

ÜBER MAGNETISCHE STÖRUNGEN, DIE AN SÜDNORWEGISCHEN NORDLICHTTAGEN IN POTSDAM BEOBACHTET WURDEN

VON
A. RØSTAD

(Eingeliefert am 28. Januar 1931).

INHALTSVERZEICHNIS.

	Seite
Einleitende Bemerkungen	3
Die Beziehung zwischen magnetischer Störungsintensität und angulärem Abstand des Nordlichts vom magnetischen Achsenpunkt der Erde	4
Die perturbierende Kraft	9
Die Beziehung der perturbierenden Kraft zur magnetischen Achse der Erde	12
Die Beziehung zwischen θ und P_a	24
Gesetzmässigkeiten der viertelstündlichen Schwankungen	25
Zusammenfassung	30

EINLEITENDE BEMERKUNGEN.

Diese Abhandlung bildet eigentlich die Fortsetzung einer früher veröffentlichten Arbeit¹⁾, in der die Abhängigkeit der geographischen Verbreitung der Nordlichter von der Intensität gleichzeitig auftretender magnetischer Störungen behandelt wurde. Die statistischen Ergebnisse zeigten eine ausgesprochene Zunahme der südlichen Entfernung der Nordlichterscheinungen von der Nordlichtzone bei zunehmender Intensität der magnetischen Störungen. Leider enthielten die verwendeten Nordlichtbeobachtungen zu ungenaue Berichte über die geographische Position der Nordlichter, und die erhaltenen Ergebnisse konnten deshalb nur als qualitativ richtig behauptet werden.

Die Gelegenheit, diese weitere Berechnungsarbeit ausführen zu können, verdanke ich den Professoren *C. Størmer* und *L. Vegard*, deren starkes Interesse für meine Untersuchungen mich zur grössten Dankbarkeit verpflichtet. Besonders der erstere hat mir mehrmals vorgeschlagen die Beziehung des Nordlichtabstandes vom magnetischen Achsenpunkt der Erde zu der gleichzeitig auftretenden magnetischen Störungsintensität näher zu untersuchen, unter Zugrundelegung seiner inzwischen veröffentlichten genauen Positionsbestimmungen.

In seinen theoretischen Arbeiten hat es *Størmer* als wahrscheinlich angesehen, dass der grosse Unterschied zwischen beobachtetem und berechnetem Nordlichtabstand vom magnetischen Achsenpunkt der Wirkung eines elektrischen Ringstroms zuzuschreiben wäre. Dieser hypothetische Ringstrom sollte in der magnetischen Äquatorebene der Erde fliessen. Sein Mittelpunkt sollte in der Erde liegen, und seine Entfernung von der Erde sollte sehr gross sein. Seine magnetische Wirkung am Ort der Erde sollte deshalb mit grosser Annäherung ein homogenes Feld bilden, dessen Kraftrichtung der magnetischen Achse parallel sein sollte. Der Gedanke liegt daher nahe, dass eine Untersuchung derjenigen Komponente der perturbierenden Kraft, die parallel zur magnetischen Achse verläuft, vielleicht wichtige Ergebnisse zeitigen würde, und *Størmer* hat mir deshalb wiederholt eine solche Untersuchung vorgeschlagen.

¹⁾ *A. Røstad*, Über die Einwirkung der magnetischen Perturbationen auf die geographische Verbreitung des Nordlichts. Geof. Publ. Vol. V. No. 5. Oslo 1928.

Als ich beschlossen hatte, solche Untersuchungen vorzunehmen, musste ein statistisches Berechnungsverfahren gewählt werden, mittels dessen die perturbierende Kraft in Komponenten, die zur magnetischen Achse bezogen und nicht nach irgend einer rein geographischen Orientierung bestimmt waren, aufgelöst werden konnte. Dieses Berechnungsverfahren, das später beschrieben wird, wurde zuerst auf etwa 30 magnetische Störungstage angewandt, die derart ausgewählt waren, dass sie mit den photographischen Positionsbestimmungen korrespondierten. Ausser Beziehungen zwischen Störungsintensität und Nordlichtabstand vom magnetischen Achsenpunkt, erhielt ich gleich einige rein magnetische Ergebnisse und beschloss daher auch sämtliche 109 Störungstage, die in der früheren Abhandlung bearbeitet worden sind, nach der neuen Methode zu untersuchen.

Die Ergebnisse dieser umfassenden Untersuchungen liegen jetzt vor. Diese Abhandlung umfasst daher zwei verschiedene Reihen von Ergebnissen: a) Beziehungen der gemessenen Nordlichtabstände vom magnetischen Achsenpunkt der Erde zur magnetischen Störungsintensität, und b) spezielle Eigenschaften der magnetischen Störungen. Die Rechtfertigung dieser Kombination liegt in dem Umstand, dass im Sinne der kosmischen Strahlungstheorie auch die Beziehung zwischen Nordlichtposition und magnetischer Störungsintensität als eine kosmisch-magnetische Wirkung der Störungfelder anzusehen ist.

Ökonomische Unterstützung durch «Birkelandsfondet» und «Statens Forskningsfond» hat mir die Ausführung der zeitraubenden Berechnungsarbeit ermöglicht. An dieser Stelle möchte ich auch den Assistenten, die mir bei der Berechnungsarbeit behilflich gewesen sind, stud. real. Fr. *Kari Hornnes*, Fr. *Eldbjørg Danielsen*, stud. real. *Hans Sandøy*, Herrn *Ragnar Veimo* und einigen anderen, die nur gelegentlich an der Arbeit teilgenommen haben, meine grosse Dankbarkeit aussprechen.

DIE BEZIEHUNG ZWISCHEN MAGNETISCHER STÖRUNGSINTENSITÄT UND ANGULÄREM ABSTAND DES NORDLICHTS VOM MAGNETISCHEN ACHSENPUNKT DER ERDE.

Das Beobachtungsmaterial. Bei dieser Untersuchung wurden, wie früher erwähnt, die von *Størmer* veröffentlichten Positionsbestimmungen¹⁾ einzelner Nordlichterscheinungen verwendet. Für eine grössere Reihe von Nordlichtpositionen hat er den Winkel θ zwischen zwei verschiedenen Radiusvektoren berechnet. Beide waren vom Erdmittelpunkt aus gezogen, der eine nach dem photographisch fixierten Nordlichtpunkt, der andere nach dem magnetischen Achsenpunkt der Erde, d. h. nach dem Schnittpunkt zwischen der magnetischen Achse und der Erdoberfläche. Dieser Winkel bildet somit den angulären Abstand des fixierten Punktes vom magnetischen Achsenpunkt, die beiden Punkte vom Mittelpunkt der Erde aus gesehen.

Die geographische Verbreitung der Nordlichter lässt sich, wie bekannt, einfach auf die magnetische Achse der Erde beziehen. Die magnetische Achse ist dann als Symmetrieachse des ersten harmonischen Gliedes anzusehen, dass man bei der Entwicklung des magnetischen Potentials der Erde nach Kugelfunktionen erhält. Auch theoretisch wird eine solche Beziehung abgeleitet. Deshalb war es natürlich, die gefundenen Werte von θ als die südliche Reichweite der Nordlichter charakterisierende Werte zu verwenden.

Die photographisch fixierten Lichterscheinungen waren jedoch nicht immer in der für solche Untersuchungen vorteilhaftesten Weise gewählt. Beim Photographieren wurden natürlich die hellsten und ruhigsten Stellen vorgezogen. Ob die so erhaltenen Positionen zu jeder Zeit eine zuverlässige Darstellung der südlichen Reichweite der verschiedenen Nordlichtformen geben konnten, war eine Frage, die selbstverständlich nicht in erster Reihe berücksichtigt werden konnte.

¹⁾ *Carl Størmer*, Résultats des mesures photogrammétriques des aurores boréales observées dans la Norvège méridionale de 1911 à 1922. Geof. Publ. Vol. IV. No. 7, S. 73. Oslo 1926.

Dieser Nachteil der photographischen Positionsbestimmungen bereitet indessen nur für einzelne Nordlichttage besondere Schwierigkeiten. An Tagen mit Nordlicht nur am nördlichen Himmel geben wohl gewöhnlich die südlichsten Lichtbildungen dem Photographen die vorteilhaftesten Fixierungspunkte. Die an solchen Nordlichttagen erhaltenen Positionsbestimmungen ergaben auch für meine Untersuchungen die vorteilhaftesten Werte von θ .

Nur wenn die Lichterscheinungen sich ganz oder teilweise auch über den südlichen Himmel ausbreiten, treten bedeutendere Schwierigkeiten auf. Auch dann bilden sich oft die hellsten und schärfsten Lichteffekte vorzugsweise am nördlichen Himmel, wo sie für bequeme Positionsbestimmungen photographisch ausgewählt werden. Beim Durchmustern des Beobachtungsmaterials fiel mir diese Tatsache sofort auf. Die an solchen Beobachtungstagen erhaltenen Werte von θ konnten nicht mit denjenigen Werten in Übereinstimmung gebracht werden, die für Tage mit Nordlicht nur am nördlichen Himmel berechnet waren.

Als ich *Störmer* auf diese Ungleichförmigkeit des Materials aufmerksam machte, sagte er sogleich, dass er an Tagen mit Lichtbildung am südlichen Himmel seine photographischen Objekte vorzugsweise am nördlichen Himmel ausgesucht hätte. Tief am südlichen Himmel war das Photographieren durch Strassenbeleuchtung erheblich erschwert

Das erdmagnetische Material erhielt ich hauptsächlich vom magnetischen Observatorium in Potsdam, das mir das ausgezeichnete Registrierungsmaterial nochmals in der entgegenkommendsten Weise zur Verfügung stellte. Für 32 Tage, an denen photographische Positionsbestimmungen ausgeführt waren, habe ich daraus die perturbierende magnetische Kraft berechnet und ihre Beziehung zu den berechneten Werten von θ untersucht.

Neben diesen Untersuchungen wurden auch die erdmagnetischen Verhältnisse in Tucson, Arizona, untersucht. Für diese Station hatte ich leider nicht die Gelegenheit die ursprünglichen Registrierungen zu bearbeiten, und deshalb sind hier nur die von «U. S. Coast And Geodetic Survey» veröffentlichten Stundenwerte der drei gewöhnlichen magnetischen Elemente bei der Untersuchung verwendet worden.

Das Berechnungsverfahren. Wie in meiner früheren Arbeit, so wurde auch hier eine perturbierende magnetische Kraft für die Darstellung der Störungsintensität berechnet. Jedoch ist hier ein anderes, mathematisch exakteres, Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Stundenwerte angewandt worden.

Die einzelnen Registrierungen jedes erdmagnetischen Elements wurden am Observatorium auf durchsichtiges Papier überführt. Für jeden Störungstag wurde danach auf dasselbe Papier die Registrierung eines sehr naheliegenden, möglichst ungestörten Tages als Normalverlauf des betreffenden Beobachtungselements zum Vergleich eingezeichnet¹⁾. Zuhause habe ich dann für jede Viertelstunde die durchschnittliche Abweichung der gestörten Kurve von der Vergleichskurve mittels untergelegten Millimeterpapiers in ganze Millimeter abgelesen.

In dieser Weise wurden für jedes Beobachtungselement die entsprechende viertelstündliche Abweichung l_h , l_a , l_v , die viertelstündlichen Mittelwerte der korrespondierenden Kraftkomponenten P_h , P_a , P_v , und aus diesen Komponenten die perturbierende Kraft P nach der einfachen Formel

$$P^2 = P_h^2 + P_a^2 + P_v^2$$

berechnet.

Die perturbierende Kraft wird also hier mittels der Formel

$$P = F - F_n$$

mathematisch definiert, wo P die perturbierende Kraft, F die gemessene Totalkraft und F_n die Vergleichskraft bedeutet.

¹⁾ Siehe auch: *Kr. Birkeland*, The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902—1903, Vol. I, Christiania 1908.

Die Vergleichskraft F_n ist nach einer physikalischen Definition bestimmt. Physikalisch kann sie nämlich als der hypothetische Wert angegeben werden, den die magnetische Totalkraft angenommen hätte, wenn keine Störung eingetroffen wäre. Leider ist jedoch die Bestimmung der Vergleichskraft nach dieser Definition oft mit grosser Unsicherheit verbunden.

Wenn mehrere ganz ruhige Tage dem gestörten unmittelbar vorausgehen, verliert F_n einermassen den hypothetischen Charakter und kann mit ziemlich grosser Sicherheit bestimmt werden. Ziemlich einfach liegen auch die Verhältnisse, wenn der ausgewählte Störungstag sich mit einigen anderen, mässig gestörten, Tagen zwischen mehreren ganz ungestörten Tagen befindet, und die Totalintensität der ungestörten Tage vor und nach den Störungstagen nicht bemerkbar verändert ist.

Schwieriger wird es aber, wenn eine nicht unbedeutende Veränderung in der gemessenen Totalintensität der ganz ruhigen Tage festgestellt werden kann, und diese Veränderung den Störungstagen zugeschrieben werden muss. Sie kann dann als eine Nachwirkung der Störungen betrachtet werden, und die Frage entsteht, in welchem Mass diese Nachwirkung beim Einzeichnen der Normalkurven zu berücksichtigen sei. In solchen Fällen ist es gewiss nicht möglich, eine genaue Schätzung der Nachwirkung vorzunehmen. Dann muss eine gewisse Willkür mit dem Einzeichnen von Normalkurven verbunden sein, und die resultierende Unsicherheit nimmt mit der Anzahl und Störungsintensität der gerade vorausgegangenen und nachfolgenden gestörten Tage erheblich zu.

Eine mathematisch schärfere Bestimmung der Vergleichskurve wäre gewiss möglich, wenn die Mittelwerte der fünf oder zehn ruhigsten oder der fünf internationalen ruhigen Tage des Monats als Vergleichswerte verwendet würden. Doch wäre es viel schwieriger, den so erhaltenen Vergleichskurven einen bestimmten physikalischen Sinn zu geben. Das Problem würde dadurch gar nicht gelöst, sondern durch eine viel unbestimmtere Beziehung zwischen Störungskurve und Vergleichskurve verschleiert werden. Auch würde die Berechnungsarbeit, besonders wenn wie hier viertelstündliche Werte zu berechnen wären, viel zeitraubender sein, und die Vergrösserung der mathematischen Bestimmtheit wäre gewiss nicht gross genug, um den bedeutend vergrösserten Arbeitsaufwand und die physikalische Unbestimmtheit rechtfertigen zu können.

Ein anderes Verfahren, das zur Darstellung der stärksten Störungen vielfach benutzt wird, konnte hier gar nicht in Betracht kommen. Bei diesem Verfahren werden die aus den zehn gerade vorausgegangenen gestörten oder ungestörten Tagen erhaltenen Mittelwerte als Vergleichswerte benutzt. Statt der Beziehung zwischen gestörter und ungestörter Intensität, würden dadurch Beziehungen zwischen einer besonderen gestörten Intensität und zehn anderen gestörten oder ungestörten Intensitäten in die Rechnung eingeführt werden.

Das gewählte Berechnungsverfahren gibt wohl die einfachste physikalische Definition der perturbierenden Kraft. Besonders muss darauf geachtet werden, dass die tägliche magnetische Variation, die regelmässig an ungestörten Tagen wiederkehrt, eliminiert wird. Ob die geographische Verbreitung des Nordlichts wirklich von dieser täglichen Variation unabhängig ist, ist eine Frage, die hier nicht behandelt werden kann.

Das natürliche Berechnungsverfahren wäre, für jede photographische Aufnahme den momentanen Wert der gleichzeitig auftretenden perturbierenden magnetischen Kraft zu berechnen. Hier jedoch wurde ein anderes Verfahren benutzt. Das geschah, um Werte zu erhalten, die auch bei der speziellen Untersuchung der magnetischen Störungen statistisch verwendbar wären.

Es hatte auch keinen besonderen Zweck, die Momentanwerte zu berechnen. Erstens war ja der Abstand zwischen der Nordlichtposition und dem magnetischen Beobachtungsort zu gross, um die Bestimmung einer eventuellen Beziehung zwischen den irregulären

Schwankungen dieser beiden Observationsobjekte zu ermöglichen. Zweitens ergaben die einzelnen photographischen Aufnahmen keinen einheitlichen Überblick über die momentane geographische Verbreitung und besondere Gestaltung des Nordlichts. Nur wenn eine genaue photographisch erhaltene Übersicht über die irregulären Schwankungen der Lichterregung im ganzen Erscheinungsgebiet des Nordlichts vorläge, würde es auch von besonderem Interesse sein, eine genaue Darstellung der entsprechenden Zuckungen im magnetischen Störungsfeld zu erhalten, sowohl für das ganze Erscheinungsgebiet des Nordlichts als auch für grössere Gebiete der Erde. Für die beiden Erscheinungen sind so genaue Untersuchungen zur Zeit ausgeschlossen, und sie könnten nur durch ein sehr umfassendes, gut organisiertes Beobachtungsnetz ermittelt werden. Drittens muss beachtet werden, dass unsere Bestimmung des magnetischen Störungsfeldes auf die Erdoberfläche beschränkt ist, während die Struktur des Störungsfeldes in grösserem Abstand von der Erdoberfläche auf die geographische Verbreitung des Nordlichts bestimmend einwirken muss, falls *Stormers* Bahnrechnungen für das Studium der geographischen Verbreitung des Nordlichts als grundlegend angenommen werden sollen.

Statt Momentanwerte sind deshalb hier viertelstündliche Mittelwerte der in Potsdam auftretenden perturbierenden Kraft berechnet. In den Veröffentlichungen von Tucson waren Stundenwerte der magnetischen Elemente angegeben. Für diese Station konnten darum nur Stundenwerte der perturbierenden Kraft berechnet werden. Auch war es nicht möglich Vergleichswerte in derselben Weise wie für Potsdam anzugeben. Anstatt dessen waren glücklicherweise in diesen Veröffentlichungen Mittelwerte, sowohl für die fünf internationalen ruhigen Tage als auch für die zehn ruhigsten Tage jedes Monats berechnet. Da hier nur Stundenwerte erforderlich waren, konnten solche Werte unmittelbar als Vergleichswerte verwendet werden. Tatsächlich sind die stündlichen Mittelwerte der zehn ruhigsten Tage jedes Monats (und nicht die der fünf internationalen ruhigen Tage) bei der Berechnung verwendet worden.

Für Potsdam waren die Zeitmarken der Registrierungen nach Greenwich Zeit nummeriert. Um einheitliche Untersuchungen zu ermöglichen, wurden darum auch sämtliche andere Observationen, sowohl die Nordlichtbeobachtungen in Oslo als auch die magnetischen Werte für Tucson nach derselben Zeitangabe angeführt:

Die Momentanwerte des Winkels θ wurden für Potsdam in Mittelwerte jedes Viertelstundenintervalls, für Tucson in Mittelwerte jedes Stundenintervalls zusammengefasst.

Die Beziehungen zwischen P und θ . Bei dieser Untersuchung wurde nur die Grösse, nicht aber die Richtung der perturbierenden Kraft, berücksichtigt. Die korrespondierenden Werte von P und θ wurden nach der Grösse der Kraft P in Gruppen geteilt, und aus jeder Gruppe wurden Mittelwerte sowohl für P als auch für θ berechnet. Die Beziehungen dieser Mittelwerte wurden dann mittels Diagramme dargestellt, die korrespondierenden Mittelwerte jeder Gruppe durch Punkte veranschaulicht. Die beigefügten Zahlen geben die Anzahl der in jeder Gruppe zusammengefassten Wertpaare an.

Es wurde sofort ersichtlich, dass sich für die verschiedenen Erscheinungsformen des Nordlichts auch verschiedene Beziehungen zwischen P und θ ergeben würden. Die Nordlichterscheinungen wurden darum nach drei Formen gruppiert: Diffuse Bögen, Bögen, strahlenförmiges Licht (darin Strahlen, strahlenförmige Bögen, Draperien und Kronenbildung zusammenfassend).

In Fig. 1 sind für strahlenförmiges Licht die gefundenen Beziehungen für Potsdam dargestellt. Sie bilden mit verblüffender Genauigkeit eine gerade Linie. Leider ist das Material nicht reichhaltig genug, um die Frage zu entscheiden, ob dieser geradlinige Verlauf wirklich reell oder nur durch eine zufällige Häufung von Werten entstanden ist. Die Anzahl der Gruppen scheint jedoch die Realität des geradlinigen Verlaufs ausser Frage zu stellen.

Der für $P = \text{etwa } 200 \gamma$ gefundene Punkt stellt eine sehr abweichende Beziehung dar, die von der früher besprochenen Ungleichförmigkeit des Nordlichtmaterials herrühren

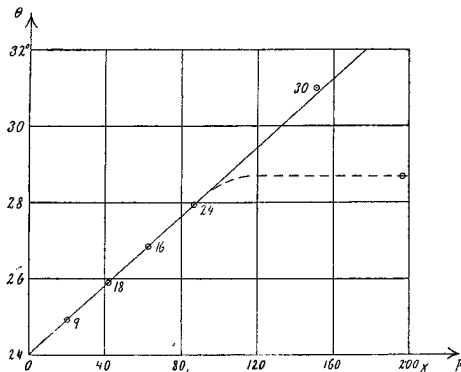


Fig. 1. Beziehung zwischen P und θ für Potsdam (Strahlenförmiges Licht).

muss. Die unterbrochene Linie gibt darum nur die Richtung an, in der die fixierten Nordlichtpunkte während so starker Störungen hauptsächlich gesucht worden sind. Für so grosse Werte der perturbierenden Kraft wurden darum nur Positionsbestimmungen von Kronenbildungen bei der Berechnung verwendet. Der höchste Punkt der Kurve ist infolgedessen aus 30 für Kronenbildung gefundenen Viertelstundenwerten berechnet. Auch dieser Punkt fügt sich zufälligerweise genau der geraden Linie an. Eine andere bemerkenswerte Tatsache ist die, dass für $P = 0$ die Kurve den Wert $\theta = 24^\circ$ angibt. Dieser Wert sollte die Lage der Nordlichtzone angeben. Er weicht jedoch etwa zwei Grad von der Lage ab, die gewöhnlich für die Nordlichtzone angegeben wird. Der Grund für diese Abweichung ist nicht klar. Der Gedanke liegt aber nahe, dass kleine Entstellungen des magnetischen Feldes in grosser Entfernung von der Erde die geographische Verbreitung des Nordlichts beeinflussen können, ehe sie stark genug sind um sich an der Erdoberfläche als perturbierende Kraft bemerkbar zu machen.

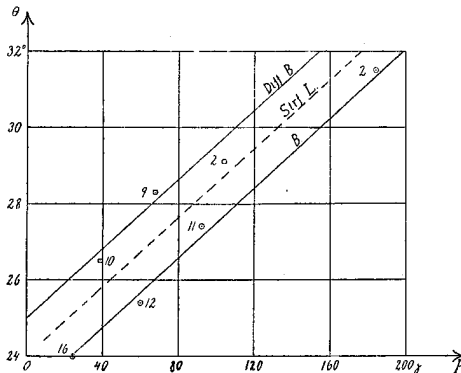


Fig. 2. Beziehungen zwischen P und θ für Potsdam. (B. = Bögen; Strf. L. = Strahlenförmiges Licht; Diff. B. = Diffuse Bögen.)

Die unterbrochene Linie ist der Fig. 1 zum Vergleich entnommen. Die unterste voll ausgezogene Linie, die mit B bezeichnet ist, stellt die Beziehung zwischen P und θ für Nordlichtformen dar, die in *Störmers* Abhandlung als «arcs» bezeichnet sind. Die für diese Linie berechneten Punkte sind mit kleinen Kreisen versehen. Die obere voll ausgezogene Linie stellt die Beziehung für diffuse Bögen dar. Ihre Punkte sind mit kleinen Vierecken versehen.

Auch diese zwei Linien sind als gerade Linien gezeichnet. Die berechneten Punkte der untersten Linie machen den geradlinigen Verlauf wahrscheinlich, und sie deuten sogar auf eine Parallelität zur unterbrochen gezeichneten Linie hin. Die drei Punkte der obersten Linie weichen aber beträchtlich und in einem bestimmten Sinn von der geraden Linie ab. Jedoch zeigten die Einzelwerte so grosse Unterschiede voneinander, und die Anzahl der in jeder Gruppe zusammengefassten Einzelwerte ist so gering, dass ich es nicht wagte, einen von der Geraden abweichenden Verlauf einzuzeichnen.

Der geradlinige und zwar parallele Verlauf der zwei untersten Kurven könnte zur Annahme führen, dass die Abhängigkeit des Winkels θ von der perturbierenden Kraft P durch eine lineare Funktion darzustellen sei. Aus mehreren Gründen scheint es mir jedoch übereilt, eine solche Funktion anzusetzen. Erstens war ja das Material wegen der zu kleinen Anzahl von Positionsbestimmungen zu gering. Zweitens würde die kosmische Nordlichttheorie einer solchen Funktion scheinbar widersprechen. Nach dieser Theorie sollte die Vergrösserung des Winkels θ von der magnetischen Wirkung kosmisch-elektrischer Ströme bewirkt werden, z. B. des hypothetischen Ringstroms, der in der magnetischen Äquatorebene die Erde in grosser Entfernung umkreise. Die Abhängigkeit des Winkels von der magnetischen Feldintensität, die der Ringstrom am Ort der Erde bewirke, sei nicht linear. *Störmer* hat sie für verschiedene Geschwindigkeiten der solaren

Korpuskularstrahlung mathematisch bestimmt¹⁾. Zu derselben Vergrößerung des Winkels würde eine viel grössere Verstärkung der Feldintensität bei grossen Werten von θ erforderlich sein als bei kleineren. Drittens ist die physikalische Bedeutung einer solchen Funktion sehr fraglich. Sie würde wahrscheinlich nur eine statistische Relation und keine dynamische Abhängigkeit aussprechen können, denn der Widerspruch zur kosmischen Nordlichttheorie ist nur scheinbar. Die erhaltenen Werte des Winkels θ müssen sich auf Veränderungen des magnetischen Feldes weit ausserhalb der Erde beziehen, während ein grosser Teil der perturbierenden Kraft von elektrischen Strömen der leitenden Atmosphärenschichten und von Erdströmen bewirkt wird. Theoretisch ist es nur möglich, eine dynamische Abhängigkeit des Winkels θ von demjenigen Teil des Perturbationsfeldes abzuleiten, der von elektrischen Strömen weit ausserhalb der Erde herrührt. Die magnetische Wirkung der Ströme, die in den leitenden Atmosphärenschichten fliessen, vermag gewiss nicht die Grösse des Winkels wesentlich zu beeinflussen. Der geradlinige Verlauf der Nordlichtstrahlen ist dafür das beste Zeugnis. Dieses magnetische Feld verschleiert hingegen die Wirkung der äusseren Stromsysteme und kann nur die statistische Ermittlung der von der Theorie erforderten Abhängigkeit verhindern.

Eine Untersuchung der in Tucson auftretenden magnetischen Verhältnisse stützt diese Annahme. In Fig. 3 zeigt die mit T bezeichnete Kurve die Beziehung zwischen den in Tucson aufgetretenen Kräften P und den gleichzeitig in Oslo für strahlenförmiges Licht gemessenen Winkeln θ . Die für Potsdam gefundene Kurve ist zum Vergleich eingezeichnet und mit P bezeichnet. Für Tucson hat die Kurve einen ganz anderen Verlauf als für Potsdam. Sie genügt viel besser den theoretischen Forderungen. Jedoch schmiegt sich die gezeichnete Kurve nicht so gut an die berechneten Gruppenwerte an wie die für Potsdam gefundene. Diese Ungenauigkeit rührt wahrscheinlich von der zu geringen Anzahl Positionsbestimmungen her. Die genaue Gestalt der Kurve ist zwar nicht sichergestellt, jedoch kann an dem gekrümmten Verlauf nicht gezweifelt werden.

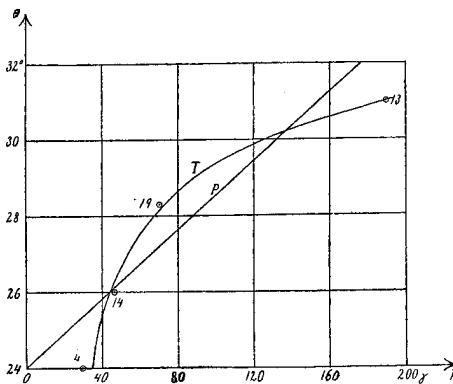


Fig. 3. Beziehung zwischen P und θ für Tucson (Strahlenförmiges Licht). (P = Kurve für Tucson, T = Kurve für Potsdam.)

Es war auch zu erwarten, dass sich die für Tucson gefundene Kurve den theoretischen Forderungen besser anschmiegen würde als die für Potsdam erhaltene. Die anguläre Entfernung vom magnetischen Achsenpunkt der Erde ist ja für Potsdam $37^\circ 15'$ und für Tucson $49^\circ 37'$ ²⁾. Und Potsdam liegt auf ungefähr demselben magnetischen Meridian wie die fixierten Nordlichtpunkte, während die Zeitdifferenz Potsdam \div Tucson etwa $8^h 15^m$ beträgt. Daraus kann man sofort schliessen, dass Tucson viel weiter von den Einschlagstellen der elektrischen Sonnenstrahlung entfernt war, und dass die magnetische Wirkung der in den leitenden Atmosphärenschichten und im Erdboden entstandenen elektrischen Strömung sich in Potsdam am stärksten bemerkbar machen musste.

DIE PERTURBIERENDE KRAFT.

Das Material. Bei diesen Untersuchungen wurden 35 gestörte Tage aus den Jahren 1911—22 und 109 aus den Jahren 1891—1906 verwendet. Die ersteren sind die oben besprochenen Nordlichttage und drei andere stark gestörte Tage, 14.—16. Mai 1921, die sich an einen besonderen dieser Nordlichttage, nämlich an den 13. Mai anknüpfen. Die

¹⁾ Carl Störmer, Sur les trajectoires des corpuscules électrisés etc. Extr. d. Arch. de Sci. phys. et nat. Genève 1912, S. 92.

²⁾ Bei der Berechnung dieser Werte sind die von Ad. Schmidt für das Jahr 1922 berechneten Koordinaten des Achsenpunkts verwendet worden. Siehe auch S. 13.

Störung dieser Tage ist ja eine der stärksten, die bis jetzt registriert worden sind, und am 14. und 15. Mai wurde in Mitteleuropa sehr schönes Nordlicht beobachtet. Die übrigen 109 Störungstage sind die in meiner früheren Arbeit bearbeiteten Nordlichttage.

Zum Vergleich wurden auch die magnetischen Verhältnisse in Tucson an denselben 35 Tagen der Jahre 1911—22 untersucht.

Das Berechnungsverfahren. Aus je vier Viertelstundenwerten wurden Stundenwerte der perturbierenden Kraft P in der Weise berechnet, dass, werden z. B. die Viertelstunden zwischen 2^h und 3^h mit $2^h 1.$, $2^h 2.$, usw. bezeichnet, der Stundenwert für 3^h aus den Viertelstundenwerten $2^h 3.$ bis $3^h 2.$ ermittelt wurde.

Die Störung 13.—14. Februar 1892 bot besondere Schwierigkeiten. Sie war sehr stark, und während mehrerer Stunden ging die Registrierungskurve der Vertikalintensität weit über den Papierrand hinaus. Für diese Komponente, und deshalb auch für die Gesamtkraft, konnten darum nur untere Grenzwerte berechnet werden. Kurz nach Mitternacht gingen sogar sämtliche drei Registrierungskurven über den Papierrand hinaus. Zu dieser Zeit war der Grenzwert der Gesamtkraft etwa 550γ . Der wahre Betrag der Gesamtkraft muss sicher mehrere hundert γ höher gewesen sein.

Auch an einigen wenigen anderen Tagen ging die Kurve der Vertikalkomponente eine kurze Zeit über den Papierrand hinaus, so dass nur Grenzwerte dieser Komponente berechnet werden konnten. Nur am 13.—14. Februar 1892 aber war die Störung so stark, dass aus der Verwendung von Grenzwerten erhebliche Fehler entstehen könnten.

In der Nacht vom 14. Mai $22^h 15^m$ bis zum 15. Mai $8^h 30^m$ 1921 war die Störung so stark, dass P nicht in der gewöhnlichen Weise berechnet werden konnte. Anstatt dessen wurden die notwendigen Werte den graphischen Darstellungen der X-, Y-, und Z-Komponenten (Seddin bei Potsdam) entnommen¹⁾. Darin waren aber die Durchschnittswerte der 10 gerade vorausgegangenen Tage als Vergleichswerte verwendet, und die wahren Werte der perturbierenden Kraft konnten deshalb nur annäherungsweise berechnet werden. Die daraus entstandenen Fehler sind jedoch wegen der grossen Störungsintensität gewiss so klein, dass ihnen keine wesentliche Bedeutung zugeschrieben werden kann.

Die Störungstage wurden nach der Grösse der Störungsintensität in Gruppen eingeteilt. Die maximale Störungsintensität fällt gewöhnlich zwischen 15^h und 4^h . Es gab jedoch mehrere Nordlichttage, an denen die grösste Intensität vor 15^h oder nach 4^h eintraf. Meistens konnten die Störungen dann als Nachstörung einer vorausgegangenen Störung betrachtet werden oder als die ersten Abweichungen, die eine folgende Störung ankündigten. Um diese «fremden» Maxima möglichst auszuschliessen, wurde nur die Zeit zwischen 15^h und 4^h bei der Gruppierung berücksichtigt.

Die Gruppen wurden dann nach dem grössten Stundenwert P_{\max} dieses Zeitintervalls in der folgenden Weise gewählt:

Gruppe	Intensität	Anzahl Tage
I	$P_{\max} \leq 50 \gamma$	45
II	$50 \gamma < P_{\max} \leq 100 \gamma$	64
III	$100 \gamma < P_{\max} \leq 150 \gamma$	18
IV	$150 \gamma < P_{\max} \leq 200 \gamma$	11
V	$200 \gamma < P_{\max} \leq 300 \gamma$	3
VI	$300 \gamma < P_{\max} \leq 500 \gamma$	1
VII	$500 \gamma < P_{\max}$	2

Auch bei den folgenden Untersuchungen ist diese Intensitätsgruppierung beibehalten worden.

¹⁾ Ergebnisse der magnetischen Beobachtungen in Potsdam und Seddin im Jahre 1921.

Die *perturbierende Kraft*. Fig. 4 stellt den durchschnittlichen Verlauf der perturbierenden Kraft (Potsdam) für 142 Störungstage dar. Die zwei stärksten Störungen, die vom 13.—14. Februar 1892 und die vom 14.—15. Mai 1921, sind dabei nicht mitgerechnet, denn ihre grossen Werte würden die Mittelwertbildung zu stark beeinflussen haben.

Die Stundenwerte 8^h—12^h konnten nicht berechnet werden, denn für diese Stunden war es unmöglich, alle die 142 notwendigen Einzelwerte zu ermitteln. Das rührt von der veränderten Anlagezeit der Registrierpapiere her. In den Jahren 1891—1906 wurde das Papier um etwa 12^h angelegt, in den Jahren 1911—1922 aber um etwa 8^h. Auch für die folgenden Untersuchungen machte diese Verschiedenheit gewisse Schwierigkeiten.

Die Zeit des Maximums tritt um etwa 20^h Greenwich Zeit ein. Für Potsdam ist dies, wie in meiner früheren Abhandlung gezeigt, die Zeit der häufigsten Nordlichterscheinungen. Die Zeit des Minimums geht nicht deutlich aus der Kurve hervor. Wahrscheinlich liegt es aber bei etwa 8^h Greenwich Zeit. Die Eintrittszeit des Minimums hat jedoch weniger Interesse als die des Maximums.

In Fig. 5 ist der durchschnittliche Verlauf für jede Einzelgruppe berechnet. Nur

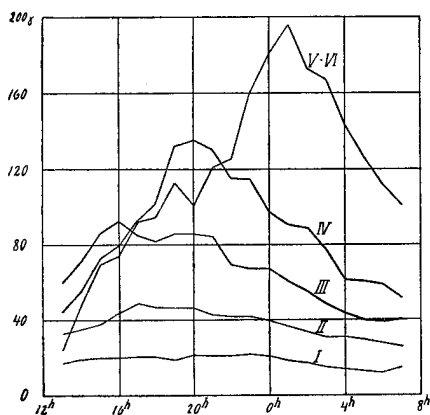


Fig. 5. Täglicher Verlauf der perturbierenden Kraft in Potsdam, für verschiedene Intensitätsgruppen berechnet.

die Gruppe VII ist nicht mitgenommen worden. Die Maximumstelle der Kurve I ist nicht deutlich ersichtlich. Diese Kurve hat deswegen kein deutliches Maximum, aber immerhin liegen die höchsten Werte zwischen 20^h und 0^h. Die Kurve II zeigt ein deutlicheres Maximum. Dort liegt es zwischen 16^h und 20^h. Die Deutlichkeit des Maximums steigt mit der Intensität der Gruppen. Die drei höchsten Kurven zeigen auch eine starke Verschiebung in der Zeit des Maximums. Das Material ist jedoch nicht reichhaltig genug, um die Gesetze dieser Verschiebung ganz klarzulegen.

Die Kurven der Fig. 6 zeigen den Verlauf der perturbierenden Kraft sowohl für Tucson (—) als auch für Potsdam (— · — · —). Bei der Mittelwertbildung sind

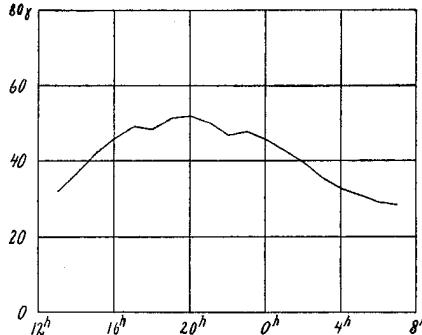


Fig. 4. Täglicher Verlauf der perturbierenden magnetischen Kraft in Potsdam.

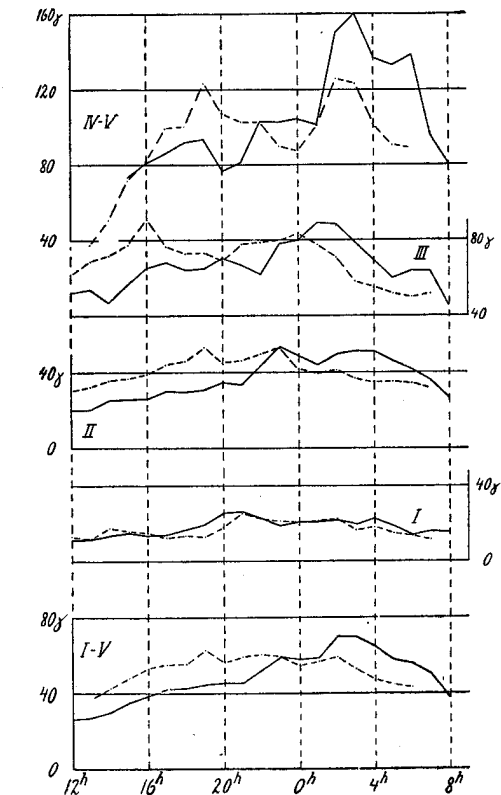


Fig. 6. Täglicher Verlauf der perturbierenden Kraft in Tucson (—) und in Potsdam (— · — · —), aus 34 Störungstagen berechnet.

auch für Potsdam nur die 34 Störungstage aus den Jahren 1911—22 verwendet. Die starke Störung vom 14.—15. Mai 1921 ist selbstverständlich nicht mitgerechnet. Alle Zeitangaben sind nach Greenwich Zeit angeführt.

Die unterste Kurve gibt den durchschnittlichen täglichen Verlauf für sämtliche 34 Tage an. Die Zeitdifferenz $8\frac{1}{4}$ Stunden kommt nicht deutlich zum Vorschein. Das muss teilweise der Unzulänglichkeit des Materials zugeschrieben werden. Doch macht sich wohl auch eine andere Besonderheit der Störungen dadurch bemerkbar. Die Kurven der Gruppe I zeigen keine deutliche Zeitdifferenz. Die maximale Intensität dieser schwachen Störungen tritt augenscheinlich gleichzeitig in Tucson und in Potsdam auf. Mit zunehmender Intensität tritt die Zeitdifferenz klarer zu Tage.

DIE BEZIEHUNG DER PERTURBIERENDEN KRAFT ZUR MAGNETISCHEN ACHSE DER ERDE.

Die Bezugssysteme. Bei den magnetischen Untersuchungen werden gewöhnlich zwei verschiedene Bezugssysteme zur Darstellung der Feldeigenschaften benutzt.

Das ursprüngliche Bezugssystem ist magnetisch, d. h. nach den unmittelbaren magnetischen Beobachtungselementen orientiert. Die vertikale Richtung und die Richtung der Horizontalintensität sind als zwei der Koordinatenrichtungen gewählt. Die dritte Koordinatenrichtung wird rechtwinklig zu diesen beiden Richtungen gelegt.

In mathematischer Hinsicht hat dieses Bezugssystem grosse Nachteile. Die Richtung der Achsen ist nicht zeitlich konstant, denn die Richtung der Horizontalintensität variiert mit der Grösse der Deklination. Besonders zur Zeit starker Störungen vibriert das Bezugssystem. Ausserdem bewirken die lokalen Variationen, dass es nicht mathematisch-geographisch bestimmt ist. Um diese Nachteile zu beseitigen, ist vielfach das zweite, geographisch orientierte Bezugssystem benutzt worden, in dem die Nordrichtung, die Ost-richtung und die vertikale Richtung die drei Koordinatenrichtungen bilden.

Dieses Koordinatensystem ist rein mathematisch-geographisch orientiert. Magnetisch aber hat es vor keinem anderen, geographisch orientierten System irgend welchen Vorteil. Auch Bezugssysteme, die nach der Rotationsachse der Erde orientiert sind, sind auf keinerlei Weise magnetisch vorzuziehen.

Wegen der engen Beziehung der Nordlichterscheinungen zu den magnetischen Eigenschaften der Erde, ist in dieser Arbeit die magnetische Achse der Erde als Bezugsachse gewählt. Auch diese Achse hat nicht zeitlich konstante Richtung, die Schwankung aber ist wahrscheinlich nur eine sehr langsame sekulare Variation, die erst nach vielen Jahren eine erhebliche Veränderung der Richtung bewirken kann. Wenn es sich, wie hier, nur um 30 Jahre handelt, kann eine durchschnittliche Lage der magnetischen Achse ohne erheblichen Fehler benutzt werden. In dieser Weise wurde eine sowohl physikalisch bevorzugte als auch mathematisch bestimmte Bezugsachse erzielt¹⁾.

Die perturbierende Kraft P wurde in drei Komponenten zerlegt: P_a (die axiale Komponente) parallel zur magnetischen Achse, P_r (die radiale Komponente) rechtwinklig auf die magnetische Achse, P_c (die zirkulare Komponente) rechtwinklig auf die beiden anderen Achsen.

Die Resultate der Zerlegung konnten in zweierlei Weise dargestellt werden, entweder durch die drei rechtwinkligen Komponenten P_a , P_r , P_c oder durch die unzerlegte Kraft P und zwei Winkel φ und ψ . Beide Darstellungsweisen wurden benutzt, denn einige charakteristische Züge konnten am besten durch die erste, andere aber am besten durch die zweite Darstellungsweise ausgedrückt werden.

¹⁾ *L. Vegard* hat früher ein anderes zur magnetischen Achse der Erde bezogenes Koordinatensystem bei Einführung magnetischer Breite und Azimut benutzt.

Die gewählten Winkel φ und ψ sind durch die folgenden zwei Formeln definiert:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{P_r}{P_a}, \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{P_c}{P_a}.$$

In Fig. 7 stellt BD die magnetische Achse der Erde dar. O ist der magnetische Beobachtungsort, der zum Nullpunkt des Achsensystems gewählt wurde. A, R, C sind die drei Koordinatenachsen, resp. die axiale, die radiale und die zirkulare Achse, deren positive Richtungen durch die Pfeile angedeutet sind. φ und ψ sind die Winkel, die die Achse A mit den in der AR -Ebene resp. AC -Ebene liegenden Komponenten der perturbierenden Kraft bildet.

Die Berechnung der Komponenten P_a, P_r und P_c . Die genaue Lösung des Problems ist durch die nicht-zentrale Lage der magnetischen Achse im Erdinnern und durch die ungenaue Bestimmung der in der Erdoberfläche liegenden Achsenpunkte bedeutend erschwert. In dieser Hinsicht ist hier jedoch nicht die grösste Genauigkeit erforderlich. Der ursprünglichen Unsicherheit gegenüber hat eine Ungenauigkeit von ein oder zwei Grad in der Lage der magnetischen Achse keine beachtenswerte Bedeutung.

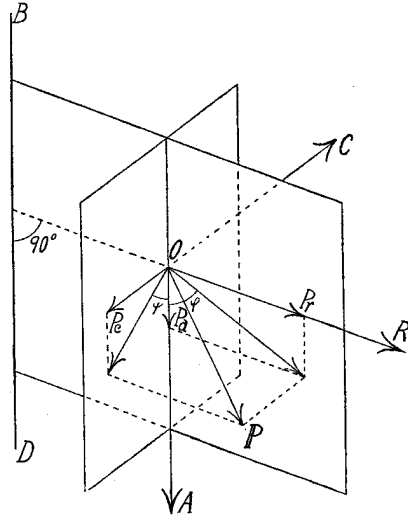


Fig. 7.

Zur Erleichterung der Berechnungsarbeit wurde als Richtung der magnetischen Achse die Richtung von dem von *Ad. Schmidt*¹⁾ berechneten Achsenpunkt (N. Br. $78^\circ 30'$, W. Lg. v. Grw. $\div 68^\circ 38'$) nach dem Mittelpunkt der Erde gewählt. Dadurch ist zwar ein systematischer Fehler in die Rechnung eingeführt worden, der jedoch so gering ist, dass er für die Resultate keine wesentliche Bedeutung hat.

Wenn die drei Beobachtungselemente H, D, V (Horizontalintensität, Deklination, Vertikalintensität) gegeben sind, kann man die drei Komponenten der perturbierenden Kraft, die unmittelbar aus je einem dieser Elemente berechnet werden, mit P_h, P_a, P_v bezeichnen. Sind dagegen die Nordkomponente X , die Ostkomponente Y und die vertikale Komponente Z der Gesamtkraft gegeben, so ist es vorteilhaft, die Bezeichnungen P_x, P_y, P_z für die entsprechenden Komponenten zu setzen.

Die Transformationsgleichungen erhält man durch zwei Drehungen des ursprünglichen Achsensystems. Fig. 8 veranschaulicht die erste Drehung, die in der Horizontalebene, bei Festhalten der vertikalen Achse, erfolgt. X stellt die Nordrichtung und Y die Ostrichtung dar. Je nachdem die Beobachtungselemente H, D, V oder die Komponenten X, Y, Z der Gesamtkraft gegeben sind, erhält man die Gleichungen:

$$\begin{aligned} P_b &= P_h \cdot \cos(\delta \div D) \div P_a \cdot \sin(\delta \div D), \\ P_c &= P_h \cdot \sin(\delta \div D) + P_a \cdot \cos(\delta \div D), \\ P_z &= P_v; \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} P_b &= P_x \cdot \cos \delta \div P_y \cdot \sin \delta, \\ P_c &= P_x \cdot \sin \delta + P_y \cdot \cos \delta, \\ P_z &= P_z, \end{aligned}$$

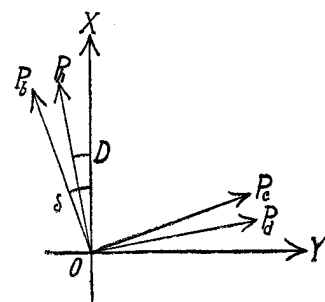


Fig. 8

wo P_b die in der von der magnetischen Achse bestimmten Meridianebene liegende horizontale Komponente, P_c die sogleich erhaltene zirkulare Komponente und δ den Winkel zwischen der Nordrichtung und der Richtung zum magnetischen Achsenpunkt darstellen.

¹⁾ *Carl Störmer, Résultats des mesures etc., S. 69.*

Fig. 9 zeigt die zweite Drehung, die in der von der magnetischen Achse bestimmten Meridianebene, bei Festhalten der zirkularen Komponente P_c , erfolgt. Die Transformationsgleichungen werden dann:

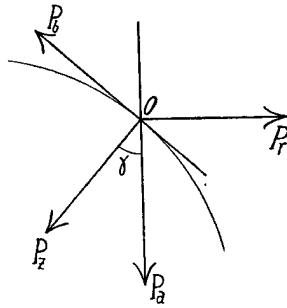


Fig. 9.

$$\begin{aligned} P_a &= \div P_b \cdot \sin \gamma + P_c \cdot \cos \gamma \\ &= \div P_h \cdot \sin \gamma \cos (\delta \div D) + P_a \cdot \sin \gamma \sin (\delta \div D) + P_c \cdot \cos \gamma, \\ P_r &= \div P_b \cdot \cos \gamma \div P_c \cdot \sin \gamma \\ &= \div P_h \cdot \cos \gamma \cos (\delta \div D) + P_a \cdot \cos \gamma \sin (\delta \div D) \div P_c \cdot \sin \gamma, \\ P_c &= P_h \cdot \sin (\delta \div D) + P_a \cdot \cos (\delta \div D); \end{aligned}$$

oder

$$\begin{aligned} P_a &= \div P_x \cdot \sin \gamma \cos \delta + P_y \cdot \sin \gamma \sin \delta + P_z \cdot \cos \gamma, \\ P_b &= \div P_x \cdot \cos \gamma \cos \delta + P_y \cdot \cos \gamma \sin \delta \div P_z \cdot \sin \gamma, \\ P_c &= P_x \cdot \sin \delta + P_y \cdot \cos \delta. \end{aligned}$$

Fig. 10 veranschaulicht die Berechnung der Winkel γ und δ . O ist hier der Mittelpunkt der Erde, B der magnetische Beobachtungsort, N der nördliche Rotationspol der Erde und M der entsprechende magnetische Achsenpunkt. Im sphärischen Dreieck BNM können die drei Winkel μ , ω , ν unmittelbar aus den geographischen Koordinaten der drei Punkte B , M , N berechnet werden. Der Winkel γ wird dann mittels der Gleichung

$$\cos \gamma = \cos \omega \sin \mu \sin \nu + \cos \mu \cos \nu$$

und der Winkel δ mittels der Gleichung

$$\sin \delta = \sin \mu \frac{\sin \omega}{\sin \gamma}$$

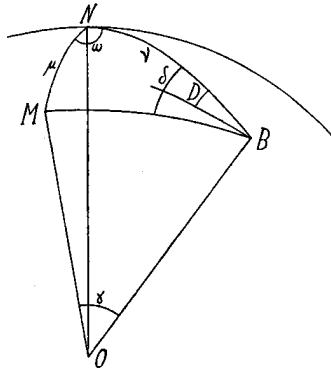


Fig. 10.

berechnet. Für die zwei hier in Betracht kommenden Beobachtungsorte wurden die folgenden Winkel erhalten:

Beob.ort	γ	δ
Potsdam	37° 15'	19° 01'
Tucson	49° 37'	10° 08'

Für die viertelstündlichen Werte dieser Komponenten gilt die Gleichung

$$P_a^2 + P_r^2 + P_c^2 = P^2.$$

Die durch Mittelwertbildung erhaltenen Stundenwerte genügen aber dieser Gleichung nicht, und noch weniger die statistisch erhaltenen Mittelwerte der verschiedenen Gruppen.

Die rechtwinkligen Komponenten P_a , P_r , P_c . Wenn diese Komponenten unmittelbar statistische Verwendung finden sollten, würden die stärker gestörten Tage bei der Mittelwertbildung ausschlaggebend sein. Um sowohl die stärkeren als auch die schwächeren Störungen gleich stark ins Gewicht fallen zu lassen, wurden nicht die reinen Zahlenwerte der Komponenten, sondern die in Prozenten ausgedrückten Verhältnisse $\frac{P_a}{P}$, $\frac{P_r}{P}$, $\frac{P_c}{P}$ untersucht. Dadurch wurden auch interessante Ergebnisse erzielt, die durch Verwendung der reinen Komponentenwerte nicht ausgedrückt werden konnten.

Fig. 11 stellt die tägliche Variation dar, die aus sämtlichen 144 Störungstagen berechnet worden ist, für die Verhältnisse $\frac{P_a}{P}$, $\frac{P_r}{P}$, $\frac{P_c}{P}$. Obwohl die Kurven nur für das

Zeitintervall 13^h bis 7^h berechnet sind, zeigen sie doch so viele interessante charakteristische Züge, dass man wohl berechtigt ist, daraus zu schliessen, dass eben dieses Zeitintervall für eine nähere Untersuchung der Störungen hinlänglich ist.

Die Kurve $\frac{P_c}{P}$ zeigt eine ausgesprochene tägliche Periode, deren Achse ungefähr mit der Nulllinie zusammenfällt. Die Minimumstelle liegt bei 14^h und die Maximumstelle bei 23^h. Das Anwachsen vom Minimum zum Maximum dauert 8 Stunden und ist darum viel steiler als der nachfolgende Abfall, der doppelt so lange dauert.

Der periodische Verlauf ist aber aus der Kurve $\frac{P_r}{P}$ verschwunden. Ihre Stundenwerte sind von 13^h bis 18^h beinahe konstant, und sie liegen ganz nahe und ein wenig unterhalb der Nulllinie. Dann folgt ein beinahe linearer Anstieg bis um 0^h, wo die Kurve einen Wert von etwa 44 % annimmt. Von dieser Zeit an ist ihr Wert bis 7^h ungefähr konstant. Nur ein sehr schwacher Abfall ist vorhanden. Eine Untersuchung der 109 Tage aus den Jahren 1891—1906 zeigte, das noch um 11^h das Verhältnis $\frac{P_r}{P}$ einen durchschnittlichen Wert von mehr als 30 % hatte.

Die Kurve $\frac{P_a}{P}$ endlich zeigt eine ausgesprochene periodische Variation. Die Achse der periodischen Variation kann jedoch von keiner geraden Linie gebildet sein. Um 13^h hat die Kurve den Wert 21 %, und sie steigt von da an bis 18^h oder 19^h ziemlich steil an, wo sie ihren Maximalwert 54 % erreicht. Danach folgt ein schwächerer Abfall, der etwa 8 Stunden dauert, und der Minimumwert der Kurve, der + 5 % beträgt, ist um 3^h erreicht. In den Morgenstunden zeigt die Kurve wieder einen beträchtlichen Anstieg, und sie hat um 7^h schon den Wert 27 % erreicht. Eine nähere Untersuchung ergibt, dass die Kurve in den späteren Morgenstunden noch höhere Werte annimmt.

Der eigentümliche Verlauf dieser Kurven könnte vielleicht beim ersten Anblick den Verdacht erwecken, dass er durch eine willkürliche Häufung entstanden sei. Bei der Berechnung aber wurde sofort ersichtlich, dass eine solche willkürliche Häufung äusserst unwahrscheinlich sei. Um die Berechnungsarbeit zu vereinfachen und zu erleichtern, wurden nämlich zuerst die 33 Störungstage der Jahre 1891—92, die 37 Tage der Jahre 1893—1895, die 39 Tage der Jahre 1896—1906 und die 35 Tage der Jahre 1911—22 für sich bearbeitet, und erst danach wurden Mittelwerte aus den sämtlichen 144 Störungstagen gebildet. Für sämtliche vier Abteilungen des Materials wurden Kurven mit denselben charakteristischen Zügen erhalten wie die der Kurven Fig. 11. Eine Häufung der Einzelwerte, die die charakteristischen Züge jeder der drei Kurven in sämtlichen vier Abteilungen des Materials ergibt, kann nicht willkürlich sein. Sie muss durch das besondere Verfahren bei der Auswahl der Störungstage, d. h. durch die Beziehung der Störungstage zu den Nordlichttagen bedingt sein. Die ausschliessliche Verwendung von Störungstagen, an denen in Norwegen Nordlicht beobachtet wurde, muss eine einseitige Auswahl der Störungstage bewirkt haben, die für die Besonderheiten der Kurven (Fig. 11) verantwortlich sein muss. Aus dem Verlauf der einzelnen Störungen trat unverkennbar klar hervor, dass an sehr vielen der verwendeten Störungstage die Hauptphase der Stö-

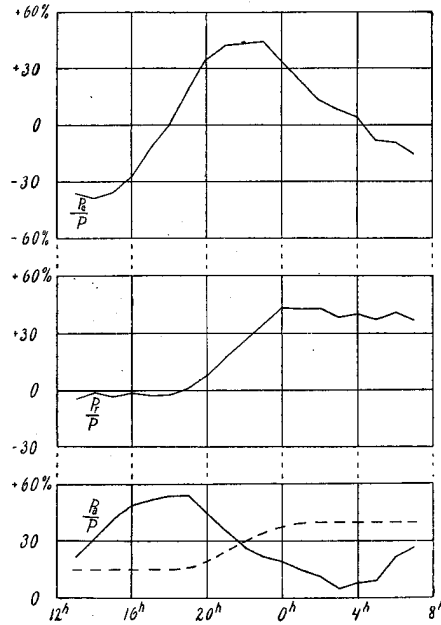


Fig. 11. Die tägliche Variation der Verhältnisse $\frac{P_a}{P}$, $\frac{P_r}{P}$, $\frac{P_c}{P}$ (Potsdam).

rungen schon in den Nachmittags- und frühen Abendstunden eingetroffen war, und dass schon in den späteren Nachtstunden das Abklingen sich bemerkbar machte und die unperiodische Variation der perturbierenden Kraft bewirkte. Einige andere Ergebnisse werden später diese Frage näher beleuchten.

In dieser Hinsicht muss besonders beachtet werden, dass die unperiodische Variation nicht den durchschnittlichen Verlauf des Verhältnisses $\frac{P_c}{P}$ beeinflusst. An den einzelnen Störungstagen war zwar auch in der P_c Komponente der unperiodische Anteil der Schwankung gut erkennbar, aber bald in positiver, bald in negativer Richtung, so dass bei Mittelwertbildung die unperiodische Variation eliminiert wurde.

Der Verlauf der Kurve $\frac{P_r}{P}$ dagegen scheint rein unperiodisch zu sein und deutet somit darauf hin, dass sämtliche in den einzelnen Störungen vorhanden gewesenen periodischen Schwankungen bei der Mittelwertbildung eliminiert worden sind. Im Verlauf des Verhältnisses $\frac{P_a}{P}$ endlich ist sowohl die periodische als auch die unperiodische Variation vorhanden. Die unterbrochen gezeichnete Linie zeigt den wahrscheinlichen Verlauf eines unperiodischen Teils der axialen Komponente. Aber diese Linie ist nicht statistisch bestimmt. Sie soll nur zeigen, dass in der Kurve $\frac{P_a}{P}$ eine unperiodische Variation augenscheinlich vorhanden ist, deren wahrer Wert jedoch nicht bestimmt werden konnte. Der angeführte wahrscheinliche Verlauf dieser Kurve ist in möglichst genauer Übereinstimmung mit der unperiodischen Variation der Kurve $\frac{P_r}{P}$ gezeichnet worden.

Die Kurven der Fig. 11 deuten somit darauf hin, dass durchschnittlich für Nordlichttage die in den Störungen vorhandene unperiodische Variation nur die Komponenten P_a und P_r , d. h. die in der Ebene AR der Fig. 7 liegende Komponente der perturbierenden Kraft wesentlich beeinflusst, und dass hingegen die periodische Variation nur die Komponenten P_a und P_c , d. h. die in der Ebene AC der Fig. 7 liegende Komponente, wesentlich beeinflusst.

Ob diese Regel dahin zu verallgemeinern ist, dass sie für erdmagnetische Störungen auch ohne Rücksicht auf ihre Beziehung zum Nordlicht, als allgemein gültig angesehen werden könne, ist wohl möglich, kann jedoch aus den hier vorliegenden Ergebnissen nicht festgestellt werden.

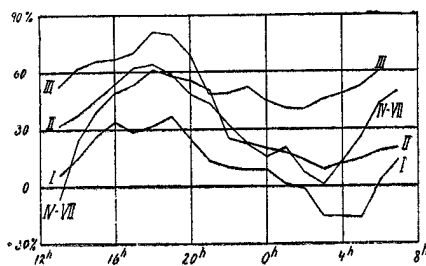


Fig. 12. Tägliche Variation des Verhältnisses $\frac{P_a}{P}$ für verschiedene Intensitätsgruppen (Potsdam).

Die tägliche Variation der Verhältnisse $\frac{P_a}{P}$, $\frac{P_r}{P}$, $\frac{P_c}{P}$ wurde auch für die verschiedenen Gruppen untersucht. Fig. 12 zeigt die Ergebnisse für $\frac{P_a}{P}$. Alle vier Kurven haben denselben periodischen Verlauf mit dem Maximum um etwa 18^h und dem Minimum um etwa 3^h. Auch die Amplituden sind beinahe konstant. Zwar kann eine kleine Abnahme der Amplitude von der ersten zur dritten Gruppe festgestellt werden, es ist jedoch nicht möglich hier zu entscheiden, ob diese Abnahme reell oder nur scheinbar vorhanden ist.

Ein bemerkenswerter und wesentlicher Unterschied zwischen den Kurven fällt aber sofort ins Auge. Die verschiedenen Kurven haben je ihre besondere Lage relativ zur Nulllinie. Während in der ersten Gruppe der Maximumwert 37 % und der Minimumwert \div 14 % beträgt, sind in der dritten Gruppe die entsprechenden Werte 78 % resp. 39 %. Diese Parallelverschiebung der Kurven von der Nulllinie weg ist von der Gruppennummer

abhängig. In den drei ersten Gruppen nimmt die Verschiebung zu. Für die stärksten Störungen (Gruppe IV—VII) liegt die Kurve wieder näher zur Nulllinie.

Fig. 13 stellt die entsprechende Auflösung für $\frac{P_r}{P}$ dar. Auf die Verschiedenheit der Kurven in den Abendstunden ist kaum besonderes Gewicht zu legen. Mit einer beträchtlichen Vergrößerung des Materials würde sich vielleicht diese Verschiedenheit ausgleichen. Um so bemerkenswerter sind die Unterschiede zwischen den Kurven, die für die Nacht- und Morgenstunden ermittelt worden sind. Alle Kurven der drei ersten Gruppen (Gruppe I, II, III—IV) zeigen das geradlinige Anwachsen, das um 18^h—20^h anfängt und 4—5 Stunden dauert. Die Kurve V—VII allein ist unregelmässiger, weil sie aus einer zu kleinen Anzahl Störungstage berechnet ist. Nach 0^h nimmt jede Kurve einen konstanten Wert an. Diese Werte nehmen sehr stark mit der Gruppennummer zu. Der maximale Stundenwert beträgt für die vier Kurven: 21 %, 48 %, 65 %, 89 %.

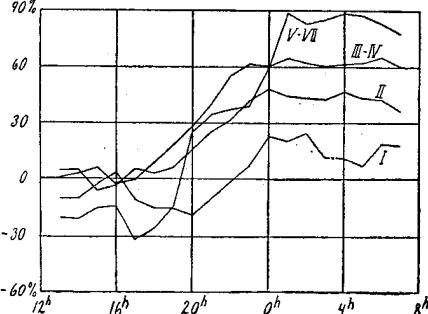


Fig. 13. Tägliche Variation des Verhältnisses $\frac{P_r}{P}$ für verschiedene Intensitätsgruppen (Potsdam).

Auch für das Verhältnis $\frac{P_c}{P}$ wurde die tägliche Variation für jede Gruppe in derselben Weise untersucht. Aber die einzelnen Gruppen ergaben Resultate, die der Kurve $\frac{P_c}{P}$ der Fig. 11 beinahe kongruent waren. Es wurde deshalb als überflüssig angesehen, jedes dieser Resultate durch Kurven zu veranschaulichen.

Um eine übersichtliche Darstellung der mit zunehmender Störungsintensität eintretenden Veränderungen der periodischen Variation zu erhalten, wurde für alle drei Verhältnisse $\frac{P_a}{P}$, $\frac{P_r}{P}$, $\frac{P_c}{P}$ die Veränderung der Maximum- und Minimumwerte besonders untersucht und die Abhängigkeit dieser Extremwerte von der perturbierenden Kraft durch die Kurven der Fig. 14 veranschaulicht. Die Ordinate der für die mit «Max» und «Min» bezeichneten Kurven bestimmten Punkte sind aus den drei höchsten bzw. den drei niedrigsten Stundenwerten jeder Gruppe ermittelt, und die Abszissen sind aus den entsprechenden drei Stundenwerten der perturbierenden Kraft bestimmt. Die angeführten römischen Zahlen geben die Gruppen an, aus denen die respektiven Mittelwerte erhalten wurden. Die Kurven «Max» und «Min» bilden also Grenzen für die Kurven der täglichen Variation (Fig. 12 und 13), deren

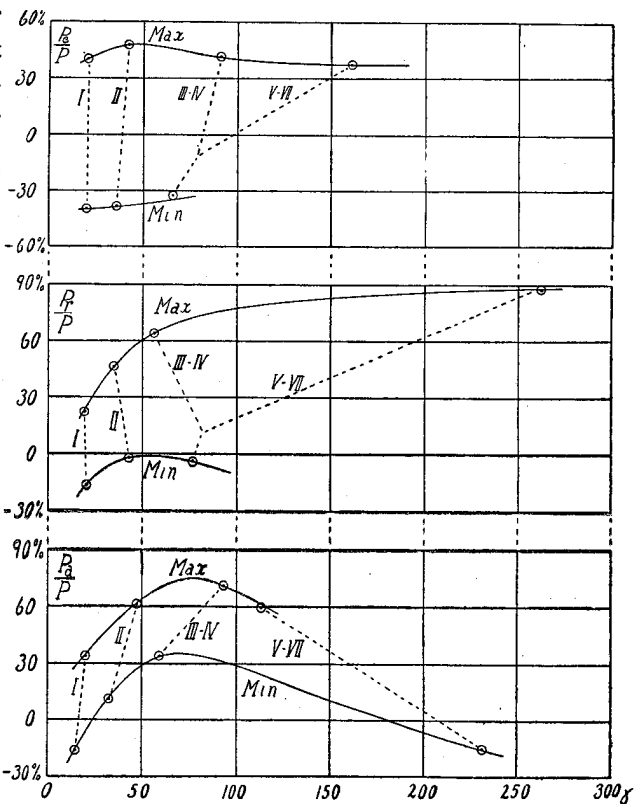


Fig. 14. Grenzkurven der täglichen Variation in Potsdam.

Lage zwischen den beiden Grenzkurven für die verschiedenen Gruppen punktiert angegeben ist. Mit steigender Störungsintensität verschieben sich die Kurven der täglichen Variation zwischen diesen Grenzkurven von links nach rechts.

Für das Verhältnis $\frac{P_c}{P}$ zeigen die Kurven schon beim ersten Blick die fast konstante tägliche Variation und illustrieren in der besten Weise die angenäherte Kongruenz der Variationskurven.

Die tägliche Variation des Verhältnisses $\frac{P_a}{P}$ dagegen (Fig. 12 und 14) ist einer ausgesprochenen unperiodischen Intensität superponiert. Auch hier sind die Grenzkurven fast äquidistant, und sie zeigen, dass die Amplitude der periodischen Variation von der Störungsintensität nur wenig abhängig, aber doch nicht ganz unabhängig ist.

Die Grenzkurven der periodischen Variation geben ein Mass für die prozentuale Grösse des unperiodischen Teils der axialen Komponente an. Die Abhängigkeit dieses unperiodischen Teils von der Störungsintensität muss besonders beachtet werden. Für kleinere Störungsintensitäten ($P < \text{etwa } 75 \gamma$) nimmt die P_a -Komponente, in Prozenten der ganzen perturbierenden Kraft angegeben, mit steigender P sehr stark zu. Für grössere Intensitäten ($P > \text{etwa } 75 \gamma$) nimmt sie mit steigender P langsam ab.

Es ist oben angeführt, dass für $\frac{P_r}{P}$ die periodische Variation fast verschwunden ist. Die Kurven $\frac{P_r}{P}$ der Fig. 14 zeigen deshalb unmittelbar die Zunahme des unperiodischen Teils der P_r -Komponente relativ zu der ganzen perturbierenden Kraft, bei steigender Störungsintensität.

Der Verlauf der Grenzkurven ist so regelmässig, dass eine Entstehung durch willkürliche Häufung höchst unwahrscheinlich ist. Inwieweit dieser regelmässige Verlauf durch die von der Beziehung zu den Nordlichterscheinungen bedingte Auswahl der Störungstage verursacht ist, oder ob er vielmehr als eine allgemeine Regel für erdmagnetische Störungen bestätigt werden kann, ohne Rücksicht auf ihre Beziehung zum Nordlicht, ist eine Frage, die hier nicht entschieden werden kann.

Die zunehmende Entfernung der Grenzkurven von der Nulllinie mit steigender Störungsintensität kann zum mindesten teilweise dahin gedeutet werden, dass hinsichtlich der Verhältnisse $\frac{P_a}{P}$ und $\frac{P_r}{P}$ das vorliegende erdmagnetische Material für die höheren Intensitätsgruppen ein viel einheitlicheres sei als für die niedrigsten Gruppen. Die Streuung der Einzelwerte sei in der Gruppe I sehr gross, und sie nehme mit steigender Störungsintensität beträchtlich ab.

Es ist möglich, dass eine solche Ungleichmässigkeit der Streuung teilweise durch die grössere Unsicherheit der für die kleineren Störungen verwendeten Normalkurven verursacht wird. Eine kleine Ungenauigkeit der eingezeichneten Normalkurve muss ja für die kleineren Störungsintensitäten viel verhängnisvoller sein als für die grösseren. Es ist jedoch nicht wahrscheinlich, dass diese Unsicherheit ausschliesslich die Ungleichmässigkeit der Streuung verursacht. Dagegen spricht ja die grosse Gleichmässigkeit, die in der Amplitude der Variationskurven $\frac{P_c}{P}$ festgestellt worden ist. Auch die Veränderung der Streuung mit steigender Störungsintensität wird später näher beleuchtet werden.

Zwei der erhaltenen Ergebnisse müssen hier hervorgehoben werden. Es ist dies die Tatsache, dass die periodische Variation aus dem Verlauf des Verhältnisses $\frac{P_r}{P}$ und die unperiodische Variation aus dem Verlauf des Verhältnisses $\frac{P_c}{P}$ bei der Mittel-

wertbildung eliminiert worden sind. Die periodische und die unperiodische Variation der drei Richtungscos. der perturbierenden Kraft können also durchschnittlich für die hier untersuchten Nordlichttage auf je eine Ebene beschränkt werden, nämlich auf die Ebenen AC und AR der Fig. 7. In der Fig. 15 sind diese Ebenen für sich aufgezeichnet (O = der magnetische Beobachtungsort), um ihre Lage relativ zu der magnetischen Achse (BD) der Erde klarer zu veranschaulichen. Die Ebene der unperiodischen Variation geht also vom magnetischen Beobachtungsort durch die magnetische Achse der Erde. Die Ebene der periodischen Variation liegt parallel zur magnetischen Achse und senkrecht zur Ebene der unperiodischen Variation.

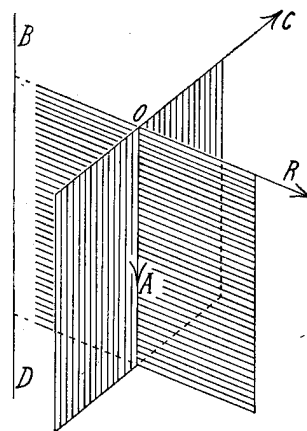


Fig. 15.

Die Grösse des Materials und die grosse Gleichmässigkeit der Ergebnisse, die bei der Bearbeitung der verschiedenen Abteilungen und Gruppen des Materials klargestellt wird, müssen jeden Zweifel an der Realität dieser Ergebnisse beseitigen. Doch muss beachtet werden, dass die 144 verwendeten Störungstage nach der Beziehung zwischen magnetischer Störung und gleichzeitigem Auftreten von Nordlicht ausgewählt sind. Die erhaltenen Ergebnisse sind darum streng genommen nur für eine derartige Auswahl von Störungstagen gültig, und es muss eine offene Frage bleiben, inwieweit ähnliche Gesetzmässigkeiten für magnetische Störungen im allgemeinen bestehen.

Die zwei erwähnten Gesetzmässigkeiten werden hier besonders hervorgehoben, weil sie bezüglich der die magnetischen Störungen erzeugenden elektrischen Ströme wichtige Aufschlüsse versprechen. Man muss es als bewiesen betrachten, dass diese Ströme sich durchschnittlich zur magnetischen Achse der Erde orientieren. Wegen der Beschränktheit des Materials ist es jedoch nicht möglich, diese Frage im allgemeinen in diesem Aufsatz zu behandeln. Es besteht ja auch eine Möglichkeit, dass die zwei Ebenen AC und AR nur als erste Annäherungen an die wahren «Flächen der periodischen und der unperiodischen Variation» anzusehen sind. Die Wichtigkeit des Berechnungsverfahrens mit Auflösung der perturbierenden Kraft in Komponenten, die zur magnetischen Achse der Erde orientiert sind, tritt jedoch klar zu Tage.

Die Richtung der perturbierenden Kraft. Die Variationskurven der rechtwinkligen Komponenten P_a , P_r , P_c (Fig. 11) stellen eine Richtungsveränderung der perturbierenden Kraft P dar. Diese Darstellung ist aber wenig übersichtlich, denn die Kurven sind durch Mittelwertbildung erhalten worden, und sie geben deshalb keine Übersicht über die Verteilung der Einzelwerte der Krafrichtung. Um auch eine solche Übersicht zu erlangen, sind die auf der Seite 13 definierten Winkel φ und ψ für jeden Einzelwert der perturbierenden Kraft berechnet und die Grössenverteilung dieser zyklometrischen Werte durch die Fig. 16—19 dargestellt.

Fig. 16 zeigt für φ die Häufigkeitsverteilung der Einzelwerte. Diese Einzelwerte wurden der Grösse nach in 24 Gruppen geteilt, die von den Winkeln $7,5^\circ$ — $22,5^\circ$, $22,5^\circ$ — $37,5^\circ$, — — — $352,5^\circ$ — $7,5^\circ$ begrenzt waren. Das Grössenintervall jeder Gruppe betrug somit 15° . Bei der bildlichen Darstellung wurden kleine Zirkel als Nulllinien verwendet, und die Häufigkeit der für die in der $P_a P_r$ -Ebene liegende Kraftkomponente gefundenen Richtungen wurde durch eine gebrochene Linie veranschaulicht. Der in Millimetern gemessene radiale Abstand einer Ecke der gebrochenen Linie von der Nulllinie gab die Anzahl der zur betreffenden Gruppe gehörigen Einzelwerte an.

Die schräg gezeichneten Pfeile zeigen die Richtung der Schnittlinie zwischen der Erdoberfläche und der magnetischen Meridianebene an, also die horizontale Richtung.

Die Richtungsänderung in der $P_a P_r$ -Ebene kommt hier sehr deutlich zum Vorschein. Um 18^h liegt das Häufigkeitsmaximum bei $\varphi = 15^\circ$. Um 2^h ist es nach $\varphi = 45^\circ$ verschoben, und ein zweites kleines Maximum hat sich bei $\varphi = 75^\circ$ bis zu 90° gebildet. Um 10^h ist das zweite Maximum wieder verschwunden, und das Häufigkeitsmaximum stellt sich jetzt sehr genau in die horizontale Richtung ein.

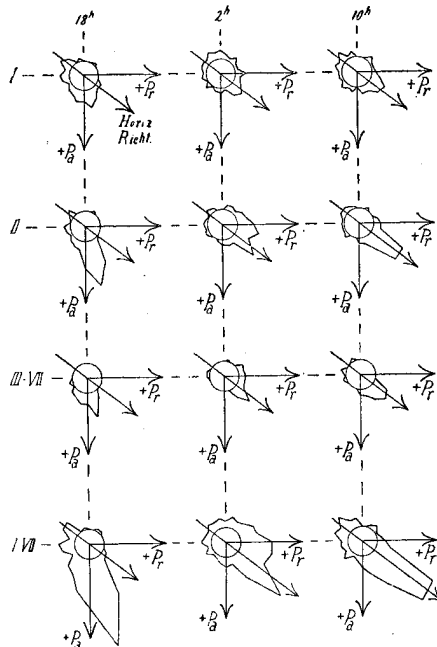


Fig. 16. Momentane Häufigkeitsverteilung der Richtungen in der $P_a P_r$ -Ebene (Potsdam). Verkleinerung 1:6.

Diese horizontale Richtung, die in den Morgenstunden vollständig überwiegt, muss besonders beachtet werden. Sie hat gewöhnlich positiven Sinn, d. h. sie ist nach S gerichtet. Doch tritt auch die nördliche horizontale Richtung gar nicht selten auf, und auch sie überwiegt bei weitem sowohl die positive als auch die negative vertikale Richtung.

Gerade diese Einstellung der perturbierenden Kraft in die horizontale Richtung ist früher als Abklingen bezeichnet worden. In sehr vielen der 144 Einzelstörungen trat sie in den Morgenstunden auf, und besonders an den Störungstagen, an denen die Registrierpapiere um 12^h angelegt wurden, gab es gute Gelegenheit ihren Verlauf näher zu studieren. Als sich die perturbierende Kraft in den Morgenstunden in die horizontale Richtung eingestellt hatte, behielt sie diese Richtung auch in den meisten Fällen bis um 12^h beinahe

unverändert bei. Auch bei der Einstellung in negativ horizontale Richtung war diese Tendenz der perturbierenden Kraft, die horizontale Richtung beizubehalten, gut erkennbar.

Um 18^h hat sich die Kraft noch nicht in diese horizontale Richtung eingestellt. Die grösste Häufigkeit liegt dann bei $\varphi = 15^\circ$, aber auch die Richtung parallel zur magnetischen Achse hat eine sehr grosse Häufigkeit aufzuweisen. Sogar im Grössenintervall $300-360^\circ$ ist die Häufigkeit ziemlich gross. Diese vorherrschende axiale Richtung könnte auch unmittelbar aus den Variationskurven abgeleitet werden. Zu dieser Zeit ist nämlich die Kurve $\frac{P_a}{P}$ nahe an ihrem Maximum, während die Kurve $\frac{P_r}{P}$ nahe an der Nulllinie liegt.

Um 2^h ist also diese Richtung wesentlich verändert. Die grössten Häufigkeiten liegen jetzt zwischen 15° und 135° , mit dem Hauptmaximum bei 45° . Die Veränderung der Häufigkeitskurve muss natürlich mit den Variationskurven übereinstimmen. Zu dieser Zeit hat die Kurve $\frac{P_r}{P}$ ihr Maximum, während die Kurve $\frac{P_a}{P}$ ihr Minimum beinahe erreicht hat. Auch ist zu diesem Zeitpunkt eine viel grössere Streuung der Richtungen wahrzunehmen, die von einer Vergrösserung der irregulären Variationen herrühren muss.

Um 10^h dagegen ist also die perturbierende Kraft, wie früher erwähnt, hauptsächlich horizontal nach S gerichtet. Ausserdem sind auch die Mittelwerte des Verhältnisses $\frac{P_r}{P}$

nicht unwesentlich verkleinert, während in der Kurve $\frac{P_a}{P}$ eine starke Zunahme bemerkbar ist. Zu dieser Zeit ist auch die Streuung der Richtungen wieder wesentlich verkleinert.

Für sämtliche Intensitätsgruppen hat die Richtungsveränderung denselben Charakter. Jedoch ist bei den schwächsten Störungen die Streuung der Einzelwerte viel grösser als bei den starken Störungen. Teilweise rührt wohl die grosse Streuung der schwachen Störungen von der Unsicherheit her, die aus der etwas unsicheren Lage der verwendeten Normalkurven entsteht und deshalb für die kleinen Störungen besonders verhängnisvoll ist.

Diese momentane Häufigkeitsverteilung, die für je 8 Stunden aufgezeichnet worden ist, kann aber keine detaillierte Darstellung der zeitlichen Variation der Häufigkeit geben. Entsprechende Häufigkeitsverteilungen sind deshalb für jede Stunde berechnet, und die Resultate sind auf Fig. 17 in Isoplethendarstellung veranschaulicht. Hier ist jedoch die

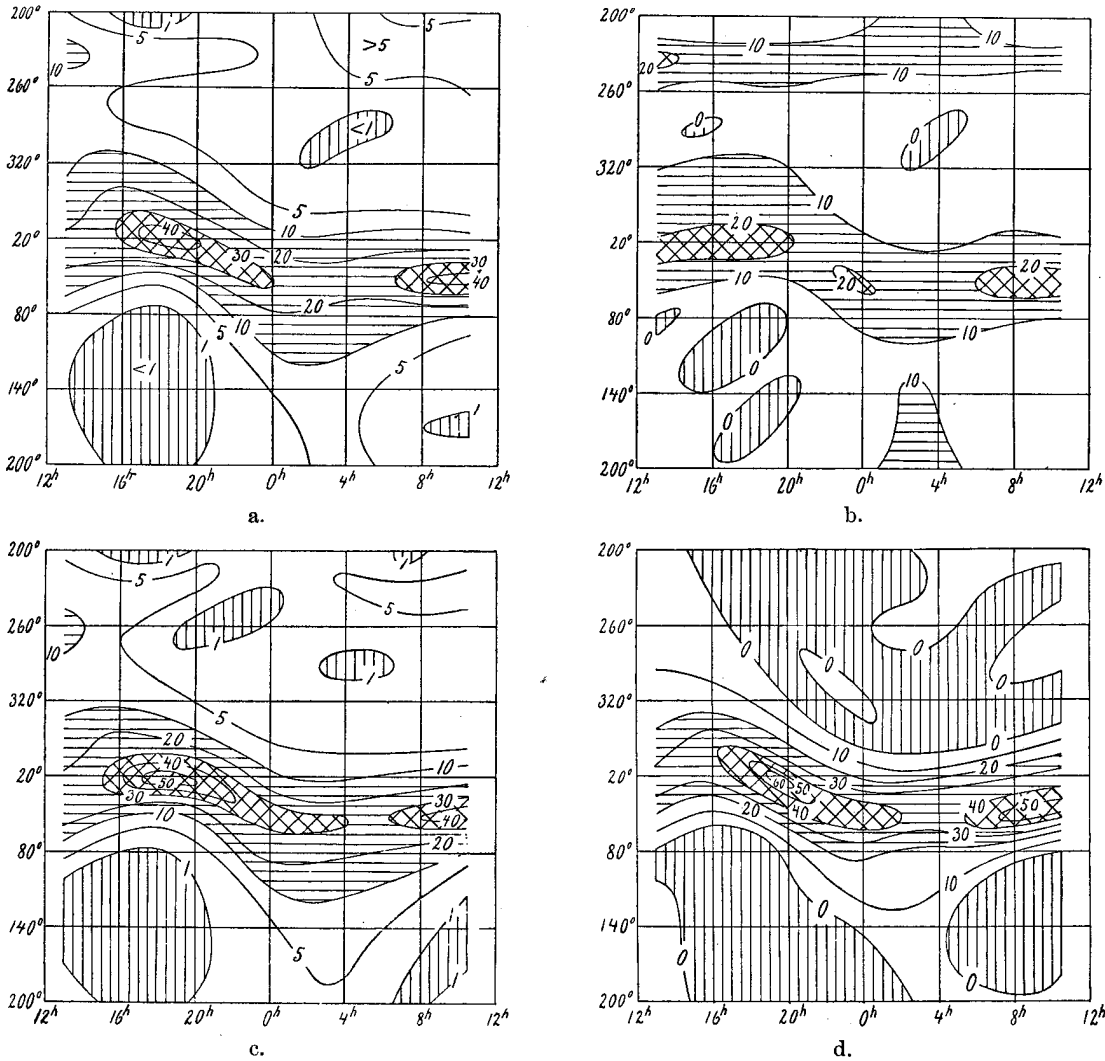


Fig. 17. Tägliche Variation der Häufigkeitsverteilung des Winkels φ (Potsdam).

- a) Sämtliche 144 Störungstage.
- b) Intensitätsgruppe I.
- c) Intensitätsgruppe II.
- d) — — — III—VII.

Häufigkeit nicht unmittelbar durch die Anzahl der zu jedem Grössenintervall gehörenden Einzelwerte dargestellt. Um auch hier die verschiedenen Intensitätsgruppen vergleichen zu können, ist die Häufigkeit η «in Prozenten» angeführt, d. h. sie ist durch die folgende Formel definiert:

$$\eta = 100 \frac{N_i}{N},$$

wo N_i die zum i -ten Grössenintervall des Winkels φ gehörige Anzahl Einzelwerte und N die gesamte Anzahl Einzelwerte bezeichnet. N wird also durch die Formel ausgedrückt:

$$N = \sum_{i=1}^{i=24} N_i.$$

Beim Einzeichnen der Häufigkeitskurven wurden kleinere Unregelmässigkeiten nicht berücksichtigt, wenn ihre Realität zweifelhaft erschien.

Fig. 17 a stellt die durchschnittliche Häufigkeitsverteilung für sämtliche 144 Störungstage dar. Das bei weitem grösste Häufigkeitsmaximum im Grössenintervall 0° — 60° springt sofort in die Augen. Die zeitliche Verschiebung der Maximumstelle von $\varphi = 15^\circ$ um 18^h bis $\varphi = 60^\circ$ um 1^h und $\varphi = 50^\circ$ um 10^h ist auch sehr gut erkennbar. Das kleinere Maximum im Grössenintervall 200° — 260° kommt weniger deutlich zum Vorschein. Gut erkennbar ist aber die Streuung der Einzelwerte, die besonders in der Nacht (0^h — 6^h) auftritt und eine Brücke zwischen dem Hauptmaximum und dem Nebenmaximum bildet.

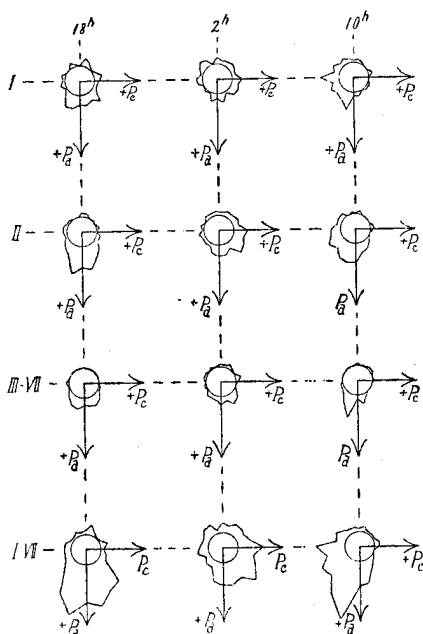


Fig. 18. Momentane Häufigkeitsverteilung der Richtungen in der P_aP_c -Ebene (Potsdam). Verkleinerung 1:6.

Die Streuung der Einzelwerte ist etwas grösser für ψ als für φ . Die zeitliche Variation der Streuung hat aber denselben allgemeinen Verlauf, denn auch für ψ ist die Streuung in den Nachtstunden am grössten. hier können die schwächsten Störungen die grösste Streuung aufweisen, und das kommt wohl auch hier teilweise von der unsicheren Lage der bei der Berechnung verwendeten Normalkurven, die, wie früher gesagt, für die schwächsten Störungen besonders verhängnisvoll sein muss.

Fig. 19 stellt die zeitliche Variation dieser Häufigkeitsverteilung dar, und zwar Fig. 19 a für sämtliche 144 Störungstage, Fig. 19 b für die Gruppe I, Fig. 19 c für die Gruppe II und Fig. 19 d für die Gesamtgruppe III—VII. Die periodische Variation ist hier sehr deutlich, wenn sie auch durch eine unperiodische Variation etwas verzerrt wird. Diese unperiodische Variation rührt natürlich von der Variation des Verhältnisses $\frac{P_a}{P}$ her. Das Verhältnis $\frac{P_c}{P}$ ist ja, wie früher gezeigt, beinahe rein periodisch.

Die Häufung erreicht durchschnittlich für sämtliche Störungen ihren grössten Wert etwa 20^h , den kleinsten Wert etwa 3^h . Der Winkel ψ erreicht seinen grössten durchschnittlichen Wert ($\psi =$ etwa 60°) um 0^h , den kleinsten ($\psi =$ etwa 310°) 12^h .

Die Streuung der Einzelwerte während der Nacht ist auch sehr deutlich, besonders für Gruppe I. Die Abnahme der Streuung mit steigender Störungsintensität bewirkt eine Zunahme der maximalen Häufung von etwa 20 % in der Gruppe I bis 40 % in der Gruppe III—VII.

Aus den Diagrammen Fig. 17 a und Fig. 19 a können Kurven der maximalen Häufigkeit entnommen werden. Mit der Variationskurve der perturbierenden Kraft (Fig. 4 S. 11) zusammen bestimmen sie eine Raumkurve, die den täglichen Verlauf der Krafttrichtung

Für die drei Intensitätsgruppen I, II und III—VII ist die Häufigkeitsverteilung durch Fig. 17 b, resp. Fig. 17 c und Fig. 17 d dargestellt. Die starke Zunahme der maximalen Häufigkeit von 20 % in Gruppe I bis 60 % in Gruppe III—VII muss besonders beachtet werden.

In der P_aP_c -Ebene hat die Richtungsänderung einen anderen Charakter als in der P_aP_r -Ebene. Fig. 18 stellt die momentanen Häufigkeitsverteilungen für den Winkel ψ dar. Um 18^h sind die grössten Häufigkeiten symmetrisch um die Nullrichtung verteilt. Die Haupttrichtung der perturbierenden Kraft liegt dann in der magnetischen Meridianebene. Um 2^h ist die Haupttrichtung nach $\psi = 45^\circ$ verschoben. Später rückt sie wieder zurück und liegt um 10^h bei etwa $\psi = 345^\circ$ (in der Intensitätsgruppe I bei $\psi = 330^\circ$).

Die Streuung der Einzelwerte ist etwas grösser für ψ als für φ . Die zeitliche Variation der Streuung hat aber denselben allgemeinen Verlauf, denn auch für ψ ist die Streuung in den Nachtstunden am grössten.

In Bezug auf die Störungsintensität zeigt die Streuung dieselben Besonderheiten für ψ wie für φ . Auch

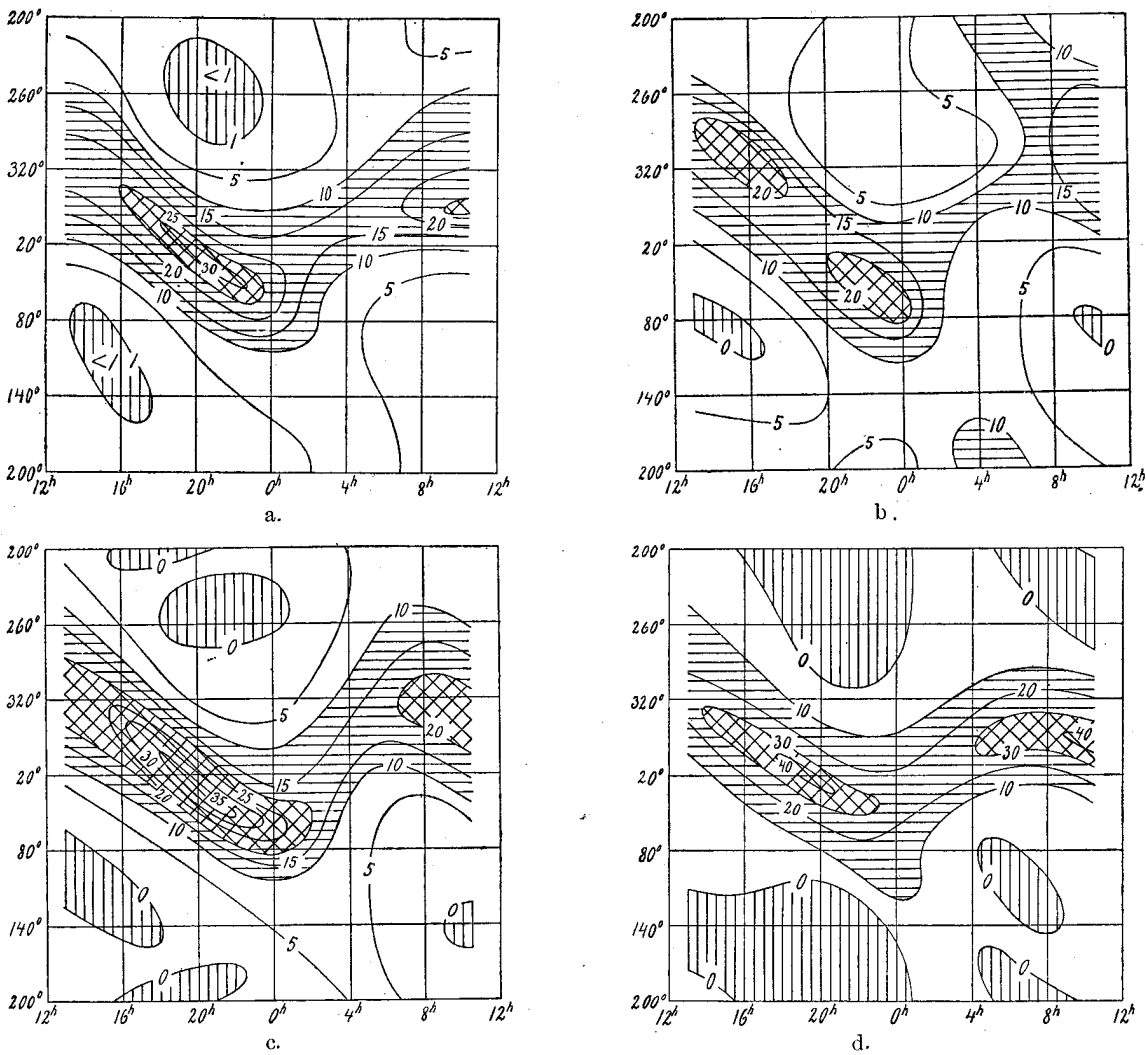


Fig. 19. Tägliche Variation der Häufigkeitsverteilung des Winkels ψ (Potsdam).

- a) Sämtliche 144 Störungstage.
- b) Intensitätsgruppe I.

- c) Intensitätsgruppe II.
- d) —»— III—VII.

maximaler Häufigkeit angibt. Diese Kurve ist in Fig. 20 durch zwei ihrer Projektionen (auf die P_rP_c -Ebene und auf die P_aP_c -Ebene) dargestellt. Die Kurvenpunkte der einzelnen Stunden geben sowohl die häufigste Richtung als auch die durchschnittliche Grösse der perturbierenden Kraft an.

Die häufigste Richtung der perturbierenden Kraft beschreibt eine angenähert elliptische Kegelfläche mit grosser Exzentrizität. Diese Kegelfläche liegt ganz auf der positiven Seite sowohl der P_rP_c -Ebene als auch der P_aP_c -Ebene.

Die Einzelwerte der Kraftrichtung verteilen sich nicht symmetrisch um diese Stundenwerte der häufigsten Richtung. Fig. 16 und Fig. 18 zeigen deutlich die unsymmetrische Verteilung der Einzelrichtungen. In Fig. 16 ist sie um 2^h am deutlichsten, in Fig. 18 um 10^h.

Die unsymmetrische Verteilung der Fig. 16 rührt hauptsächlich von der unperiodischen Variation der zwei Komponenten P_a und P_r her, die wahrscheinlich das Hauptmaximum um 2^h bewirkt, während das Nebenmaximum eine Wirkung der periodischen Variation der Komponente P_a und der unperiodischen Variation der Komponente P_r ist.

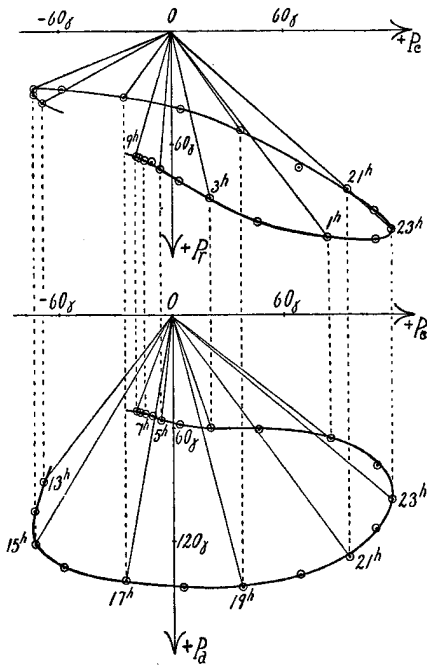


Fig. 20. Zeitliche Variation der häufigsten Richtung der perturbierenden Kraft in Potsdam, durchschnittlich für 144 Nordlichttage.

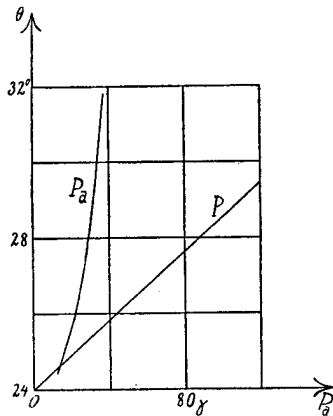


Fig. 21.

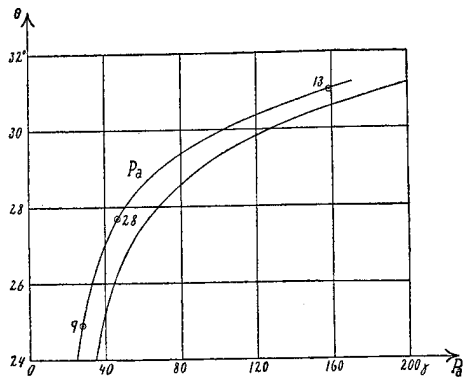


Fig. 22. Beziehung des Winkels θ (strahlenförmiges Licht) zu P_a (Tucson).

Die unsymmetrische Häufigkeitsverteilung der Fig. 18 muss auch durch die unperiodische Variation der Komponente P_a bewirkt werden.

Die starke Häufung der Stundenwerte (Fig. 20) von 5^h bis 9^h rührt von der horizontalen Richtung her, die in der Orientierung der perturbierenden Kraft in den Morgenstunden vorherrscht. Nur eine sehr schwache Verschiebung der einzelnen Stundenwerte ist wahrzunehmen, die durch eine allmähliche Abnahme der Störungsintensität und die prozentual unveränderte periodische Variation der P_c -Komponente bewirkt wird.

DIE BEZIEHUNG ZWISCHEN θ UND P_a .

Nach Berechnung der rechtwinkligen Komponenten P_a, P_r, P_c kann jetzt die Beziehung des Winkels θ zur perturbierenden Kraft näher untersucht werden.

Fig. 21 zeigt die ermittelte Beziehung zwischen dem Winkel θ (strahlenförmiges Nordlicht in Oslo) und der axialen Komponente P_a in Potsdam. Der Verlauf der erhaltenen Kurve P_a weicht noch mehr von dem zu erwartenden Verlauf ab als die früher gefundene und hier zum Vergleich eingezeichnete Kurve P , die die Beziehung zwischen θ und P für Potsdam darstellt und hier der Fig. 1 entnommen ist. Später wird gezeigt, dass dieser abweichende Verlauf nur einer zufälligen Häufung der Einzelwerte zuzuschreiben ist. Die berechneten Punkte sind darum nicht eingezeichnet.

Fig. 22 stellt die entsprechende Beziehung für Tucson dar. Hier hat die Kurve den theoretisch richtigen Verlauf erhalten, und sie hat fast genau dieselbe Form wie die in Fig. 3 gezeichnete Kurve, die zum Vergleich eingezeichnet ist und die Beziehung zwischen θ (strahlenförmiges Licht in Oslo) und P (Tucson) darstellt.

Diese Übereinstimmung zwischen theoretischen Erwägungen und statistischen Berechnungsergebnissen, die sich für Tucson ergab, macht eine nähere Untersuchung der für Potsdam erhaltenen Nichtübereinstimmung dringend notwendig. Die photographischen Nordlichtbeobachtungen fallen in das Zeitintervall zwischen etwa 17^h und 4^h. Die Berechnung zeigt, dass während dieser 11 Stunden die P_a -Komponente in Potsdam von ihrem Maximumwert zu ihrem Minimumwert abfällt, während sie in Tucson entgegengesetzt variiert. Für Potsdam wurde deshalb dieses Zeitintervall in drei kleinere Teilintervalle geteilt und die Beziehungen zwischen θ und P_a für jedes dieser Teilintervalle untersucht.

Fig. 23 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung. Für jedes Teilintervall hat man eine besondere Kurve erhalten, und jede Kurve zeigt eine Krümmung, wie man

sie theoretisch erwarten sollte. Zeitlich aber verschieben sich die Kurven sehr stark. Im Minimumintervall der P_a -Komponente wurden für P_a Mittelwerte erhalten, die viel niedriger liegen als die im Maximumintervall für dieselben Werte des Winkels θ erhaltenen Mittelwerte P_a . Die meisten Kronenbeobachtungen liegen zeitlich nahe an der Minimumstelle der P_a -Komponente, und als für Fig. 21 Mittelwerte aus sämtlichen Beobachtungen berechnet wurden, mussten sich also für die grössten Werte des Winkels zu kleine Mittelwerte der P_a ergeben. Aus dieser zufälligen Häufung der Einzelwerte ist somit der sehr abweichende Verlauf der für Potsdam erhaltenen Kurve Fig. 21 entstanden.

Die Frage nach der physikalischen Deutung der zeitlichen Verschiebung der Kurven Fig. 23 ist aber schwer zu entscheiden. Zwei Möglichkeiten sollen hier erwähnt werden. Erstens ist es ja möglich, dass die Beziehung zwischen θ und P_a durch eine Funktion auszudrücken ist, die durch einen trigonometrischen Parameter von der Tageszeit abhängig ist. Zweitens hat man die viel wahrscheinlichere Möglichkeit, dass die Beziehung zwischen diesen zwei Grössen nur eine statistische Relation und keine exakte dynamische Abhängigkeit darstellt. Die Werte der Grössen P_a setzen sich, wie früher gezeigt, aus dem periodischen und dem unperiodischen Anteil zusammen, und die Verschiebung der Kurven Fig. 23

folgt augenscheinlich dem Verlauf der Kurve $\frac{P_a}{P}$ Fig. 11. Es ist wahrscheinlich, dass die

Verschiebung der Kurven Fig. 23 eben daraus entsteht, dass der Winkel θ in Relation zur ungeteilten, periodisch variierenden Grösse P_a gesetzt wurde. Falls die periodische Variation von erdnahen elektrischen Strömen bewirkt wird, ist es aus Gründen, die früher erörtert worden sind (siehe z. B. S. 9), wahrscheinlich, dass der periodisch variierende Anteil der Komponente P_a keinen wesentlichen Einfluss auf den Winkel θ ausüben kann. Das hindert aber nicht, dass der unperiodische Anteil der P_a -Komponente die Vergrösserung des Winkels bewirken könnte. Bei der Berechnung war es aber nicht möglich, den unperiodischen Anteil vom periodischen zu trennen, weshalb es zur Zeit unmöglich ist, diese Frage vollständig klarzulegen.

GESETZMÄSSIGKEITEN DER VIERTELSTÜNDLICHEN SCHWANKUNGEN.

Neben den periodischen und unperiodischen Variationen sind in den magnetischen Störungen auch viel schnellere Variationen und Fluktuationen vorhanden, die oft ganz unregelmässig aussehen. Wegen dieser scheinbaren Unregelmässigkeit sind diese schnellen Schwankungen oft als «irreguläre» Schwankungen bezeichnet worden.

Diese Bezeichnung ist ihnen einigermaßen «a priori» gegeben, ohne dass dadurch eine absolute Gesetzlosigkeit behauptet wird. Die Bezeichnung «irregulär» bezieht sich nur auf die unperiodische und zum Teil lokale Natur dieser Schwankungen ohne irgend etwas über ihre tiefere physikalische Natur auszusagen. Um irreführende Ideenassoziationen zu vermeiden, ist es vielleicht besser, sie nur als kurzzeitliche Schwankungen zu bezeichnen.

Die Berechnung von viertelstündlichen Werten der perturbierenden Kraft ermöglichte auch eine Untersuchung über eventuelle Gesetzmässigkeiten der kurzzeitlichen Schwankungen. Als aus je vier viertelstündlichen Werten Stundenwerte der perturbierenden Kraft P berechnet waren, wurden die Differenzen zwischen den einzelnen Viertelstundenwerten und den entsprechenden Stundenwerten gebildet, und aus den Zahlenwerten der vier zur selben Stunde gehörenden Differenzen wurden stündliche Mittelwerte Δp der Abweichung ermittelt.

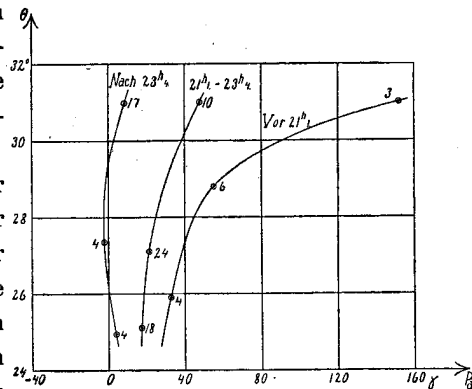


Fig. 23. Beziehung des Winkels θ (strahlenförmiges Licht) zu P_a (Potsdam)

In dieser Weise erhält man zwar nicht eine ausschliessliche Untersuchung der kurzzeitlichen Schwankungen, sondern die Werte Δp werden auch von der durch die periodische und unperiodische Variation bewirkte Veränderung der viertelstündlichen Werte der Kraft P beeinflusst. Ob die so erhaltenen Stundenwerte der Abweichung (die viertelstündliche Schwankung der Störungen) die kurzzeitlichen Schwankungen auch wirklich in der besten Weise charakterisieren können, ist eine Frage, die hier nicht näher behandelt werden kann. Die Werte Δp gestatten deshalb nur eine erste qualitative Orientierung. Es soll hier nur untersucht werden, ob die zu anderem Zweck berechneten viertelstündlichen Werte der perturbierenden Kraft auch über eventuelle Gesetzmässigkeiten der kurzzeitlichen Schwankungen Aufschlüsse geben können. Einer genaueren Erforschung der kurzzeitlichen Schwankungen müsste jedenfalls eine Untersuchung nach dem vorteilhaftesten Berechnungsverfahren vorausgehen. Deshalb sind hier hauptsächlich nur die Werte der totalen perturbierenden Kraft, und nicht ihrer Komponenten, in besonderem Mass berücksichtigt.

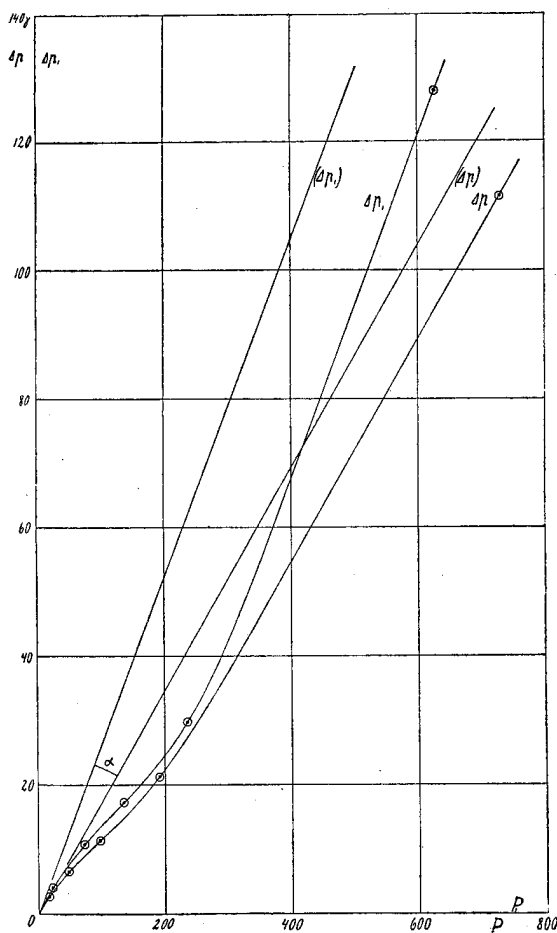


Fig. 24. Abhängigkeit der viertelstündlichen Schwankung Δp (Δp_i) von der perturbierenden Kraft P (P_i).

sechs Gruppen geteilt: 1^h-8^h , 5^h-12^h , 9^h-16^h , 13^h-20^h , 17^h-0^h , 21^h-4^h , und für jedes dieser Zeitintervalle wurde die Beziehung der viertelstündlichen Schwankung Δp zur Kraft P ermittelt.

Die Ergebnisse sind in Fig. 25 dargestellt. Auch hier sind die berechneten Werte durch Punkte angegeben. Um den Verlauf der Kurven übersichtlicher zu machen, musste aber die Abbildung in so grossem Masstab gezeichnet werden, dass für vier Kurven die Punkte der grössten Werte nicht eingezeichnet werden konnten. Die zwei Kurven, deren äusserste Punkte auf der Abbildung Platz fanden, sind in ihrem weiteren hypothetischen Verlauf nur unterbrochen gezeichnet. Auch nicht die sechs Punkte, die der Origo am

Um eine eventuelle Abhängigkeit dieser viertelstündlichen Schwankung Δp von der Störungsintensität klarzulegen, wurden die Werte Δp in Bezug auf die Grösse der perturbierenden Kraft P gruppiert und für jede Gruppe Mittelwerte sowohl der Kraft P als auch der Schwankung Δp berechnet. Die Ergebnisse sind in Fig. 24 veranschaulicht. Die berechneten Werte sind durch die eingezeichneten Punkte angegeben, und die erhaltene Abhängigkeit der Grösse Δp von P wird durch die Kurve Δp dargestellt. Zuerst verkleinert sich die Zunahme der Schwankung, bis sie für $P =$ etwa 100γ ihren niedrigsten Wert annimmt. Mit grösseren P -Werten vergrössert sie sich dann wieder, bis sie für $P >$ etwa 300γ augenscheinlich linear wird.

Auf diese Linearität bei höheren P -Werten konnte nicht unmittelbar geschlossen werden. Es gab ja da nur einen einzigen Punkt, und der Verlauf der Kurve zwischen den zwei letzten Punkten war gar nicht sichergestellt. Der geradlinige Verlauf ist freilich der einfachste und stimmt sehr gut mit der Lage der übrigen Punkte überein. Das ist jedoch nicht genug, um den geradlinigen Verlauf als bewiesen anzusehen.

Um diese Frage näher zu beleuchten, wurden die Stundenwerte Δp in die folgenden

nächsten liegen, sind eingezeichnet worden. Die Kurven wurden aber in vollkommener Übereinstimmung mit den nicht eingezeichneten Punkten gezogen.

Sämtliche sechs Kurven zeigen in der ausgesprochensten Weise denselben charakteristischen Verlauf wie die Kurve Δp der Fig. 24. Besonders der geradlinige Verlauf der Kurven bei höheren P -Werten wird scheinbar bestätigt, denn nur eine der vier voll ausgezogenen Linien, die Kurve 1^h-8^h , wich etwa $1^\circ-2^\circ$ von der gemeinsamen Richtung ab. Trotz dieser schönen Übereinstimmung scheint mir jedoch der geradlinige Verlauf nicht genügend sichergestellt, denn die grössten P -Werte wurden durch die grössten Störungen, die vom 13.—14. Februar 1892 und die vom 14.—15. Mai 1921, erhalten, und die grosse Unsicherheit dieser Werte ist früher erwähnt worden.

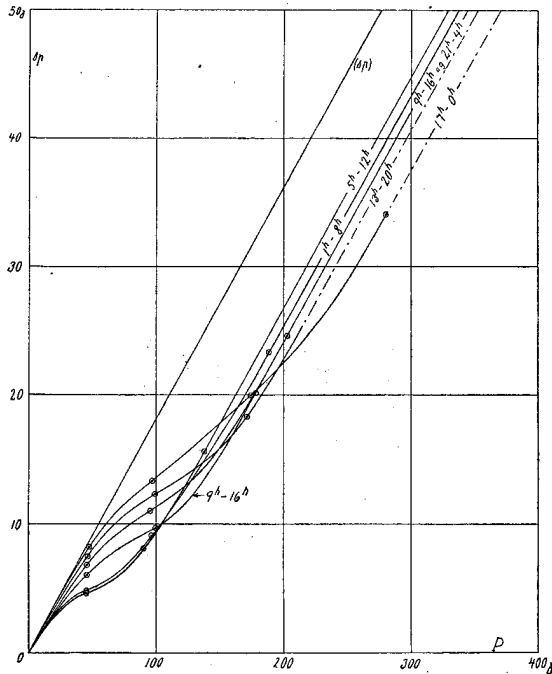


Fig. 25.

Wenn dieser geradlinige Verlauf der Kurven auch nicht als bewiesen behauptet werden kann, so kann er noch weniger geradehin verneint werden. Besonders die zwei Kurven 5^h-12^h und 9^h-16^h zeichnen ihn aus. Ein zweites schwerwiegendes Kriterium ist die Parallelität ihrer gemeinschaftlichen Richtung zur Richtung ihrer Gesamttangente (Δp), die in Fig. 24 und 25 durch Origo gelegt ist.

Die wichtigste Gesetzmässigkeit, die durch Fig. 25 angedeutet wird, ist die regelmässige Verschiebung im gekrümmten Teil der Kurven. Diese Verschiebung zeigt eine deutliche tägliche Periodizität, worin die Kurven 5^h-12^h und 17^h-0^h die Extremkurven bilden. Die Kurve 5^h-12^h hat ihr kleinstes Anwachsen für $P =$ etwa 45γ , und sie geht bei $P =$ etwa 130γ in den geradlinigen Teil über. Für die Kurve 17^h-0^h sind die entsprechenden Werte $P =$ etwa 120γ resp. $P =$ etwa 270γ .

Diese Kurven zeigen jedoch nicht ausschliesslich die Steigerung der kurzzeitlichen Schwankung mit zunehmender Störungsintensität. Die Grösse der viertelstündlichen Schwankung wird auch, wie früher erwähnt, von der periodischen und der unperiodischen Variation wie auch von Schwankungen beeinflusst, die sich über einige Stunden ausstrecken. Es besteht ja eine Möglichkeit, dass der krummlinige Verlauf der Kurve Δp eben von diesen Variationen bewirkt wird.

Es ist eine wohlbekanntete Tatsache, dass die kurzzeitlichen Schwankungen sich nur wenig in P_z bemerkbar machen. Es besteht deshalb die Möglichkeit, dass bei Ausschaltung der Komponente P_z und Berechnung der viertelstündlichen Schwankung Δp_1 nur aus der horizontalen Komponente P_1 (durch die Gleichung $P_1^2 = P_h^2 + P_a^2$ definiert) die Kurve einen veränderten Verlauf erhalten würde. Eine solche Berechnung wurde tatsächlich vorgenommen, und die Kurve Δp_1 , Fig. 24, stellt die Beziehung zwischen Δp_1 und P_1 dar. Wie zu erwarten war, verläuft die Kurve Δp_1 beträchtlich steiler als die Kurve Δp . Die Krümmung ist aber gar nicht verschwunden oder geschwächt. Sie ist vielmehr beträchtlich verschärft. Die starke Krümmung der Kurve Δp_1 spricht ernstlich gegen die Vermutung, dass die Krümmung der Kurve Δp durch die Wirkung der viertelstündlichen Variationen entstanden sei.

Die durch Origo gelegte, zum geradlinigen Teil der Kurve Δp_1 parallel gezogene

Gerade ist mit (Δp_1) bezeichnet. Der Winkel α wäre dann ein Mass für die durch P_0 bewirkte Verkleinerung der viertelstündlichen Schwankung.

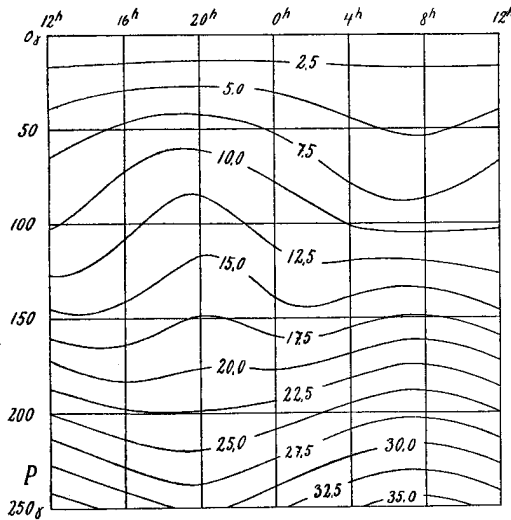


Fig. 26. Abhängigkeit der viertelstündlichen Schwankung Δp von der Tageszeit und von der perturbierenden Kraft P .

Um die periodische Veränderung der Kurven Fig. 25 näher zu studieren, wurden die Ungenauigkeiten der Kurven durch Aufzeichnung der Fig. 26 geglättet. Diese Abbildung zeigt die Abhängigkeit der viertelstündlichen Schwankung Δp sowohl von der Tageszeit als auch von der perturbierenden Kraft P .

Mit dem geglätteten Verlauf der Kurven Fig. 26 in Übereinstimmung sind dann für jede vierte Stunde, nämlich für 4^h , 8^h , 12^h , 16^h , 20^h , 0^h , Kurven ausgezogen worden, die nicht unmittelbar die Beziehung zwischen Δp und P darstellen, sondern die Abweichung $(\Delta p) \div \Delta p$ solcher Kurven, die diese Beziehung darstellen, von ihrer durch Origo gezogenen gemeinschaftlichen Tangente, die also mit den oberen geradlinigen Teilen der Kurven Fig. 25 parallel sein sollte. Diese neuen Kurven sind in Fig. 27 aufgezeichnet. Ihre Regelmässigkeit kann nicht zufällig sein.

Sowohl der gesetzmässige allgemeine Verlauf der Kurven als auch ihre ausgesprochene periodische Veränderlichkeit sind unzweifelhaft statistische Zeugnisse physikalischer Realitäten, deren wahre Natur doch nicht nur durch diese Untersuchungen klargelegt werden kann. Sie können möglicherweise durch atmosphärische Prozesse (z. B. durch Besonderheiten elektrischer Ströme, die in den leitenden Atmosphärenschichten fliessen sollten) oder durch Prozesse in der Erdkruste (z. B. durch Absorption und Transformation der magnetischen Energie in Erdströme) bewirkt werden. Eine exakte Behandlung dieser Fragen würde aber ein viel grösseres erdmagnetisches Material erfordern, das möglichst viele sehr starke Störungen umfassen und für eine grosse Anzahl Stationen bearbeitet werden müsste.

Die in Fig. 27 zwischen der Abszissenachse und den Kurven liegenden Flächen können deshalb nicht ohne weiteres als physikalische Realitäten betrachtet werden. Die Abszissen P stellen allerdings verschiedene Werte der perturbierenden Kraft dar, die ja ein Mass der tatsächlich auftretenden Störungsintensität sein soll. Ob auch die Ordinaten

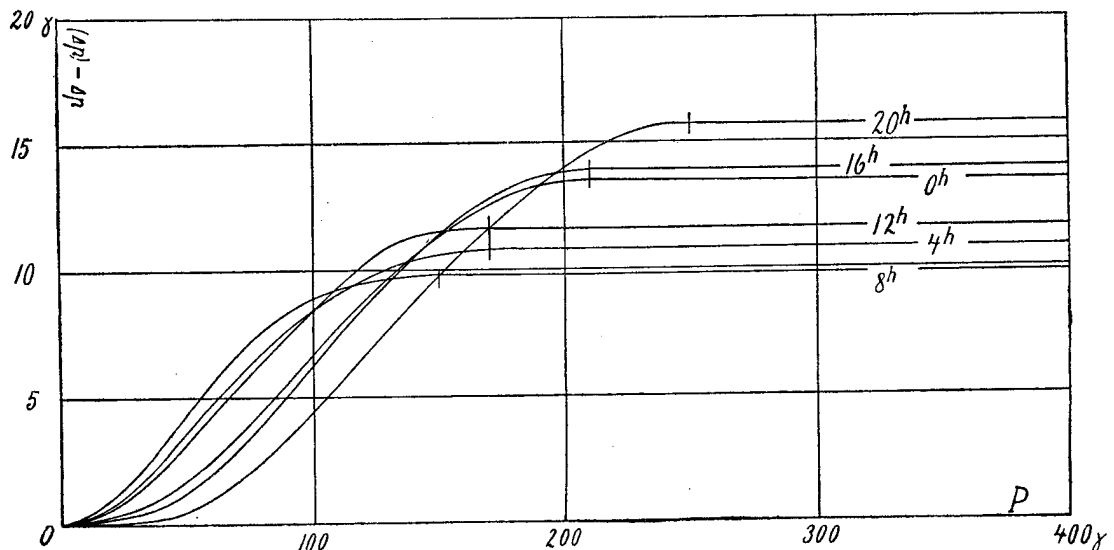


Fig. 27.

$(\Delta p) \div \Delta p$ wirklich eine physikalische Realität repräsentieren können, ist aber eine schwierigere Frage, die nicht nur auf Grund dieser Ergebnisse entschieden werden kann.

Wenn es auch schwierig ist, den wirklichen physikalischen Wert der Kurven Fig. 27 zu schätzen, geben doch der regelmässige Verlauf der einzelnen Kurven und die periodische Veränderung der Kurven mit der Tageszeit ein sehr einfaches mathematisches Hilfsmittel, die Gesetzmässigkeiten der viertelstündlichen Schwankung näher zu beleuchten. Die Frage, ob es auch ein hinlängliches Hilfsmittel ist, wahre Gesetzmässigkeiten klarzulegen, muss natürlich dahingestellt bleiben.

Für die grössten Werte der perturbierenden Kraft gehen die Kurven in Geraden über, die mit der Abszissenachse parallel sind. Der Übergangspunkt aber, wie auch sein Abstand von der Abszissenachse, verschiebt sich periodisch mit der Tageszeit. Die Variation dieser Flächenstücke F_n , die zwischen den krummlinigen Teilen der Kurven, der Abszissenachse und den Ordinaten der Übergangspunkte liegen, gibt darum eine einfache Darstellung der periodischen Variation.

Mathematisch kann man diese Flächenstücke am einfachsten durch Integrale ausdrücken:

$$F_n = \int_0^{P_{gn}} ((\Delta p) \div \Delta p) dP,$$

wo n die verschiedenen Stundenzahlen 0, 4, 8, 12, 16, 20 angibt, und P_0 den Grenzwert bedeutet, den die perturbierende Kraft P für die Übergangspunkte erhält.

Durch eine einfache Ausmessung der sechs Flächengrössen wurden numerische Werte erhalten, die in illustrativer Weise die Gesetzmässigkeit der periodischen Variation darstellen. In Fig. 28 zeigen die Grössen der sechs eingezeichneten Radiusvektoren die numerische Variation der Flächengrössen, und die Richtungen der Radiusvektoren geben die periodische Verteilung dieser Variation über die Tageszeiten an.

Diese Radiusvektoren beschreiben eine Kurve, die an eine Kardioid erinnert und augenscheinlich zu einer Achse A , die zugleich auch das Maximum der perturbierenden Kraft (und somit die Zeit der grössten Nordlichthäufigkeit) angibt, symmetrisch ist.

Die tiefere physikalische Bedeutung einer solchen Kardioiden klarzulegen, ist eine Aufgabe, die dahingestellt bleiben muss. Statistisch aber ist die tägliche Variation der viertelstündlichen Schwankung vielleicht von den Besonderheiten der vertikalen Störungskomponente P_v abhängig.

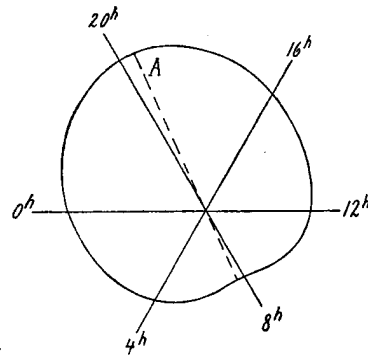


Fig. 28. Tägliche Variation der Grösse F_n .

ZUSAMMENFASSUNG.

1. Die statistische Relation zwischen der magnetischen Störungsintensität und dem Abstand der in Oslo beobachteten Nordlichterscheinungen vom magnetischen Achsenpunkt der Erde wird durch eine Kurve dargestellt, die für magnetische Störungen in Potsdam einen geradlinigen Verlauf, für die Störungen in Tucson dagegen einen gekrümmten Verlauf aufweist, dessen Krümmung mit der nach theoretischen Erwägungen erwarteten Krümmung übereinstimmt.

2. Die zeitliche Variation der perturbierenden Kraft hat eine ausgesprochene tägliche Periode. Das Maximum stellt sich in Potsdam durchschnittlich um 20^h (Greenw. Z.) ein. Das Minimum liegt in den späten Morgenstunden.

3. Die Zeit des Maximums verschiebt sich in Potsdam mit zunehmender Störungsintensität von 16^h—17^h für mässig grosse Störungen, bis in die frühen Nachtstunden für sehr grosse Störungen.

4. Die kleinsten von Nordlicht in Oslo begleiteten Störungen haben ihre durchschnittliche grösste Intensität ungefähr gleichzeitig in Potsdam und Tucson. Mit zunehmender Intensität macht sich die tägliche Variation viel stärker bemerkbar, so dass der zeitlich gemessene Abstand zwischen den zwei Maximumstellen ungefähr der Zeitdifferenz Potsdam ÷ Tucson entspricht.

5. Bei Auflösung der perturbierenden Kraft in Komponenten, die in Bezug auf die magnetische Achse der Erde orientiert sind, und bei Angabe dieser Komponenten in Prozenten relativ zur totalen perturbierenden Kraft, erhält man eine einfache Darstellung der durchschnittlichen zeitlichen Variation der Störungsintensität. Diese zeitliche Variation setzt sich aus zwei Teilen zusammen, der täglichen periodischen und der unperiodischen Variation. Bei der Mittelwertbildung wird für Potsdam die periodische Variation aus dem Verlauf der radialen Komponente und die unperiodische Variation aus dem Verlauf der zirkularen Komponente eliminiert.

6. Bei Zunahme der Störungsintensität vergrössert sich die axiale Komponente relativ zur totalen perturbierenden Kraft sehr stark für kleine Intensitäten. Für grössere Intensitäten verkleinert sie sich wieder mit zunehmender Störungsintensität. Die Abnahme ist jedoch viel schwächer als die vorausgehende Zunahme.

7. Die durchschnittliche Grösse der zirkularen Komponente relativ zur totalen perturbierenden Kraft verändert sich sehr wenig mit zunehmender Störungsintensität. Die durchschnittliche Grösse der relativen radialen Komponente ist in den Abendstunden beinahe unabhängig von der Störungsintensität. In der Nacht vergrössert sie sich sehr stark mit zunehmender Intensität.

8. Die perturbierende Kraft hat in den Abendstunden eine vorherrschende axiale Richtung. In den Morgenstunden dagegen ist die Kraft hauptsächlich horizontal nach *S* gerichtet. Die häufigste Richtung der perturbierenden Kraft beschreibt im Laufe des Tages eine stark exzentrische elliptische Kegelfläche, die jedoch wegen der unperiodischen Variation nicht geschlossen ist.

9. Die Streuung der Einzelwerte ist in der Nacht am grössten. Mit zunehmender Störungsintensität nimmt sie stark ab.

10. Die Beziehung der axialen Komponente der perturbierenden Kraft in Tucson zur Entfernung der in Oslo beobachteten Nordlichter vom magnetischen Achsenpunkt der Erde wird durch eine Kurve dargestellt, deren Verlauf mit einer theoretisch zu erwartenden Kurve ziemlich gut übereinstimmt. Die Beziehung dieses Abstandes zu der in Potsdam registrierten axialen Komponente zeigt viel verwickeltere Verhältnisse.

11. Die Vergrößerung der viertelstündlichen Schwankung mit zunehmender Störungsintensität zeigt besondere statistische Gesetzmässigkeiten. Die durchschnittliche Beziehung dieser zwei Grössen wird durch eine Kurve veranschaulicht, die bis zu ziemlich starker Störungsintensität krummlinig verläuft, bei sehr starker Intensität aber wahrscheinlich geradlinigen Verlauf erhält.

12. Für den Verlauf dieser Kurve kann eine ausgesprochene Abhängigkeit von der Tageszeit ermittelt werden. Diese Abhängigkeit, die rein periodisch ist, kann statistisch sehr einfach durch eine Kardioide dargestellt werden. Diese Kardioide, deren physikalische Bedeutung nicht sichergestellt ist, ist symmetrisch zu einer Achse, die auch die Maximumzeit der perturbierenden Kraft und die Zeit der grössten Nordlichthäufigkeit in Potsdam angibt.
