Das Polarlicht, ein asteritisches Phänomen

Von Wilhelm Maier in Bernau (Obb.)

(Mit 25 Abbildungen)

Inhalt: Einleitung. — I. Verbreitung der Polarlichter. — II. Periodizität (der Polarlichter. — III. Erscheinungsformen der Polarlichter. — a) Polarlichtdunst — b) Diffuser, homogener Polarlichtbogen. — c) Polarlichtbogen mit Strahlenkranz. — d) Polarlichtbogen mit Strahlscheiben. — e) Haubenpolarlichter. — f) Homogene Bänder. — g) Gestreifte Bänder. — h) Draperien. — i) Polarlichteinzelstrahlen. — k) Polarlichtwellen. — 1) Pseudopolarlichter. — IV. Uebergänge der Polarlichtformen. — V. Höhe der Polarlichter. — VI. Intensität, Farbe und Spektrum der Polarlichter. — VII. Die Atmosphäre. — VIII. Polarlichtgeräusche. — IX. Polarlicht, Erdelektrizität und Kathodenstrahlung. — X. Aeltere Theorien über das Polarlicht. — XI. Neue Theorie. — a) Asteriten als Lichtträger und ihre Entstehung. — b) Paramagnetische Orientierung der Asteriten. — c) Asteriten und Jonosphärenschichtung. — d) Asteriten und Kathodenstrahlung. — e) Periodizität der Polarlichter. — f) Asteriten und Polarlichtformen. — Zusammenfassung. — Angeführte Schriften.

Einleitung

Der Verfasser beschäftigte sich längere Zeit mit Untersuchungen über den Asterismus (siehe Schrifttumsverzeichnis) und glaubte, aus gewissen Erscheinungsformen des Polarlichts, so der Abb. 10 schließen zu können, daß sich derselbe auch beim Polarlicht geltend mache, doch bestätigte sich dies nicht, wenigstens nicht in dem Sinne, wie sich sonst Asteriten auswirken, jene kleinen, langgestreckten Einschlüsse asteritischer Mineralien. Da er jedoch im Verlaufe der Nachforschungen, soweit dies nach dem Krieg die Zeitläuften gestatteten, zu der Überzeugung kam, daß die gegenwärtig herrschende Theorie von *Strömer* nicht haltbar ist und sich eine andere einstellte, welche den verschiedenen Phänomenen des Polarlichts in weitaus höherem Maße gerecht wird, soll diese bekannt gemacht werden, doch zunächst soll in zusammengedrängter Form eine Übersicht des bereits Erforschten, das vielfältig im Schrifttum verstreut und insbesondere nur spärlich zeichnerisch dargestellt ist, wiedergegeben werden.

I. Verbreitung und Richtung der Polarlichter

Um den magnetischen Nordpol (69° 18’ n. Br., 96° 27’ w. L.) und den magnetischen Südpol (72° 25’ s. Br., 154° ö. L.) treten Polarlichter auf, deren Wahrnehmung gegen den Gleicher zu immer spärlicher wird, doch wurde das große Nordlicht vom Jahre 1859 fast bis zum Äquator hin beobachtet und den Bewohnern der alten Incastadt Guzko (12 ½ s. Br.) war das Südlicht nicht unbekannt. Außerdem kennt man Berichte von Polarlichtern aus Cuba (20° n. Br.), als auch von Mauritius unter derselben Breite, so daß, wie *Arrhenius* sich ausdrückt, die Erde zuweilen in einen ganzen Lichtmantel eingehüllt zu sein scheint. Aus dem Jahre 1881 stammt eine Karte von *Fritz* über Linien gleicher Häufigkeit des Nordlichts (Isochasmen), die bis zur Gegenwart wegen des Polarlichtgürtels, des Gürtels zahlreichster Polarlichter, eine bedeutende Rolle für die Theorien des Polarlichts selbst gespielt hat und spielt, obgleich diese Karte zweifelsohne veraltet ist.

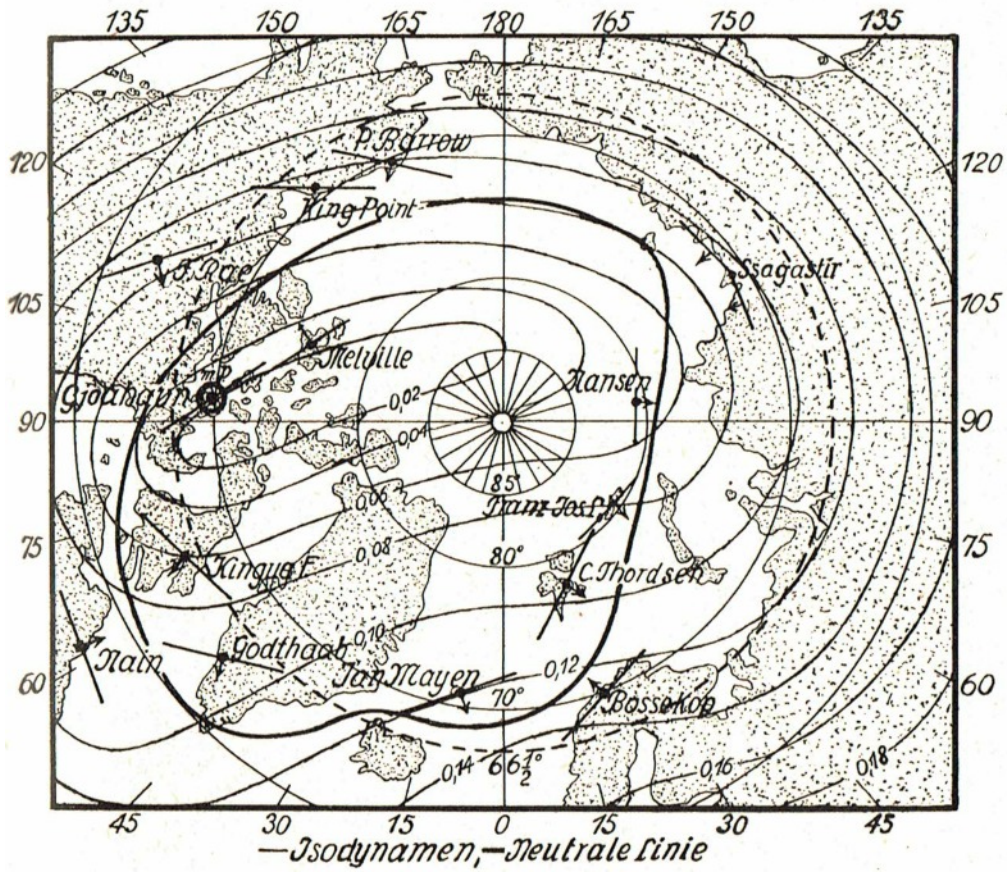


Abbildung 1
Nordpolare Kalotte mit Isodynamen, neutraler Linie und Nordlichtstationeil (Lage und Richtung der Polarlichter).

Dieser Gürtel maximaler Häufigkeit mit etwa 100 Polarlichtern im Jahr, verläuft ungefähr 5° südlich der in Abb. 1 angegebenen Trennungslinie (neutrale Linie), der nördlich bzw. südlich wahrzunehmenden Polarlichter parallel. Nach dem Bericht von *Nansen* ist jener Gürtel aber bedeutend enger zu ziehen und vielleicht besteht

er überhaupt nicht, denn *Mc. Clure* teilt vom Winterlager in der Prince of Walesstraße (73° n. Br., 120° w. L.) mit*, daß jede Nacht Nordlicht herrschte und ähnlich *Payer* vom Franz- Josephsland. *Papanin* allerdings nahm auf seiner Treibfahrt vom Nordpol bis zur ostgrönländischen Küste Polarlichter überhaupt nur spärlich wahr. In dem Maße, als die Polarlichter polwärs an Zahl zunehmen, wird ihre azimutale Lage schwankend, was aus der Abb. 1 ersichtlich ist, der eine diesbezügliche Karte von *Harang* zugrunde liegt. Die durch die Stationen gehenden Striche bezeichnen die durchschnittliche Richtung homogener Polarlichtbogen und die Pfeile die Richtungen, in denen sie gesichtet wurden. Die am weitesten äquatorwärts auftretenden Polarlichter, welche wegen ihrer weiten Sichtbarkeit als allgemeine bezeichnet werden, liegen stets senkrecht zum magnetischen Meridian. Die zeitliche Übereinstimmung arktischer und antarktischer Polarlichter, als auch der hiezu parallel verlaufenden magnetischen Störungen ist erwiesen. Für die Nordhalbkugel wurde festgestellt, daß von 100 Nordlichtern in Finnland, und Finnland hat 55 % Nordlichttage überhaupt, 72% gleich - tägig in Europa und Amerika, aber zu verschiedenen Stunden auftreten. Was die Zeitdauer der Polarlichter betrifft, schwankt diese von Minuten bis zur Dauer mehrerer Tage, so eines vom 28. August bis 7. September.

II. Periodizität der Polarlichter

Die längste Periode gesteigerter Häufigkeit der Polarlichter ist die elfjährige, zusammenfallend mit dem Auftreten einer großen Zahl von Sonnenflecken. Im Verlauf eines Jahres zeigen sich Polarlichter auf der Nord- und Südhalbkugel zweimal maximal zu den Äquinoktialzeiten, koordiniert zu den jährlichen Variationen der Deklinationsnadel. Im Verlauf eines Tages erscheinen in mittleren Breiten die Nordlichter bald nach der Abenddämmerung, allerdings kaum jemals um Mitternacht und sind vor der Morgendämmerung wiederum häufiger. In zirkumpolaren Gegenden stellt sich während der ewigen Nacht das Minimum um 11 Uhr vormittags ein.

III. Erscheinungsformen der Polarlichter

Gemäß der internationalen Vereinbarung zu Prag (1927) zwischen den Polarlichtforschern wurde eine Nomenklatur für die **wechselnden** Formen der Polarlichter selbst geschaffen, aber dieselbe dürfte kaum als endgültig zu erachten sein. Der von der Kommission herausgegebene Atlas mit seinen photographierten Beispielen für die Nomenklatur bringt das Typische der Polarlichter. viel weniger als Skizzen zum Ausdruck, was teils in der Schwierigkeit des Photographierens dieser lichtschwachen Naturphänomene, teils in den kleinen Bildwinkeln der benützten Kameras, etwa 40° auf 40° umfassend, begründet ist. Was bei den meisten Beobachtungsangaben über die Polarlichter am bedenklichsten ist, sind aber die mangelnden Zeitdaten, welche sogar im erwähnten „Photographie Atlas of Auroral Forms“ fehlen.

a) Polarlichtdunst. Derselbe stellt die unscheinbarste, aber gleichwohl häufigste Erscheinungsform des Polarlichts dar und bereitet bis jetzt für seine ursächliche Erklärung dieser oder jener Theorie bedeutende Schwierigkeiten. Der Polarlichtdunst kann sich sowohl am Horizont und auch über große Flächen des Firmaments ausgebreitet, als diffuses Licht bemerkbar machen. Solche gewissermaßen durchsichtig leuchtende Wolken und Nebel können von dunklen Partien durchbrochen sein. *Murray* schreibt: „Ein Südlichtnebel tritt nur bei einer Bewölkung des Himmels auf und zwar auf den Oberflächen und an den Rändern der Wolken. Er zieht in Richtung des Windes.“ Ein andermal berichtet *Nansen:* „Leichte Nebel oder Streifen sind sichtbar und der Himmel scheint ständig mit einem leuchtenden Schleier bedeckt zu sein, indem sich da und dort dunkle Löcher befinden. Dieser leuchtende Schleier, der sich in der Winternacht stets über den Himmel ausbreitet, war im Zenit weniger zu sehen, wurde aber in der Nähe des Horizontes immer deutlicher, wenn er auch nie ganz zu ihm herabreichte. In der Tat endet er im Norden und Süden meist in einem niedrigen, schwach angedeuteten Bogen, über einer Art dunklen Segments. Die Leuchtstärke des Nebels war so groß, daß ich durch denselben niemals mit Bestimmtheit die Milchstraße habe unterscheiden können; dies unter 81° n. Br. und 129° ö. L.“ Gleichartiges wird von der schwedischen Expedition 1882 bis 1883 gemeldet. *Mawson* schreibt: „An ruhigen, kalten Abenden wurde die Roßinsel in einen blaß leuchtenden Dunst gehüllt und dieser schien irgendeinen Zusammenhang mit dem nebligen Südlicht zu haben. Tatsächlich wurde im frühesten Winter gelegentlich ein nebliges Südlicht, zwischen uns und den Abhängen des Erebus herabkommend, gesehen, das nur ungefähr 1500—1800 m über uns zu liegen schien.“ Der Polarlichtdunst kann die Entwicklung zu anderen Polarlichtformen einleiten aber auch abschließend er kann bis zum Boden herabreichen und vor Fels- und Bergwänden stehen. Spektroskopisch ist ihm die grüne Polarlichtlinie eigen. *F. Cook* berichtete von Annoatok in Grönland (78 1/2° n. Br., 72 **I/2° w.** L.), daß zu Beginn der Winternacht die trübe diesige Luft von einem fremdartigen phosphoreszierenden Grün gefärbt war. Der Polarlichtdunst liegt oft außerhalb des magnetischen Meridians.

b) Diffuser (homogener) Polarlichtbogen. Diese Bögen von milchig weißer Farbe, werden in der Arktis und Antarktis im wesentlichen nur innerhalb der Polarkreise beobachtet. Sie erscheinen einzeln am Firmament, aber auch zu mehreren übereinander, wie dies die Abb. 2 zeigt,

jedoch nicht rein konzentrisch, denn ihre gegenseitigen Abstände am Horizont sind stets kleiner als die ihrer Scheitel. Dies spricht dafür, daß die Scheitel dem Beobachter näher sind als die Enden und die Ebenen der Bögen den Beobachter gewissermaßen überdachen.

Die Ebenen solcher konzentrischer Bögen sind parallel, deren Radien abnehmend und der größte der älteste und der nächste. Entgegengesetzt verhält es sich offenbar,

wenn die Ebenen der Polarlichtbogen den Beobachter unterfahren. Der erste Fall

Abbildung 2
Diffuse Polarlichtbögen a, b, c, d, diffuse Bänder e, f. Vega-Expedition, Behringstraße, 1879.

scheint für Punkte südlich, der zweite für Punkte nördlich der neutralen Linie zu gelten.

Vielfach sind die Bögen ziemlich flach und manchmal sind sie auch nur stückweise ausgebildet (b). Derartige seitliche Stummel wie (e) und (f) der Abb. 2 dürften als Teilstücke eines weiteren Bogens aufzufassen sein. Charakteristisch ist ferner, daß die Bögen unten schärfer als nach oben abgesetzt sind. Einen Übergang zu den Bögen mit Strahlenkranz bilden diffuse Bögen, über und aus denen sich einige wenige radiale Strahlen erheben, entsprechend der Abb. 3. Besonders interessant sind diffuse Bögen, die nach einer Seite übergekippt erscheinen, wie dies die Abb. 4 darstellt. *Arctowsky,* Mitglied der Belgica-Expedition in der Antarktis skizzierte (Abb. **5)** einen ähnlichen überkippten Bogen, **(a)** mit einem dazu konzentrischen (b) nebst inneren Strahlenbüscheln (c). Höchst beachtenswert ist, daß die beiden Polarlichtbögen der Abb. 4 und 5 der Arktis und Antarktis zugehörig, jeweils unter dem Polarkreis und auf gleicher Länge beobachtet, die Überkippung nach entgegengesetzten Seiten zeigen. Am Kinguafiord liegt der magnetische Pol links vom Meridian, im Palmerarchipel rechts davon; Blickrichtung jeweils gegen das Polarlicht. Die diffusen Polarlichtbögen können sich langsam, etwa innerhalb 20—30 Minuten, dem Zenit nähern. Magnetische Störungen gehen mit ihrem Erscheinen nicht parallel. Über das Aufwärts - steigen berichtet *Murray* (24. Mai 1908, Roßbucht, Antarktis): „Ein gleichförmiger Bogen erschien in der Richtung NW—SE ungefähr 30° über dem südwestlichen Horizont. Der Bogen bewegte sich nach NE, bis er. den Zenit erreichte und stieg 20° über diesen hinaus. In dieser Lage ruhte ein Ende auf dem Mt. Erebus, dann hörte die Wanderung auf und der Bogen verblaßte. Die Bewegung war langsam und von Unterbrechungen begleitet."

Ähnliches berichtet *Payer* (Franz-Josephsland), doch folgten hier dem

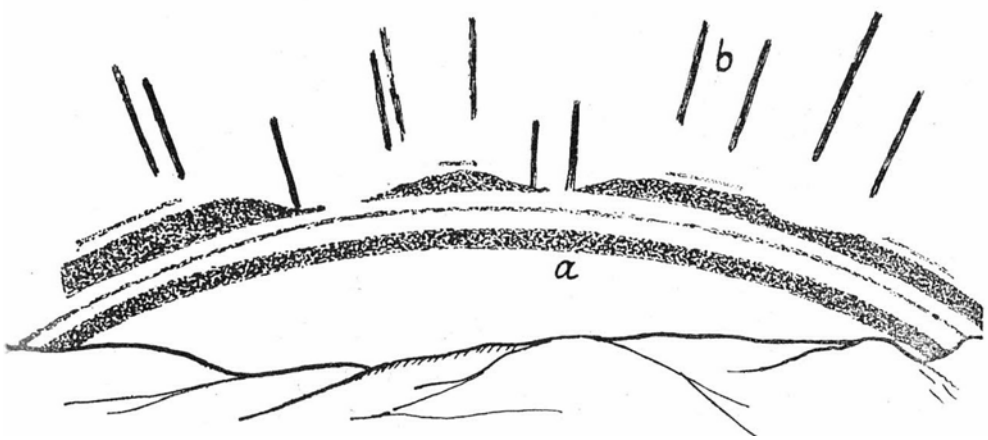


Abbildung 3
Diffuser Polarlichtbogen a mit Einzelstrahlen b; Beob. Capron, Hebriden, 1874.

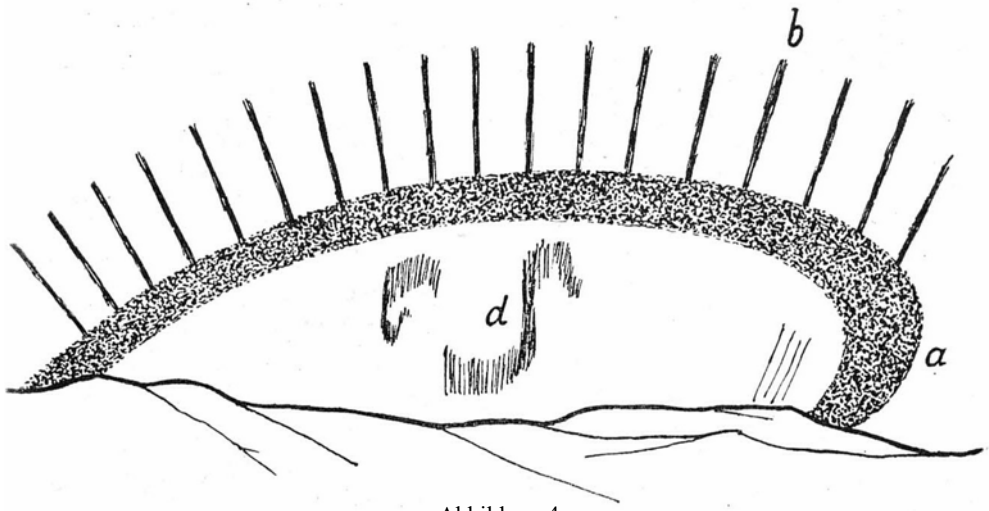


Abbildung 4
Gekippter Polarlichtbogen a, mit Strahlen b und Draperie d: Kinguafjord, nördliches Baffinstand.

vorangehenden Bogen vom Segment aus noch 6 weitere, die in Richtung des magnetischen Pols wanderten, während das Polarlicht im Süden entstand.

Das Azimut der diffusen Polarlichtbögen ist im allgemeinen senkrecht zum magnetischen Meridian, aber je näher sie dem magnetischen Pol auftreten, um so schwankender ist das Azimut, das aber offenbar für die Dauer der Erscheinung beibehalten wird. Für Korsnes (68° 22’ n. Br.), auf den Lofoten gelegen, werden von dem „Photographie Atlas of Auroral Forms" als Azimute angegeben 67°, 99°, 113°, 191°, 221°, 239°, 310°, also recht verschiedene Werte, trotzdem Korsnes

noch außerhalb des Polarkreises und noch mehr außerhalb des fragwürdigen maximalen Polarlichtgürtels liegt. Bemerkenswert ist die Mitteilung von *Mawson* aus der Antarktis (Winterlager der Shakletonexpedition in der Roßbay), daß das Südlicht nur selten in Richtung des magnetischen Pols zu sehen war, gewöhnlich trat es im Norden durch Ost nach Süd auf. Diese Bemerkung gilt wohl weniger für

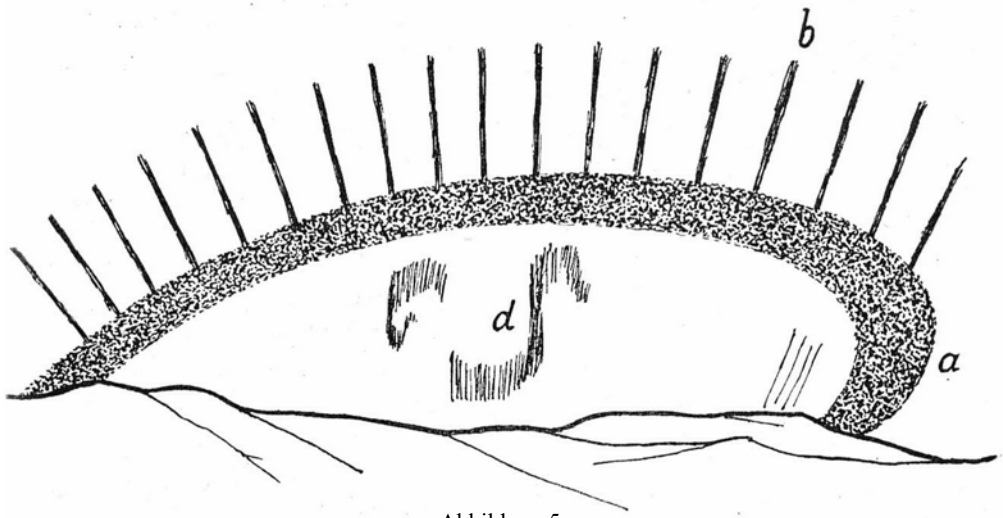


Abbildung 5
Gekippte diffuse Polarlichtbogen a, b, Einzelstrahlen c und Draperie d: Belgica-Expedition (südl. Polarkreis, 60° w. L.)

diffuse Bögen, als für Südlichtüberhaupt, das hier ein Nordlicht war, weil sich der Beobachter innerhalb der neutralen Linie befand.

c) Polarlichtbogen mit Strahlenkranz. Diese glänzendste Erscheinungsform des Polarlichts ist durch alle Übergänge mit dem diffusen ruhigen Bogen, dessen Breite bis 3° betragen kann, unter Entwicklung einer immer größeren Anzahl und immer höher steigender, radialer, buntfarbiger Strahlen verbunden, bis zu dem Grade, daß über einem dunklen Segment (s) des Nachthimmels nur allein Strahlen aufflackern (Abb. 6). Sind mehrere Bögen übereinander, so geht die Strahlenbildung stets vom untersten Bogen und von dessen unterem Rand nach oben; so berichtet *Nansen* von einem niedrigen Bogen mit 5° Höhe im Süden über dem noch 4 weitere unbestimmt wallende Bögen lagen, deren oberster durch den Zenit lief und von denen, besonders vom unteren, Strahlen nach oben schossen.

Die beim hochentwickelten Nordlicht sich immer weiter südwärts über den Zenit dehnenden Strahlen konvergieren im magnetischen Zenit zur Korona und senken sich mitunter soweit gegen Süden, daß hier ein kleineres zweites Segment entsteht. In der schematischen Abb. 7 lassen sich außer den Segmenten s1 und s_2, dem Bogen (ab), den Strahlen (c), der Korona (d) noch Lichtwogen (f) und (g) erkennen, die vom nördlichen Horizont zum Zenit emporsteigen. Mit den beiden Pfeilen ist einerseits das Emporlodern der Strahlen angedeutet und andererseits auch deren

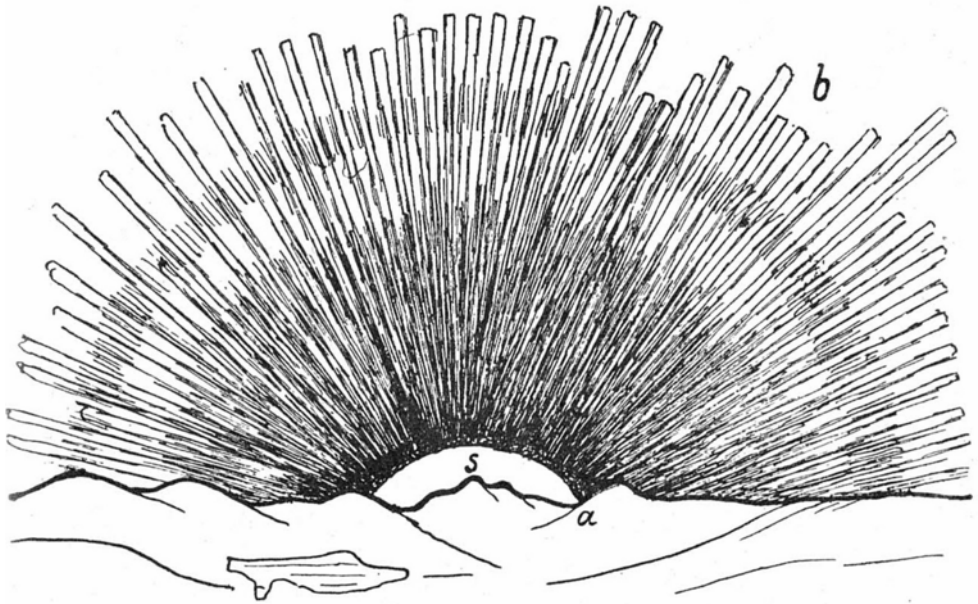


Abbildung 6
Segment s, Polarlichtbogen a, Strahlenkranz b; Skandinavien.

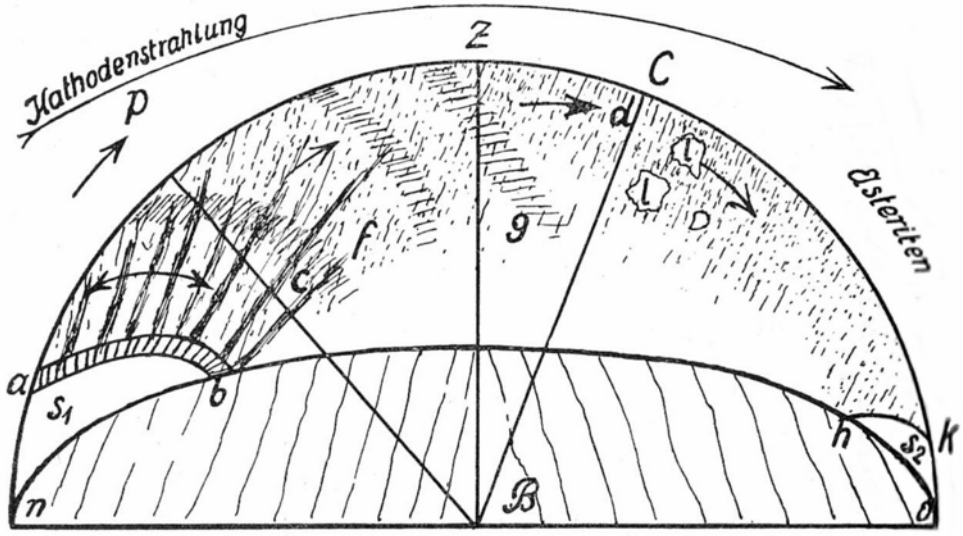


Abbildung 7
Polarlichtschema: s_1 s_2 Segmente, (ab) leiterförmiger Bogen, (hk) einfacher Bogen, c Strahlen, f, g

hin- und hergehende Wanderung parallel zu den Segmentbogen. Die Breite der Strahlen, deren Farben rot, grün, gelb und blau sind, kann die des Mondes übertreffen und einige derselben halten länger aus als andere. Ihre Lichtintensität ist bei zunehmender Steighöhe beträchtlich und übertrifft die von Draperien. Meist

geht die Zu- und Abnahme eines Polarbogens mit Strahlenkranz ruckweise vor sich. Die Geschwindigkeit der Strahlen vom Segment bis zu ihrer oberen Grenze wechselt, man zählt 6—8 Sekunden, aber wiederholt auch Minuten. Im Innern der Korona zeigen sich oftmals dunkle Partien. Parallel mit der Entfaltung eines Bogens mit Strahlenkranz gehen stets starke erdmagnetische Störungen. Nach *Arrhenius* ist mit der Abb. 8 eine Korona mit ihrem dunklen Zentrum (a), dem diffusen Teil (b) und den Strahlen (c) wiedergegeben. Polarlichter mit Bogen und Strahlenkranz haben ihre Hauptverbreitung etwa unter 60° und sind innerhalb des Polarkreises (66 1/2°) viel seltener. Ihr Azimut ist im allgemeinen senkrecht zum magnetischen Meridian und scheint während der ganzen, oft mehrstündigen Dauer des Phänomens mit geringen Abweichungen beibehalten zu werden, was auch für die Korona gilt. *Maupertuis* schreibt über die Nordlichter um Tornea (68° n. Br.), daß Bogen mit Strahlenkranz hier auch im Süden auftauchen, aber auch im Süden und Norden zugleich, so daß sich ihre Krümmungen einander nähern, weiterhin, daß manche Bögen sich nach und nach heben, wobei ihre Enden am Horizont einander näherrücken, so daß beinahe der größte Teil einer Ellipse über dem Horizont steht.

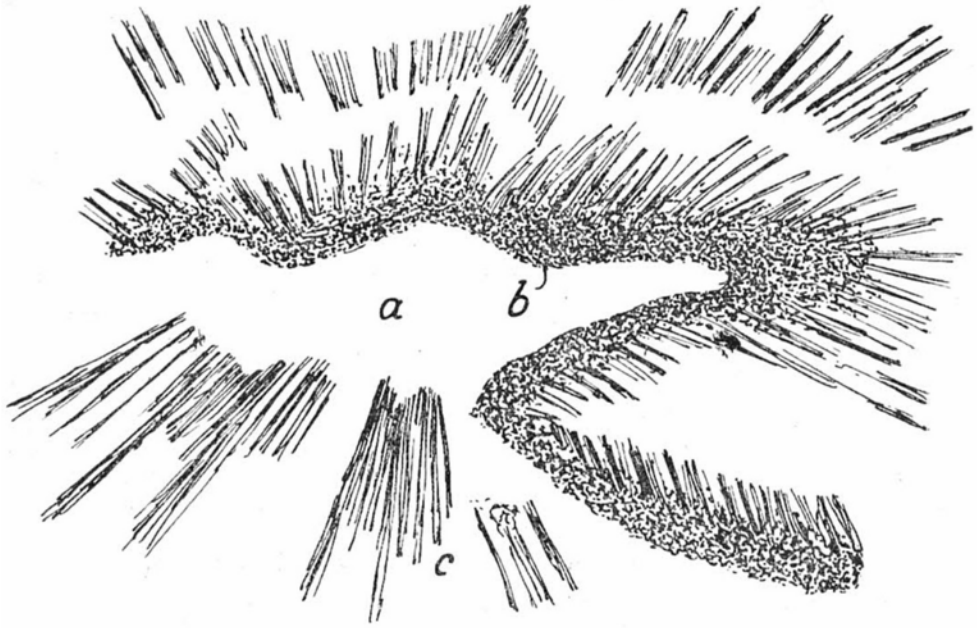


Abbildung 8
Nordlichtkorona, a dunkler, b diffuser Teil, c Strahlen; Gylenkiöld, Spitzbergen, 1863.

Um die Nähe der Magnetpole herum, wechselt das Azimut der Bögen, ja, sie können sogar nordsüdlich ausgerichtet sein. Gute Schilderungen von Polarlichtern mit Strahlenkranz geben *Zimmermann*, *Fritz*, *Sechi* und *Kennan*. Die von *Kennan* sei nachfolgend teilweise wiedergegeben. Beobachtungsort war Anadyrsk in Sibirien (73° n. Br., 180° ö. L.); der Beginn dieses Polarlichtes, der sich wohl wie gewöhnlich durch leuchtende Dunstmassen am Horizont verriet, wurde leider versäumt. *Kennan* schreibt; „Ein Riesenbogen, leuchtend in allen Farben des Prismas, spannte sich von Osten nach Westen und von seinem konvexen Rande zog sich eine lange Franse roter und gelber Lichter dem Zenit entgegen. In kurzen Zwischenräumen tauchten parallel mit diesem Bogen breite Lichtwellen aus dem nördlichen Horizont auf, die majestätisch über die ganze Himmels Wölbung flössen, wie große Wolken phosphoreszierenden Lichts, die aus einem grenzenlosen Lichtmeer hervorrollten. Jeder Teil dieses großen Bogens wallte, zitterte für einen Augenblick, wechselte die Farbe und die glänzenden Lichter, die seinen Rand säumten, zuckten in großen Kurven hin und her, wie das Flammenschwert des Engels an der Paradiespforte. Gleich darauf bewegte sich der große Nordlichtbogen mit seinen zuckenden Lichtern langsam dem Zenit zu und ein zweiter Bogen von gleicher Pracht formte sich unmittelbar unter ihm, aus dem eine lange Reihe bunter Lanzen gegen den Nordstern zuckten. Die Lichtstreifen drehten sich schnell, wie Speichen eines großen Lichtrades, die hellen Ströme schossen von den Enden des Bogens zu dessen Mittelpunkt und zuweilen zeigte sich auch im Norden eine Glutwelle, welche den Himmel purpurn färbte. Doch schon verschwand die Röte und ein orangefarbiger leuchtender Blitz zuckte über uns in seinem blendenden Glanze und dehnte sich sogar auf dem südlichen, Horizonte aus. Plötzlich wurden beide Bogen gleichzeitig in viele tausend parallele Stäbe zertrümmert, von welchen jeder in regelmäßiger Reihenfolge die sieben ursprünglichen Farben des Spektrums zeigte. Von Horizont zu Horizont zogen sich nun zwei breite Brücken aus bunten Stäben dahin. Nun kamen diese zahlreichen Stäbe in rasche, tanzende Bewegung und schossen mit so verwirrender Schnelligkeit aneinander vorüber, daß das Auge ihnen nicht mehr folgen konnte. Glänzend grüne Lichtstrahlen schossen rasch und geräuschlos zum Zenit empor, tausende bunter Stäbe zogen in zwei prachtvollen Bogen aneinander vorüber und große leuchtende Wellen rollten aus dem Welträume her, mit ihrem Strahlen - schein in langen Linien die Atmosphäre der dunklen Erde durchbrechend. Mit der Teilung der zwei Bogen zu gleichartigen Stäben erreichte die Erscheinung ihre höchste Pracht und von diesem Zeitpunkt an verblaßte die überirdische Schönheit allmählich. Der erste Bogen verschwand und bald danach auch der zweite, die farbigen Strahlen wurden seltener und blasser, die Lichtwellen erhoben sich nicht mehr bis zum

Zenit und eine Stunde später erinnerte nichts als einige schwach erhellten Lichtwolken auf dem dunklen Himmel an das Nordlicht.“

d) Polarlichtbogen mit Strahlscheiben. Diese eigentümliche Form (Abb. 9) brachte *Murray* in Shakletons Buch „21 Meilen vom Südpol“ zur Kenntnis. Sie besteht aus einer Reihe heller, mehr oder minder runder Flecken (a), die in Form eines großen Bogens angeordnet sind und von denen aus spitz zulaufende

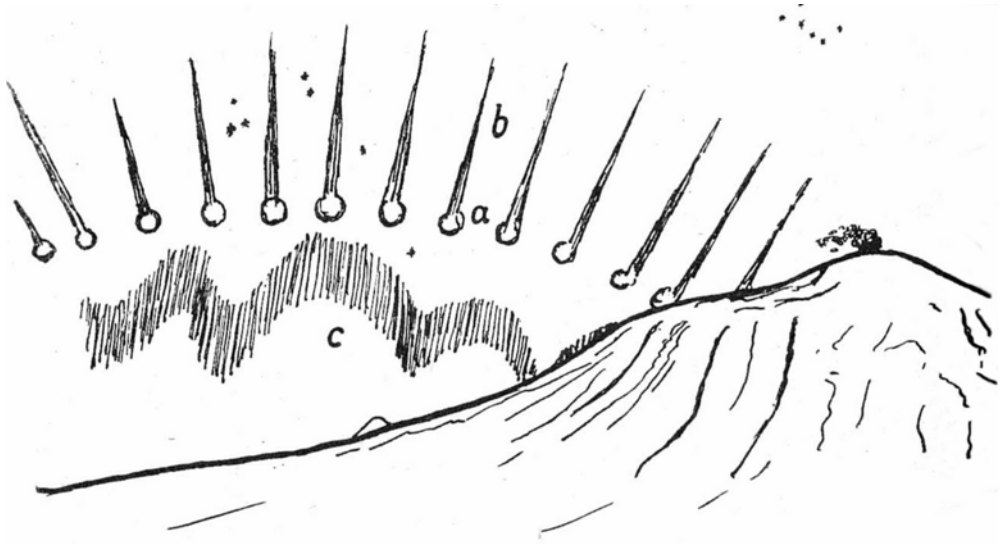


Abbildung 9
Polarlichtbogen a mit Scheiben und Strahlen b, Draperie c; S h a k l e t o n, 19. Januar 1908.

Lichtstrahlen (b) nach oben steigen. Derartige ovale Flecken zeigt auch der Bogen mit Strahlenkranzstruktur (nach *Stromer)* in der Abb. 2, die *Harang* wiedergibt.

e) Haubenpolarlichter. Der Name besagt, daß diese Polarlichter haubenförmigen Charakter haben, wobei die Korona im magnetischen Zenit den oberen Abschluß der Haube bildet. Doch ist diese Haube keineswegs immer ringsherum geschlossen und auch keineswegs immer domkuppelartig emporgewölbt, sondern zuweilen auch kegelförmig gestaltet, aber es fehlt stets ein Bogen oder ein solcher tritt gesondert auf. Bei der Beschreibung eines Haubenpolarlichts durch *Nansen* in „Nacht und Eis“ (Bd. I, S. 447) fällt auf, daß er von Strahlen schreibt, die aus der Dunkelheit der inneren Glorie der Korona herausschossen, doch schon der nächste Satz betont, daß das Licht emporschoß. Es mag sein und wird so sein, daß die Plötzlichkeit im Wechsel der Erscheinung zu Irrtümern führt. *Kapron* hat eine Polarlichtform bekannt gemacht, die mit der Abb. 10 wiedergegeben ist. Zwei nach oben mehrfach aufgespaltene Lichtbogen (a) und (b) verzahnen sich in der Korona (c) und im Hintergrund des Strahlengewölbes steht ein Lichtnebel (d) an. Das Strahlengewölbe der Abb. 11 hat durch die Flecken (a) an den unteren Strahlenenden gemeinsames mit dem Polarlichtbogen der Abb. 9. Eine überaus breite Korona (c) kommt dem Strahlengewölbe der Abb. 12 zu, dessen Strahlen (a) auffallend breit dimensioniert sind. Einen gewissen Übergang zu den Draperien bildet das Strahlendach der Abb. 13, denn die Strahlen (a) sind hier weniger lang als breit und stark ausgefranst; im Hintergrund taucht ein diffuser Lichtbogen (b) auf.

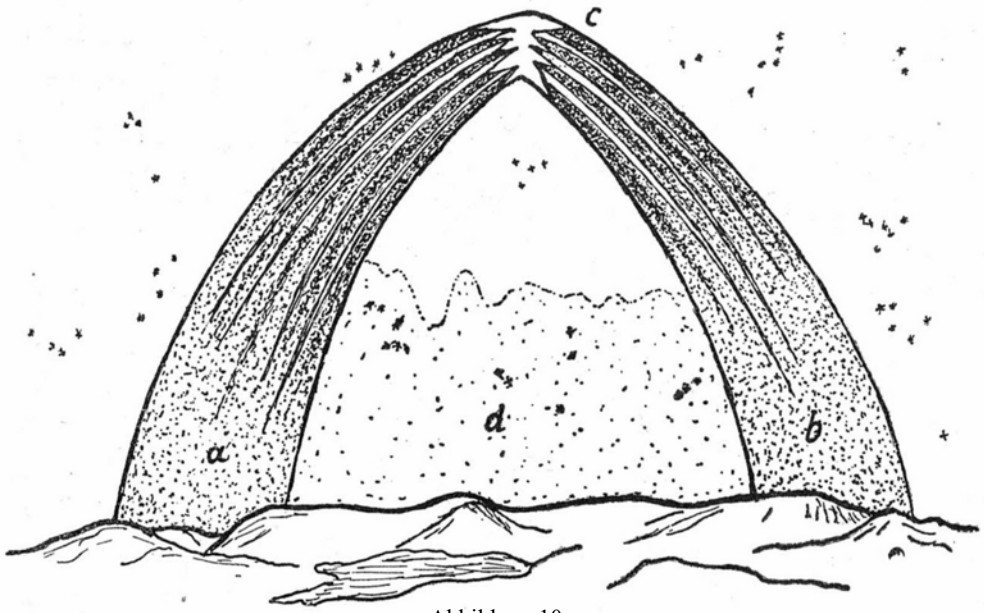


Abbildung 10
Haubenpolarlichtbogen b, Korona c, Polarlichtdunst d; Beob. G a p r o n, Guldford, England, 24. Oktober 1870.

f) Homogene Bänder. Als solche werden Teilstücke homogener Bögen angesprochen, als auch diejenigen, welche nur mit einem Ende am Horizont aufsitzen. Andere homogene Bänder können sich vollends frei durch den Himmelsraum erstrecken, geraten alsdann aber meist in starke Bewegung und gehen damit in die nächstbeschriebene Form über. *Wegener* erwähnt ein Band von 30 km Breite, 50 km Höhe und 2 000 km Länge.

g) Gestreifte Bänder. Mit der Abb. 14 ist solch ein gestreiftes Band in dessen Hintergrund ein Polarlichtnebel ansteht, wiedergegeben. Doch kann ein derartiges, nur schwach gebogenes Band, dessen Streifung mehr oder weniger senkrecht zum Bandrand verläuft, sich immer mehr

einrollend und dann wieder entfaltend, Formen seltsamster Gestalt annehmen. Das mit der Abb. 15 dargestellte Band ist ringförmig und umfloß den Vulkankegel des Mt. Erebus (1560 m) in der Antarktis und zeigt damit in außergewöhnlicher Weise eine offenbar ursächliche Beziehung zur Erdoberfläche. Wie zahlreiche Bänder in mannigfaltigster Weise sich durch- und umschlingen können, läßt die Abb. 16 erkennen, die zur nachfolgenden Erscheinungsform überleitet.

h) Draperien. Von den Bändern mit Streifenstruktur gibt es alle Übergänge zu Draperien, welche, wie der Name besagt, Vorhängen gleich, gewissermaßen aus dem Nichts des Himmelsgewölbes immer mehr an Stoffdichte zunehmend, herniederwallen und mit ihren mehr oder weniger senkrecht gestreiften Volants den

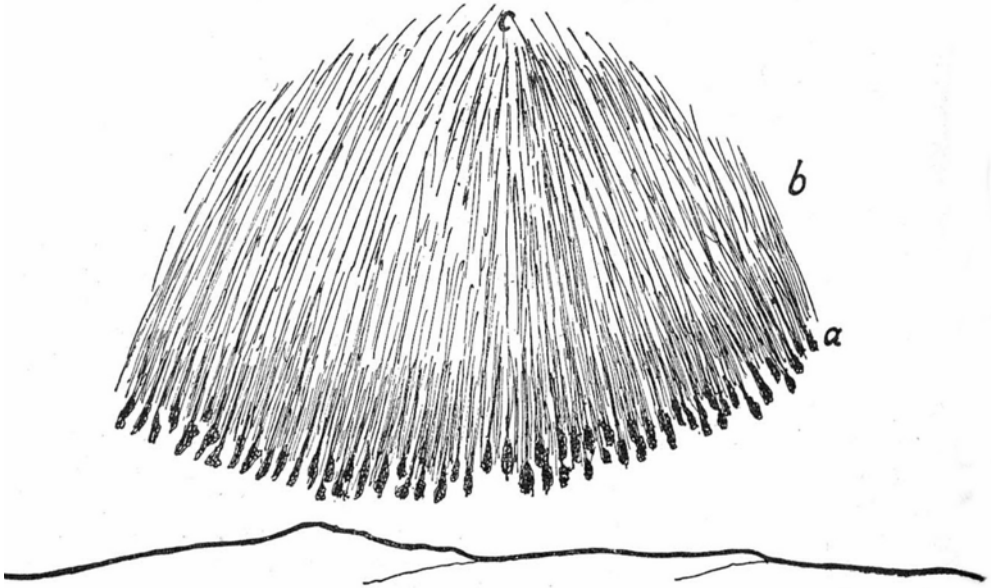


Abbildung 11
Haubenpolarlicht mit Korona c, Strahlen b, Scheiben a; nach A r r h e n i u s.

Raum durchfluten, um sich an ihren Enden ab und zu spiralig einzurollen. Eine Draperie kann eine andere umhüllen, wie es die Abb. 17 darstellt, andererseits können sich völlig unausgeglichene, unruhige Formen wirrster Gestalt (a) entwickeln, als ob ein Orkan in ihnen wüten würde, so daß man geradezu von Turbulenzformen reden kann. *Nansen* schreibt, daß es ihm mehrfach aufgefallen sei, wie Streifen des Nordlichts die Richtung des Windes verfolgten. Charakteristisch ist die oft zu beobachtende dreifache Färbung der Draperie, indem sie unten (r) rosa, oben (g) lichtgrün eingesäumt und dazwischen (w) weiß sind, überschreitet eine Draperie den Zenit, dann sieht man nur eine Schlangenlinie infolge der Verkürzung. Draperien reichen ab und zu in polnahen Gebieten bis 44 km herab.

i) Polarlicht-Einzelstrahlen. Teils schmal, dann Fäden genannt, teils breit und dann wie Scheinwerferstrahlen am Himmel stehend, stechen sie hinter dem Horizont unter wechselnden Winkeln hervor und bewegen sich ab und zu langsam zur Seite, wie dies für den Einzelstrahl in der Abb. 18 wiedergegeben ist, wobei von der Stellung I zur Stellung II etwa 20 Minuten benötigt wurden. Dieser Einzelstrahl beleuchtete die Federwolken (b) und zu Beginn seines Auftauchens entsandte er für kurze Zeit nach rechts ansteigende, offenbar reflektierte kleinere Einzelstrahlen. Die Benennung Polarlicht-Einzelstrahlen schließt nicht aus, daß dieselben, wenn auch in geringer Zahl, nebeneinander erscheinen, wie dies die Abb. 4 zeigt.

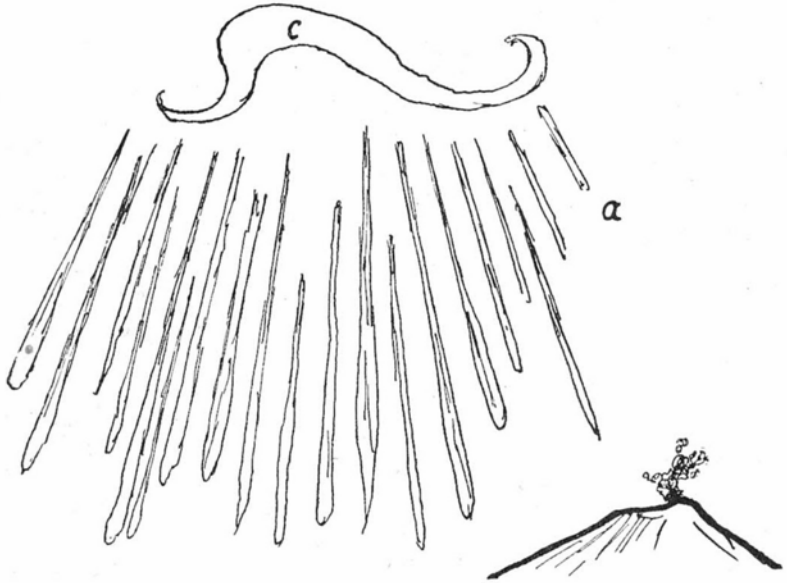


Abbildung 12
Haubenpolarlicht mit Korona c und Strahlen a; S h a k 1 e t o n. 10. Januar 1908.

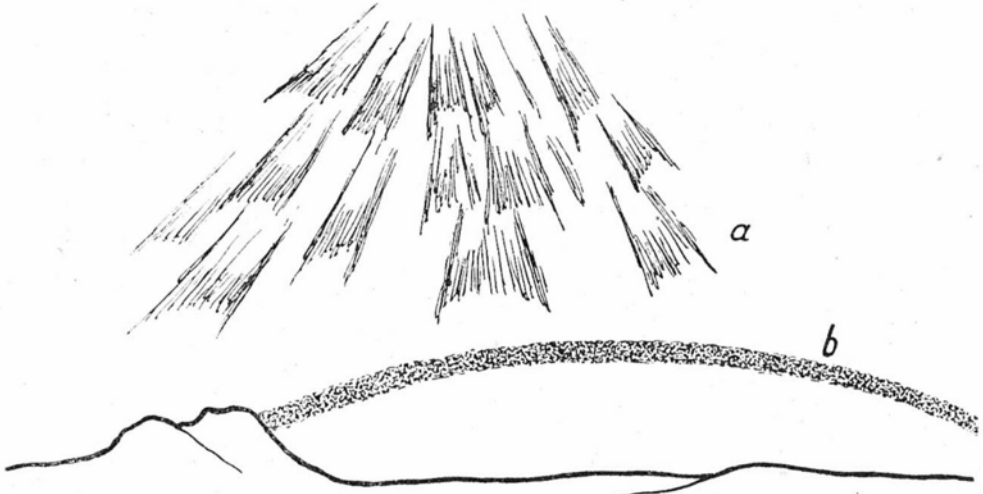


Abbildung 13
Haubenpolarlicht a und Polarlichtbogen b; Kap Thordsen 1882.

k) Polarlichtwellen. In dem „Photographie Atlas of Auroral Forms“ werden diese als „Flaming Aurora“ bezeichnet, jedoch handelt es sich nicht um langgezogene Lichterscheinungen, als vielmehr um breitgedehnte Lichtwellen (f und g, Abb. 7), die rasch aufeinander folgend, sich in Richtung des magnetischen

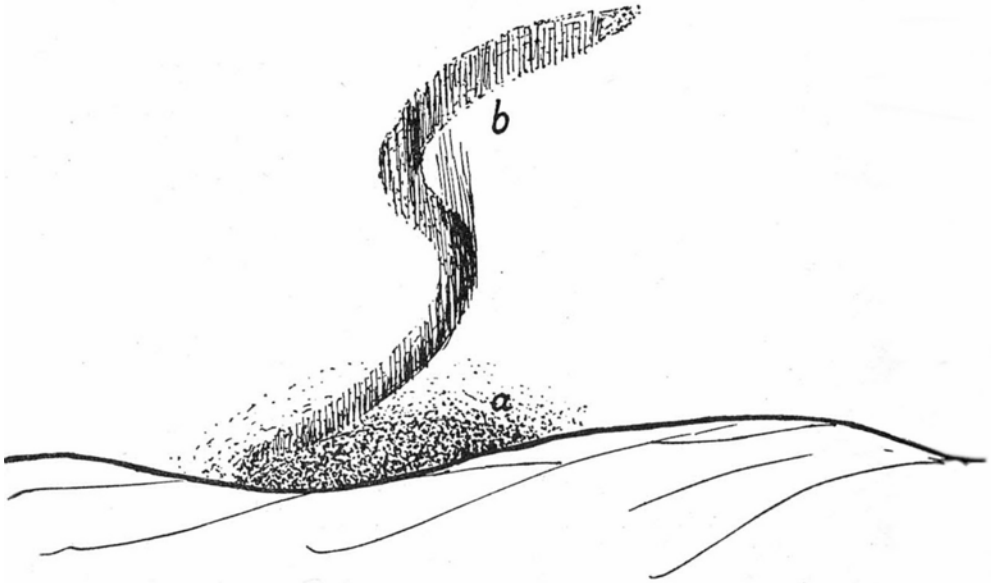


Abbildung 14
Gestreiftes Band b, Polarlichtdunst a; nach Stromer.

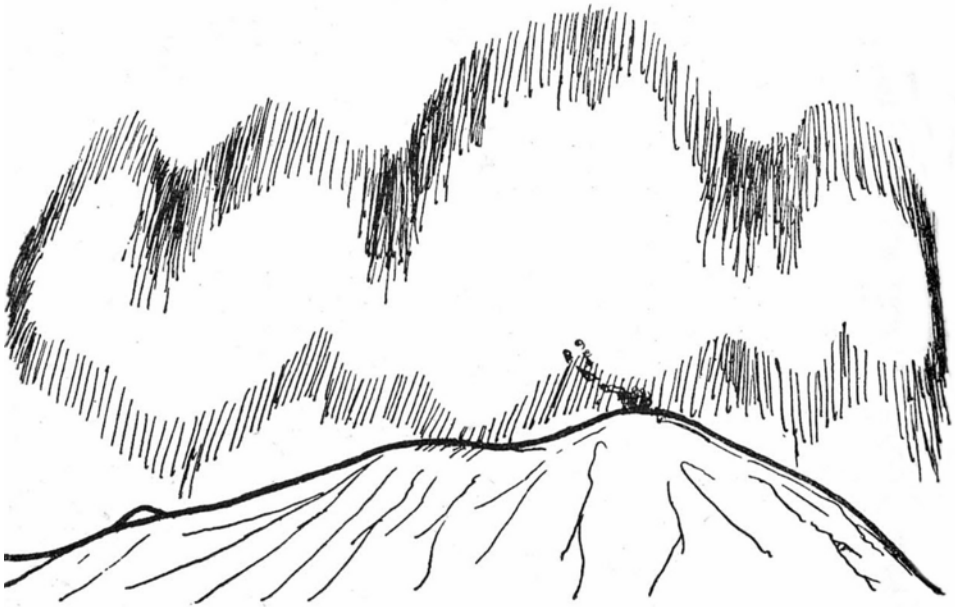


Abbildung 15
Draperieband um den Gipfel des Mt. Erebus; Shakleton, 26.

Abbildung 16
Draperie am Mt. Erebus; S h a k 1 e t o n, 28. April 1908.

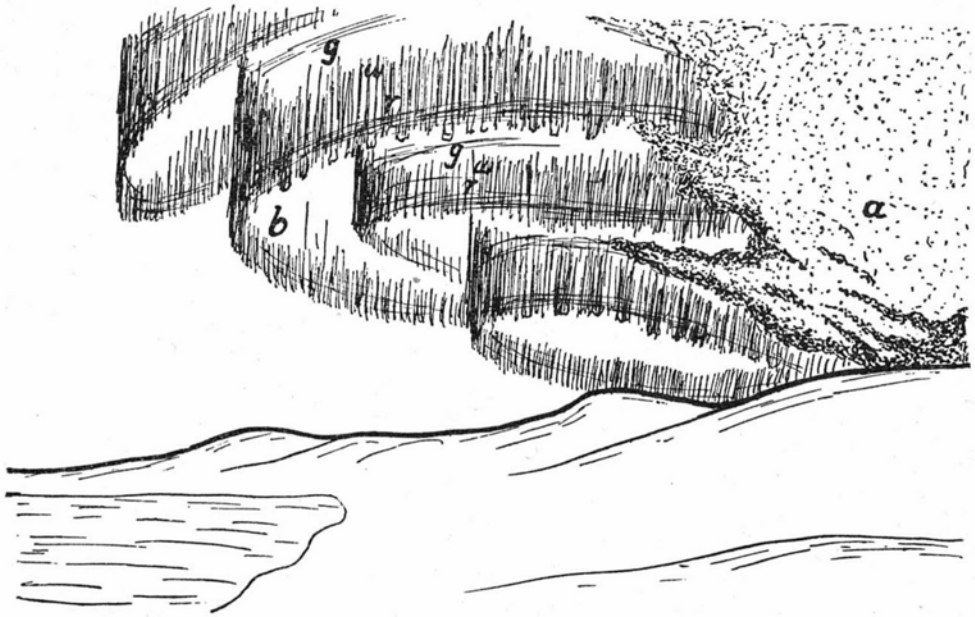


Abbildung 17
Polarlichtdraperie b, (g) grüner, (r) roter Saum; Finnmarken, nördl. Norwegen.

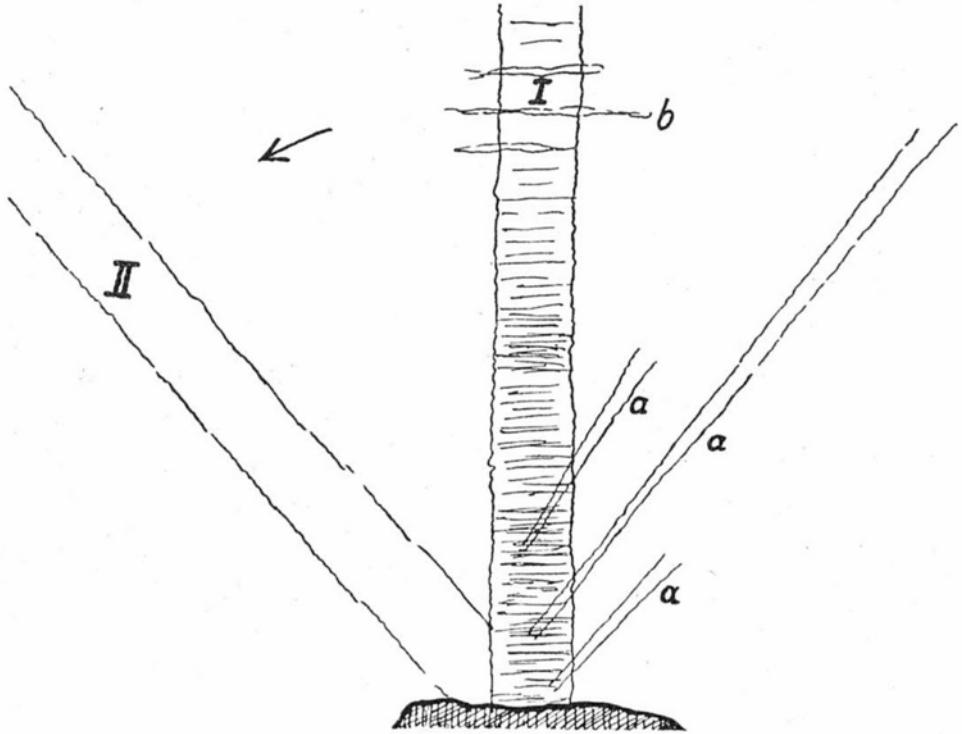


Abbildung 18
Einzelstrahl (I) mit Seitenstrahlen a, (II) spätere Stellung; Shakleton, 23. Mai 1908

Zenits radial zum Bogen bewegen und wandernde Lichteffekte hervorrufen. Solche Lichtwellen stellen sich offenbar häufig bei und nach starkem Lichtspiel eines Strahlenkranzes ein.

L) Pseudopolarlichter. Nansen gibt folgenden Bericht vom 2. Nov. 1894 (82° n. Br., 110° ö. L.): „über dem südwestlichen Horizont lag der Schimmer der Sonne. Leichte Wolken waren vorn zusammengedrängt wie eine Staubwolke, die sich über einer entfernten Reiterschar erhebt Dann schienen dunkle Florstreifen von der Staubwolke sich zum Himmel emporzuheben, als ob sie von der Sonne kämen. Nur im Südwesten waren diese Streifen dunkel, etwas höher hinauf weiter von der Sonne entfernt, wurden sie jedoch weiß glänzend wie feiner Silberflor. Sie breiteten sich über das Himmelsgewölbe über uns und weithin gegen Norden aus. Sie hatten Ähnlichkeit mit Nordlicht, aber konnten es nicht vielleicht auch leichte Wolken sein, die hoch in der Luft schwebten und das Sonnenlicht auffingen. Sie hielten sich ganz merkwürdig ruhig, aber es war tatsächlich Nordlicht. Auch Scott Hansen hatte, als es dunkel war den Eindruck, als ob das Nordlicht von der Sonne sich über das ganze Gewölbe ausbreitete, wie die Streifen auf der inneren Haut einer Apfelsine.“

Filchner beobachtete am 31. 12. 1911 (62° süd. Br. und 33° west. L.) bei Tage sogen. Polarbänder, er schreibt: „Polarbänder nennt man eine Art Regenwolken (Altocumuli), die in parallelen Reihen A (Abb. 19) angeordnet sind. Infolge der Perspektive finden diese Streifen ihren Ausgangspunkt an zwei, im Horizont liegenden diametral entgegengesetzten Stellen. Die Wolken erscheinen am Himmel als Kreise, die sich in den beiden Horizontpunkten, gleichsam ihren Polen, schneiden. Dies ist mit der Abb. 19 schematisch wiedergegeben und es scheint, daß *Nansen* dasselbe Phänomen während der Dämmerung vor sich gehabt hat so daß hier (Abb. 19) wohl der Fall eines Pseudopolarlichtes vorliegt.

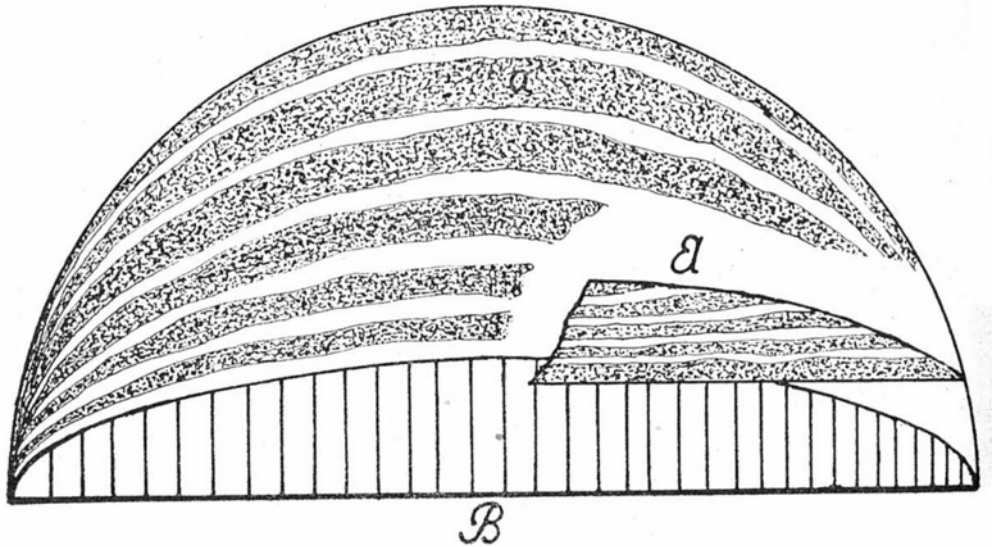


Abbildung 19
Polarbänder nach F i l c h n e r, 62° südl. Br.; 1911

Es ist bekannt, daß sich nach dem Auftreten von Polarlichternoftmals eigentümliche Cirruswolkenbildungen in Nachahmung der Polarlichtformen einstellen, also echte Pseudomorphosen vorliegen, im Gegensatz zu falschen, zufälligen, über die eigentümlichen Florstreifen, von denen *Nansen* berichtet, wird weiterhin im Abschnitt XI f die Rede sein.

IV. Übergänge der Polarlicht formen

Kennzeichnend hierfür ist, was *Murray* schreibt: „Alle bestimmten Typen des Südlichts gehen schnell in andere Formen über. Draperien verlieren ihre Formen und werden zu Südlichtnebel, aus der in Nebel gehüllten Umsäumung einer Wolke treten Strahlen heraus, die wie ein Bogen oder ein Schein wer f erstrahl aussehen oder die ganze Erscheinung von einer der geschilderten Formen zieht sich plötzlich in einen einzigen Strahl oder formlosen Fleck zusammen."

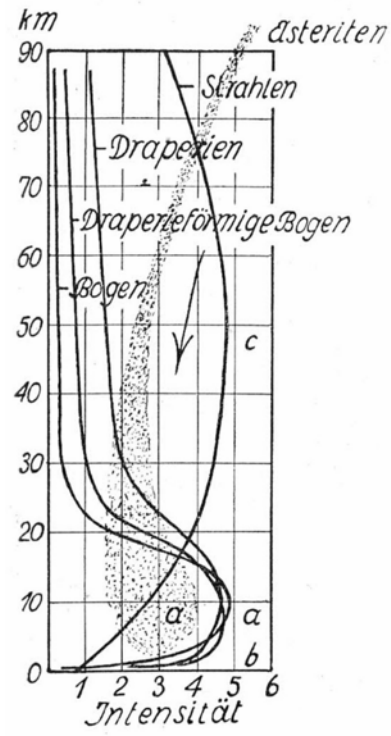
Bei nahezu sämtlichen Erscheinungsformen der Polarlichter können sich noch eigenartige Pulsationen der Lichtintensität einstellen und rhythmische, wellenartig aufeinander folgende Lichtwogen darüber fluten. Während bei uns in mittleren Breiten allermeist nur Bogen, Fäden, Strahlen und vielleicht noch Polarlichtdunst gleichzeitig Vorkommen, können in den Polargebieten alle Formen gleichzeitig und wohl gar mehrere ein und derselben Art auftreten. Polarlichter, die sich über 1000—2000 km weit dehnen, sind als allgemeine, gegenüber solchen mehr örtlicher Natur zu bezeichnen.

V. Höhenlage der Polarlichter

Die Höhenlage der angeführten Polarlichter schwankt zwischen den beobachteten Grenzen von 0—3654 km. Letzteres Maß wurde für den oberen Rand eines am 18./19. August 1893 unter 36° südl. Breite sichtbaren Polarlichts errechnet und die Bodenlage gründet sich auf das Vorkommen des Polarlichtdunstes, der hiemit den andern Erscheinungsformen gleichgesetzt wurde, was etwas unsicher, aber doch wahrscheinlich ist. *Harang* möchte die Berichte über niedrig stehende Polarlichter als unzuverlässig ansehen, da dieselben der ursächlichen Erklärung gemäß der Theorie von *Stromer* unüberwindliche Schwierigkeiten bereiten, doch ist dies untragbar. Nach *Harang* kann als Mittel der unteren Grenze von Bogen mit Strahlenkränzen, der Draperien und Bänder 108 km erachtet werden und für die vertikale Erstreckung bei homogenem Bogen 14 km, bei Bogen mit Strahlenkranz 47 km, bei Draperien 64 km und bei Einzelstrahlen 137 km. Bei sonnenbestrahlten Nordlichtbogen wurde des öfteren deren oberer Rand in nahezu 800 km Höhe beobachtet und der untere Rand, sonst bei etwa 100 km gelegen, hebt sich im sonnenbelichteten Teil bis 140 km. Bemerkenswert ist auch die Feststellung von *Stromer*, daß beim Vergleich der Nordlichter des südlichen und nördlichen Norwegens wohl deren unteren Grenzen übereinstimmen, die oberen Grenzen im südlichen Norwegen aber ein Mehr um 30 km zeigen. Zwischen dem Höchstwert niedrig beobachteter Polarlichter mit 1,8 km *(Mawson)* und dem Minimalwert 39 km höher beobachteter von *Stromer* in Nordnorwegen klafft eine beträchtliche Lücke. Die horizontale Entfernung der Polarlichter vom Standort des Beobachters kann in milderen Breiten hunderte aber auch tausend und mehr Kilometer betragen, in den polaren Kalotten jedoch erscheinen die Polarlichter oftmals im Zenit. Nach *Harang* lag beispielsweise ein mittlerer Punkt einer Nordlichtdraperie von Tromsö aus beobachtet, auf Grund parallaktischer Aufnahmen horizontal 33 km entfernt und 115 km hoch. Geht man von den Extremen aus, daß auf der Nordhemisphäre Polarlichter vom 20. Breitegrad aus nördlich und von Marseille (43° 20') aus südlich gesichtet wurden, so ergibt sich als Höhenlage der Polarlichter, welche von diesen Breitengraden aus gleichzeitig gesichtet werden konnten, gemäß der Verschneidung der Parallaxen 135 km und als Höchstwert aus der Verschneidung der Parallaxen von 20° und 90° Breite 1400 km.

VI. Intensität, Farbe und Spektrum der Polarlichter

Die Normalfarben der Polarlichter sind gelbgrün, gelblich als auch weiß und deren Intensität ist im allgemeinen schwach. Kaum wird jemals die Lichtstärke eines Viertelmondes überschritten, über die Abhängigkeit der Lichtintensität von der Höhe, gemessen vom unteren Rand verschiedener Polarlichter, gibt die Abb. 20 nach *Angenheister* Zeugnis.



Abbilding 20
Lochtintensitäten verschiedener Polarlicht formen, in Abhängigkeit von der Höhe, gemessen vom unteren Rand der Polarlichter, nach A u g e n h e i s t e r.

Bei sehr starken Polarlichtern kann man gedruckte Schrift gerade noch lesen und das Licht selbst ist nicht polarisiert. Teilweise kann bei den Polarlichtern Gelb vorherrschen und himmelaufwärts gehen ihre Farbtöne vielfach ins Violette über. Bei den prächtigsten Entfaltungen zeigen sich nahezu alle Spektralfarben, doch ist Orange selten. Nordlichtdunst ist in hohen Lagen meist violett, in niedrigen wohl eher grünlich getönt. Rot ist oftmals dem unteren Rand der Polarlichter eigen und kann sogar manchmal beherrschend auftreten, insbesondere bei mehr in mittleren Breiten erscheinenden Polarlichtern. Karmoisinrot säumt vielfach den unteren Rand von Draperien ein, während ihr oberer Rand das komplementäre Licht - grün zeigt und dazwischen liegen weiße Lichtflächen. Bei Bewölkung stellen sich meist düstere, schmutzig gelbliche Farbtöne ein, dagegen zeigen sonnenbeschienene Nordlichter graue und blauviolette Farben. Häufig hat man beim Aufleuchten der Polarlichter den Eindruck von Phosphoreszenzfarben.

Auf die spektrale Erforschung des Polarlichts wurde seit langem viel Mühe verwandt, insbesondere auf die genaue Festlegung der typischen, grünen Polarlichtlinie mit 5577,350 ± 0,005 A, um den Lichtträger daran erkennen zu können. Seit Jahrzehnten gingen die Meinungen hierüber auseinander. *Ramsay* und *Arrhenius* glaubten, daß diese Linie sich mit der grünen Linie des Kryptons decke und *Wegener,* daß sie einem neuen noch unbekannten Gas „Geocoronium“ angehöre, welches erst ab 70 km Höhe nach oben zu auftritt. Nach *Harang* spielen im Polarlichtspektrum die wichtigste Rolle die Linien 5577, 6300 und 6364 A, die dem teilweise dissoziierten Sauerstoff zugehören und dann noch eine Anzahl mehr oder weniger breiter Stickstoffbanden unter denen das sogen. ε-System besonders

interessant ist, da *Vegard* diese auch im Leuchten des festen Stickstoffs (— 223°) bei Kathodenbestrahlung fand. *Vegard* vertrat deshalb die Anschauung, daß das Polarlicht sich auf die Lumineszenz von Stickstoff- und Sauerstoffstaub in den tief temperierten atmosphärischen Höhenregionen gründet. Indessen wies später *Mc Lennan* nach, daß die Polarlichtlinie sich auch bei einem Gemisch von Helium, Sauerstoff und etwas Ozon während Kathodenbestrahlung einstellt. Außerdem vertritt *Babcock* die Ansicht, daß die von *Vegard* fixierte grüne Linie festen leuchtenden Stickstoffs bei 5577 A gelegen nicht mit der von 5577,35 A des Polarlichts identisch ist, während die von *Mc Lennan* wahrgenommene Linie tatsächlich bei 5577,34 A liegt. Mit zunehmender Höhe der Polarlichter verliert übrigens die grüne Linie an Intensität. Wenn man weiterhin berücksichtigt, daß *Kaplan* die grüne Nordlichtlinie in Entladungsrohren auch durch Einwirkung von aktiviertem Stickstoff auf Sauerstoff erhalten hat, so erscheint es sicher, daß das letzte Wort über deren Entstehung immer noch nicht gesprochen worden ist, obgleich es nun über 70 Jahre her ist, daß bereits *Vogel* die Ansicht vertrat, das Polarlicht würde durch die elektrische Ausströmung im verdünnten Stickstoff bewirkt werden. *Wijkander* fand während eines Nordlichts auch an den Stellen des Himmels, wo das Nordlicht nicht war, die Polarlichtlinie, die auch dem Nachthimmel zukommt und eigentümlicher Weise bildete nur das Segment eine Ausnahme. Die rote Färbung des Polarlichts wird offenbar durch die Spektrallinien 6300 und 6364 des Sauerstoffs bestimmt.

Offensichtlich ist, daß die bis jetzt untersuchten 108 Spektrallinien des Polarlichts, die oft erst nach stundenlanger Exposition auftreten, mannigfaltiger Entstehung sind, je nach der Materie, deren gasförmiger bzw. fester Beschaffenheit und je nach der Art der solaren erregenden Korpuskeln. Da aber all diese Faktoren, weder für den molekularen noch atomaren (jonisierten bzw. aktivierten) Sauerstoff und Stickstoff, die in erster Linie in Frage kommen, noch für andere in Betracht kommende Gase bekannt sind, besteht kaum die Berechtigung eine Polarlichttheorie darauf zu basieren, ohne die so mannigfaltigen und typischen Erscheinungsformen heranzuziehen.

VII. Die Atmosphäre

Unmittelbare Beobachtungen über Zusammensetzung, Druck und Temperatur der Atmosphäre reichen nicht weiter als bis etwa 30 km Höhe. Die stofflichen Veränderungen sind bis zu dieser Höhe nach

Paneth und *Regener* nicht bedeutend und erreichen den höchsten Variationswert mit 7% beim Helium. Das *Mariotte-Gay-Lussac'sche*e Gesetz über die Druckabnahme der Atmosphäre scheint für sehr große Höhen ungültig zu sein, unbekannt sind auch die maßgeblichen Temperaturen, aber die Beobachtungsergebnisse bei der Reflexion von Radiowellen sprechen für atmosphärische Schichtenbildung in Höhen von etwa 150 km, wo selbst offenbar der hohe Verdünnungsgrad, nach oben erwähntem Gesetz, dies kaum mehr erlauben würde. Immerhin seien einige zusammengehörige Werte von Höhen und mmHg-Druck angeführt, dabei ist ab 50 km die Atmosphäre als isotherm mit —50° angenommen.

Höhe in km:	0	1	2	3	4	5	10	15	50	100	200	300	500
Luftdruck in mm Hg:	762	675	597	526	462	406	200	90	0,43	$2*10^{-4}$	$4,3*10^{-11}$	$9,3*10^{-18}$	$4,3*10^{-31}$

Wäre die Temperatur ab 100 km konstant (—200° C), so wäre der Luftdruck in 200 km $1,6 \times 10^{-27}$ mm Hg und in 300 km $6,2 \times 10^{-48}$ Liegt keine isotherme Atmosphäre vor und das kann als sicher gelten, so nimmt bei abnehmender Temperatur der Druck sehr rasch ab. Immerhin zeugt aber das Aufleuchten von Sternschuppen in 200—300 km Höhe, daß doch noch eine Atmosphäre existiert und *Böddicker* hat nachgewiesen, daß eine Senkung der Mondwärmestrahlung bereits 3 Minuten vor Übertritt des Mondes in den Erdschatten wahrzunehmen ist, was auf eine diesbezüglich wirksame Erdatmosphäre von 300 km Mächtigkeit schließen läßt. *Chapman* und *Milne* haben berechnet, wieviele Moleküle sich in 1 ccm Luft befinden unter der Voraussetzung einer prozentual gleich zusammengesetzten Atmosphäre in 20 km Höhe wie am Erdboden, einer konstanten Temperatur von —54° und einer Änderung der Zusammensetzung mit der Höhe nach dem spezifischen Gewicht, d. h. vor allem Zunahme des Heliums.

Höhe in km:	20	40	100	200	300	400	600
Moleküle in $1cm^3$:	$1,87*10^{18}$	$8,63*10^{16}$	$1,23*10^{13}$	$1,80*10^{11}$	$2,35*10^{10}$	$3,56*10^{9}$	$8,78*10^{7}$

Sieht man jedoch vom Helium in großer Höhe ab, denn sein Spektrum fehlt im Polarlicht, so errechnet sich nach Trabert für eine durchgehende Stickstoff-Sauerstoffatmosphäre, daß in 300 km Höhe kaum 1 Molekül auf 1 cm^3 trifft und in 400 km nur 1 Molekül auf 1 m3. Nach spektroskopischen Untersuchungen sind in 200—300 km Höhe nur N und O vorhanden, wobei das Volumenverhältnis N : O etwa 93 :7, also für N bedeutend gesteigert ist. Berücksichtigt man nicht die Temperatur, sondern nur die Wirkung der Änderung in der Erdanziehungund der Fliehkraft, dann fände die Atmosphäre ihre Grenze erst in 80 000 km. *Laplace* berechnete die Höhe der Erdatmosphäre zu 42 000 km und *Molanderhjel* zu 35 700 km. Erwähnt sei noch, daß in der Hochtroposphäre zwischen 15—35 km eine Anreicherung von Ozon festgestellt wurde, die ultraviolettes Licht stark absorbiert und weiterhin, daß zwischen 40—50 km Höhe eine Reflexschicht für Schallwellen bestehen muß und daß die letzten Dämmerungsspiegelungen aus Höhen - schichten von 50 km kommen. Für die Polarlichtforschung könnten von Bedeutung sein die auf elektrischer Photowirkung beruhenden Schichtenbildungen in der Hochstratosphäre (Abb. 22). Die ε -Schicht *(Kennelly-Heaviside)* liegt in 100 km Höhe, die F_1- und F_2-Schichten, zusammen die *Appleton* -Schichten bildend, liegen in etwa 250—400 km. Alle drei Schichten zeichnen sich durch starke Ionisation aus, deren Bestimmung

mittels kritischer Frequenzen bei der Reflexion von Radio- wellen gelang. Gestört werden diese Schichten zeitweilig durch das Eintreten solarer Korpuskeln. *Chapman* ist der Ansicht, daß oberhalb 100 km der Sauerstoff dissoziiert ist und über 130 km die Atmosphäre aus Sauerstoffatomen nebst Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen besteht.

Völlig unsicher sind die Temperaturen der Atmosphäre über 10 km Höhe. Die niedrigst beobachtete Temperatur war die durch einen Registrierballon über Batavia mit — 91° in etwa 25 km Höhe. Auf Grund nachfolgender Beobachtungsangaben

Höhe in km:	0	1	3	5	8	10	25
Temperatur:	9,1°	4,8°	-5,3°	-16,3°	-38,5°	-52,5°	-91°

wäre nach graphischer Extrapolation zu erwarten, daß die Temperatur in 50 km Höhe bereits den absoluten Nullpunkt — 273° erreicht hätte. Es mag selbst sein, daß die Temperaturen äußerster Atmosphärenzonen noch niedriger als — 273° sind, denn es bezieht sich dieser Wert — 273° vorerst allein auf das Verhalten der permanenten Gase und die Frage der Nullpunktsenergie ist noch unentschieden. *Angenheister* berechnete unter diesen und jenen Voraussetzungen die Temperatur der sonnendurchstrahlten Atmosphäre in 140—200 km Höhe zu 900° absolut. Die von ihm gezeichnete Kurve (1) gibt die Abb. 22 wieder und in dem Abschnitt XI c wird zu diesem unwahrscheinlichen Ergebnis Stellung genommen.

VIII. Polarlichtgeräusche

In früheren Zeiten wollen *Brewster*, *Winkler* und *Gmelin* während großer Polarlichter Geräusche, gewissermaßen ein Knistern, wie es bei elektrischen Funken entsteht, wahrgenommen haben. *Franklin* beobachtete jedoch viele Nordlichter und nahm niemals Geräusche wahr, die damit hätten in Verbindung gebracht werden können, ebenso wenig *Nansen;* indessen sind in jüngerer Zeit von *Stromer* und *Jeistrup* Wahrnehmungen, welche das Auftreten der Geräusche doch wahrscheinlich machen, beigebracht worden.

IX. Polarlicht, Erdelektrizität und Kathodenstrahlung

Das Potentialgefälle zwischen der, der Erde aufliegenden Luft und der Erde selbst, nimmt mit steigender Temperatur und steigendem Dampfdruck ab, desgleichen der Zerstreuungskoeffizient und wenn auch bis jetzt keine ausgesprochene Abhängigkeit des elektrischen Feldes von der geographischen Breite erkennbar wurde, so läßt sich doch nach erwähnter Feststellung erwarten, daß sich in den polaren Regionen die größten Potentialgefälle einstellen. Dafür sprechen vor allem die Versuche *Lemströms* im Norden Finnlands, der elektrische Entladungen bis 120 m Höhe erzielte, bei denen auch die Polarlichtlinie wahrzunehmen war. Ferner zeugen dafür zwei nachfolgend erwähnte Beobachtungen aus dem hohen Norden die von *Zimmermann* berichtet werden» *„James Ross* und *Sabine* durchfuhren im grönländischen Meer eine oval geformte Lichtwand von etwa 350 m Höhe, wobei die kleinsten Gegenstände erkennbar wurden; Geräusche waren offenbar keine zu hören. Der andere Fall betrifft die Schilderung des Abbe *La Chappe d'Anteriche* in Sibirien, der gleicherweise eine Lichtwand in der Steppe durchschritt, aber auch hier von begleitenden Geräuschen nichts schreibt. *Mawson* berichtet aus dem Adelieland in der Antarktis (67° s. Br., 143° ö. L.), daß die elektrischen Wirkungen ganz überraschend waren. Am 22. März wurde das erste Elmsfeuer beobachtet und mit zunehmender Kälte wurde diese Erscheinung immer stärker. Nach oben nimmt das Potentialgefälle der positiven Luft gegenüber der negativen Erde ab. Der mittlere Wert beträgt 100 Volt pro Meter, um in 5 km Höhe nahezu den Wert Null zu erreichen.

Mawson teilt mit, daß Änderungen im erdelektrischen Potential während der Südlichter nicht festzustellen waren und für gewöhnliche mittelstarke Nordlichter wird gleiches berichtet. Aber bei großen Entfaltungen der Polarlichter müssen zweifellos Potentialschwankungen auf- treten, da zur selben Zeit in Fernsprechnetzen durch Gegenströme, wie berichtet, die Sicherungen ausbrannten. Was eben über das Potential erwähnt wurde, gilt ähnlich über magnetische Störungen, die nur stärkeren Polarlichtern parallel laufen. Letztere Wahrnehmung ist schon über 100 Jahre alt und hat alsbald zur Erkenntnis geführt, daß die 11jährige Periode gesteigerter magnetischer Störungen auch in der Häufung der Polarlichter zum Ausdruck kommt.

Während für Störungen kurzer Radiowellen von *Richardson* am Mt. Wilson-Observatorium festgestellt wurde, daß diese gleichzeitig mit Sonneneruptionen auftreten und letztere ultraviolette Strahlen beim lichten Tage mit annähernder Lichtgeschwindigkeit der Atmosphäre zusenden, erwies sich nach Haie für Polarlichter eine Zeitdauer von 26 Stunden als nötig, um Kathodenstrahlen von Protuberanzen zur Erde kommen zu lassen. Nach *Marchand* erfolgen magnetische Störungen

36 Stunden nach Passieren von Sonnenflecken durch den Zentralmeridian. *Maunder* fand 21 Stunden als nötig zur Erreichung des magnetischen maximalen Effekts nach der Meridianpassage der Sonnenflecken und *Ricco* maß für 10 Fälle 45,5 Stunden. Demgemäß liegen die Werte für die Geschwindigkeit der Kathodenstrahlen, die in Frage kommen könnten bei $1,6 \cdot 10^8$ bzw. $1,2 \cdot 10^8$ bzw. $0,9 \cdot 10^8$ cm/sec., während die Geschwindigkeiten der im Versuchsraum erzeugten Kathodenstrahlen je nach den angelegten Spannungen sich zwischen 1 -IO^8 bis $1 \cdot 10^{11}$ cm/sec. bewegen. Die ß-Strahlen von Radium haben dagegen die Geschwindigkeiten 1,7 bis $2,8 \cdot 10^{11}$ cm/sec. und dessen a-Strahlen 1 bis $2 \cdot 10^{10}$ cm/sec.; gemäß *Harang* haben a-Strahlen die Geschwindigkeit $1,6 \cdot 10^8$ cm/sec. Es kämen mithin nach *Grotrian* Kathodenstrahlen in Betracht, die einer Spannung von nur 7 Volt entsprechen. Nach *Harang* werden aber zur Erklärung der reflektierten negativen Stickstoffbanden Strahlen mit $2,7 \cdot 10^8$ cm/sec. benötigt, welche die Entfernung Sonne— Erde in 15,6 Stunden durchlaufen würden, was

insbesondere mit den Beobachtungswerten von *Marchand* in Widerspruch steht und andererseits sind Eindringungstiefen bis 80 km Atmosphärendicke für solch relativ langsame Kathodenstrahlen wie 0,9 • 10^8 cm/sec. unmöglich.

Über die Arten der elektrischen Entladung in luftverdünnten Räumen sei erwähnt, daß *Lehmann* bei 20 mm Hg, etwa 22 km Höhe entsprechend, Büschelentladungen wahrnahm, die den Kraftlinien eines Magneten folgten. In *Geißler'schen* Röhren ist bei 6—8 mm Hg, etwa

37 km Höhe gleichkommend, nur schwach bläuliches Licht wahrzunehmen; bei weniger als 6—8 mm Hg zeigt sich hellviolettes Licht und bei 1—3 mm Hg, ein Maß, das für etwas weniger als 50 km Höhe gilt, erscheint geschichtetes Licht und zwar geht dasselbe wie das violette von der Anode aus. Weitere Verdünnung läßt den dunklen Raum zwischen Kathoden- und Anodenlicht anwachsen; bei 0,3—0,1 mm Druck verschwindet jedoch nach *Plücker* das Licht vollkommen, bis bei hochgradiger Verdünnung 1/1000 mm, dem Druck von etwa 70 km Höhe entsprechend, Kathodenlicht aufleuchtet. In den sogenannten gasfreien Röntgenröhren, im Gegensatz zu den gashaltigen Jonenröhren mit 10^{-3}mm Hg-Druck, könnten übrigens keine Kathodenstrahlen mehr entstehen, wenn nicht Elektronen liefernde Wolframspiralen eingebaut wären.

X. Ältere Theorien über das Polarlicht

Nachdem in den vorangehenden Abschnitten in zusammengedrängter Form Beobachtungen bezüglich des Polarlichts und der damit verknüpften Gegebenheiten angeführt wurden, sollen nunmehr die älteren Theorien zu seiner Erklärung wiedergegeben werden und, in soweit ihnen besondere Bedeutung zukommt, auch die wichtigsten Gründe zu ihrer Ablehnung.

Zunächst seien jedoch die wesentlichsten Erscheinungen des Polarlichts, die es zu erklären gilt, als Fragen nochmals her vor gehoben.

1. Welcher Art ist der Lichtträger? 2. Welches ist der Lichterreger? 3. Worin ist die Beibehaltung des Azimuts eines Polarlichtbogens als auch der zugehörigen Korona begründet? 4. Wie entsteht ein Bogen und, wenn er einen Strahlenkranz hat, dessen zentrale Perspektive und Lichtbewegung? 5. Wie kommt weiterhin die Perspektive der Korona zustande? 6. Wie können sich konzentrische Polarlichtbögen bilden? 7. Wie erklärt sich das langsame, teilweise unregelmäßige Heben eines Bogens über den Zenit hinaus? 8. Wie kommen asymmetrische Bögen zustande? 9. Wie kommt es, daß Draperien nach oben verlaufen, unten aber scharf abschneiden und von oben nach unten die Farben rot, weiß, grün zeigen? 10. Wie erklären sich spiralige Einspulungen der Draperien? 11. Wie erklärt sich die Steigerung der oberen Höhengrenze der Nordlichter nach Süden? 12. Wie erklärt sich die Hebung der unteren Grenze sonnenbelichteter Polarlichter? 13. Wie erklären sich große, geradlinig begrenzte Einzelstrahlen und deren langsame seitliche Bewegung? 14. Wie kommt es, daß der Polarlichtdunst und die Polarlichtlinie vom Boden aufwärts bis zu den höchsten Höhen wahrzunehmen sind? 15. Wie kommt die tägliche Periode der Polarlichter mit dem Minimum um Mitternacht zustande? 16. Wie erklärt sich die jahreszeitliche Periode mit den größten Häufigkeiten der Polarlichter zur Zeit der Äquinoktien?

Die 11jährige Periode der Polarlichter ist seit langem durch die Koordinierung magnetischer Intensitätsänderungen und gesteigerter Sonnenflecken erklärt. Nachgewiesen ist auch, daß Sauerstoff und Stickstoff in vielmals höheren Regionen Vorkommen als früher vermutet wurde und daß gerade ihnen die spektrale Lichtverteilung im Polarlicht zuzuschreiben ist.

Das Polarlicht als rein optisches Phänomen einer tiefstehenden Sonne zu erachten, verbietet die feste Lage der Bögen und der Korona, wie auch das Linienspektrum des Polarlichts. *De la Rive* und *Lemström* faßten das Polarlicht als Glimmentladung polarer Elektrizitätsanhäufung auf, doch ist dies für Polarlichter über Höhen von 25 km wegen zu großer Luftverdünnung unmöglich und erklärt keinesfalls die Beibehaltung des Azimuts von Bogen und Korona, insofern nicht etwa Glimmentladungen auf einer magnetisierten Kugel quer zu den Meridianen erfolgen, worüber allerdings bis jetzt nichts bekannt geworden ist. *Paulsen* sieht die Ursache von Polarlichtern in elektrischen Strömen, in Kathodenstrahlen, die der Erde zu gerichtet sind und aus einer Lage angereicherter Elektrizität um die Pole stammen. Niedrigen Polardunst hält er für phosphoreszierende Wolken, die abnorm weit herabgedrückt werden. Eine Erklärung über die Beibehaltung des Azimuts bei Bogen und Korona, als auch etwa langsamer Bewegungen und Schwankungen von Bogen und Einzelstrahlen sind damit nicht geklärt. *Nordenskiöld* nahm 2 hochgelegene, elektrisch bedingte, ringförmige Leuchtzonen über dem sog. maximalen Polarlichtgürtel an, desgleichen *Arrhenius,* der glaubte, in diesen 400 km hoch gelegenen Ringen konzentriere sich negativ geladener Sonnenstaub und gebe Anlaß zu dem phosphoreszierenden Polarlichtschein. Eine ähnliche Meinung wie *Arrhenius* vertrat *W. Siemens,* der glaubte, elektrisch geladener kosmischer Staub dringe in die Erdatmosphäre ein. Die Annahme von solch einem oder von zwei Gürteln ermöglicht wohl, das ständig gleiche Azimut der Bögen zu erklären, aber nicht das der Korona, unerklärlich bleibt auch das langsame Heraufsteigen der Bögen über den Zenit hinaus und die Entstehung der Korona selbst. Übrigens hat schon vor 100 Jahren *Mairan* die Behauptung aufgestellt, daß die Polarlichter in der bis zur Erdatmosphäre heranreichenden Sonnenatmosphäre ihren Sitz haben. *Stromer,* welcher die Terellaversuche von *Birkeland,* bei denen in einem sehr luftverdünnten Raum Kathodenstrahlen von einer magnetisierten Eisenkugel angezogen werden, seinen ausgedehnten mathematischen Berechnungen zu Grunde legte, vertritt die Theorie, daß Kathodenstrahlen der Sonne von dem Magnet „Erde“ auf deren Nachtseite so weit herumgebeugt werden, daß sie, magnetischen Kraftlinien folgend, bis zu ihrer Absorptionsgrenze in der Atmosphäre niederstoßen und zwar vorzugsweise längs des 67. Breitegrades, des Gürtels maximaler

Nordlichthäufigkeit, der aber keineswegs gesichert ist. Diese Theorie ist, was die Strahlenrichtung betrifft, identisch mit der von *Paulsen,* aber beide entgegengesetzt zu der Wahrnehmung selbst, denn niemals wurde beobachtet, daß die Strahlen beim Polarlichtbogen sich dem Bogen zu bewegt hätten. Diese Theorie erklärt wohl das Zustandekommen der Korona, aber weder deren Fixlage noch die des Bogens; unvereinbar ist mit ihr auch das Auftreten niedrigen Polarlichtdunstes. Für die Verschneidung des sogenannten Torus, der inneren Grenzfläche der Kathodenstrahlung, gegenüber der Erde ergibt sich für ß-Strahlen eine Breitenlage von 85—87° und für a-Strahlen 71—74°, Zahlenwerte, die von 67° erheblich abweichen und für a-Strahlen ergeben sich dann wieder zu große Laufzeiten rücksichtlich des Weges Sonne—Erde.

XI. Neue Theorie

a) Asteriten als Lichtträger und ihre Entstehung. Gemäß *Vegards* Abhandlungen aus den Jahren 1925—1928 soll der Träger des Polarlichts in erster Linie verfestigter Stickstoff mit etwa 95 % Beteiligung und in zweiter Linie verfestigter Sauerstoff sein. *Vegard* spricht von verfestigten Gasen, von Stickstoff- bzw. Sauerstoffstaub. Auf Grund von Versuchen im Kältelaboratorium zu Leiden, woselbst *Vegard* das grüne Phosphoreszenzlicht verfestigten Stickstoffs bei Kathodenbestrahlung beobachtete, nimmt er in Höhen über 300 km 50° absolute Temperatur an. Diese kristallisierten Partikelchen, die sich späterhin beim Absinken wieder verflüssigen und vergasen, sollen infolge photoelektrischer Wirkung kurzwelliger Sonnenstrahlen, also bei Tag, nach Aufladung in höchste Höhen getrieben werden. Letzteres erscheint allerdings sehr unwahrscheinlich, denn Polarlichter treten eben auch in den polaren Regionen auf, in denen zeitweilig ewige Nacht herrscht. Aber gerade die Annahme von Kriställchen als paramagnetische Lichtträger wird sich in Verknüpfung mit den nachfolgenden Ausführungen als wesentlich gerechtfertigter für die Erklärung der Polarlichter erweisen, als dies durch die Theorie von *Vegard* geschieht.

Solche kleinste Kriställchen, wahrscheinlich gebildet von Stickstoff und Sauerstoff, werden hier als Asteriten bezeichnet, da sich zeigen wird, daß sie mutmaßlich länglich gestreckt sind, wie die Asteriten in gewissen Mineralien, aber nur selten, ja spärlich, auch asteritische Erscheinungen bei Nordlichtern hervorrufen. über die optische Wirkung solcher Asteriten in Mineralien und im Bereich der Meteorologie hat der Verfasser 5 Arbeiten veröffentlicht, welche im Literaturverzeichnis aufgeführt sind.

Rücksichtlich folgender Daten für Stickstoff und Sauerstoff:

	Krit. Temp.	Krit. Druck	Siedep.	Schmelzp.	spez. Gew.H=1	spez. Gew. flüssig
Stickstoff	-147°	33,49 Atm.	-195°	-210,5°	13,9	0,885
Sauerstoff	-118,8°	49,71 Atm.	-183°	-219°	15,9	1,135

und rücksichtlich der Angabe von *Crommelius,* daß für Stickstoff bei —191,8° der zugehörige Verflüssigungsdruck immer noch 1,47 Atm. beträgt, ist gemäß allerdings gewagter graphischer Interpolation zu erwarten, daß bei den in Betracht kommenden hohen Verdünnungs- graden von etwa 4,3 *10 ^{11} mm Hg die zur Bildung der N- und O-

Asteriten nötige Temperatur nahezu um den absoluten Nullpunkt liegen muß. Als Kristallform wird von *Wahl* für Stickstoff (N) das reguläre System angegeben, für den Sauerstoff jedoch zwei Systeme, von denen eines bei —227° hexagonal ist. Spezifisch dürfte, der flüssigen Phase nach zu urteilen, fester Sauerstoff schwerer als fester Stickstoff sein. Als kleinste Masse für die Asteriten aus Stickstoff und Sauerstoff wären nach *Perrin* die Molekular werte 45 • 10 ^{24} bzw. 52 • 10^{-24} gr. anzusehen.

Der Vorgang der Asteritenbildung dürfte sich als Auswirkung der Fliehkraft der Erde für ihre Atmosphäre erklären, denn dieselbe hüllt die feste Erde wohl kaum konzentrisch, sondern ellipsoidisch ein. Allerdings ist das Achsenverhältnis dieses Ellipsoids unsicher, nach älteren Untersuchungen soll es 2:3 sein. Auch *Vegard* vertritt die Ansicht, daß der fragliche N-0-Staub am Äquator höher geschichtet ist als an den Polen.

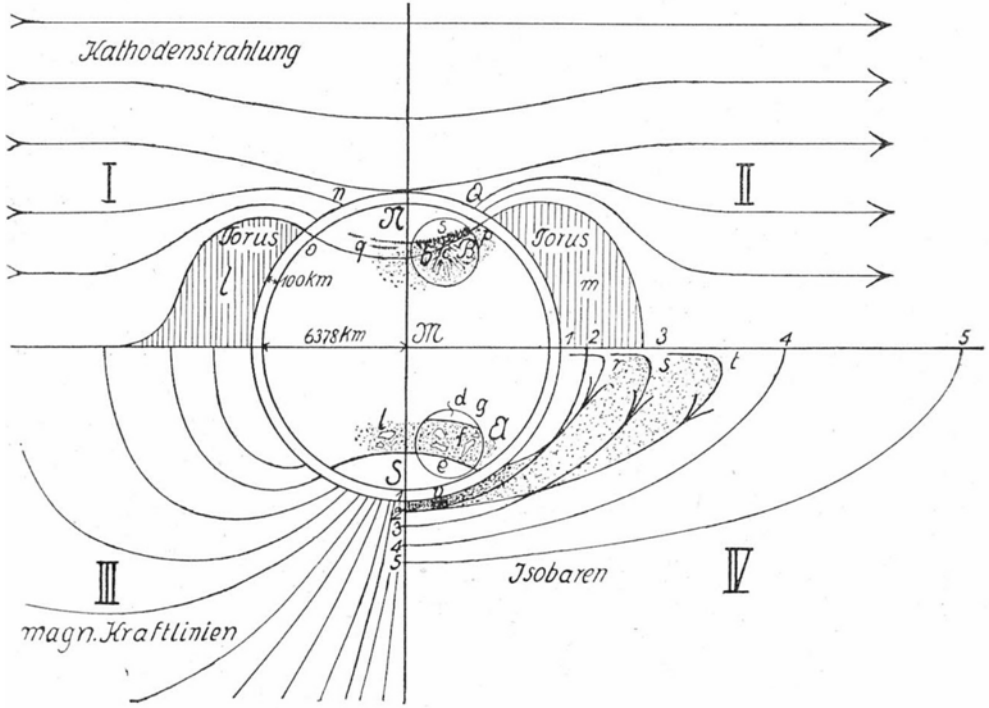


Abbildung 21

Quadrant I und II — Kathodenstrahlen umfluten die Erde, l und m Torus; Quadrant III — Isoklinen; Quadrant IV — Isobaren und Abwandern der Asteriten aus äquatorialen Gebieten r und s nach dem magnetischen Pol (v). A Himmelsgewölbe über einem Beobachter A, mit Polarlichtdunst f, Lücken 1,

Im Quadrant IV der Abb. 21 ist, schematisch übersteigert, ein Viertel eines achsialen Längsschnitts des atmosphärischen Rotationsellipsoids mit den Isobaren 1, 2, 3, 4, 5 wiedergegeben. Für den Bestand eines solchen Ellipsoids sprechen die photochemischen Untersuchungen von *Strakosch* in Ägypten. *Strakosch* schreibt zusammenfassend: „Man sieht, wie sich die relative chemische solare Intensität im Verhältnis zur Sonnenhöhe bei unbedeckter Sonnenscheibe und bei ganz oder beinahe ganz wolkenlosem Himmel mit fast gesetzmäßiger Regelmäßigkeit, entsprechend der Annäherung an den Äquator, stetig verringert. Wenn es gestattet ist, Vermutungen darüber Ausdruck zu geben, so läge die am nächsten, daß man es hier mit einer Dämpfung des Lichts durch die Verstärkung der Atmosphärenhülle der Erde um den Äquator zu tun haben könnte.“ *M. v. Smoluchowsky* hat aus Zentripetal- und Zentrifugalkraft den Äquatorradius der Atmosphäre zu 42 000 km, den Polarradius zu 28 000 km berechnet. Einen unmittelbaren Beweis für die zentrifugal bedingte äquatoriale Hebung der atmosphären Isobaren, scheinen die Beobachtungen der Himalayaexpedition von *Bauer* abzugeben, denn die photogrammetrisch ausgemessenen Höhen ab 6 000 m lagen immer unter den barometrisch festgestellten, aber bei denen unter 6 000 m war es gerade umgekehrt. Weitere diesbezügliche Beobachtungen wären sehr bedeutungsvoll.

Bei der Auflockerung der Atmosphäre äquatorwärts, unter dem Einfluß der Fliehkraft, die eine Dichteabnahme bei gleicher Höhe mit sich bringt, dürfte die ab 20 km deutlich zu beobachtende Zunahme des Stickstoffs und Heliums gegenüber dem schwereren Sauerstoff eine Verstärkung erfahren. Infolge der gesteigerten Fliehkraft am Äquator gelangen hier die Luftteilchen rascher als irgend sonstwo in Temperaturgebiete, in denen sich Kondensation und weiterhin Erstarrung für sie aus wirken werden; es bilden sich N- und O-Asteriten, deren Aufwärtsbewegung durch die Volumenabnahme der Luftteilchen beim Übergang der gasförmigen zur festen Phase beendigt wird, worauf sie zurückfallen sollten. Für eine über die ganze Erdatmosphäre bestehende Verteilung von Asteriten spricht die Feststellung von *Yutema,* daß die Helligkeit des Nachthimmels zenitwärts ab-, horizontwärts aber zu- nimmt. Es kann daher die Beleuchtung des Nachthimmels nur zu einem Teil dem direkten Licht kleiner einzelner Sterne zu verdanken sein. Die große Helligkeit der hellen Nächte muß einer noch unbekannten Lichtquelle ihre Entstehung verdanken. *Yutema* nennt diesen Anteil das Erdlicht und sieht als Ursache mit *A. Paulsen* eine Art beständigen Nordlichts au, das den ganzen Himmel mehr oder weniger erleuchtet. Als Träger dieses Erdlichts dürften eben Asteriten in Betracht kommen, was sich aus den weiteren Erörterungen ergibt.

b) Paramagnetische Orientierung der Asteriten. Für die hier zu erörternde Theorie des Polarlichts ist die Heranziehung vermutlich paramagnetischen Verhaltens des von *Vegard* in Erwägung gezogenen N- bzw. O-Staubes bzw. der Asteriten wesentlich und neu. Nach den Beobachtungen von *Wiersma* betragen die spezifischen Suszeptibilitäten x, deren Anwachsen einem gesteigerten Magnetismus entspricht für Sauerstoff bei verschiedenen Temperaturen:

0_2 1 Atm.	— 182°,	x	=	$324*10^{-6}$
0_2 flüssig	— 183°,	x	=	280*10-6
0_2 flüssig	— 208°,	x	=	241*10-6
0_2 fest	— 253°,	x	=	375*10-6
0_2 fest	— 260°,	x	=	$500*10^{-6}$

Für Luft bei 18° G mißt x = 0,027-10 ~^{6} und für Stickstoff (1 Atm. 16° G) mißt x — 0,001 • IO^{-6}. *Faraday* beobachtete für Stickstoff in Kohlensäure diamagnetisches, aber in Steinkohlengas paramagnetisches Verhalten, in Bestätigung der Regel, daß sich ein paramagnetischer Stoff innerhalb eines stärkeren paramagnetischen Mittels als diamagnetisch erweist. Beim Sauerstoff tritt deutlichst die allgemeine Feststellung in Erscheinung, daß der Magnetismus sich bei sinkender Temperatur verstärkt. Auf Grund obiger Daten kann angenommen werden, daß die hexagonal-länglichen Sauerstoffasteriten paramagnetisch sind, kaum aber die aus Stickstoff bestehenden.

Die Folge vorausgesetzten paramagnetischen Verhaltens beider Asteritenarten wäre, wie im Quadrant IV der Abb. 21 durch Pfeile und Punktierung angedeutet ist, die Abwanderung der O-Asteriten und vielleicht auch der mitbewegten N-Asteriten aus den äquatorial hochliegenden atmosphärischen Schichten r, s, t zum Pol S, woselbst eine Sammlung derselben bei v erfolgt. Obgleich nun das magnetische Feld der Erde mit 0,29—0,69 Gauss (1 Gauss = magn. Kraft = 1 cm Va.g^{1}^ * sec—^{1}) 1400—3400 mal schwächer als die Schwerkraft ist, so dürfte sie doch mit dieser zusammen genügend Richtkraft für die O-Asteriten haben. Bei ihrem Absinken aus Höhen von vielleicht 4 000 km werden nun die O-Asteriten immer mehr Widerstand innerhalb der sich verdichtenden Atmosphäre finden und schließlich zur Schwebe, zum Stillstand, zum Schmelzen kommen und zwar im Niveau von 100 km, woselbst das Polarlicht heimisch ist. Hiemit erklärt sich auch die Tatsache, daß die Polarlichtbogen sich nach unten schärfer als nach oben absetzen. Aus dem Ansteigen der unteren Schwebgrenze der Asteriten gegen den Äquator zu findet die Tatsache ihre Erklärung, daß von den Polen aus sich äquatorwärts die untere Grenze der Polarlichter hebt. Was die bezüglich des Magnetismus fraglichen N-Asteriten betrifft, so fallen diese wohl, insoweit sie nicht von den O-Asteriten mitgeschleppt werden, in den äquatorialen Gegenden wieder zurück.

Der Quadrant III der Abb. 21 gibt schematisch im Achsialschnitt die magnetischen Kraftlinien wieder, welche der wachsenden Inklination entsprechend, immer steiler gegenüber der Erdoberfläche einfallen und

sich in Polnähe zusammendrängen. In Wirklichkeit bestehen aber keine Kraftlinien, sondern Kraftflächen, Umdrehungsflächen, die sich mit der Erdoberfläche bzw. mit einer darüber befindlichen, in 100 km distanzierten Schale der Asteritenschmelzzone in Breitenkreisen schneiden. Hiedurch bedingt sich die ungefähre Anordnung der Asteriten längs Breitenkreisen (f, g), deren Lage je nach den Anflugs weiten der Asteriten und des magnetischen Erdfeldes mehr oder weniger weit polwärts ist. Dabei werden jedoch die Asteriten keineswegs stets geschlossene Kreise bilden, sondern nur Stücke solcher umfassen, auch wird es sich vielfach nicht allein um schmale Ringe von Asteriten handeln, sondern meist um wechselnd breite Gürtel, die sich äquatorwärts heben, wodurch sich die höhere Lage der Polarlichter in Südnorwegen erklärt. Bei der Entfaltung solcher ringförmiger Draperien um den vulkanischen Mt. Erebus, wie dies die Abb. 15 zeigt, dürfte sich vielleicht lokal verstärkter Magnetismus infolge magnetischen Basaltgesteins geltend machen.

Da hier und dort Asteritenbildung ausblieb oder die Asteriten unregelmäßig polwärts wanderten, entsteht Anlaß zu Lücken (1) innerhalb der Asteritengürtel. Auch Abb. 7 zeigt bei (1) solche dunkle Partien am Polarlichthimmel, die asteritenfrei sind, gleich den Segmenten *s1* und s_2. Ein Asteritenring oder Teilring bewegt sich also mit der Erde, mit dem Beobachter, er behält sein Azimut bei. Da sonnenbeschienene Endabschnitte sowohl frühmorgens als spätabends bei starken Polarlichtbogen auftreten, so ergibt sich aus letzterem Fall, daß die Asteritenballung auch bei Tage möglich ist, allerdings in wesentlich größeren Höhen als auf der Nachtseite, was der um ein Mehr von 150 km gehobene sonnenbeschienene Flügel beweist und sich unmittelbar aus der Wärmewirkung der Sonne auf die Asteriten, welche hier geschmolzen und verdampft werden, erklärt. Augenscheinlich ist, daß die Asteriten innerhalb der polaren Kalotten wegen der Kälte ihrer Luftmassen tiefer als in mittleren Breiten einsinken können, ja es scheint, daß dies sogar bis zum Erdboden möglich ist und zwar eher für die N-Asteriten als für die O-Asteriten, da deren niedrigerer Schmelzpunkt mehr Wärmezufuhr zum Schmelzen bedarf. Hält nun das Phosphoreszenzlicht, welches ihnen in höheren Regionen verliehen wurde, an, so kommt ein am Boden haftendes Polarleuchten zustande. An den relativ langen Bestand flüssiger Luft bei normalen Bedingungen sei erinnert.

Durch Filtrierung polarer Luft unter Verwendung tiefgekühlter Apparate bestände vielleicht die Möglichkeit, Asteriten zu sammeln und mikroskopisch wahrzunehmen. Einen unmittelbaren Hinweis für das Vorhandensein paramagnetischer Asteriten gibt die weitgehende Übereinstimmung der azimutalen Lage der Polarlichtbögen mit den Isodyn amen der magnetischen Horizontalintensität. In der Abb. 1 wurden nach *Vegard* für einige Orte der zircumpolaren Nordregion die durchschnittlichen Richtungen homogener Polarlichtbögen eingetragen, als auch nach *Neumayer* die Isodynamen der magnetischen Horizontal- intensität, gültig für die Epoche 1900/0 im G. G. System Gauss. Es sei bemerkt, daß die Isodynamen der magnetischen Totalkraft nicht allzu sehr von denen der Horizontalintenjsitat, insbesondere nicht in den polaren Kalotten, abweichen, da hier die Inklination meist über 75° beträgt und die Isoklinen selbst einen ähnlichen Verlauf wie die Kurven der Abb. 1 haben. In der Merkatorprojektionskarte der Isodynamen der Horizontalintensität kommt die starke Krümmung der Isodynamen 0,02—0,06 Gauss in der Gegend des Baffinslandes viel stärker zum Ausdruck als in der Abb. 1. Wenn auch etwas abwegig, so sei hier doch auf die erstaunliche Übereinstimmung der Isodynamen der Horizontal- Intensität mit dem Verlauf der Jahresisothermen, besonders in den zirkumpolaren Gegenden, hingewiesen und da Kälte den Magnetismus, hier wohl den permanenten Erdmagnetismus, begünstigt, der demnach allerdings nahe der Erdoberfläche sein müßte, ist eine ursächliche Verknüpfung beider Wahrnehmungen nicht von der Hand zu weisen.

Nicht allein, daß sich nun richtungsgemäß die Polarlichtbögen bei Gjöahavn, F. Rae, Kinguafjord und Godthaab auf diese Krümmung einstellen, sondern am tiefsten Punkt schärfster Krümmung, am Kinguafjord kommt diese Krümmung auch unmittelbar in der Form des Polarlichtbogens Abb. 4 durch eine entsprechende eigentümliche Überkippung zum Ausdruck. Gleichartig dürfte es sich mit dem überkippten Polarlichtbogen der Abb. 5 vom Palmerarchipel verhalten, denn auch hier in der Antarktis zeigen die Isodynamen der Horizontalintensität in Steigerung ihrer Einschnürung am Kap Horn eine allerdings nunmehr polwärts gerichtete starke Krümmung.

Bis jetzt wurde diesbezüglich nur betont, daß die Polarlichtbögen mehr oder weniger senkrecht zu den magnetischen Meridianen stehen, auch hier und dort systematische, aber ursächlich unbekannte Abweichungen zeigen, wenn von denjenigen abgesehen wird, die sich an die Bedeutung des maximalen, aber fragwürdigen nördlichen Polargürtels anschließen. Unter magnetischem Meridian werden hier die durch die magnetischen Pole gehenden Großkreise verstanden, nicht die Deklinationsrichtungen. In der Abb. 21 bedeuten die Kreise A und B Himmelsgewölbe über Beobachter A und B. A sieht einen breiten Asteritengürtel mit Lücken zwischen den Segmenten d und e. B sieht über einem Segment s den leuchtenden Bogen b und die Korona c.

Die von *Harang* erwähnten systematischen Abweichungen der Polarlichter Skandinaviens mit einer kleinen Drehung im Sinne des Uhrzeigers, schließen sich eng an die Isodynamen der magnetischen Horizontalintensität an.

c) Asteriten und Ionosphären Schichtung, Ab 100 km Höhe spricht man die Atmosphäre wegen ihres Gehalts an N- und O-Atomen neben den Molekülen selbst als Ionosphäre an. Näheren Aufschluß über deren Schichtung brachte die Reflexstrahlung von Radiowellen. Man kennt, wie bereits erwähnt, die *Kennelly-Heaviside*-Schicht, auch E-Schicht genannt, in 100 km Höhe und die *Appleton*-Schichten in 230—400 km, deren untere Partien F1 von den oberen F_2 abgetrennt werden. Aus den Reflexionen verschiedener Wellenfrequenzen ergibt sich die

Grenzwellenlänge, für welche jeweils eine Durchdringung der Schicht möglich ist und man erhält damit ein Maß der Ionisation. Da die für diese Echo nötigen Zeitintervalle auf Oszillographenbänder photographisch registriert werden, erhält man ein relatives Bild der Schichtenlagerungen. Jonisation und Sonnenstrahlung stehen in direkter Beziehung zueinander, so daß das Maximum der Jonisation besonders bei der E- und F_1-Schicht deutlichst um Mittag, das der F_2-Schicht aber um ein paar Stunden nach Mittag eintritt.

Offensichtlich ist die Übereinstimmung der E- und F_2-Schichten mit den unteren Grenzen der nächtlichen bzw. der sonnenbelichteten Nordlichter, was die Abb. 22 zeigt, zugleich aber auch die Übereinstimmung mit den entsprechenden Sedimentationsgrenzen der Asteriten, welche durch Druck und Temperatur bestimmt werden.

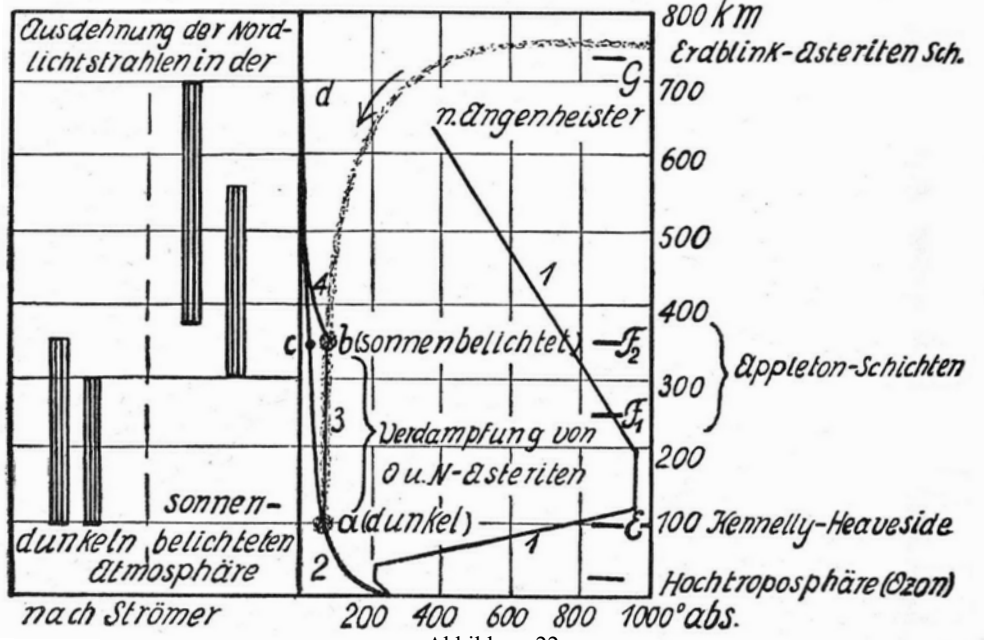


Abbildung 22

Jonosphärenschichtung E, Fl5 F2, G in Abhängigkeit von der Asteritenlagerung bei Dunkelheit und Sonnenbestrahlung. 1 Temperaturkurve nach Angenheister, 2, 3, 4 nach Maier.

In der Abb. 20 ist das Absinken der magnetisch an gezogenen Asteriten angedeutet, die sich in a (Querschnitt) anhäufen, um Bogen und Draperien zu bilden, so daß von (a) auch die größte Lichtintensität ausgeht. In den Abb. 20 und 22 entsprechen sich die Sammelgebiete (a) der Asteriten in ca. 100 km Höhe. Wird solch ein Sammelgebiet, dem die Temperatur von 83° abs., anlehnend an die Siedepunkte von O und N zukommen mag, von den Sonnenstrahlen getroffen, dann zieht es sich in kältere Regionen nach (b) zurück, woselbst die Strahlung gerade noch ausreicht, um die Asteriten zu verdampfen. Die Strecke (ab) in Abb. 22 ist infolge des hier herrschenden Dampfzustandes isotherm, eben etwa 83° abs. Wäre das Albedo der Asteriten bekannt, so ließe sich wohl nach dem *Stefan'schen* Gesetz die Temperatur in (c) der Kurve (2), welche den mutmaßlichen Temperaturabfall nach der Höhe darstellt, berechnen, überschlägige Berechnungen scheinen darauf hinzuweisen, daß nur ein kleiner Teilbetrag der solaren Energie von 1,9 cal. qcm. min. nötig ist, um die Asteriten bei diesen tiefen Temperaturen zu verdampfen. Ab (b) schließt sich der isotherme Kurvenabschnitt (3) durch (4) wieder an (2) an. Gegenüber der Kurve (1) nach *Angenheister*, die zu abnormen Temperaturerhöhungen führt, haben die Kurvenabschnitte (2—3—4) für den Ablauf sonnenbeschienener Nordlichter mehr Wahrscheinlichkeit für sich und dies insbesondere dadurch, daß die N- und O-Asteriten etwas verschieden hoch verdampfen und deshalb ohne weiteres untergeordnete Schichtenbildung eintritt, wie dies die Oszillogramme zum Ausdruck bringen, wobei unbenommen bleibt, daß sich in den Verdampfungszonen Jonenbildung einstellt.

Fragwürdig bleibt, warum die bis jetzt angenommene Einwanderung solarer Korpuskeln die Ionisierung in ausgeprägten Schichten und nicht irgendwie gegen die Erde rhythmisch abfallend bewirken soll. Rücksichtlich der Arbeiten des Verfassers über „das Phänomen des Sonnendoppelschattens“ neigt derselbe der Ansicht zu, daß die notwendigerweise in 760 km bestehende Reflexschicht für den Erdblink aus Asteriten besteht und für dieselbe die Bezeichnung G-Schicht in Fortsetzung der E- und F_1? F_2-Schichten angebracht ist.

Es scheint übrigens, als ob die seinerzeit auffälligen Abschirmungen des Radioempfangs der *Nobile*- und *Papanin*-Expeditionen durch einen mehr oder weniger vertikalen Asteritenvorhang geschah.

d) Asteriten und Kathodenstrahlung. Die Lichterregung bei den Polarlichtern beruht gemäß kritischen Erwägungen über die in Betracht kommenden und bereits erwähnten Möglichkeiten auf von den Sonnen- flecken emittierten Kathodenstrahlen, welche vom magnetischen Kraftfeld der Erde je nach ihrer Geschwindigkeit verschieden stark über die Nachtseite der Erde hinweg gebeugt werden und die Asteriten zur Phosphoreszenz anregen. *Angström, Paulsen* und *Vegard* teilen die Ansicht, daß im Polarlicht Fluoreszenz- bzw. Phosphoreszenzerscheinungen vorliegen. *Vogel, de la Rive, Stromer* und *Mc Lennan* jedoch die, daß Gasteilchen zum Leuchten kommen. Erwägt man das Bemühen um das immer schärfere Erfassen der einzelnen Linien des Polarlichtspektrums und das um experimentelle Parallelisierungen, so läßt sich, wie schon dargelegt wurde, kaum feststellen, daß hier bereits ein Abschluß erreicht wäre. Insbesondere bewegten sich die Experimente zur Hervorrufung der grünen Polarlichtlinie vorwiegend in der Richtung, Gas- moleküle unter verschiedenen Versuchsbedingungen, vor allem stofflicher Natur, zum Erglühen zu bringen. Hält man aber an kalt verlaufenden Phosphoreszenzerscheinungen fest, dann kommen den Beobachtungen von *Bequerel* besondere Bedeutung zu, daß manche Körper, so Schwefelstrontium, in ihren Phosphoreszenzfarben bei Temperatur-

Schwankungen großen Wechsel erfahren, denn gerade das reiche, von Asteriten bedingte Farbenspiel im Polarlicht dürfte sich daraus erklären. Hier sei auch auf die Beobachtungen von *Bardetscher* hingewiesen, nach denen sich Körper, die aufgehört haben zu phosphoreszieren, dies bei Erwärmung erneut tun, da unter Umständen ein derartiges Verhalten sich bei niedrig stehendem Polarlichtdunst aus wirken kann.

In Übereinstimmung mit dem *Birkeland'schen* Versuch an der Terella wurde in den Quadranten I und II der Abb. 21 schematisch der Verlauf von linksseitig ankommenden Kathodenstrahlen gegenüber einer magnetischen Erde dargestellt. Die senkrecht schraffierten Räume 1 und m, Torus genannt, werden von den Kathodenstrahlen umgangen, während sie sich bei n und o bzw. in den dazugehörigen Breitenkreisen zusammendrängen.

Auf Grund der Wahrnehmung, daß sehr starke Polarlichter weit äquatorwärts verschoben sind, weil der permanente Erdmagnetismus durch die starke Kathodenstrahlung gewissermaßen überwältigt wird und die Tori kleiner werden, ergibt sich, daß diese Strahlung, welche den Erdball in großer Mächtigkeit umflutet, kaum einseitig gedreht wird, sondern denselben in symmetrischer Glockenform überschreitet. Demgemäß dürften auch die magnetischen Gewitter, welche den Einfall starker Kathodenstrahlen begleiten, nicht durch diese unmittelbar hervorgerufen werden, vielmehr dadurch, daß der innerhalb des Kondensators (negative Kathodenstrahlung — positive Atmosphäre — negativ geladene Erde) befindliche Magnet Erde, der sich zudem dreht, in Übereinstimmung mit den Entladungen dieses Kondensators Intensitätsschwankungen erleidet. Darüber, daß diese Entladungen nur bei starken Polarlichtern offensichtlich werden, wurde bereits geschrieben. In den Diagrammen erdmagnetischer Registrierstreifen zählt man vielfach bis 30 Schwankungen in der Stunde und das sind nur die gröbsten, sie alle wirken sich auf die Anordnung der paramagnetischen Asteriten aus.

e) Periodizität der Polarlichter. Fraglich ist, ob die Kathodenstrahlen die Erde durchaus derart umströmen, daß allseits ein ringförmiger Raum, entsprechend einem Rotations-Körper mit den Torusquerschnitten 1 und m, bestehen bleibt, oder ob nicht eher seitlich ein geringerer und in der Abströmungsrichtung ein größerer Abstand von der Erde gewahrt bleibt. Dies ist sehr wahrscheinlich und ohne eine solche Verschiedenheit ließe sich nur schwer die tägliche und jährliche Periode der Polarlichthäufigkeit erklären. Mit der Abb. 23 ist schematisch dargestellt die Erde mit ihrem Mittelpunkt M und einer sie umgebenden Atmosphärenschale von 100 km Dicke, deren äußere Schicht der unteren Sedimentationszone der Asteriten entspricht. Die Erde erhält von links Sonnenstrahlung, die den Pol (P) zur Äquinoktialzeit tangiert, auf der Erdoberfläche die Schattengrenze PEM hervorruft und sich mit der Schale der Asteritensedimentation in einem zu der Schattengrenze gleich großen parallelen Kreis LGO schneidet. Über die polare Kalotte strömt nun die Kathodenstrahlung, gleichfalls von links kommend, hinweg und bildet in

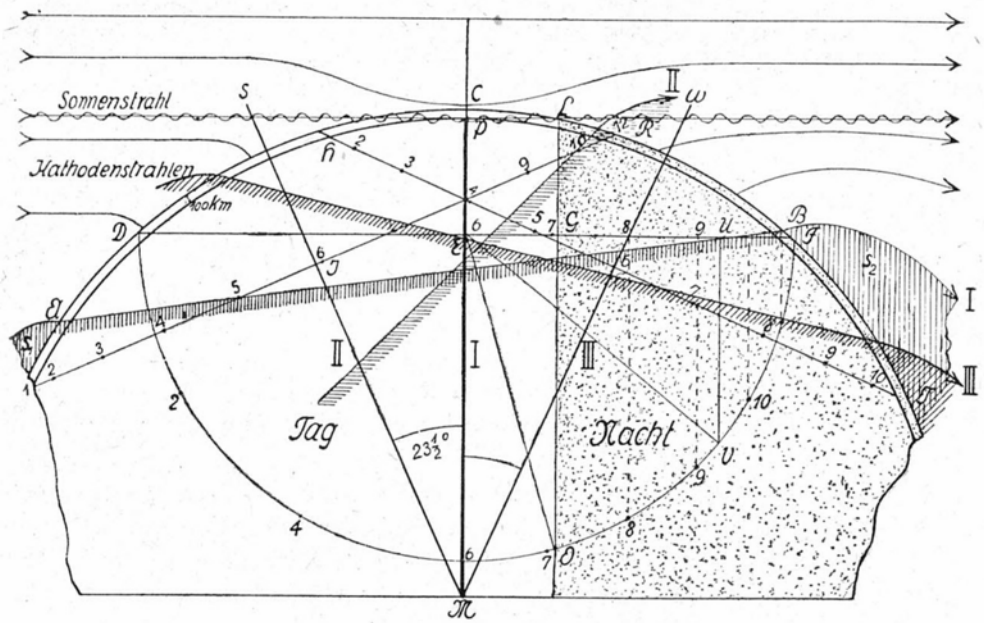


Abbildung 23

Abhängigkeit der Periodizität der Polarlichter von der Torus läge, zur Zeit der Solstitien II und III und der Aequinoktien I.

Übereinstimmung mit dem Terellaversuch rechtsseitig einen größeren Torus (s_2, 1) als links ($s_\pm$) und setzt sich äquatorwärts schematisch mit einem gegenüber MP schräg verlaufenden Grenzkreis (AB) ab. Weiterhin sind den Äquinoktial- und Solstialzeiten entsprechend die Erdachsenlagen MG (I), MS (II) und MW (III) eingetragen. Daß MG mit MW und MS in eine Ebene gestellt wurde, ist eine rein praktische Maßnahme, ohne der Wirklichkeit zu entsprechen; ferner wurden eingezeichnet die polwärts gleich weit gelagerten Parallelkreise DF, HT und IR, längs und über denen sich die paramagnetischen Asteriten gelagert haben mit ihren Stundenpunkten 1—12, deren Gewinnung für EF mit dem umgeklappten Stundenkreis OF geschah. Zur Äquinoktialzeit tritt ein Punkt des zugehörigen Asteritenkreises erst bei G in den Erdschatten über, dies ist der Projektion im Stundenkreis zufolge etwas nach 7 Uhr, und kommt im Phosphoreszenzlicht leuchtend bis zum Schnittpunkt U des Asteritenkreises mit dem Grenzkreis AB der Kathodenstrahlung; dies ist dem Projektionspunkt V gemäß um 9.20 Uhr. Weiterhin verläßt der Asteritenkreis, in den Torus s_2 eintauchend, die vom Kathodenlicht umflossene Kappe, so daß das Polarlicht bei dieser äquinoktialen Konstellation nur von 7 Uhr bis 9.20 Uhr dauert, um nach Mitternacht während symmetrisch gelegener Zeitpunkte erneut zu strahlen.

Durchaus ähnliche Erwägungen führen zu der Feststellung, daß zur Winterszeit (III) auf der nördlichen Kalotte die Toruslage III und für den Asteritenkreis HT ein Polarlicht nur möglich wäre von 5.10 Uhr bis 6.40 Uhr und für den Asteritenkreis

JR und den Torus II zur Sommerzeit (II) von 9.40 Uhr bis 10 Uhr bzw. gleichlang für symmetrisch gelegene Zeiträume auf der östlichen Himmelshalbkugel. Demnach bestehen auf der Nordhalbkugel im Herbst, Winter und Frühjahr täglich zwei Polarlichtmaxima, die nach und vor der Dämmerung liegen; im Sommer hingegen sind Polarlichter überhaupt nur in dem um Mitternacht gelegenen Zeitraum möglich. Augenscheinlich ist, daß eine Verschiebung des Grenzkreises der Kathodenstrahlung und des Asteritenkreises die oben bestimmten Zeiträume abändern, doch ergibt sich immerhin aus dem behandelten Schema eine gewisse Zeitvoraussage, wenigstens für die Möglichkeit von Polarlichtern. Sonnenbeschienene Polarlichter im Übergang zu beschatteten treten naturgemäß an der Schattengrenze LO auf. Da sich zur Äquinoktialzeit der die Asteriten führende Kreis am längsten unterhalb der von den Kathodenstrahlen eingehüllten Kalotte bewegt, so kommt dieser Jahreszeit auch das Maximum der Polarlichthäufigkeit zu.

f) Asteriten und Polarlichtformen, über die Bildung des Polarlichtdunstes durch Asteriten wurde bereits einiges geschrieben, es sei jedoch hinzugefügt, daß die von *Murray* im Abschnitt III a erwähnte Bindung des Südlichts an den Oberflächen und Rändern von Wolken auf eine feste Phase der Lichtträger (Asteriten) schließen läßt, die sich beim Absinken daselbst angereichert haben. Mit der Abb. 24 soll nun insbesondere für die höchst entwickelte Form des Polarlichts, über das mit *Bogen* und *Strahlenkranz,* die Entstehungsweise klargelegt werden. Ein Gesamtbild dieser Erscheinung am Himmelsgewölbe gibt die Abb. 7, die Abb. 24 dagegen ist ein Blockdiagramm. B in Abb. 24 entspricht dem Standort des Beobachters auf dem Erdsektor DTS unter dem Breitenkreis KB, und die Horizontebene (B, o, p) schneidet die etwa 100 km von ihr entfernte Sedimentationsgrenze der Asteriten, d. h. die Grenzfläche EGR, woselbst die Luft weiterem Eindringen der niedergehenden Asteriten zu großen Widerstand bzw. Schmelzwirkung entgegensetzt in dem Schnitt (n, l, p, o). Die willkürlich in weiteren 400 m Distanz angenommene Atmosphärengrenze PHJ wird von der Horizontebene nach LP geschnitten. Die Sonne steht tief unter dem Horizont, es ist Winterzeit und ihre unterste Strahlenrichtung gibt TU an, hingegen flutet magnetisch abgebeugte, solare Kathodenstrahlung in Richtung der Pfeile und der Frontlage (u, v) über die polare Kalotte herein, um dann wieder ins Weltall abzuströmen. Während dieser Abbeugung treffen die Kathodenstrahlen auf die magnetisch längs und zwischen den nach außen projektiv gedachten Isodynamen (c, d) und (e, f) der Horizontalintensität ausgerichteten asteritischen Anhäufungen wechselnder Dichte, Ausdehnung und Höhe und bringen diese zum Leuchten. Da die Front der Kathodenstrahlung (u, v) schräg auf die Asteriten wand (a, b, c, d) und die nachfolgenden Asteriten trifft, entsteht eine von unten nach oben gerichtete Phosphoreszenz. Eine etwa wulstförmige Asteritenmasse wie bei (y) erscheint als ein am Horizont liegender Polarlichtdunst, der sich aber durch Hebung oder Einengung infolge magnetischer Kraftfeldverschiebungen zu einem homogenen Bogen entwickeln kann. Fallen von solch einer Anhäufung (y) Asteriten in

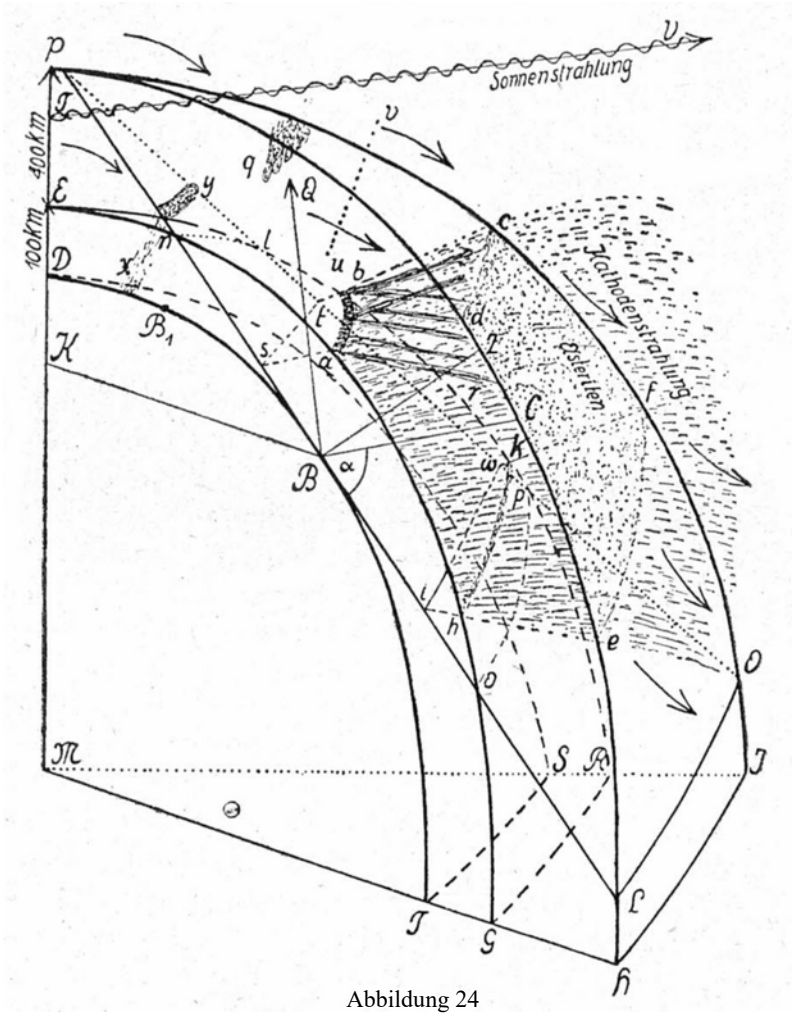


Abbildung 24
Blockdiagramra eines Polarlichts. B Beobachter, POL Horizont,
(ab) Polarlichtbogen, r Strahlen, G Korona, t und u Segmente, q Draperie, y und x Polarlichtdunst.

Kaltluftzonen von etwa —40° nahe der Erdoberfläche so bei (x), dann treten für einen Beobachter hier phosphoreszierende Bodennebel auf, was aber auch durch unmittelbaren Asteritenfall eintreten könnte. Ist die Asteritenzone (c, d, e, f) breit und haben sich am polwärtigen Rand (a, b, c, d), insbesondere an der unteren Grenzfläche, viele Asteriten zusammengedrängt, dann bildet sich ein Polarlichtbogen (ab) mit Strahlenkranz (abcd). Dies aber nur nach und nach, in dem Maße, als sich steigernder magnetischer Einfluß geltend macht und sich immer mehr Asteriten längs den Kraftlinien, die mehr oder weniger streng gleichgerichtet zu der Inklinationsrichtung am Beobachtungsort einfallend, zu parallelen Bündeln (r) formieren. Die Steigerung der magnetischen Ausrichtung erfolgt von unten nach

oben, entsprechend dem Übergang vom homogenen Bogen, bei dem die Asteriten noch wirr durcheinander liegen, über solche, aus denen einzelne Strahlen aufsteigen, bis zum Bogen mit buntem Farbenspiel. Bei besonders starken Polarlichtern, wie bei dem von *Kenan* beschriebenen, kann die Parallelisierung der Asteriten längs der Kraftlinien so zunehmen, daß durch rasches, verschieden langes Emporzucken der Strahlen der Eindruck einer Leiter mit Sprossen entsteht. Das scheinbare Wandern der Lichtstrahlen quer zum Lichtbogen erklärt sich aus dem Pendeln zerspaltener Kathodenstrahlen, deren Wellenlängen zudem unter dem Einfluß des rotierenden Magnet „Erde" keineswegs homogen sein dürften, so daß Anlaß zu wechselnden Beleuchtungs- und Farbeffekten gegeben ist. Mit zunehmender Kathodenstrahlung schiebt sich dieselbe äquatorwärts vor, beleuchtet immer weitere unter der Inklinationsrichtung eingestellte Asteritenmassen und die Perspektive führt zur Erscheinung der Korona bei (C), dem magnetischen Zenit. Zur Ausbildung eines dem polaren Segment (sabt) gegenüberliegenden, wenn auch schwächeren Segments (ihkw) kommt es, wenn der Asteritengürtel sehr breit ist. Daß innerhalb dieser unter 100 km Höhe liegenden Segmente auch bei starker magnetischer Orientierung sich keine Asteriten befinden und damit auch keine Polarlichtlinie feststellbar ist, ist augenscheinlich.

Nachhaltig ist zu betonen, daß die Stabilität des Bogens am Horizont während der oft mehrstündigen Dauer eines ausgeprägten Polarlichts durch die mit der Erde mehr oder weniger vollkommene, gleichzeitige Drehung der Asteritenansammlungen gesichert wird, indem letztere in die am Pol abgebeugten Kathodenstrahlen auf der Nachtseite der Erde übertreten, und zwar in wechselnde Abschnitte derselben. Infolge Erddrehung entsteht der bedeutende Wechsel im Lichtgewoge des Polarlichts, dessen Stärke weiterhin durch magnetisch bedingte Verdichtungen und Verdünnungen der Asteriten stark schwankt.

Die seltsame Erscheinung (Abb. 4 und 5) bei der durch den Bogen gesehen, Draperien wahrzunehmen sind, erklärt sich aus der Möglichkeit, daß sich jenseits eines Polarlichtbogens (ab), also etwa bei q in Richtung BQ gesehen, eine Draperie entfaltet. Dieser Kulissenwirkung gleichzusetzen ist die der konzentrischen Polarlichtbögen, welche hintereinander entstehen. Unschwer ist die Übertragung der Lagebeziehungen des Blockdiagramms auf die Abb. 7, in der zusätzlich die Lichtwogen f und g angedeutet sind, die vielen Polarlichtern eigentümlich sind. Es handelt sich offenbar um Asteritenmassen, die im veränderlichen Magnetfeld auf und ab wogen, vielleicht auch Verdichtungen und Verdünnungen erleiden.

Anders verhält es sich mit den *Pulsationen* des Phosphoreszenzlichts, die wohl auf wechselnden Intensitäten verschiedener Wellenlängen des Kathodenlichts beruhen. Wenn die Lichtwogen bezüglich des Wogens als magnetisch bedingt aufgefaßt werden müssen, dann gilt dies auch von den bis zum Zenit und darüber hinaus wandernden Lichtbögen. Es scheint sich auch hier also um langsam wandernde, durch Kathoden- strahlen beleuchtete, magnetisch sensible Verdichtungen innerhalb der Asteritenstreuung zu handeln.

Bänder, seien es homogene oder gestreifte, sind als magnetisch unregelmäßig entwickelte, homogene bzw. strahlende Polarlichtbögen beschriebener Entstehungsweise, bei denen sich allerdings auch Windströmungen in großen Höhen geltend machen können, aufzufassen. Sowohl aus der Arktis als Antarktis wird von *Nansen* und *Mawson* berichtet, daß das Polarlicht hin und wieder deutlichst mit dem Wind, d. h. in derselben Richtung, gewandert wäre. Vielleicht waren es allerdings auch nur Eiskristallwölken, denen noch phosphoreszierende Asteriten beigemengt waren.

Für die sogenannten *leuchtenden Nachtwolken* mit DämmerungsSpektren, die in Höhen bis 85 km mit 80 m/sec. Geschwindigkeit dahinziehend beobachtet wurden, während Orkane nur 50 m/sec. haben, ist es sehr wahrscheinlich, daß sie aus Asteriten bestehen.

Hier sei angefügt, daß die *Pseudopolarlichter,* also Cirruswolken, welche bei Tage mehr oder weniger deutlich die Form erloschener Polarlichter wiedergeben, als Kondensationserscheinungen an stark abkühlenden Asteriten aufzufassen sind, die, teilweise verdampfend, nach ihrer Bestrahlung und magnetischen Fixierung unter Beibehaltung ihrer gegenseitigen Lage in tiefere Atmosphärenschichten einsanken. Wenn aber in 80 km Höhe mit überaus starken Winden zu rechnen ist, dann können sich solche trotz der großen Verdünnung vermutlich auch noch in Höhen von 100 und mehr km geltend machen und magnetisch orientierte Asteritenmassen deformieren, sei es zu Bändern oder zu diesen oder jenen Turbulenzformen (Abb. 17).

Polarlichtbogen mit *Strahlscheiben* (Abb. 9) bilden sich, wenn innerhalb des Bogens aus weiterhin unbekannten Gründen die Sedimentation der Asteriten abschnittsweise erfolgt; offensichtlich entsprechen die Strahlen den Anflugsrichtungen der Asteriten, welche sich in Scheiben bzw. Kugeln ansammeln.

Durchaus gleichartig verhält es sich mit *Haubenpolarlichtern,* wie sie die Abb. 11 darstellt, nur daß hier die Sammelhaufen der Asteriten am Ende ihrer Anflugstrecken wesentlich kleiner, dafür aber auch zahlreicher sind als in der Abb. 9. Alle andern Haubenpolarlichter sind Beleuchtungseffekte der Kathodenstrahlen in verschiedenstreifig struierten, magnetisch ausgerichteten Asteritensträhnen, deren Perspektive zur Korona, zur Kulmination der Haube führt. Die Sedimentationsgrenze für die Asteriten ist bei diesen Formen noch nicht erreicht.

Letzteres gilt auch für die *Draperien,* welche im allgemeinen viel weniger rein zenital in Erscheinung treten als die Haubenpolarlichter. Sie erwecken mit ihren langen Faltenwürfen den Eindruck, als ob langgezogene Asteritenpartien erst ziemlich rasch und somit mehr oder weniger parallel zur Erdoberfläche von den äquatorialen Bildungszonen abgetrieben worden wären, um sich dann erst in den

polaren Kalotten unter verstärktem magnetischem Einfluß zu jenen erstaunlich zarten Draperien auszudehnen. Deren eigentümlicher, nach unten sich steigernder Faltenwurf spricht für nach unten zunehmenden Wind, entsprechend der atmosphärischen Verdichtung, und vielfach schließen sich nach unten (Abb. 17) noch *Turbulenzformen* asteritischer Wolken an. In den allerdings sehr auffallender Weise komplementären Einsäumungsfarben der Draperien mit Hellgrün oben, Weiß in der Mitte und

Hellrosa unten, scheint der Bestand zweier verschiedenartiger Asteriten zum Ausdruck zu kommen, eben wohl dem von Sauerstoff- und Stickstoffasteriten. Letztere entsprechend dem flüssigen Zustand spezifisch leichter, wahrscheinlich auch weniger magnetisch, bilden den oberen grünen Rand bei der Entmischung und die Sauerstoffasteriten den unteren Rand, während ihre Mischung wie auch beim homogenen Polarlichtbogen weiß erscheint. Aus diesen Erwägungen heraus läßt sich auch verstehen, weshalb die von den Polen weiter entfernt aufleuchtenden Polarlichter im allgemeinen rötlicher sind, denn bei ihnen kann bereits bei der Abwanderung der Asteriten aus den zentrifugal überhöhten Luftregionen am Äquator eine gewisse Trennung eingetreten sein.

Der *Scheinwerfer*- und *Fadentypus* der Polarlichter, besonders letzterer, entspricht, sicherlich teilweise, säulenförmigen Asteritenmassen, andererseits dürfte es sich auch um reine Beleuchtungseffekte bzw. Phosphoreszenz durch einzelne, sei es ursprünglich einzeln, oder durch besonders stark magnetisch abgebeugte Kathodenstrahlen innerhalb einer weithin sich erstreckenden Asteritenmasse handeln. Bei dem Scheinwerferpolarlicht der Abb. 18 besteht allerdings für die aus ihm hervorschießenden dünnen Lichtstrahlen (a) die Möglichkeit einer rein asteritischen Erscheinung, derzufolge innerhalb der Lichtsäule sich Gruppen von Asteriten parallel stellten und so Anlaß zu gerichteter Reflexion boten. Dies spricht aber in hohem Maße für feste Körper, für tiefgekühlte Kristalle, die imstande sind, die Kathodenstrahlen zu reflektieren. Für dieses Scheinwerferphänomen gibt die Abb. 25 des genaueren eine Erklärung. A, ein Beobachter inmitten des Horizonts AG, sieht den ins Weltall vordringenden und die Erde tangierenden Sonnenstrahl nicht. Der durch zwei seitliche, vertikale Flächen begrenzte Kathodenstrahl K_x, der durch den magnetischen Pol M1 abgebeugt wurde, bringt die Asteriten zum Leuchten. Da aber der magnetische Nordpol M1 infolge der Erdrotation nach M_2 wandert, neigt sich der Kathodenstrahl nach K_2.

Einen unmittelbaren Beweis für die Existenz von Asteriten scheint die im Abschnitt III a wiedergegebene Schilderung eines Polarlichts von *Nansen* zu bieten, denn die dunklen Florstreifen, die in Richtung der Sonne auf traten, scheinen nach ihrer Entstehung den dunklen Balken zu gleichen, die der Verfasser in Kugeln aus Asteriten führendem Rosenquarz wahrnahm, wobei es sich um Schatten Wirkungen an Asteriten infolge rückwärtiger Reflexionen handelte. Weiterhin läßt die Beschreibung *Nansens* erkennen, wie die Kathodenstrahlung die Sonnenstrahlung bei Überschreitung der solaren Schattengrenze ersetzend, nunmehr dieselben Asteriten, die erst dunkel erschienen, zum Phosphoreszieren bringt. Ohne Schwierigkeit läßt sich auf Grund der Annahme paramagnetischer Asteriten, die zur Phosphoreszenz durchKathodenstrahlung angeregt werden, verstehen, daß beim Aufhören gesteigerten Magnetismus ausgerichtete Polarlichtformen zerfallen, sich in Dunst auflösen und daß etwa aus hochschwebenden Draperien Dunst und aus diesem vielleicht wieder Bänder und Bögen hervorgehen, wenn sich der Magnetismus wieder belebt.

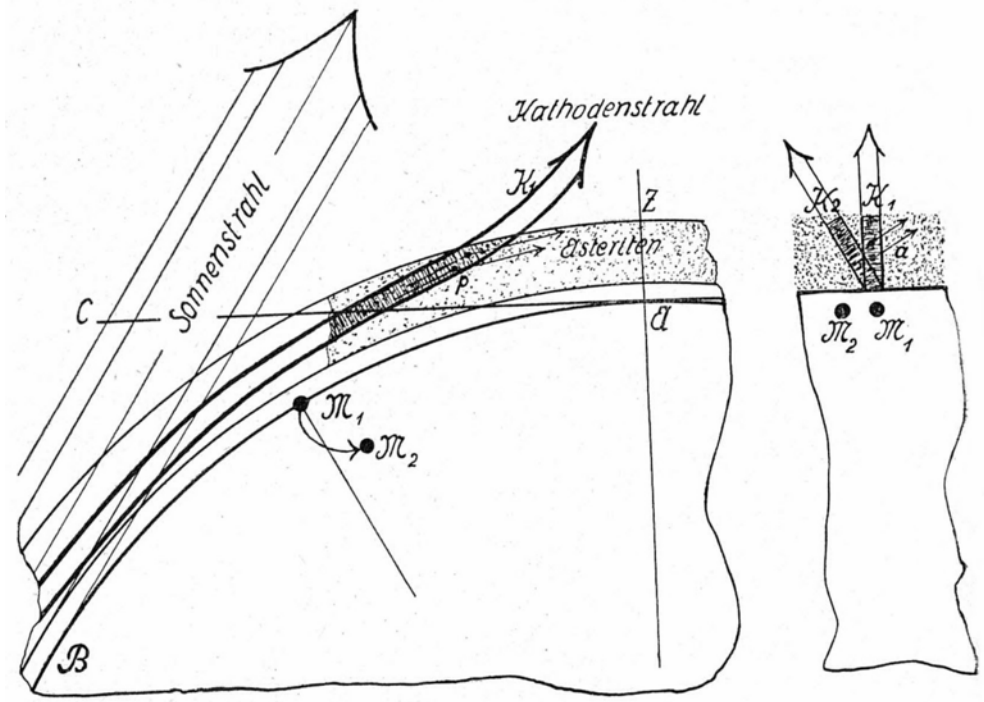


Abbildung 25

Polarlicht (Scheinwerfertypus); A Beobachter, AG Horizont, Kt Kathodenstrahl durchsetzt Asteritendunst, K2 Lage des Strahls nach Wandern des magnetischen Pols von M_1 nach M_2; a Seitenstrahlen.

Zusammenfassung

I. Der Gürtel maximal auftretender Polarlichter ist einzuengen und dürfte mit dem Breitenkreis zusammenfallen, den der magnetische Nordpol beschreibt.

II. Die elfjährige, jahreszeitliche und tägliche Periode der Polarlichter wurde erwähnt.

III. . Die Erscheinungsformen der Polarlichter sind: a) Der Polarlichtdunst, welcher am Himmelsgewölbe Lücken zeigt, bis zum Boden niedersinken kann und dem die Polarlichtlinie eigen ist. — b) Die diffusen Polarlichtbögen sind nach unten schärfer begrenzt als noch oben, liegen in parallelen Ebenen hintereinander, die den

Beobachter überdecken oder unterfahren, sind zum Teil überkippt und steigen zum Zenit auf. — c) Der Polarlichtbogen mit Strahlenkranz weist ein oder zwei diametral entgegengesetzte, zum magnetischen Meridian senkrecht stehende Segmente auf. Der Hauptbogen kann sich leiterförmig infolge magnetischer Ausrichtung der Asteriten aufspalten und aus ihm konvergieren Strahlen gegen die Korona, dem magnetischen Zenit. Die Strahlen pendeln quer zum magnetischen Meridian, während Lichtwogen in dessen Richtung fluten. — d) Polarlichtbogen mit Strahlscheiben sind Bogen, welche in Scheiben aufgeteilt sind, von denen Strahlen ausgehen. — e) Haubenpolarlichter zeigen teils gewölbte, teils kegelförmige, nach der Korona zu konvergierende Strahlen, denen unten Scheiben angehängt sein können, so daß Übergänge zu c) bestehen. — f) Homogene Bänder ähneln den diffusen Bögen und treten von einem Punkt des Horizonts aus frei in den Raum und gehen über in die Form — g) Gestreifte, bewegliche Bänder, welche bei zunehmender und ausgeprägter Streifung sich zur Form — h) Draperien wandeln, denen ein weit gespannter, oftmals spiralig eingerollter, überaus zarter Faltenwurf eigentümlich ist; sie sind oben grün, in der Mitte weiß und unten rosa gefärbt, doch können diese Gebilde auch wirrste Formen, Turbulenz- formen, annehmen. — i) Einzelstrahlen treten hinter dem Horizont mit wechselnder Breite und Neigung hervor und drehen sich gleich Scheinwerferstrahlen zur Seite. — k) Polarlichtwellen bewegen sich langsam parallel zum Polarlichtbogen und steigen bis zur Korona auf. — 1) Pseudopolarlichter sind Cirruswolken, die am Tag den Polarlichtern nachfolgend, deren Formen bewahren.

I. Typische Übergangsformen der Polarlichter sind: 1. Homogene Bögen — Bögen mit Strahlenkranz; 2. Bögen mit Strahlscheiben — Haubenpolarlichter mit Strahlscheiben; 3. Homogene Bänder — gestreifte Bänder — Draperien. Gemeinsam allen Polarlichtern sind Licht- wogen und Pulsationen des Lichts.

II. Polarlichter und deren Polarlichtlinie wurden von 0—3000 km Höhe beobachtet, doch kann als untere Grenze für die etwa 14 km starken Bogen 100 km gelten, für die Einzelstrahlen hingegen 140 km. Sonnenbestrahlte Polarlichter liegen besonders hoch.

III. Die Intensität des Polarlichts gleicht der des Mondes im Quartal, besonders stark leuchten die unteren Partien der Bogen und Draperien, während die Strahlen das Maximum inmitten ihrer Höhenerstreckung haben. Von den Spektralfarben tritt Orange am spärlichsten auf, vorherrschend ist Gelb, hohen Lagen kommen violette und grünliche, niedrigen rote Töne zu. Das Auftreten der grünen Polarlichtlinie bei experimentell verschiedenen Koordinierungsversuchen gestattet nicht,

den Lichtträger einwandfrei bezüglich Stoff und dessen Zustand festzulegen, höchstwahrscheinlich handelt es sich um Stickstoff und Sauerstoff.

VII. Nach Erdanziehung und Fliehkraft berechnet, beträgt die Höhe der Atmosphäre etwa 40 000 km. über die Anzahl der Moleküle im cbm in Höhen von über 100 km herrscht große Unsicherheit, gleichwohl ist Schichtenbildung nachgewiesen (*Heaviside*- und *Appleton* -Schichten), in welchen neben Molekülen von Stickstoff und Sauerstoff auch deren Ionen Vorkommen. Die Temperatur dieser Ionosphäre soll bis 50° und mehr gehen, beurteilt nach dem Verhalten sonnenbeschienener Polarlichter.

VIII. Polarlichtgeräusche sind nicht unwahrscheinlich.

IX. In polaren Gebieten bestehen große Potentialgefälle, Entladungen bis 120 m Höhe unter Auftreten der Polarlichtlinie wurden beobachtet, doch haben diese mit den Polarlichtern sonst nichts gemein, umso mehr gilt dies für magnetische Störungen. Zeitmessungen für das Queren des Meridians durch Sonnenprotuberanzen und für das Auftreten der Polarlichter sprechen für Kathodenstrahlung gewisser Geschwindigkeit, doch reicht diese nicht aus, um deren tiefes Eindringen in die Atmosphäre zu erklären.

X. Eine Zusammenstellung von 16 Fragen wurde gegeben, die durch eine Theorie für das Polarlicht befriedigend gelöst werden müssen. Den meisten Theorien ist eine hochliegende Leuchtzone, etwa über dem 67. Grad-Parallel, gemeinsam. Bezüglich der Strahlenrichtung bestehen Gegensätze, obgleich nach der Beobachtung nur eine solche von unten nach oben in Betracht kommen kann, weshalb auch die Theorie von *Stromer* mit steil einfallenden Kathodenstrahlen abwegig erscheint, zudem sie den Polarlichtdunst nicht erklären kann.

XI. a) In einer neuen Theorie, die sich an die von *Vegard* anschließt, wird der fragliche N- und O-Staub als Asteriten bezeichnet, analog den massenhaften kleinen länglichen Einschlüssen in gewissen Mineralien, die hiedurch asteritische Lichtbögen und Lichtkurven zeigen, die sich aber hier kaum aus wirken. O-Asteriten kristallisieren hexagonal, N- Asteriten regulär, erstere sind schwerer als letztere. Beide dürften sich vorwiegend am Äquator infolge der Fliehkraft und Kälte in großen Höhen bilden. Photochemische und photogrammetrisch-hypsometrische Untersuchungen weisen auf eine ellipsoidische Form der Atmosphäre hin. — b) Den Suszeptibilitäten nach zu urteilen, steigert sich insbesondere für Sauerstoff das paramagnetische Verhalten, für Stickstoff ist dies fraglich, bei tiefen Temperaturen beträchtlich. Infolge dieser magnetischen Eigenschaft bewegen sich die Asteriten aus den äquatorialen atmosphärischen Hochregionen nach den Magnetpolen und häufen sich dort längs hochgelagerter Isodynamen mehr oder weniger konzentrisch, ähnlich den Breitenkreisen, in einer Höhe von 100 km an, bestimmt durch Druck und Temperatur, welche ihren Schwebezustand und ihre Verdampfung beeinflussen. Für die schwerer schmelzenden und verdampfenden Stickstoffasteriten besteht offenbar in der kalten polaren Kalotte die Möglichkeit, bis zum Boden niederzusinken. — c) Die in der Ionosphäre liegenden E-, F1- und F_2-Schichten werden mit den Sedimentationszonen der Asteriten in der Dunkelheit E bzw. bei Sonnenstrahlung F1 und F_2 in Zusammenhang gebracht. Offenbar bewirkt das verschiedengradige Verdampfen von N- und 0-Asteriten weiterhin untergeordnete Schichtenbildung und wohl auch Ionisation. Die oberste

Asteritenlage in ca. 650 km Höhe gibt durch Reflexion des Erdblinks Anlaß zum Sonnendoppelschatten und kann als G-Schicht bezeichnet werden. Vertikale Asteritenvorhänge dürften die Abschirmung des Radioempfangs der *Nobili*- und *Papanin*-Expeditionen bewirkt haben. — d) Die Lumineszenz der Asteriten durch Kathoden- strahlen bewirkt bei wechselnden Wellenlängen die reichen Farben der Polarlichter. Die Kathodenstrahlen, welche von der magnetischen Erde angezogen werden, dringen bis auf 100 km in die Atmosphäre ein, unter Freilassung von zwei Tori, welche, verschieden groß, sich je nach den Jahreszeiten verschieben. — e) Diese Verschiebungen veranlassen, je nach den Verschneidungen mit den auf Parallelkreisen bzw. hochgelegenen Isodynamen lagernden Asteritenstreifen, die täglichen und jährlichen Perioden der Polarlichter. — f) Bei einem homogenen Bogen, dessen Asteriten wirr lagern, orientieren sich die Asteriten durch verstärkten Magnetismus in Richtung der magnetischen Kraftlinien. Unter dem Einfluß des rotierenden Magnet „Erde“ pendeln die links und rechts der Pole flutenden Kathodenstrahlen und veranlassen in den über dem Bogen befindlichen Asteritenmassen einen Strahlenkranz. Die Korona im magnetischen Zenit erklärt sich durch die magnetische Ausrichtung der Asteriten, desgleichen dürften die sogenannten Lichtwogen magnetisch bedingte, fortschreitende Verdichtungen und Verdünnungen der Asteriten sein. Bänder sind magnetisch unregelmäßig entwickelte Bogen, in denen Streifung auf Zuwanderung von Asteriten deutet. Bei Bändern kann sich wie bei den rasch ziehenden leuchtenden Nachtwolken Windeinfluß geltend machen. Pseudopolarlichter sind Kondensationserscheinungen an niedergesunkenen, die Polarlichtform wahrenden Asteritenhäufungen. Lichtbogen mit Strahlscheiben lassen getrennte Anflugsbahnen der Asteriten erkennen, an deren Enden sich diese in Scheiben bzw. Kugeln sammeln. Ähnlich kommen die strahlenmäßig enger gefügten Haubenpolarlichter mit Scheiben zustande, während die anderen Haubenpolarlichter hochschwebende, nach den Kraftlinien ausgerichtete Asteritenmassen sind. In den Draperien zeigt sich die Absenkung der Asteriten besonders charakteristisch und je nach Stärke des Windes entstehen Spiral- oder Turbulenzformen. Die Farbumrandung in Grün und Rot deutet bei den Draperien auf Trennung stofflich verschiedener Asteriten. Im Fadentypus der Polarlichter scheinen die Asteriten säulenförmig angeordnet zu sein, wie in den leiterförmig aufgespaltenen Lichtbogen besonders starker Polarlichter; während der Scheinwerfertypus nur einen Beleuchtungseffekt repräsentiert, bei dem ein schmaler Kathodenstrahl, Asteritenmassen durchsetzend, infolge des rotierenden Magnets „Erde“ zur Seite wandert.

Angeführte Schriften

G. Angenheister: Das Polarlicht. Müller-Pouillet, Lehrbuch d. Phys. 5, Braunschweig 1928.
S. Arrhenius: Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig 1903.
S. Arrhenius: Das Werden der Welten. Leipzig 1913.
P. Bauer: Um den Kantsch. S. 162. München 1933.
K. Birkeland: Expedition Norwegienne de 1899—1900. Christiania 1908.
W. Boiler: Das Südlicht. Gerlands Beitr. z. Geophys. 3. 1896.
E. Capron: A u r o r a e, their caracters and spectres. London 1879.
M. Clure: Nordpolfahrt. S. 83. Gotha 1907.
F. Cook: Meine Eroberung des Nordpols. S. 85. Hamburg 1912.
W. Filchner: Zum sechsten Erdteil. S. 297. Berlin 1922.
M. Fritz: Das Polarlicht. Leipzig 1881.
L. Harang: Das Polarlicht. Berlin 1940.
O. Kenan: Zeltleben in Sibirien. Leipzig.
S. Lemström: L’aurore boreale. Paris 1886.
W. Maier: Experimenteller Asterismus. N. Jahrb. f. Min. etc., Abt. A 78. Stuttgart 1943.
W. Maier: Asteritische Reflexkurven-Asteritiken. Jahrb. f. Min. etc., Abh. 80 Abt. A. Stuttgart 1949.
W. Maier: Das Phänomen der Sonnendoppelschatten Z. f. Met. Potsdam 1950. Maier: Sonnendoppelschatten u. Erdblink. Met. Rundschau. Heidelberg 1953. Maier: Kristallhalo. Z. f. Met. Potsdam 1950.
W. Maier: Asterismus an Hagelkörnern. Met. Rundschau, Heidelberg 1953.
W. Maier: Gedrillte Asteriten im Rosenquarz und Granat. Beitr. z. Min. u. Petr. Heidelberg 1951.
D. Mawson: Leben und Tod am Südpol. S. 31. Leipzig 1923.
F. Nansen: In Nacht und Eis. Leipzig 1898.
A. Nippoldt: Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht. Leipzig 1912.
J. Papanin: Das Leben auf einer Eisscholle. S. 195, Berlin 1947.
A. Paulsen: Aurores boreales, observes ä Godthaab. Kopenhagen 1891.
J. Payer: Die Entdeckung des Franz-Josephsland. S. 87. Leipzig 1929.
J. Perrin: Die Atome. S. 100. Leipzig 1920.
E. Shakelton: 21 Meilen vom Südpol. 3., Berlin 1910.
S. Strakosch: Ein Beitrag zur Kenntnis des photochemischen Klimas von Aegypten und dem ägyptischen Sudan. Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss. u. Math. 117. Wien 1918.
A. u. K. Wegener: Vorlesungen über die Physik der Atmosphäre. Leipzig 1935.
E. Wiersma, W. Hass u. W. Capol: Magnetismus von Sauerstoff bei tiefen Temperaturen. Proc. Akad. Wet. 34. S. 494. Amsterdam 1931.
L. Yutema: On the brightness of the sky. Groningen 1909. Ref. Met. Zeit. 1910. Seite 370.
F. Zimmermann: Handbuch der physischen Geographie. 2. Berlin 1855.