

# ÜBER DIE EINWIRKUNG DER MAGNETISCHEN PERTURBATIONEN AUF DIE GEOGRAPHISCHE VERBREITUNG DES NORDLICHTS.

VON  
A. RØSTAD.

(Manuskript am 18. November 1927 empfangen.)

Das Nordlicht ist, seinem Namen entsprechend, eine atmosphärische Lichterscheinung, die meistens nur in arktischen Gegenden zu beobachten ist. Aber auch in den antarktischen Gegenden sind gleichartige Lichterscheinungen, das Südlicht, beobachtet worden. In der geographischen Verbreitung dieser beiden Lichterscheinungen hat man eine gewisse Symmetrie in Bezug auf eine durch den Mittelpunkt der Erde senkrecht zur magnetischen Achse gelegte Ebene feststellen können.

Diese Symmetrie kommt besonders in der Bildung von Polarlichtzonen zum Vorschein. Mit zunehmender geographischer Breite nimmt wie bekannt die Häufigkeit der Polarlichter bis zu etwa  $20^\circ$  Entfernung von den magnetischen Achsenpunkten zu. Weiter nach den Achsenpunkten hin nimmt die Häufigkeit wieder ab. Auch die täglichen Perioden sind wahrscheinlich den beiden Polarlichtregionen gemein. Die Nordlichthäufigkeit hat ja ein starkes Abendmaximum und ein schwächeres Morgenmaximum, eine Schwankung, die bei Bezugnahme der magnetischen Ortszeit ihre einfachste Darstellung erhält <sup>1)</sup>.

Die charakteristischen Züge der geographischen Verbreitung der Polarlichter deuten in dieser Weise auf eine enge Beziehung zum Erdmagnetismus, die schon früher durch die Entdeckung der Parallelität zwischen Sonnentätigkeit, erdmagnetischen Störungen und Nordlicht in ihren elfjährigen Schwankungen wahrscheinlich geworden war.

**Kurze theoretische Übersicht.** Das Nordlicht wird, nach *Birkelands* Ansicht, durch Kathodenstrahlen verursacht. Von der Sonne ausgehend durchheilen solche Strahlen den interplanetarischen Raum, wo einige von ihnen in das erdmagnetische Feld eindringen und von der magnetischen Kraft aus ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung abgelenkt werden. In speziellen Gebieten des Raumes werden die Teilchen in dieser Weise nach der Erde hin geführt, wo sie erdmagnetische Störungen und Polarlicht erzeugen. Durch zahlreiche, grundlegende Experimente hat er nachgewiesen, dass auf einer genügend stark magnetisierten Kugel Kathodenstrahlen in Banden und Flecken niederschlagen, die der geographischen Verbreitung des Nordlichts ziemlich genau entsprechen <sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> L. Vegard, Das Nordlicht. Handb. d. Radiologie, S. 526. 1924.

<sup>2)</sup> K. Birkeland, The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902—1903. Sect. 1, 1908, Sect. 2, 1913. Kristiania.

*C. Størmer* hat die Bahnen berechnet, welche von der Sonne ausgehende, elektrisch geladene Teilchen folgen müssen, um die Erde zu erreichen<sup>1)</sup>. Trotz mehrerer vereinfachenden Annahmen (als erste Annäherung hat er z. B. das erdmagnetische Feld als mit dem Felde eines im Erdmittelpunkte befindlichen Elementarmagnets identisch vorausgesetzt, und die elektrodynamische Wirkung der elektrischen Strahlen vernachlässigt) hat er doch eine gute qualitative Übereinstimmung erhalten. Die elektrischen Teilchen können die Erde nur an zwei sehr engen und scharff begrenzten Zonen erreichen, die zirkulare Gebiete in der Nähe der magnetischen Achsenpunkten sind und die Bildung von Nordlichtzonen sehr einfach erklären. Doch erhalten die Einschlagszonen einen viel kleineren angularen Abstand von den Achsenpunkten als die Nordlichtzonen. Diese Abweichung hat *Størmer* durch Berücksichtigung einiger der vernachlässigten Partialkräfte zu erklären versucht.

Unter der Voraussetzung, dass das abnormale erdmagnetische Partialfeld Gauss' Hypothese gemäss als die Wirkung innerhalb der Erdoberfläche befindlicher, magnetischer Massen zu betrachten sei, wurden aber negative Resultate erhalten.

Bei den ersten Bahnberechnungen ergaben sich als singuläre Lösungen zirkulare, mit der Erde concentrische Bahnen in der erdmagnetischen Äquatorebene, deren Radien von der Grössenordnung eines zehnfachen Mondabstands waren. Bei Berechnung der ablenkenden Wirkung des aus dem Felde eines Elementarmagnets und dem Felde eines äquatorialen Ringstroms zusammengesetzten Erdfeldes ergab sich, bei Verwendung von geeignet gewählten Werten für Stromstärke und Ablenkbarkeit der Strahlung, eine mit der Lage der Nordlichtzone übereinstimmende Lage der berechneten Einschlagszonen<sup>2)</sup>.

Eine zweite Schwierigkeit bot die Erklärung der diffusen Begrenzung der Polarlichtzonen durch die sehr scharff begrenzten Einschlagszonen, denn das Nordlicht ist ja oft in Mittel- und Süd-Europa und gelegentlich auch in Nord-Afrika (also von der Nordlichtzone weit entfernt) beobachtet worden. *Størmer* hat diese Schwankung der geographischen Lage des Nordlichts teils durch Schwankungen der Stärke des Äquatorringes, teils durch schwankende Ablenkbarkeit der elektrischen Sonnenstrahlung zu erklären versucht. Dadurch wurde er zu der Folgerung geführt, dass jedesmal, wenn ein Nordlicht in niedrigeren Breiten auftritt, das erdmagnetische Feld gleichzeitig gestört sei.

In anderer Weise ist *L. Vegard* zu derselben Ansicht gekommen. Durch Untersuchungen über die jährlichen Perioden des Nordlichts und der magnetischen Störungen in verschiedenen Breiten kam er zu der Annahme, dass das Nordlicht durch magnetische Störungen nach niedrigeren Breiten geführt werde, ohne doch auf die Natur dieser verschiebenden Wirkung näher einzugehen<sup>3)</sup>.

Das erdmagnetische Feld lässt sich wie bekannt in ein normales und ein abnormales Partialfeld zerlegen. Das normale Partialfeld ist mit dem Felde einer homogen magnetisierten Kugel identisch. Das abnormale Partialfeld bewirkt die Abweichung des Erdfeldes von diesem normalen Felde. *A. Schmidt* hat das abnormale Partialfeld durch die magnetische Wirkung eines ausserirdischen, äquatorialen Ringstromes zu erklären versucht, und die mit dem abnormalen Felde best übereinstimmende Grösse dieser Wirkung zu 150—300  $\gamma$  geschätzt<sup>4)</sup>. Diese Schätzung ist gewiss eine sehr unbestimmte, doch muss ihre Übereinstimmung mit der *Størmerschen* Erklärung hervorgehoben werden.

1) *C. Størmer*, Sur le mouvement d'un point matériel portant un charge d'électricité sous l'action d'un aimant élémentaire. Vid.selsk. skr. Nr. 3. Kristiania 1904.

2) *C. Størmer*, Sur les trajectoires des corpuscules électrisés dans l'espace sous l'action du magnétisme terrestre. Arch. d. sc. phys. et nat. Geneve, 1911 et 1912.

3) *L. Vegard*, Jahrb. d. Rad. u. Elektr. 14, 399, 1917.

4) Abh. d. Kgl. Pr. Met. Inst. 5 Nr. 3 (1916), p. 37.

Der tatsächliche Abstand der Nordlichtzone von dem magnetischen Achsenpunkt übertrifft den durch die Bahnrechnungen für negative Strahlen erhaltenen Abstand mit etwa  $18^\circ$ .

Die Ansicht *Stormers* setzt eine Abhängigkeit des angularen Radius der Nordlichtzone von der am Ort der Erde vorhandenen magnetischen Wirkung des äquatorialen Ringstromes voraus. Wird die Feldstärke des Ringstromes am Ort der Erde mit  $Q$  und der angulare Abstand der Nordlichtzone vom magnetischen Achsenpunkt mit  $\Theta$  bezeichnet, erhält man daraus die Funktion:

$$\Theta = f(Q).$$

Der Differentialquotient

$$\frac{d\Theta}{dQ} = f'(Q)$$

soll die Verschiebbarkeit der Nordlichtzone darstellen. Aus den von *A. Schmidt* gemachten Schätzungen würde sich dann für die Verschiebbarkeit die Grenzwerte  $3,5' - 7'$  pr.  $1^\circ$  im Bereiche  $\Theta_1 = 4^\circ$  bis  $\Theta_2 = 22^\circ$  ergeben.

Ob der Unterschied zwischen beobachtetem und berechnetem Abstand durch die verschiebende Wirkung eines äquatorialen Ringstromes tatsächlich bewirkt wird, lässt sich beim heutigen Stand der Nordlichtforschung nicht entscheiden. Mehrere andere Möglichkeiten stehen ja offen, auf die ich hier nicht eingehen will. Bahnrechnungen unter Berücksichtigung der von den bewegten Teilchen selber herrührenden elektrodynamischen Kräfte seien allerdings für die Entscheidung dieser Frage von der grössten Bedeutung, wenn nur die mathematischen Schwierigkeiten überwunden werden könnten.

Auch statistische Untersuchungen der magnetischen Störungen an Tagen mit Nordlicht in niedrigeren Breiten sind von grossem Interesse. Nach Vorschlag von Prof. Dr. *L. Vegard* habe ich solche Untersuchungen unternommen, und ich möchte ihm an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen.

**Das benutzte Material und das Berechnungsverfahren.** Diesen Untersuchungen habe ich hauptsächlich Nordlichtbeobachtungen von Drontheim zu Grunde gelegt, die mit Beobachtungen von Oslo und den Niederlanden ergänzt wurden. Zu Drontheim wurde das Nordlicht während 21 Jahren ( $\frac{1}{9}$  1885— $\frac{30}{4}$  1906) auf Veranlassung des norwegischen meteorologischen Instituts von Studienrat *Haakonsen-Hansen* aufgezeichnet, und er hat in diesem Zeitintervall an etwa 1230 Nordlichttagen die Lichterscheinungen beschrieben. Die umstehende Tabelle 1 gibt ihre Verteilung auf die verschiedenen Monate und Jahre an.

Auch später hat er die Nordlichttage aufgezeichnet, ohne doch die Nordlichterscheinungen weiter zu beschreiben. In der Tabelle 2 ist die Verteilung dieser Nordlichttage für die Jahre 1906—1915 angegeben.

Leider sind die Aufzeichnungen nur ganz schematisch ausgeführt, und dabei wurden mehrere Einzelheiten, die jetzt nicht mehr interessieren (z. B. Nordlicht «unter, ober oder zwischen Wolken»), sorgfältig aufgeschrieben, während andere Einzelheiten, die für die moderne Nordlichtforschung von der grössten Bedeutung gewesen wären (z. B. die angulare Höhe der Strahlenbasis am Himmel), gänzlich unbeachtet blieben. Glücklicherweise sind doch an den meisten Tagen die Anfangszeiten der verschiedenen Nordlichtformen notiert. Wenn auch diese Anfangszeiten nicht immer zuverlässig erscheinen (das Nordlicht kann ja nicht bei Tageslicht gesehen werden), ergeben sie doch eine Reihe von sehr wertvollen Zeitangaben, die für die vorliegende Arbeit von der grössten Bedeutung

Tabelle 1.  
Verteilung der Nordlichttage *Drontheims* auf die Monate und Jahre 1885—1906.

	1885	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	1900	01	02	03	04	05	06
Januar .....	—	10	14	9	11	8	2	9	5	12	7	5	9	6	3	11	5	1	0	4	2	3
Februar .....	—	12	13	13	9	10	1	15	13	12	12	8	6	6	11	3	2	2	1	6	9	4
März .....	—	14	16	14	10	5	15	13	8	6	9	6	8	8	9	3	7	0	3	3	8	7
April .....	—	11	7	9	4	3	11	2	3	4	4	6	6	3	4	4	2	6	2	4	4	2
(August) .....	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
September ...	14	8	8	4	7	4	8	15	7	8	8	12	10	10	7	3	14	6	5	3	7	—
Oktober .....	12	18	11	9	7	11	16	12	12	9	8	11	8	9	5	2	3	1	8	9	5	—
November ...	9	13	11	12	6	11	9	9	7	9	11	5	4	11	6	3	3	1	8	4	10	—
Dezember ...	8	14	8	8	7	4	12	7	5	6	11	9	7	6	7	4	0	0	3	4	6	—
Das Jahr ...	—	100	91	78	61	56	74	83	60	66	70	62	58	59	52	33	36	17	30	37	51	—

Tabelle 2. Verteilung der Nordlichttage *Drontheims* auf die Monate und Jahre 1906—1915.

	1906	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Januar . . . . .	—	2	2	9	3	10	2	4	1	6
Februar . . . . .	—	7	6	6	10	8	1	3	1	8
März . . . . .	—	5	11	8	14	7	6	6	5	5
April . . . . .	—	5	2	5	5	3	3	2	2	8
September . . . . .	1	3	8	7	12	4	4	3	4	7
Oktober . . . . .	9	5	9	18	12	7	3	1	13	—
November . . . . .	5	8	6	4	9	4	4	1	8	—
Desember . . . . .	3	8	8	4	14	4	1	1	5	—
Das Jahr . . . . .	34	43	52	61	79	47	24	21	39	—

wurde. Auch war die Ausbreitung des Nordlichts gegen Süden einigermassen angegeben, denn Kronenbildung und Lichterscheinungen am südlichen Himmel waren besonders aufgezeichnet.

Das Nordlichtmaterial war zu gross, um bei diesen ersten Untersuchungen vollständig ausgenützt zu werden. Erstens wurden sämtliche Tage mit Kronebildung oder mit Licht am südlichen Himmel ausgewählt. Vom übrigen Nordlichtmaterial wurden alle Tage mit Nordlicht «ober, unter oder zwischen Wolken» ausgeschieden, denn bei teilweise bewölktem Himmel konnte so viele Jahre nachher nicht mit Sicherheit entschieden werden, ob das Nordlicht tatsächlich nur am nördlichen Himmel erregt war. Das Restmaterial wurde weiter dadurch begrenzt, dass sämtliche Monate, an denen keine Tage mit Kronenbildung oder mit Lichterscheinungen am südlichen Himmel angegeben waren, unberücksichtigt blieben, und in den so ausgewählten Monaten wurden auch nur die wichtigsten Tage, an denen das Nordlicht tatsächlich nur am nördlichen Himmel aufgetreten war, bei der Berechnung berücksichtigt.

Das so erhaltene Nordlichtmaterial war also nicht ganz willkürlich ausgewählt, allein die Tage mit Kronenbildung oder mit Licht am südlichen Himmel waren verhältnismässig zu stark repräsentiert.

Um bei den Berechnungen die schrittweise Ausbreitung des Nordlichts näher zu untersuchen, wurde besonders berücksichtigt an welchen Tagen das Nordlicht ausser in Drontheim auch in Oslo oder in den Niederlanden sichtbar war.

Bei den Untersuchungen der magnetischen Störungen wurden Registrierungen von Potsdam verwendet, wo mir das ausgezeichnete Material in der liebenswürdigsten Weise zur Verfügung gestellt wurde. Leider wurden die Variationen des Erdmagnetismus in Potsdam nicht vor dem Jahre 1891 registriert, weshalb nur das Nordlichtmaterial der Jahre 1891—1906 verwendet werden konnte. Dennoch konnten die magnetischen Störungen für 109 der früher erwähnten, ausgelesenen Nordlichttage untersucht werden, eine Arbeit, die noch nicht vollendet ist.

Für sämtliche diese Tage habe ich die in Potsdam auftretende, perturbierende Kraft  $P$  berechnet. Die Registrierungen von Potsdam wurden gewählt, weil dieses erd-

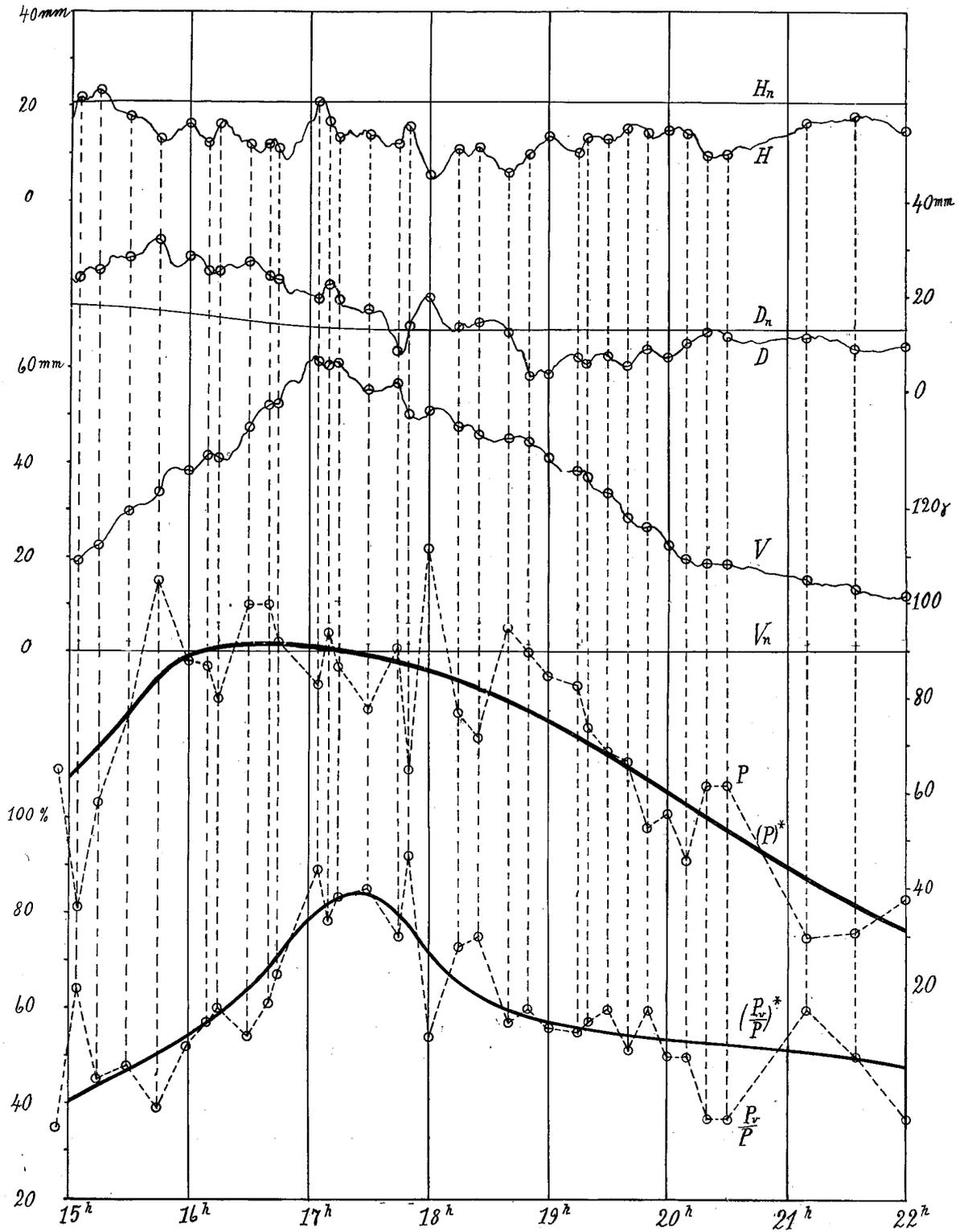


Fig. 1. Bestimmung der perturbierenden Kraft  $P$  und des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  (15<sup>h</sup>—22<sup>h</sup> am 17. April 1891).

magnetische Observatorium annähernd auf demselben Meridian wie Drontheim und Oslo liegt, und das gleichzeitige Auftreten von Nordlicht und erdmagnetischen Störungen deshalb untersucht werden konnte.

Die perturbierende Kraft ist eine hypothetische Kraft, die die vektorielle Differenz zwischen der registrierten, gestörten Feldstärke und der hypothetischen, ungestörten Feldstärke darstellt. Ist  $F$  die registrierte Feldstärke, wird

$$P = F - F_n,$$

wo  $F_n$  die hypothetische, ungestörte Feldstärke ist, wie sie aus den nächsten, völlig ungestörten Registrierungen geschätzt werden kann.

In ähnlicher Weise wird auch jeder der drei Komponenten der Feldstärke  $F$  ( $F_h = H$ ,  $F_d$  und  $F_v = V$ ) in einen ungestörten und einen perturbierenden Teil zerlegt:

$$\begin{aligned} H &= H_n + P_h && \text{(Die Horizontalkomponente)} \\ F_d &= F_{dn} + P_d && \text{(Die Declinationskomponente)} \\ V &= V_n + P_v && \text{(Die Vertikalkomponente),} \end{aligned}$$

und es gilt:

$$P^2 = P_h^2 + P_d^2 + P_v^2.$$

Die Komponenten  $P_h$ ,  $P_d$  und  $P_v$  werden unmittelbar aus den Registrierungen ermittelt.

Für jeden einzelnen Nordlichttag (12 Uhr Mittag bis 12 Uhr Mittag am folgenden Tag) wurde die perturbierende Kraft  $P$  für zahlreiche Extrempunkte der Registrierungen berechnet, wie es in Fig. 1 dargestellt ist. Die Kurve  $H$  stellt den registrierten Verlauf der Horizontalintensität dar, während  $D$  den Verlauf der Declination und  $V$  den Verlauf der Vertikalintensität zeigt. Die eingezeichneten kleinen Kreise geben die ausgemessenen Punkte der Registrierungen an. Die an den untersten Kurven  $P^*$  und  $\left(\frac{P_v}{P}\right)^*$  befindlichen Kreise geben die berechneten Werte der perturbierenden Kraft  $P$  und des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  an. Die Kurven  $P^*$  und  $\left(\frac{P_v}{P}\right)^*$  sind als Mittelwertkurven durch Schätzung eingezogen.

In Fig. 2 sind die kleinen Kreise die einzelnen, für den 6.—7. März 1892 berechneten numerischen Werte der Kraft  $P$ . Die eingezeichnete Mittelwertkurve soll den allgemeinen Verlauf der Grösse der Kraft  $P$  darstellen, ohne auf ihre Richtung Rücksicht zu nehmen.

Bei den späteren Untersuchungen wurden die Stundenwerte  $P^*$  dieser Mittelwertkurven benutzt. Die Nordlichttage wurden in mehrere Gruppen geteilt, und für jede Gruppe wurden Mittelwerte  $\bar{P}$  nach der folgenden Gleichung gebildet:

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} P^*_i,$$

wo  $N$  die Anzahl der benutzten Nordlichttage ist.

In den Abbildungen Fig. 3 bis Fig. 9 geben die Abscissen die Tageszeit, und die Ordinaten die entsprechenden Werte von  $\bar{P}$  an.

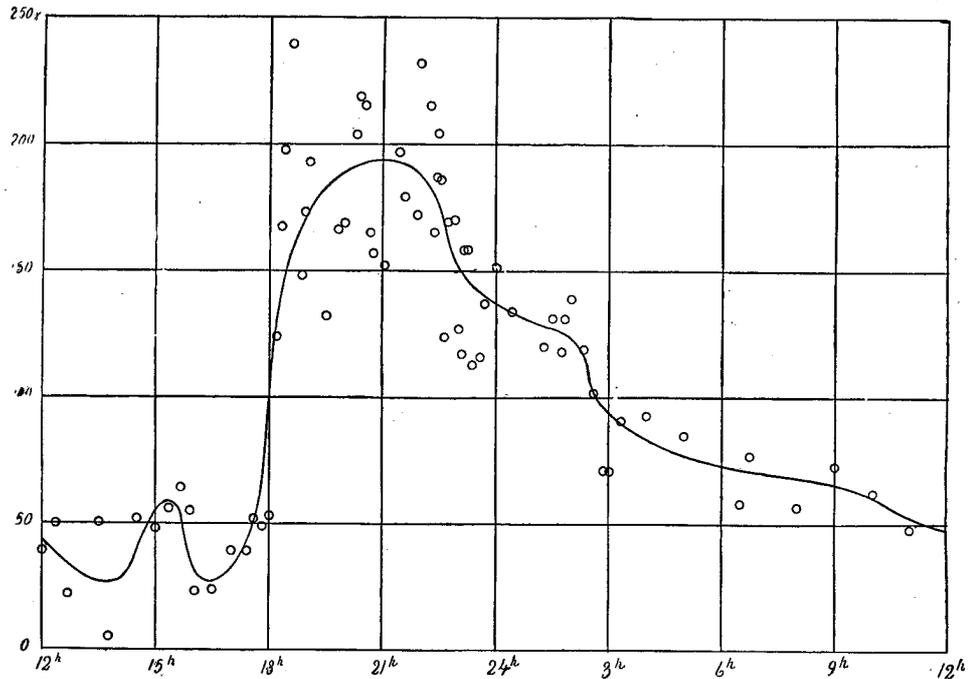


Fig. 2. Der allgemeine Verlauf der perturbierenden Kraft  $P$  am 6.—7. März 1892.

Die so erhaltenen Ergebnisse über den Verlauf der perturbierenden Kraft  $P$  sind als endgültig zu betrachten. Dabei wurde nur die Grösse der perturbierenden Kraft und nicht ihre Richtung berücksichtigt. Werden auch die Variationen der Richtung untersucht, erhält man Aufschlüsse über den Ursprung der perturbierenden Kraft. Von einer solchen Bearbeitung des vorliegenden Materials kann ich jetzt nur einige vorläufige Ergebnisse mitteilen.

Nur der durchschnittliche Verlauf der vertikalen Komponente  $P_v$  ist einigermaßen untersucht. Dabei wurde das Verhältnis  $\frac{P_v}{P}$  für jeden Einzelwert der Gesamtkraft  $P$  gebildet. Der allgemeine Verlauf des Verhältnisses wurde dann in derselben Weise ermittelt wie der in Fig. 2 dargestellte allgemeine Verlauf der Gesamtkraft  $P$ , und aus den so erhaltenen Stundenwerten  $\left(\frac{P_v}{P}\right)^*$  Mittelwerte  $\frac{\bar{P}_v}{\bar{P}}$  in derselben Weise wie  $\bar{P}$  gebildet.

Dieses Berechnungsverfahren wurde gewählt, um auf sämtliche der bei der Mittelwertbildung mitgerechneten Tage das gleiche Gewicht zu legen. Bei einfacher Mittelwertbildung der Einzelwerte  $P_v$  würden die grössten Einzelwerte auf die Mittelwerte eine ausschlaggebende Wirkung ausüben, so dass dadurch nicht der für sämtliche Nordlichttage charakteristische Verlauf der vertikalen Komponente dargestellt werden könnte. Nur bei Bildung des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  war es möglich Ergebnisse zu erhalten, die den durchschnittlichen Verlauf charakterisieren.

**Der Verlauf der perturbierenden Kraft.** In Fig. 3—4 sind die Nordlichttage nach dem Beobachtungsort gruppiert. Die Kurven  $A$  zeigen den durchschnittlichen Verlauf der perturbierenden Kraft bei Nordlicht in Drontheim (an 107 der ausgewählten Tage). Die Kurven  $B$  zeigen den Verlauf von  $\bar{P}$  an 28 Tagen, wenn das Nordlicht auch in

Oslo sichtbar war, und die Kurven *C* geben den Verlauf an 13 Tagen mit Nordlicht so südlich wie in den Niederlanden an.

In Fig. 3 sind die Mittelwerte durch einfache Summation der zu gleicher lokaler Zeit (M. E. Z.) für die verschiedenen Nordlichttage erhaltenen Stundenwerte  $P^*$  bestimmt. Sie zeigen ein scharffes Maximum um 21 Uhr. Die senkrechten Striche  $\alpha$  und  $\beta$  geben die von Angot bestimmten Zeiten der maximalen Nordlichthäufigkeit an, und zwar  $\alpha$  für Prag und  $\beta$  für Oxford. Da Oxford einen kleineren Abstand von der Nordlichtzone als Potsdam hat, und Prag einen grösseren, muss das Maximum der Nordlichthäufigkeit für Potsdam mit dem Maximum der perturbierenden Kraft zusammenfallen. Diese Coincidenz der Maxima illustriert die nahe Beziehung der perturbierenden Kraft zum Auftreten von Nordlicht in niedrigeren Breiten.

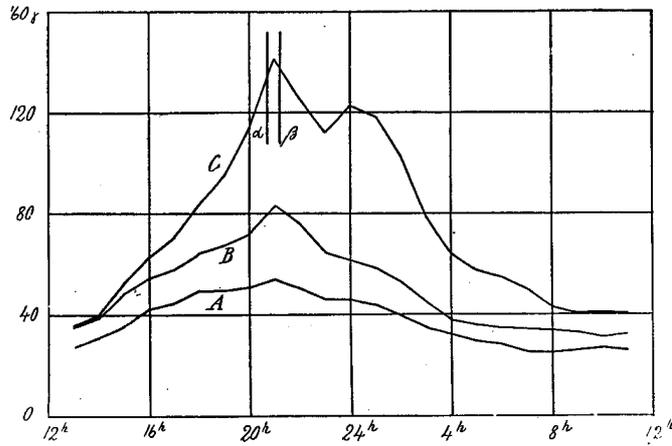


Fig. 3. Die Variation der perturbierenden Kraft  $\bar{P}$ .

- A bei Nordlicht in Drontheim ( $N = 107$ );
- B bei Nordl. in Oslo ( $N = 28$ );
- C bei Nordl. in den Niederlanden ( $N = 13$ ).

hat, und Prag einen grösseren, muss das Maximum der Nordlichthäufigkeit für Potsdam mit dem Maximum der perturbierenden Kraft zusammenfallen. Diese Coincidenz der Maxima illustriert die nahe Beziehung der perturbierenden Kraft zum Auftreten von Nordlicht in niedrigeren Breiten.

In Fig. 4 ist dann die Mittelwertbildung zum Auftreten des Nordlichts in Beziehung gesetzt. Hier sind die Mittelwerte nicht in derselben Weise wie früher ermittelt, sondern die Anfangszeit der Nordlichterscheinung ist an jedem Tag als Bezugszeit ( $0^h$ ) gewählt, und die Mittelwerte bei Summierung der gleich lange vor oder nach dieser Bezugszeit auftretenden Werte von  $P^*$  gebildet. Die Kurven erhalten dadurch einen veränderten Verlauf. Der in Fig. 3 erhaltene zackige Verlauf ist verschwunden, und der ebene Verlauf der Fig. 4 gibt die Vorzüglichkeit dieser Mittelwertbildung an, die folglich bei den folgenden Untersuchungen eine ausgedehnte Verwendung gefunden hat.

Auch die Gestaltung der Kurven an der Anfangszeit des Nordlichts zeigt eine interessante Tatsache. Erst wenn  $\bar{P}$  einen gewissen Minimumswert erreicht hat, wird das Nordlicht in niedrigeren Breiten sichtbar. Dieser Minimumswert nimmt mit dem Abstand des Beobachtungsorts von der Nordlichtzone beträchtlich zu. Wird diese Abhängigkeit der Erscheinung von Nordlicht in niedrigeren Breiten von der perturbierenden Kraft als eine Verschiebung der Nordlichtzone aus ihrer natürlichen Lage gedeutet, muss man

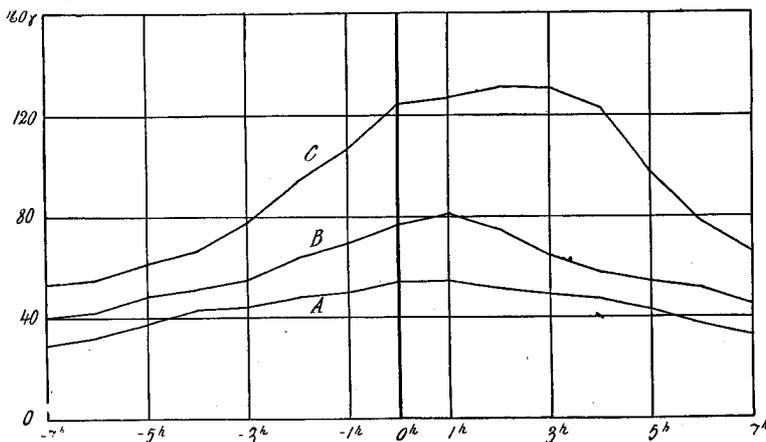


Fig. 4. Die Variation der perturbierenden Kraft  $\bar{P}$  in Bezug auf das Auftreten von Nordlicht.

- A bei Nordl. in Drontheim ( $N = 107$ ); B bei Nordl. in Oslo ( $N = 28$ );
- C bei Nordl. in den Niederlanden ( $N = 13$ ).

interessante Tatsache. Erst wenn  $\bar{P}$  einen gewissen Minimumswert erreicht hat, wird das Nordlicht in niedrigeren Breiten sichtbar. Dieser Minimumswert nimmt mit dem Abstand des Beobachtungsorts von der Nordlichtzone beträchtlich zu. Wird diese Abhängigkeit der Erscheinung von Nordlicht in niedrigeren Breiten von der perturbierenden Kraft als eine Verschiebung der Nordlichtzone aus ihrer natürlichen Lage gedeutet, muss man

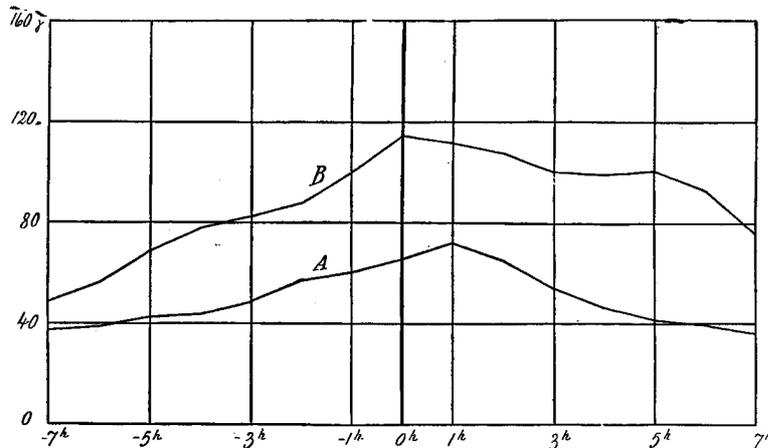


Fig. 5. Die Variation der perturbierenden Kraft  $\bar{P}$  bei Nordlicht in Oslo.  
 A bei Nordl. am N-Himmel ( $N = 22$ );  
 B bei Nordl. am S-Himmel ( $N = 6$ ).

sie auch mathematisch formulieren können. Ist  $\Delta \Theta$  die angulare Verschiebung der Nordlichtzone, wird

$$\Delta \Theta = f(\bar{P}).$$

Durch den Verlauf der in Fig. 4 erhaltenen Kurven kan diese Funktion nicht näher bestimmt werden, denn diese Kurven sind aus einem einseitig ausgewählten Nordlichtmaterial berechnet. Die Kurve A gibt jedenfalls

zu hohe Werte an, denn im benutzten Nordlichtmaterial sind ja wie früher erwähnt die Tage mit Kronenbildung und Nordlicht am südlichen Himmel in Drontheim verhältnismässig zu stark repräsentiert.

In Fig. 5 sind nur die 28 Tage mit in Oslo sichtbarem Nordlicht berücksichtigt. Die Kurve A zeigt den Verlauf von  $\bar{P}$  an 22 Tagen mit Nordlicht am nördlichen Himmel in Oslo und B den Verlauf an den übrigen 6 Tagen mit Nordlicht auch am südlichen Himmel.

Mit Hilfe der in Fig. 6 abgebildeten Kurven kann die Verschiebungsfunktion etwas näher bestimmt werden. Hier sind nämlich die Nordlichttage nach der sichtbaren Reichweite des in Drontheim beobachteten Nordlichts gruppiert, wodurch eine viel grössere Homogenität erhalten wird. Die Kurve A zeigt den Verlauf der perturbierenden Kraft  $\bar{P}$  für 51 Tage mit Nordlicht am nördlichen Himmel in Drontheim, die Kurve B den Verlauf bei Kronenbildung (41 Tage) ohne Licht weiter am südlichen Himmel, und die Kurve C den Verlauf für 15 Tage mit Licht am südlichen Himmel.

Die Kurve B ist aus einem besonders homogenen Nordlichtmaterial gebildet und gibt daher Anlass, verhältnismässig genaue Werte der durchschnittlichen Verschiebbarkeit

$$\frac{d\Theta}{d\bar{P}} = f(\bar{P})$$

der Nordlichterscheinungen im Bereiche  $\Theta_2 = 22^\circ$  bis  $\Theta_3 = 27^\circ$  zu berechnen. Wird der angulare Abstand Drontheims von der Nord-

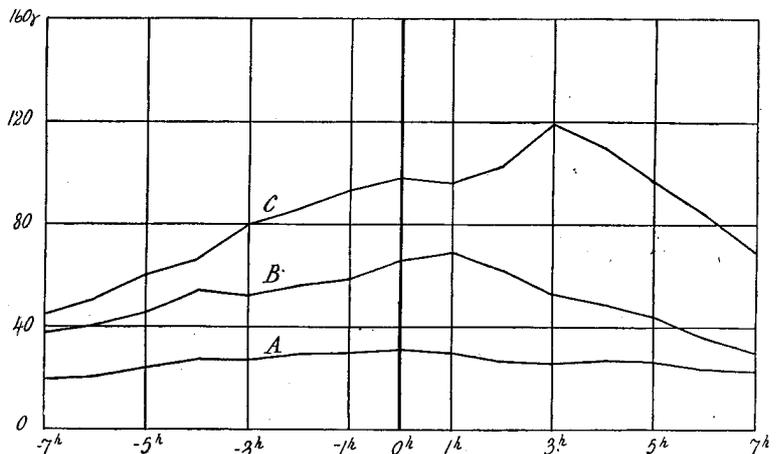


Fig. 6. Variation der perturbierenden Kraft  $\bar{P}$  bei Nordlicht in Drontheim.

A bei Nordl. am N-Himmel ( $N = 51$ );  
 B bei Kronenbildung ( $N = 41$ );  
 C bei Nordl. am S-Himmel ( $N = 15$ ).

lichtzone zu  $5,5^\circ$  geschätzt, ist also zu einer so grossen Verschiebung der Nordlichtzone eine so intense magnetische Störung erforderlich, dass die perturbierende Kraft auch in Potsdam durchschnittlich  $66 \gamma$  beträgt. Daraus erhält man eine Verschiebbarkeit von etwa  $5'$  pr.  $1 \gamma$ .

Diese Verschiebbarkeit ist nicht ohne weiteres mit der aus der Schätzung *Schmidts* erhaltenen vergleichbar. Das geht ja schon aus der zufälligen Lage des magnetischen Beobachtungsorts deutlich genug hervor.

Durch diese Untersuchungen muss die Abhängigkeit des Auftretens von Nordlicht

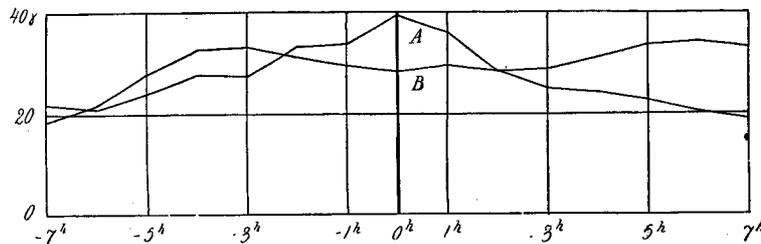


Fig. 8. Die Variation der perturbierenden Kraft  $\bar{P}$  bei strahlenförmigem Nordlicht am N-Himmel in *Drontheim*.  
 A in den Wintermonaten ( $N = 20$ );  
 B in den Frühlings- und Herbstmonaten ( $N = 19$ ).

in niedrigeren Breiten von der perturbierenden magnetischen Kraft als sicher gestellt betrachtet werden. Aber auch auf andere Fragen können wir durch dieses Verfahren wichtige Aufschlüsse erhalten.

In Fig. 7 sind die 51 Nordlichttage mit Nordlicht nur am nördlichen Himmel in *Drontheim* nach

der Form des Nordlichts gruppiert. Die Kurve A stellt den durchschnittlichen Verlauf der perturbierenden Kraft an 12 Tagen mit ausschliesslich diffus, bogenförmigem Nordlicht dar, und die Kurve B zeigt den Verlauf für 39 Tage mit strahlenförmigem Nordlicht. Der Unterschied ist zu gross, um einer zufälligen Häufung der Einzelwerte zugeschrieben zu werden.

In Fig. 8 und 9 sind die Nordlichttage nach der Jahreszeit gruppiert, die Kurven der Fig. 8 sind für strahlenförmiges Licht am nördlichen Himmel in *Drontheim* und die der Fig. 9 für Kronenbildung in *Drontheim* berechnet. Die Kurven A stellen den durchschnittlichen Verlauf der perturbierenden Kraft in den Wintermonaten dar, während die Kurven B ihn für die Frühlings- und Herbstmonaten angeben. Ein deutlicher Un-

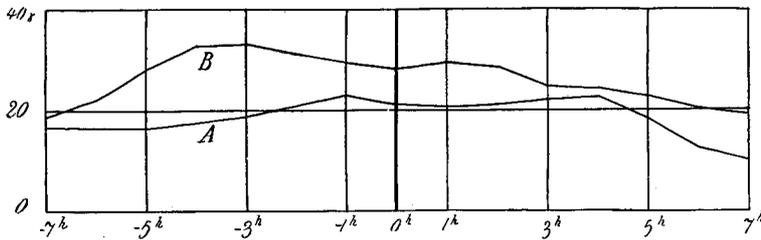


Fig. 7. Die Variation der perturbierenden Kraft  $\bar{P}$  bei Nordlicht am N-Himmel in *Drontheim*.  
 A bei diffusem Bogen ( $N = 12$ );  
 B bei strahlenförmigem Nordlichte ( $N = 39$ ).

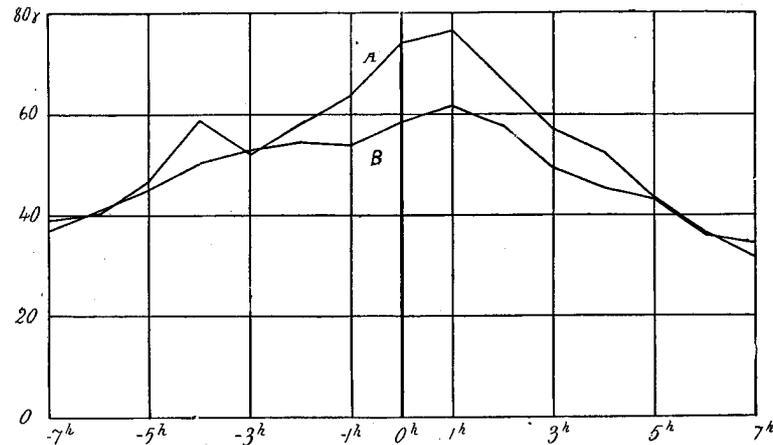


Fig. 9. Die Variation der perturbierenden Kraft  $\bar{P}$  bei Kronenbildung in *Drontheim*.  
 A in den Wintermonaten ( $N = 20$ );  
 B in den Frühlings- und Herbstmonaten ( $N = 21$ ).

terschied zwischen den Kurven ist hier erkennbar, der eine Abhängigkeit der zur Verschiebung des Nordlichts notwendigen perturbierenden Kraft von der Jahreszeit andeutet. Wenn dieser Unterschied reell und nicht etwa durch eine zufällige Häufung der Einzelwerte entstanden wäre, müsste er wohl von der Schiefheit der Rotationsachse bewirkt sein. Für eine nähere Untersuchung dieser Frage ist doch das hier zur Verfügung stehende Material zu spärlich.

Die Kurve *B* hat in Fig. 8 einen ungewöhnlichen Verlauf, denn das Maximum der perturbierenden Kraft geht der Anfangszeit des Nordlichts um etwa 3 Stunden vorans. Dieser Umstand erklärt sich wohl dadurch, dass besonders in den Frühlings- und Herbstmonaten die notierte Anfangszeit des Nordlichts vom zu starken Tageslicht verspätet sei. Der allgemeine Verlauf der perturbierenden Kraft am 6.—7. März 1892 (siehe Fig. 2) deutet ja auch auf eine solche Verspätung, denn das Nordlicht wurde zuerst um 19<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> in Drontheim beobachtet, aber es ist wahrscheinlich schon während mehrerer Stunden vor dieser Zeit erregt worden, wegen zu starken Tageslichts aber unsichtbar geblieben.

Die hier angeführten Ergebnisse über den Verlauf der perturbierenden Kraft sind nur als Durchschnittswerte gültig, und ihre Gültigkeit darf nicht auf die einzelnen Nordlichttage ausgedehnt werden. Darüber ist in einem vorläufigen Aufsätze<sup>1)</sup> angeführt: «Die Grösse der perturbierenden Kraft weicht an den einzelnen Tagen oft von diesen Durchschnittswerten beträchtlich ab, denn es ist zu vermuten, dass sie sowohl zur Höhe des Nordlichts am Himmel als auch zur Stärke des Nordlichts und zur Nordlichtform in Beziehung steht. Aber an keinem der 108 Nordlichttagen<sup>2)</sup> war das erdmagnetische Feld völlig ungestört. Der Minimumswert war für Nordlicht am nördlichen Himmel<sup>3)</sup> etwa 10  $\gamma$  (diffuser Bogen), für Kronenbildung etwa 25  $\gamma$  und für Nordlicht am südlichen Himmel etwa 35  $\gamma$ .»

**Der Verlauf des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$ .** Zuerst wurde der Verlauf bei Bezugnahme der lokalen Zeit (M. E. Z.) untersucht, und die Ergebnisse sind in Fig. 10 dargestellt, wo er von der Kurve *A* für 108 Nordlichttage in Drontheim, von der Kurve *B* für 29 Tage in Oslo und von der Kurve *C* für 14 Tage in den Niederlanden angegeben wird<sup>4)</sup>.

Charakteristisch für diese Kurven ist eine ausgesprochene tägliche Periode, die nur kosmischen Ursprungs sein kann. Deutlich erkennbar ist auch die Zunahme der Amplitude mit zunehmender Abweichung des Nordlichts von der Nordlichtzone. Doch rührt wohl diese Übereinstimmung von einer gleichzeitigen Abhängigkeit beider dieser Erscheinungen von der Störungsintensität her. Besonders zu beachten ist der regelmässige Verlauf an der Maximumsstelle, während die Kurven an der Minimumsstelle viel unregelmässiger verlaufen. Dieser Unterschied ist wohl zum Teil der an den einzelnen Werten

1) A. Røstad, Über Nordlichterscheinungen in niedrigeren Breiten. Gerlands Beitr. z. Geophysik. Bd. XVI, Heft 4, 1927.

2) Hier nur 107.

3) Drontheim.

4) Die Anzahl *N* der Nordlichttage ist hier zu 108, 29 und 14, bei der Bildung von *P* aber zu resp. 107, 28 und 13 angegeben. Dieser Unterschied rührt von mangelhafter Registrierung der Vertikalintensität am 13. Febr. 1892 her. Während mehrerer Stunden ging die Registrierung weit über den Papierrand hinaus, weshalb nur untere Grenzwerte für  $P_v$  berechnet werden konnten. Diese Grenzwerte betragen aber durchschnittlich etwa 90 % der Gesamtkraft *P*, und die für  $\frac{P_v}{P}$  interpolierten Werte sollten darum höchstens 4—5 % von den wirklichen Werten abweichen.

von  $\frac{P_v}{P}$  haftenden Unsicherheit zuzuschreiben, die besonders für kleine Werte der Vertikalkomponente stark anschwillt. Zum Teil aber rührt er von tiefgreifenden Besonderheiten der Vertikalintensität her, die eine Aufstellung von drei Haupttypen des täglichen Verlaufs ermöglichen.

Um diese Eigentümlichkeiten näher zu untersuchen habe ich den Verlauf der Grösse  $\frac{P_v}{P}$  an der Maximum- und an der Minimumstelle besonders ermittelt, und die Ergebnisse in Fig. 11—13 dargestellt. Der Verlauf ist an jeder Stelle für 8 Stunden berechnet, und die Gruppierung zu der in diesen Zeitintervallen herrschenden Grösse der perturbierenden Kraft in Beziehung gestellt. Als Beziehungsgrösse wurde die in diesen Zeitintervallen auftretenden Maximumwerte von  $P^*$  gewählt, die für die Maximumstelle der Grösse  $\frac{P_v}{P}$  mit  $P^*_{\max 1}$  und für die Minimumstelle mit  $P^*_{\max 2}$  bezeichnet sind.

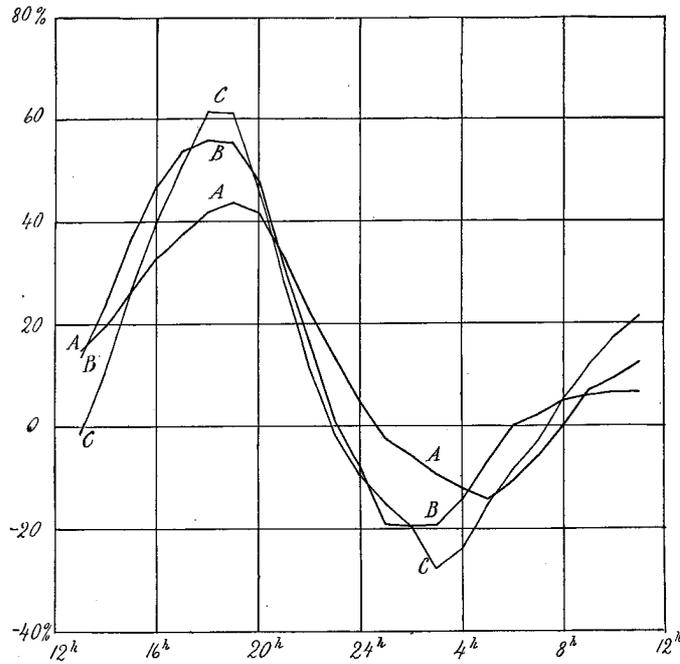


Fig. 10. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$ . A bei Nordl. in Dronthim ( $N = 108$ ); B bei Nordl. in Oslo ( $N = 29$ ); C bei Nordl. in den Niederlanden ( $N = 14$ ).

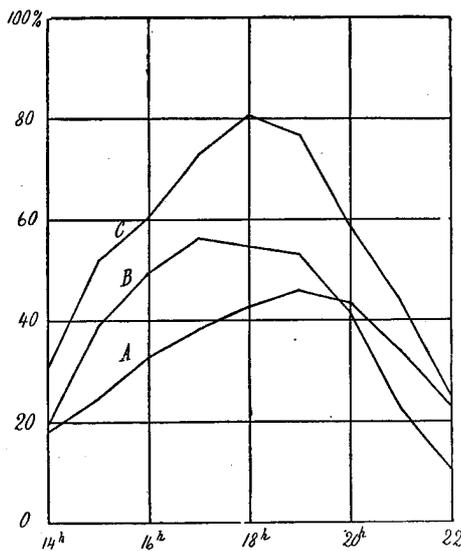


Fig. 11. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  an der Maximumstelle.

A bei  $P^*_{\max 1} < 100 \gamma$  ( $N = 86$ );  
 B bei  $100 \gamma < P^*_{\max 1} < 200 \gamma$  ( $N = 19$ );  
 C bei  $P^*_{\max 1} > 200 \gamma$  ( $N = 4$ ).

In Fig. 11 wird der Verlauf von der Kurve A für 86 Tage mit  $P^*_{\max 1} < 100 \gamma$ , von der Kurve B für 19 Tage mit  $100 \gamma < P^*_{\max 1} < 200 \gamma$  und von der Kurve C für 4 Tage mit  $P^*_{\max 1} > 200 \gamma$  dargestellt. Die starke Zunahme mit der Grösse der perturbierenden Kraft ist hier besonders deutlich, und eine Verschiebung des Maximalpunktes von  $19^h$  bis um etwa  $18^h$  ist zu vermuten.

In Fig. 12 ist der durchschnittliche Verlauf an der Minimumstelle dargestellt, und zwar von der Kurve A für 80 Tage mit  $P_{\max 2} < 60 \gamma$ , von der Kurve B für 22 Tage mit  $60 \gamma < P_{\max 2} < 130 \gamma$  und von der Kurve C für 7 Tage mit  $P_{\max 2} < 130 \gamma$ . Der charakteristische Zug ist hier die starke Austiefung des Minimums mit zunehmender Grösse der perturbierenden Kraft. Auch eine Verschiebung des Minimumpunktes gegen die Nachtseite der Erde ist gut erkennbar.

In Fig. 13 hat wohl diese Austiefung und Verschiebung des Minimum mit zunehmender

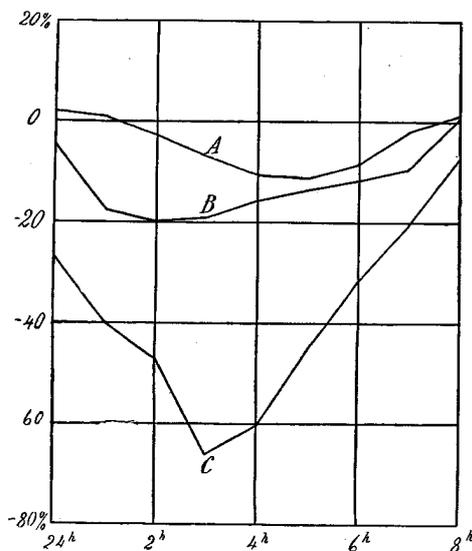


Fig. 12. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{\bar{P}_v}{\bar{P}}$  an der Minimumstelle.

- A bei  $P^*_{\max_2} < 60 \gamma$  ( $N = 80$ );  
 B bei  $60 \gamma < P^*_{\max_2} < 130 \gamma$  ( $N = 22$ );  
 C bei  $P^*_{\max_2} > 130 \gamma$  ( $N = 7$ ).

stischen Verlauf sind in Fig. 15—16 zwei Beispiele gegeben. Der wesentlich abweichende Verlauf ist in Fig. 17 dargestellt. Die tägliche Periode ist verschwunden, und die Vertikalkomponente hat durchgängig nur positive Werte. Den beiden Typen gemein ist die positive Vertikalkomponente an der Abendseite der Erde, die dem Nordlicht mindestens teilweise vorausgeht.

Nur an 6 von diesen 108 Nordlichttagen fehlt die positive Abendkomponente. An sämtlichen diesen 6 Tagen war die perturbierende Kraft durchgängig sehr schwach und die Unsicherheit der einzelnen  $\frac{P_v}{P}$ -werte darum ungewöhnlich gross. Das Nordlicht wurde nur am nördlichen Himmel in Drontheim beobachtet, dreimal als diffuser Bogen und dreimal als strahlenförmiger Bogen. Im Verlauf des Verhältnisses  $\left(\frac{P_v}{P}\right)^*$  war

am meisten eine tägliche Periode deutlich erkennbar mit dem gewöhnlichen Abendmaximum, das jedoch nicht positive Werte erreichte. Nur an einem Tage (mit diffusen Bogen) war die Vertikalkomponente ungestört gleich 0 am Anfang des Nordlichts. Der Verlauf an diesem Tage ist in Fig. 18 dargestellt.

Die drei Haupttypen, die in Fig. 15—18 dargestellt sind, sind meistens nicht rein ausgebildet. Bei den Berechnungen wurden Kurven mit allerlei Übergangsformen erhalten. Die umgekehrte, tägliche Periode mit negativen Werten des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  an der Abendseite und positiven an der Morgenseite ist nie beobachtet.

Grösse der perturbierenden Kraft ihre einfachste Darstellung erhalten, wo die Kurven *a* und *b* den Verlauf für resp.  $P^*_{\max_2} < 60 \gamma$  und  $P^*_{\max_2} > 60 \gamma$  darstellen.

Auch im Verlauf des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen diffusem und strahlenförmigem Nordlicht. In Fig. 14 stellt die Kurve *A* den durchschnittlichen Verlauf für die 12 Tage mit diffusen Bogen und die Kurve *B* den durchschnittlichen Verlauf für 39 Tage mit strahlenförmigem Nordlicht (alles in Drontheim) dar. Der charakteristische Unterschied ist hier die durchgängig höheren Werte der Kurve *B*, die die entsprechenden Werte der Kurve *A* mit 5—20 % übertreffen.

Der Verlauf des Verhältnisses  $\left(\frac{P_v}{P}\right)^*$  an den einzelnen Nordlichttagen weicht oft von diesen Durchschnittskurven beträchtlich ab. Besonders an der Morgenseite bildet sich oft ein wesentlich anderer Verlauf. Für den charakteristischen Verlauf sind in Fig. 15—16 zwei Beispiele gegeben.

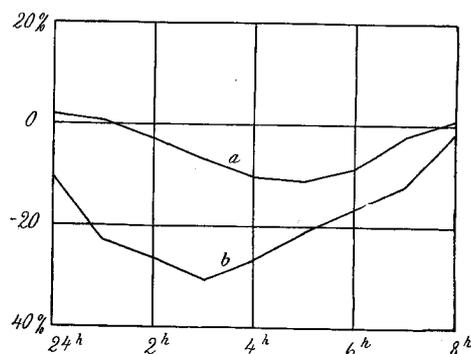


Fig. 13. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{\bar{P}_v}{\bar{P}}$  an der Minimumstelle. *a* bei  $P^*_{\max_2} < 60 \gamma$  ( $N = 80$ ); *b* bei  $P^*_{\max_2} > 60 \gamma$  ( $N = 29$ ).

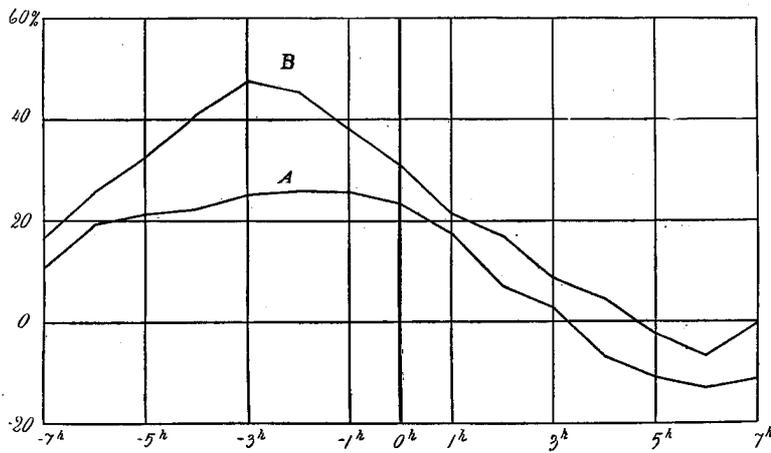


Fig. 14. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{\bar{P}_v}{P}$  bei Nordlicht am nördlichen Himmel in Drontheim. A bei diffusen Bogen ( $N = 12$ ); B bei strahlenförmigem Nordlicht ( $N = 39$ ).

Das hier benutzte Materiel ist zu gering, um Einzelergebnisse mit genügender Genauigkeit zu erhalten. Und so lange die perturbierende Kraft nur für einen einzigen magnetischen Beobachtungsort berechnet ist, können keine Schlüsse über die Gestalt des gesammten perturbierenden Erdfeldes gezogen werden.

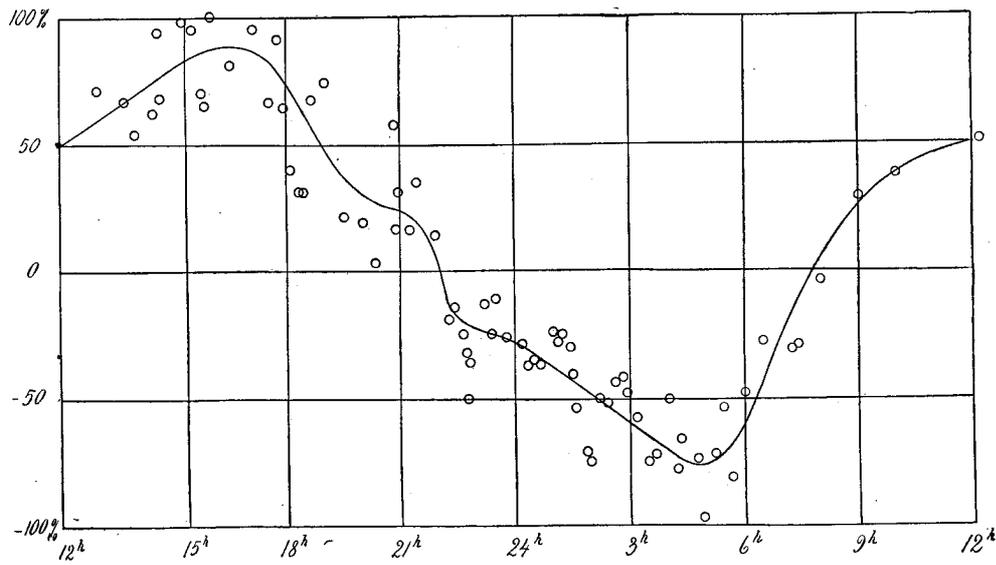


Fig. 15. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  am 23.—24. Februar 1894.

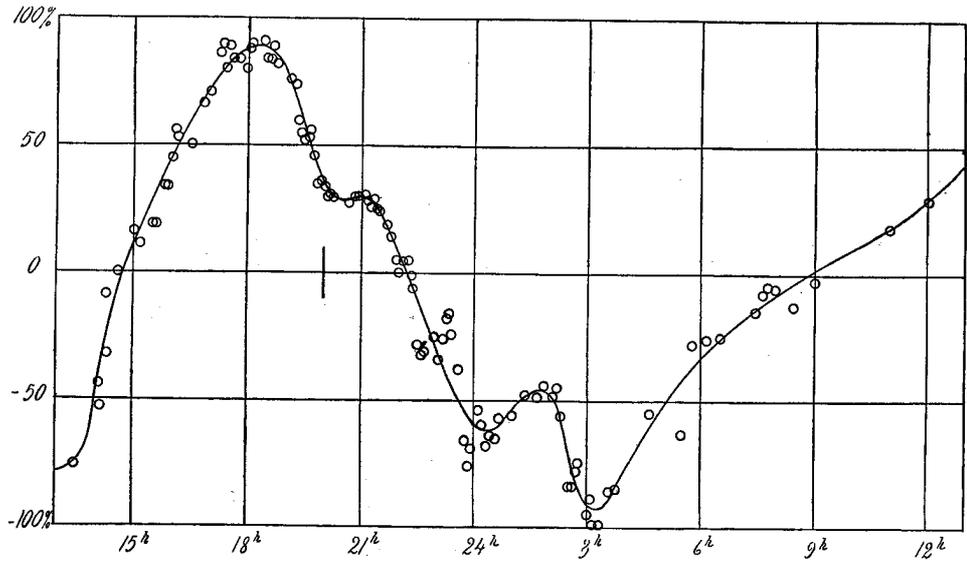


Fig. 16. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  am 15.—16. März 1898.

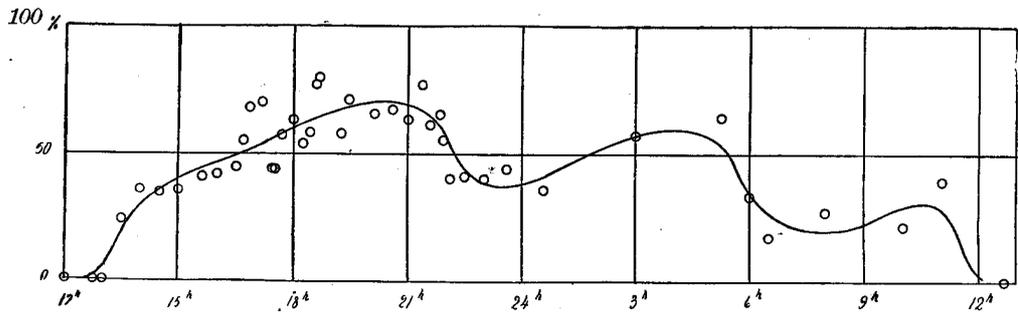


Fig. 17. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  am 2.—3. Februar 1895.

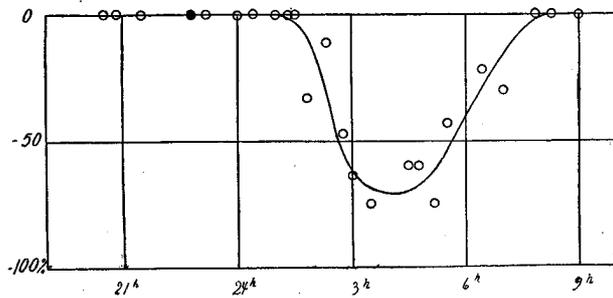


Fig. 18. Die Variation des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  am 23.—24. März 1900.

### Zusammenfassung.

1. Nordlichter, die in Drontheim, in Drontheim und Oslo oder in den Niederlanden beobachtet werden, treten immer gleichzeitig mit magnetischen Störungen auf, die zum Teil dem Nordlichte vorausgehen, und die sich auch in mittleren Breiten (Potsdam) sehr deutlich nachweisen lassen.

2. In Potsdam trifft das Maximum der Nordlichthäufigkeit und das Maximum der durchschnittlichen perturbierenden Kraft zu gleicher Zeit ein.

3. Die Ausbreitung der Nordlichterscheinungen über die normale Nordlichtzone hinaus wächst in ausgesprochener Weise mit der in Potsdam gemessenen Intensität der magnetischen Störung.

4. Den Nordlichtern mit Kronenbildung in Drontheim (ohne Lichterscheinungen am südlichen Himmel) entspricht eine grössere perturbierende Kraft in den Wintermonaten als in den Frühlings- und Herbstmonaten.

5. An den meisten Nordlichttagen hat der durchschnittliche Verlauf des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  eine ausgesprochene tägliche Periode mit seinen durchschnittlichen Extremwerten um 18—19<sup>h</sup> (Maximum) und 3—5<sup>h</sup> (Minimum). An einigen Tagen war die tägliche Periode verschwunden und die vertikale Komponente durchgängig positiv.

6. Strahlenförmigen Nordlichtern in einer gegebenen Entfernung von der normalen Nordlichtzone entspricht eine viel grössere perturbierende Kraft als diffusen Nordlichtern. Entsprechende Verschiedenheit ist auch im Verlauf des Verhältnisses  $\frac{P_v}{P}$  vorhanden.