Zur Schätzung der Eis-Nettoablation im Randgebiet des Grönländischen Inlandeises

Von W. Ambach *

Zusammenfassung: Da einerseits sehr wenige Meßserien der Eis-Nettoablation im Randgebiet des grönländischen Inlandeises vorliegen, andererseits diese Meßwerte für die Bestimmung des Massenhaushaltes sehr wichtig sind, wurde eine Methode erprobt, um aus Klimadaten einer Küstenstation und aus den in EGIG 1959 und 1967 gewonnenen Energiehaushaltswerten die Eis-Nettoablation in Abhängigkeit von der Seehöhe zu schätzen.

Summary: A method was developed to evaluate the net-ablation of ice in dependence on the altitude above sea-level. For this method the results of energy balance studies (EGIG 1959, 1967) and data of a coastal station (Jakobshavn) are used. The study was carried out because, on the one hand, there are only very few measuring series available concerning the net-ablation of ice in the ablation area of the Greenland ice sheet and, on the other hand, these measuring values are of great importance for the mass balance determination of the ice sheet.

I. Einleitung

Die Kenntnis der Tagesmitteltemperatur und der Tiefe der Schneedecke an einer Küstenstation (Jakobshavn, Westküste Grönlands) erlaubt die Schätzung der Dauer der Abla-

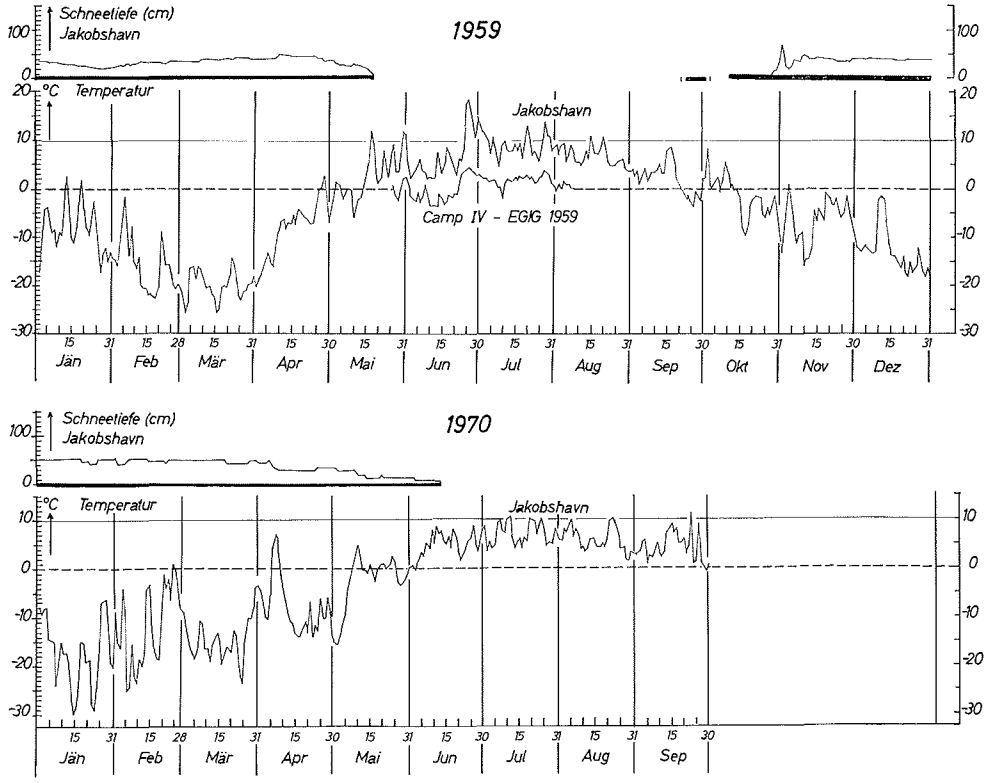

Abb. 1: Tagesmitteltemperatur in Jakobshavn und Camp IV-EGIG (1013 m Seehöhe) und Tiefe of snow pack at Jakobshavn.

Fig. 1: Daily mean air temperature of Jakobshavn and Camp IV-EGIG (1013 m a.s.l.) and depth of snow pack at Jakobshavn.

* Univ.-Prof. Dr. Walter Ambach, Physikalisches Institut der Universität Innsbruck, A - 6020 Innsbruck, Schöpfstraße 41

tionsperiode im angrenzenden Gebiet des Grönländischen Inlandeises. Bei zusätzlicher Verwendung von Energiehaushaltsergebnissen, die in der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition 1959 (EGIG) in der Ablationszone gewonnen worden sind, kann der Wasserwert der Eis-Nettoablation mit guter Näherung in Abhängigkeit von der Seehöhe angegeben werden.

In Abb. 1 ist der Verlauf der Tagesmitteltemperatur und die Tiefe der Schneedecke in Jakobshavn für die Jahre 1959 und 1970 gegenübergestellt. Für diese Jahre ist bezüglich des Beginns der Ablationsperiode in Station IV (1013 m Seehöhe) folgende Situation bekannt:

23. 6. 1959: Beginn der Eisablation (W. Ambach, 1963)
23. 7. 1970: Reste von Altschnee und schmelzendes super-imposed-ice (B. Federer, 1970)

Qualitativ ist aus Abb. 1 ersichtlich, daß im Jahre 1970 der Abbau der winterlichen Schneedecke gegenüber 1959 wesentlich später beendet war, obwohl in beiden Jahren ähnliche Maximalwerte der Schneetiefen auftraten. Der annähernd parallele Verlauf der Tagesmitteltemperatur in Jakobshavn und in Camp IV-EGIG im Jahre 1959 (Abb. 1) legt ferner den Schluß nahe, daß zumindest bis in mittlere Höhenbereiche des an die Küstenstation angrenzenden Ablationsgebietes der Ablauf der Witterung während der Ablationsperiode ähnlich ist wie in Jakobshavn.

II. Quantitative Fassung

Es wurde bereits von H. Hoinkes (1958) darauf hingewiesen, daß für den Massenhaushalt eines Gletschers die Dauer der Ablationsperiode entscheidend ist. Daher wird im vorliegenden Fall die Zahl der Ablationstage in Abhängigkeit von der Seehöhe geschätzt. Als Ablationstage sollen jene Tage gelten, bei denen die Tagesmitteltemperatur über 0°C liegt.

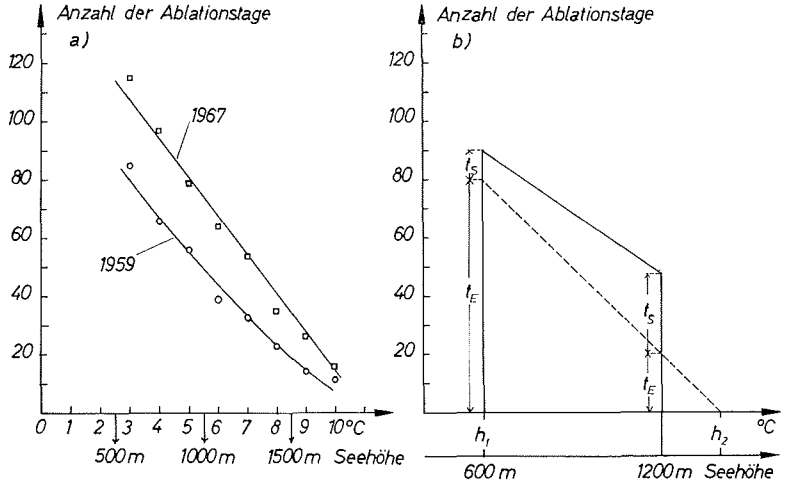

Abb. 2: a) Temperatur-Summenhäufigkeitskurve für Jakobshavn zur Bestimmung der Anzahl der Ablationstage in Abhängigkeit von der Seehöhe. Erklärung siehe Text.

b) Prinzip-Skizze zur Bestimmung der Anzahl der Ablationstage für Eisschmelzung (t_E) und der Höhe der Firnlinie (h_2).

Fig. 2: a) Integrated frequency distribution of temperature for Jakobshavn to determine the number of days with ablation in dependence on the altitude.

b) Demonstration graph to determine the number of days with ice ablation (t_E) and the altitude of the firn line (h_2).

Es wird eine Häufigkeitstabelle für die Tagesmitteltemperaturen in Jakobshavn ($T \geqq 0°C$) in Klassen von 1°C angelegt und die Häufigkeitsverteilung von der höchsten Klasse beginnend summiert (Summenhäufigkeit). Abb. 2a zeigt als Beispiele die Darstellung der Summenhäufigkeit für die Jahre 1959 und 1967. Ein Wert auf der Temperaturachse gibt hier die Anzahl der Tage in Jakobshavn mit einer Tagesmitteltemperatur größer T_i.
Die Übertragung der Summenhäufigkeitskurve auf eine andere Seehöhe kann entsprechend dem Temperaturgradienten durch Parallel-Verschiebung der x-Skala erfolgen. Auf Grund einer Vergleichsreihe vom Jahre 1959 wurde die Verschiebung innerhalb der Ablationszone empirisch so ermittelt, daß die gemessene Nettoablation mit der geschätzten möglichst gut übereinstimmt. Daraus resultiert folgender empirischer Zusammenhang zwischen Tagesmitteltemperatur in Jakobshavn und der Bedingung für einen Ablationstag in Abhängigkeit von der Seehöhe (Abb. 2a):

Tagesmitteltemperatur in Jakobshavn über:

2,5° C: Ablationstag bis 500 m Seehöhe
5,5° C: Ablationstag bis 1000 m Seehöhe
8,5° C: Ablationstag bis 1500 m Seehöhe

Die Ablationstage teilen sich in solche mit Ablation von Altschnee (Abbau der winterlichen Schneedecke) und in solche mit Eisablation. Für die verschiedenen Oberflächen (Eis, Schnee) ergibt sich wegen der Albedounterschiede ein grundlegend anderer Energiehaushalt, wobei im Falle von Eisablation zwischen hochsommerlichen und spätsommerlichen Ablationsbedingungen zu unterscheiden ist (Tab. 1). Im Spätsommer (Zeit mit Nachtabschnitten) ist nämlich wegen verminderter Globalstrahlung der Strahlungshaushalt auch bei gleicher Albedo verändert.

	Schneeoberfläche ly/d	Eisoberfläche Hochsommer ly/d	Eisoberfläche Spätsommer ly/d
Globalstrahlung	600	650	400
Albedo %	70%	40%	40%
Absorbierte Globalstrahlung	+180	+380	+240
Langwellige Strahlungsbil.	— 80	— 80	— 80
Fühlbarer Wärmestrom	+ 30	+ 85	+ 40
Latenter Wärmestrom	— 30	— 30	— 25
Eiserwärmung	— 30	— 25	— 25
Verfügbare Schmelzenergie	+ 70	+335	+150

Tab. 1: Zusammenstellung der Komponenten des Energiehaushaltes für verschiedene Bedingungen im Randgebiet des Grönländischen Inlandeises nach Ergebnissen von EGIG I (W. Ambach, 1963) und EGIG II (unveröffentlicht). „Hochsommer" entspricht der Zeit ohne Nachtabschnitte, „Spätsommer" jener mit Nachtabschnitten.

Tab. 1: Survey of the components of the energy budget for different conditions in the ablation area of the Greenland Ice Sheet according to results of EGIG I (W. Ambach, 1963) and EGIG II (unpublished). „Mid summer" corresponds to the periods when darkness does not occur daily, „late summer" to periods when darkness occurs daily.

In Abb. 2b ist skizziert, wie eine Schätzung der Eis-Nettoablation erfolgen kann: Aus dem Wasserwert der Schneedecke in Jakobshavn wird zunächst die Anzahl der Ablationstage ermittelt, die zum Abbau der winterlichen Schneedecke nötig sind (t_S), wobei der Wert 70 ly/d als verfügbare Schmelzenergie pro Tag Verwendung findet. In Abhängigkeit von der Seehöhe muß jedoch ein Zuschlag zum Wasserwert der Schneedecke erfolgen, der mangels guter Unterlagen relativ unsicher ist. Die verbleibenden Ablationstage (t_E) sind für Eisablation wirksam. Jener Höhenbereich, in dem kein Tag für Eis-

ablation verbleibt ($t_E = 0$), entspricht der ungefähren Höhenlage der Firnlinie (h_2). Die Anzahl der Ablationstage mit Eisablation ergibt unter Verwendung der Energiehaushaltswerte von Tab. 1 die Eis-Nettoablation in Abhängigkeit von der Seehöhe. Es ist dabei entscheidend, daß die Abnahme der Eis-Nettoablation mit der Seehöhe durch die abnehmende Anzahl der Ablationstage und nicht durch kleinere Werte der täglich verfügbaren Schmelzenergie erfaßt wird. Diese Tatsache ist in Übereinstimmung mit Energiehaushaltsstudien, bei denen festgestellt worden ist, daß bei Eisablation der Strahlungshaushalt die entscheidende Energiequelle darstellt. Das Ergebnis deckt sich auch mit Messungen von H. Hoinkes (1955), bei denen durch tägliche Begehungen des Hintereisferners (Ötztaler Alpen, Österreich) festgestellt worden ist, daß an einem Ablationstag die Ablationswerte von Eis in verschiedenen Höhenbereichen des Gletschers annähernd gleich groß sind.

Erfolgt die Schätzung für eine ganze Ablationsperiode, so muß ein mit Gewichten ermittelter Durchschnittswert der Schmelzenergie zwischen 150 ly/d und 335 ly/d eingesetzt werden. Empirisch wurde für die Ablationsperiode 1959 ein Durchschnittswert von 230 ly/d bestimmt, der auch weiterhin Anwendung findet.

III. Prüfung des Verfahrens

Das hier gezeigte Verfahren kann mit den Beobachtungen anläßlich der Begehung der Ablationszone bis Camp IV-EGIG (1013 m Seehöhe) am 23. VII. 1970 geprüft werden (B. Federer, 1970):

a) Es wurde festgestellt, daß in Camp IV-EGIG (1013 m Seehöhe) im Jahr 1970 am 23. VII. die Eisablation noch nicht begonnen hat.

b) Aus Ablesungen des Ablationspegels BK 5 (1013 m Seehöhe) wurde eine Eis-Nettoablation zwischen 24. VIII. 1967 und 23. VII. 1970 von 339 cm Eis festgestellt.

Zu a): Die Schätzung der Zahl der Ablationstage aus den Tagesmitteltemperaturen in Jakobshavn ($T \geqq 5{,}5°$ C) ergibt für Camp IV-EGIG (1013 m Seehöhe) im Jahre 1970

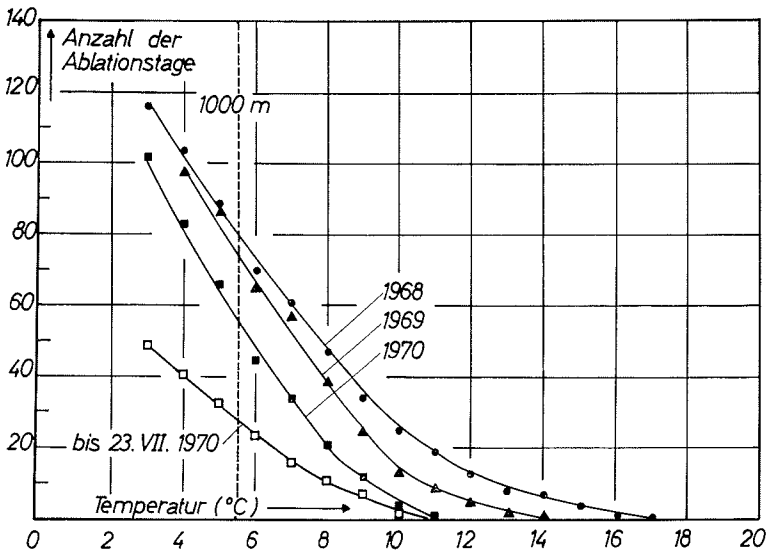

Abb. 3: Temperatur-Summenhäufigkeitskurve für Jakobshavn zur Bestimmung der Anzahl der Ablationstage in 1000 m Seehöhe.

Fig. 3: Integrated frequency distribution of temperature for Jakobshavn to determine the number of days with ablation at 1000 m altitude a.s.l.

bis zum 23. VII. insgesamt 28 Ablationstage (Abb. 3). Die in dieser Zeit zur Schneeschmelzung verfügbare Energie (70 ly/d) beträgt daher 1960 ly. Mit dieser Energie kann eine Schneedecke mit 24,5 cm Wasserwert geschmolzen werden. Zum Vergleich wird angeführt, daß bei ähnlichen Schneeverhältnissen in Jakobshavn im Jahre 1959 (Maximaltiefe ca. 50 cm) der Wasserwert der winterlichen Schneedecke in Camp IV-EGIG zu 23 cm Wasser gemessen wurde. Daher konnte im Jahre 1970 die bis zum 23. VII. verfügbare Energie nur zum Schmelzen der winterlichen Schneedecke ausreichen. Der verspätete Beginn der Eisablation um etwa einen Monat ist daher mit dem Witterungsverlauf in Jakobshavn in voller Übereinstimmung.

Zu b): Aus dem Temperaturverlauf in Jakobshavn werden für 1968 insgesamt 80, für 1969 insgesamt 74 Ablationstage ermittelt (Abb. 3). Wird für den Wasserwert der winterlichen Schneedecke beim Ablationspegel BK 5 in jedem Jahr der Wert 23 cm Wasser eingesetzt (dieser Wert wurde im Jahr 1959 gemessen), dann bleiben nach folgender Rechnung insgesamt 102 Ablationstage für Eisschmelzung:

Gesamte Anzahl der Ablationstage ($t_S + t_E$) für 1968 und 1969: 154; davon werden für den Abbau der winterlichen Schneedecke (46 cm Wasser, 70 ly/d) insgesamt 52 verbraucht; es resultieren als Differenz 102 Ablationstage für Eisschmelzung.

Dabei wird angenommen, daß am 24. VIII. die Eisablation für das Jahr 1967 abgeschlossen war, ferner steht fest, daß im Jahre 1970 vor dem 23. VII. noch keine stattgefunden hat. In 102 Ablationstagen kann bei einem durchschnittlichen Verbrauch an Schmelzenergie von 230 ly/d insgesamt 326 cm Eis geschmolzen werden. Der Wert von 230 ly/d wurde dabei als Mittelwert aus Meßreihen aus dem Jahre 1958/59 übernommen. Der Schätzwert der Eis-Nettoablation (326 cm) ist mit dem Meßwert (339 cm) in guter Übereinstimmung.

IV. Diskussion im Zusammenhang mit der TS-Funktion nach H. Hoinkes

In ähnlicher Weise hat H. Hoinkes (1970) durch Einführung der „TS-Funktion" (Snow-Temperature-Funktion) eine gute Korrelation zwischen dem Massenhaushalt des Hintereisferners (Ötztaler Alpen, Österreich) und ausgewählten Klimadaten der Talstation Vent abgeleitet. Im Falle des Hintereisferners wird durch Bildung der TS-Funktion nicht die Anzahl der Ablationstage, sondern die Summe der positiven Temperaturen angegeben (T-Funktion), wobei die Temperatur an der Talstation Vent zum Zungenende des Hintereisferners reduziert wird. Jene Ablationstage, die zufolge sommerlicher Neuschneefälle nicht für die Eisablation wirksam sind, werden dadurch berücksichtigt, daß für je 3 mm Niederschlag in der Talstation Vent bei einer Temperatur unter 3° C (entspricht etwa 5 cm Neuschnee in der Ablationszone) 2 „Gradtage" abgezogen werden (TS-Funktion).

Die Erstellung einer für die Ablationszone des Grönländischen Inlandeises gültige TS-Funktion scheint jedoch wegen der großen Horizontalentfernungen nach dem heutigen Stand der Kenntnisse nicht sinnvoll zu sein. Aus diesem Grunde wurden hier anstelle der TS-Funktion mittlere Energieumsatzwerte für schmelzende Oberfläche in Abhängigkeit von der Oberflächenart (Schnee oder Eis) und der Zeit (Hochsommer, Spätsommer) verwendet. Der systematische Fehler, der durch Nicht-Berücksichtigung der sommerlichen Neuschneefälle und der Ablation von super-imposed-ice entsteht, wurde eliminiert, indem der Temperaturgradient und die verfügbare Schmelzenergie empirisch aus Meßreihen bestimmt wurden.

Da regelmäßig durchgeführte Ablationsmessungen am Grönländischen Inlandeis relativ aufwendig sind, jedoch durch Satellitenaufnahmen neue Informationen über Neuschneefälle und über den Verlauf der Altschneelinie zur Verfügung stehen können (H. Regula,

1969; H. Kaminski, 1970), wäre bei Verwendung dieser Information eine bessere Kenntnis der Ablationsvorgänge am Grönländischen Inlandeis möglich.

Dem Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Wien, wird für die Unterstützung der Auswertearbeiten, ferner dem Danske Meteorologiske Institut, Charlottenlund, für die freundliche Überlassung der Klimadaten von Jakobshavn gebührend gedankt.

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. Grønl. Bd. 174, Nr. 4.

Federer, B. (1970): Bericht über die Begehung der Ablationszone des EGIG-Profiles (13.—26. Juli 1970). Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch-Davos, Interner Bericht Nr. 508.

Hoinkes, H. (1955): Persönliche Mitteilung.

Hoinkes, H. (1970): Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Z. Gletscherkunde u. Glazialgeologie VI, (1—2), 37—90.

Hoinkes, H. u. R. Rudolph (1962): Variations in the mass balance of Hintereisferner (Ötztal Alps), 1952—1961, and their relation to variations of climatic elements. Commission of Snow and Ice, Symposium of Obergurgl 1962, IASH Publ. Nr. 58, 16—28.

Hoinkes, H., Howorka, F. u. Schneider, W. (1968): Glacier mass budget and mesoscale weather in the Austrian Alps 1964 to 1966. Commission of Snow and Ice, General Assembly of Bern 1967, IASH Publ. Nr. 79, 241—254.

Kaminski, H. (1970): Eis und Schnee in Satellitenphotos. Umschau in Wissenschaft und Technik Heft 6/70, 163—169.

Regula, H. (1969): Satellitenaufnahmen vom Nordpolargebiet. Polarforschung Bd. 6, Jg. 39, Nr. 1 (publ. 1970), 246—250.