



Die „**Sammlung Vieweg**“ hat sich die Aufgabe gestellt, Wissens- und Forschungsgebiete, Theorien, chemisch-technische Verfahren usw., die im Stadium der Entwicklung stehen, durch zusammenfassende Behandlung unter Beifügung der wichtigsten Literaturangaben weiteren Kreisen bekanntzumachen und ihren **augenblicklichen Entwicklungsstand zu beleuchten**. Sie will dadurch die Orientierung erleichtern und die Richtung zu zeigen suchen, welche die weitere Forschung einzuschlagen hat.

*Verzeichnis der bisher erschienenen Hefte siehe dritte Umschlagseite.*

Als Herausgeber der einzelnen Gebiete, auf welche sich die Sammlung Vieweg zunächst erstreckt, sind tätig und zwar für:

**Physik** (theoretische und praktische, und mathematische Probleme):

Herr Professor **Dr. Karl Scheel**, Physikal.-Techn. Reichsanstalt, Charlottenburg;

**Kosmische Physik** (Astrophysik, Meteorologie und wissenschaftliche Luftfahrt — Aerologie — Geophysik):

Herr Geh. Reg.-Rat Professor **Dr. med. et phil. R. Assmann**, Königl. Aeronaut. Observatorium Lindenberg (Kr. Beeskow);

**Chemie** (Allgemeine, Organische und Anorganische Chemie, Physikal. Chemie, Elektrochemie, Technische Chemie, Chemie in ihrer Anwendung auf Künste und Gewerbe, Photochemie, Metallurgie, Bergbau):

Herr Professor **Dr. B. Neumann**, Techn. Hochschule, Breslau;

**Technik** (Elektro-, Maschinen-, Schiffbautechnik, Flugtechnik, Motoren, Brückenbau):

Herr Professor **Dr.-Ing. h. c. Fritz Emde**, Techn. Hochschule, Stuttgart;

**Biologie** (Allgemeine Biologie der Tiere und Pflanzen, Biophysik, Biochemie, Immunitätsforschung, Pharmakodynamik, Chemotherapie):

Herr Professor **Dr. phil. et med. Carl Oppenheimer**, Berlin-Grünwald.

DIE  
POLHÖHENSCHWANKUNGEN

VON  
DR. E. PRZYBYLLOK

---

MIT 8 ABBILDUNGEN IM TEXT UND AUF 3 TAFELN



---

SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH

---

Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-322-98354-1      ISBN 978-3-322-99091-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-99091-4

Copyright 1914, by Springer Fachmedien Wiesbaden  
Ursprünglich erschienen bei **Friedr. Vieweg & Sohn,**  
Braunschweig, Germany.

---

Die mathematische Behandlung der Rotation der Erde ist bisher geschehen unter der Voraussetzung, daß die Erde ein homogenes, starres Rotationsellipsoid ist; in dieser Form geht das Problem auf Euler zurück, der die nach ihm benannten Differentialgleichungen integrierte. Nun ist die Umdrehungsachse der Erde gegen die Ekliptik um einen Winkel von  $23\frac{1}{2}^{\circ}$  geneigt, die sogenannte Schiefe der Ekliptik; die abgeplattete Erde kann ferner betrachtet werden als Kugel, der ein äquatorealer Wulst gleichsam aufgelagert ist. Die anziehende Wirkung von Sonne und Mond auf diesen Wulst erzwingt Schwingungen der Rotationsachse, die unter dem Namen der Präzession und Nutation der Erdachse bekannt sind. Euler zeigte, daß bei der Integration der Differentialgleichungen der Rotation der Erde zwei willkürliche Konstanten auftreten, welche die Lage der Umdrehungsachse gegen eine im Erdkörper feste Achse darstellen. Fallen beide Achsen nicht zusammen, einen Anfangszustand angenommen, so muß eine freie Nutation existieren, dergestalt, daß die instantane Umdrehungsachse im Erdkörper einen Kreiskegel um die Figurenachse der Erde beschreibt, wobei unter der Figurenachse diejenige Hauptträgheitsachse verstanden ist, die genähert Nord- und Südpol der Erde verbindet. Die Periode dieser freien Schwingung hängt ab von den aus der Präzession zu berechnenden Hauptträgheitsmomenten der Erde  $A$  und  $C$  (die äquatorealen Hauptträgheitsmomente als gleich vorausgesetzt) und der Rotationsgeschwindigkeit der Erde in der Zeiteinheit  $n$  und beträgt

$$t = \frac{2\pi}{n} \frac{A}{C - A} = 304,8 \text{ mittleren Sonnentagen (Eulerscher Zyklus).}$$

Die oben gemachten Voraussetzungen der Starrheit und Homogenität des Erdkörpers treffen nun keineswegs zu; läßt man sie indessen fallen, so stellen sich der mathematischen Behandlung

des Problems große Schwierigkeiten entgegen; abschließende Untersuchungen in dieser Richtung liegen bisher noch nicht vor.

Die Amplitude der freien Nutation kann nur durch Beobachtungen festgestellt werden. Änderungen der Umdrehungsachse der Erde bezüglich ihrer Figurenachse müssen sich nun verraten in Änderungen der geographischen Breite oder Polhöhe eines Ortes, der Längendifferenz zwischen zwei Orten und endlich in Änderungen des Winkels, den die Verbindungslinie zweier terrestrischer Objekte mit dem Meridian bildet.

Unter der Polhöhe eines Punktes der Erdoberfläche soll die Neigung der Flächennormale des Geoids in jenem Punkte gegen die zur instantanen Rotationsachse der Erde senkrechten Ebene verstanden sein; sie ist also das Komplement des Winkels zwischen astronomischem Zenit und Himmelspol. Man kann daher, wenn man auf die Koordinaten der Gestirne Bezug nimmt, die Polhöhe auch als die Deklination des Zenits definieren. Dementsprechend ergeben sich zwei Wege zur Bestimmung der Polhöhe durch Beobachtung von Gestirnen; die eine, fundamentaler Natur, macht keinerlei Voraussetzungen über die Deklination der zu messenden Gestirne, die zweite Methode nimmt diese Größe als bekannt an und gibt somit die Polhöhe in irgend einem Deklinationssystem.

Die fundamentale Bestimmung der Polhöhe gründet sich auf die einfachen Beziehungen zwischen der Deklination  $\delta$  des Sternes, der Polhöhe  $\varphi$  und der gemessenen Meridianzenitdistanz  $z$  des Sternes; es ist nämlich für ein und denselben Stern:

$$\begin{aligned} \text{beobachtet in oberer Kulmination: } z_o &= \varphi - \delta \\ \text{„ „ unterer „ : } z_u &= 180^\circ - \varphi - \delta \\ \text{und die halbe Differenz: } \frac{1}{2}(z_u - z_o) &= 90^\circ - \varphi \end{aligned}$$

Hierfür eignen sich natürlich nur Zirkumpolarsterne, die in beiden Kulminationen beobachtet werden können und die so hell sind, daß sie auch am Tage im Fernrohr gesehen werden können. Beobachtet man also z. B. die Zenitdistanz des Polarsternes an einem Tage in beiden Kulminationen, so erhält man hierdurch einen Wert für die Polhöhe unabhängig von der Deklination des Sternes, die, wie man leicht sieht, mitbestimmt wird. Vorausgesetzt ist allerdings, daß in der Zwischenzeit während der beiden Kulminationen der Winkel zwischen Zenit und Pol keine unkontrollierbaren Änderungen erlitten hat. Der Nullpunkt des

Kreises läßt sich bei jeder Einzelbeobachtung bequem durch Beobachtung des reflektierten Fadenbildes in einer im Nadir aufgestellten Quecksilberoberfläche ermitteln. In die auf diesem Wege bestimmte Polhöhe gehen eine Reihe von instrumentellen Fehlern ein, als Biegung des Fernrohres, Teilungsfehler des Kreises, persönliche Einstellungsfehler, insbesondere solche, die von der Helligkeit des Himmelshintergrundes abhängen. Die gefährlichste Fehlerquelle indessen ist hier die Refraktion, und es muß bei jeder auf diesem Wege erlangten Polhöhenbestimmung gefordert werden, daß durch gleichzeitige Untersuchung der lokalen Refraktionskonstante die Refraktion des Poles eliminiert wird. Doch gehen Refraktionsanomalien anderer Art noch in diese absoluten Bestimmungen ein, Unterschiede der Refraktion zwischen Tag und Nacht sind nachgewiesen, Abhängigkeit der Refraktion von der Wetterlage wird vermutet; so weist Nyrén darauf hin, daß im Sommer 1868, der ungewöhnlich heiß und trocken war, Anomalien von  $\frac{3}{4}''$  in der Polhöhe beobachtet wurden.

Von großer Bedeutung für die feinsten Messungen ist ferner die sogenannte Saalrefraktion, die von einer unregelmäßigen Temperaturverteilung im Beobachtungsraume herrührt. In dieser Beziehung ist ein im Geodätischen Institut in Potsdam beobachtetes Beispiel besonders lehrreich. Mit Rücksicht auf den stets bestehenden Temperaturunterschied zwischen dem Inneren des Beobachtungsraumes und der Umgebung im Freien hatte man hier tonnenförmige Beobachtungshäuser gebaut, aus zwei Teilen bestehend, die auseinander geschoben wurden und so einen Meridianspalt entstehen ließen. Man konnte so erwarten, daß die Isothermalflächen parallel zur tonnenförmigen Bedachung verlaufen würden; somit würde, wenn das Instrument in der Mitte des Raumes aufgestellt worden wäre, das Objektivende des Fernrohres in allen Zenitdistanzen genähert in ein und derselben Isothermalfläche liegen. Indessen sind in dem Raume zwei Pfeiler aufgestellt worden, die nun natürlich eine exzentrische Lage hatten. Eine auf einem dieser exzentrischen Pfeiler ausgeführte Polhöhenbestimmung ergab einen Wert, der gegen anderweitige Bestimmungen um  $0'',5$  differierte. Helmert konnte nachweisen, daß hierfür lediglich die exzentrische Aufstellung verantwortlich zu machen sei; bereits  $1^{\circ}$  Temperaturdifferenz zwischen innen und außen genügt, um bei Beobachtung zenitnaher

Sterne die Polhöhe um 0'',3 zu verfälschen. Dieses Beispiel zeigt deutlich, welche große Bedeutung den Temperaturverhältnissen der unteren Luftschichten und insbesondere im Beobachtungsraum selbst zukommt.

Frei von der normalen Refraktion ist die Beobachtung der Durchgänge eines Sternes durch den ersten Vertikal, als den senkrecht zum Meridian gelegten, das Zenit schneidenden größten Kreis. Hierzu dient ein Durchgangsinstrument, dessen Drehungsachse im Meridian liegt und dessen Absehenslinie also bei Drehung des Instrumentes um seine Achse den ersten Vertikal beschreibt. Beobachtet man einen im ersten Vertikal stehenden Stern, so gilt in dem sphärischen Dreieck Pol, Zenit und Stern die Gleichung:

$$\cos(\vartheta - \alpha) = \cos t = \operatorname{tg} \delta \operatorname{ctg} \varphi$$

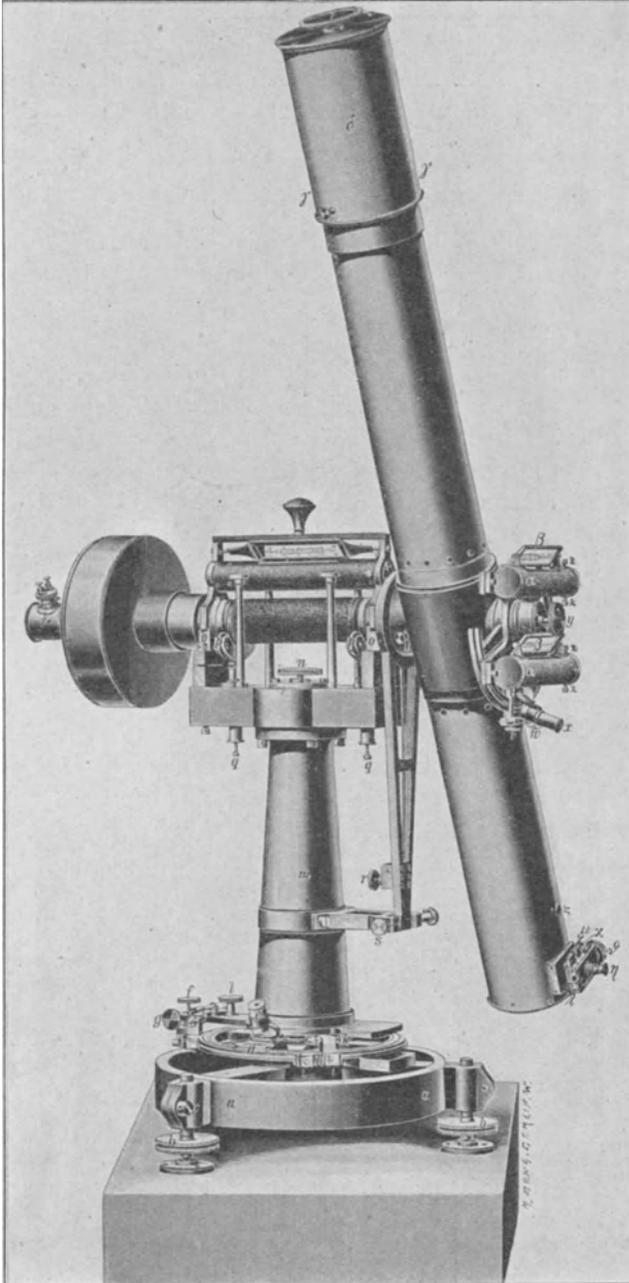
wo  $\varphi$  die Polhöhe,  $\delta$  die Deklination,  $\alpha$  die Rektaszension des Sternes,  $t$  sein Stundenwinkel und  $\vartheta$  die Sternzeit der Beobachtung bedeutet. Beobachtet man nun den Durchgang des Sternes durch den Ost- und Westvertikal zu den Sternzeiten  $\vartheta_1$  und  $\vartheta_2$ , so ist der Stundenwinkel des Sternes, wenn er im ersten Vertikal ist,  $\frac{1}{2}(\vartheta_2 - \vartheta_1)$ , man erhält also:

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \delta \operatorname{sec} \frac{1}{2}(\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

Nimmt man also die Deklination des beobachteten Sternes als bekannt an, so gibt die Differenz der beobachteten Durchgangszeiten, durch den Ost- und Westvertikal wegen instrumenteller Fehler verbessert, eine Bestimmung der Polhöhe. Die innere Genauigkeit, welche man mit dieser Methode erreicht, ist recht beträchtlich, indessen haben sich auch hier systematische Fehlerquellen gezeigt, deren Eliminierung große Schwierigkeiten macht, insbesondere starke persönliche Unterschiede zwischen verschiedenen Beobachtern, Saalrefraktionen in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren, mangelnde Kontrolle instrumenteller Fehler, und vielleicht noch andere Fehlerquellen unbekannter Natur.

Von fundamentaler Bedeutung für die Polhöhenfrage wurde die Horrebow-Talcott-Methode, die durch W. Förster wieder in die Astronomie eingeführt wurde. Als Instrument dient hier ein Universalinstrument oder Passageninstrument, das mit einem Okularmikrometer versehen ist und auf der horizontalen Achse ein oder meistens zwei feine Niveaus trägt. Häufig benutzt man für diesen besonderen Zweck ein Zenitteleskop, das jedoch auch nur

Fig. 1.



ein Universalinstrument vorstellt, dessen Kreise nur eine rohe, zum Aufsuchen der Sterne bestimmte Teilung haben (Fig. 1). Man stellt das Fernrohr im Meridian auf einen im Norden in nicht zu großer Zenitdistanz kulminierenden Stern ein, dreht dann bei unveränderter Stellung des Fernrohres das Instrument um  $180^\circ$  und beobachtet nun die Kulmination eines zweiten Sternes im Süden, der nahezu die gleiche Zenitdistanz hat. Das Querniveau auf der horizontalen Achse gestattet, die unveränderte Lage des Fernrohres gegen das Zenit zu kontrollieren oder etwaige Änderungen zu messen. Der Unterschied zwischen den Zenitdistanzen der beiden Sterne kann mittels des Okularmikrometers in aller Schärfe ermittelt werden. Die schnelle Drehung des Zenitteleskops um  $180^\circ$  erreicht man durch Anschläge am Horizontalkreis, desgleichen findet man solche Anschläge häufig auch bei größeren Universalinstrumenten. Passageninstrumente pflegt man zu diesem Zwecke in den Lagern umzulegen. Man hat bei Aufstellung des Beobachtungsprogramms dafür Sorge zu tragen, daß die beiden Sterne in angemessener Zeit aufeinander folgen und ihre Helligkeitsdifferenz einen nicht zu hohen Betrag erreicht, damit systematische Einstellungsfehler (Helligkeitsgleichung) vermieden werden. Das Mittel der beiden Zenitdistanzen kombiniert mit dem Mittel der beiden Deklinationen gibt dann einen Wert für die Polhöhe. Zuweilen trifft es sich, daß ein Stern so nahe am Zenit kulminiert, daß man in einer Lage des Fernrohres kurz vor dem Meridian eine Messung machen kann und nach Umlegen kurz nach dem Meridian die zweite Messung. Da man stets in der Lage ist, Sternpaare auszuwählen, deren Zenitdistanz gering ist, so hat die Refraktion keinen erheblichen Einfluß, wohl aber Saalrefraktionen, denen eben bei Konstruktion des Beobachtungsraumes Rechnung getragen werden muß.

Es hängt nun die Bestimmung der Polhöhe aufs engste zusammen mit der Bestimmung einiger astronomischer Konstanten, der Nutation, der Aberration und der Parallaxe der Fixsterne, deren scheinbare Deklinationen durch diese Konstanten beeinflußt werden. Die Nutation hat entsprechend dem Umlauf der Mondknoten eine Periode von etwa 19 Jahren und kann bei unseren Betrachtungen außer Acht gelassen werden. Unter der Aberration versteht man bekanntlich den Unterschied in der wahren Richtung des Lichtstrahles nach dem Beobachtungsorte und der beobachteten

Richtung; dieser Unterschied rührt daher, daß die Geschwindigkeit, mit welcher der Beobachtungsort im Raume fortgeführt wird, zur Lichtgeschwindigkeit in einem angebbaren Verhältnis steht. Der Einfluß der Aberration auf die Deklination eines Sternes berechnet sich nach dem Ausdruck:

$$\begin{aligned} \Delta \delta &= k \cos \odot (\sin \alpha \sin \delta \cos \varepsilon - \cos \delta \sin \varepsilon) \\ &\quad - k \sin \odot \cos \alpha \sin \delta \end{aligned}$$

wo  $\alpha$  und  $\delta$  Rektaszension und Deklination des Sternes,  $\varepsilon$  die Schiefe der Ekliptik,  $\odot$  die Länge der Sonne und  $k$  die sogenannte Aberrationskonstante ist. Für letztere wird nach internationaler Vereinbarung der Wert  $k = 20'',47$  angenommen, der wahre Wert dürfte etwas größer sein. Man erkennt, daß der obige Ausdruck wegen  $\cos \odot$  und  $\sin \odot$  eine jährliche Periode hat (jährliche Aberration), und infolge der Gesamtwirkung der Aberration scheint ein Fixstern im Laufe eines Jahres um seinen mittleren Ort eine Ellipse zu beschreiben, deren große Achse gleich der Aberrationskonstanten  $k$  und deren kleine Achse gleich  $k \sin \beta$  ist, wo  $\beta$  die Breite des Sternes bedeutet.

Ebenfalls jährlichen Einfluß hat die Parallaxe der beobachteten Sterne. Als Parallaxe eines Sternes bezeichnet man den Winkel, unter dem vom Stern aus gesehen der Halbmesser der Bahn der Erde um die Sonne erscheint; sie ist mithin ein Maß für die Entfernung des Sternes von der Sonne. Der Einfluß der Parallaxe  $\pi$  auf die beobachtete Deklination ist:

$$\begin{aligned} \Delta \delta &= -\pi R \sin \odot (\cos \varepsilon \sin \alpha \sin \delta - \sin \varepsilon \cos \delta) \\ &\quad - \pi R \cos \odot \sin \delta \cos \alpha \end{aligned}$$

wo  $R \sin \odot$  und  $R \cos \odot$  die rechtwinkligen Koordinaten der Sonne bezüglich der Erde sind, und die übrigen Bezeichnungen dieselben Bedeutungen wie oben haben. Wie aus den beiden Formeln leicht zu ersehen ist, fallen die Maxima und Minima des Einflusses der Parallaxe auf die scheinbare Deklination eines Sternes auf andere Zeiten als bei der Aberration, so daß bei einer Bestimmung der Konstanten aus Beobachtungen einer Trennung beider keinerlei Schwierigkeiten entgegenstehen, wobei allerdings stillschweigend vorausgesetzt ist, daß während der Beobachtungszeit die Polhöhe keine Änderungen erfährt; gemessen wird ja stets die Zenitdistanz, die mit der Polhöhe und der Deklination durch die oben erwähnte Relation  $z = \varphi - \delta$  verbunden ist. Insbesondere würden

Änderungen der Polhöhe, welche die Periode eines Jahres oder wenigstens angenähert diese Periode haben, die Bestimmung dieser beiden Konstanten verfälschen können. Erinnern wir uns jetzt, daß die Eulersche Nutation unter Voraussetzung einer starren und homogenen Erde eine Periode von 304,8 Tagen haben muß, so ist leicht zu verstehen, daß bei einer Diskussion von beobachteten Deklinationen nach Aberration und Parallaxe hin gleichzeitig auch eine Bestimmung der Eulerschen Nutation unternommen werden muß.

Der erste Versuch, die Eulersche Nutation zu ermitteln, geht auf den Begründer der modernen Astronomie F. W. Bessel zurück, der (1820) unter Voraussetzung einer Periode von 327,5 Tagen<sup>1)</sup> die Azimute des Meridianzeichens, die er am Reichenbachschen Meridiankreise der Königsberger Sternwarte beobachtet hatte, einer Ausgleichung unterwarf, die zu dem Resultate  $\vartheta = 0'',110 + 0'',136$  wahrscheinlichem Fehler führte, wo unter  $\vartheta$  der Winkel zwischen der instantanen Rotationsachse der Erde und ihrer Figurenachse verstanden ist. Mit diesem Resultat, aus dem ja nur eine geringfügige Änderung der Polhöhe folgen würde, schien Bessel die Sache für abgetan gehalten zu haben, doch schrieb er später (1844) an Humboldt<sup>2)</sup>: „Ich schreibe Ihnen etwas, das noch unreif ist. Ich habe Verdacht gegen die Unveränderlichkeit der Polhöhe. Meine sehr schön untereinanderstimmenden Beobachtungen mit dem neuen Kreise verkleinern die Polhöhe fortwährend, vom Frühjahr 1842 bis jetzt zwar nur um  $0'',3$ , aber selbst diese Kleinigkeit scheint mir nicht ein Beobachtungsfehler sein zu können, denn nach meiner jetzigen Beobachtungsart wird alles eliminiert, was konstanten Einfluß auf die Mittel der einzelnen Sätze haben könnte. Ich denke dabei an innere Veränderungen des Erdkörpers, welche Einflüsse auf die Richtung der Schwere erlangen.“

Das Problem stand also bereits sehr früh auf der Tagesordnung und ist es wohl nur dem bald darauf erfolgenden Tode Bessels zuzuschreiben, wenn es erst ein halbes Jahrhundert später seine Lösung fand.

---

<sup>1)</sup> Bessel hatte für die Hauptträgheitsmomente der Erde andere Werte angenommen, als wir sie heute verwenden, daher die Differenz in der Länge der Periode.

<sup>2)</sup> Astronom. Nachrichten 136, 207.

Auch von anderer Seite (Brioschi und Pond) wurden Zweifel an der Konstanz der Polhöhe geäußert, ohne daß diese sonderliche Beachtung erfuhren. Untersuchungen fundamentaler Natur, wie sie sich die Sternwarte zu Pulkowa als Hauptaufgabe gestellt hatte, gaben weitere Veranlassung, der Eulerschen Nutation nachzugehen. So führte C. H. F. Peters<sup>1)</sup> die Diskussion seiner Beobachtungen des Polarsternes am Vertikalkreis, nach dem er Aberrationskonstante und Parallaxe abgeleitet hatte, zu einem Werte des Öffnungswinkels  $\Theta = 0'',079$ , der zwar sehr klein war, indessen nach Maßgabe der Genauigkeit des Beobachtungsmaterials als reell angesprochen werden mußte. Nyrén<sup>2)</sup>, der in gewisser Beziehung die Arbeiten von Peters fortsetzte, erhielt bei Bestimmung der Nutation der Erdachse den noch kleineren Wert  $\Theta = 0'',040$ ; da er für die Parallaxen der beobachteten Sterne negative Werte erhält, hält er es für plausibler, in den beobachteten Zenitdistanzen gesetzlich periodische Veränderungen anzunehmen, deren Ursache unerklärt bleibt. Bei späterer Gelegenheit<sup>3)</sup>, bei Untersuchung der Aberrationskonstante aus Beobachtungen im ersten Vertikal, wies er wiederum auf Fluktuationen in den beobachteten Zenitdistanzen hin und sah, um diese zu erklären, zwar eine Möglichkeit in der Annahme einer Breitenänderung, gegen die ihm nur das eine Bedenken aufstieß, daß Änderungen der Polhöhe von gleichem Betrage bisher noch nicht konstatiert worden waren. Ebenso findet Downing<sup>4)</sup> bei Diskussion der Beobachtungen des Polarsternes auf der Sternwarte zu Greenwich in naher Übereinstimmung mit obigen Werten für die Eulersche Nutation  $\Theta = 0'',075$ , aber auch hier sind weitere periodische Änderungen angedeutet.

Waren so in einzelnen Beobachtungsreihen Breitenänderungen vermutet worden, so zeigten überdies Mittelwerte der Polhöhe aus sehr zahlreichen Bestimmungen in verschiedenen Epochen übereinstimmend während des 19. Jahrhunderts eine Abnahme der Polhöhe. In manchen Fällen konnte zwar nachgewiesen werden, wie z. B. Nobile es für Neapel tat, daß eine Neuberechnung mit verbesserten Konstanten die bestehenden Differenzen erheblich

---

1) *Astronom. Nachrichten* **22**, 119.

2) Nyrén, *Bestimmung der Nutation der Erdachse*. St. Petersburg 1872.

3) Nyrén, *L'Aberration des étoiles fixes*. St. Petersburg 1883.

4) *Monthly Notices* **40**, 430.

verkleinerte; indessen konnte das nicht gelten z. B. für Pulkowa, wo die folgenden Werte abgeleitet wurden:

1843 . . . . .	59° 46' 18'',73
1866 . . . . .	18'',65
1872 . . . . .	18'',50

Diese Änderung von fast  $\frac{1}{4}$  Bogensekunde mußte wohl mit Rücksicht auf die große Genauigkeit, die den einzelnen Mittelwerten innewohnte, für reell gehalten werden. So konnte es denn nicht wundernehmen, daß im Jahre 1883 Fergola der Association géodesique internationale einen Vorschlag unterbreitete, das Problem der Polhöenschwankungen durch Kooperation mehrerer Sternwarten energisch in Angriff zu nehmen; er schlug dazu vor, auf Sternwarten, die nahezu auf demselben Parallel liegen, wie z. B. Rom und Chicago, Kap der guten Hoffnung und Sydney, durch Durchgangsbeobachtungen derselben Sterne im ersten Vertikal gemeinsame Polhöhenbestimmungen zu unternehmen. Das Programm, das Fergola hier entwickelt hatte, war vollkommen sachgemäß und wäre zweifellos von Erfolg gewesen; es ist charakteristisch, daß wenige Jahre später im „Internationalen Breitendienst“ derselbe Gedanke wieder aufgenommen wurde. Es zeigte jedenfalls, daß zu dieser Zeit bereits eine Reihe von Astronomen von dem Vorhandensein merklicher Änderungen der Polhöhe überzeugt waren, und von der Notwendigkeit, hier endlich eine Entscheidung herbeizuführen, um so mehr, als sich mit Beginn der achtziger Jahre mit zunehmender Genauigkeit und eingehenderer Kritik der Beobachtungen die Anzeichen für reelle Änderungen der Polhöhe mehrten. Die Bestimmungen der Eulerschen Nutation hatten ja für den Öffnungswinkel so kleine Werte ergeben, daß eine daher rührende Breitenschwankung unmittelbar an den Beobachtungen nicht erkannt werden konnte, die Eulersche Nutation war eben ein Rechnungsergebnis, das in den Augen des einen oder anderen wohl Realität haben mochte, wegen der geringen Größe um so leichter außer acht gelassen werden konnte. Die Unstimmigkeiten in den verschiedenen Beobachtungsreihen mußten also doch wohl eine andere Ursache haben, zum mindesten erschien es gewagt, die Konstanz der Polhöhe zu bezweifeln. Zwar sieht auch L. de Ball<sup>1)</sup>, daß ähnlich wie bei Nyrén auch die auf der Gothaer

---

<sup>1)</sup> Astronom. Nachrichten 109, 39.

Sternwarte im ersten Vertikal beobachteten Deklinationen Änderungen zeigten, aber „es bleibt vor der Hand ein Rätsel“, er wagt nicht, das entscheidende Wort zu sprechen. Ebenso erkennt Chandler<sup>1)</sup> in seinen Bestimmungen der Polhöhe einen Gang nach der Zeit, will aber keinen Kommentar dazu geben. Deutlich genug spricht sich Nobile<sup>2)</sup> aus (1885): „In questi numeri ed in questi curve è impossibile non riconoscere una determinata tendenza della latitudine a crescere verso il principio della seconda metà dell' anno ed una tendenza a diminuire verso la fine dell' anno“. Zu dem gleichen Resultat kam (1888) Küstner<sup>3)</sup> in Berlin bei dem Versuch, die Aberrationskonstante aus Beobachtungen nach der Horrebow-Talcott-Methode zu bestimmen; wie der vorangegangene Autor äußert auch er mit aller Bestimmtheit Zweifel an der Konstanz der Polhöhe, obwohl es sich hier um Differenzen von nur 0",2 innerhalb eines Jahres handelte, so sehr war das Vertrauen in die innere Genauigkeit des Beobachtungsmaterials gewachsen. Freilich fand Küstner eine Bestätigung seiner Ansicht in den schon erwähnten Beobachtungen Nyréns im ersten Vertikal, die bei Annahme einer Veränderlichkeit der Polhöhe eine wesentlich bessere Darstellung ergaben.

Diese Berliner Beobachtungsreihe hatte zur Folge, daß die Polhöhenfrage nun endlich in Fluß kam. Auf der Versammlung der permanenten Kommission der Internationalen Erdmessung zu Salzburg kam W. Foerster wiederum auf den Vorschlag Fergolas zurück; das Zentralbureau der Internationalen Erdmessung wurde beauftragt, zweckdienliche vorbereitende Maßregeln in dieser Angelegenheit zu treffen. Sofort erklärten sich die Sternwarten zu Berlin, Potsdam, Prag und Straßburg, denen später noch weitere beitraten, bereit, sogleich Beobachtungsreihen nach der Horrebow-Talcott-Methode in Gang zu setzen. Nach den guten Erfahrungen, die Küstner in Berlin mit dieser Methode gemacht hatte, kamen andere Methoden erstlich nicht in Frage. Bereits im Frühjahr 1890 konnte Helmert über den Erfolg dieser Kooperation berichten: Während sich in der ersten Hälfte des Jahres 1889 keine Änderungen der Polhöhe zeigten, begann über-

<sup>1)</sup> Astronom. Nachrichten **112**, 113.

<sup>2)</sup> Ricerche numeriche sulla latitudine del R. Osservatorio di Capodimonte I, p. 132.

<sup>3)</sup> Beobachtungsergebnisse der Kgl. Sternwarte zu Berlin, Heft 3.

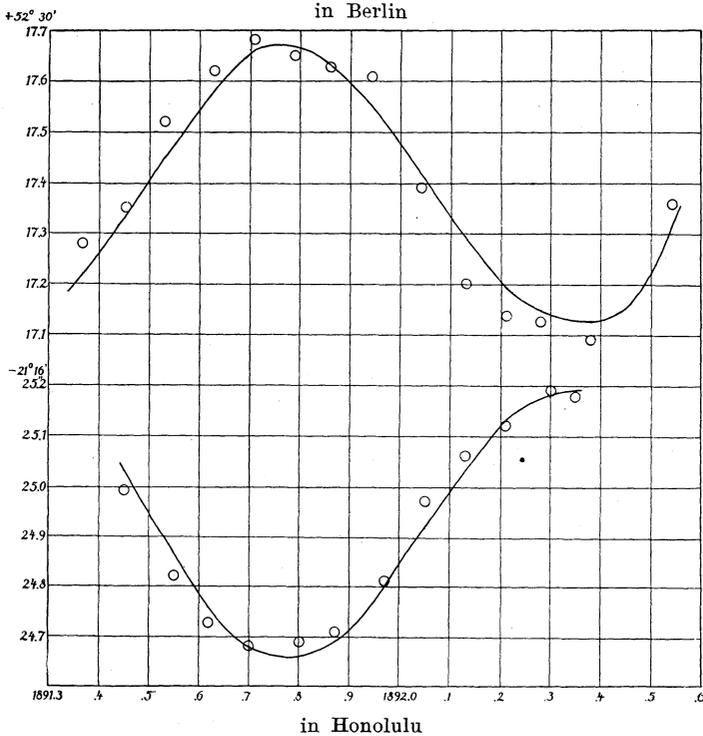
einstimmend an allen vier Orten im dritten Viertel des Jahres die Polhöhe zu wachsen und wieder bis zu Januar des folgenden Jahres abzunehmen mit einer Gesamtamplitude von mehr als  $\frac{1}{2}$  Bogensekunde. Bei der hohen inneren und systematischen Genauigkeit der Beobachtungen war an der Realität der Erscheinung nicht mehr zu zweifeln; desgleichen konnten zur Erklärung nun keinenfalls mehr Refraktionswirkungen, persönliche oder instrumentelle Fehler herangezogen werden. Die Abnahme der Polhöhe in den Monaten November und Dezember 1889 fand Nyrén in den Beobachtungen am Vertikalkreis zu Pulkowa bestätigt. Im Verlaufe des Jahres 1889 mußten wieder Änderungen von  $\frac{1}{2}$  Bogensekunde konstatiert werden. Wenn es sich hier um Verlagerungen der Umdrehungsachse der Erde bezüglich ihrer Figurenachse handelte, dann mußten zwei Stationen mit einem Längenunterschied von  $180^\circ$  einen entgegengesetzten Verlauf der Polhöhenänderung zeigen. In dieser Erwägung beschloß die permanente Kommission der Internationalen Erdmessung, in Honolulu eine Beobachtungsstation zu errichten; Honolulu lag relativ günstig zu Berlin, da diese beiden Orte einen Längenunterschied von  $171^\circ$  haben. So wurde denn eine Expedition nach Honolulu ausgerüstet und A. Marcuse führte dort während der Zeit von Juni 1891 bis Mai 1892 an einem Zenitteleskop Polhöhenbestimmungen aus. Die Beweiskraft des Resultates war zwingend: In Berlin erreichte die Polhöhe Anfang Oktober 1891 ein Maximum, entsprechend einem Minimum in Honolulu zur selben Zeit, es folgte in Berlin ein Minimum Anfang Mai 1892 und in Honolulu ein Maximum Mitte April. Das beiliegende Diagramm (Fig. 2) zeigt besser als alle Beschreibung den Verlauf der Erscheinung. Die beobachteten Werte der Polhöhe sind durch Kreise gekennzeichnet, der Verlauf der Polhöhe, wie er aus den Beobachtungen einer ganzen Reihe von Stationen errechnet wurde, ist durch die ausgezogene Linie gegeben. Damit war zur Evidenz erwiesen, daß die beobachteten Polhöhenänderungen verursacht waren durch wirkliche Verlagerungen der Umdrehungsachse der Erde.

Inzwischen wurde dieser Beweis gleichzeitig und unabhängig am Schreibtische geführt; es ist der amerikanische Astronom S. C. Chandler, dem das Verdienst gebührt, das Gesetz der Polhöhenchwankung gefunden zu haben. Chandler hatte bereits 1884 mit seinem Almucantar Bestimmungen der Polhöhe aus-

geführt, auf die bereits hingewiesen worden ist. Die Fortsetzung dieser Beobachtungen nötigte ihn wie andere, ebenfalls eine Veränderlichkeit der Polhöhe anzunehmen. Chandler<sup>1)</sup> fand ein Minimum der Polhöhe Anfang September 1884 und ein Maximum Anfang Mai 1885; er folgerte hieraus auf eine periodische Be-

Fig. 2.

**Polhöenschwankungen**



wegung des Poles, die entsprechend der Theorie der Eulerschen Nutation von Westen nach Osten vor sich gegangen war; die Periode mußte indessen etwa 444 Tage, die Amplitude  $0''{,}7$  betragen haben. Auf dieser Grundlage aufbauend, begann er nun ältere Reihen zu analysieren und konnte in Gyldéns Beobachtungen des Polarsternes am Vertikalkreis zu Pulkowa eine Periode von 427 Tagen mit allerdings veränderlicher Amplitude feststellen,

<sup>1)</sup> *Astronomical Journal* **11**, 59 u. ff.

desgleichen in Nyréns Beobachtungen aus den Jahren 1871 bis 1875. Stets war der Sinn der Bewegung übereinstimmend mit der Theorie. Chandler gelangte schließlich zu dem Resultate, daß der seitdem seinen Namen tragende Zyklus veränderlich war, und zwar sowohl nach Periode, wie nach Amplitude: erstere schien zwischen 390 und 440 Tagen zu schwanken, als Mittel waren 427 Tage anzusehen, daneben mochte wohl auch eine jährliche Periode bestehen; beide vereinigen sich zu einem etwa sechsjährigen Zyklus. Wenn nun auch zugegeben ist, daß die Genauigkeit des von Chandler benutzten, besonders des älteren Beobachtungsmaterials nicht ausreichend ist, um den von Chandler gezogenen Schlüssen durchweg Überzeugungskraft zu verleihen, so müssen seine Resultate im großen und ganzen doch als richtig angesehen werden, und in der Tat haben sich später mannigfache Bestätigungen gefunden. Es war vor allem erwiesen, der Eulersche Zyklus existierte nicht, hingegen ein anderer, der Chandlersche, dessen Periode erheblich länger war. Die Deutung dieser Erscheinung gab alsbald S. Newcomb. Die Periodenlänge der Eulerschen Nutation war ja errechnet worden unter der Annahme einer völlig starren Erde; für eine nachgiebige Erde mußte, das wies Newcomb<sup>1)</sup> nach, sich diese Periode verlängern nach Maßgabe des der Erde zukommenden Elastizitätskoeffizienten, und bereits ein recht geringer Grad von Nachgiebigkeit genügt, um den Eulerschen Zyklus in den Chandlerschen überzuführen, der Elastizitätskoeffizient braucht nur wenig größer zu sein als der des Stahles<sup>2)</sup>. Eine weitere Verlängerung der Periode der freien Nutation müßte ferner erwartet werden, wenn die Erdoberfläche völlig mit Wasser bedeckt wäre, da dieses, dem Einflusse der Zentrifugalkraft nachgebend, stets eine Symmetrieffläche zur momentanen Rotationsachse herstellen würde. Da indessen nur etwa  $\frac{2}{3}$  der Erdober-

<sup>1)</sup> *Astronomical Journal* **11**, 81.

<sup>2)</sup> Wie W. Schweydar (Untersuchungen über die Gezeiten der festen Erde und die hypothetische Magmaschicht. Veröffentlichungen des Kgl. Preuß. Geodätischen Instituts. Neue Folge, Nr. 54, 1912) nachgewiesen hat, ergibt sich der Starrheitskoeffizient der Erde, abgeleitet aus Horizontalpendelbeobachtungen einer nahezu eintägigen Deklinationswelle, zu  $19,8 \cdot 10^{11}$ , während gleichzeitig unter Berücksichtigung der statischen Polflut des Meeres aus der Chandlerschen Periode der Wert  $16,4 \cdot 10^{11}$  resultiert. Die Übereinstimmung ist mithin so nahe, als man immer nur erwarten kann.

fläche mit Wasser bedeckt ist, so ist der Einfluß der Wasserbedeckung schwer zu bestimmen; Newcomb schätzte die durch diese Polfluten bewirkte Verlängerung der Eulerschen Periode auf etwa  $\frac{1}{14}$  ihrer Dauer oder 22 Tage.

Ein unabhängiger, indirekter Beweis für die Existenz der Chandlerschen Periode kann daher aus den Bewegungen der Ozeane hergeleitet werden.

In der Tat leitete H. G. van de Sande Bakhuyzen<sup>1)</sup> aus den in Helder während der Jahre 1855 bis 1892 registrierten Wasserständen eine solche Tide ab; er erhielt für die einzelnen Monate dieser Periode die folgenden Differenzen gegen das Mittel, ausgedrückt in Millimetern:

1 + 3,8	6 — 14,2	11 + 2,0
2 — 11,6	7 — 7,5	12 + 3,0
3 — 2,6	8 + 1,3	13 + 14,7
4 — 3,1	9 + 4,1	14 + 7,2
5 — 1,8	10 + 5,0	

Die Amplitude dieser Tide würde völlig innerhalb der von theoretischen Erwägungen geforderten Grenzen liegen. Ähnliche Ergebnisse leitete Christie<sup>2)</sup> aus Gezeitenbeobachtungen in Kalifornien ab; hier resultiert eine Amplitude von 17,3 mm bei einer Periodenlänge von 437,4 Tagen. Van de Sande Bakhuyzen<sup>3)</sup> dehnte später seine Arbeiten aus auf eine Reihe von stündlichen Aufzeichnungen der Meereshöhe, die in Amsterdam während der Jahre 1700 bis 1860 gemacht worden waren, nur die Aufzeichnungen der Jahre 1750 bis 1766 waren verloren gegangen. Diesen Beobachtungen schien am besten eine Länge der Chandlerschen Periode von 434,5 Tagen zu entsprechen. Unter Annahme dieser Periodenlänge zeigten sich in den Jahren 1790 bis 1839 starke Polhöenschwankungen, deren Amplitude in den folgenden Jahren sehr klein wurde und erst seit 1860 wieder anwuchs, während in den Jahren 1700 bis 1789 keine Polhöenänderung mit der genannten Periodenlänge nachgewiesen werden konnte; möglich ist für diese Jahre allerdings eine minimale Schwankung mit geringerer Periodenlänge. Diese Ergebnisse

<sup>1)</sup> Astronom. Nachrichten **136**, 137.

<sup>2)</sup> National Academy of Washington 1892.

<sup>3)</sup> Vierteljahrsschr. d. Astronom. Ges. **48**, 218.

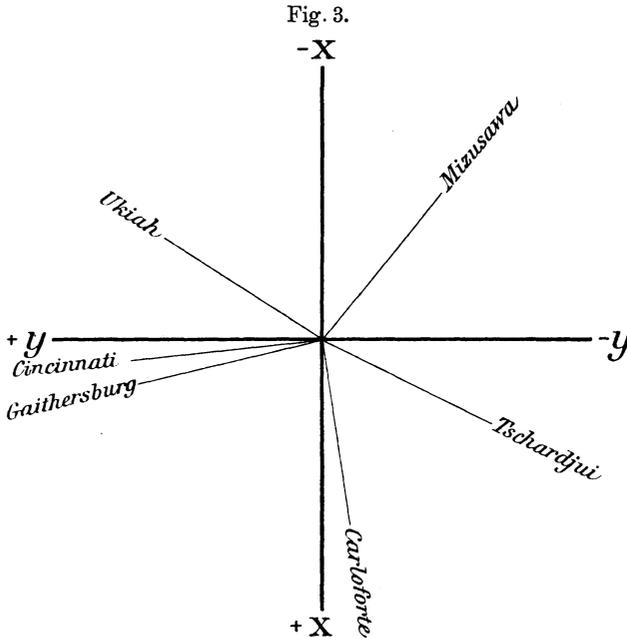
werfen nun mit einem Schlage Licht auf die Geschichte des Polhöhenproblems; die Resultate von Peters und Struve, aus denen so geringe Werte für die Eulersche Nutation folgten, werden nun verständlich, weiterhin auch, daß seit 1860 sich in den Beobachtungen Unstimmigkeiten zeigen mußten, die den Verdacht auf die Inkonstanz der Polhöhe immer mehr verdichteten, und schließlich in den achtziger Jahren die Lösung erfolgen konnte.

Auf der 11. Konferenz der Internationalen Erdmessung zu Berlin 1895 wurde nun beschlossen, jährlich 44 000 *M* auszuwerfen, welche „für die Ausführung solcher internationaler wissenschaftlicher Unternehmungen bestimmt sein sollten, welche für die Erleichterung und Sicherung der Erdmessungsarbeiten aller einzelnen Länder von allgemeinem Interesse sind“. In erster Linie war in Aussicht genommen, die Polbewegung in eingehenderer und einwandfreierer Weise zu untersuchen, als dies bisher möglich war. Das sollte erreicht werden durch Errichtung einer Anzahl von Stationen auf dem gleichen Parallel, auf denen dauernd Bestimmungen der Polhöhe nach der Horrebow-Talcott-Methode auszuführen waren. Diese Anordnung der Stationen bot den Vorteil, daß überall dieselben Sternpaare beobachtet werden konnten, daß mithin die Polbewegung abgeleitet werden konnte unabhängig von den angenommenen Deklinationen der Sterne. Auf der folgenden Konferenz der Internationalen Erdmessung zu Lausanne im Oktober 1896 wurde nun unter siebzehn vorgeschlagenen Kombinationen von Stationen der Parallel  $+ 39^{\circ} 8'$  ausgewählt, der neben guten mathematischen Bedingungen auch in seismischer, meteorologischer und hygienischer Beziehung die meisten Vorteile zu bieten schien. Vier Stationen waren von der Internationalen Erdmessung in Aussicht genommen; es trat freiwillig hinzu die Sternwarte zu Cincinnati, die unter derselben Breite liegt; ferner übernahm es die topographische Abteilung des Kaiserlich Russischen Generalstabes, eine sechste Station bei Tschardjui am Amudarja in Zentralasien anzulegen. Die Verteilung der sechs Stationen bezüglich ihrer geographischen Länge ergibt sich wie folgt:

Mizusawa, Japan . . . . .	141° 8'	östlich	Greenwich
Tschardjui, Zentralasien . . . . .	63° 29'	„	„
Carloforte, Insel San Pietro, Italien	8° 9'	„	„

Gaithersburg, U. S. A., Ostamerika . 77° 12' westl. Greenwich  
Cincinnati, U. S. A., Mittelamerika . 84° 25' „ „  
Ukiah, U. S. A., Westamerika . . . 123° 13' „ „

Die Figur 3 zeigt die Verteilung der Stationen bezüglich der Erdachse. Die instrumentelle Ausrüstung der vier auf internationale Kosten begründeten Stationen bestand aus Zenitteleskopen von Wanschaff mit 108 mm Öffnung und 130 cm Brennweite, während



die beiden anderen Stationen kleinere Zenitteleskope von demselben Typus erhielten. Als Beobachtungsmethode kam nur die Hörrebow-Talcott-Methode in Frage, da die bisherigen Erfahrungen gezeigt hatten, daß man bei dieser Methode einerseits die höchste innere Genauigkeit erwarten konnte, andererseits systematische Fehlerquellen, insbesondere persönliche Gleichung verschiedener Beobachter sich in sehr bescheidenen Grenzen hielten. Das Beobachtungsprogramm bestand aus zwölf Gruppen von je sechs Sternpaaren, deren Zenitdistanz höchstens 24° betrug; es waren ferner in jeder Gruppe zwei Paare mit 60° Zenitdistanz

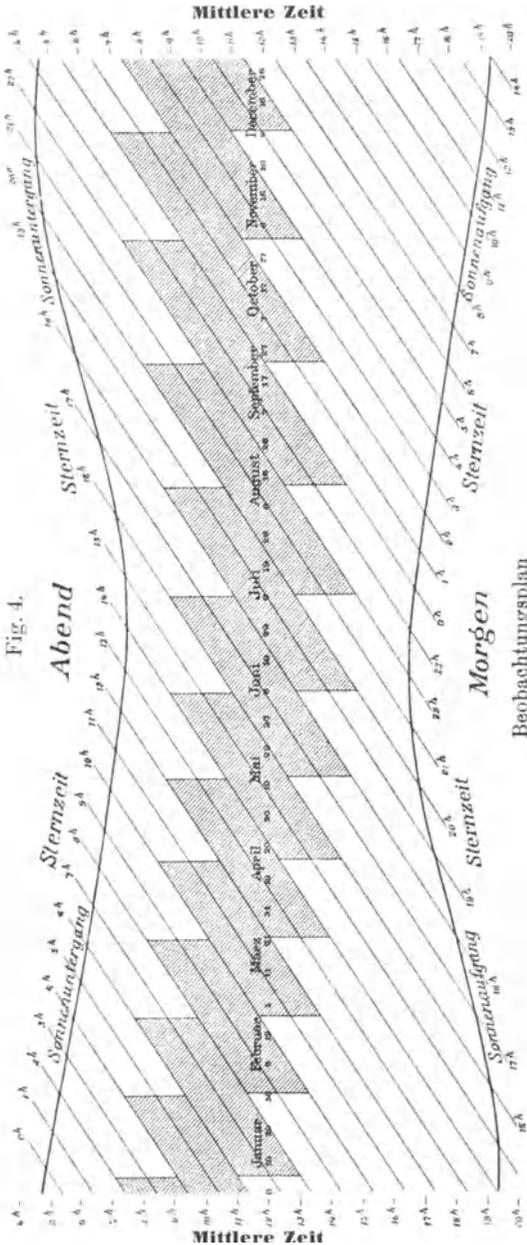


Fig. 4.

Beobachtungsplan

eingeschaltet, welche zur Feststellung etwaiger Refraktionsanomalien dienen sollten. (Diese Refraktionspaare sind später fortgelassen

worden, da sie keinerlei positive Ergebnisse zeitigten, und durch andere Paare mit kleinerer Zenitdistanz ersetzt worden.) Bei der Auswahl der Sternpaare war sorgfältig darauf geachtet worden, daß die Helligkeiten der einzelnen Sterne keine größeren Differenzen aufwiesen, und daß innerhalb jeder Gruppe die Summe

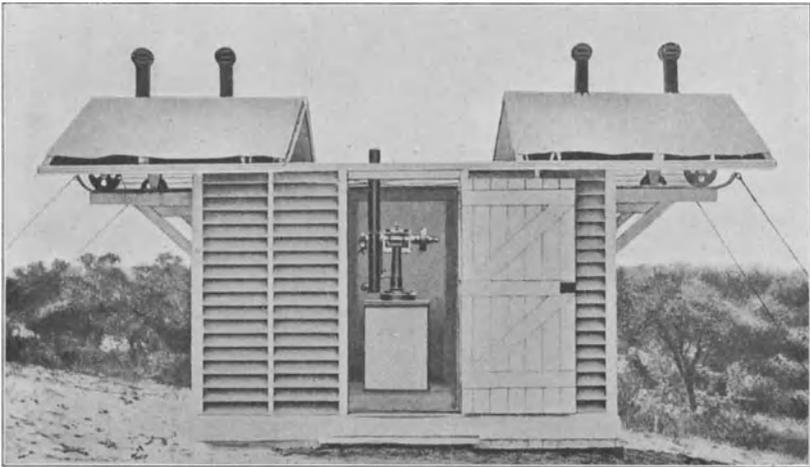
der Zenitdistanzen nahezu den Wert Null hatte, um etwaige Unsicherheiten des Schraubenwertes des Okularmikrometers zu eliminieren. An jedem Abend sollten zwei Gruppen beobachtet werden; die Art und Weise des Wechsels der Gruppen mit Rücksicht auf Auf- und Untergang der Sonne ist aus Fig. 4 zu ersehen.

Bei Errichtung der Stationen wurde besondere Sorgfalt auf den Bau der Pfeiler und Beobachtungshäuser gelegt; letztere

waren so konstruiert, daß ein möglichst leichter und vollkommener Temperatenausgleich zwischen innen und außen erreicht wurde, und andererseits der Innenraum gegen Strahlung hinreichend geschützt war. Eine dieser Stationen (Bayswater) zeigt Fig. 5.

Die Bearbeitung der Beobachtungen geschah und geschieht jetzt noch im Zentralbureau der Internationalen Erdmessung zu Potsdam unter der Leitung von Th. Albrecht und B. Wanach<sup>1)</sup> in der

Fig. 5.



üblichen Weise unter Zugrundelegung von Sternörter und Eigenbewegungen, wie sie für diesen Zweck aus älteren Sternkatalogen abgeleitet waren. Aus den wegen Instrumentalfehlern verbesserten Beobachtungen werden zunächst Deklinationsverbesserungen für die einzelnen Paare abgeleitet, indem an allen den Tagen, an denen volle Gruppen beobachtet sind, die Abweichungen der einzelnen Paare gegen das Gruppenmittel gebildet werden. Auf diese Weise können nicht vollständig beobachtete Gruppen auf das Gruppenmittel bezogen und mit ihnen homogen gemacht werden. Um nun die einzelnen Gruppen miteinander verbinden zu können,

---

<sup>1)</sup> Die Publikation der Beobachtungen erfolgt seitens des Zentralbureaus der Internationalen Erdmessung unter dem Titel: „Resultate des Internationalen Breitendienstes“. Berlin, G. Reimer. Bisher sind vier Bände erschienen.

wird folgendes Verfahren eingeschlagen: die Beobachtungen jeder Gruppe, z. B. *III* werden zeitlich in zwei Teile zerlegt, von denen *III*<sub>1</sub> mit Gruppe *II* zusammen beobachtet ist und *III*<sub>2</sub> mit Gruppe *IV*; vergleiche das folgende Schema:

$$\begin{array}{r} I_2 II_1 \\ II_2 III_1 \\ III_2 IV_1 \\ IV_2 V_1 \dots \end{array}$$

Bildet man hier zeilenweise die Differenzen *II*<sub>1</sub> — *I*<sub>2</sub>, *III*<sub>1</sub> — *II*<sub>2</sub>, *IV*<sub>1</sub> — *III*<sub>2</sub> usw., so erhält man die Beziehungen der einzelnen Gruppen zueinander. Die Reduktionsmethode führt daher den Namen Kettenmethode. Das Verfahren setzt allerdings voraus, daß während der Zeit, in der im Laufe des Abends zwei Gruppen beobachtet werden, also während vier Stunden, keinerlei Veränderung in dem Winkel zwischen Pol und Zenit vor sich geht, und ferner die wahren Werte der astronomischen Konstanten, insbesondere der Aberrationskonstante verwendet werden. Unter dieser Voraussetzung müßte die Summe der Gruppenreduktionen, wenn man bis zur Ausgangsgruppe aufsummiert, identisch Null ergeben, z. B.:

$$\begin{aligned} (II_1 - I_2) + (III_1 - II_2) + (IV_1 - III_2) + \dots \\ + (XII_1 - XI_2) + (I_1 - XII_2) = 0. \end{aligned}$$

In der Praxis kann man schon wegen der unvermeidlichen Beobachtungsfehler nicht den Wert Null in aller Strenge erwarten, es resultiert eine gewisse Größe, die „Schlußfehler“ genannt wird. In den ersten Anfängen dieser Beobachtungsreihen, als über das Verhalten der Schlußfehler noch nicht genügend Erfahrungen vorlagen, war man geneigt, den Schlußfehler als eine Wirkung der angewandten Aberrationskonstante aufzufassen; gemäß der Formel S. 7 muß ja ein Fehler der verwendeten Aberrationskonstante eine scheinbare Deklinationsdifferenz zwischen zwei Gruppen hervorrufen. Es ist daher anfangs aus den Schlußfehlern eine Verbesserung der Aberrationskonstanten errechnet worden; aus später zu erörternden Gründen ist jedoch bald hiervon Abstand genommen worden, sodaß die Beobachtungen auf der international angenommenen Konstante  $k = 20'',47$  beruhen. Der Schlußfehler wird heute noch stationsweise gemittelt und dann auf alle Gruppen gleichmäßig verteilt. Die Tagesmittel der einzelnen Polhöhenpaare

werden nun (nach Anbringung der Deklinationskorrekturen und Gruppenreduktionen) für die Dauer der Beobachtung einer jeden Gruppenkombination zu Mittelwerten vereinigt und diese Werte als definitive Polhöhen angesehen. Um den Einfluß der Beobachtungsfehler etwas abzuschleifen, wird zunächst auf graphischem Wege durch die beobachteten  $\Delta\varphi$ , d. h. durch die Abweichungen der definitiven Stationspolhöhen  $\varphi$  von einem passenden Mittelwerte  $\varphi_0$ :  $\varphi - \varphi_0 = \Delta\varphi$ , eine zwanglose Kurve gelegt; gelegentlich sind daneben auch die ursprünglichen, nicht ausgeglichenen Werte weiter verwendet worden, um zu zeigen, daß die graphische Ausgleichung der  $\Delta\varphi$  keinerlei systematischen Einfluß auf die abzuleitende Polbewegung hat. Für jedes zehntel Jahr kann dann das ausgeglichene  $\Delta\varphi$  den Stationskurven entnommen werden. Zur Ableitung der Koordinaten des Momentanpoles wird nun die Fehlergleichung angesetzt:

$$\Delta\varphi + v = x \cos \lambda + y \sin \lambda + z$$

wo  $\lambda$  die auf den Meridian von Greenwich bezogene westliche Länge des Beobachtungsortes,  $x$  und  $y$  die rechtwinkligen Koordinaten des Momentanpoles sind, bezogen auf ein Koordinatensystem, dessen Ursprung einer Mittellage des Momentanpoles entspricht, wie sie aus den Beobachtungen der ersten zwei Jahre abgeleitet wurde. Die positive X-Achse dieses Koordinatensystems ist gegeben durch den Meridian von Greenwich, die positive Y-Achse durch den Meridian  $90^\circ$  Länge westlich von Greenwich. Die Größe  $z$  endlich stellt einen von der geographischen Länge unabhängigen Term vor (Kimuraglied), auf dessen Bedeutung wir später noch zu sprechen kommen werden. Durch Auflösung der Fehlergleichungen erhält man für jedes zehntel Jahr die Werte der Unbekannten  $x$ ,  $y$  und  $z$ .

Es erwies sich im Laufe der Jahre als erwünscht, auch auf der Südhalbkugel der Erde zwei Stationen zu errichten, einmal, um den Nachweis zu erbringen, daß die abgeleiteten Koordinaten des Momentanpoles für die ganze Erde gelten können, und ferner, um über das Verhalten der Größe  $z$  näheren Aufschluß zu erhalten. Diese beiden Stationen wurden auf dem Parallel  $- 31^\circ 55'$  ausgewählt.

Bayswater, Westaustralien . .  $115^\circ 55'$  östlich Greenwich  
 Oncativo, Argentinien . . . .  $63^\circ 42'$  westlich „

Der Längenunterschied beträgt daher nahe  $180^\circ$  und hat zur Folge, daß im Mittel aus beiden Stationen der Einfluß der Pol-

bewegung:  $x \cos \lambda + y \sin \lambda$  verschwindet und nur  $z$  allein übrig bleibt. Die Beobachtungen auf den Südstationen begannen im Anfang 1906 und wurden in Bayswater bis Mitte 1908, in Onca-tivo bis Ende 1908 durchgeführt, im übrigen völlig analog den Beobachtungen auf dem Nordparallel.

Die Tafeln I, II und III zeigen die Bewegung des Nordpoles der Erde; und zwar Tafel I den Zeitraum 1890,0 — 1899,8, abgeleitet aus der freiwilligen Kooperation verschiedener Sternwarten, Tafel II den Zeitraum 1899,9 — 1906,0 und Tafel III den Zeitraum 1906,0 — 1913,0, nach den Resultaten des Internationalen Breiten-dienstes. Man ersieht aus den Tafeln, daß die Polbewegung in dem Sinne, den die Theorie erfordert, vor sich geht, die Art der Bewegung jedenfalls durch einen einfachen mathematischen Aus-druck sich kaum wird darstellen lassen, selbst wenn man von einzelnen vorübergehenden Störungen absieht, wie sie z. B. im Anfange des Jahres 1895 eintraten, wo sogar der Sinn der Be-wegung umgekehrt wurde. Der sechsjährige Zyklus jedoch fällt bei Betrachtung der Tafeln sofort in die Augen.

Was darf man nun den Beobachtungen zutrauen, welche Genauigkeit besitzen sie? Die rein rechnungsmäßige Genauigkeit ist sehr hoch; es stellt sich nämlich der mittlere Fehler eines Paares auf  $\pm 0,15''$ , der mittlere Fehler eines Beobachtungsabendes, vorausgesetzt, daß zwei Gruppen vollständig beobachtet sind, auf  $\pm 0,039''$ . Albrecht und Wanach geben an, daß die Koordinaten des Momentanpoles innerhalb des hundertsten Teiles einer Bogen-sekunde verbürgt sein dürften. Betrachten wir nun die mittleren Polhöhen der einzelnen Stationen, wie sie aus den Beobachtungen unter Abzug der Polbewegung hervorgehen, so erhalten wir für die Jahresmittel die folgenden Werte:

	Mizusawa	Tschardjui	Carloforte	Gaithers- burg	Cincinnati	Ukiah
1900 . . . . .	3'',609	10'',692	8'',936	13'',143	19'',352	12'',089
1901 . . . . .	629	657	946	199	304	075
1902 . . . . .	635	668	926	204	330	045
1903 . . . . .	610	694	907	176	354	063
1904 . . . . .	618	671	940	146	364	075
1905 . . . . .	621	649	965	192	264	113
1906 . . . . .	646	629	963	188	314	067
1907 . . . . .	624	658	938	206	292	071
1908 . . . . .	620	692	904	203	339	041

In den Mittelwerten der einzelnen Polhöhen stecken nun zweifellos noch gewisse schwer zu eliminierende Fehlerquellen, so vor allem die persönliche Gleichung, die beim Wechsel der Beobachter eine scheinbare Änderung der Polhöhe hervorrufen kann; die Differenz zwischen den Jahren 1904 und 1905 bei Cincinnati läßt sich jedenfalls zwanglos so erklären. Andere störende Einflüsse hingegen, z. B. solche meteorologischer Natur, dürften hier, wie man eigentlich annehmen sollte, wegfallen, da die oben angeführten Mittelwerte sich über die Hauptperiode der meteorologischen Erscheinungen erstrecken.

Daß sich hier noch irgend welche lokalen Einflüsse geltend machen, geht aus den oben angeführten Zahlen klar hervor. Noch deutlicher läßt sich dies aus den nach der Ausgleichung übrigbleibenden Fehlern ersehen. Auf allen Stationen überwiegen nämlich die Zeichenfolgen die Zeichenwechsel, so haben wir z. B. während der Jahre 1906 bis 1909:

	Zeichenwechsel	Zeichenfolgen		Zeichenwechsel	Zeichenfolgen
Mizusawa . . .	3	27	Gaithersburg .	6	24
Tschardjui . .	5	25	Cincinnati . .	5	25
Carloforte . . .	3	27	Ukiah . . . .	6	24

Zur Beurteilung der Größenordnung der übrigbleibenden Fehler seien diese für ein beliebig herausgegriffenes Jahr hier gegeben:

	Mizusawa	Tschardjui	Carloforte	Gaithersburg	Cincinnati	Ukiah
1908,0 . . . .	− 0'',019	+ 0'',019	− 0'',007	+ 0'',004	− 0'',028	+ 0'',030
1908,1 . . . .	− 0 ,013	+ 0 ,021	− 0 ,017	+ 0 ,010	− 0 ,014	+ 0 ,008
1908,2 . . . .	+ 0 ,015	0 ,000	− 0 ,013	+ 0 ,027	+ 0 ,006	− 0 ,033
1908,3 . . . .	+ 0 ,022	− 0 ,008	− 0 ,012	+ 0 ,035	+ 0 ,006	− 0 ,043
1908,4 . . . .	+ 0 ,014	+ 0 ,003	− 0 ,018	+ 0 ,027	+ 0 ,015	− 0 ,042
1908,5 . . . .	+ 0 ,007	+ 0 ,018	− 0 ,035	+ 0 ,015	+ 0 ,043	− 0 ,047
1908,6 . . . .	+ 0 ,005	+ 0 ,029	− 0 ,047	+ 0 ,008	+ 0 ,059	− 0 ,055
1908,7 . . . .	− 0 ,004	+ 0 ,037	− 0 ,053	− 0 ,005	+ 0 ,072	− 0 ,049
1908,8 . . . .	− 0 ,013	+ 0 ,045	− 0 ,053	− 0 ,023	+ 0 ,077	− 0 ,035
1908,9 . . . .	− 0 ,024	+ 0 ,051	− 0 ,047	− 0 ,036	+ 0 ,069	− 0 ,011
1909,0 . . . .	− 0 ,015	+ 0 ,033	− 0 ,032	− 0 ,018	+ 0 ,040	− 0 ,009

Es muß sich hier um rein örtliche, der einzelnen Station eigentümliche Einflüsse handeln, das beweist das Verhalten der beiden so benachbarten Stationen Cincinnati und Gaithersburg, bei denen die übrigbleibenden Fehler zeitweise ein geradezu entgegengesetztes Verhalten zeigen. Auf ähnliche Fälle ist man schon früher aufmerksam geworden. So weist Schnauder<sup>1)</sup> auf Unterschiede in den Polhöhen von Potsdam und Berlin hin; werden hier nach Elimination der Polhöhenchwankung die Abweichungen der Monatsmittel vom jeweiligen Reihenmittel gebildet, so ergeben sich im Mittel, zwar aus verschiedenen Jahrgängen, die folgenden Differenzen:

Berlin—Potsdam:		Berlin—Potsdam:	
Januar. . . . .	+ 0'',01	Juli . . . . .	— 0'',02
Februar . . . . .	+ 0 ,03	August. . . . .	— 0 ,04
März . . . . .	+ 0 ,03	September . . . . .	— 0 ,01
April . . . . .	+ 0 ,05	Oktober . . . . .	— 0 ,05
Mai . . . . .	+ 0 ,01	November . . . . .	— 0 ,03
Juni. . . . .	— 0 ,04	Dezember . . . . .	+ 0 ,03

Diese Unterschiede sind zweifellos reell und verraten einen deutlichen Gang nach der Jahreszeit. Die Beobachtungsstation in Berlin lag inmitten eines Häusermeeres, die Potsdamer Station auf einem Höhenrücken inmitten bewaldeter Umgebung. Zur Erklärung solcher systematischer, von Station zu Station verschiedener Abweichungen bieten sich zunächst verschiedene Wege. Eine reelle Polhöhenänderung, verursacht durch Schollenverschiebung, muß wohl als unwahrscheinlich abgelehnt werden. Hierfür sprechen die auf den Stationen des Internationalen Breitendienstes gemachten Erfahrungen. In Mizusawa, der erdbebenreichsten Station, sind im allgemeinen die Differenzen der berechneten und beobachteten Polhöhenchwankungen am geringsten. Das große Kalifornische Beben vom 18. April 1906 hat in Ukiah nachweislich keine merkliche Änderung der Polhöhe verursacht, obwohl es in der Umgebung der Station zerstörende Wirkungen hatte. Ebenso unwahrscheinlich erscheinen Änderungen der Lotrichtung etwa als Folge von Vorgängen im Erdinneren. Die einfachste und natürlichste Ursache

<sup>1)</sup> Die Polhöhe von Potsdam, Heft 3, S. 43. Veröffentlichungen des Kgl. Pr. Geodätischen Institutes. Neue Folge, Nr. 20.

bietet sich in Refraktionsanomalien dar. Die Theorie der Brechung der Lichtstrahlen in unserer Atmosphäre setzt ja eine konzentrische Lagerung der Schichten gleicher optischer Dichte voraus; diese Annahme wird in aller Strenge jedoch nur selten erfüllt sein. Es können Schichtenneigungen auftreten, verursacht durch ein Druck- oder Temperaturgefälle. Die Folge ist dann, daß im astronomischen Zenit die Refraktion eben nicht mehr den Wert Null hat, sondern einen von der Größe der Schichtenneigung abhängigen endlichen Betrag, die sogenannte Zenitrefraktion, und zwar entspricht einer Schichtenneigung von  $1'$  der Betrag  $0'',02$  im Zenit,  $0'',07$  in der scheinbaren Zenitdistanz  $60^\circ$  und  $0'',53$  erst in  $80^\circ$  scheinbarer Zenitdistanz. Um diese Beträge differiert die effektive Refraktion von der berechneten. Ein Druckgefälle wird nun allerdings eine Schichtenneigung von  $1'$  kaum verursachen können, wohl aber ein Temperaturgefälle, das an der Meeresküste oder im Gebirge nach einer Schätzung E. v. Oppolzers eine Schichtenneigung bis zu  $6'$  hervorrufen kann; dem würde eine Zenitrefraktion von  $0'',12$  entsprechen. Die systematischen Abweichungen, um die es sich hier handelt, halten sich jedoch stets unter  $0'',1$ , so daß wir in solchen Refraktionsanomalien eine völlig hinreichende und durchaus mögliche Erklärung sehen können; sie reicht indessen noch weiter und bildet eine mögliche und durchaus nicht so unwahrscheinliche Ursache des Auftretens und Verhaltens der Schlußfehler. Wie oben schon angedeutet, ist der theoretische Wert des Schlußfehlers Null, tatsächlich sind die Schlußfehler von wechselndem endlichen Betrage, am geringsten in Mizusawa und Gaithersburg, am größten in Tschardjui und Ukiah, sie erreichen dort  $0'',5$  bis  $0'',6$ . Im Mittel aus allen Stationen ergab sich der Schlußfehler aus den Jahren 1900 bis 1906 zu  $-0'',219$ , d. h. für die Differenz zweier Gruppen  $-0'',018$  und aus den Jahren 1906 bis 1909 zu  $-0'',190$ , also durchschnittlich für eine Gruppendifferenz  $-0'',016$ . Um etwa  $0'',017$  im Mittel also müßte jeder Gruppenanschluß verfälscht sein, ein ersichtlich außerordentlich geringer Betrag, der aber systematisch wirkende Ursachen haben muß. Ist nun aber überhaupt einmal eine Schichtenneigung vorhanden, so ist selbstverständlich, daß sie im Laufe der Nacht ihre Größe ändern wird, und sehr wahrscheinlich, daß diese Änderung sich Nacht für Nacht in ähnlicher Weise vollziehen wird. Hierdurch wird aber die Verbindung zweier Gruppen in vorderhand wenigstens völlig

unkontrollierbarer Weise gefälscht. Es ist klar, daß dies von Station zu Station verschieden vor sich gehen wird, desgleichen werden Wetterlage und Jahreszeit hier eine nicht unbedeutende Rolle spielen. Freilich läßt sich nun nicht, zurzeit wenigstens nicht, zwingend beweisen, daß Refraktionsanomalien dieser Art die Ursache der beobachteten Unstimmigkeiten sein müssen, doch besteht ein gewisser Grad von Wahrscheinlichkeit dafür. Unter diesem Gesichtspunkte betrachtet, werden also die beobachteten Polhöhen der einzelnen Stationen mit einer Unsicherheit behaftet sein, die bei weitem größer ist, als der aus der inneren Genauigkeit der Beobachtung resultierende mittlere Fehler. Damit fällt aber auch jede Möglichkeit, das Gewicht der einzelnen Stationen etwa zu bestimmen aus Zahl der Beobachtungen und ihrer inneren Übereinstimmung; die Stationen müssen untereinander als gleichwertig angesehen werden. Ähnliches gilt vom Schlußfehler; solange dessen Ursache nicht klipp und klar erwiesen ist, und die Fehlerquelle nicht berücksichtigt werden kann, bleibt nichts anderes übrig, als den Schlußfehler als zufälligen Fehler im Sinne der Fehlertheorie anzusehen, also seinen Mittelwert gleichmäßig zu verteilen.

An die Polbahn knüpfen sich verschiedene Analysen, von denen die letzte Kimura<sup>1)</sup> zum Autor hat; sie werde hier erwähnt, weil sie das gesamte Material von 1891 bis 1907 zusammenfaßt. Durch schrittweise Annäherung trennt Kimura die beiden sich übereinander lagernden Perioden. Die Chandlersche Periode zeigt auch hier dasselbe Verhalten, das ihr Entdecker bereits aus älteren Beobachtungsreihen nachgewiesen hat. Kimura leitet aus den beiden rechtwinkligen Koordinaten  $x$  und  $y$  die Länge der Periode getrennt ab und erhält die folgenden Werte:

Epoche	Periode aus $x$	Epoche	Periode aus $y$
1894,9	1,208 Jahre	1894,6	1,201 Jahre
1898,7	1,197 „	1898,5	1,198 „
1901,3	1,180 „	1901,0	1,189 „
1904,6	1,175 „	1904,4	1,167 „

<sup>1)</sup> Astron. Nachrichten 181, 389.

Die Amplitude der Bewegung zeigt folgendes Bild:

Epoche	Amplitude	Epoche	Amplitude
1890,57	0'',49?	1900,85	0'',260
1892,62	0 ,325	1902,08	0 ,285
1893,84	0 ,253	1903,22	0 ,295
1895,03	0 ,250	1904,41	0 ,260
1896,23	0 ,273	1905,58	0 ,258
1897,45	0 ,273	1906,73	0 ,273
1898,62	0 ,250	1907,76	0 ,400

Eine eingehende Untersuchung der Länge der Chandler'schen Periode ergab, daß sie vom Jahre 1893 von 436 Tagen wuchs, bis sie 1897 442 Tage betrug, dann wieder abnahm, um 1907 den Wert von etwa 427 Tagen zu erreichen; ob sich hier in dieser Änderung ein gesetzmäßiges Verhalten verbirgt, das zu entscheiden erlaubt die Zeitdauer der Beobachtungen noch nicht. In dem Verhalten der Amplitude hingegen ist ein Gesetz vielleicht eher zu erkennen, die einzelnen Werte scheinen sich bezüglich der Epoche 1899 bis 1900 symmetrisch anzuordnen dergestalt, daß Hauptmaxima vor 1890 und nach 1908 auftraten neben zwei sekundären Maxima in den Jahren 1897 und 1903. Aber auch hier werden wohl erst künftige Beobachtungen Klärung bringen. Im Mittel würden für die Länge der Chandler'schen Periode aus Kimuras Untersuchung etwa 437,2 mittlere Sonnentage folgen. R. Schumann<sup>1)</sup> hatte aus der sechsjährigen Beobachtungsreihe der Polhöhe zu Potsdam (1894 bis 1900) 439,7 Tage abgeleitet. Wie bereits Chandler angegeben hatte, existiert neben der 14monatlichen Periode noch eine jährliche, die ebenfalls nicht konstant bleibt. Kimura gibt für diese jährliche Periode aus zwei Epochen die folgenden Werte an:

Epoche 1893,8 bis 1899,8			Epoche 1900,0 bis 1907,0		
Jahresbruchteil	abgeleitet		Jahresbruchteil	abgeleitet	
	aus $x$	aus $y$		aus $x$	aus $y$
,0	— 0'',023	— 0'',044	,0	— 0'',004	— 0'',028
,1	— 0 ,069	— 0 ,018	,1	— 0 ,042	— 0 ,015
,2	— 0 ,093	+ 0 ,011	,2	— 0 ,055	+ 0 ,016
,3	— 0 ,074	+ 0 ,035	,3	— 0 ,043	+ 0 ,052
,4	— 0 ,029	+ 0 ,047	,4	— 0 ,008	+ 0 ,080

<sup>1)</sup> R. Schumann, Numerische Untersuchung über Polhöschwankung und Aberrationskonstante.

Epoche 1893,8 bis 1899,8			Epoche 1900,0 bis 1907,0		
Jahres- bruchteil	abgeleitet		Jahres- bruchteil	abgeleitet	
	aus $x$	aus $y$		aus $x$	aus $y$
,5	+ 0'',037	+ 0'',052	,5	+ 0'',033	+ 0'',085
,6	+ 0 ,080	+ 0 ,047	,6	+ 0 ,064	+ 0 ,072
,7	+ 0 ,099	+ 0 ,022	,7	+ 0 ,073	+ 0 ,044
,8	+ 0 ,092	- 0 ,020	,8	+ 0 ,061	+ 0 ,010
,9	+ 0 ,030	- 0 ,053	,9	+ 0 ,032	- 0 ,014

Beiden Zahlenreihen schließen sich gut an die folgenden Fourierschen Reihen:

$$\left. \begin{aligned}
 x &= + 0'',005 + 0'',011 \sin \odot - 0'',096 \cos \odot \\
 y &= + 0 ,008 + 0 ,051 \sin \odot + 0 ,004 \cos \odot
 \end{aligned} \right\} \text{1. Epoche,}$$

$$\left. \begin{aligned}
 x &= + 0 ,011 + 0 ,008 \sin \odot - 0 ,064 \cos \odot \\
 y &= + 0 ,030 + 0 ,056 \sin \odot - 0 ,006 \cos \odot
 \end{aligned} \right\} \text{2. Epoche.}$$

Da die durchschnittliche Abweichung der beobachteten Werte von diesen Formeln nur  $\pm 0'',003$  beträgt und die Folge der übrigbleibenden Fehler keinerlei systematisches Verhalten aufweist, schließt Kimura mit Recht daraus, daß eine halbjährige Periode von auch nur wenigen Tausendstel Sekunden Amplitude nicht existieren könne. Die Ursache der Änderung in der Amplitude der jährlichen Periode ist völlig unaufgeklärt, möglich ist, daß noch andere langperiodische Glieder bestehen, die durch Überlagerung solche Änderungen hervorrufen könnten.

Das Verhalten des Radiusvektor der Polbahn hat auch R. Schumann für die Jahre 1890 bis 1912 untersucht. Die Zeiten der Maxima fallen nach ihm auf 1890,92, 1897,40, 1903,53 und 1910,38; die Zwischenzeit zwischen den beiden Hauptmaxima beträgt 19,46 Jahre und fällt daher nahe zusammen mit der Dauer des Umlaufes der Mondknoten 18,61 Jahre. Verschiedene andere periodische Erscheinungen, die in der Polbahn angedeutet sind, und nahe mit Perioden der Bewegung des Erdmondes zusammenfallen, lassen es ihm wahrscheinlich erscheinen, daß zwischen der Bewegung des Mondes und den Polhöhen-schwankungen ein Zusammenhang besteht. Wir werden später noch sehen, daß in den Polhöhen-schwankungen Periodizitäten von etwa 28tägiger Dauer zu existieren scheinen, deren Perioden also mit der Umlaufszeit des Mondes um die Erde koinzidieren.

Inwieweit hier ein ursächlicher Zusammenhang besteht, die Frage kann heute noch nicht beantwortet werden, die Möglichkeit eines solchen Zusammenhanges soll aber nicht bestritten werden.

Zwiers<sup>1)</sup> hat die Jahre 1904 bis 1911 der Polbahn untersucht, er sucht sie darzustellen durch den Ausdruck:

$$\begin{aligned}x &= \xi + x_1 + x_2 \\y &= \eta + y_1 + y_2\end{aligned}$$

wo  $\xi$  und  $\eta$  die Koordinaten des mittleren Poles,  $x_1$  und  $y_1$  die Koordinaten einer Bewegung von jährlicher Periode und  $x_2$  und  $y_2$  die Koordinaten des Chandlerschen Zyklus sind; es resultiert:

$$\begin{aligned}\xi &= + 0'',001 & \eta &= + 0'',040 \\x_1 &= - 0'',075 \sin \psi_1 - 0'',019 \cos \psi_1 \\y_1 &= + 0'',001 \sin \psi_1 - 0'',053 \cos \psi_1\end{aligned}$$

der Winkel  $\psi_1$  wird vom Anfang des Jahres an gezählt.

Für die Länge der Chandlerschen Periode ergibt sich aus den Jahren

$$\begin{array}{lll}1890 & - & 1899,8 & 1,198 \text{ Jahre} \\1899,9 & - & 1908,0 & 1,174 \text{ „}\end{array}$$

oder im Mittel 1,188 Jahre = 434,1 mittlere Sonnentage. Unter Annahme dieses Wertes folgt:

$$\begin{array}{ll} \text{aus 1904,0 bis 1907,0} & x_2 = 0'',118 \sin (\psi_2 + 179^\circ,3) \\ & y_2 = 0,118 \cos (\psi_2 + 179^\circ,3) \\ \text{aus 1908,0 bis 1911,0} & x_2 = 0,250 \sin (\psi_2 + 188^\circ,7) \\ & y_2 = 0,250 \cos (\psi_2 + 188^\circ,7) \end{array}$$

Aus den übrigbleibenden Fehlern ergibt sich der mittlere Fehler der errechneten Polkoordinaten zu  $\pm 0'',022$ , in Übereinstimmung mit einer früheren Abschätzung. Zwiers schließt aus obigen Werten, daß in der Lage des mittleren Poles seit 1904 keine Änderung eingetreten, und andererseits die Phasendifferenz von  $9^\circ,4$  wohl nicht als reell anzusehen ist, so daß also zur Darstellung der Polbahn der folgende Ausdruck angenommen werden kann:

$$\begin{aligned}x_2 &= c \sin (\psi_2 + 184,0^\circ), \text{ wo } c = 0'',118 \text{ von } 1904,0 \text{ bis } 1907,0 \\y_2 &= c \cos (\psi_2 + 184,0^\circ), \text{ wo } c = 0'',250 \text{ von } 1908,0 \text{ bis } 1911,0\end{aligned}$$

---

<sup>1)</sup> H. J. Zwiers, Preliminary investigation into the motion of the pole of the earth in 1907, Koninglijke Akademie van Wetenschappen, Amsterdam 1911.

Hieraus scheint nun in der Tat zu folgen, daß im Verlaufe des Jahres 1907 eine Störung in der Polbewegung eingetreten ist, dergestalt, daß die Amplitude des Chandlerschen Zyklus von  $0'',12$  auf  $0'',25$  anwuchs, während die Phase der Bewegung sowohl als auch die Lage des mittleren Poles ungeändert blieb. Eine eingehendere Untersuchung ergab, daß sich der Übergang von der einen Bahn in die andere im Laufe des Jahres 1907 ganz allmählich vollzogen hat.

Warum der Chandlersche Zyklus nach Periode sowohl wie nach Amplitude veränderlich ist, darüber wissen wir nichts Sicheres. Indessen müssen wir bedenken, daß die feste Erdoberfläche als Schollensystem aufzufassen ist, dem eine gewisse Bewegungsmöglichkeit gegeben ist; säkulare Hebungen und Senkungen einzelner Schollen sind bekannt; etwa  $\frac{2}{3}$  der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Der Einfluß der Wasserbedeckung ist nur sehr schwer zu übersehen, da deren Gestalt von der Form der Kontinente bedingt ist. Es ergeben sich Massentransporte infolge Abtragung der Gebirge und Ablagerung von Sedimenten durch Flüsse, Abschmelzen des Eises von den Polarkalotten, Meeresströmungen und dergleichen. Von nicht zu unterschätzendem Einflusse sind, wie Spitaler<sup>1)</sup> gezeigt hat, die Schwankungen des mittleren Luftdruckes und die hierdurch hervorgerufenen Massentransporte. Da im Winter der mittlere Luftdruck höher ist als im Sommer, so lasten auf verschiedenen Teilen der Erde zu verschiedenen Zeiten auch verschiedene Drucke, die sich mit Jahresperiode ändern. Der exakten Berechnung dieses Effektes stellen sich nun allerdings wegen unserer mangelhaften Kenntnis der Luftdruckverteilung auf der Erde, besonders in den Polargebieten, Schwierigkeiten entgegen, doch mag darauf hingewiesen werden, daß der Größenordnung nach die jährliche Periode der Polbewegung durch die erwähnte Ursache erklärt werden kann. Durch jeden Massentransport wird einmal die Massenverteilung der Erde geändert und damit auch die Lage ihrer Hauptträgheitsachsen bezüglich ihrer Umdrehungsachse; andererseits wird der Massentransport einen gewissen Impuls verlangen. Da nun der Gesamtimpuls der Erdmasse, der sich

---

<sup>1)</sup> Spitaler, Die periodischen Luftmassenverschiebungen und ihr Einfluß auf die Lagenänderung der Erdachse. Ergänzungsheft zu Petermanns Mitteilungen, Nr. 137.

aus jenem Impulse und dem der Erddrehung zusammensetzt, im Raume stets nach Größe sowohl wie nach Richtung ungeändert bleiben muß, so folgt, daß eine Änderung des einen Partialimpulses auch von einer Änderung des anderen Partialimpulses begleitet sein muß. Der Einfluß einer Störung macht sich um so stärker bemerkbar, je näher die Dauer der Störung der Periode der freien Nutation liegt<sup>1)</sup>; insbesondere haben Massentransporte, die in jährlichem Zyklus vor sich gehen, einen sechs- mal größeren Einfluß, als wenn sie in unendlich langsamer Zeit mit derselben Kraft einwirkten. Daher wird es nicht schwer, durch verhältnismäßig geringe Massentransporte die jährliche Periode der Polbewegung zu erklären.

Im Jahre 1902 hatte der japanische Astronom H. Kimura<sup>2)</sup> nachgewiesen, daß sich durch Einführung eines von der geographischen Länge unabhängigen Gliedes von Jahresperiode ( $z$ ) die Darstellung der bisher in der Form  $x \cos \lambda + y \sin \lambda$  ausgeglichenen Beobachtungen des Internationalen Breitendienstes wesentlich besser gestaltete. In der folgenden Tabelle sind die Werte des  $z$ -Gliedes, wie es sich im Mittel aus den sechs Stationen des Internationalen Breitendienstes ergeben hat, zusammengestellt: als Einheit gilt 0'',001.

	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
1900 . . . .	+ 20	+ 8	- 13	- 36	- 44	- 44	- 33	- 22	+ 14	+ 60
1901 . . . .	+ 76	+ 52	+ 8	- 20	- 31	- 37	- 31	- 9	+ 16	+ 32
1902 . . . .	+ 23	+ 4	- 5	- 33	- 60	- 62	- 38	- 8	+ 21	+ 32
1903 . . . .	+ 36	+ 40	+ 29	+ 2	- 23	- 31	- 16	+ 12	+ 39	+ 51
1904 . . . .	+ 55	+ 47	+ 21	- 9	- 26	- 23	+ 1	+ 23	+ 37	+ 57
1905 . . . .	+ 43	+ 20	- 4	- 35	- 60	- 58	- 30	- 5	+ 12	+ 25
1906 . . . .	- 2	- 29	- 47	- 51	- 51	- 41	- 21	+ 4	+ 18	+ 23
1907 . . . .	+ 2	- 30	- 43	- 43	- 41	- 35	- 10	+ 14	+ 20	+ 4
1908 . . . .	- 17	- 17	- 2	- 1	- 23	- 16	+ 12	+ 33	+ 55	+ 52
1909 . . . .	+ 50	+ 43	+ 42	+ 16	- 41	- 35	+ 3	+ 33	+ 50	+ 70
1910 . . . .	+ 41	+ 53	+ 40	+ 42	+ 5	- 7	+ 18	+ 9	+ 9	+ 14
1911 . . . .	+ 55	+ 84	+ 82	+ 67	+ 15	- 13	- 9	- 10	+ 4	+ 42
1912 . . . .	+ 60	+ 45	+ 26	- 9	- 34	- 1	+ 34	+ 45	+ 36	+ 16
Mittel	+ 34	+ 25	+ 10	- 8	- 32	- 31	- 9	+ 9	+ 25	+ 37

<sup>1)</sup> Vgl. Klein und Sommerfeld, Die Theorie des Kreisels 3, § 8.

<sup>2)</sup> Astron. Nachrichten 158, 233.

Man erkennt aus dieser Zusammenstellung, daß im Mittel ein sehr regelmäßiger Gang von jährlicher Periode vorhanden ist, dessen Amplitude aber nur  $0'',07$  beträgt. Inwieweit diesem Gliede Realität beizumessen war, blieb zunächst mit Rücksicht auf seine geringe Größe zweifelhaft; so ist die mangelhafte Kenntnis der Schlußfehler und ihre Verteilung für die Existenz des Kimuragliedes verantwortlich gemacht worden. Doch haben sich auch andererseits Stimmen genug gefunden, die dem Gliede reelle Bedeutung beimaßen, und die verschiedenen Versuche, dieses Glied zu erklären, bilden sicherlich nicht das uninteressanteste Kapitel in der Geschichte der modernen messenden Astronomie. Zunächst lag es natürlich nahe, das Kimuraglied mit meteorologischen Vorgängen, die ja auch Jahresperiode haben, zusammenzubringen; zur Entscheidung dieser Frage hat das Zentralbureau der Internationalen Erdmessung zwei Stationen auf der südlichen Halbkugel auf demselben Parallel eingerichtet, es sind dies die beiden bereits erwähnten Stationen in Oncativo und Bayswater. Ist das  $z$ -Glied terrestrischen Ursprungs, dann muß es auf der südlichen Halbkugel die entgegengesetzte Phase haben als auf der nördlichen Halbkugel. Ist es hingegen rein kosmischen Ursprungs, dann müssen die Beobachtungen auf der südlichen Halbkugel genau das gleiche  $z$  ergeben wie auf der nördlichen Halbkugel. Es ist endlich noch ein dritter Fall möglich: es ließe sich denken, daß der Schwerpunkt der Erde sich mit Jahresperiode längs der Rotationsachse der Erde verschöbe; an Gründen, auch diese Ansicht zu stützen, würde es jedenfalls nicht gefehlt haben; die Folge wäre, daß  $z$  an den Polen den Wert Null hätte, am Äquator ein Maximum, auf beiden Halbkugeln hätte  $z$  dann dasselbe Vorzeichen, indessen je nach der Breite verschiedene Werte. Diese letzte Möglichkeit festzulegen, ist durch die gewählten Stationen natürlich nicht möglich, da sie praktisch dieselbe Breite haben. In der folgenden Tabelle sind die Resultate dieser Beobachtungen hinsichtlich des  $z$ -Gliedes zusammengestellt, es ergibt sich die Differenz des  $z$  auf den beiden Halbkugeln im Sinne  $z$ -Süd minus  $z$ -Nord:

1906,44 . . .	+ $0'',034$	1906,67 . . .	+ $0'',020$
,51 . . .	+ $0,018$	,75 . . .	+ $0,003$
,58 . . .	— $0,008$	,84 . . .	+ $0,003$

1906,90 . . .	— 0",028	1907,52 . . .	— 0",016
,97 . . .	— 0 ,024	,60 . . .	—
1907,06 . . .	0 ,000	,67 . . .	— 0 ,019
,15 . . .	+ 0 ,006	,75 . . .	— 0 ,010
,26 . . .	+ 0 ,001	,83 . . .	+ 0 ,001
,35 . . .	+ 0 ,016	,91 . . .	+ 0 ,002
,43 . . .	— 0 ,011	1907,98 . . .	+ 0 ,028

Aus diesen Zahlen kann man nur folgern, daß in dem betrachteten Zeitabschnitt das  $z$ -Glied innerhalb der überhaupt erreichbaren Genauigkeitsgrenze auf der nördlichen und südlichen Halbkugel denselben Wert hatte; der durchschnittliche Wert der Differenz  $z$ -Süd minus  $z$ -Nord beträgt nur  $\pm 0",013$ . Neuerdings ist diese Übereinstimmung noch bestätigt worden durch Beobachtungen auf dem Observatorium zu Johannesburg in Südafrika. Damit fällt nun jede Möglichkeit einer terrestrischen Ursache. Ursachen kosmischer Natur sind mehrfach zur Erklärung herangezogen worden. Daß für die Existenz des Kimuragliedes die Parallaxe der beobachteten Sterne verantwortlich gemacht werden kann, darauf hat bereits Chandler hingewiesen, zeigte aber auch gleichzeitig die Schwierigkeit einer solchen Annahme; aus dem Kimuragliede würde nämlich für die absolute durchschnittliche Parallaxe  $0",128$  folgen. Da die im Programm des Internationalen Breitendienstes verwendeten Sterne etwa von der sechsten Größe und einer durchschnittlichen Eigenbewegung von  $0",08$  sind, so würde ein so großer Wert der Parallaxe in krassem Widerspruch zu unseren sonstigen, aus der Stellarastonomie herrührenden Vorstellungen über die Abhängigkeit der räumlichen Verteilung, Entfernungen der Fixsterne von ihrer Helligkeit und ihrer eigenen Bewegung stehen. Die Kapteynschen Formeln geben nämlich für unseren Fall eine Parallaxe von  $0",017$ ; das würde also nur den achten Teil des  $z$ -Gliedes ausmachen. Nun lauten aber die größten von den störenden Kräften in der Theorie der Rotation der Erde herrührenden Terme der Polhöhenvariation nämlich nach Oppolzer:

$$\varphi - \varphi_0 = + 0",009 \sin \Theta - 0",003 \sin (\Theta - 2 \odot),$$

wo  $\Theta$  die Ortssternzeit und  $\odot$  die mittlere Länge der Sonne darstellt. Der erste Term erzeugt, wenn immer zu der gleichen

bürgerlichen Zeit beobachtet wird, ein Glied jährlicher Periode, der zweite ein, halbjährig periodisches Glied. Kombiniert man diese beiden Glieder nach de Sitter<sup>1)</sup> unter Annahme einer mittleren Parallaxe der benutzten Sterne nach Kapteyn von  $0'',017$ , so erhält man  $+ 0'',017 \cos(\odot - 276^\circ)$  und dieser Ausdruck macht bereits fast die Hälfte des  $\varepsilon$ -Gliedes aus.

Einen eigenartigen Erklärungsversuch hat L. Courvoisier<sup>2)</sup> gegeben durch Annahme einer kosmischen Refraktion; nach Courvoisiers Hypothese, der P. Harzer<sup>3)</sup> eine exakte mathematische Formulierung verlieh, wird die Sonne von einer Atmosphäre geringer Dichte, aber großer Ausdehnung umgeben. Der von einem Gestirn kommende Lichtstrahl soll in dieser Atmosphäre eine Brechung erleiden, die den scheinbaren Ort eines Gestirnes wegen des Umlaufes der Erde um die Sonne jährlich periodisch beeinflussen müsste. Aus einer größeren Zahl von Beobachtungsreihen, teils älteren Reihen, teils besonderen für diesen speziellen Zweck angelegten Reihen leitete, Courvoisier numerische Werte für diese „kosmische Refraktion“ ab, die, wenn sie auch numerisch nur sehr geringe Größen sind, doch Realität zu besitzen scheinen. Indessen muß Courvoisier selbst zugeben, daß die resultierenden Brechungskoeffizienten zu Dichteverhältnissen jener Atmosphäre führen, die mit unseren sonstigen Erfahrungen in Widerspruch stehen; es braucht hier nur auf den Widerstand hingewiesen zu werden, den die Planeten, speziell die inneren, Merkur und Venus, bei ihrer Bewegung durch dieses Mittel erfahren würden; ferner müßte die Gesamtmasse dieser Atmosphäre so groß angenommen werden, daß sie Störungen in den Bewegungen der Planeten hervorrufen müßte. Natürlicher erschien von vornherein die Annahme einer Polhöenschwankung, deren Periode ungefähr die Länge eines mittleren Tages hat; eine solche kurzperiodische Schwingung könnte wegen der eintretenden Phasenverschiebung in der Tat ein Glied von scheinbar jährlicher Periode erzeugen. Einen direkten Versuch, eine tägliche Polhöenschwankung nachzuweisen, machten Kimura und Nakano auf der Internationalen Breitenstation in Mizusawa; sie beobachteten ein Jahr lang statt der üblichen zwei Gruppen deren

<sup>1)</sup> Astron. Nachrichten **166**, 331.

<sup>2)</sup> Ebendasselbst **167**, 81.

<sup>3)</sup> Ebendasselbst **168**, 261.

vier während einer Nacht, so daß die Breite an jedem Beobachtungsabend etwa acht Stunden unter Kontrolle stand. Nach einer Anordnung von Wanach ergeben sich aus diesen Beobachtungen im Mittel über etwa ein Jahr für die Abweichungen der beobachteten Polhöhe von der mittleren Polhöhe zu den mittleren Tagestunden die folgenden Werte:

7 <sup>h</sup> . . . . .	— 0'',051	12 <sup>h</sup> . . . . .	— 0'',013
8 . . . . .	+ 0 ,001	13 . . . . .	+ 0 ,017
9 . . . . .	— 0 ,010	14 . . . . .	— 0 ,022
10 . . . . .	+ 0 ,006	15 . . . . .	— 0 ,003
11 . . . . .	— 0 ,010		

Nach diesen Zahlen muß man schließen, daß keine tägliche Polhöenschwankung von meßbarer Größe existiert, wobei wir als meßbar etwa + 0'',005 ansehen dürfen. Wanach konnte fernerhin nachweisen, daß die Koordinaten der Polbewegung, wenn man sie ableitet, einerseits aus Beobachtungen in den frühen Abendstunden, andererseits aus solchen der späten Nachtstunden, sich völlig identisch ergeben. Existierte eine tägliche Polhöenschwankung, so müßten sich hier systematische Differenzen ergeben. Hingegen glaubt R. Schumann<sup>1)</sup>, der sich sehr eingehend mit dem vorliegenden Beobachtungsmateriale des Internationalen Breitendienstes beschäftigt hat, Andeutungen einer täglichen Schwingung erkennen zu können; nach ihm zeigen sich Abhängigkeiten der Schlußfehler von der geographischen Länge der Stationen, indessen in keiner einfachen Form, so daß die Schwankungen komplizierter Natur sein müßten. Schumann stützt sich weiterhin auf die Beobachtungsreihe W. Struve's im ersten Vertikal zu Pulkowa zur Bestimmung der Aberrationskonstanten und konstruierte aus diesem Materiale tägliche Polhöenschwankungen. Die Beweiskraft dieser Reihe ist jedoch nicht sehr groß, es ist bekannt, daß sie mit irgend einer unbekanntem, systematischen Fehlerquelle behaftet ist. Nach Analogie der Hall'schen Reihe, in der Newcomb eine starke Saalrefraktion als Ursache von systematischen Unstimmigkeiten nachgewiesen hat, dürfte diese Fehlerquelle auch in Pulkowa eine nicht unbedeutende Rolle gespielt haben. Die Bauart der älteren Beobachtungssäle begünstigte das Auftreten von Saalrefraktionen ganz außerordent-

1) l. c. Numerische Untersuchungen usw.

lich, und mehr oder minder sind alle älteren Beobachtungsreihen durch diese Fehlerquelle beeinflußt worden. Weitere Anhaltspunkte für das Bestehen täglicher Schwankungen glaubt Schumann in den Viergruppenbeobachtungen von Kimura und Nakano zu finden, ferner in einer Reihe von Beobachtungen von E. Schönberg in Dorpat, wo sich anscheinend eine Schwankung von 9- bis 10stündiger Dauer gezeigt hatte.

Entscheidend für die Frage der Existenz einer täglichen Polhöenschwankung wurden die Arbeiten der Sternwarte zu Pulkowa. Hier kulminiert der helle Stern  $\delta$  Cassiopejae  $1\frac{1}{2}$  Minuten südlich vom Zenit; er kann daher im Zenitteleskop wie ein Sternpaar beobachtet werden und seine Zenitdistanz direkt gemessen werden, und zwar dank seiner großen Helligkeit das ganze Jahr hindurch. Der Wunsch, klärend in das Polhöhenproblem einzugreifen, veranlaßte die Pulkowaer Sternwarte, ein großes Zenitteleskop zu bauen und mit diesem  $\delta$  Cassiopejae dauernd zu verfolgen, neben einem weiteren Polhöhenprogramm nach der üblichen Kettenmethode. Außerdem wurde, zeitweise wenigstens,  $\delta$  Cassiopejae auch noch im Passageninstrument im ersten Vertikal beobachtet<sup>1)</sup>, so daß hier die Möglichkeit vorlag, die verschiedenen Methoden in instrumenteller Hinsicht zu vergleichen und sie auf systematisch wirkende Fehler zu prüfen. Es ergab sich hier zunächst am Passageninstrument im ersten Vertikal eine starke persönliche Gleichung zwischen zwei Beobachtern, die den verhältnismäßig hohen Betrag von  $0'',3$  erreichte; so große persönliche Unterschiede sind bisher bei Beobachtungen am Zenitteleskop noch nicht konstatiert worden; ausnahmsweise kam hier  $0'',1$  vor, sonst hielten sich die persönlichen Unterschiede innerhalb weniger Hundertstel einer Bogensekunde. Hingegen zeigten sich die Beobachtungen am Passageninstrument frei von Auffassungsfehlern, die von der Helligkeit des Himmelshintergrundes abhängen, Fehler dieser Art (Lichtgleichung) haben wiederum die Messungen am Zenitteleskop stark beeinflußt. Die innere Genauigkeit ist für beide Instrumente etwa als gleich zu veranschlagen, es ergab sich nämlich der mittlere Fehler einer

---

<sup>1)</sup> S. Kostinsky, Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejae am Passageninstrument im I. Vertikal im Jahre 1905 bis 1906, und ihre Vergleichung mit gleichzeitigen Beobachtungen am Zenitteleskop. Mitteilungen der Nikolai-Hauptsternwarte zu Pulkowa **2**, Nr. 17.

Beobachtung zu  $\pm 0'',18$ . Die Vergleichung der Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ an den beiden Instrumenten zeigte eine außerordentliche hohe Parallelität im Verlauf der Polhöenschwankungen, beide Reihen ergeben gemeinschaftlich Ausschläge der Polhöhe von kurzer Dauer; die größten Abweichungen beider Reihen untereinander fallen auf Frühjahr und Herbst, d. h. gerade auf die Zeiten, wo sich der Einfluß der am Zenitteleskop erhaltenen negativen Parallaxe bemerkbar macht, die ohne Zweifel auf eine systematische Fehlerquelle der Beobachtungen am Zenitteleskop (Lichtgleichung) zurückzuführen ist. Vergleicht man beide Reihen hingegen mit den Polhöenschwankungen, wie sie aus den Beobachtungen des Internationalen Breitendienstes folgen, so ergeben sich Differenzen, die den beiden Pulkowaer Reihen gemeinsam sind. Diese Differenzen können nun nicht mehr der Beobachtungsmethode oder instrumentellen Fehlern zur Last gelegt werden. Hier ist der klare Beweis erbracht, daß es sich dabei um Einflüsse handelt, die dem Beobachtungsorte eigentümlich sind; wir wiesen bereits früher auf eine mögliche Erklärung dieser Erscheinung hin. Zur Beurteilung der Übereinstimmung der Polhöenschwankungen aus verschiedenen Reihen sei die folgende Tabelle gegeben.

Polhöenschwankungen in Pulkowa.

	Nach Beobachtungen von $\delta$ Cassiopejæ	Nach Sternpaaren am Zenitteleskop	Nach dem Internationalen Breitendienst
1905,0	$\pm 0'',18$	$\pm 0'',16$	$\pm 0'',18$
,1	$\pm 0,11$	$\pm 0,11$	$\pm 0,07$
,2	$\pm 0,01$	$\pm 0,02$	$-0,04$
,3	$-0,05$	$-0,08$	$-0,13$
,4	$-0,14$	$-0,16$	$-0,19$
,5	$-0,17$	$-0,18$	$-0,20$
,6	$-0,06$	$-0,13$	$-0,12$
,7	$\pm 0,01$	$0,00$	$-0,05$
,8	$\pm 0,06$	$\pm 0,09$	$\pm 0,04$
,9	$\pm 0,09$	$\pm 0,16$	$\pm 0,12$
1906,0	$\pm 0,12$	$\pm 0,17$	$\pm 0,12$
,1	$\pm 0,12$	$\pm 0,13$	$\pm 0,05$
,2	$\pm 0,10$	$\pm 0,06$	$-0,05$
,3	$\pm 0,06$	$-0,03$	$-0,13$
,4	$-0,09$	$-0,13$	$-0,17$
,5	$-0,13$	$-0,16$	$-0,18$
,6	$-0,14$	$-0,16$	$-0,16$
,7	$-0,10$	$-0,10$	$-0,11$

Zu diesen Zahlen ist zu bemerken, daß die Abweichungen der in Pulkowa beobachteten Polhöenschwankungen von den Resultaten des Internationalen Breitendienstes sich im allgemeinen in den Grenzen halten, innerhalb derer auch die Abweichungen der Stationen des Internationalen Breitendienstes liegen.

Von größter Bedeutung aber sind die Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ am Zenitteleskop, die nun schon seit dem Jahre 1904 dauernd ausgeführt werden, für die Frage nach der Realität des  $z$ -Gliedes geworden. Rührt das  $z$ -Glied, wie schon behauptet wurde, nur her von der Unmöglichkeit, die einzelnen Sterngruppen bei der Kettenmethode richtig zu verbinden, so dürfte es in den Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ überhaupt nicht oder zum mindesten anders auftreten als in den Beobachtungen nach der Kettenmethode. Auch die Frage nach der Existenz einer Polhöenschwankung von täglicher Periode kann hier entschieden werden. Mehr als dreijährige Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ hat I. Bonsdorff<sup>1)</sup> in dieser Richtung diskutiert. Eine tägliche Polhöenschwankung wird, wenn sie in demselben Sinne erfolgt wie die Bewegung der Sonne, zur Folge haben, daß an allen Orten der Erde, wo zu der nämlichen Ortszeit beobachtet wird, je nach der Phase die Polhöhe zu groß oder zu klein erhalten wird. Es kann daher das Glied mit Jahresperiode hervorgerufen werden durch eine tägliche Polhöenschwankung, deren Periodenlänge  $\left(24 \pm n \frac{24}{366}\right)$  Stunden beträgt, wo für  $n$  nur die Fälle  $n = 0$  und  $n = +1$  in Betracht kommen, d. h. wir erhalten die Periodenlängen:  $24^h$  mittlere Zeit für  $n = 0$ ,  $23^h 56,05^m$  mittlere Zeit gleich  $24^h$  Sternzeit für  $n = -1$  und  $24^h 3,95^m$  mittlere Zeit für  $n = +1$ . Der Fall  $24^h$  Sternzeit ist sofort auszuschalten, da die Beobachtung dann überall auf der Erde zur gleichen Phase stattfände, somit eine tägliche Polhöenschwankung nur die Deklinationen konstant verfälschen würde. Hat die Periode eine Länge von  $24^h$  mittlere Zeit, so wird sich für  $\delta$  Cassiopejæ, der doch stets zur selben Sternzeit beobachtet wird, die Phase um rund vier Minuten täglich verschieben und daher ein jährlich periodisches Glied hervorrufen können. In den nach der Ketten-

---

<sup>1)</sup> I. Bonsdorff, Über das  $z$ -Glied der Polbewegung. Mitteilungen der Nikolai-Hauptsternwarte zu Pulkowa 3, 33.

methode angestellten Beobachtungen würde die tägliche Schwankung, wenn stets zur selben Ortszeit beobachtet wird, nur die Verbindung zweier Gruppen fälschen und sich dann im Bestehen eines Schlußfehlers verraten. Tatsächlich wird jedoch bei dem Programm des Internationalen Breitendienstes nicht zu derselben Ortszeit beobachtet, sondern im Winter etwas früher, im Sommer etwas später; ein Blick auf das Schema auf Seite 18 lehrt uns das. Daher kann auch in den Beobachtungen nach der Kettenmethode ein jährliches Glied zustande kommen. Um die Größe des  $z$ -Gliedes zu erklären, muß aber die Amplitude der vermuteten täglichen Schwankung zu  $0'',30$  angenommen werden, und daraus würde hinwiederum ein Schlußfehler von  $1'',5$  resultieren. Die Größe des beobachteten Schlußfehlers hält sich, wie wir bereits gesehen haben, weit unter dieser Grenze, so daß also auch diese Annahme fallen gelassen werden muß. Bonsdorff zeigt weiterhin, daß der dritte Fall, eine Periode  $24^h 3,9^m$  mittlere Zeit, das beobachtete  $z$ -Glied recht gut erklären kann: die Amplitude würde dann zu  $0'',048$  und das Maximum am 21. Dezember um 12 Uhr nachts anzunehmen sein. In den Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ würde sich diese Schwingung als Periode von halbjähriger Dauer zeigen. Bonsdorff diskutiert daraufhin die Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ unter Einführung von Parallaxe, Lichtgleichung und Verbesserung der Aberrationskonstanten als Unbekannten; die resultierende negative Parallaxe ist vermutlich auf eine größere Lichtgleichung zurückzuführen; für die Aberrationskonstante folgt:

$$0,82 da - z = - 0'',027$$

Es lassen sich also Aberrationskonstante und  $z$ -Glied nicht ohne weiteres voneinander trennen. Tritt das  $z$ -Glied in den Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ überhaupt nicht auf, so erhält die Aberrationskonstante den Wert  $20'',437$ ; hat das  $z$ -Glied hingegen den Wert  $z = 0'',045$  (aus Bd. 3 der Resultate des Internationalen Breitendienstes), so wird die Aberrationskonstante den Wert  $20'',492$  erhalten, mit dem auf Seite 31 angeführten Mittelwerte von  $z$  gelangen wir zu  $z = 20'',480$ . Der von der Pariser Konferenz angenommene, aus einer großen Zahl von Einzelbestimmungen nach verschiedenen Methoden abgeleitete Wert der Aberrationskonstante ist  $20'',470$ . Man sieht, daß der Wert der Aberrations-

konstante, der unter der Voraussetzung eines nicht existierenden  $z$ -Gliedes abgeleitet wurde, sehr unwahrscheinlich ist; daher ist man wohl zu dem Schlusse berechtigt, daß das  $z$ -Glieed sich auch in den Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ mit derselben Phase wie im Internationalen Breitendienste als Jahresperiode zeigt. Die bei dieser Ausgleichung übrigbleibenden Fehler untersuchte Bondorff nun noch auf eine halbjährige Periode — mit negativem Resultat — es zeigt sich nicht die geringste Spur einer solchen. Es muß daher als erwiesen gelten, daß eine merkliche Schwankung der Polhöhe von nahezu täglicher Periode nicht existiert, und fernerhin das  $z$ -Glieed als reell zu betrachten ist und nicht hervorgerufen wird durch irgendwelche der Kettenmethode zur Last zu legende Mängel.

Perioden von längerer Dauer scheinen indessen zu existieren. Faßt man<sup>1)</sup> nämlich die Einzelwerte der gemessenen Zenitdistanzen von  $\delta$  Cassiopejæ zu Mittelwerten aus je 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24 und 32 Beobachtungen zusammen, berechnet die mittleren Fehler dieser Mittelwerte und multipliziert letztere der Reihe nach mit  $\sqrt{2}$ ,  $\sqrt{4}$ ,  $\sqrt{6}$  ...  $\sqrt{32}$ , so sollte man den Betrag des mittleren Fehlers erhalten, der in diesem Falle zu  $+0'',186$  abgeleitet wurde, statt dessen resultieren die folgenden Werte:

Mittl. Fehler aus 2 Beobachtungen	multipliziert mit $\sqrt{2}$	$= +0'',184$
„ „ „ 4	„ „ „ $\sqrt{4}$	$= 0,180$
„ „ „ 6	„ „ „ $\sqrt{6}$	$= 0,171$
„ „ „ 8	„ „ „ $\sqrt{8}$	$= 0,127$
„ „ „ 12	„ „ „ $\sqrt{12}$	$= 0,137$
„ „ „ 16	„ „ „ $\sqrt{16}$	$= 0,110$
„ „ „ 24	„ „ „ $\sqrt{24}$	$= 0,120$
„ „ „ 32	„ „ „ $\sqrt{32}$	$= 0,114$

Das will bedeuten, daß sich in den Einzelwerten noch irgendwelche systematische Einflüsse geltend machen, die erst im Mittel aus acht Beobachtungen verschwinden: erst von diesem Mittel an zeigt der mittlere Fehler Konstanz. Man würde also, da dem Mittel aus acht Beobachtungen etwa ein Monat entspricht, auf eine Welle von etwa 28tägiger Dauer schließen können, deren

<sup>1)</sup> Semenow, Die Beobachtungen von  $\delta$  Cassiopejæ etc. Mitteilungen der Nikolai-Hauptsternwarte zu Pulkowa 3, 32.

Amplitude indessen so gering sein muß, da sich sonst nichts Bestimmtes mehr über diese Welle ermitteln ließ. Möglicherweise handelt es sich aber um nichts anderes als um geringfügige Nutationsglieder, die bei Berechnung der Sterndeklinationen wegen ihrer geringen Größe vernachlässigt wurden.

Über die Herkunft des  $z$ -Gliedes kann, wie wir sahen, vor-derhand nichts Sicheres ausgesagt werden. Es erscheint erforderlich, um diese Frage zu klären, Beobachtungen in verschiedenen Breiten anzustellen. Wie bereits früher erwähnt wurde, besteht die Möglichkeit, das  $z$ -Glied zu erklären durch Annahme einer Verschiebung des Schwerpunktes der Erde längs ihrer Achse mit Jahresperiode. Die Bestimmungen des  $z$ -Gliedes, die wir besitzen, sind praktisch in denselben Breiten angestellt, so daß wir aus ihnen eine Entscheidung noch nicht treffen können.

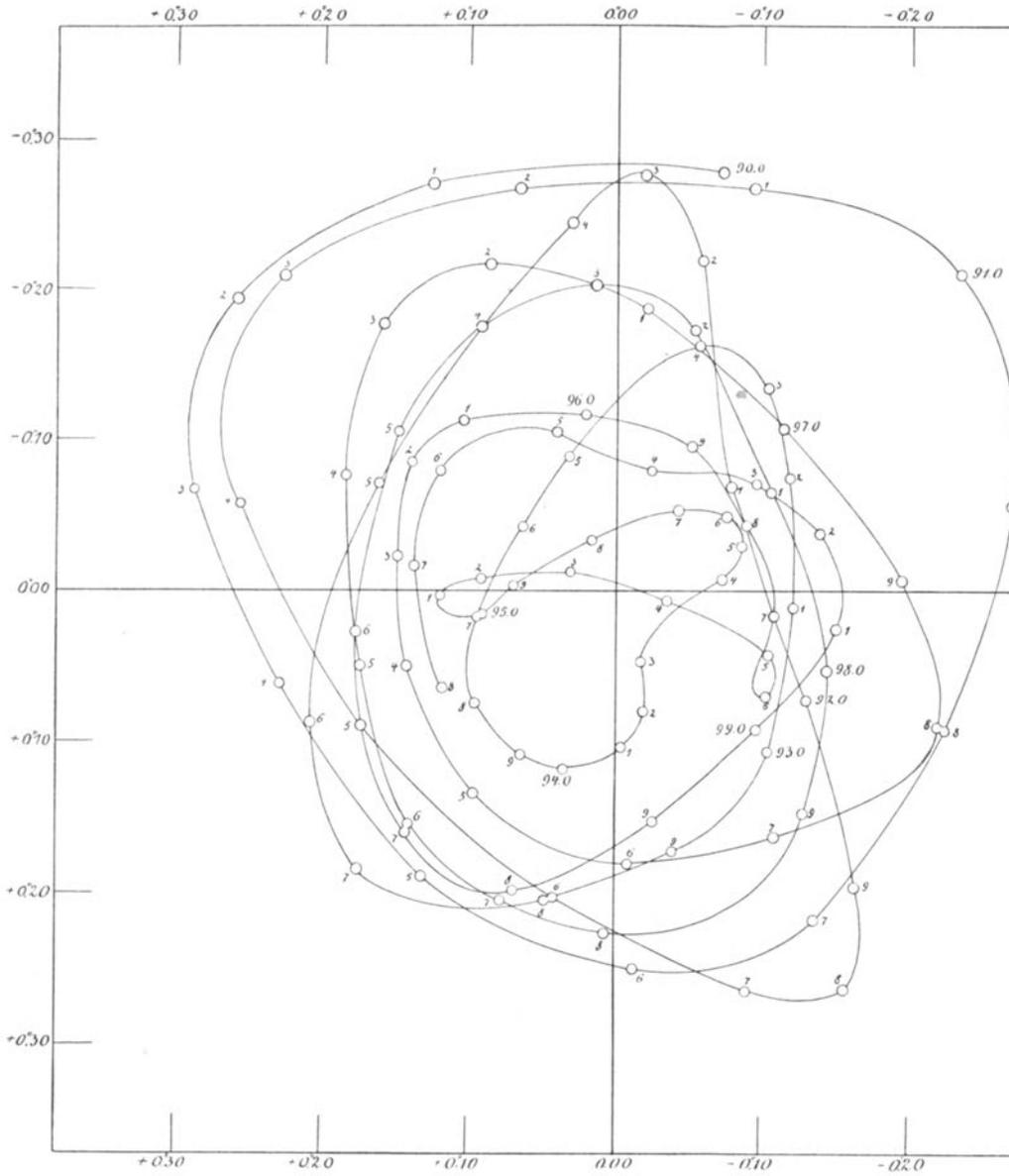
In der nächsten Zukunft aber sind weitere Beiträge zur Polhöhenfrage zu erwarten dank der freiwilligen Mitarbeit einiger Observatorien. Seit 1910 beteiligt sich das „Government Observatory“ zu Johannesburg in Südafrika mit Beobachtungen an einem großen Zenitteleskop nach der Kettenmethode. An anderen Sternwarten, die günstig gelegen sind, werden helle Zenitsterne, nach Analogie von Pulkowa, im ersten Vertikal beobachtet; hier sind zu nennen Christiania und Upsala, die nahe unter derselben Breite liegen wie Pulkowa und daher  $\delta$  Cassiopejæ verfolgen können; in Lissabon soll  $\alpha$  Lyrae beobachtet werden. Besonders günstig gelegen für diesen Zweck ist die neue Sternwarte in Turin (Breite  $45^{\circ} 2'$ ), hier kulminieren die folgenden hellen Sterne, genügend nahe südlich vom Zenit:

	Rekt- aszenion	Südl. Zenit- distanz
$\beta$ Aurigae . . . . .	5,9 <sup>h</sup>	6'
$\psi$ Ursae majoris . . . . .	11,1	3
$\delta$ Cygni . . . . .	19,7	7
$\alpha$ Cygni . . . . .	20,6	4

Da diese Sterne auch bezüglich der Rektaszenion gut über den Himmel verteilt sind, so ist zu hoffen, daß diese projektierten Beobachtungen wichtige Beiträge zu unserem Problem liefern werden.

Tafel I, II, III.

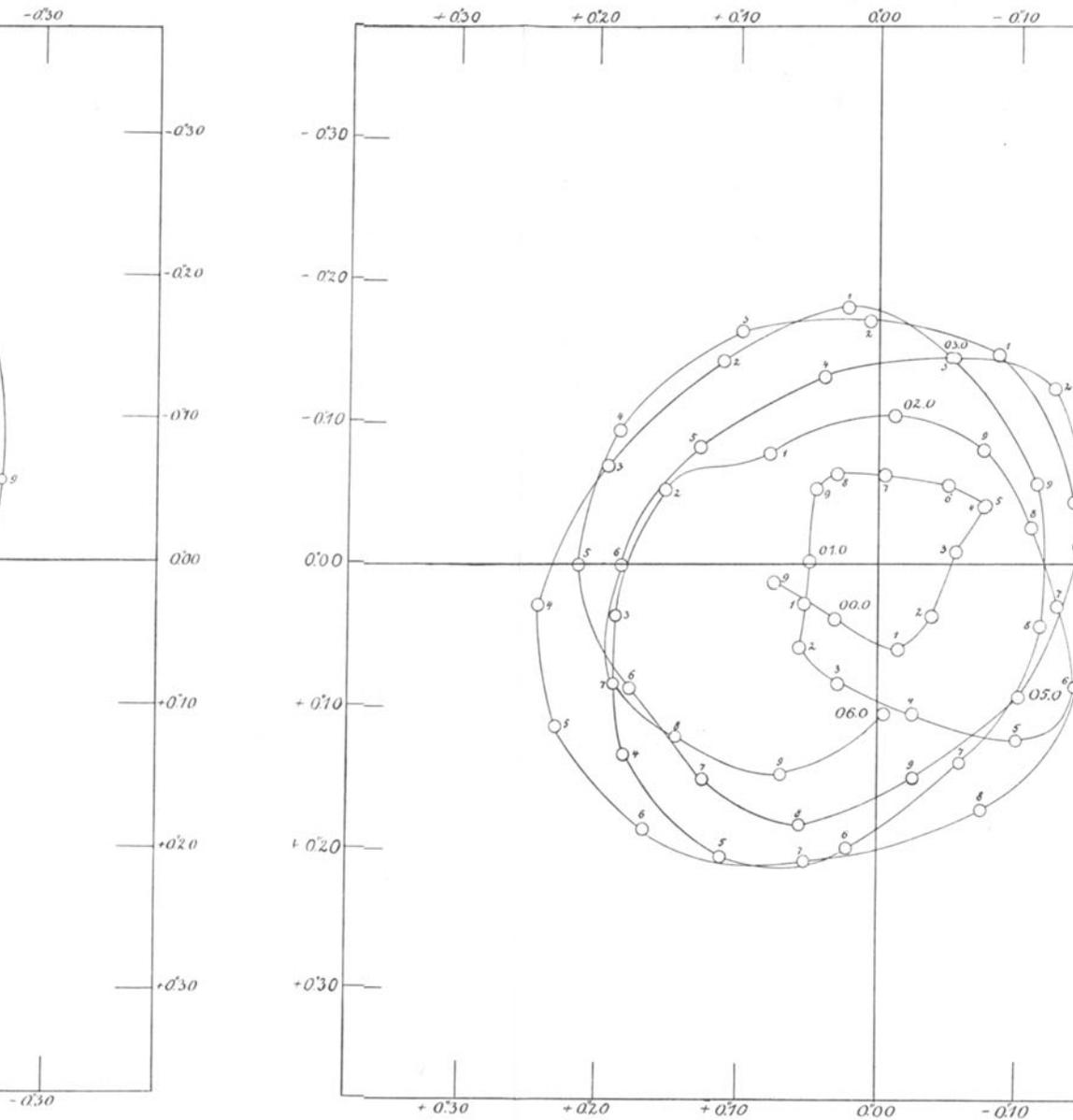
1890,0—1899,8



Przybyłok, Polhöhenchwankungen.

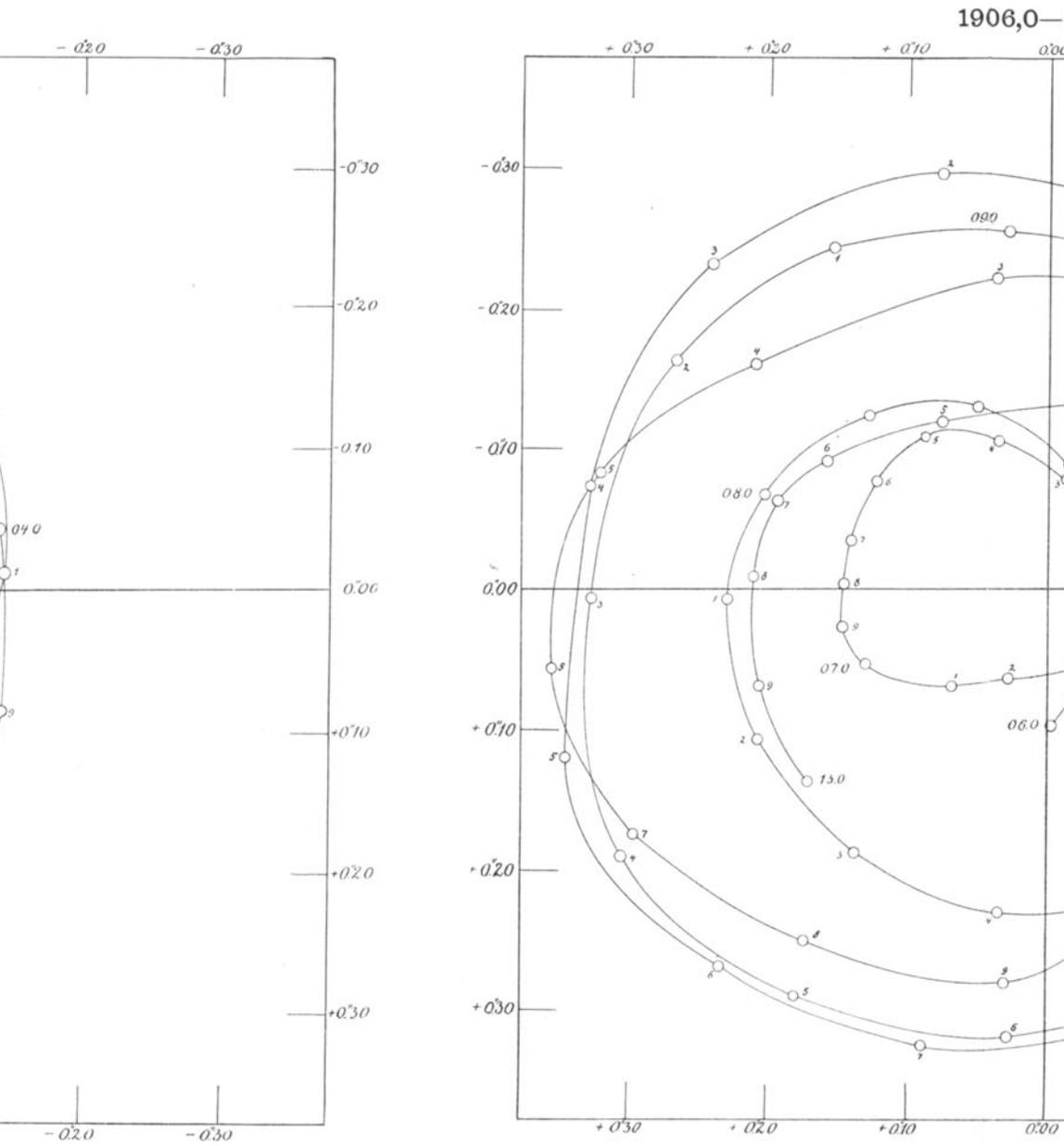
# Bahn des Nordpols der Erdoberfläche

1899,9—1906,0



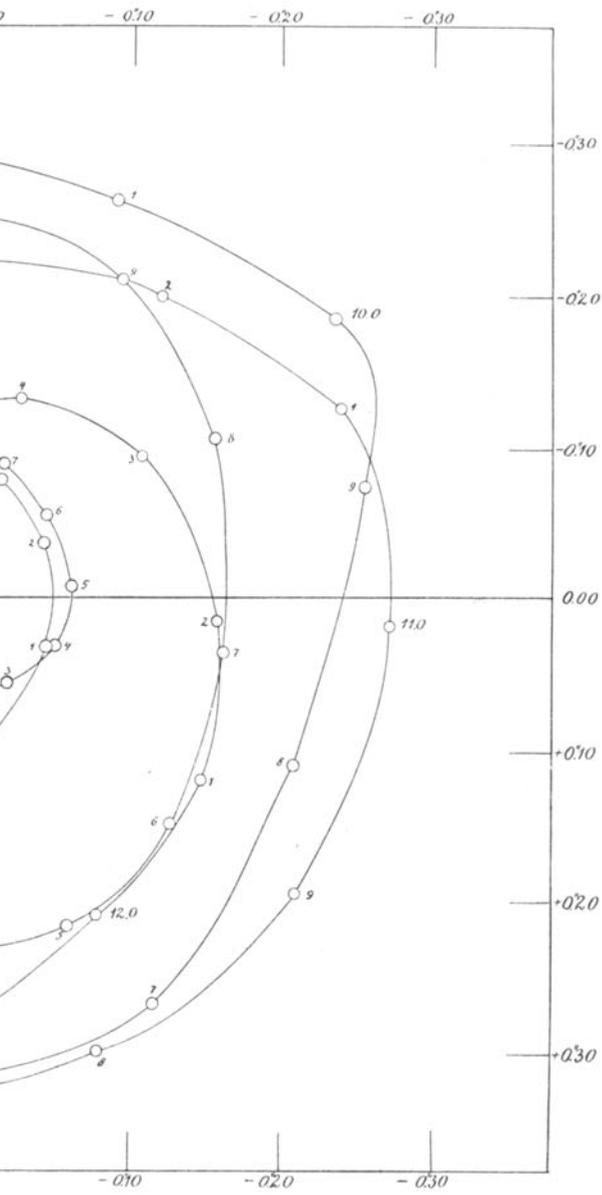
Die vertikale Achse ist die  $x$ -Achse, die horizontale

# se in den Jahren



le die  $y$ -Achse.

1913,0



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig.

Bisher erschienene Hefte  
der  
**Sammlung Vieweg**

---

---

- Heft 1. Dr. Robert Pohl und Dr. P. Pringsheim-Berlin: *Die lichtelektrischen Erscheinungen*. Mit 36 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 2. Dr. C. Freiherr von Girsowald-Berlin-Halensee: *Peroxyde und Persalze*. M. 2,40.
- Heft 3. Diplomingenieur Paul Bėjeuhr-Charlottenburg: *Der Blériot-Flugapparat und seine Benutzung durch Pégoud vom Standpunkte des Ingenieurs*. Mit 26 Abbildungen. M. 2,—.
- Heft 4. Dr. Stanislaw Loria-Krakau: *Die Lichtbrechung in Gasen als physikalisches und chemisches Problem*. Mit 3 Abbildungen und 1 Tafel. M. 3,—.
- Heft 5. Professor Dr. A. Gockel-Freiburg i. d. Schweiz: *Die Radioaktivität von Boden und Quellen*. Mit 10 Abbildungen. M. 3,—.
- Heft 6. Ingenieur D. Sidersky-Paris: *Brennereifragen: Kontinuierliche Gärung der Rübensäfte. — Kontinuierliche Destillation und Rektifikation*. Mit 24 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 7. Hofrat Professor Dr. Ed. Donath und Dr. A. Gröger-Brünn: *Die flüssigen Brennstoffe, ihre Bedeutung und Beschaffung*. Mit 1 Abbildung. M. 2,—.
- Heft 8. Geh. Reg.-Rat, Professor Dr. Max B. Weinstein-Berlin: *Kräfte und Spannungen. Das Gravitations- und Strahlenfeld*. M. 2,—.
- Heft 9/10. Geh. Reg.-Rat, Professor Dr. O. Lummer-Breslau: *Verflüssigung der Kohle und Herstellung der Sonnentemperatur*. Mit 50 Abbildungen. M. 5,—.
- Heft 11. Dr. E. Przybyllok: *Polhöhen-Schwankungen*. Mit 8 Abbildungen. M. 1,60.
- Heft 12. Professor Dr. Albert Ooppel-Halle a. S.: *Gewebekulturen*. Mit 32 Abbildungen. M. 3,—.
-