

Ein Beitrag zur Kenntnis des Wärmehaushaltes des grönländischen Inlandeises.

Vorläufige Ergebnisse, EGIG 1967

Von W. Ambach, Physikalisches Institut der Universität Innsbruck *)

Zusammenfassung: Während der Sommermonate Mai, Juni und Juli ergibt sich ein Wärmehaushalt, bei dem im Mittel die absorbierte Globalstrahlung durch die langwellige Strahlungsbilanz kompensiert wird und sich auch die fühlbare und latente Wärme weitgehend ausgleicht.

Trotz des hohen Energieangebotes durch die Globalstrahlung ($715 \text{ cal/cm}^2\text{Tag}$) werden nur $10 \text{ cal/cm}^2\text{Tag}$ zur Schneerwärmung verbraucht. Das sind nur $1,4 \%$ des Energieangebotes durch die Globalstrahlung. Das logarithmische Windprofil ist bis 2 m Höhe sehr gut erfüllt und liefert im Mittel für den Rauigkeitsparameter $0,012 \text{ cm}$ und für die Schubspannungsgeschwindigkeit 28 cm/sek .

Abstract: During the months of May, June, and July the heat budget is nearly balanced, as in the average the absorbed global shortwave radiation is compensated by the net longwave flux and the flow of sensible heat is compensated by the flow of latent heat.

In spite of the large amount of the global shortwave radiation ($715 \text{ cal/cm}^2 \text{ day}$), only $10 \text{ cal/cm}^2 \text{ day}$ were consumed for the warming of the snow. This is only $1,4 \%$ of the energy supplied by the global shortwave radiation. The wind profile is logarithmic up to 2 m height. In the average the roughness-parameter amounts to $0,012 \text{ cm}$, the friction velocity to 28 cm/sec .

I. Einleitung

Für die Zeit von Mitte Mai bis Ende Juli 1967 wurde in Station Carrefour (EPF-Profil, 1850 m Seehöhe, $69^\circ 49' 25'' \text{ N}$, $47^\circ 25' 57'' \text{ W}$) der Wärmehaushalt der Schneefläche bestimmt. Die Instrumentierung der Station wurde bereits beschrieben (W. Ambach, 1968). Die Meßstelle liegt im Akkumulationsgebiet. Nur für kurze Zeiten erreicht die Oberfläche Schmelztemperatur. Diese Wärmehaushaltsstudie ist die Fortsetzung einer im Sommer 1959 durchgeführten Untersuchung in der Ablationszone (Camp IV—EGIG, $69^\circ 40' 05'' \text{ N}$, $49^\circ 37' 58'' \text{ W}$. Ambach, 1963).

II. Vorläufige Ergebnisse und Diskussion

Aus der Gesamtsumme der einfallenden und reflektierten Globalstrahlung erhält man für die Periode vom 13. Mai bis 27. Juli die Albedo zu $84,1 \%$. Als mittlere absorbierte Globalstrahlung ergibt sich der Betrag $+114 \text{ cal/cm}^2 \text{ Tag}$, als langwellige Strahlungsbilanz $-99 \text{ cal/cm}^2 \text{ Tag}$, so daß die Gesamtstrahlungsbilanz den geringen Überschuß von $+15 \text{ cal/cm}^2 \text{ Tag}$ zeigt. Mit diesem Energiegewinn erhält man unter Berücksichtigung des Energieverbrauches für die Schneerwärmung ($-10 \text{ cal/cm}^2 \text{ Tag}$, Temperaturprofile bis 6 m Tiefe) als Restglied der Wärmehaushaltsgleichung den Betrag von $-5 \text{ cal/cm}^2 \text{ Tag}$, der durch die dynamische Konvektion (fühlbare und latente Wärme) verbraucht wird. Obwohl kurzzeitig an der Oberfläche freies Wasser durch Schmelzung produziert wurde (3 Tage mit positivem Tagesmittel und 8 Tage mit positivem Maximum der Lufttemperatur) erscheint unter dem Titel Schmelzung der Energiebetrag Null, da das freie Wasser beim Frieren die Schmelzwärme wieder abgibt.

Als Ergebnis erhält man demnach, daß sowohl der Strahlungshaushalt für sich infolge der Kompensation der absorbierten Globalstrahlung durch die langwellige Strahlungsbilanz, als auch die dynamische Konvektion durch verschiedene Vorzeichen des fühlbaren und latenten Wärmestromes im Mittel weitgehend ausgeglichen ist. Tab. 1 gibt eine Zusammenstellung der einzelnen Energiebeträge.

Eine Fehlerbetrachtung zeigt, daß man innerhalb der Meßgenauigkeit von einem ausgeglichenen Strahlungshaushalt (Gesamtstrahlungsbilanz = 0) für die Zeit vom 13. Mai

*) Univ.-Prof. Dr. W. Ambach, A - 6020 Innsbruck, Schöpfstraße 41

bis 27. Juli sprechen kann. Bei einem Fehler von nur 1 % für die einfallende Globalstrahlung (G) und die reflektierte Globalstrahlung (R) und von 5 % für die langwellige Strahlungsbilanz (LSB) erhält man als Fehler für die Gesamtstrahlungsbilanz (SB):

$$\Delta SB = \sqrt{\Delta G^2 + \Delta R^2 + \Delta LSB^2}$$

Mit $\Delta G = 7 \text{ cal/cm}^2\text{Tag}$, $\Delta R = 6 \text{ cal/cm}^2\text{Tag}$, $\Delta LSB = 5 \text{ cal/cm}^2\text{Tag}$

$$\Delta SB = \pm 11 \text{ cal/cm}^2\text{Tag}.$$

Die Komponenten des Strahlungshaushaltes wurden als Tagessummen nach folgendem Verfahren ermittelt: Eichung der Thermosäulen vor Sonne mit einem Panzer-Aktinometer Linke-Feußner, Berechnung des Eichfaktors für kurzwellige, isotrope Strahlungsverteilung f_{isotrop} nach dem Verfahren von Liljequist (1956) durch graphische Integration von

$$\frac{1}{f_{\text{isotrop}}} = \pi/2 \int_0^{\pi/2} \frac{\sin 2h}{f(h)} \cdot dh,$$

wobei $f(h)$ die Sonnenhöhenabhängigkeit des Eichfaktors beschreibt. Der Verlauf des Eichfaktors mit der Sonnenhöhe zeigt beim Lupolengerät nach Schulze ein besseres Plateau als beim Solarimeter. Die starke Abnahme des Eichfaktors bei kleinen Sonnenhöhen ($h < 15^\circ$) wurde bei beiden Geräten wiederum bestätigt (W. Ambach, E. Beschorner, H. Hoinkes 1963).

Die Verringerung des Eichfaktors ergibt bei kleinen Sonnenhöhen eine Empfindlichkeits-erhöhung, wobei als Ursache beim Lupolengerät die in der Haube produzierte Streustrahlung und beim Solarimeter die durch die innere Glaskugel erzeugte Katakaustik anzusehen ist, die bei niedrigen Sonnenständen auf die Thermosäule fällt (H. Hinzpeter 1952). Die Temperaturabhängigkeit des Eichfaktors wurde berücksichtigt, wobei der resultierende Temperaturkoeffizient aus dem Temperaturkoeffizienten der Strahlungsempfindlichkeit und jenem des Widerstandskreises ermittelt wurde. Bei der Berechnung des langwelligen Strahlungshaushaltes aus den Registrierungen des Lupolengerätes wurde ferner berücksichtigt, daß der Eichfaktor im langwelligen Bereich um den Faktor 1,38 größer ist als im kurzwelligen. Die vom Lupolengerät registrierte Strahlungsenergie wurde in einen kurzwelligen und in einen langwelligen Anteil aufgespalten, wobei jeder Anteil mit dem entsprechenden Eichfaktor berechnet wurde. Der numerische Wert 1,38 für den Unterschied der Eichfaktoren für kurz- und langwellige Strahlung basiert auf früher durchgeführten Eichmessungen (W. Ambach, E. Beschorner, H. Hoinkes, 1963).

Abb. 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Tagessummen der kurzwelligen (G-R) und langwelligen Strahlungsbilanz (A—E) sowie auch die Variationen der Albedo. Die Albedowerte aus den Tagessummen schwanken zwischen 75 % und 94 %. Ein Vergleich des Verlaufes der kurzwelligen Bilanz mit demjenigen der langwelligen Bilanz zeigt eine antiphase Beziehung: Perioden mit stark negativer langwelliger Strahlungsbilanz korrespondieren mit Perioden stark positiver kurzwelliger Strahlungsbilanz. Diese antiphase Beziehung läßt sich durch den Einfluß der Bewölkung auf den Strahlungshaushalt erklären. Bei starker Bewölkung ist die langwellige Strahlungsbilanz schwach negativ, bei geringer Bewölkung hingegen stark negativ. Der Einfluß der Bewölkung auf die kurzwellige Strahlungsbilanz ist zweifach: Einerseits zeigen Tage mit starker Bewölkung geringe Werte der Globalstrahlung, andererseits sind diese Tage häufig mit Neuschneefällen verbunden, wobei überdurchschnittlich hohe Albedowerte auftreten.

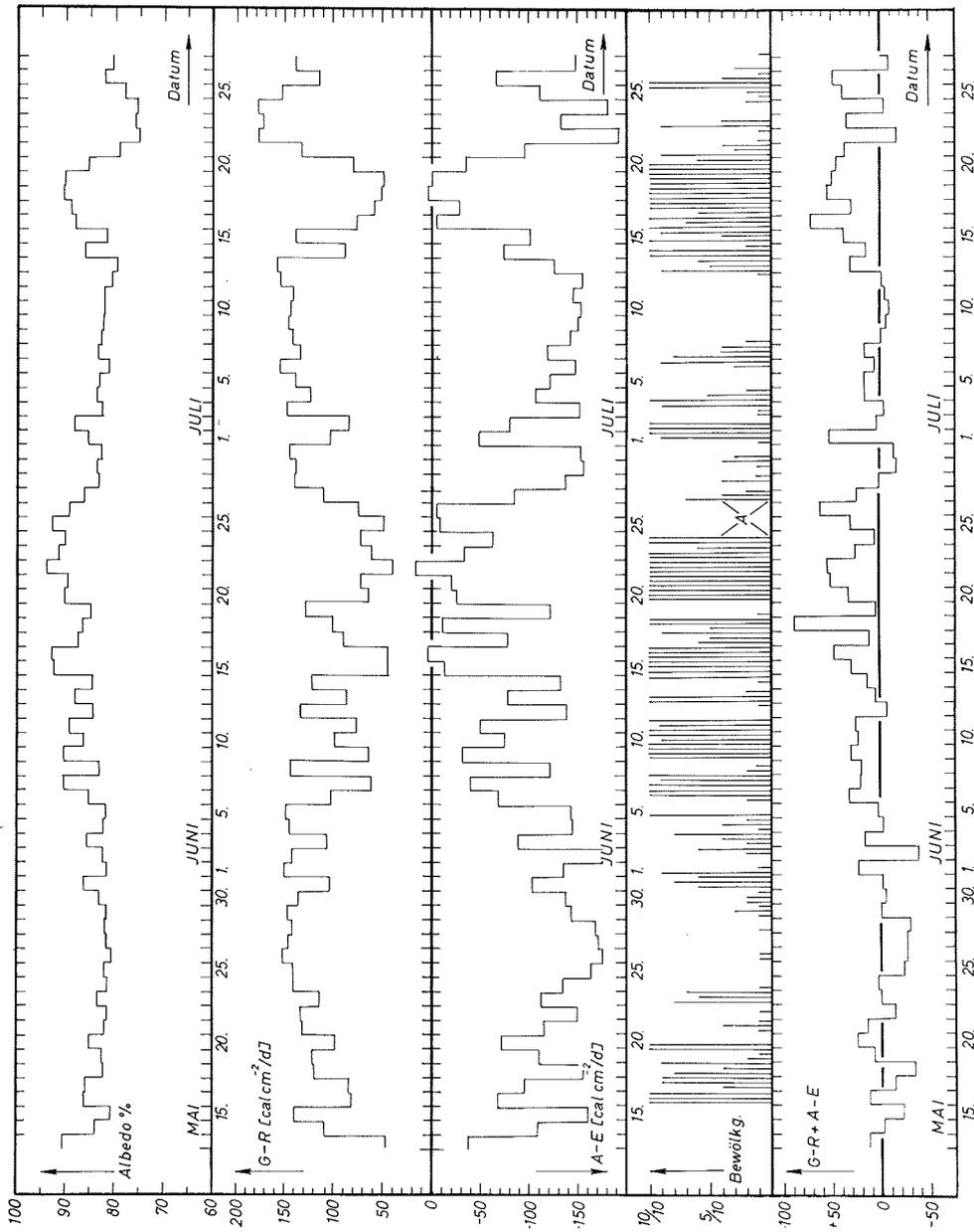


Abb. 1: Verlauf der Albedo (berechnet aus Tagessummen), der kurzwelligen (G-R) und der langwelligen (A-E) Strahlungsbilanz der Bewölkung (3mal täglich) und der Gesamtstrahlungsbilanz (G-R+A-E).

Abb. 1: Variations of the albedo (calculated from daily sums), of the absorbed shortwave radiation (G-R), longwave radiation balance (A-E), cloudiness (3 times daily), and of the net-radiation balance (G-R+A-E).

Die in Abb. 1 eingetragenen Bewölkungsschätzungen sind jene, die zu den klimatologischen Beobachtungsterminen (dreimal täglich) erhalten wurden.

Mit einem tragbaren Solarimeter wurde durch Wenden der Thermosäule aus dem Verhältnis der Skalenteile die Albedo der Schneeoberfläche in der Umgebung der stationär montierten Strahlungsmessgeräte wiederholt bestimmt. Daraus kann der systematische Fehler, der durch die Schattenwirkung der Geräte und der Halterung entsteht, berechnet werden.

Im Mittel wurde unter den stationär montierten Strahlungsmessgeräten eine um 3,5 % niedrigere Albedo als in der Umgebung gemessen. Diese Korrektur von 3,5 % ist in den hier wiedergegebenen Werten (Tab. 1, Abb. 1) bereits berücksichtigt worden.

Die im einzelnen noch durchzuführende Auswertung nach Stundensummen wird im Mittel einen um etwa 5—10 cal/cm²Tag kleineren Betrag der absorbierten Globalstrahlung ergeben, da für Stunden mit direkter Bestrahlung der Eichfaktor in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe voll berücksichtigt werden kann. Zuzufolge dieser Abhängigkeit (Empfindlichkeitserhöhung bei niedrigen Sonnenständen) erhält man nämlich eine etwas kleinere mittlere Tagessumme für die Globalstrahlung als hier angeführt wurde.

Die Messungen der Schneetemperaturen, durchgeführt mit Platin-Widerstandsthermometern und Kreuzspulschreibern, reichen bis 6 m Tiefe. In dieser Tiefe sind die Temperaturänderungen zu vernachlässigen. Insgesamt erhält man für die Periode vom 24. Mai bis 28. Juli 1967 (65 Tage) als Energieverbrauch zur Schneerwärmung —627 cal/cm².

Das weitere Ziel der Auswertung ist die unabhängige Bestimmung des fühlbaren und latenten Wärmestromes aus dem logarithmischen Windprofil und aus Messungen der Gradienten der Lufttemperatur und des Dampfdruckes in der oberflächennahen Schicht.

Das logarithmische Windprofil, das auf Messungen in vier verschiedenen Höhen basiert (Maximalhöhe ca. 2 m) ist sehr gut erfüllt und ergibt als mittlere Schubspannungsgeschwindigkeit 28 cm/sek und für den Rauigkeitsparameter 0,012 cm. In der Ablationszone ergab sich über Eis als mittlere Schubspannungsgeschwindigkeit 44 cm/sek. Dieser wesentlich größere Wert ist hauptsächlich auf den größeren Wert des Rauigkeitsparameters über Eis (0,22 cm) zurückzuführen (W. Ambach, 1963).

Einf. Globalstrahlung	54 402 ly	} Albedo: 84,1 %	→	716 ly/d	
Ref. Globalstrahlung	45 752 ly		→	602 ly/d	
Abs. Globalstrahlung	+ 8 650 ly		→	114 ly/d	
Langw. Strahlungsbilanz	— 7 548 ly		→	— 99 ly/d	
Gesamt-Strahlungsbilanz	+ 1 102 ly	13. V. — 27. VII., 76 Tage	→	+ 15 ly/d	→ + 15 ly/d
Schneerwärmung	— 672 ly	24. V. — 28. VII., 65 Tage	→	— 10 ly/d	→ — 10 ly/d
Schmelzung	000 ly		→	00 ly/d	→ 00 ly/d
Dynamische Konvektion (fühlbare u. latente Wärme als Restglied)			→	— 5 ly/d	→ — 5 ly/d

Tab. 1: Wärmehaushalt Carrefour, EGIG 1967 Tab. 1: The heat budget at Carrefour, EGIG 1967

Für die Unterstützung wird folgenden Institutionen gedankt: Den Expéditions Polaires Françaises für die technische Durchführung und Betreuung der Station, der Österreichischen Akademie der Wissenschaften sowie dem Fond zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung für finanzielle Unterstützung, der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien, dem Institut der Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck und der Deutschen Forschungsgemeinschaft für instrumentelle Leihgaben, und allen Studenten, die bei der Auswertung mitgearbeitet haben.

Literatur:

- Ambach W. (1963): Untersuchungen zum Energieumsatz in der Ablationszone des grönländischen Inlandeises (Camp IV — EGIG, 69° 40' 05" N, 49° 37' 58" W) Medd. Grönl. Bd. 174, Nr. 4, EGIG Vol. 4, Nr. 4, 1963.
- Ambach, W. (1968): Wärmehaushaltsstudie in Station Carrefour, EGIG 1967. — Polarforschung VI, Jg. 37, Seite 172—174.
- Ambach, W., E. Beschorner und H. Hoinkes (1963): Über die Eichung des Strahlungsbilanzmessers nach R. Schulze (Lupolengerät) — Archiv Meteorologie Geophysik Bioklimatologie B, 13, Seite 76—95.
- Hinzpeter H. (1952): Bericht über neuere Arbeiten zum Solarimeter nach Gorczynski. — Zeitschrift für Meteorologie 6, 113, 1952.
- Hoinkes, H. (1959): Studies of solar and net-radiation in the Antarctic (Little America V and South Pole) 1957/58, IAM Radiation Symposium Oxford 1959, UGGI Monographie Nr. 4, 4 (1960)
- Liljequist G. H. (1956): Energy exchange of an antarctic snow-field. — Norwegian-British-Swedisch Antarctic Expedition, 1949—52, Scientific Research Vol. II, Part 1: Short-Wave Radiation.