

Nordlicht

Von Dr.-Ing. W. BAUER

Aufgenommen während einer Expedition nach Tromsö/Norwegen im Winter 1932

I. Entstehung des Filmes.

Die außerordentlich geringe Lichtintensität des Nordlichtes erlaubt es nicht, ohne besondere photographische und sensibilisationstechnische Hilfsmittel einen Film von dieser Naturerscheinung mit normaler Aufnahmegeschwindigkeit herzustellen. Die Belichtungszeiten für Nordlichtaufnahmen liegen selbst bei Verwendung von lichtstarken Aufnahmeobjektiven ($F:1,5$) in der Größenordnung von 1 bis 10 sec. Nur bei sehr starken Nordlichtausbrüchen kann man mit $\frac{1}{3}$ dieser Belichtungszeiten auskommen.

Für die Nordlichtforschung ist nun die photographische Festlegung des zeitlichen Ablaufs der verschiedenen Nordlichttypen und insbesondere die Höhen- und Lagebestimmung nach der von C. STÖRMER entwickelten photogrammetrischen Methode¹⁾ von wesentlicher Bedeutung, um Zusammenhänge des Nordlichtverlaufes mit den Schwankungen der Ionosphäre und den magnetischen Störungen festzustellen. Es war daher das Ziel der im Winter 1932 durchgeführten Expedition, die von der Notgemeinschaft, dem AEG-Forschungsinstitut und dem Photo-physikalischen Institut der Technischen Hochschule Danzig unterstützt, als Gast des Norwegischen Nordlichtobservatoriums in Tromsö arbeiten konnte, durch eine systematische Untersuchung von Aufnahmeobjektiven und photographischen Sensibilisationsmethoden die Belichtungszeiten für Nordlichtaufnahmen so weit zu verkürzen, daß eine kinematographische Verfolgung der schnellbeweglichen Nordlichtformen ermöglicht

wurde. Durch Verwendung lichtstärkster Optiken (AEG-Spezialoptik F : 1,2 Astro-R.K. F : 1,25 und Tachon F : 0,95), wie sie auch bei der Herstellung des Röntgenschirmbildfilmes gebraucht werden, und unter Benutzung höchstempfindlicher, speziell für die spektrale Lichtemission des Nordlichtes übersensibilisierter Emulsionen²⁾, gelang es, die Belichtungszeiten auf etwa den vierten Teil der früheren Aufnahmezeiten herabzusetzen. Mit diesen Hilfsmitteln wurden nun in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. HARANG, dem Leiter des norwegischen Nordlichtobservatoriums, zahlreiche Filme von verschiedenen Nordlichtformen zu photogrammetrischen Zwecken hergestellt³⁾.

Von diesem Aufnahmematerial wurde eine Reihe besonders interessanter Szenen ausgewählt und zu einem Film zusammengestellt, um dem Betrachter ein anschauliches Bild von dieser in unseren Gegenden sehr selten zu beobachtenden Naturerscheinung zu vermitteln und die außerordentliche Intensität und Lebhaftigkeit zu zeigen, mit der sich ein Nordlichtausbruch in den Polargegenden abspielt.

Da die Aufnahmen der meßtechnischen Filme mit maximal 5 Bildern pro Sekunde hergestellt worden waren, mußte beim Kopieren der Filme eine zeitliche Entzerrung durchgeführt werden, um den Vorgang in natürlicher Geschwindigkeit wiedergeben zu können. Wurde z. B. eine Szene mit 4 Bildern/sec aufgenommen, so mußte jedes Negativbild zu 6 Bildern in der Kopie auseinandergezogen werden, um die zur normalen Vorführgeschwindigkeit notwendigen 24 Bilder/sec zu erhalten. Würde man jedes Negativbild im Positiv nur jeweils sechsmal kopieren, so würden bei der Vorführung des Filmes merkliche Sprünge in der Bewegung des Nordlichtes auftreten. Es mußte daher beim Kopieren durch eine entsprechende Apparatur für eine Ueberblendung der einzelnen Negativbilder Sorge getragen werden. Dies geschah in der Form, daß jedes Negativbild zunächst einmal mit ansteigender Belichtungszeit in 6 Bildern und darauf mit abnehmender Belichtungszeit nochmals mit 6 Positivbildern kopiert wurde. Anschließend wurde der Positivfilm um 6 Bilder zurückgedreht, und das darauffolgende Negativbild wurde abermals mit ansteigender Belichtung auf die vorigen

6 Bilder aufkopiert, so daß eine gleichmäßige Ueberblendung des Bewegungsvorganges von einem Negativbild zum anderen auftrat. Dieser Prozeß wurde für jedes Bild des Negativfilmes wiederholt. Auf diese Art und Weise sind sämtliche Szenen des Filmes auf die normale zeitliche Ablaufgeschwindigkeit gebracht worden, unabhängig von der jeweiligen Aufnahme- geschwindigkeit des ursprünglichen Negativfilmes.

II. Lage und Farbe des Nordlichtes.

Bevor die einzelnen Szenen des Filmes beschrieben werden, sollen hier kurz einige Einzelheiten über die Lage und das Auftreten des Nordlichtes hervorgehoben werden, soweit sie für das Verständnis des Filmes von Bedeutung sind. Ausführliche Angaben findet man in den Handbüchern der Physik⁴⁾ und besonders in dem Werk von C. STÖRMER: „Ueber die Probleme des Polarlichtes“⁵⁾.

Nach der durch die Versuche von BIRKELAND begründeten und von STÖRMER rechnerisch belegten Theorie wird die von der Sonne ausgehende elektrisch geladene Kopuskularstrahlung, wenn sie in das erdmagnetische Feld gelangt, so abgelenkt, daß ein Teil derselben in zwei Niederschlagszonen in der Nähe der beiden Pole in die Erdatmosphäre eindringt. Der größere Teil der Strahlung gelangt jedoch nicht auf die Erde, sondern umkreist diese in periodischen Bahnen nahe der Aequatorebene. Hierdurch entsteht ein Ringstrom um die Erde, der einen Teil der magnetischen Störungen bewirkt, und dem es zuzuschreiben ist, daß bei starken Nordlichtausbrüchen die Einfallszone der Korpuskularstrahlung sich zu südlichen Breiten hin verschiebt und Nordlichter auch in unseren Gegenden sichtbar werden können.

Die Zone größter Nordlichthäufigkeit liegt etwa 20° von dem magnetischen Pol der Erde entfernt und tangiert die Küste Nordskandinaviens. Längs dieser Zone ist Nordnorwegen das einzige Land, in dem die günstigen klimatischen Bedingungen eine dauernde Nordlichtforschung ermöglichen. Zu diesem Zweck ist ein besonderes Observatorium in Tromsö (70° nördl. Breite) errichtet und von Professor STÖRMER im südlichen Nor-

wegen ein weit verteiltes Netz von Beobachtungsstationen geschaffen worden.

Höhe und Lage der verschiedenen Nordlichtformen sind durch zahlreiche Messungen außerordentlich gut bekannt. Es hat sich gezeigt, daß die untere Grenze des Nordlichtes meistens in 100 km Höhe liegt und im allgemeinen nicht tiefer als bis zu 80 km herabreicht. Nur in einem Sonderfalle konnte von L. HARANG und dem Verfasser⁶⁾ ein Nordlichtbogen festgestellt werden, dessen Abstand von der Erdoberfläche nur 65 km betrug. Im Gegensatz zu dieser begrenzten Reichweite nach unten kann das Nordlicht außerordentlich hoch in die Atmosphäre hinaufreichen. Es sind Nordlichtstrahlen gemessen worden⁷⁾, die bis zu 1000 km weit hinauf in die Atmosphäre verfolgt werden konnten, und die somit anzeigen, daß sich noch in diesen Höhen Atmosphärenschichten befinden, die durch die eindringenden Ionen oder Elektronen zum Leuchten angeregt werden. Eigenartigerweise sind diese hohen Nordlichtstrahlen nur dann gefunden worden, wenn die Erdatmosphäre in diesen Höhen noch vom Sonnenlicht durchstrahlt wird.

Das Nordlichtspektrum, das bisher für alle Nordlichttypen von L. VEGARD⁸⁾ sehr eingehend mit lichtstärksten Spektrographen untersucht worden ist, zeigt nur Linien und Banden des Stickstoffmoleküls und des Sauerstoffs und bildet somit einen Beweis dafür, daß diese Gase bis in die höchsten Atmosphärenschichten der Erde hinaufreichen. Die vorwiegend gelbgrüne Farbe des Nordlichtes ist durch die bekannte grüne Nordlichtlinie 5577 Å bedingt, die Mc. LENNAN als Uebergang von dem metastabilen Term des Sauerstoffatoms deuten konnte. Die wechselnde Farbe des Nordlichtes entsteht hauptsächlich durch die veränderliche Intensität, mit der die roten Sauerstofflinien bei 6300 Å⁹⁾ jeweils auftreten. Sie können dem Nordlicht eine leuchtend rote bis tiefrote Farbe verleihen. Tritt die grüne Nordlichtlinie schwächer auf oder fehlt sie ganz, wie es bei den sonnenbelichteten Nordlichtern häufig der Fall ist, so nimmt das Nordlicht eine blaugraue oder weißliche durch das Leuchten der Stickstoffbanden bedingte Färbung an.

Endlich möge noch die Frage der Hörbarkeit des Nordlichtes er-

wähnt werden. Diese vielumstrittene und bisher nur von Laien beobachtete Erscheinung konnte kürzlich bei dem großen Nordlicht vom 25./26. Jan. 1938¹⁰⁾ auch von Wissenschaftlern bestätigt werden, und zwar war beim Erscheinen von außerordentlich kräftigen Nordlichtstrahlen im Zenit ein Geräusch ähnlich dem von brennendem Reisig zu hören. Da dieses Geräusch gleichzeitig mit der Nordlichterscheinung auftrat, ist anzunehmen, daß es durch Entladung von Influenzelektrizität am Erdboden oder in den niedrigen Luftschichten erzeugt wird.

III. Erläuterungen zum Film.

Diese Aufnahmen stellen den ersten Versuch dar, die Nordlichterscheinung im bewegten Film zu erfassen. Da die Aufnahmen teilweise aus Negativmaterial entstanden sind, das zum Zwecke photogrammetrischer Messungen hergestellt wurde, dürfen keine zu großen Anforderungen an Güte und Aufnahmetechnik des Filmes gestellt werden. Ferner muß in Betracht gezogen werden, daß das Filmbild jeweils nur einen kleinen Ausschnitt des Himmels erfaßt, und damit nur einen Teil dieser großartigen Naturerscheinung wiedergeben kann, die sich oft in verschiedenen Formen und Farben gleichzeitig über den ganzen Himmel ausbreitet. Die Reihenfolge der einzelnen Szenen folgt zeitlich im wesentlichen der Entwicklung eines Nordlichtausbruches*).

Ruhige Nordlichtbogen.

Die häufigste Nordlichtform ist der ruhende Bogen, der oft stundenlang mit geringer Lichtintensität sich als gleichmäßig leuchtendes Band über das Himmelsgewölbe von Osten nach Westen erstreckt. Fast alle bisher beobachteten Bogen sind so orientiert, daß sie längs eines geomagnetischen Parallelkreises verlaufen, und es ist daher wahrscheinlich (wenngleich dies auch aus Mangel an Beobachtungsstationen bisher noch nicht nachgewiesen werden konnte), daß ein solcher Bogen, den man vom West- zum Osthorizont beobachten kann, jeweils ein Teil eines großen Nordlichttringes ist, der konzentrisch um den magnetischen Pol der Erde läuft, und der der Einfallzone einer gleichmäßigen Korpuskularstrahlung entspricht.

*) Eine vollständige Darstellung sämtlicher vorkommender Nordlichtformen findet sich im Nordlichtatlas¹¹⁾.

An seinem unteren Rande zeigt der Nordlichtbogen stets eine scharfe Begrenzung, während er sich nach oben hin diffus in den Himmelsraum verliert (Abb. 1a). Geht der Nordlichtbogen durch das Zenit, so daß man ihn genau von unten her betrachten



Abb. 1a.
Nordlichtbogen (Infrarot-Aufnahme)

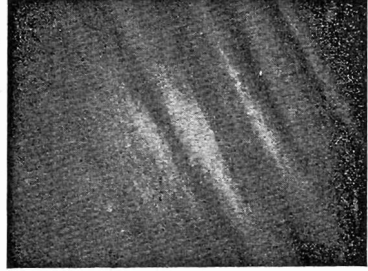


Abb. 1b.
Nordlichtbogen von unten gesehen

kann, so beobachtet man oft, daß der Bogen eine lamellenartige Struktur besitzt (Abb. 1b). Eine photogrammetrische Ausmessung dieser sehr schmalen Lamellen war bisher noch nicht möglich, da sie stets nur von einem eng begrenzten Beobachtungsgebiet aus sichtbar werden und noch nie von zwei Beobachtungsorten aus gleichzeitig aufgenommen werden konnten.

Die Bogen zeigen vorherrschend die gelbgrüne Nordlichtfarbe. Bei besonders kräftigen Nordlichtausbrüchen werden jedoch auch Bogen mit roten Rändern oder vollkommen rote Bogen beobachtet. Das in unseren Breiten meistens zu Beginn eines Nordlichtes am Nordhorizont auftretende rote Segment ist wahrscheinlich der obere Teil solcher roter Nordlichtbogen.

Oft treten auch mehrere Bogen gleichzeitig auf, wie der erste Teil der ersten Filmszene zeigt. Dieser Teil wurde, obwohl es der Zeitfolge der Nordlichtentwicklung nicht entspricht, an den Anfang des Filmes gesetzt, da das Bild hier den Horizont wiedergibt, und so dem Beschauer eine bessere räumliche Vorstellung über die Lage des Nordlichtes vermittelt.

Als zweiter Teil folgt dann ein ruhender homogener Bogen. Da die Bewegung dieses Bogens außerordentlich langsam vor sich geht, ist diese Szene als einzige des ganzen Filmes absichtlich

mit sechsfacher Zeitraffung kopiert. Die Belichtung der Aufnahmen betrug bei der geringen Leuchtkraft des Bogens etwa 5 sec und jedes Negativbild wurde zu 20 Positivbildern auseinandergezogen.

Auf dem Filmbild ist infolge des kleinen Aufnahmebildwinkels von 30° nur der mittlere Teil des Bogens wiedergegeben. Die gut erkennbaren Sterne des Himmelshintergrundes, die teilweise durch das Nordlicht hindurchschimmern, zeigen den oberen Teil des bekannten kreuzförmigen Sternbildes des Schwanes. Der Bogen wurde am Nordhimmel aufgenommen, und man kann gegen Ende der Szene eine Bewegung des Bogens zum Zenit hinauf beobachten. Der Bogen wandert langsam nach Süden. Es ist dies eine Eigentümlichkeit aller Nordlichtbogen, die durch ein Anwachsen des Ringstromes und damit eine Verschiebung der Einfallszone der Korpuskeln nach Süden erklärt werden kann. Gleichzeitig beginnt auch das Leuchten des Bogens kräftiger zu werden.

Bewegte Bänder und Draperien.

Mit der zunehmenden Leuchtkraft des Bogens wächst auch seine Beweglichkeit. Er beginnt in wellenförmige Bewegung zu ge-

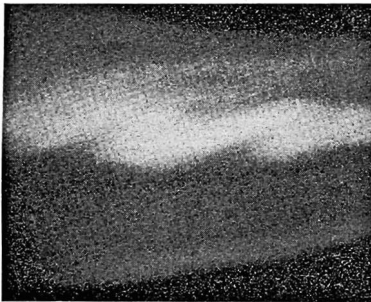


Abb. 2.
Wellenförmige Bewegung eines
Nordlichtbogens von unten gesehen

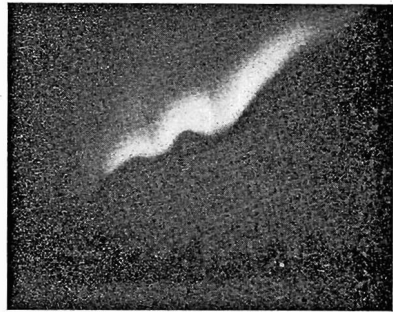


Abb. 3. Nordlichtband

raten (Abb. 2), die Lichtintensität wird ungleichmäßig, und es bilden sich ein oder mehrere bewegte Bänder, die wie vom Winde getrieben über den Himmel dahingleiten (Abb. 3). Die

beiden Teile der folgenden Filmszenen zeigen in normalem Zeitablauf die Lebhaftigkeit, mit der diese Entwicklung vor sich geht.

Draperien mit Strahlenstruktur.

Im weiteren Verlauf der Nordlichtentwicklung treten jetzt oft an verschiedenen Stellen des Himmels gleichzeitig bewegte

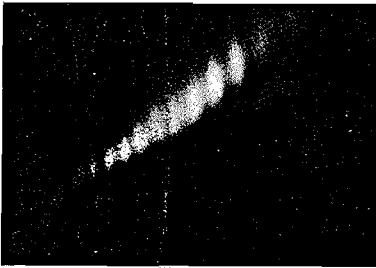


Abb. 4.
Band mit wandernden Lichtmaxima

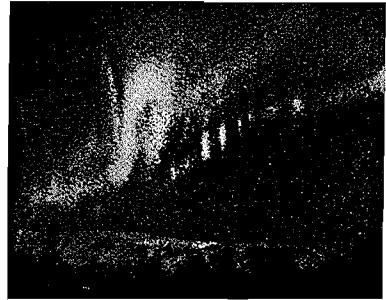


Abb. 5.
Draperie mit Strahlenstruktur. Die Strahlen wandern an der Draperie entlang

Bänder auf. An ihren unteren Rändern bilden sich Lichtmaxima (Abb. 4) und Strahlen (Abb. 5) aus, die an den Bändern entlangwandern. Es entsteht die Erscheinung der Draperie.

Beim ersten Teil dieser Szene kann man vielleicht am unteren Ende der Draperie mit einiger Aufmerksamkeit das Entlangwandern von Strahlen beobachten.

Zugleich mit der steigenden Lichtintensität des Nordlichtes wächst auch seine Farbenpracht. Die unteren Ränder der Draperien leuchten in tiefroter Farbe, die über blau und blaugrün in das gelbgrün des übrigen Teiles der Draperien übergeht.

Der zweite Teil dieser Szene gibt eine kleinere Draperie und der dritte Teil (Abb. 6) die Entfaltung einer besonders schönen und großen Draperie wieder. Erstaunlich ist die Geschwindigkeit, mit der sich diese Draperie entwickelte.

Die außerordentliche Beweglichkeit kräftiger Nordlichter ist einerseits durch die schnelle Veränderlichkeit der Intensität der Sonnenemission und der damit bewirkten Aenderung der Ring-

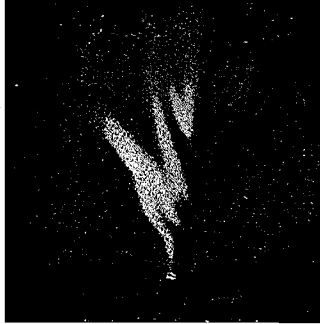


Abb. 6.
Nordlichtband, das sich zur Draperie entwickelt

stromintensität und Schwankung des Erdfeldes bedingt. Andererseits gibt aber auch die Aenderung der Lage der magnetischen Achse der Erde im Raum durch die Erdrotation und die dadurch bedingte Aenderung des Einfallswinkels der Korpuskularstrahlung zur magnetischen Achse eine starke Veränderung der Nordlichtformen.

Die Lichtintensität der hier gezeigten Draperie war so kräftig, daß zu den Aufnahmen kürzeste Belichtungszeiten bis zu $\frac{1}{5}$ sec benutzt werden konnten. Da jedoch die Originalnegative teilweise eine Unterbelichtung aufwiesen, wurde eine Verstärkung dieser Bilder vorgenommen. Leider entstand hierdurch eine starke Kornvergrößerung, die sich beim ersten und dritten Teil dieser Szene störend bemerkbar macht.

Nordlichtstrahlen.

Mit zu den schönsten Nordlichtformen gehören die Strahlen (Abb. 7), die einzeln oder in Bündeln am Himmelsraum aufleuchten können. Sie laufen parallel den magnetischen Kraftlinien. Sieht man daher ein solches Strahlenbündel in Richtung der Kraftlinien, so besitzen die im Raum parallel verlaufenden Strahlen infolge der Perspektive einen Konvergenzpunkt. Es

bildet sich so die Nordlichtkrone aus (Abb. 8). Die Strahlen zeigen die größte Beweglichkeit aller Nordlichtformen und sind daher photographisch schwer zu erfassen.

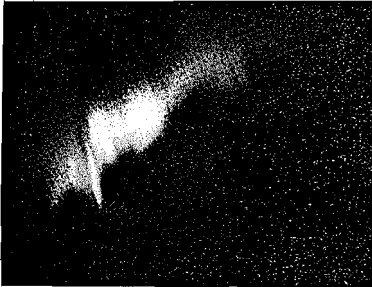


Abb. 7. Strahlen

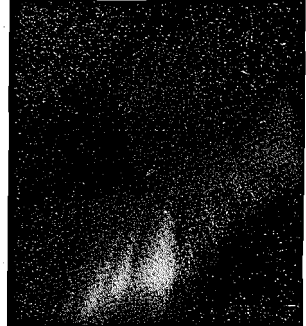


Abb. 8. Krone

Die Länge eines Strahles kann mehrere 100 km betragen, während sein Durchmesser oft nur 2 km groß zu sein braucht. Die Form des Strahles entsteht durch Scharen von Elektronenbahnen, die sich korkenzieherförmig um die magnetischen Kraftlinien winden.

Wie bei den Draperien ist die Färbung der Strahlenbündel bei großen Nordlichtausbrüchen meistens am unteren Ende rot. Es können auch blaue oder rote Strahlen auftreten, so daß das Ganze ein außerordentlich farbenprächtiges Schauspiel bilden kann.

Die Filmszene zeigt ein Strahlenspiel, das teilweise durch einige Wolken verdeckt wird und nur durch die Oeffnungen zwischen den Wolken hindurch beobachtet werden kann.

Diffuses Nordlicht.

Nach einem starken Nordlicht bleibt meistens über den Himmel gleichmäßig verteilt ein grüner Schimmer zurück, der an verschiedenen Stellen wechselnd aufleuchtet. Es hat den Anschein, als ob eine Entladung der durch das vorangegangene Nordlicht aufgeladenen Atmosphärenschichten stattfindet. Die Filmszene

zeigt zunächst einige Nordlichtbänder, sodann den gleichmäßig grünen Schein. Am Schluß der Szene treten am Horizont von neuem Teile eines doppelten Nordlichtbogens auf.

Die Dauer solcher Nordlichtausbrüche, wie sie hier im Film geschildert wurden, beträgt oft 10 bis 30 min. Unter Umständen kann sich ein solcher Ausbruch während einer Nacht mehrmals wiederholen, wobei der Verlauf des Nordlichtes außerordentlich mannigfaltig sein kann, während der typische Charakter der verschiedenen Formen und Bewegungen erhalten bleibt.

In unseren Breitengraden treten die Nordlichter hauptsächlich als diffus leuchtende oder periodisch aufflammende Flächen oder mit ruhigen breiten Strahlen auf, wie überhaupt das ganze Phänomen bei uns eine bedeutend geringere Lebhaftigkeit aufweist. Es wäre von besonderem Interesse, die seinerzeit begonnenen Versuche der Farbaufnahmen von Nordlichtern auf übersensibilisierten Farbrasteremulsionen³⁾ auf die neuen hochempfindlichen Dreischichtenfarbfilm auszudehnen, um einen direkten Farbfilm dieser interessanten Naturerscheinung herzustellen.

S c h r i f t t u m :

- 1) C. STÖRMER: Bericht über eine Expedition nach Bossekop usw. Vid. Selsk. Skr. Oslo, 1911.
- 2) U. SCHMIESCHEK: Hypersensibilisierung optisch sensibilisierter Emulsionen usw. DVL-Jahrbuch 1931, S. 594.
- 3) W. BAUER: Untersuchung der photographischen Bedingungen für Nordlichtaufnahmen usw. Diss. d. Techn. Hochschule Danzig 1932.
Ergebnisse kinematographischer Höhenmessungen des Nordlichtes. Elektr. Nachr.-Technik 10. 68. 1932.
- 4) L. VEGARD: Handb. d. Exp.-Physik, Bd. 25, Teil I, 1928.
- 5) C. STÖRMER: Ueber die Probleme des Polarlichtes. Ergebnisse d. kosmischen Physik, Bd. 1, 1931.
- 6) L. HARANG u. W. BAUER: Ueber einen Nordlichtbogen in weniger als 80 km Höhe über der Erde. Gerl. Beitr. z. Geoph. 37, 109. 1932.
- 7) C. STÖRMER: Sonnenbelichtete Nordlichtstrahlen. Zs. f. Geoph. 5, 177. 1929.

- Remarkable Aurora-Forms from Southern Norway. Geofys. Publ. Oslo, Bd. 9, Nr. 5, 1935.
- L. HARANG: Height Measurements of selected Auroral Forms. Geofys. Publ. Oslo, Bd. 12 Nr. 1. 1937.
- 8) L. VEGARD: Das Nordlichtspektrum und der Zustand der Nordlichtregion. Naturw. 39. 639. 1938.
- 9) L. HARANG: Höhenbestimmungen und Spektralaufnahmen von sonnenbelichteten und rot gefärbten Nordlichtern. Gerl. Beitr. z. Geophys. 48. 1. 1936.
- 10) C. STÖRMER: Photographische Höhenmessungen und Spektren des großen Nordlichtes vom 25. bis 26. Januar 1938. Naturw. 39. 633. 1938.
- 11) Photographic Atlas of Auroral Forms. Publ. by the International Geodetic and Geophys. Union. Oslo 1930.

(Eingegangen am 9. 5. 1939)
