

## ZUR BERECHNUNG DER EISABLATION

Von E. DREISEITL, Innsbruck

### ZUSAMMENFASSUNG

Es wird versucht, die Jahres-Nettoablation an einem Pegel auf dem Hintereisferner, Ötztal, Tirol, mit Hilfe einer stufenweisen linearen Regressionsanalyse aus meteorologischen Daten zu berechnen. Zur Bestimmung der Regressionskoeffizienten wurden 241 Tageswerte der Lufttemperatur von zwei Meßstellen in 1900 und 2450m Seehöhe, die relative Topographie 500/1000mb der Radiosondenstationen München und Payerne sowie Tageswerte der Eisablation aus den beiden Ablationsperioden 1970 und 1971 verwendet. Die Regressionsgleichung wurde auf die Haushaltsjahre 1963/64 bis 1970/71 angewendet und zeigte eine gute Übereinstimmung mit den beobachteten Werten. In einer zukünftigen Berechnung wird durch die Verwendung von Strahlungsdaten eine weitere Verbesserung erwartet.

### ON THE CALCULATION OF ICE ABLATION

#### SUMMARY

Calculations of the annual net ablation at a stake on Hintereisferner, Ötztal, Tyrol, were made using the method of stepwise linear regression analysis and meteorological data. The coefficients were determined from 241 daily values of the air temperature of two meteorological stations (1900 and 2450m MSL), from the thickness of the layer 500/1000 mb derived from the two radiosondes München and Payerne, and from daily ablation measurements in the ablation periods of 1970 and 1971. The regression equation was applied to the balance years 1963/64 to 1970/71 and gave a reasonable estimate to the observed values. Further improvement is expected from including radiation data of Station Hintereis.

Nahezu dreißig Jahre lang wird nun bereits in einigen vergletscherten Gebieten Europas mit viel Arbeitsaufwand die Massenbilanz der Gletscher direkt bestimmt. Die längste Beobachtungsreihe der Alpen mit der glaziologischen Methode ist die des Hintereisfernens im Inneren Ötztal, welche damit nach den Gletschern in Schwedisch Lappland die zweitlängste in Europa ist. In einer umfangreichen Studie hat H. Hoinkes (Hoinkes, 1970) die verschiedenen direkten und indirekten Methoden der Massenhaushaltsbestimmung dargelegt und mit einigen Beispielen vom Hintereisferner auch den Umfang der jährlich zu leistenden Feldarbeiten skizziert. Im zweiten Teil seiner Abhandlung werden die Beziehungen zwischen der klimatischen Umwelt und der Massenbilanz diskutiert sowie die Möglichkeit, die sich aus der Kenntnis dieser Beziehungen für die Bestimmung der Massenbilanz ergibt. Der Überblick über die bisher bekannten Näherungsmethoden, den Massenhaushalt eines Gletschers zu bestimmen ohne den Gletscher zu betreten, reicht von Abschätzungen (siehe auch Rott, 1976) bis zu Hinweisen auf meteorologische Hilfsgrößen wie sie von mitunter weit entfernten Radiosonden gemessen werden (siehe auch Skoda, 1971). Die Arbeitsgruppe des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck brachte mit einem eigenen Programm zur Bestimmung des Wärmehaushalts vergletschertter Einzugsgebiete eine Intensivierung der Feldarbeiten in der IHD mit sich. Frühere Studien des Strahlungs- und Wärmehaushaltes über Schnee- und Gletscherflächen erstreckten sich über wenige Tage, während 1971 am Hintereisferner versucht wurde, die Messungen über die ganze Ablationsperiode auszudehnen.

Da in diesem Sommer auch in verstärktem Maße die Eisablation beobachtet wurde, bot sich die Möglichkeit, die Zusammenhänge zwischen den einzelnen meteorologischen Parametern und der Abschmelzung statistisch zu untersuchen. Vorerst mußte allerdings auf die Verwendung der Sonnenstrahlung, deren Eichung und Auswertung noch nicht abgeschlossen ist, verzichtet werden. Der Einbau der Globalstrahlung in dieses Modell ist sehr wünschenswert, wird doch der weitaus größte Teil der zur Ablation erforderlichen Energie von der absorbierten Strahlung geliefert.

Die Verwendung eines multiplen Regressionsmodells auf der Basis von Tageswerten setzt die Kenntnis von täglichen Abschmelzbeträgen voraus, welche am Hintereisferner auf einem Meßfeld mit 9 Ablationspegeln gewonnen wurden. Zwischen diesen Ablationswerten als abhängigen Variablen ( $= y$ ) und den „unabhängigen“ Variablen ( $= x_i$ ) galt es eine Beziehung der Form

$$y = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n$$

zu finden. Die  $b_i$  sind Regressionskoeffizienten, mit deren Hilfe man, sofern sie für eine ausgewählte Stichprobe hinreichend genau bestimmt sind, aus gegebenen Werten  $x_i$  den Wert der abhängigen Variablen  $y$  bestimmen kann. Die Voraussetzungen für die Berechnung der Regressionskoeffizienten waren am günstigsten in den beiden Ablationsperioden 1970 und 1971, welche im folgenden als eine Stichprobe von 241 Tagen betrachtet werden. Die Höhe des Meßfeldes in 2800 m war durch die Wahl der Klimastationen gegeben. Die Ablationsperiode erstreckt sich in dieser Höhenstufe jedoch über eine bedeutend kürzere Zeitspanne als an der Zunge des Hintereisferners, weshalb eine Reduktion der Ablationswerte mit Hilfe von insgesamt 38 parallelen Pegelablesungen auf die Zunge des Hintereisferners (Pegel 7, 2450 m) vorgenommen wurde.

Insgesamt wurden sechs verschiedene „unabhängige“ Variable verwendet.

1. Die Tagesmitteltemperatur der meteorologischen Station Vent, 1900 m, berechnet aus den Terminwerten um 7, 14 und 21 Uhr nach der Vorschrift  $(7 + 14 + 21)/3$ .
2. Die T, S-Werte, reduziert für 2400 m. Diese T, S-Temperaturen stellen im wesentlichen eine für sommerliche Schneefälle am Gletscher korrigierte Aufsummierung der positiven Gradtage in Vent dar (Hoinkes et al., 1968).
3. Die Tagesmitteltemperatur an der Zunge des Hintereisferners, 2440 m. Auf einem Felskopf im unmittelbaren Vorfeld des Gletschers wurde mittels eines Thermohygrographen in einer Jalousiehütte die Temperatur gemessen (Wagner, 1977).
4. Die relative Topographie 500/1000 mb für die Alpennordseite (Rel N) als Mittel aus den Radiosonden (Mittagstermin) München und Payerne. Dieses Maß für den Wärmegehalt der unteren Troposphäre kann durchaus zur Beschreibung der klimatischen Verhältnisse der Alpengletscher verwendet werden, wie von Dreiseitl (1973) gezeigt werden konnte.

Ferner wurden in der Analyse zwei Variable verwendet, welche vorwiegend zu einer Überprüfung der statistischen Maßzahlen dienen, da von vornherein angenommen werden konnte, daß ihr Beitrag zur Verbesserung der Regression gering sein würde. Es waren dies einerseits eine mittlere Rel. Topographie, berechnet aus den drei Radiosonden München, Payerne und Mailand ( $=$  Rel Z) und andererseits der tägliche Abfluß der Venterache, gemessen in Vent.

Die Korrelationskoeffizienten dieser Variablen lauten im einzelnen:

Tabelle 1:

	Ablation	Temp. Vent	Rel Z	Temp. HEF	Rel N	Abfluß Vent	(T, S)
Ablation	1,000	0,858	0,766	0,832	0,796	0,512	0,881
Temp. Vent		1,000	0,865	0,932	0,892	0,640	0,934
Rel Z			1,000	0,906	0,944	0,667	0,819
Temp. HEF				1,000	0,915	0,594	0,881
Rel N					1,000	0,609	0,833
Abfluß Venterache (T, S)						1,000	0,597 1,000

Auch hier ist wieder die enge Verknüpfung der relativen Topographie 500/1000 mb mit den Temperaturverhältnissen am Gletscher zu sehen.

Für die endgültige Berechnung wurden die folgenden fünf Variablen verwendet:

$y$  ... Tageswerte der Eisablation in cm Eis

$x_1$  ... (T, S)-Temperaturen in °C

$x_2$  ... Tagesmitteltemperatur Vent in °C

$x_3$  ... Relat. Topographie Alpennordseite (Rel N) in gpdm (-500)

$x_4$  ... Abfluß Venterache in  $10^{-1} \text{ m}^3/\text{s}$

mit dem Ergebnis:

$$y = 0,537 x_1 + 0,176 x_2 + 0,081 x_3 - 0,003 x_4 - 3,724$$

bzw. nach der Standardisierung mit

$$z = \frac{(x - \bar{x})}{s} \quad s \dots \text{Standardabweichung}$$

$$y = 0,62 z_1 + 0,18 z_2 + 0,16 z_3 - 0,07 z_4$$

Herausragend ist der starke Beitrag der T, S-Werte, worin sich die Bedeutung der sommerlichen Schneefälle zeigt, welche nur in diesem Temperaturmaß eingearbeitet sind. Ein Vergleich der gemessenen und berechneten Ablationsbeträge zeigt die gute Einpassung in das Modell.

Tabelle 2: Eisablation in cm Eis für den Pegel Nr. 7

	gemessen	berechnet
17. Juni bis 30. September 1970	573,7	586,2
17. Mai bis 28. September 1971	676,9	664,4

Auch die einzelnen Tageswerte zeigten eine gute Übereinstimmung, ausgenommen einige wenige Tage mit Niederschlag am Gletscher (Dreiseitl, 1973: Tab. 32 bis 36). Der mittlere Fehler der Regressionswerte betrug 1,6 cm.

Im folgenden wurde die Regressionsgleichung auf die gesamte Periode 1964–1971 angewandt. In dieser Zeit wurde die Bestimmung des Massenhaushaltes am Hinterseiferner mit einheitlichen Methoden durchgeführt. Die Aufsummierung der Tageswerte erfolgte dann vom sommerlichen Beginn der Ablationsperiode an (= erstes Auftreten von Gletschereis an der Zunge) bis zum Ende des Hydrologischen Jahres (= 30. September). Diese Definition des Endes des Haushaltsjahres macht eine Korrektur der berechneten Ablationswerte notwendig, die nach dem 30. September

erfolgte Ablation muß im folgenden Kalenderjahr mitberücksichtigt werden. Diese herbstlichen Ablationsbeträge erreichten maximal 48 cm (im Jahr 1970) und betragen im Mittel der Jahre 1964–1971 22 cm oder 4% einer mittleren jährlichen Ablation von 572 cm Eis. Die korrigierten und in cm Wasser (w. e.) umgerechneten Ablationsbeträge sind in folgender Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Ablation des Pegels Nr. 7 in cm w. e.

	1963/64	1964/65	1965/66	1966/67	1967/68	1968/69	1969/70	1970/71
berechnet	703	403	528	505	489	582	543	608
gemessen	636	339	426	419	461	548	517	609

Der Korrelationskoeffizient beträgt für die obigen beiden Reihen 0,93.

Es wäre verlockend, diesen rein statistischen Versuch weiterzuführen und einen „einfachen“ Zusammenhang zwischen der Ablation eines Punktes und der Nettoablation des gesamten Gletschers anzunehmen. Meßpunkte an der Zunge eines Gletschers sind dafür sicherlich weniger geeignet als solche in der Höhenzone der mittleren Gleichgewichtslinie, da an der Zunge eines Gletschers die stärksten jährlichen Veränderungen zu beobachten sind, was Neigung und Beschaffenheit der Oberfläche betrifft. Darüber hinaus wird die Art der Ausaperung am Hintereisferner mit einer Höhererstreckung von 1300 m von verschiedensten Einflüssen geprägt, welche nicht direkt mit der jeweiligen Sommerwitterung in Zusammenhang stehen müssen. Es ist dabei vor allem an die gelegentlichen Saharastaubablagerungen in der Winterschneedecke und ihre Bedeutung für die Albedo gedacht, aber auch die Ausaperung des Vorjahres ist von Bedeutung. Es sollte dennoch versucht werden, mit einem verbesserten Modell (nach Einbau der Globalstrahlung) derartige Regressionen mit der Nettoablation und dem Massenhaushalt von Gletschern zu rechnen.

#### LITERATUR

- Dreiseitl, E., 1973: Witterungsklimatologie von Vent und Massenbilanz des Hintereisferners 1955–1971. Dissertation Universität Innsbruck, 81 S.
- Hoinkes, H., 1970: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 6, 1/2: 37–90.
- Rott, H., 1976: Analyse der Schneeflächen auf Gletschern der Tiroler Zentralalpen aus Landsat-Bildern. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, 12, 1: 1–28.
- Skoda, G., 1971: Die Bestimmung des Massenhaushaltes temperierter Gletscher aus Radiosondenmessungen. Polarforschung, 41. Jg., 7, 1/2: 158–164.
- Wagner, H. P., 1977: Das Klima der Ablationsperioden am Hintereisferner, 1969–1976. Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, in Vorbereitung.
- Hoinkes, H., F. Howorka und W. Schneider, 1968: Glacier mass budget and mesoscale weather in the Austrian Alps 1964–1968. ICSL, General Assembly of Bern 1967, IASH Publ. No. 79: 241–254.

Manuskript eingelangt am 23. August 1976.

Adresse des Autors: Dr. Ekkehard Dreiseitl  
 Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck  
 Schöpfstraße 41  
 A-6020 Innsbruck