

Zum Strahlungshaushalt des Grönländischen Inlandeises: Vergleichende Studie im Akkumulations- und Ablationsgebiet

Von W. Ambach *

Univ.-Prof. Dr. R. Steinmaurer anlässlich seiner Emeritierung gewidmet.

Zusammenfassung: Für die Periode Mai bis Juli wurden in den Jahren 1959 und 1967 vergleichende Messungen des Strahlungshaushaltes im Ablations- und Akkumulationsgebiet des Grönländischen Inlandeises durchgeführt. Der wesentliche Unterschied beider Meßserien ist durch die verschiedene Albedo der Schnee- und Eisoberfläche bedingt. Im Akkumulationsgebiet zeigt sich für Tagessummen der Strahlungsströme das überraschende Ergebnis, daß die Gesamtstrahlungsbilanz mit der Bewölkung zunimmt, da der Einfluß der langwelligigen Strahlungsbilanz im Strahlungshaushalt entscheidend ist. Dieses Ergebnis gilt auch bei Höchstwerten der Tagessummen der kurzwelligen Einstrahlung. Numerisch resultiert, daß einer Zunahme der langwelligigen Strahlungsbilanz von 150 cal/cm²d durch Bewölkungszunahme, eine Abnahme der kurzwelligen Strahlungsbilanz von 100 cal/cm²d gegenübersteht. Im Ablationsgebiet nimmt hingegen die Gesamtstrahlungsbilanz mit zunehmender Bewölkung ab, da der Einfluß der kurzwelligen Strahlungsbilanz im Strahlungshaushalt überwiegt. Dementsprechend wurde eine positive Korrelation im Akkumulationsgebiet zwischen langwelliger Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz gefunden, im Ablationsgebiet zwischen kurzwelliger Strahlungsbilanz und Gesamtstrahlungsbilanz. Höchstwerte der Gesamtstrahlungsbilanz resultieren im Akkumulationsgebiet bei hohen Werten der langwelligigen Strahlungsbilanz und gleichzeitig kleinen Werten der kurzwelligen Strahlungsbilanz, während sich im Ablationsgebiet Höchstwerte der Gesamtstrahlungsbilanz bei hohen Werten der kurzwelligen Strahlungsbilanz und mittleren Werten der langwelligigen Strahlungsbilanz ergeben. Wegen der großen Variationsbreite der Albedo im Ablationsgebiet (28% bis 90%) sind die Beziehungen der Strahlungsströme dort weniger klar ausgeprägt als im Akkumulationsgebiet, wo die Albedo nur zwischen 76% und 92% variiert. Die typischen Unterschiede der Strahlungsströme beider Meßserien wurden durch Häufigkeitsverteilungen von Tagessummen dargestellt.

Summary: For the period of May to July of 1959 and of 1967, comparing measurements were made of the radiation fluxes in the area of ablation and accumulation of the Greenland Ice Cap. The most important difference in the two series of measurements is due to the varying albedo of the snow and ice surface. In the area of accumulation, the daily radiation fluxes show a surprising result: the net radiation balance increases with cloudiness, because the influence of the long-wave radiation balance is decisive in the radiation regime. This result holds also for maximum daily totals of incoming short-wave radiation. Numerically, the long-wave radiation balance was found to increase 150 cal/cm²d owing to increasing cloudiness, whereas short-wave radiation balance a 100 cal/cm²d decrease. In the area of ablation, however, the net radiation balance decreases as the cloudiness increases, owing to the prevailing influence of short-wave radiation in the radiation regime. Accordingly, a positive correlation in the area of accumulation was found to exist between long-wave radiation balance and net radiation balance, in the area of ablation, however, between short-wave radiation balance and net radiation balance. Net radiation balance was found to have its maximum in the area of accumulation at high values of long-wave radiation balance, the values of short-wave radiation being low, whereas in the area of ablation, net radiation balance had its maximum at high values of short-wave radiation balance and medium values of long-wave radiation balance. Owing to the great fluctuations in albedo in the area of ablation (28% to 90%), the relations among radiation fluxes are less clear than in the area of accumulation where the albedo varies between 76% and 92% only. The typical differences in the radiation fluxes of the two measured series have been described in curves of daily frequency distribution.

Einleitung

Während der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpeditionen EGIG I (1959) und EGIG II (1967) wurden in zwei Stationen des EGIG-Profiles Messungen des Energiehaushaltes durchgeführt. Die Lage der Stationen und die Meßperioden sind:

EGIG I (1959): Camp IV — EGIG, 1013 m Seehöhe

69°40'05" N, 49°37'58" W (Ablationsgebiet)

Meßperiode: 26. 5. bis 9. 8. 1959

EGIG II (1967): Carrefour, 1850 m Seehöhe

69°49'25" N, 47°25'57" W (Akkumulationsgebiet)

Meßperiode: 13. 5. bis 28. 7. 1967

Ablations- und Akkumulationsgebiete weisen während der sommerlichen Ablationsperiode signifikante Unterschiede in der Albedo auf, die über den Strahlungs- und Energiehaushalt die Massenänderung der Eisbedeckung mitbestimmen. Dieses Problem

* Prof. Dr. Walter Ambach, Physikalisches Institut der Universität, A 6020 Innsbruck, Schöpfstr. 41.

ist für den alpinen Bereich ausführlich von H. Hoinkes und N. Untersteiner (1952) sowie von F. Sauberer und I. Dirmhirn (1952) behandelt worden. Zusammenfassend hat H. Hoinkes (1964) über Arbeiten referiert, die bis zum Ende des Internationalen Geophysikalischen Jahres durchgeführt worden sind. Neuere Studien liegen für Gletscher der kanadischen Arktis vor (J. M. Havens 1964, J. M. Havens et al. 1965, B. Holmgren 1971).

Eine Sonderstellung nimmt in diesem Fragenkomplex das Antarktische Inlandeis ein, da dort praktisch nur geringe Albedounterschiede auftreten (H. Hoinkes 1960, 1970; G. H. Liljequist 1956). Am Grönländischen Inlandeis sind dagegen ausgedehnte küstennahe Zonen im Sommer schneefreie Eisoberflächen, so daß hier ein bedeutender Teil der Rücklagen des Akkumulationsgebietes durch sommerliche Abschmelzung verbraucht wird (A. Bauer and C. Lorius 1964). Der Einfluß der Albedo und der Bewölkung auf den Strahlungs- und Energiehaushalt ist daher für das Grönländische Inlandeis im Zusammenhang mit seinem Massenhaushalt von besonderem Interesse.

Der vorliegende Bericht beschränkt sich auf den Vergleich des Strahlungshaushaltes an den oben angeführten Stationen. Andere Energieströme, wie fühlbare und latente Wärmeströme, bleiben unberücksichtigt. Da beide Meßserien mit denselben Strahlungsempfängern durchgeführt wurden (2 Solarimeter, 1 Lupolengerät nach R. Schulze) und die Entfernung der Stationen nur ca. 100 km beträgt, sind sie zu einem Vergleich gut geeignet. Der Umstand, daß beide Meßserien nicht im gleichen Jahr aufgenommen wurden, hat für die Schlußfolgerungen keine Bedeutung. Die Ergebnisse von 1959, sowie die Eichmessungen für die Strahlungsempfänger, sind bereits ausführlich publiziert (W. Ambach 1963, W. Ambach et al. 1963); die Meßreihe von 1967 wurde erst auszugsweise verarbeitet (W. Ambach 1974).

Der wesentliche Unterschied des Strahlungshaushaltes im Akkumulations- und Ablationsgebiet liegt im Wertebereich der Albedo, so daß hauptsächlich der Einfluß der Albedo auf den Strahlungshaushalt in Erscheinung tritt. Während die Albedo in der Meßserie „Akkumulationsgebiet“ mit dem Mittelwert 84% nur geringe Schwankungen aufweist (Variationsbreite der Albedo aus Tagessummen von 76% bis 92%), sind die Schwankungen der Albedo in der Meßserie „Ablationsgebiet“ bei Eisoberfläche groß (Variationsbreite der Albedo aus Tagessummen von 28% bis 58%). Die Mittelwerte, berechnet aus 10 Meßstellen bei Eisoberfläche, liegen zwischen 36,6% und 51,9%. Dazu kommen noch Tage mit schneebedeckter Oberfläche, so daß sich hier die Werte der Albedo von 28% bis 90% erstrecken.

Neben dem Einfluß der Albedo ist jener der Bewölkung von besonderem Interesse. Es konnte bereits gezeigt werden, daß bei hoher Albedo (> 75%) im Hochsommer die Tagessummen der Gesamtstrahlungsbilanz mit der Bewölkung paradoxerweise zunehmen, was durch den signifikanten Einfluß der langwelligen Strahlungsströme im Strahlungshaushalt bedingt ist (W. Ambach 1974). Bei niedriger Albedo (< 75%) nimmt jedoch der Einfluß der kurzwelligen Strahlungsbilanz dominierend zu, so daß sich im Fall der Eisoberfläche eine Zunahme der Gesamtstrahlungsbilanz mit abnehmender Bewölkung ergibt. Dieser grundsätzlich verschiedene Einfluß der Bewölkung auf die Gesamtstrahlungsbilanz macht einen Vergleich der vorliegenden Meßserien attraktiv.

Im weiteren werden für die Strahlungsströme folgende Bezeichnungen verwendet:

$$B = G - R + A - E,$$

dabei bedeuten B die Gesamtstrahlungsbilanz, G und R die kurzwelligen Strahlungsströme (G—R kurzwellige Strahlungsbilanz), A und E die langwelligen Strahlungsströme (A—E langwellige Strahlungsbilanz).

Als Einheiten werden cal/cm²d oder cal/cm²h verwendet. Dabei gilt:

$$1 \text{ cal/cm}^2\text{d} = 279.1 \text{ W/m}^2$$

$$1 \text{ cal/cm}^2\text{h} = 11.63 \text{ W/m}^2$$

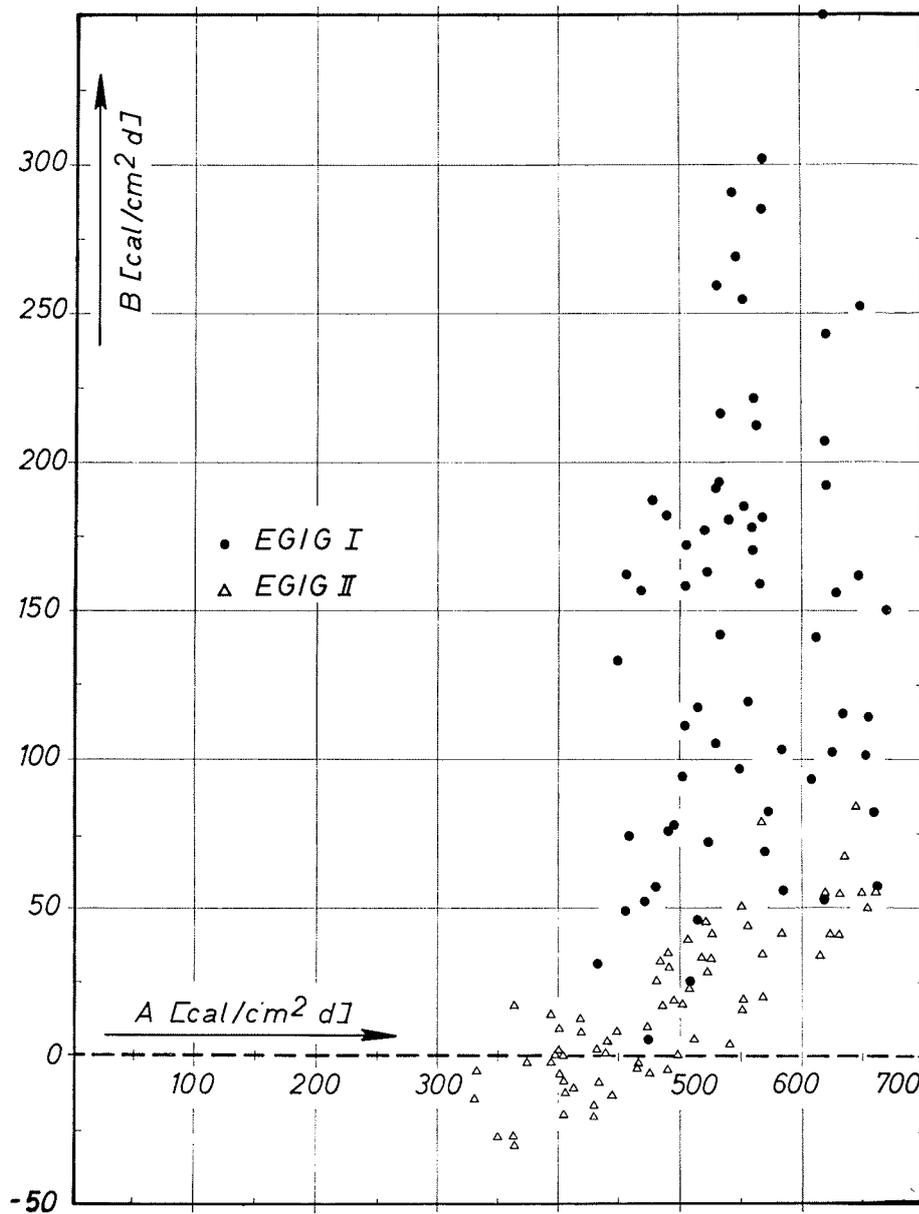


Abb. 1: Beziehung zwischen Gesamtstrahlungsbilanz B und langwelliger Einstrahlung A. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.

Fig. 1: Relation between the net radiation balance B and the incoming long-wave radiation A. EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

Beziehungen zwischen den Strahlungsströmen

Im folgenden ist wesentlich, daß beide diskutierten Meßserien etwa symmetrisch zum Solstitium liegen und daher die jahreszeitliche Variation der extraterrestrischen kurzwelligen Einstrahlung gegenüber anderen Einflüssen vernachlässigbar ist.

Abb. 1 zeigt, daß im Akkumulationsgebiet B mit A positiv korreliert ist. Im Ablationsgebiet geht diese Korrelation jedoch wegen des bedeutenden Einflusses der kurzwelligen Strahlungsbilanz auf die Gesamtstrahlungsbilanz zufolge der niedrigen Albedo verloren. Die niedrigeren Werte von A in der Meßserie „Akkumulationsgebiet“ sind vermutlich auf den geringen Wasserdampfgehalt der Atmosphäre zurückzuführen (Minimaltempera-

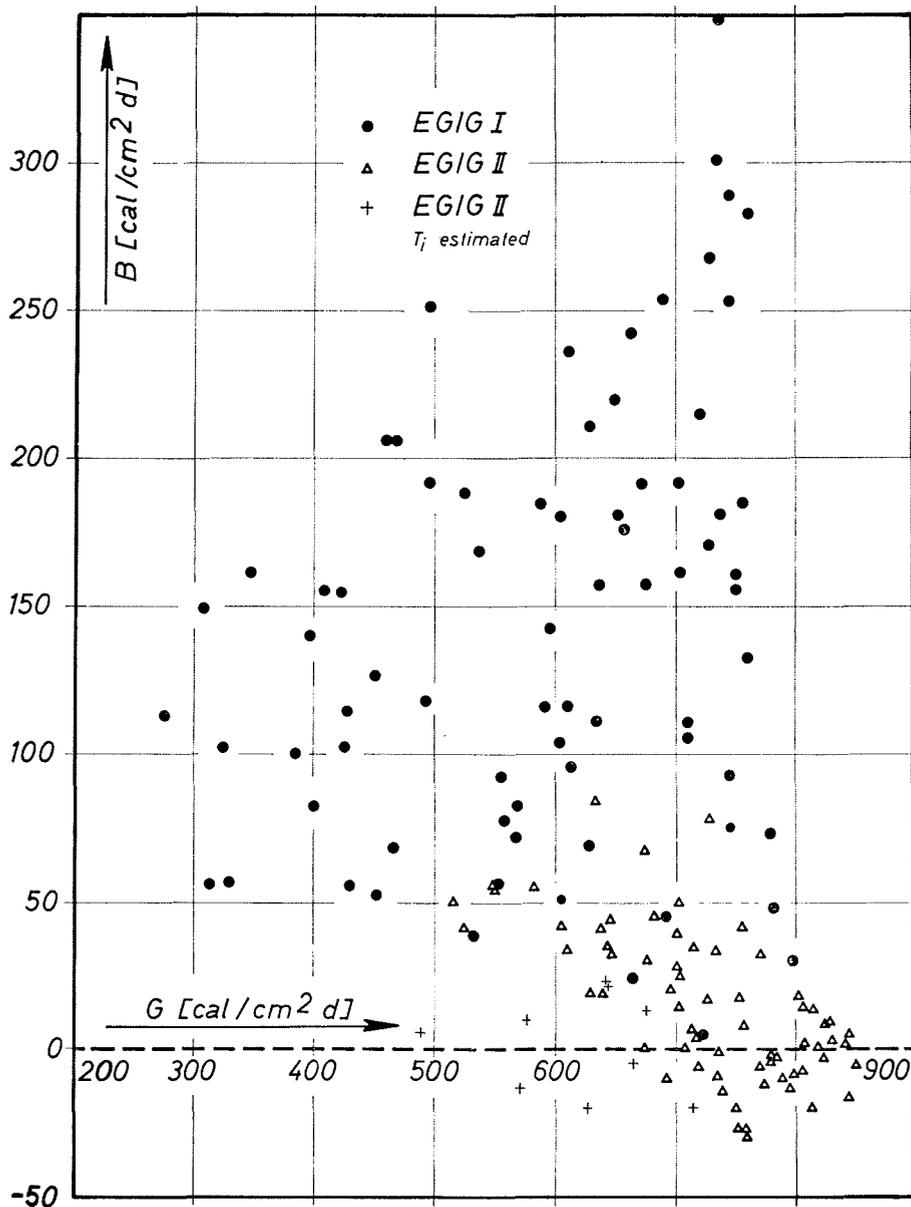


Abb. 2: Beziehung zwischen Gesamtstrahlungsbilanz B und Globalstrahlung G. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.

Fig. 2: Relation between the net radiation balance B and incoming short-wave radiation G. EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

turen der Meßserie „Akkumulationsgebiet“ bis -21°C , der Meßserie „Ablationsgebiet“ bis -9°C).

In Abb. 2 ist B in Abhängigkeit von G dargestellt. Die Verteilung der Meßpunkte läßt keine Korrelation zwischen beiden Strahlungsströmen erkennen. Höchstens im Fall der Meßserie „Akkumulationsgebiet“ findet man eine schwach negative Korrelation zwischen B und G angedeutet, die bereits früher diskutiert wurde (W. Ambach 1974). Der Grund für das Fehlen einer Beziehung zwischen B und G im Fall der Meßserie „Ablationsgebiet“ ist in der überaus starken Variation der Albedo zu finden, so daß daraus indirekt der signifikante Einfluß der Albedo auf B folgt.

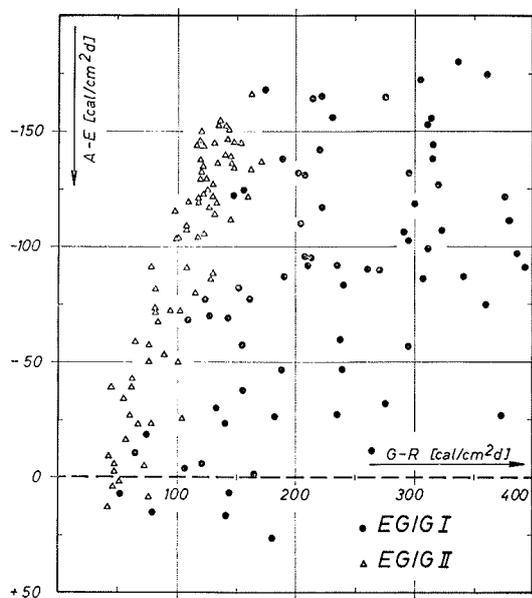


Abb. 3: Beziehung zwischen kurzweiliger Strahlungsbilanz G-R und langweiliger Strahlungsbilanz A-E. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.

Fig. 3: Relation between the short-wave radiation balance G-R and long-wave radiation balance A-E. EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

In Abb. 3 ist G—R gegen A—E aufgetragen. Nur die Meßserie „Akkumulationsgebiet“ läßt wegen der geringen Schwankung der Albedo eine systematische Beziehung erkennen und zeigt eine gute negative Korrelation zwischen G—R und A—E. Diese Beziehung gibt die numerische Erklärung der eingangs erwähnten paradoxen Aussage: Nimmt G—R durch Bewölkungszunahme um $100 \text{ cal/cm}^2\text{d}$ ab, so nimmt A—E um $150 \text{ cal/cm}^2\text{d}$ zu. Die Wirkung der Bewölkung auf die kurzweilige und langweilige Strahlungsbilanz ist daher entgegengesetzt. Bei niedrigen Albedowerten geht dieser Zusammenhang wegen des Überwiegens der kurzweiligen Strahlungsströme in eine positive Korrelation über, die hier wegen der großen Albedoschwankungen nicht klar in Erscheinung tritt.

Der prinzipielle Unterschied des Strahlungshaushaltes im Akkumulations- und Ablationsgebiet zufolge der Albedo wird durch Abb. 4 ausgedrückt. Im Akkumulationsgebiet ist A—E mit B gut positiv und G—R mit B schwach negativ korreliert. Höchstwerte von B treten im Akkumulationsgebiet bei hohen Werten von A—E und kleinen Werten von G—R auf. In der Meßserie „Ablationsgebiet“ ist hingegen zwischen A—E und B keine Korrelation feststellbar. Nur G—R zeigt hier mit B eine ausgeprägte positive Korrelation. Höchstwerte von B treten im Ablationsgebiet bei Höchstwerten von G—R und mittleren Werten von A—E auf. Damit ist die unterschiedliche Zusammensetzung des Strahlungs-

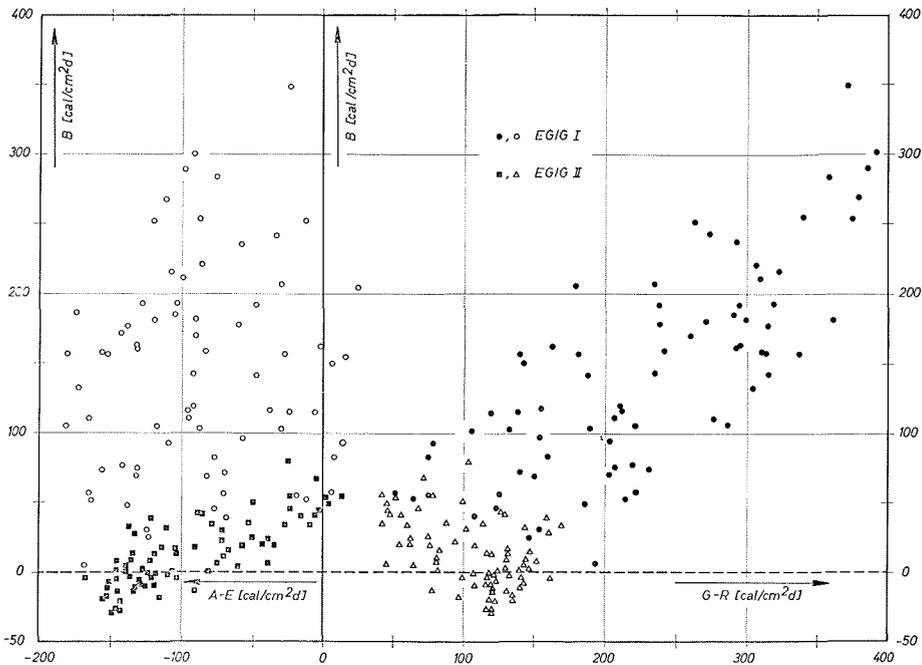


Abb. 4: Beziehung zwischen langwelliger Strahlungsbilanz A-E und Gesamtrahlungsbilanz B, sowie zwischen kurzweiliger Strahlungsbilanz G-R und Gesamtrahlungsbilanz B. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.

Fig. 4: Relation between the long-wave radiation balance A-E and net radiation balance B as well as between the short-wave radiation balance G-R and net radiation balance B. EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

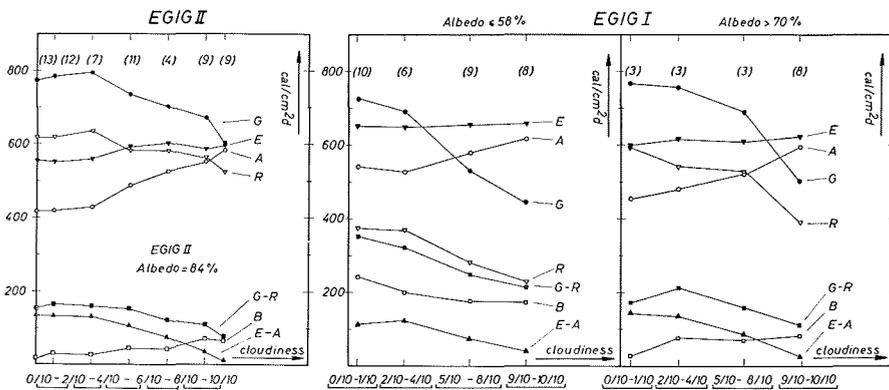


Abb. 5: Abhängigkeit der Strahlungsströme von der Bewölkung bei verschiedener Albedo. Es bedeuten B die Gesamtrahlungsbilanz, G die Globalstrahlung, A-E die langwellige Strahlungsbilanz und G-R die kurzweilige Strahlungsbilanz. * EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet. Bewölkungsklassen vgl. Tab. 1.

Fig. 5: Dependence of the radiation fluxes on the cloudiness at varying albedo. B = net radiation balance, G = incoming short-wave radiation, A-E = long-wave radiation balance, and G-R = short-wave radiation balance. EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area. Groups of cloudiness see Tab. 1.

* Aus zeichentechnischen Gründen wurde an Stelle A-E der Wert E-A eingetragen.

Bewölkungsklassen (c) der Meßserie EGIG I:

$$\frac{0}{10} < c \leq \frac{1,5}{10}; \frac{1,5}{10} < c \leq \frac{4,5}{10}; \frac{4,5}{10} < c \leq \frac{8,5}{10}; \frac{8,5}{10} < c \leq \frac{10}{10}$$

Bewölkungsschätzungen: 3mal täglich.

Bewölkungsklassen (c) der Meßserie EGIG II:

$$\frac{0}{10}; \frac{0}{10} < c \leq \frac{2}{10}; \frac{2}{10} < c \leq \frac{4}{10}; \frac{4}{10} < c \leq \frac{6}{10}; \frac{6}{10} < c \leq \frac{8}{10}; \frac{8}{10} < c < \frac{10}{10}; \frac{10}{10}$$

Bewölkungsschätzungen: stündlich.

Tab. 1: Bewölkungsklassen der Meßserien EGIG I und EGIG II. Anhang zu Abb. 5.

Tab. 1: Groups of cloudiness of EGIG I and EGIG II. Appendix to Fig. 5.

haushaltes im Akkumulations- und Ablationsgebiet deutlich: Eine positive Korrelation ergibt sich im Akkumulationsgebiet zwischen B und A—E, im Ablationsgebiet zwischen B und G—R.

Einfluß der Bewölkung

Der Einfluß der Bewölkung auf den Strahlungshaushalt wirkt sich in beiden Meßserien unterschiedlich aus (Abb. 5). Die Meßserie „Ablationsgebiet“ wurde in 2 Gruppen nach Albedowerten eingeteilt. Bei hohen Albedowerten ergibt sich für beide Meßserien (Ablations- und Akkumulationsgebiet) eine Zunahme von B mit der Bewölkung, was durch den hohen Anteil von A—E in der Gesamtstrahlungsbilanz B bedingt ist. Bei niedrigen Werten der Albedo erhält man wegen des eminenten Einflusses der kurz-

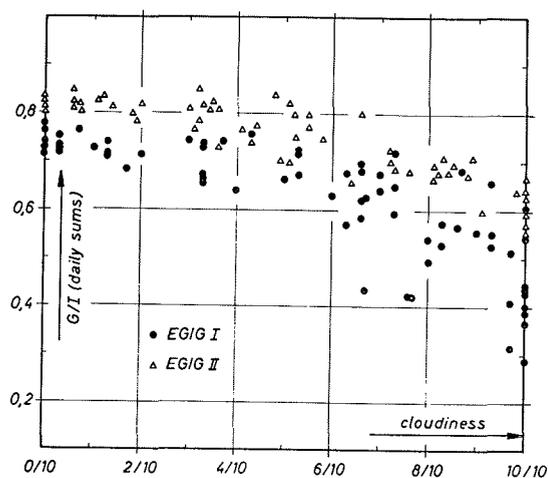


Abb. 6: Abhängigkeit von G/I von der Bewölkung. G bedeutet die Globalstrahlung, I die extraterrestrische Strahlung auf die horizontale Fläche. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.

Fig. 6: Dependence of G/I on the cloudiness. G = incoming short-wave radiation, I = extraterrestrial radiation flux onto the horizontal surface. EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

welligen Strahlungsströme eine Abnahme von B mit zunehmender Bewölkung. Dies ist durch die Schwächung von G durch die Bewölkung und dem großen Anteil von G—R in der Gesamtstrahlungsbilanz B verständlich. Der Einfluß der Bewölkung auf G ist in Abb. 6 durch das Verhältnis G/I dargestellt. I bedeutet darin die extraterrestrische kurzwellige Strahlung auf die horizontale Flächeneinheit. Wegen der höheren Werte von G in der Meßserie „Akkumulationsgebiet“ zufolge der größeren Seehöhe der Station liegen die Werte G/I hier ebenfalls über jenen der Meßserie „Ablationsgebiet“. Zur größeren Seehöhe kommt im Akkumulationsgebiet noch der Effekt der Vielfachreflexion zwischen Schneeoberfläche und Wolkendecke, der bei hoher Albedo besonders wirksam ist und G vergrößert. Die Abhängigkeit A—E von der Bewölkung zeigt für beide Meßserien keinen besonderen Unterschied (Abb. 7).

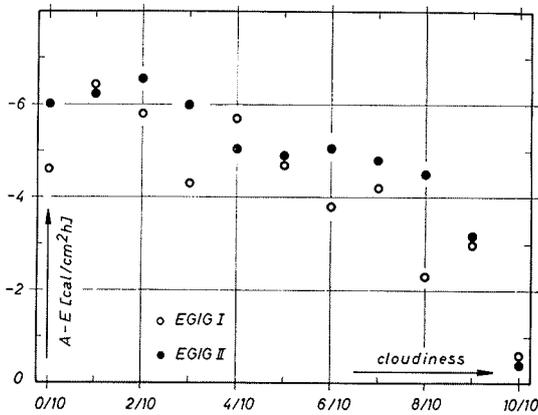


Abb. 7: Abhängigkeit der langwelligen Strahlungsbilanz A-E von der Bewölkung. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.

Fig. 7: Dependence of long-wave radiation balance A-E on cloudiness. EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

Der mittlere Tagesgang der Strahlungsströme wurde für beide Meßserien für starke und geringe Bewölkung sowie für hohe und niedrige Albedo in Abb. 8 dargestellt. Am auffälligsten ist die niedrige Tagessumme von B (Fläche der Kurve) bei geringer Bewölkung und hoher Albedo, was durch die negativen Werte von B zu Zeiten geringer kurzwelliger Einstrahlung begründet ist. Bei hohen Albedowerten sind diese negativen Anteile von B im Vergleich zu den positiven Anteilen nicht mehr bedeutend.

Häufigkeitsverteilung von Tagessummen der Strahlungsströme

Die Häufigkeitsverteilungen wurden in Histogrammen für B, G und A—E gezeichnet. Die 5tägigen und 15tägigen Mittel wurden in kontinuierlich überlappenden Folgen gewonnen¹⁾.

Abb. 9 zeigt den Unterschied zwischen der Meßserie „Ablationsgebiet“ und „Akkumulationsgebiet“ in der Werteverteilung von B sehr deutlich: Im Ablationsgebiet ergibt sich eine deutliche Verschiebung der Häufigkeitsverteilung zu höheren Werten von B und wegen der großen Albedovariation auch eine relativ große Streuung. Wegen der ausgleichenden Wirkung von Einzelwerten auf Mittelwerte verringert sich die Streuung mit zunehmender Periodenlänge. Analoge Darstellungen sind für G und A—E in Abb. 10 und Abb. 11 zu finden. Für G zeigt das Histogramm systematisch höhere Werte in der Meß-

¹⁾ Bei einer Folge der Tagessummen x_1, x_2, x_3, \dots wurde für die 5tägigen Mittel der erste Wert aus x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 und der zweite Wert aus x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 berechnet. Analog wurde beim 15tägigen Mittel vorgegangen.

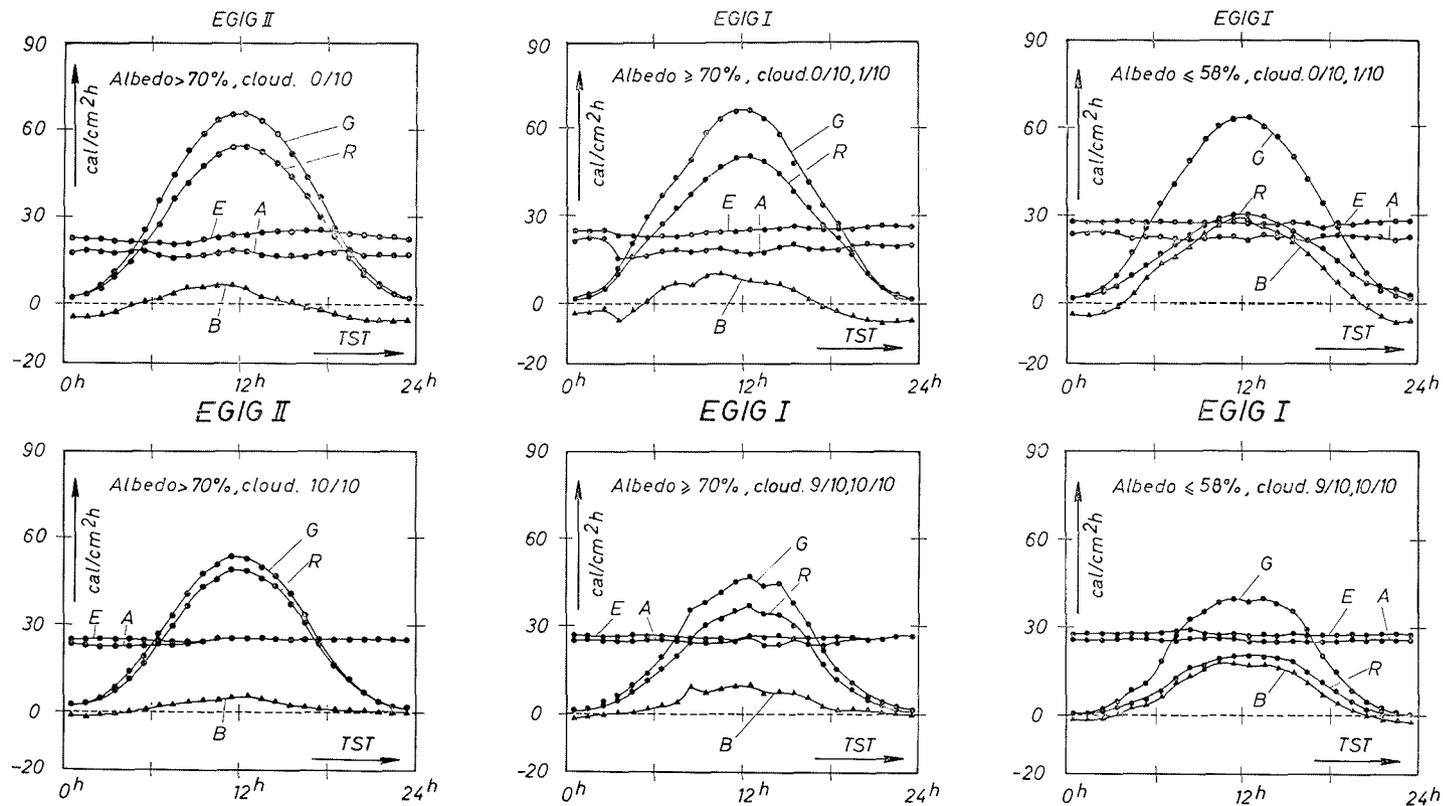


Abb. 8: Mittlerer Tagesgang der Strahlungsströme für verschiedene Bewölkung und Albedo. Es bedeuten G und R die kurzwelligen Strahlungsströme, A und E die langwelligen Strahlungsströme und B die Gesamtstrahlungsbilanz. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.
 Fig. 8: Mean daily radiation fluxes for varying cloudiness and albedo, G and R = short-wave radiation fluxes, A and E = long-wave radiation fluxes and B = net radiation balance. EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

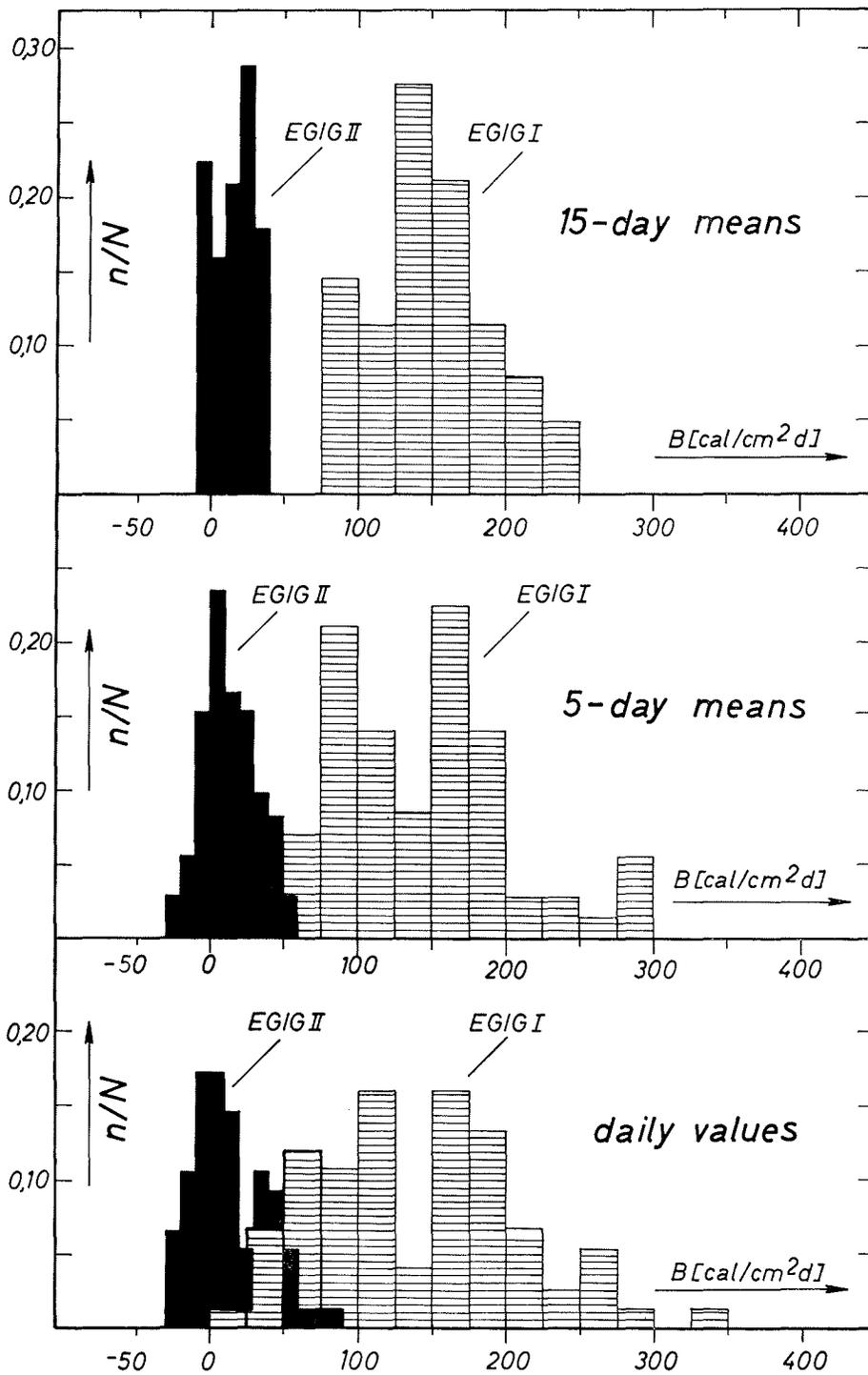


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung von mittleren Tagessummen der Gesamtstrahlungsbilanz B. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.

Fig. 9: Frequency distribution of mean daily total net radiation balances B, EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

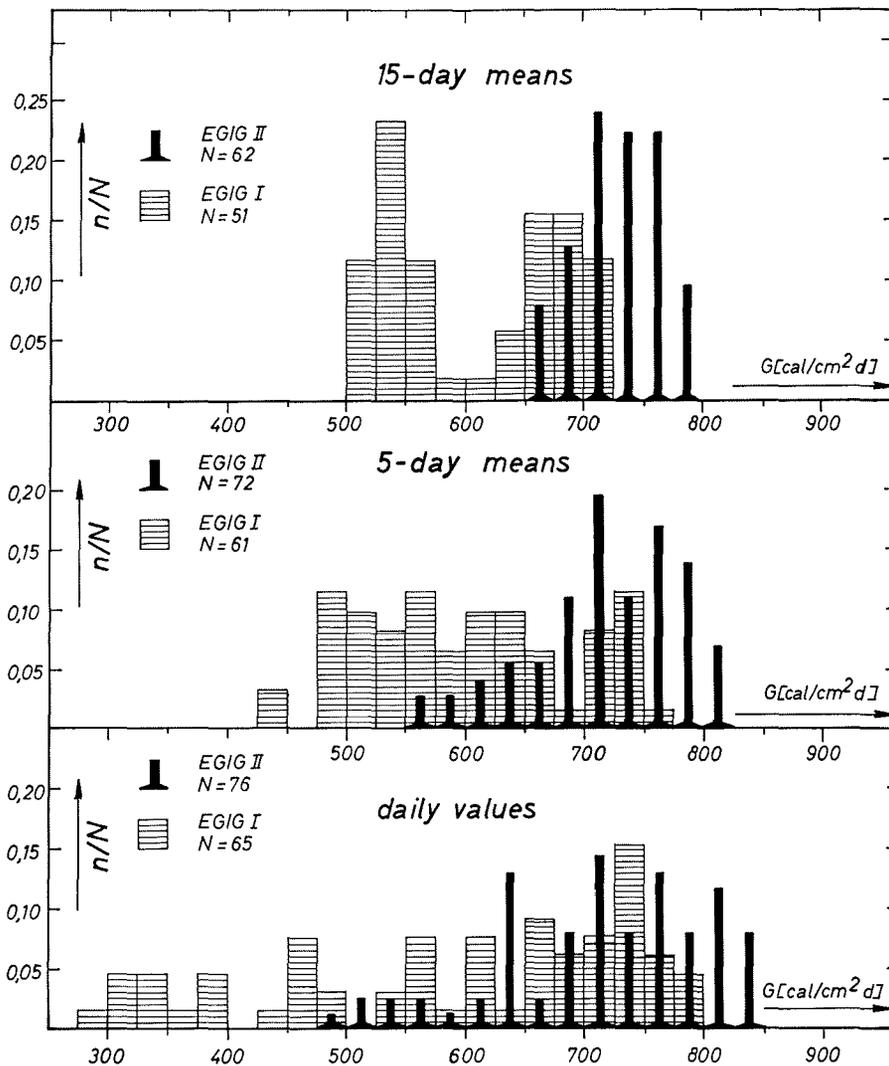


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung von mittleren Tagessummen der kurzwelligen Einstrahlung G. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II: Meßserie im Akkumulationsgebiet.
 Fig. 10: Frequency distribution of mean daily total incoming short-wave radiation, EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

serie „Akkumulationsgebiet“, wobei die Verschiebung, wie bereits diskutiert, auf die größere Seehöhe der Station und auf die Erhöhung von G durch die Vielfachreflexion zwischen Wolken und Schneeoberfläche erklärt werden kann. Für A—E ergibt sich kein wesentlicher Unterschied der Häufigkeitsverteilung beider Meßserien.

Dem Fonds zur Förderung wissenschaftlicher Forschung wird für die Unterstützung der Auswertearbeiten bestens gedankt. Ebenfalls gilt mein Dank Herrn G. Markl für die Mitarbeit bei den Feldarbeiten im Jahre 1967, sowie Herrn P. Quehenberger und Frau J. Conen für die Hilfe bei der Auswertung.

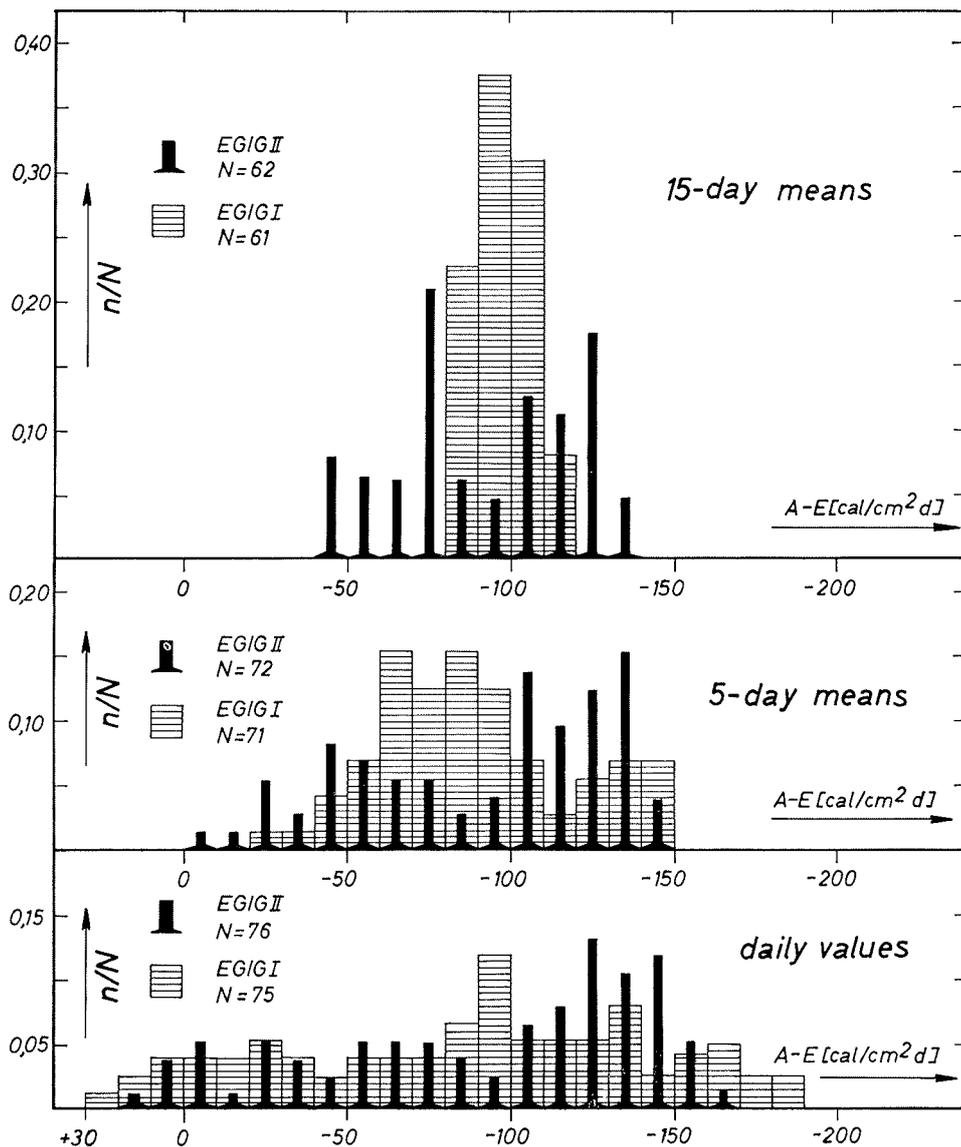


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung von mittleren Tagessummen der langwelligen Strahlungsbilanz A-E. EGIG I = Meßserie im Ablationsgebiet, EGIG II = Meßserie im Akkumulationsgebiet.

Fig. 11: Frequency distribution of mean daily total incoming long-wave radiation, EGIG I = series of measurements in the ablation area, EGIG II = series of measurements in the accumulation area.

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. om Grønland, Bd. 174, Nr. 4. EGIG 1957—1960 Vol. 4, No. 4.
- Ambach, W. (1974): On the influence of cloudiness on the net radiation balance of a snow surface with high albedo. Manuscript submitted for publication.
- Ambach, W., E. Beschoner und H. Hoinkes (1963): Über die Eichung des Strahlungsbilanzmessers nach R. Schulze (Lupolengerät). Arch. Met. Geoph. Bioklim. Serie B, 13, 76—95.
- Bauer, A. and C. Lorius (1964): The polar ice-caps. Impact, Vol. XIV, No. 4, 223—238.

- H a v e n s , J. M. (1964): Meteorology and heat balance of the accumulation area, Mc Gill Ice Cap, Canad. Arctic Archipelago — Summer 1960, Upper Ice Station I 79°41' N, 90°27' W, 1530 m. Axel Heiberg Island Research Reports, Jacobsen — Mc Gill Arctic Res. Exp. 1959—1962. Meteorology Nr. 2, Montreal.
- H a v e n s , J. M., F. Müller and G. C. Wilmot (1965): Comparative meteorological survey and a short-term heat balance study of the White Glacier, Canadian Arctic Archipelago — Summer 1962. Axel Heiberg Island Research Reports, Jacobsen — McGill Arctic Res. Exp. 1959—1962, Meteorology Nr. 4, Montreal.
- H o i n k e s , H. (1960): Studies of solar radiation and albedo in the Antarctic (Little America and South Pole, 1957/58. Arch. Met. Geophys. Bioklim. Serie B, 10, 175—181, 1960.
- H o i n k e s , H. (1964): Glacial Meteorology, in: Research in Geophysics. Vol. 2. Solid earth and interface phenomena (Ed. H. Odishaw), p. 391—424. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- H o i n k e s , H. (1970): Radiation budget at Little America V, 1957. International Symposium on Antarctic glaciological exploration (ISAGE), Hanover, N. H., 3—7 Sept. 1968. Intern. Ass. Scient. Hydrology Publ. No. 86, 263—284.
- H o i n k e s , H. und N. Untersteiner (1952): Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern, I, Vernagtferner (Oetztaler Alpen), August 1950. Geograf. Annaler XXXIV, 99—158, 1952.
- H o l m g r e n , B. (1971): Climate and energy exchange on a sub-polar ice cap in summer. Part. E: Radiation Climate. Meteorologiska Institutionen Uppsala Universitet Meddelande Nr. 111, Uppsala 1971.
- L i l j e q u i s t , G. H. (1956): Energy exchange of an Antarctic snow field. Part 1 A: Short wave radiation. Norwegian-British-Swedish Antarctic Expedition, 1949—52, Scientific Res. Vol. II, Oslo.
- S a u b e r e r , F. und I. Dirmhirn (1952): Der Strahlungshaushalt horizontaler Gletscherflächen auf dem Hohen Sonnblick. Geogr. Annaler, Vol. 34, 261—290.