

PHOTOGRAMMETRISCHE BESTIMMUNG DER HÖHE VON  
IRISIERENDEN WOLKEN (PERLMUTTERWOLKEN)

AM 30. DEZEMBER 1926

VON *CARL STÖRMER*

(Manuskript am 12. April 1927 empfangen).

In den Jahren 1871 bis 1892 beobachtete man in Oslo mehrmals die merkwürdige Naturerscheinung der sogenannten irisierenden Wolken oder Perlmutterwolken. Der verstorbene Professor H. Mohn hat eine ausführliche Abhandlung darüber geschrieben<sup>1</sup> und er versuchte die Höhe dieser Wolken dadurch zu bestimmen, daß er sie in dem Augenblick beobachtete, wo ihre direkte Bestrahlung durch das Sonnenlicht aufhörte. Es ergaben sich hierbei sehr große Höhen, von 23 bis zu 140 km, doch war das Verfahren höchst unsicher und mit so vielen Fehlerquellen verbunden, daß das Ergebnis wahrscheinlich illusorisch war.

Am 30. Dezember im vorigen Jahre gelang es mir, von meinen beiden Nordlichtstationen Bygdø und Oscarsborg aus gleichzeitige Aufnahmen dieser Wolken zu machen, die mir eine Berechnung der Höhe, Lage und Geschwindigkeit dieser Wolken ermöglichten und zwar mittels des Verfahrens, das ich bei entsprechenden Untersuchungen über photogrammetrische Höhenmessungen des Nordlichts ausgearbeitet und angewendet habe<sup>2</sup>.

Es ist auffallend, daß diese irisierenden Wolken jetzt abermals zu sehen sind. Unvergeßlich stehen sie in meiner Erinnerung aus der Schulzeit, als ich Anfang der neunziger Jahre das Glück hatte, diese schönen Wolken beobachten zu können<sup>3</sup>, und immer habe ich später den Himmel untersucht, um ihrer wieder ansichtig zu werden, aber erst in diesem Winter habe ich sie wiedergesehen.

Die ersten Beobachtungen wurden in diesem Winter am 27. Dezember gemacht. Ich dachte sofort daran, Versuche vorzunehmen, die Höhe der Wolken durch gleichzeitige photographische Aufnahmen von zwei meiner Nordlichtstationen aus zu bestimmen, aber verschiedener Umstände halber ließ sich die telephonische Verbindung erst herstellen, als es zu spät war; und auch am nächsten Morgen, als die Wolken wiederum da waren, kam es nicht zum Photographieren.

<sup>1</sup> *Irisierende Wolken* von Professor H. Mohn in Christiania. Meteorologische Zeitschrift März 1893.

<sup>2</sup> C. Störmer: Bericht über eine Expedition nach Bossekop zwecks photographischer Aufnahmen und Höhenmessungen von Nordlichtern. Videnskabselskabets Skrifter. Math.-naturv. Kl. Christiania 1911.  
C. Störmer: Rapport sur une expédition d'aurores boréales à Bosse op et Store Korsnes pendant le printemps de l'année 1913. Geof. publ. Vol. I, no. 5.

H. Solberg et C. Störmer: Méthode pour la mesure photogrammétrique des nuages pendant la nuit quand ces nuages sont éclairés par la lune ou par la lumière crepusculaire. Geof. publ. Vol. III. No. 12.

<sup>3</sup> In meinen Notaten, die nicht veröffentlicht sind, finden sich vom 1., 2. und 15. Januar 1890 sehr vollständige Observationen mit Angabe der Farben und deren Verteilung.

Nun traf ich aber umfassende Vorbereitungen, und nächstesmal, am 30. Dezember, war mir das Glück günstiger.

Die ersten Aufnahmen machte ich 15<sup>h</sup> 17<sup>m</sup> mitteleuropäischer Zeit. Die Wolken erschienen südwestlich über der Sonne in schönen Regenbogenfarben. Doch war ihre charakteristische rhombische Form jetzt weniger vorherrschend als in den neunziger Jahren. Das Photographieren erfolgte mit rotem, grünem und violetter Filter auf panchromatischen Platten. Die Kontraste wurden mit dem roten Filter am besten, und eines der Bilder, am 15<sup>h</sup> 17<sup>m</sup> 30<sup>s</sup>, ist auf der Tafel I oben wiedergegeben.

Je nachdem die Sonne unter den Horizont sank (Sonnenuntergang 15<sup>h</sup> 16<sup>m</sup>), nahmen die Wolken eine stark rote Färbung an, die 16<sup>h</sup> 19<sup>m</sup> wieder erloschen war. Die Wolken waren aber immer noch in schwach blaugrauer Farbe, heller als der Himmelshintergrund, zu sehen. Ich verfolgte sie aufmerksam, bis der Himmelshintergrund so dunkel war, daß die Sterne erster und zweiter Größe sichtbar wurden, und als nun die telephonische Verbindung zwischen meiner Station auf Bygdö und meinen Nordlichtstationen am Observatorium in Oslo (Assistent Herr. T v e t e r) und auf Oscarsborg (Assistent Herr. H a f n o r) hergestellt war, nahm ich eine Reihe Photographien von den noch sichtbaren irisierenden Wolken.

Es wurden in der Zeit von 16<sup>h</sup> 50<sup>m</sup> bis 17<sup>h</sup> 14<sup>m</sup> sieben gleichzeitige Aufnahmen von Bygdö und dem Observatorium (Basis 1.95 km), und zwei gleichzeitige Aufnahmen von Bygdö und Oscarsborg aus (Basis 26.12 km) gemacht.

Die sieben Photographien mit der Basis Bygdö-Observatorium ließen keine sichere Höhenmessung der irisierenden Wolken zu. Die gewählte Basis war im Verhältnis zur Höhe und Lage der Wolken so klein, daß die Parallaxe zu unsicher war (Größenordnung 1/2 Grad). Bei einigen niedrigeren dunklen Wolken aber war die Parallaxe genügend, um ihre Höhe zu bestimmen. Man sieht sie auf den von Bygdö aus genommenen Bildern; die Höhe dieser niedrigeren Wolken schwankt zwischen 3.3 km und 4.5 km.

Hingegen bieten die beiden Doppelaufnahmen mit der langen Basislinie Bygdö-Oscarsborg das größte Interesse. Hier ist die Parallaxe sehr groß, von 8 bis zu 14 Graden, und die verschiedenen Partien der Wolken lassen sich auf den beiden Bildern zweifellos identifizieren.

Die Tafel I, unten, zeigt die erzielten Photogramme — rechts die Aufnahmen von Bygdö aus. Die obenerwähnten niedrigeren Wolken sind nur auf den Bygdö-Bildern zu sehen. Auf den Originalnegativen können die Sterne ganz sicher identifiziert werden, schwerer sind sie auf den Reproduktionen wahrzunehmen.

Mit Bezug auf die Ausmessung und Berechnung der beiden Photogramme seien hier einige nähere Einzelheiten angegeben. Eine vollständige Beschreibung des Verfahrens ist in den obenerwähnten früheren Abhandlungen zu finden.

*Das 17<sup>h</sup> 4<sup>m</sup> 54<sup>s</sup> genommene Photogram.*

Die für die Orientierung der Photographien gewählten Sterne waren  $\alpha$ ,  $\vartheta$  und  $\delta$  Aquilae.

Mit Bezug auf diese Sterne zeigten die Berechnungen<sup>1</sup> folgende Ergebnisse (Station Bygdö):

Sterne	h	a	k	u	$\lambda$	$\omega$
$\alpha$ Aquilae	25,19	61,36	26,43	55,80	71,36	30,96
$\vartheta$ »	18,50	52,01	23,27	45,42	70,75	26,45
$\delta$ »	17,26	64,67	26,99	56,70	78,22	20,80

<sup>1</sup> Die Berechnungen sind von meinen Assistenten, Student Ragnwald Wesøe, ausgeführt worden.

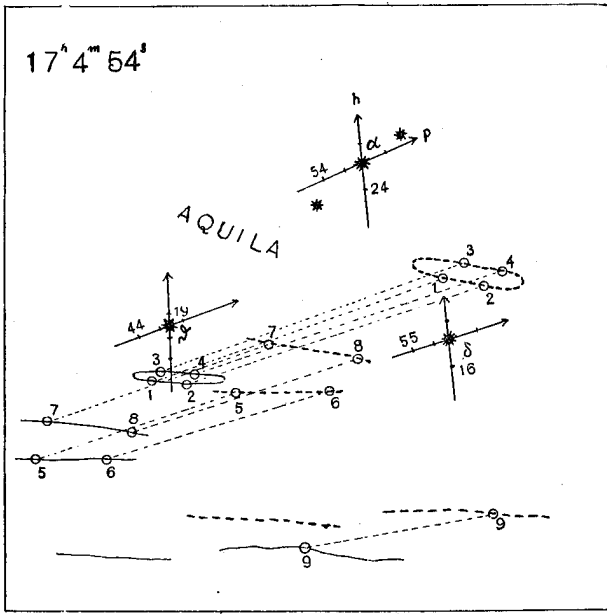


Fig. 1.

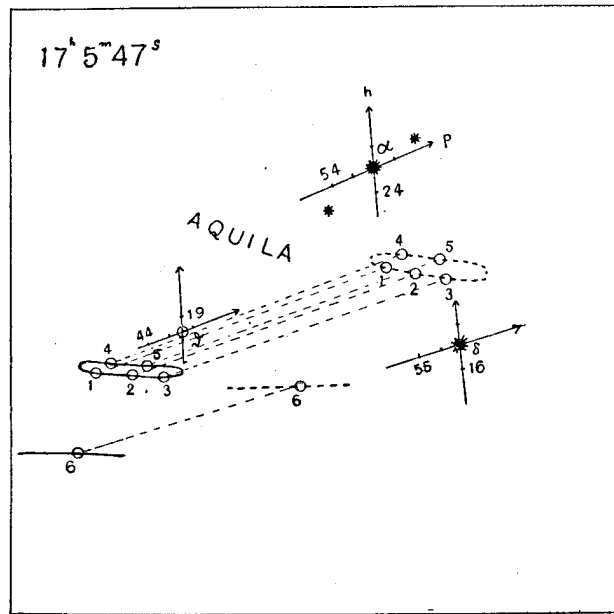


Fig. 2.

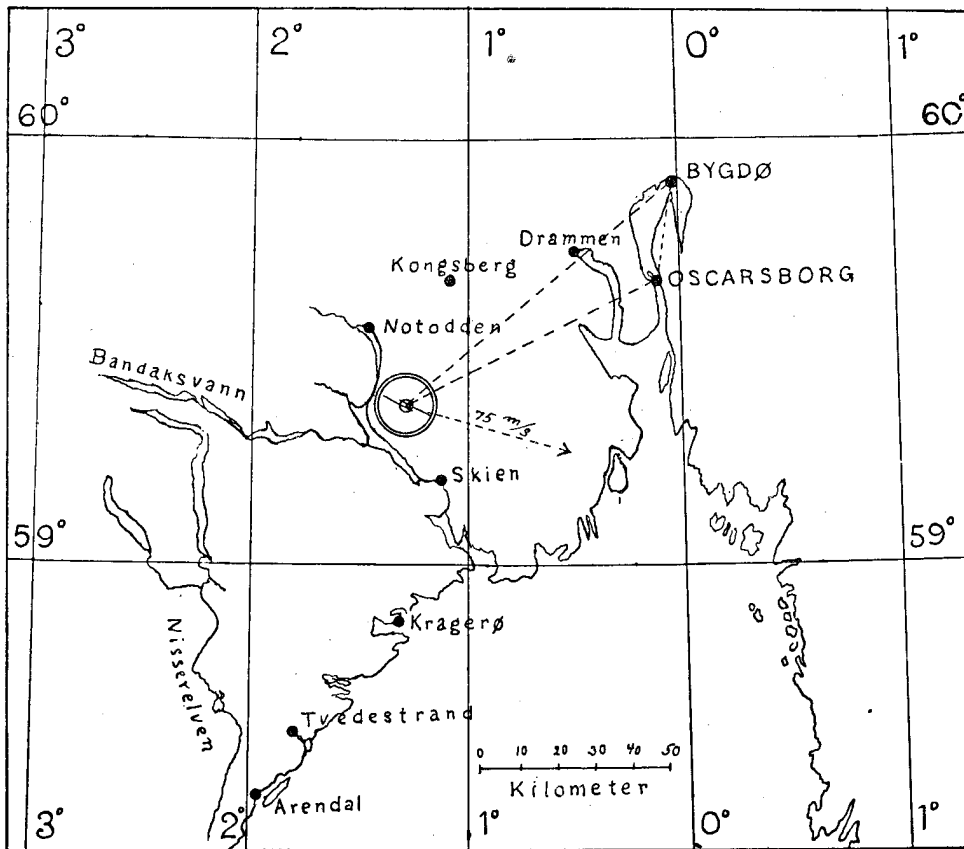


Fig. 3.

Hier bedeutet

- h die Höhe des Sterns über dem Horizont,  
 a das Azimut des Sterns,  
 k den Winkel zwischen dem Höhenkreis und dem Deklinationskreis durch den Stern,  
 u den Winkel zwischen der Richtung zum Stern und der Richtung von Bygdö nach Oscarsborg. Diese letzte Richtung trifft die Himmelkugel in einem Punkt, den wir U nennen wollen.  
 $\lambda$  den Winkel zwischen dem Höhenkreis des Sterns und dem größten Kreis durch den Stern und den Punkt U,  
 $\omega$  den Winkel zwischen dem letztgenannten größten Kreis und dem Horizont.

Alle Winkel sind in Graden und Hunderstel von Graden gerechnet.

Mit Hilfe der in den erwähnten Abhandlungen besprochenen Gradnetzen können nun diese Winkel für jeden Punkt der Wolkenkonturen gefunden werden, und entsprechende Punkte auf den Negativen von Bygdö und Oscarsborg lassen sich mittels der Winkel  $\lambda$  und  $\omega$  wiederfinden.

Wie früher erwähnt, ist die Länge g der Basislinie Bygdö—Oscarsborg

$$g = 26,12 \text{ km}$$

und die Richtung Bygdö—Oscarsborg trifft die Himmelkugel in einem Punkt U, am Horizont liegend und mit dem Azimut

$$a_0 = 9^\circ,76.$$

Mit Hilfe der Richtung der Parallaxe ließ sich das Wölkchen unter  $\alpha$  Aquilae auf dem Bygdö-Bilde zweifellos auch auf dem Oscarsborg-Bilde wiederfinden, und ebenso gelang die Identifizierung der darunter liegenden Wolken. Wir wählten neun Punkte aus, deren Lage den beiden Photographien der Abb. 1 zu entnehmen ist (ausgezogene Linie für Bygdö, punktierte für Oscarsborg).

Die Ausmessung dieser Punkte zeigte folgende Ergebnisse:

Punkt	$u_1$	$u_2$	p	r	h	H	D	a
1	43,9	57,3	13,4	94,84	16,1	27,0	90,7	51,2
2	45,3	58,9	13,6	95,12	15,9	26,7	91,1	52,7
3	44,3	58,3	14,0	91,86	16,6	26,9	87,5	51,7
4	45,8	59,8	14,0	93,31	16,3	26,8	89,2	53,1
5	38,4	47,2	8,8	125,3	12,8	28,9	122	46,1
6	41,2	51,1	9,9	118,2	12,8	27,2	115	49,2
7	39,3	49,3	10,0	114,0	14,3	29,1	110	46,6
8	42,5	52,6	10,1	118,3	13,8	29,3	114	50,3
9	48,5	56,5	8,0	156,5	8,9	26,1	154	57,7

Hier bedeutet:

- $u_1$  den auf dem Bygdö-Negativ abgelesenen Wert von u,  
 $u_2$  denselben Wert, abgelesen auf dem Oscarsborgs-Negativ,  
 $p = u_2 - u_1$  (die Parallaxe),  
 r die Entfernung (in Kilometern) von der Station Bygdö bis zu dem betreffenden Punkt der Wolke, nach der Formel

$$r = g \sin u_2 \operatorname{cosec} p.$$

H ist die Höhe (in Kilometern) des Punktes über dem Meere, berechnet nach der Formel

$$H = r \sin h + H_0,$$

wo  $H_0 = 0,02$  km die Höhe der Station Bygdö über dem Meere ist.

D ist die Entfernung (in Kilometern) von Bygdö bis zu dem Punkt der Erdoberfläche, der den beobachteten Wolkenpunkt im Zenit hat.

Die übrigen Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie früher.

Dies Ergebnis besagt, daß sich die irisierenden Wolken in der erheblichen Höhe von etwa 27 km befanden. Die Höhe der kleinen Wolke (vgl. die Punkte 1.2 3.4) ist ziemlich genau, und die andern Höhen der näher am Horizont schwebenden Wolken gruppieren sich um ähnliche Werte.

Das 17<sup>h</sup> 5<sup>m</sup> 47<sup>s</sup> genommene Photogramm.

Dieselbe Basis Bygdö—Oscarsborg und dieselben Sterne  $\alpha$ ,  $\vartheta$  und  $\delta$  Aquilae.  
Die Berechnung dieser Sterne hatte folgendes Ergebnis (Station Bygdö):

Stern	h	a	k	u	$\lambda$	$\omega$
$\alpha$ Aquilae	25,09	61,58	26,49	55,96	71,56	30,78
$\vartheta$ »	18,41	52,23	23,35	45,59	70,97	26,23
$\delta$ »	17,15	64,87	27,04	56,87	78,38	20,63

Abb. 2 zeigt die gewählten Punkte. Die Ausmessung und Berechnung zeigte folgendes Ergebnis:

Punkt	$u_1$	$u_2$	p	r	h	H	D	a
1	41,6	54,9	13,3	92,89	16,7	27,3	88,6	48,3
2	42,9	56,0	13,1	95,54	16,6	28,0	91,2	49,9
3	44,2	57,1	12,9	98,23	16,5	28,6	93,7	51,3
4	42,2	55,7	13,5	92,43	17,2	28,0	87,9	49,0
5	43,7	57,2	13,5	94,05	17,0	28,1	89,6	50,6
6	39,9	49,7	9,8	117,0	13,4	28,1	113,4	47,6

Also etwa dieselbe Höhe.

Wenn wir annehmen, daß sich die kleine Wolke beidemal in gleicher Höhe, z. B. von 27 km, befunden hat, bietet der Vergleich zwischen den beiden Photogrammen ein Mittel, die Größe und die Richtung der Geschwindigkeit zu bestimmen. Wir haben in dieser Beziehung eine Reihe von Messungen angestellt und als wahrscheinliches Ergebnis gefunden, daß die Wolke 75 Meter in der Sekunde machte und sich in der auf der Abb. 3 angedeuteten Pfeilrichtung fortbewegte.

Auf derselben Abbildung sieht man die beiden Stationen Bygdö und Oscarsborg sowie die nächstliegenden Teile des südlichen Norwegens.

Um einen Vergleich ziehen zu können zwischen den Wetterverhältnissen am 30. Dezember 1926 und denen, die bei den früheren Gelegenheiten obwalteten, als die Perlmutterwolken beobachtet wurden, hat mir der Meteorolog am Norwegischen meteorologischen Institut A. Refsdal folgende Mitteilungen gemacht:

#### Die Wetterlage am 26.—30. Dezember 1926.

Die irisierenden Wolken über Süd-Norwegen sind im Jahre 1926 unter demselben Zustand der Atmosphäre wie in den Jahren 1871—1892 entstanden.

Ein größerer Teil des Nordatlantischen Ozeans und Nord-Europas hatte in den Tagen 26.—30. Dezember 1926 stürmisches Wetter mit vorherrschenden Westwinden, genau wie Professor Mohn die Wetterlage schilderte, als sich die irisierenden Wolken voriges Mal über Süd-Norwegen zeigten.

Über den Britischen Inseln lag in dieser Zeit ein Hochdruck, der sich am 30. Dezember nach Frankreich verschob, während eine Serie von Cyklonen sich über das Norwegische Meer, Skandinavien und weiter nach Russland bewegte. In dieser Zeit kam mehrmals Föhn über dem norwegischen Ostland vor.

Die Cyklonen bewegten sich rasch und verursachten große und intensive Schwankungen im Luftdruck, mit Barometertendenzen bis auf  $\div 8$  Millibar in 3 Stunden.

Am 29. Dezember lag der Tiefdruck des letzten Cyklons dieser Serie über Island und bewegte sich rasch gegen Südosten. Am nächsten Tag lag er, wie die Karte (Pl. II) zeigt, in der Nähe von Stockholm, wo die Barometertendenz morgens noch  $\div 5$  Millibar in 3 Stunden war. Der Tiefdruck bei den Lofoten repräsentiert den Rest den Tiefdrucks, der noch nicht das Gebirge passiert hat, während der Tiefdruck zwischen Island und Norwegen wahrscheinlich von einer sekundären Kaltfront gebildet ist.

Die zwei Hochgebirgsstationen in Süd-Norwegen, Svandalsfjona (1066 m über dem Meere) und Slireå bei Finse (1300 m über dem Meere) zeigten Westwind, Slireå Stärke 8 in Beauforts Seeskala (ca. 20 m pr. Sek.).

Diese Stationen sind aber weniger gute Windstationen, und man muß annehmen, daß der Wind in der Höhe mehr nordwestlich gewesen ist.

Der Föhneffekt ist am diesem Tag über dem südlichen Ostland deutlich merkbar, aber nicht besonders groß. Die größte Temperatursteigung zeigt die Station Gvarv bei Norsjø in Telemark, wo die Temperatur Morgens  $- 0^{\circ}$  C. und Mittags  $8^{\circ}$  C. war. Die relative Feuchtigkeit bei Gvarv Morgens 81% und Mittags 52%.

Die Wetterlage an diesem Tag ist der Wetterlage am 15. Januar 1890 sehr ähnlich, während am 27. Dezember 1926 über Süd-Norwegen eine mehr allgemeine Westströmung herrschte.

