

Meteorologisch-optische Untersuchungen auf dem grönländischen Inlandeis

Von Fritz Kasten, Hanover, N. H. *)

Zusammenfassung: Es werden Meßwerte folgender Größen mitgeteilt: Totale und visuelle Albedo der Schneefläche unter bedecktem und blauem Himmel sowie die entsprechenden Albeden in mehreren Spektralbereichen; vertikale Verteilungen der Leuchtdichte und der Strahlungsdichten in mehreren Spektralbereichen von dicht bedecktem Himmel und Schneefläche, sowie horizontale Verteilungen der Leuchtdichte und nah-infraroten Strahlungsdichte von verschieden dicht bedecktem Himmel. — Der Zusammenhang dieser Größen untereinander und mit der Erscheinung des whiteout wird an Hand der Messungen diskutiert.

Abstract: Measured values of the following quantities are reported: Total and visual albedo of the snow surface under overcast and under blue sky as well as the corresponding albedos in several spectral ranges; vertical distributions of the luminance and of the radiances in several spectral ranges of densely overcast sky and snow surface, as well as horizontal distributions of luminance and near-infrared radiance of overcast sky of different densities. — The interdependence of these quantities and their relation to the whiteout phenomenon are discussed by means of the measurements.

Das grönländische Inlandeis ist für meteorologisch-optische Untersuchungen besonders geeignet. Seine Oberfläche kann für die meisten Betrachtungen als eben und homogen angesehen werden. Das bedeutet optisch einen ringsum freien Horizont und eine räumlich konstante Albedo des Bodens. Eine solche einheitliche Oberfläche großer Ausdehnung ist sonst nur durch größere Seen, Meere oder Wüsten gegeben. Die Schneefläche besitzt zusätzlich die Eigenschaft, auffallendes Licht fast diffus, also nichtspiegelnd, zu reflektieren, so daß die Intensität des reflektierten Lichts näherungsweise winkelunabhängig ist.

Die visuelle Albedo einer Fläche, d. h. ihre Albedo für sichtbares Licht, ist im allgemeinen verschieden von ihrer totalen Albedo, die sich auf das ganze Sonnenspektrum bezieht. Die totale Albedo ist abhängig von der spektralen Verteilung der einfallenden Strahlung, also z. B. verschieden für bedeckten und blauen Himmel. Die visuelle Albedo dagegen ist unempfindlich gegen solche Änderungen (Kasten 1961),

kann also bezüglich der spektralen Zusammensetzung des einfallenden Lichts als konstant angesehen werden. Das kann durch Messungen belegt werden. *Tab. 1* gibt z. B.

Tab. 1: Albedo der Schneefläche bei Camp Century, Nord-Grönland (77°11'N, 61°09'W, 2000 m über NN), Juni 1961:

A_v = visuelle Albedo (Augenempfindlichkeit),
 A_t = totale Albedo (Sonnenspektrum),
 A_i = Infrarot-Albedo (Schwerpunkt 1,3 μ).

	A_v	A_t	A_i
dicht bedeckter Himmel	1,00	0,79	0,65 (0,6—0,7)
blauer Himmel	1,00	0,72	0,43

Messungen der visuellen Albedo A_v , der totalen Albedo A_t und der Infrarot-Albedo A_i des grönländischen Inlandeises wieder, und zwar in der ersten Zeile an einem dicht bedeckten Tage, in der zweiten unter blauem Himmel. Die Infrarot-Albedo bezieht sich dabei auf den Spektralbereich von 0,8 bis 1,8 μ mit Schwerpunkt bei 1,3 μ . Während A_v in beiden Fällen gleich ist, ist A_t unter bedecktem Himmel merklich höher als unter klarem. Diese Verschiedenheit von A_t kann nur durch den nicht sichtbaren Spektralanteil von A_t verursacht sein; in der Tat zeigt A_i (Albedo im nahen Infrarot) einen besonders starken Unterschied für die beiden Himmelszustände, also für verschiedene spektrale Zusammensetzung der auf den Schnee einfallenden Strahlung. Die Infrarot-Albedo A_i unterliegt ferner weitaus stärkeren kurzzeitigen Schwankungen als die visuelle Albedo A_v , s. *Abb. 1*; hier ist der zeitliche Verlauf der genannten Albeden und, zum Vergleich, der entsprechenden einfallenden Bestrahlungsstärken in einem perfekten overcast whiteout aufgetragen.

Die Albedo des Bodens ist infolge Hin- und Her-Reflexion des Lichts mit der Helligkeit des Himmels verknüpft. Für bedeckten Himmel gilt die von Fritz (1955) bzw.

*) Dr. Fritz Kasten, USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., USA. Jetzige Anschrift: Meteorologisch-Geophysikalisches Institut der Johannes-Gutenberg-Universität, Mainz.

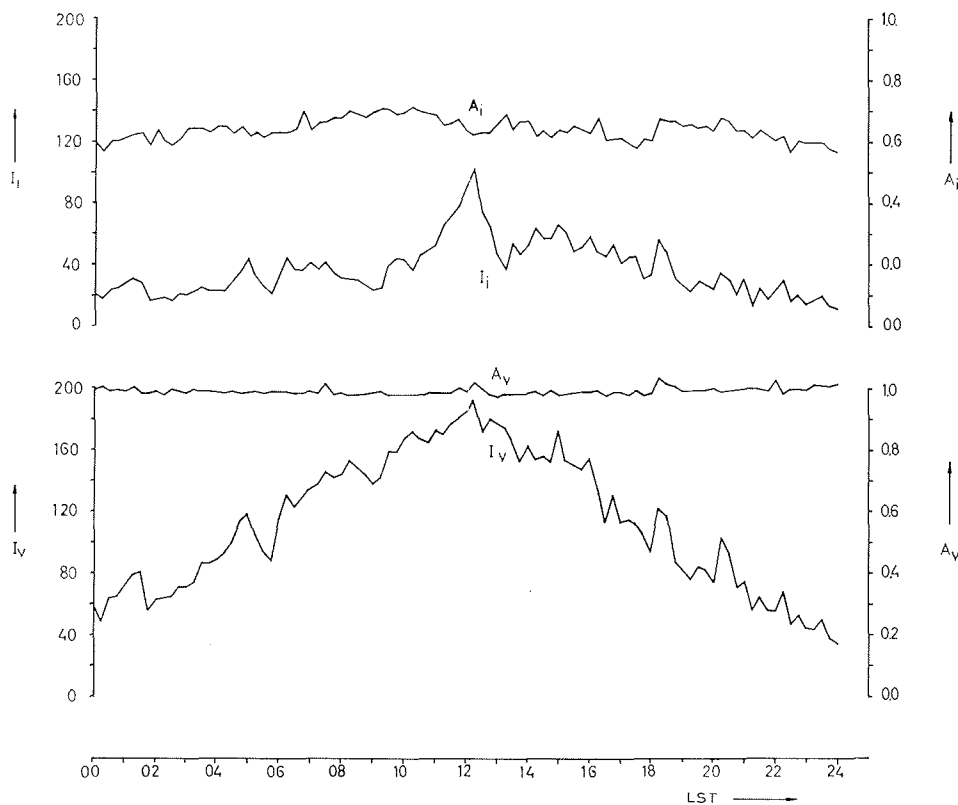


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf von visueller Bestrahlungsstärke (Beleuchtungsstärke) I_v , visueller Albedo A_v , Infrarot-Bestrahlungsstärke I_i und Infrarot-Albedo A_i in einem vollkommenen overcast whiteout. Camp Century, 30. Juni 1961. I_v und I_i in willkürlichen Einheiten. LST = Local Standard Time = mittlere Ortszeit von 60° W.

Shifrin und Minin (1959) auf verschiedenen Wegen hergeleitete Formel

$$\frac{B(\theta)}{B(0)} = \frac{1 + n(A) \cos \theta}{1 + n(A)} \quad (1)$$

mit

$$n(A) = 1,5 \frac{1 - A}{1 + A} \quad (2)$$

für die vertikale Leuchtdichteverteilung des bedeckten Himmels. Hier ist $B(\theta)$ die Leuchtdichte eines Himmelspunktes des Zenitwinkels θ , $B(0)$ die Leuchtdichte des Zenits und A die visuelle Albedo des Bodens. *Abb. 2* gibt die graphische Darstellung dieser Formel; A ist Kurvenparameter. Die Helligkeit des Himmels nimmt vom Zenit zum Horizont ab. Die Abnahme ist um so schwächer, je höher die visuelle Bodenalbido ist; über sehr hellem Boden ist die Verteilung homogen.

Diese theoretisch abgeleitete Formel läßt sich durch Messungen belegen, und zwar besonders anschaulich, wenn man an der Grenze zweier Böden mit verschiedener visueller Albedo mißt. Ein solches Beispiel zeigt *Abb. 3*. Hier sind zwei vertikale Leuchtdichteverteilungen des Himmels aufgetragen, die im Winter 1960 auf dem Bodensee nahe dem Ufer gemessen wurden. Kurve L wurde zum schneebedeckten Land hin (hohe Albedo), Kurve S zum (eisfreien) offenen See hin (niedrige Albedo) gemessen. Kurve L repräsentiert den „Eisblink“ über der Schneefläche, Kurve S den sog. „Wasserspiegel“ über dem See.

Über der Schneefläche des grönländischen Inlandeises mit der visuellen Albedo 1 hat man nach Gl. (1) eine völlig homogene Leuchtdichteverteilung zu erwarten, wie sie die obere Meßkurve in *Abb. 4* in der Tat

zeigt. Die Leuchtdichteverteilung ist hier über den Horizont ($\Theta = 90^\circ$) hinaus bis fast zum Nadir ($\Theta = 180^\circ$) gemessen worden. Die Leuchtdichten des Himmels gehen völlig gleichmäßig in die der Schneefläche ($\Theta > 90^\circ$) über, der Horizont ist also nicht zu erkennen. Man glaubt sich in einer aus-

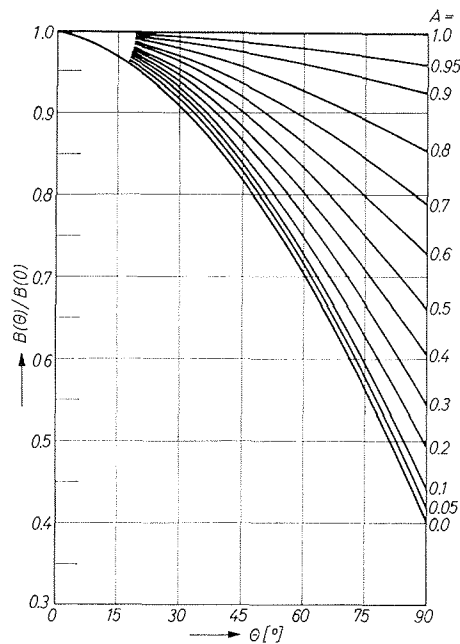


Abb. 2: Relative Leuchtdichten $B(\Theta)/B(0)$ des bedeckten Himmels als Funktion des Zenitwinkels Θ für verschiedene visuelle Bodenalbeden A . Berechnet nach Fritz, 1955).

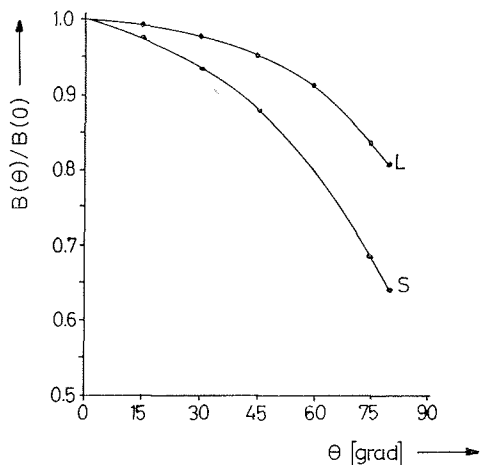


Abb. 3: Relative Leuchtdichten $B(\Theta)/B(0)$ des bedeckten Himmels als Funktion des Zenitwinkels Θ über dem Bodensee, 17. Februar 1960; leichter Schneefall. Kurve L in Richtung auf das schneebedeckte Land, Kurve S in Richtung auf den offenen, eisfreien See hin gemessen.

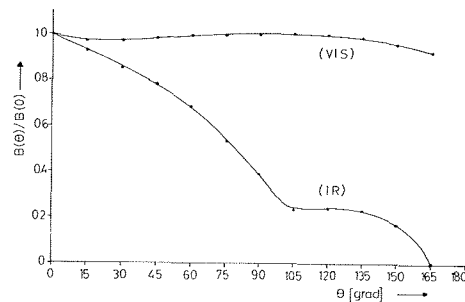


Abb. 4: Relative Leuchtdichte und Infrarot-Strahlungsdichte $B(\Theta)/B(0)$ als Funktion des Zenitwinkels Θ in einem vollkommenen overcast whiteout. Camp Century, 15. Juni 1961.

geweißten Kugel von allseits gleicher Helligkeit zu befinden und nennt daher diese Situation whiteout. — Erst bei sehr großen Zenitwinkeln, nahe dem Nadir, fällt die Kurve ab, dort ist die Homogenität der Leuchtdichteverteilung durch die Nähe der Meßgeräte (Photometer) gestört. Diese Störung der homogenen Leuchtdichteverteilung äußert sich in der unmittelbaren Umgebung jedes Gegenstandes auf der Schneefläche als eine Art Schatten, innerhalb dessen ein Beobachter sehr wohl Einzelheiten der Schneeoberfläche erkennen kann, während das ringsum, selbst näher zum Beobachter hin, nicht möglich ist.

Die zweite Kurve in Abb. 4 gibt die entsprechende Strahlungsdichteverteilung im nahen Infrarot (Wellenlängenbereich von etwa $0,8$ bis $1,8 \mu$ mit einem Maximum bei $1,3 \mu$) wieder. Sie fällt, im Gegensatz zum Sichtbaren, stark bis zum Horizont hin ab, bildet dort einen Knick und wird im Bereich der von der Schneefläche ins Photometer reflektierten Strahlung näherungsweise homogen, bis dann wieder in der Nähe des Nadirs der Abfall infolge des „Schattens“ der Meßgeräte einsetzt. Die starke Abnahme der Infrarot-Strahlungsdichteverteilung vom Zenit zum Horizont beruht nicht nur auf der verhältnismäßig niedrigen Infrarot-Albedo des Schnees, sondern wird auch durch die mit zunehmender optischer Luftmasse wachsende Absorption in den Wasserdampfbanden verursacht.

Whiteout tritt nur bei dichter Bedeckung des Himmels auf. Die Wolken müssen so dick sein, daß die Sonne nicht mehr auszumachen ist; dann ist alles aus den Wolken

austretende Licht diffus. Die Leucht- bzw. Strahlungsdichtevertellungen werden dann rotationssymmetrisch zum Zenit sein, also für festen Zenitwinkel über alle Azimute konstant. Daß dies in Wirklichkeit so ist, zeigt *Abb. 5*. Hier sind die relativen Strah-

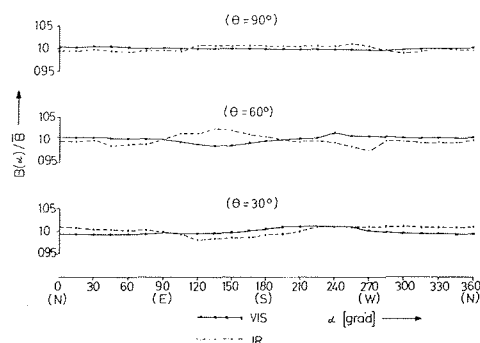


Abb. 5: Relative Leuchtdichte und Infrarot-Strahlungsdichte $B(\alpha)/\bar{B}$ als Funktion des Azimutwinkels α in drei Horizontalkreisen in einem vollkommenen overcast whiteout. Camp Century, 19. Juni 1961. Θ = Zenitwinkel des betreffenden Horizontalkreises. $\bar{B}$ = Mittel aller $B(\alpha)$ in demselben Horizontalkreis. N, E, S, W: Himmelsrichtungen. VIS = visuelle Strahlungsdichte (Leuchtdichte), IR = infrarote Strahlungsdichte.

lungsdichten des Himmels im Sichtbaren (ausgezogene Kurve) bzw. Infraroten (gestrichelte Kurve) für drei konstante Zenitwinkel Θ über dem Azimut α aufgetragen. „Relativ“ soll dabei heißen, daß die Werte auf den Mittelwert über alle Azimute bezogen sind. Die azimuthalen Schwankungen sind äußerst gering und übersteigen nirgends 2.5 %.

Zum Vergleich folgen in *Abb. 6* die entsprechenden Verteilungen bei zwar vollständiger, aber nur dünner Wolkendecke. Während die Kurven für $\Theta = 90^\circ$ (Horizont) noch gut ausgeglichen sind, macht sich in $\Theta = 30^\circ$ Zenitdistanz der Ort der Sonne durch die Wolken hindurch bemerkbar. In diesem Falle kommt es also nicht zum whiteout. Das Gleiche gilt für die in *Abb. 7* gezeichneten Verhältnisse, einen etwa 100 m dicken Bodennebel mit einer horizontalen Sichtweite in Bodennähe von etwa 200 m. Dargestellt ist nur die azimuthale Verteilung für $\Theta = 90^\circ$ (Horizont), bei der bereits keinerlei Homogenität besteht; daher existiert auch in diesem Bodennebel kein whiteout.

Nachdem soeben durch Messungen belegt wurde, daß bei dichter Bedeckung, und nur

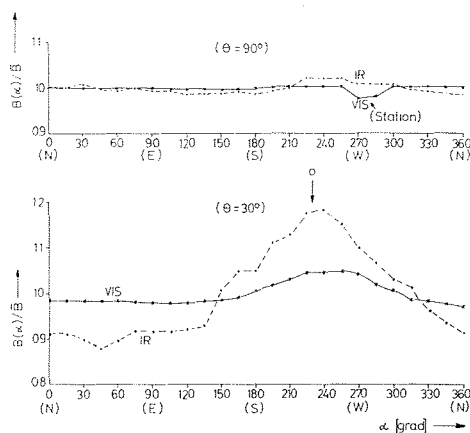


Abb. 6: Relative Leuchtdichte und Infrarot-Strahlungsdichte $B(\alpha)/\bar{B}$ als Funktion des Azimutwinkels α in zwei Horizontalkreisen bei vollständiger, aber dünner Wolkendecke; Sonne mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen. Camp Century, 17. Juni 1961. Bezeichnungen wie in *Abb. 5*. $\odot$ = Azimut der Sonne.

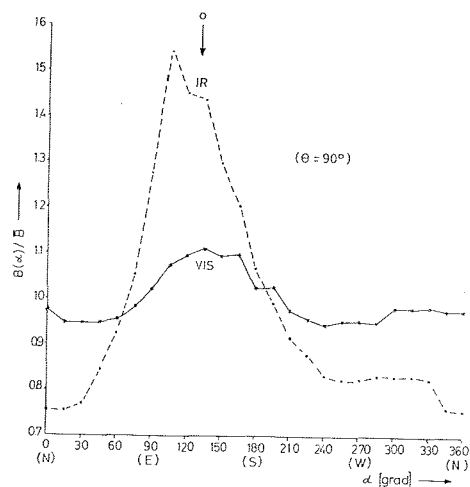


Abb. 7: Relative Leuchtdichte und Infrarot-Strahlungsdichte $B(\alpha)/\bar{B}$ als Funktion des Azimutwinkels α im Horizontalkreis $\Theta = 90^\circ$ (Horizont) in einem etwa 100 m dicken Bodennebel; horizontale Sichtweite 200 m, Sonne schwach zu erkennen. Camp Century, 19. Juni 1961. Bezeichnungen wie in *Abb. 6*.

bei solcher, die Leucht- bzw. Strahlungsdichtevertellungen rotationssymmetrisch zum Zenit sind, genügt es offenbar in diesen Fällen, nur den vertikalen Verlauf in einem einzigen Azimut zu messen, um die gesamte räumliche Verteilung zu erhalten.

In *Abb. 8* sind die vertikalen Verteilungen der Strahlungsdichte in einzelnen, durch Glasfilter ausgesonderten Spektralbereichen

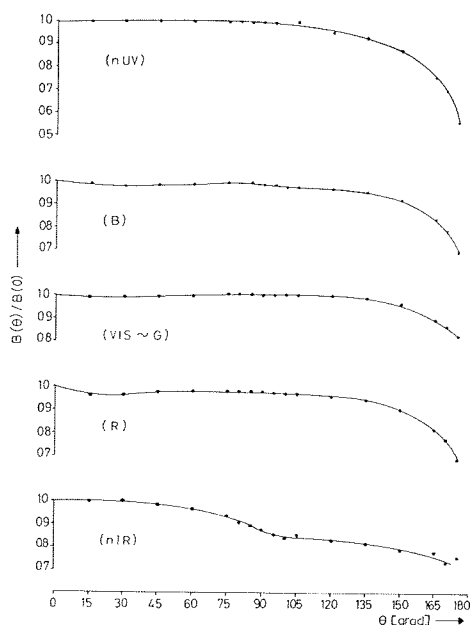


Abb. 8: Relative Strahlungsdichten $B(\Theta)/B(0)$ als Funktion des Zenitwinkels Θ in einzelnen breiten, durch Glasfilter ausgesonderten Spektralbereichen in einem vollkommenen whiteout. Camp Century, 25. Juni 1961. nUV = nahes Ultraviolett, B = Blau, VIS = Visuell, G = Grün, R = Rot, nIR = nahes Infrarot.

über dem Zenitwinkel Θ aufgetragen. Besonders hebt sich wieder die Infrarot-Kurve heraus, die vom Zenit bis zum Horizont fällt. Der Abfall ist nicht ganz so stark wie in Abb. 4, weil dieses Mal in einem kurzwelligeren, dem Sichtbaren näher benachbarten infraroten Spektralbereich gemessen wurde, in dem sowohl die Schneeralbedo höher ist als auch weniger Wasserdampfabsorption stattfindet. Nach dem charakteristischen Knick in Horizontnähe folgt dann die schwache Abnahme der Strahlungsdichte der Schneefläche.

Die übrigen spektralen Kurven der Abb. 8 ähneln sich. Die Strahlungsdichten des Himmels sind in allen diesen übrigen Spektralbereichen räumlich konstant. Die Strahlungsdichten der Schneefläche dagegen zeigen kleine Varianten; so ist dort die Verteilung im Visuellen (Grün) am gleichmäßigsten, während sich sowohl für kürzere als auch für längere Wellenlängen etwas steilere Verteilungen ergeben, besonders im Ultraviolett; d. h. im längerwelligen und besonders im kürzerwelligen Spektralbereich

reflektiert die Schneefläche nicht ganz so isotrop wie im visuellen, und daher ist dort auch der whiteout nicht ganz so vollkommen wie im Sichtbaren. Diese Ergebnisse werden bekräftigt durch Messungen mit schmalbandigen Interferenzfiltern (s. Abb. 9), bei denen der Abfall der Strahlungs-

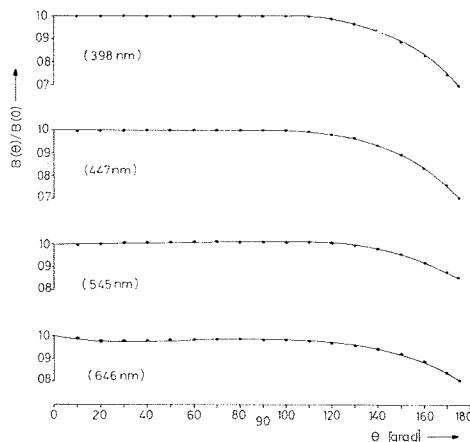


Abb. 9: Relative Strahlungsdichten $B(\Theta)/B(0)$ als Funktion des Zenitwinkels Θ in einzelnen schmalen, durch Interferenzfilter ausgesonderten Spektralbereichen in einem vollkommenen whiteout mit Schneefall. Camp Century, 30. Juni 1961. Die Zahlenwerte in nm = Nanometer = 10^{-9} m geben die Spitzen-Durchlässigkeiten der benutzten Interferenzfilter an.

dichtevertelung im Ultraviolett und Blau bereits am Horizont beginnt und verhältnismäßig steil ist, während er im Rot stärker ausgeglichen und im Grün am flachsten ist.

Da die Strahlungsdichten des bedeckten Himmels in allen Spektralbereichen mit Ausnahme der infraroten vom Zenit bis zum Horizont praktisch konstant sind, ist nach Fritz' Formel (1) zu erwarten, daß die entsprechenden spektralen Albeden ebenso wie die visuelle nahe bei 1 liegen. Auch das wird durch Messungen bestätigt, wie Tab. 2, erste Zeile, zeigt. Die Albedo im nahen Infrarot (nIR) ist die einzige, die merkbar unter 1 ist, und korrespondiert damit zu

Tab. 2: Albedo der Schneefläche bei Camp Century, Juni 1961, in verschiedenen breiten, durch Glasfilter ausgesonderten Spektralbereichen; nUV = nahes Ultraviolett, nIR = nahes Infrarot.

	nUV	blau	grün	rot	nIR
dicht bedeckter Himmel	0,99	1,00	1,00	0,99	0,95
blauer Himmel	0,95	1,00	1,00	0,99	0,91

dem Abfall der entsprechenden Strahlungs-dichte-Verteilung des bedeckten Himmels in Abb. 8. Interessant ist der Vergleich dieser Werte mit solchen, die unter blauem Himmel gewonnen wurden (zweite Zeile von Tab. 2). Während die Albeden im Blau, Grün und Rot auch hier gleich 1 sind, sind sie sowohl im nahen Ultraviolett als auch im nahen Infrarot niedriger als unter bedecktem Himmel. Die Abweichung im Ultraviolett beruht darauf, daß die Kurve des spektralen Reflexionsvermögens des Schnees (nach Messungen von Dirmhirn 1957) zum Ultraviolett hin bereits absinkt; das macht sich bei grauem, dicht bedecktem Himmel nicht bemerkbar, wohl aber bei blauem, dessen Einstrahlung einen starken kurzwelligen Anteil besitzt. Die Unterschiede der Albedo im nahen Infrarot kön-

nen auf den von Kasten (1962) näher beschriebenen Effekt zurückgeführt werden, daß die Infrarot-Albedo um so höher ausfällt, je größer der Wassergehalt der Luft ist.

*

Literatur:

- Dirmhirn, Inge (1957): Zur spektralen Verteilung der Reflexion natürlicher Medien. *Wetter und Leben* 9, 41—46.
- Fritz, S. (1955): Illuminance and Luminance under Overcast Skies. *J. Opt. Soc. Amer.* 45, 820—825.
- Kasten, F. (1961): Sichtweite und Albedo, insbesondere im Polargebiet. I. Theorie der horizontalen Sichtweite nicht selbstleuchtender Objekte unter bedecktem Himmel. *Beitr. Phys. Atmosph.* 34, 234—258.
- (1962): dto. II. Messungen von meteorologisch-optischen Größen im Zusammenhang mit der Sichtweite, insbesondere im Polargebiet. *Beitr. Phys. Atmosph.* 35, 18—42.
- Shifrin, K. S., und I. N. Minin (1959): Non-horizontal Visibility at Solid Cloud Cover. *Bull. Acad. Sci. USSR, Geophys. Ser., Engl. ed.*, 80—84.

Pelagic distribution of birds at the Weddell Sea

By Ricardo Novatti, Buenos Aires *

Zusammenfassung: Pelagische Verbreitung von Vögeln in der Weddell-See. Die Arbeit ist eine Aufzeichnung über Vogel-Beobachtungen in der Weddell-See (24 Arten). Die Beobachtungen wurden auf zwei Expeditionen im Südsommer 1955/56 und 1959/60 an Bord des argentinischen Eisbrechers „General San Martin“ gemacht. Nach einer Einleitung über die Weddell-See und die Arbeitsmethoden sind die Arten mit ihrem Beobachtungsgebiet und ergänzenden Bemerkungen beschrieben. Zwei Tabellen geben eine Übersicht über die an den einzelnen Expeditionstagen und in den durchfahrenen Gebieten gesehenen Vögel.

*

Abstract: Pelagic distribution of birds at the Weddell Sea. The essay contains the notes taken of the observation of birds at the Weddell Sea (24 species). The observations were made on two expeditions in the southern summer of 1955/56 and 1959/60 on board the Argentine icebreaker „General San Martin“. After an introduction dealing with the Weddell Sea and the methods of research the species are represented together with the territory of observation and supplementary annotations. Two tables give a survey of the birds seen on each day of the expedition and in the territories they sailed through.

*

I — Introduction

The present work offers the observations of the author on the pelagic distribution of birds at the Weddell Sea, Antarctica.

These observations were made during two polar argentine campaigns in the summers

1955—56 and 1959—60. The author participated of both of them as biologist of the Instituto Antártico Argentino aboard the icebreaker „General San Martin“ of the National Navy. His work was done always from aboard and he recorded the observed birds with ecological and ethological notes on them.

II — General features of the Weddell Sea

The Weddell Sea is one of the most important geographic accidents of the Antarctica. Its physical description is not satisfactorily known due to its extension as much as to the difficulties it presented and presents to exploration, in spite of the icebreaker-ships and special aircrafts, but it must be outlined that it remains frozen over its greater area during the whole year. A large part of the eastern and western coasts of the Weddell Sea bear the addition of large floating ice-barriers that unfasten masses of great extent that invade the Weddell and some other adjacent areas in lower latitudes. The great ice-fields and icebergs are important elements in the landscape — and

*) Ricardo Novatti, Biologist of Instituto Antártico Argentino, Buenos Aires, Cerrito 1248