

## Die Lichtverhältnisse der Polargebiete.

Von Gerhard Schindler, Bad Homburg v. d. H.

Dem Reisenden, der von Süden kommt, fällt beim Eintritt in die Polargebiete auf, daß der gewohnte heimatliche Sternenhimmel sich geändert hat. Aber nicht wie bei einer Fahrt nach Süden, daß zu den vertrauten Sternbildern, die sich hier nur in anderer Lage zum Gesichtskreis finden, neue kämen. Nein, der Himmel wird hier einfacher, wie alles in den polnahen Gebieten. Sternbild um Sternbild verschwindet, bis, am Pol angelangt, die halbe Himmelskugel ständig sichtbar ist.

Die Einbuße an Sternen gegenüber geringeren Breiten ist beträchtlich. Nachdem Sonne und Mond neben den Polarlichtern in der Hauptsache die Lichtverhältnisse der Arktis regeln — die Sternenhelligkeit beträgt ohnehin etwa nur  $\frac{1}{250}$  des Vollmondlichtes —, so sind auch sie in ihren wechselnden Erscheinungen von der in jenen Gegenden über uns befindlichen Himmelskugel abhängig. Am Pol selbst herrscht bekanntlich ein halbes Jahr Tag (wegen der Refraktion, die sich hier infolge der ganz flach verlaufenden Gestirnsbahnen besonders auswirkt, etwas länger) und fast ebensolange Nacht. Für die übrigen Polargebiete (wir haben hier nur die nördlichen im Auge. Sofern sich wesentliche Abweichungen gegenüber der südlichen kalten Zone ergeben, sind sie besonders hervorgehoben; im übrigen gelten jeweils die gleichen Bedingungen, nur um ein halbes Jahr verschoben) finden wir Voraussetzungen, die sich zwischen denen bei uns und jenen am Pol wegen, mehr diesen ähnlich.

Gegenwärtig liegt die Apsidenlinie der Erdbahn so, daß das Sommerhalbjahr (Frühling und Sommer) für die Nordhalbkugel um eine volle Woche länger dauert, was sich naturgemäß in hohen nördlichen Breiten weit eher und günstiger bemerkbar macht als etwa bei uns. Nach einem halben platonischen Jahr (= 12882 „gewöhnliche“ Jahre) hat sich dieses Verhältnis zugunsten der Südhälfte der Erde gewandelt. Nebenbei sei erwähnt, daß die Meteorologie aus diesem Grund das „kalorische Halbjahr“ einführt (182½ Tage mit übernormaler und ebensoviele Tage mit unternormaler Sonnenstrahlung), um bei Vergleichen zwei wirklich gleiche Hälften zu bekommen.

Da überall auf der ganzen Erde Tag und Nacht in der Nähe der Äquinoktien (wegen der Refraktion etwas vor der Frühlings- und etwas nach der Herbstnachtgleiche) gleiche Länge haben, und sich schon bei uns längster und kürzester Tag wie etwa 2:1 verhalten, so müssen die täglichen Änderungen der Zeit nach erheblich rascher in den polnäheren Gebieten vor sich gehen als unter 50° Nordbreite, damit beispielsweise hart am Polarkreis das tatsächlich bestehende Verhältnis von nahezu 24:0 in der gleichen zur Verfügung stehenden Zeit von  $\frac{1}{4}$  Jahr erreicht werden kann. Während die Sonne bei uns in dem genannten Zeitraum eine 2stündige Änderung sowohl bei den Aufgangs- wie bei den Untergangszeiten herbeiführen kann, gelingt ihr in der gleichen Zeit am Polarkreis eine 3 mal größere Verschiebung! In gleicher Weise werden sich auch die Auf- und Untergangszimute, und zwar noch mehr als die Zeiten, ändern. Wir finden deshalb allenthalben eine sehr rasche Änderung der Lichtverhältnisse gegenüber den gemäßigten Zonen.

Während wir gewohnt sind, am selben Jahrestage ungefähr die gleichen Sonnenauf- und Untergänge anzutreffen, macht sich in der Polarzone der Schalttag stark bemerkbar, umso mehr, als er fast in der Zeit stärksten Anstiegs der Sonnendeklination liegt. Während sich diese zu den Nachtgleichen von Tag zu Tag um  $\pm 24'$  ändert, beträgt der Unterschied vom Schaltjahr zum vorangegangenen Jahr am gleichen Tage um die Nachtgleichen maximal 20'.

Abgesehen von der Zeitgleichung bringt die steile Himmelsachse um die Zeit starker Deklinationsänderungen eine asymmetrische Lage der Vor- und Nachmittage zum Mittag; innerhalb einer kleinen Kalotte um den Pol führt diese Tatsache überdies zu dem grotesken Fall, daß die Sonne überall anderswo ihren Höchststand erreicht, nur nicht im Süden! Sofern die täglichen Deklinationsänderungen größer sind als die Höhe des Himmelsäquators über dem Horizont,

erfolgt die Kulmination der Sonne vom Frühling zum Sommer immer im Norden und zwar jeweils um 24 Uhr; aber auch vom Sommer zum Herbst erreicht innerhalb dieser kleinen Kalotte — sie hat zu den Nachtgleichen entsprechend der größtmöglichen interdiurnen Deklinationsänderung einen Halbmesser von 24' — fast 45 km! — das Tagesgestirn seinen Höchststand im Norden, nur diesmal um 0 Uhr des neuen Tages. — Ohne Rücksicht auf die Zeitgleichung werden auf dem aufsteigenden Sonnenast die Nachmittage etwas länger sein, im absteigenden die Vormittage, weil diese wie jene die größere Sonnendeklination (absolut) besitzen.

Die Zeitgleichung, die die bekannten krassen Unterschiede zwischen Vor- und Nachmittagslänge mit Extremwerten im Februar und November schafft, wirkt in der Polarzone weiter in diesem Sinne. Dazu kommt gegebenenfalls eine geographische Längenabweichung von dem die entsprechende Standardzeit regelnden Meridian. Wegen noch fehlender Sonne kommen diese Verhältnisse zwar für die Pol nicht in Betracht, werden aber in der übrigen Polarzone, die schon lichten Tag hat, recht fühlbar sein. Vor allem auch deshalb, weil die beiden Extreme jeweils in nur rund 40 tägigem Abstand von den Nachtgleichen liegen und somit auf einem Teil der Sonnenbahn, der verhältnismäßig starke Änderungen der Deklination und implizite der Tageslängen aufweist. Hier liegt ein Unterschied zur Südhälfte vor: dort fallen nämlich die erwähnten Extreme in die Zeit mit noch oder schon wieder negativer Sonnendeklination (günstig für die Südhälfte, für die meistens die umgekehrten Verhältnisse wie für uns gelten). Die durch die Zeitgleichung bedingten Änderungen sind daher bei ohnehin langen Tagen weniger auffallend als in unseren Regionen mit einer knappen Tageslänge von 10 Stunden. — Liegen auch schon in anderen Breiten die Azimute des Sonnenuntergangs des längsten Tages und des Sonnenaufgangs des kürzesten Tages einander nicht gegenüber, so werden sie es hier oben erst recht nicht: eine Folge der mehr ins Gewicht fallenden Refraktion bei flacher Tagesbahn der Sonne. Sie vergrößert die Unterangszimute und verkleinert die des Aufgangs.

Die Sonne kann in Deutschland nur ganz grob ohne Hilfsmittel zur Zeitbestimmung benützt werden. In höheren Breiten ändert sich das und am Pol selbst gibt sie die ideale 24-Stundenuhr ab — sofern sie scheint! Vielfach wird geglaubt, das Tagesgestirn stehe im Sommerhalbjahr in unseren Himmelsstrichen um 6 Uhr morgens und um 18 Uhr abends genau im Osten, bzw. Westen. Das trifft nicht zu und zwar umso weniger, je weiter wir nach Süden kommen. Zu den Nachtgleichen steht die Sonne ohnehin für die äquatorialen Gebiete bis ganz knapp zu Mittag dauernd im Osten, weil sie dem I. Vertikal (Verbindungsline zwischen dem Ostpunkt und dem Zenit) entlang gleitet, und springt dann sofort nach Westen um, wo sie bis zum Untergang verbleibt. Also müssen die Zwischengebiete eine stetige Wandlung dieser Verhältnisse aufzeigen. Die polnahen Gebiete zeigen einen geringen Unterschied nach der Zeit im Ost- und Weststand der Sonne zwischen Äquinoktien und Solstitien. Sind schon die Sonnenhöhenänderungen bei uns in unmittelbarer Nähe der Kulminationszeit gering (1 Stunde vor- und nachher nur 2°), so sind sie in der Arktis zu allen Zeiten unerheblich und zwar naturgemäß umso geringer, in je höhere Breiten wir kommen.

Nur nach Mitte März und vor Ende September erfolgen die Sonnenauf- und Untergänge auf der ganzen Erde von Osten her. Im Sommerhalbjahr beobachten wir, mit einem Höhepunkt am Sonnwendtage, in unserem Lande ein Aufunszukommen des Sonnenaufgangs von Nordosten her, während der Untergang, von einem Flugzeug in großer Höhe beobachtet, sich aus Südosten heranbewegt. Im hohen Norden erfolgt der Aufgang von Norden her, der Untergang von Süden, natürlich nur jeweils bis zum Polarkreis (am längsten Tag), der von der Lichtgrenze am 21. Juni tangential berührt wird. Im Winter erfolgt für Deutschland zur Sonnenwende der Aufgang aus SE, der Untergang aus NE, in polaren Gebieten der Aufgang mehr aus Süden, der Untergang vom Norden her; also die umgekehrten Bedingungen, die wir ein halbes Jahr vorher oder nachher finden. Der Sonnenaufgang erfolgt jeweils mit starker Nordkomponente im Sommerhalbjahr, mit ebensolcher Südkomponente im Winter. Für den Untergang gelten die entsprechenden umgekehrten Verhältnisse.

Die Ekliptikschiefe verringert sich alljährlich um den klein zu nennenden Betrag von nur  $0,48''$ . Immerhin genügt er, um die Polarkreise jedes Jahr um volle 15 m gegen die Pole wandern zu lassen. In 100 Jahren müßten wir schon  $1\frac{1}{2}$  km nordwärts wandern, um vom heutigen Polarkreis (wegen der schon mehrfach erwähnten Refraktion noch etwas nördlicher) ausgehend, die Sonne einmal im Jahre noch über der Kimm, auch zum Zeitpunkte ihrer unteren Kulmination, zu sehen! Die Auswirkungen dieses Erdbahnelementes, die wir gar nicht merken, sind somit in hohen Breiten erheblich.

Die Präzession, von der wir ebenfalls kaum etwas zu spüren bekommen, tritt auch hier deutlich auf. Sie sorgt dafür, daß Sterne, die bisher sichtbar waren, im Süden verschwinden. Vor allem werden jene betroffen, die in der Nähe von  $AR = 12$  Stunden liegen und eine — Deklination haben, die dem Komplement der geographischen Breite fast gleichkommt, also etwa die Sterne des Bildes Rabe, das für  $70^\circ$  Nordbreite ohnehin nur noch zur Hälfte sichtbar ist. Dafür kommen andererseits jene Sterne im Süden herauf, die bislang bei Kulmination des Frühlingspunktes hart unter dem Horizont aber in gleicher Rektaszension lagen, also etwa der Hauptstern des südlichen Fisches, Fomalhaut, für die Breite von Kopenhagen (für Breiten der eigentlichen Polargebiete läßt sich in der Gegenwart kein hellerer bekannter Stern anführen). Die Sterne der genannten Rektaszension verzeichnen eine jährliche Änderung der Deklination von  $\mp 20''$ . Das Heraufkommen Fomalhauts beträgt sonach in 100 Jahren schon über  $\frac{1}{2}^\circ$ , was in Weglänge volle 55 km ausmacht! Die Präzession tritt übrigens in allen Erdgebieten gleich stark in Erscheinung.

Der Mond ist hier besonders erwähnenswert, weil seine Deklinationen im Laufe einer Lunation nach dem Zyklus des 18jährigen Saros innerhalb der Grenzen von  $18^\circ 08'$  und  $28^\circ 46'$  (letztmalig 1932) schwanken kann. Sein an sich verwickelter Lauf jenseits des Polarkreises wird daher für uns noch ungewöhnlicher. In Deutschland geht unser Trabant täglich etwa 50 Minuten später durch die Mittagslinie (der Betrag schwankt etwas je nach Erdnähe und Ferne). Das tut er im hohen Norden auch, oft bleibt er aber bei größerer südlicher Deklination unter dem Südhorizont unsichtbar. Während sich in mittleren Breiten Auf- und Untergang von einem Tag zum anderen verspäten (um wechselnde Beträge je nach täglicher Deklinations- und Breitenänderung augenblicklich — 1948 — zwischen 12 und 88 Minuten), kommen wir, nordwärts wandernd, bald an einen Parallel, wo Auf- oder Untergänge 2 Tage nacheinander zum selben Zeitpunkt bei allerdings anderen Azimuten erfolgen, was der in mathematischer Geographie bewanderte Leser schon aus den angeführten Grenzwerten in unseren Breiten erkennen kann. Nördlich von dem genannten Parallelkreis kehren sich die Verhältnisse so um, daß der Aufgang jetzt ebenso wie ein Untergang unter gewissen Voraussetzungen täglich früher erfolgen kann, kein Wunder, wenn wir bedenken, daß der Mond bei Erdnähe und beim Zusammenfallen des aufsteigenden Knotens seiner Bahn mit dem Frühlingspunkt täglich eine um  $7^\circ 15'$  geänderte Deklination zeigen kann, wobei auf die Breitenänderung längs der Ekliptik  $1^\circ 23'$  entfallen. Andererseits kann es zu ganz erheblichen Verspätungen sowohl bei Auf- und Untergang kommen. Wie die Sonne zeigt auch der Mond in der Arktis Zeiten völliger Unsichtbarkeit, die mit solchen der Oberläufigkeit, in denen er also zu einem zirkumpolaren Gestirn wird, abwechseln. Je nach der Mondapsidenlinie gibt es meistens keine genau gleichlangen Hälften einer Lunation, die sonst dem Sonnenjahr zu vergleichen ist. Die Asymmetrie, die wir dort feststellten, gilt auch hier, ebenso auch für den einzelnen „Mondtag“ infolge der 13 mal rascher sich ändernden Deklination. Die Polarkalotte, innerhalb der es zu Kulminationen im Norden kommt, erweitert sich für den Mond auf einen Halbmesser von äußerstenfalls  $7^\circ 15'$ , entsprechend der so großen möglichen Deklinationsänderung von Tag zu Tag, ist also recht beachtlich!

Zum Schluß wollen wir an Beispielen eine Himmelsschau an einzelnen ausgewählten Punkten und zu verschiedenen Zeiten halten. Sie wird uns gut die soeben geschilderten Grundlagen anschaulicher machen können. Damit hoffe ich, ein Kapitel der Arktis, über das allgemein, auch in Expeditionsberichten, nur

wenig erwähnt wird, in bescheidenem Maße ergänzt zu haben. Auch die oft ziemlich komplizierten astronomischen Bedingungen der Polargebiete haben teil an den Schwierigkeiten seelischer und physischer Art, die manche Forschungsfahrt betroffen hat. Uns Daheimgebliebenen können sie indessen Anregung sein und mithelfen, die Auswirkungen solcher ganz ungewohnter Grundlagen des „see-lischen“ Klimas einer fremden Landschaft in der unendlichen Eiswelt des Nordens wenigstens teilweise zu begreifen.

### 1) Nordpol.

Völlig dunkle Nacht herrscht hier zwischen dem 14. November und 31. Jänner (die Sonne steht dann auch mittags mehr als  $18^{\circ}$  unter dem Südhorizont, es gibt keine astronomische Dämmerung mehr). Zum Vergleich: in unseren Gegenden gibt es eine Mitternachtsdämmerung vom 1. Juni—12. Juli, sonst wird es in jeder Nacht „richtig“ dunkel, wie am Pol in der angeführten Zeit. Bereits ab Anfang Februar dringt die Dämmerung von Süden her am Pol vor, wird täglich heller und weicht knapp vor der Frühlingsnachtgleiche dem halbjährigen Polartag.

### 2) Königin Maud-Gebirge ( $84\frac{1}{2}^{\circ}$ Südbreite).

Dieser Parallel ist deswegen bemerkenswert, weil es hier theoretisch nur an einem Tage (21. Juni) völlige Nacht gibt, während sonst wenigstens zur Mittagszeit am Nordhorizont ein schwacher astronomischer Dämmerungsschein, ähnlich unserer hellen Junimitternacht, wahrnehmbar bleibt.

### 3) Nordostland von Spitzbergen ( $80^{\circ}$ Nordbreite).

Der Ort bietet uns Gelegenheit, die raschen Änderungen der Lichtverhältnisse der Polarzonen festzustellen. Der erste Sonnenaufgang des Jahres erfolgt hier (1948) am 22. Februar und zwar um 11 Uhr 35 Min. Obwohl die Sonne tags zuvor noch gar nicht über den Horizont gekommen war, scheint sie gleich am ersten Tage bis 13,16 Uhr (alle Angaben nach mittlerer Ortszeit), also mehr als 2 Stunden. Wir merken deutlich die Asymmetrie, hier eine Folge der Zeitgleichung, die in diesen Tagen noch recht beträchtlich ist. Gehen wir vom wahren Mittag (12 Uhr 14 Minuten MOZ.) aus, so sehen wir nurmehr 1 Minute Überschuß zugunsten des Nachmittags. Dieser läßt sich dadurch erklären, daß die Sonne von Mittag an ja ständig weiter an Deklination nordwärts gewinnt, so daß sich ihr Tagbogen schraubenförmig noch etwas vergrößert. Infolge der Kürze der Zeit kann der Betrag aber nicht besonders groß werden. Immerhin, wir können in Abwandlung eines lateinischen Spruches sagen „in crescendo crescit“ — mitten in der Zunahme wächst sie noch.

Die Verfrühung des Sonnenaufgangs bis zum nächsten Tage beträgt schon 28 Minuten, um den gleichen Betrag verspätet sich der Untergang (bei uns um die Nachtgleichen, also zu den Zeiten größter Änderung um nur je 2 Minuten). Die Tageszunahme beträgt von einem Tag zum anderen fast 1 Stunde. Natürlich geht das nicht so in diesem Tempo weiter. Vom zweiten Tage der Sichtbarkeit bis zum dritten verschieben sich Auf- und Untergangszeiten nurmehr um je 20 Minuten. Ergänzend können wir aber bemerken, daß um die Nachtgleichen die Änderungen noch immer 9 Minuten bei den Auf- und Untergangszeiten ausmachen.

Kurz nach der Frühlingsnachtgleiche bricht hier oben die bürgerliche Mitternachtsdämmerung an; am 26. 3. beginnt sie zwar erst um 2 Uhr 09 Min. morgens und endet um 22 Uhr 20 Min. abends. Am 27. hat sie ihren Beginn bereits auf 1 Uhr 48 Min. vorverlegt, ihr Ende um ebenfalls 21 Min. verzögert. Am 28. wird es im NNE schon um 1 Uhr 26 Min. hell und abends um 23 Uhr 13 Min. letztmalig dunkel. Doch dieser Zustand dauert keine 2 Stunden mehr; der 29. läßt die bürgerliche Dämmerung knapp vor 1 Uhr nachts anbrechen und nun — gibt es erst wieder am 14. September 22 Uhr 28 Min. stockdunkle Nacht. Naturgemäß dauert es jetzt auch nicht mehr allzulange, und wir haben bereits Mitternachtssonne. Am 12. April geht die Sonne noch um 1 Uhr 23 Min. auf und versinkt erst um 23 Uhr

09 Min., um 10 Minuten vor 1 Uhr des Folgetages schon wieder zu erscheinen und nicht mehr unterzugehen. Sie tut das erst wieder am 29. August um 22 Uhr 59 Min. Anderntags versinkt sie dann schon um volle 50 Minuten eher ins Meer.

#### 4) Kirunavara (68° Nordbreite).

Erster Sonnenaufgang (1948) erfolgt hier am 4. Jänner um 11 Uhr 40 Min. Bis zum nächsten Tage verfrüht sich dieser Termin auf 11 Uhr 33 Min. Die Untergänge liegen bei 12 Uhr 28 Min., bzw. 12 Uhr 38 Min. Die größere Länge der Nachmittage fällt wieder auf das Konto der Zeitgleichung.

#### 5) Lappmark/Schweden (65—68° Nordbreite).

Wir betreten jetzt das interessante Grenzgebiet um den Polarkreis. Infolge der schon mehrfach erwähnten Strahlenbrechung hat nicht der Polarkreis selbst in Wirklichkeit für einen Tag Mitternachtssonne oder für ebensolange Zeit ein sonnenloses Dasein. Die günstige Bedingung des 24 stündigen Tages ist bereits unter 65° 43' Breite (Polarkreis 66° 33') erreicht, während andererseits erst der Raum nördlich von 67° 23' an der eintägigen Nacht teilzunehmen braucht. Naturgemäß finden wir in dem Grenzgebiet sehr starke Änderungen. So geht die Sonne am kürzesten Tage unter 67° um 11 Uhr 14 Min. auf, unter 66° dagegen schon um 10 Uhr 36 Min. Daraus ergibt sich ein Unterschied von 38 Minuten auf eine Entfernung von nur 111 km. Setzen wir eine lineare Veränderung der Aufgangszeiten (diese Voraussetzung trifft nicht zu) voraus, so bringen uns 3 km Wanderung in der Nordsüdrichtung schon 1 Minute Änderung in den Aufgangszeiten oder 1½ km 1 Minute Änderung der Tagesdauer. Noch eines fällt dem aufmerksamen Beobachter auf: obwohl die Ekliptik um die Zeit der Sonnenwenden den Himmelsbreitenkreisen parallel verläuft, so spürt man in den Polargebieten selbst um diese Zeiten schon fast von Tag zu Tag die zeitlichen Änderungen in der Tagesdauer, eine Folge der höheren Amplituden der Auf- und Untergangszeiten. Nur an 4 Tagen geht in 67° Nordbreite die Sonne am frühesten unter und zwar vom 19.—22. 12. In gleicher Weise erfolgt der Aufgang nur unmittelbar um die Sonnenwende am spätesten. Weiter gegen Süden erfolgen jedoch Auf- und Untergänge um die Winter Sonnenwende eine Reihe von Tagen um dieselbe Zeit. Und noch eins: infolge der Zeitgleichung ist bei uns bereits ab 12. Dezember am Abend eine schwache Tageszunahme zu verzeichnen. Dabei müssen wir aber dann bis zum Neujahrstag warten, bis diese auch morgens eintritt. In 10° Nordbreite hat sich der späteste Morgen, was die wenigsten wissen werden, sogar bis 29. Jänner verschoben. Am Äquator tritt er — die Zeitgleichung in Reinkultur — genau am Tage des Höchstwertes der Zeitgleichung (11. 2.) ein, da bekanntlich ohnehin hier das ganze Jahr hindurch nach Ortszeit die Sonnenaufgänge um 6 Uhr erfolgen. Ähnlich steht es mit den Untergängen: Süditalien sieht bereits vom Nikolaustag an den Tag am Abend wieder wachsen, der Äquator gar ab Allerheiligen. Die Polargebiete kennen derartige Verschiebungen nicht.

Zum Schluß sei noch dem Mond ein Wort gewidmet. Infolge seiner Abweichungen von der Ekliptik kann er bis in die Gegenden von Stockholm und Leningrad herunter zirkumpolar werden und schafft somit gleichsam ein „lunares“ Polargebiet. Er wird theoretisch (unter Berücksichtigung der Refraktion) bis zu 60° 24' wenigstens für einen Mondentag oberläufig und damit zirkumpolar. Da jedoch dabei auch noch infolge seiner verhältnismäßigen Nähe seine Horizontalparallaxe zu berücksichtigen ist (sie drückt in den Gegenden nördlich 28° 46' [höchste Norddeklination des Mondes] die Deklination herunter), so ist eine Verbesserungsformel anzubringen:  $\Delta \text{Dekl.} = -p \sin z$ , wobei  $p$  die sich in geringen Grenzen ändernde Parallaxe des Mondes und  $z$  die Zenitdistanz bedeuten. Nur nebenher sei erwähnt, daß der Mond bereits in 80° Nordbreite zu gewissen Zeiten von einem Tag zum anderen volle 6 Stunden an Sichtbarkeit gewinnen kann (z. B. der Untergang kann 4 Stunden später als tags zuvor und der Aufgang 2 Stunden früher als gestern erfolgen). Daraus ergeben sich die tollsten Sprünge, die aber nur für uns so ungewohnt scheinen. Auch sie vollziehen sich durchaus stetig und gerade Rechenfehler fallen dadurch sofort auf, sobald man die Zeiten graphisch darstellt.