steht die numerische Reduktion vor den Schlußfehlern still, einwandfreie $d\delta$ können auf diese Weise nicht erhalten werden.

Es wurde oben erwähnt, daß andere Beobachtungsreihen abweichende Resultate ergeben haben; auch andere gangbare Reduktionsmethoden derselben Beobachtungen ergaben neue Widersprüche und wesentlich andere Resultate für die Polhöhe einer Station. Es liegt sehr nahe, auf die nach der Kettenmethode erhaltenen Beobachtungen die folgende Methode anzuwenden, die von den wahren $d\delta$ frei ist, im übrigen aber auch auf der Voraussetzung beruht, daß keine tägliche Veränderung die Messungen beeinflusse; vorausgeschickt sei, daß auch diese an und für sich berechtigte Methode keine einwandfreie Polhöenschwankung liefert, wohl aber einen neuen, interessanten Widerspruch. Nennt man das Mittel aus den Beobachtungen während des ersten Abschnittes der zweiten Gruppe Φ_{21} , während des zweiten Abschnittes Φ_{22} , so ist $\Phi_{22} - \Phi_{21} = \Delta\Phi$, die Änderung der Polhöhe von der mittleren Epoche von Φ_{21} bis zu der von Φ_{22} ; ebenso erhält man $\Phi_{32} - \Phi_{31} = \Delta\Phi$ u. s. f. Unter der Voraussetzung, daß man die Polhöhe zur mittleren Tageszeit von Φ_{21} gleichsetzen darf der Polhöhe zur mittleren Tageszeit von Φ_{31} , die für Φ_{32} gleich der für Φ_{21} u. s. f., so müßten die sukzessiven Summen

$$\Delta\Phi_1, \Delta\Phi_2 + \Delta\Phi_1, \Delta\Phi_3 + \Delta\Phi_2 + \Delta\Phi_1, \dots$$

allgemein $\Sigma\Delta\Phi$ wieder sehr nahe die Polhöenschwankung geben. Der neue Widerspruch zeigt sich nun darin, daß diese Σ auf gewissen Stationen ständig teils zu-, teils abnehmen; so würde hiernach die Polhöhe von Tschardjui in neun Jahren um 3", die dreier anderer Stationen um 2" bis 3" abnehmen. Dies ist unmöglich. Man könnte zwar ein solches Ab- oder Zunehmen, ebenso wie bei der üblichen Reduktionsmethode den Schlußfehler, rein numerisch zum Verschwinden bringen, einfach durch Ansetzen eines linearen Gliedes; dies würde aber ebenso wenig befriedigen, wie dort die übliche, nicht notwendige gleiche Verteilung des Schlußfehlers auf die Gruppendifferenzen $\Delta\varphi$. Auch hier steht die Reduktion still aus Mangel an Rechenoperationen, die sich mit den Ursachen solcher Abnormitäten vertragen. Bei den Σ ist gewiß mißlich, daß fortlaufend Differenzen beobachteter Größen aufsummiert werden, und zwar mißlich in Hinblick auf die Berechnung mittlerer Fehler; bei den Schlußfehlern werden allerdings auch mehrfach je 12 Differenzen beobachteter Größen summiert. Es genügt, gezeigt zu haben, daß die Σ der sechs Stationen des 39. Parallels ständig abnehmen und daß einem der oben erwähnten Beträge von 2" bis 3" ein mittlerer Fehler von $\pm 0.3''$ zukommt, seine Existenz also anerkannt werden muß.

*) Siehe; Literarisches Beiblatt zu den «Astronomischen Nachrichten». II. Jahrgang. Nr. 14. S. 26; Die Bemerkung des Herrn Referenten A. G. über die Unabhängigkeit der x und y von den Deklinationen ist unzutreffend.

Zur Illustration diene die Reihe der Σ für die ausgezeichnete italienische Station Carloforte, wobei nur die Unterschiede gegen einen (hier gleichgültigen) Ausgangswert der Polhöhe gegeben sind.

	1899—00	1900—1	1901—2	1902—3	1903—4	1904—5	1905—6	1906—7	1907—8	1908—9
Gruppe										
III	+0.03	-0.13	-0.40	-0.75	-0.78	-0.92	-1.34	-1.71	-2.06	
IV	+0.05	-0.10	-0.45	-0.80	-0.87	-1.06	-1.47	-1.75	-2.02	
V	+0.03	-0.17	-0.50	-0.78	-0.95	-1.18	-1.58	-1.79	-1.99	
VI	+0.02	-0.17	-0.48	-0.79	-0.96	-1.23	-1.64	-1.80	-1.93	
VII	-0.06	-0.12	-0.43	-0.75	-0.98	-1.30	-1.70	-1.80	-1.94	
VIII	-0.17	-0.14	-0.39	-0.70	-0.96	-1.33	-1.77	-1.89	-1.93	
IX	-0.18	-0.13	-0.34	-0.65	-0.90	-1.33	-1.79	-1.93	-1.95	
X	-0.20	-0.18	-0.32	-0.55	-0.81	-1.27	-1.79	-1.94	-2.01	
XI	„	-0.23	-0.16	-0.34	-0.47	-0.73	-1.17	-1.69	-1.97	-2.10
XII	+0.03	-0.22	-0.27	-0.40	-0.48	-0.68	-1.11	-1.65	-2.04	-2.24
I	+0.07	-0.20	-0.29	-0.50	-0.50	-0.75	-1.08	-1.65	-2.08	-2.40
II	0.00	-0.15	-0.36	-0.64	-0.63	-0.81	-1.15	-1.67	-2.08	-2.42

Die Schlußfehler und die Abstiege der $\Sigma\Delta\Phi$ entstehen aus Differenzen beobachteter Größen, und zwar bei nur zweistündiger Zwischenzeit; das systematische Verhalten dieser Widerspruchsgrößen berechtigt zu der Erwartung, daß ihre Beträge bei mehrstündiger Zwischenzeit noch größer ausfallen werden. Umgekehrt darf man aus der Größe der bis jetzt beobachteten Schlußfehler und Abstiege nur auf die Größe der Veränderlichkeit von φ innerhalb zweier Stunden schließen.

Als drittes Beispiel für solche Widersprüche sei das sogenannte Kimura'sche Glied aufgeführt; man versteht darunter das absolute Glied z in jener dreigliedrigen Formel, durch die die Polhöschwankung einer Station gewöhnlich als Funktion der geographischen Länge numerisch dargestellt wird:

$$\varphi - \varphi_0 = x \cos \lambda + y \sin \lambda + z.$$

Dies z -Glied würde, als frei von λ , für sämtliche Stationen gleich erscheinen müssen; dies trifft nur zum Teile ein, es wird zum Teile ganz geleugnet. Jedenfalls wird es wesentlich beeinflußt von der Unsicherheit der Deklinationsverbesserungen, wohl auch von anderen Ursachen mit jährlicher Periode. Während sein erster Berechner, Herr Kimura (Japan), die Extreme der z -Amplitude angibt zu $+0.03''$ und $-0.03''$, zeigen die Differenzen eines Pulkowaer z -Gliedes gegen das z -Glied aus den 6 Stationen des 39. Parallels eine ausgesprochene Schwankung mit Extremen der Amplitude, die $+0.1''$ und $-0.1''$ überschreiten, wie folgende Tabelle*) lehrt:

*) Über die Berechtigung des Reduktionsverfahrens des Internationalen Breitendienstes. Vom Zentralbureau der Internationalen Erdmessung: «Astronomische Nachrichten», Band 193, Nr. 4627, S. 341.

	z (δ Cassiop.)			z (Intern. Br.-Dienst)			Mittel	
	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1905/7	1908/10
.0	-0.01	+0.01	-0.02	+0.03	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01
.1	-0.01	+0.04	+0.04	-0.08	-0.05	-0.03	+0.02	-0.05
.2	-0.09	+0.07	+0.11	—	-0.05	-0.02	+0.03	-0.04
.3	+0.03	+0.08	+0.07	-0.01	-0.06	0.00	+0.06	-0.02
.4	+0.05	+0.03	+0.04	-0.12	-0.03	+0.05	+0.04	-0.03
.5	+0.06	+0.02	0.00	-0.10	-0.02	+0.04	+0.03	-0.03
.6	+0.08	+0.06	-0.04	-0.05	-0.02	-0.04	+0.03	-0.04
.7	+0.08	+0.05	-0.04	-0.01	-0.03	-0.12	+0.03	-0.05
.8	+0.04	+0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	+0.02	-0.01
.9	0.00	0.00	-0.01	-0.04	+0.01	-0.01	0.00	-0.01
Mittel	+0.01	+0.04	+0.01	-0.04	-0.03	-0.02		
Amplit.	0.17	0.08	0.15	0.15	0.07	0.17		

Zu δ Cassiopejæ gehört die konstante Sternzeit 1.3^h, während sich die Sterne des Internationalen Breitendienstes über den ganzen Umfang verteilen. Man erkennt ohne Rechnung, daß systematische Schwankung vorhanden ist, schon aus der Verteilung der Vorzeichen; es entfallen

auf die Jahre	1905, 6, 7	1908, 9, 10
positive Vorzeichen	19	4
negative „	8	24
0	3	1

Bei näherer Beschäftigung mit den mannigfachen Fluktuationen in dem ganzen allmählich entstandenen Zahlenmaterial gewinnt man doch den Eindruck, daß noch verborgene Ursachen einen wesentlichen Einfluß haben, der gesetzmäßiger Art ist und zum Teil bemerkenswert stetig verlaufen muß; es befriedigt nicht, nur einen Teil dieser Fluktuationen zu einem bestimmten Zwecke, wie zur Ableitung der x, y, z , verwendet zu sehen, während andere im gleichen Beobachtungsmaterial noch enthaltene Fluktuationen von gleicher Größenordnung lediglich «systematische Beeinflussungen» genannt werden und unbeachtet bleiben. Es fehlt der Nachweis, daß die Rechenoperationen zur Ableitung der Deklinationsverbesserungen und der bevorzugten x und y sich mit den Ursachen dieser Fluktuationen vertragen.

Aus einer langperiodischen Schwankung der Polhöhe allein können solche Widersprüche, wie Schlußfehler oder An- und Abstiege der Σ mit ihren neuen, besonderen Eigenschaften, nicht erklärt werden; es wird notwendig, den Komplex dieser Fluktuationen im ganzen zu behandeln.

Im § 3 einer im Sommer 1913 erschienenen Arbeit**) habe ich eine ältere Hypothese neu aufgenommen, nämlich daß eine oder mehrere Periodizitäten kurzer Dauer bestehen, und zwar nehme ich sie zunächst der Art an,

**) Über Gezeitenerscheinungen in den Schwankungen der Stationspolhöhen. Denkschriften der Math.-Naturw. Klasse der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Bd. 89, Wien 1913.

erstens daß ihre durchschnittliche Dauer nahezu gleich einem Tage oder einem Halbtage sei,

zweitens daß ihr Verlauf dem einer Sinuskurve entspreche.

Diese Annahmen sind naheliegend; es genüge in bezug auf die erste anzuführen, daß ein scheinbarer Sonnen- oder Mondumlauf sich von einem Tage nur um rund 4^{min} oder 52^{min} unterscheidet. In bezug auf die zweite Annahme erwähne ich, daß Erscheinungen, wie Tages- und Monatstemperaturen, Fluthöhe des Meeres, nahezu Sinusgesetze befolgen, sowie daß sie verträglich ist mit dem Ausdruck für die fluterzeugende Kraft eines anziehenden Körpers.

Um den Einfluß dieser Hypothese auf Polhöschwankung, Schlußfehler und $\Sigma \Delta \Phi$ in geschlossener Form berechnen zu können, möge für den Verlauf die Form angesetzt werden: Konstante $\times \sin$ (Zeit-Argument). Man hat dann die Argumente für die Beobachtungsepoche jeder Gruppe zu bilden und danach sämtliche Rechenoperationen des üblichen Reduktionsverfahrens durchzuführen; dabei ist wohl zu beachten, daß dieses auf Veränderlichkeit zwischen den Tagesepochen zweier Nachbargruppen keine Rücksicht nimmt.

Um zu übersichtlichen, geschlossenen Ausdrücken zu gelangen, setze ich ein vereinfachtes Beobachtungsprogramm voraus:

1. Es werden jeden Tag zwei Nachbargruppen beobachtet; diese Bedingung ist bei der bevorzugten italienischen Station Carloforte monatelang fast genau erfüllt.

2. Die Gruppenpaare werden gleichlange Zeit hindurch beobachtet, bei 12 Gruppen demnach durchschnittlich einen Monat lang; tatsächlich schwanken die Beobachtungszeiten zwischen 25 und 40 Tagen; welche Ungleichheit Asymmetrie in den Formeln verursachen würde. Den Einfluß einer solchen Asymmetrie habe ich nachträglich besonders berücksichtigt.

Nennt man

d den Unterschied der Perioden gegen den (kürzeren) Sterntag,

b die Zwischenzeit zwischen zwei Gruppen, hier 2^{h} Sternzeit,

A einen beliebigen Anfangswert für die Zählung des Arguments,

so sind die Argumente während des ersten Monats:

Nr. des Beob.-Tages	1. Abendgruppe	2. Abendgruppe
1	A	$A + b$
2	$A - d$	$A - d + b$
3	$A - 2d$	$A - 2d + b$
...
p	$A - (p-1)d$	$A - (p-1)d + b$
Hierauf: Erster Gruppenwechsel		
$p+1$	$A - pd + b$	$A - pd + 2b$
$p+2$	$A - (p+1)d + b$	$A - (p+1)d + 2b$
...

Um den Einfluß auf einen Schlußfehler zu finden, hat man demnach die Sinus dieser Argumente zu bilden, sie gruppenweise und monatweise zu mitteln,

die zwei Mittel der beiden Gruppen eines Tages zu subtrahieren und je zwölf sukzessive Gruppendifferenzen zu summieren. Nennt man m die der Zeit proportional wachsende Anzahl der Gruppenwechsel, so wird der Ausdruck für den Einfluß, den eine solche vernachlässigte Tagesschwankung auf den Schlußfehler hat, von der Form

$$C_1 \cdot \frac{\sin\left(12 \cdot \frac{pd-b}{2}\right)}{\sin \frac{pd-b}{2}} \cdot \cos[A_1 - m \cdot (pd-b)] \dots \dots \dots 1)$$

Die Zählung von m beginnt hier bei 12; C_1 und A_1 bedeuten Konstanten. Man erkennt:

Erstens, daß der Sinusquotient für den Fall

$$\frac{pd-b}{2} \text{ gleich oder sehr nahe gleich } \pm n\pi, n=0, 1, 2, \dots$$

eine beträchtliche Vergrößerung hervorbringen kann, da sein Grenzwert 12 ist. Ist die Interferenzbedingung genau erfüllt, so wird bei diesem idealisierten Programm der Einfluß auf den Schlußfehler konstant; ist sie nur nahe erfüllt, so entsteht eine langperiodische Schwankung im Verlaufe der Schlußfehlerfolgen. Wie schon oben erwähnt, sind solche in den Beobachtungen vorhanden.

Zweitens, daß der Gruppenwechsel Einfluß auf die Periodendauer gewinnt, da b in den Koeffizienten der Zeit eingeht. Die Periodendauer wird $\frac{2\pi}{pd-b}$; sind demnach d und b positiv, so treten gegenüber der Periode ohne Gruppenwechsel: $\frac{2\pi}{pd}$ Verlängerungen auf.

Wendet man in analoger Weise auf jene Sinusfunktion diejenigen rechnerischen Operationen an, die zur Berechnung der $\Sigma \Delta \Phi$ nötig sind, so erhält man für den Einfluß einer vernachlässigten Tagesschwankung die Form

$$C_2 \cdot \frac{\sin\left(m \cdot \frac{pd-b}{2}\right)}{\sin \frac{pd-b}{2}} \cdot \cos\left[A_2 - m \cdot \left(\frac{pd-b}{2}\right)\right] \dots \dots \dots 2)$$

Wird hier $pd-b=0$, so tritt m , das ist die Zeit selbst, aus dem Sinusquotienten heraus, während sie im Argument des cos verschwindet; man erhält somit für Σ eine lineare Funktion der Zeit, wie es die Beobachtungen tatsächlich ergeben. Ist die Interferenzbedingung nur nahezu erfüllt, so entstehen auch hier langperiodische Schwankungen. Aus der folgenden Form für diesen Einfluß auf die Σ

$$C_2' \cdot (-\sin A_2' + \sin[A_2' - m \cdot (pd-b)]) \dots \dots \dots 3)$$

erkennt man, daß die Zeitglieder im sin hier und im cos der Schlußfehlerformel 1) die gleichen sind; A_2' und C_2' bedeuten Konstanten.

Berechnet man endlich den Einfluß auf die Kurve der Abendmittel der Polhöhe selbst, aus der dann die Polkoordinaten berechnet werden, so erhält man dafür die Form:

$$C_3 \cdot \sin [A_3 - m(pd - b)] = \frac{\sin \frac{pd}{2}}{p \cdot \sin \frac{d}{2}} \cdot \cos \frac{b}{2} \cdot \sin [A_3 - m(pd - b)] \quad . \quad 4)$$

Der konstante Faktor C_3 ist nur wenig kleiner als 1, die angenommene Sinusschwingung veranlaßt mithin eine langperiodische Schwankung von fast gleicher Amplitude; von der Periodendauer und ihrer Verlängerung infolge Gruppenwechsels gilt Gleiches wie oben. Eine solche Schwankung würde sich über eine eigentliche langperiodische Polhöenschwankung lagern; ihr Einfluß könnte sich u. a. in den systematischen Fehlern äußern, die in den Polhöenreihen der einzelnen Stationen nach der Ausgleichung übrig bleiben.*)

Aus der Gleichheit der Zeitglieder in den Argumenten der Formeln 1) und 3) ergibt sich noch eine Folgerung; durch diese Formeln dargestellte Kurven müssen sich durch eine Parallelverschiebung in eine solche Lage bringen lassen, daß die Zeiten der Extreme zusammenfallen; dies trifft für die sechs Stationen des 39. Parallels nahezu für 1900—09 zu, so beispielsweise für Ukiah folgendermaßen:

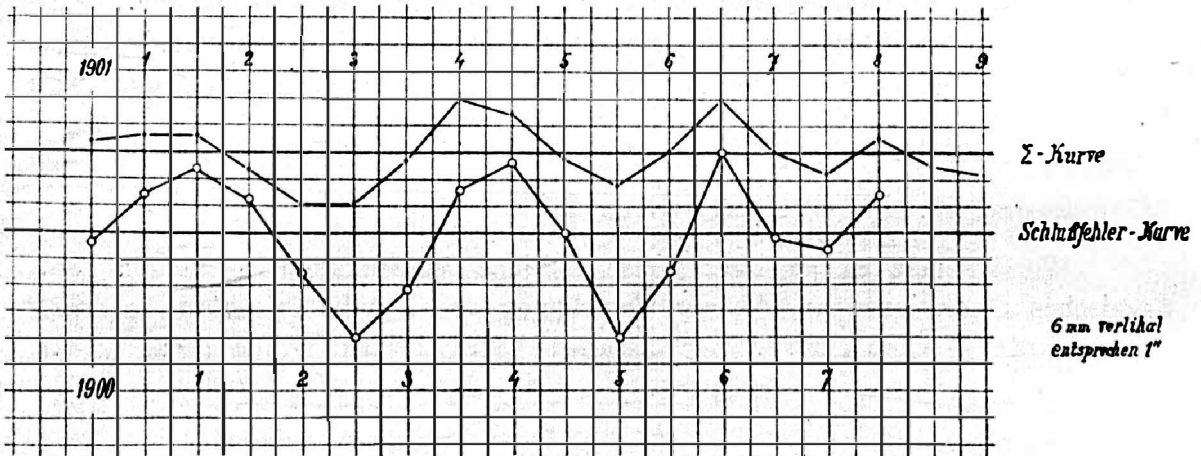


Fig. 1.

Aus der beobachteten Σ -Kurve trat diese, der Schlußfehlerkurve nahe parallele Kurve hervor, nachdem das lineare Glied sowie die langperiodische Polhöenschwankung der Station numerisch eliminiert waren. Eine größere Abweichung findet 1903/4 für Gaithersburg statt; es wäre interessant, einer Begründung hierfür nachzuforschen.

Aus Figur 1 erkennt man, daß die Schwankung der Schlußfehler eine größere Amplitude hat; auch dies entspricht nach dem Einsetzen der numerischen Werte den Formeln 1) und 3), die auf der Annahme einer Tagesschwingung beruhen.

*) Resultate des Internationalen Breitendienstes von Th. Albrecht und B. Wanach. Band III, S. 224—226; Band IV, S. 240/1.

Setzt man eine Sinusschwingung mit zwei täglichen Umläufen an, so verdoppeln sich nahezu die Grenzwerte der Sinusquotienten in den Ausdrücken für die Schlußfehler und die Σ ; im übrigen treten keine wesentlichen Änderungen in den Ergebnissen ein.

Die nächste Frage ist die: Für welche Werte von d treten Interferenzen ein?

Es ist $p = 30,44$ Sterntagen, $b = 2$ Sternstunden; setzt man nacheinander:

$$\begin{array}{r} p d - b = \quad 0^\circ \quad 180^\circ \quad 360^\circ \quad 540^\circ \\ \text{so wird} \quad d = \quad 0,986^\circ \quad 6,90^\circ \quad 12,81^\circ \quad 18,73^\circ \end{array}$$

Bekanntlich ist die mittlere tägliche Bewegung der Sonne $0,986^\circ$, des Mondes $13,18^\circ$; die genaue Überereinstimmung für die Sonne hängt damit zusammen, daß infolge des Gruppenwechsels die Beobachtungszeit immer wieder zur selben Tageszeit zurückgeführt wird.

Nicht vorherzusehen war, daß für den Mond so nahe Resonanz eintritt. Besteht somit eine Beeinflussung der Beobachtung mit der mittleren Periode von rund $24,9^h$, so können bei diesem Beobachtungsprogramm langperiodische Gänge zutage treten; das Gleiche gilt für Beeinflussungen mit zwei täglichen Umläufen, wie bei Ebbe und Flut des Meeres. Bei 10 Gruppen findet immerhin noch nahe Resonanz statt.

Bei anderer Gruppenanzahl oder bei Verwendung anderer Methoden und Programme können nach alledem wohl gesetzmäßige Unterschiede auftreten; die tatsächlich auftretenden haben schon manches Bedenken veranlaßt, einige von ihnen habe ich im § 1 a. a. O. aufgeführt.

Es besteht große Schwierigkeit, eine tägliche Periodizität mit einer Amplitude von $0,1''$ oder weniger direkt nachzuweisen; offenbar ist das Tageslicht das größte Hindernis wegen des Fortfalles der schwächeren Sterne. Es sind aber einige Beobachtungsreihen vorhanden, die direkt dafür sprechen, daß während der täglichen Beobachtungszeit gewisse Einflüsse sich ändern. Im § 4 werden einige solche Reihen, beobachtet in Potsdam und in Dorpat, besprochen, wobei u. a. gezeigt wird, daß sich aus der berechneten täglichen Periode der Wert des schon anderweitig berechneten Schlußfehlers gut übereinstimmend ergibt.

In Mizusawa (Japan) sind während eines Jahres täglich vier (während der Sommermonate drei) Gruppen beobachtet worden; sie ergeben zwar, nach dem üblichen Verfahren reduziert, nahezu gleiche Polhöenschwankungen, aber total verschiedene Schlußfehler und Σ -Reihen.

Aus der neuesten Zeit sei hinzugesetzt, daß auf der Sternwarte Pino Torinese (Italien) längere Zeit hindurch vier hellere Sterne in verschiedenen Rektaszensionen beobachtet wurden, und zwar nach einer von der üblichen wesentlich verschiedenen Methode; ein Gruppenwechsel mit anschließenden Summationen fällt hier weg. Über die Ergebnisse veröffentlicht Herr Boccardi, der Direktor der genannten Sternwarte, folgendes in der Juni-Nummer des «Bulletin Astronomique» 1911: Pendant l'été et l'automne de 1912, la valeur de φ donnée par ces deux dernières étoiles (= δ und α Cygni) avait augmenté toujours; pendant l'hiver de 1913 elle a diminué. Au printemps elle a recommencé à augmenter. Le contraire a eu lieu pour β Aurigae et ψ Ursae M.

Die Rektaszensionen dieser vier Sterne sind der Reihe nach: $19^{\text{h}}7^{\text{m}}$, $20^{\text{h}}6^{\text{m}}$, $5^{\text{h}}9^{\text{m}}$, $11^{\text{h}}1^{\text{m}}$.

Aus zwei im Jahre 1913 erschienenen Arbeiten des Astronomen Tucker vom Lickobservatorium geht hervor, daß das aus Sternbeobachtungen abgeleitete *Märenazimut* sowie die dortige Refraktion tägliche Veränderlichkeit zeigen.

Bereits vor 10 Jahren stellte ich mir die Aufgabe, den Einfluß einer gesetzmäßigen täglichen Veränderlichkeit auf die Polhöhenbestimmung rechnerisch zu verfolgen; es schien mir damals wichtiger, Folgerungen aus einer Beobachtungsreihe zu ziehen, als ein formales Gesetz etwa in Gestalt einer Sinusfunktion zugrunde zu legen. Aus der bekannten Struve'schen Reihe zur Bestimmung der Aberrationskonstante, angestellt 1841/2 mit sieben Sternen, ließ sich eine Tageskurvenschar konstruieren, da die Rektaszensionen und die Beobachtungen so verteilt liegen, daß sich in den verschiedenen Jahreszeiten genügend viele Polhöhen für verschiedene Tageszeiten ergaben. Diese Kurvenschar stellt sich dar als eine langperiodische Schwankung, überlagert von kurzperiodischen Schwingungen, die ihre Gestalt selbst langsam ändern. Stellt man nach ihr gleichsam Beobachtungen an, reduziert sie aber nach dem üblichen Reduktionsverfahren, also unter Vernachlässigung einer Veränderlichkeit zwischen zwei Gruppen, so erhält man*) analoge Systeme von Schlußfehlern; eine ansteigende Σ -Kurve, ein jährlich-periodisches s -Glied u. s. w.

Es sind auch Andeutungen von Mondeinflüssen zu erkennen; durch eine Anordnung der 1894—1900 in Potsdam von den Herren Schnauder und Hecker beobachteten Polhöhen nach dem Stundenwinkel des Mondes erhielt ich folgenden Gang in den Abweichungen vom Mittel:

t	"	t	"	t	"
1 ^h	+0.024	9 ^h	+0.028	17 ^h	+0.038
2	-0.024	10	+0.007	18	+0.008
3	-0.026	11	+0.010	19	+0.007
4	-0.058	12	+0.008	20	+0.019
5	-0.048	13	+0.020	21	+0.028
6	-0.034	14	+0.022	22	-0.002
7	-0.054	15	+0.011	23	-0.008
8	-0.003	16	+0.008	24	+0.009

Aus den Beobachtungen in Carloforte ergibt sich das in Figur 2 dargestellte Kurvenstück; einer Polhöhenschwankung.

Eingetragen sind hier die Abendresultate aus 10—12 Sternpaaren; jene mit weniger Sternen schließen sich dem Verlaufe an, ohne zu widersprechen. Man erkennt unschwer fünf Umläufe von rund 14 Tagen Dauer. Bei einer Darstellung nach der doppelten Mondlänge bleibt ein mittlerer Abendfehler von nur $\pm 0.02''$ übrig.

*) *Ergänzungsheft* Nr. 11 zu den *Astronomischen Nachrichten*; S. 23 u. f. Siehe auch: *Astronomische Nachrichten* Nr. 4142/3; S. 223 u. f.

In der «Polbahn» ist eine jährliche und eine 14 $\frac{1}{2}$ -monatliche (die sogenannte Chandler'sche) Periode erkannt worden; außerdem wird bisweilen ein Zyklus von 6 Jahren in Betracht gezogen und ein solcher spielt auch in der Gezeitentheorie eine Rolle. Er wird aus den Umlaufzeiten des Mondknotens Δ und des Mondperigaeums ϕ durch Kombination abgeleitet. Aus der Gleichung

$$\frac{1}{\Delta} + \frac{1}{\phi} = \frac{1}{x}$$

folgt mit den beiden Umlaufzeiten von 3231.5 Tagen für Δ und 6798.3 Tagen für ϕ als Wert für x : 2190.3 Tage gleich 5 Jahren 364 Tagen, so daß eine Übereinstimmung bis auf einige Tage stattfindet.

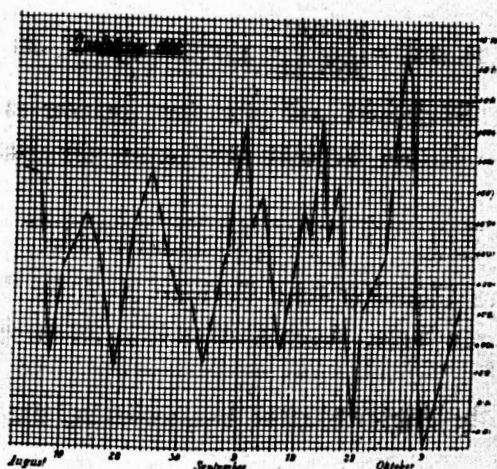


Fig. 2.

Im § 2 wird der Radiusvektor der «Polbahn» numerisch untersucht, und von besonderem Interesse sind die Perioden der sich zeigenden Schwankungen. Unter diesen scheint mir jährliche Periodizität geringeres Interesse zu haben, da sie leicht durch äußere Einflüsse entstellt sein kann; sie ist deshalb eliminiert worden, und zwar dadurch, daß sukzessive Jahresmittel gebildet wurden über die Ordinaten zwischen 1890.0—91.0, 1890.1—91.1 u. s. f. Die so entstehende Kurve von Jahresmitteln zeigt bei ziemlich glattem Verlauf zwei Hauptmaxima 1890.4 und 1910.4, dazu zwei Nebenmaxima bei 1897.4 und 1903.5. Eine numerische Darstellung nach einer trigonometrischen Reihe, fortschreitend nach Mondargumenten lehrte, daß außer diesen Perioden von etwa 20 und 6 Jahren noch eine 9jährige Periode vorhanden sei. Die auf mehrfache Weise ermittelten Periodenlängen, zusammen mit der vorhin erwähnten 14-tägigen in Carlotorte, sind:

19.5 Jahre 9.7 Jahre 6.4 Jahre 14.28 Tage.

Gegenüber den bekannten Mondperioden:

18.6 Jahre 8.85 Jahre 6.0 Jahre 13.66 Tage

stellt sich demnach durchwegs eine Verlängerung heraus, was mit Rücksicht auf die obigen Darlegungen über den Einfluß des Gruppenwechsels auf die Periodendauer immerhin bemerkenswert ist.

Die etwa 21-jährige Reihe der Jahresmittel läßt sich durch eine einzige Formel mit einem mittleren Fehler von $\pm 0.02''$ bis $\pm 0.03''$ darstellen.

Es scheinen eine oder mehrere numerische Beziehungen zu bestehen, die noch nicht völlig klaggestellt sind. Stellt man sich die Aufgabe, zu suchen

erstens: eine mittlere tägliche Bewegung, die mit dem Sterntag eine Schwebung nach 6 Jahren erzeugt, so erhält man als Differenz der Schwingungszeiten $\frac{86400^s}{6 \text{ Jahre}}$ gleich 39^s für einen Tag;

zweitens: eine mittlere tägliche Bewegung, die mit dem Sterntag eine Schwebung nach $14\frac{1}{2}$ Monaten gleich 435 Tagen erzeugt, so folgt für dieselbe Differenz $\frac{86400^s}{435}$ gleich 199^s für einen Tag. Die Summe beider 238^s stimmt mit der «Voreilung», also mit $\frac{86400^s}{365,24}$ gleich 236.5^s so gut wie vollständig überein, namentlich mit Rücksicht auf die den beiden ersteren Perioden noch anhaftende Unsicherheit. Mithin besteht sehr nahe die Beziehung

$$\frac{1}{6 \text{ Jahres-Zyklus}} + \frac{1}{14\frac{1}{2} \text{ Monats-Periode}} = \frac{1}{\text{Jahr}}$$

so daß sich hiedurch die Chandler'sche Periode auch in Beziehung zu den Umläufen von Δ und ρ bringen ließe. Auch andere Interferenz-Rechnungen führen auf eine solche Beziehung.

Nebenbei sei auf die Ungleichheiten hingewiesen, die in der Mondbewegung selbst bestehen.

Die Vermutung des Herrn Kimura (Japan), daß die $14\frac{1}{2}$ Monats-Periode veränderlich sei, bestätigt sich gemäß obiger Formel aus den zwischen 1890 bis 1912 veränderlichen Werten für den 6 Jahres-Zyklus; ihr Wert dürfte zwischen 427 und 440 Tagen in langer Periode schwanken.*)

Bei einer numerischen Darstellung des Radiusvektors der Polbahn selbst bleiben Fehler übrig, die noch gesetzmäßige Schwankung aufweisen; dabei zeigt sich eine bemerkenswerte Verschiedenheit zwischen den Zeiträumen 1890 bis 1900 und 1900 bis 1912. Die Beobachtungen des ersten Abschnittes stammen von Sternwarten auf verschiedenen Parallelen, die des zweiten von den sechs Stationen des 39. Parallels. Es ergeben sich für den ersten [Abschnitt etwa 17 Schwankungen in 11 Jahren, für den zweiten nur etwa 11 Schwankungen in 12 Jahren. Es ist auffällig, daß der Stationswechsel die Polbahn derartig beeinflussen soll; aus der Größe dieser Schwankungen muß man wiederum schließen, daß die berechnete Polbahn bis $0.1''$ durch Stationseinflüsse entstellt sein kann.

Die Formeln 1), 2) und 3) beruhen auf der Annahme von identischen Sinusschwingungen mit Perioden von nahe einem Tage; daß auch aus gesetzmäßig

*) Auch Herr H. G. van de Sande Bakhuyzen hält kleine Aenderungen in der Chandlerschen Periode für sehr wahrscheinlich; siehe Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft, 48. Jahrgang, Seite 221; 1913.

veränderlichen Tagesschwingungen Schlußfehler und Anstiege der Σ entstehen können, lehrt die Untersuchung der oben erwähnten Tageskurvenschar, und dies ist der Grund, weshalb hier auf sie zurückgegriffen wurde.

Das Auffinden physikalischer Ursachen (§ 5) für derartige Tagesschwingungen wird auch erschwert dadurch, daß die Beobachtungszeiten sich nicht genügend über den Tag erstrecken; Beobachtungen und Untersuchungen verschiedener Art aus der letzten Zeit haben dargetan, daß rhythmische Vorgänge kürzerer oder längerer Periode in der Erdkruste und in der Atmosphäre vorhanden sein dürften, säkulare Bewegungen ganzer Kontinente gegeneinander sind in Betracht gezogen worden. Zahlreiche Untersuchungen sind im Gange, darunter auch astronomische Beobachtungsreihen, die sich nach Möglichkeit über alle Tageszeiten erstrecken, wie ich es bereits 1906 für den ersten Vertikal vorgeschlagen hatte. Es erscheint wichtig, auch auf alle Tageszeiten Massenbeobachtungen einzurichten, so wie es jetzt für die ersten Nachtstunden der Fall ist. Da ferner die Refraktionssterne in 60° Zenithdistanz, die auf den sechs Stationen des 39. Parallels von 1900—1906 auf Veranlassung von Herrn Helmert beobachtet wurden, Schlußfehler und Σ -Reihenergebnisse, die mit denen der gleichzeitig beobachteten zenithnahen Sterne unvereinbar sind, so liegt der Vorschlag nahe, auch zum Studium dieser Frage Massenbeobachtungen einzurichten, etwa auf einer Station durch Anwendung mehrerer Instrumente, so daß der Meridian der Station bis zu 70° oder 80° Zenithdistanz gleichmäßig mit Sternen bedeckt ist. Danach erfolgt getrennte Berechnung der Schlußfehler, der Polhöenschwankung und der $\Delta\Phi$ je nach der Zenithdistanz.

Es muß erreicht werden können, daß eine Polhöenschwankung übereinstimmend aus verschiedenen Methoden der Beobachtung nach der Reduktion erhalten wird, frei von so großen Widersprüchen; andernfalls darf man die berechnete Polbahn noch nicht als definitiv bezeichnen.

Der geodätische Hilfsstatus des Wiener Stadtbauamtes.

Die nach der Vereinigung der Vororte mit Wien durch den bedeutenden Gebietszuwachs immer zunehmende Steigerung der Verwaltungsgeschäfte hatte als eine der wichtigeren Neuerungen die Schaffung eines General-Regulierungsbureaus zur Folge, wobei am 11. September 1894 folgende Bestimmungen getroffen wurden:

1. Die Bildung eines eigenen Bureaus als Bauamtsabteilung mit der Aufgabe, die Stadtplanaufnahme von Wien zu vervollständigen und einen General-Regulierungsplan anzufertigen, welcher zur definitiven Feststellung und Durchführung geeignet ist, wird genehmigt. Dieses Bureau hat weiters auch die mittlerweile notwendig werdenden Baulinien- und Niveauprojekte zu verfassen und die bezüglichen Anträge zu stellen.

2. Die Leitung dieses Bureaus wird dem Stadt-Baudirektor übertragen; als Bureauvorstand wird ein Oberbeamter des Stadtbauamtes bestellt.