

Gletscherverhalten und Klimatelemente

Von Herwig WAKONIGG

Mit 18 Abbildungen und 1 Tabelle (im Text)

Eingelangt am 23. März 1971

Die Frage nach den Ursachen der Gletscherschwankungen ist so alt wie die Beobachtungen der Gletscher selbst. Seit J. WALCHER (1773) die Meinung äußerte, daß das Gletscherverhalten primär von den Witterungsbedingungen abhängt, wurden zahlreiche Versuche unternommen, das Gletscherverhalten mit verschiedenen Klimatelementen zu parallelisieren. Von den älteren Arbeiten ist hier vor allem die Untersuchung von K. v. SONKLAR (1858) zu nennen, von jüngeren Arbeiten über die ostalpinen Gletscher die von S. MORAWETZ (1941, 1949, 1953, 1961) und H. TOLLNER (1937, 1948 b, 1954 a). Ihnen allen gemeinsam ist wohl die nie ganz verklungene Klage über die meist unbefriedigende Übereinstimmung zwischen meteorologischem und glaziologischem Beobachtungsmaterial und das Fehlen zwingender Abhängigkeiten des Gletscherverhaltens von einigen Klimatelementen.

Diese mangelnde Übereinstimmung hat ihre Ursachen darin, daß ausschließlich indirektes Beobachtungsmaterial über die Gletscher (etwa Vorstöße der Zunge) herangezogen wurden, welche nicht direkt witterungsabhängig sind, sondern weitgehend von der Fließdynamik des Gletschers abhängen, aber auch in der Verwendung ungeeigneter Talstationen für das meteorologische Beobachtungsmaterial und schließlich in den Versuchen, jeweils nur ein meteorologisches Element und nicht die Gesamtwitterung mit dem Gletscherverhalten zu vergleichen. Es fehlt aber auch nicht an Versuchen, die Gesamtwitterung durch Bildung verschiedener Quotienten meteorologischer Elemente auszudrücken (S. MORAWETZ 1949, 1953, 1961, H. TOLLNER 1954 a), wobei verschiedene Methoden zum gleichen Ergebnis führen können. Es muß dabei anerkannt werden, daß trotz Verwendung indirekter Gletscherbeobachtungen die wesentlichen witterungsbedingten Ursachen wie etwa die überragende Bedeutung der thermischen Eigenschaften des Hochgebirgssommers und der sommerlichen Neuschneefälle auf die Gletscher erkannt werden konnten.

Einzig unmittelbar und im Einzeljahr mit der Witterung vergleichbar sind direkte Gletscherbeobachtungen, die die Messung des Eishaushaltes zum Ziel haben (R. FINSTERWALDER 1953, O. SCHIMPP 1959, H. HOINKES 1962, 1965, 1967, 1970 b). Nur der Eishaushalt, verstanden als Differenz zwischen Gesamtzuwachs und Gesamtabtrag des Gletschers bietet unmittelbar aus meteorologischen Elementen begründete Werte für den Zustand des Gletschers im Jahr der Messung (Haushaltsjahr).

Solche direkten Akkumulations- und Ablationsmessungen wurden erstmals von H. W. AHLMANN (1946) auf nordischen Gletschern angewandt. In den Ostalpen wurde mit direkten Eishaushaltmessungen von O. SCHIMPP (1959) im Jahr 1952/53 am Hintereisferner begonnen, die seither von H. HOINKES und seinen

Mitarbeitern laufend fortgeführt wurden, wobei der Eishaushalt für den Hintereisferner und Kesselwandferner (Ötztaler Alpen) am Ende jedes Haushaltjahres (Ende September) bestimmt wird. Für den Hintereisferner liegt somit eine homogene Reihe seit 1952/53 vor. Auf die Arbeitsmethode, die von H. HOINKES hinlänglich beschrieben wurde, kann hier nicht weiter eingegangen werden (H. HOINKES & R. RUDOLPH 1962 b, H. HOINKES 1965, 1970 a, b). Von den drei Methoden zur Bestimmung des Massenhaushaltes (geodätische, hydrometeorologische und glaziologische) hat sich die direkte, auf der mittels Schachtgrabungen und Ablationspegeln gewonnenen Messung vom Akkumulations- und Ablationswerten beruhende als die genaueste und günstigste erwiesen (H. HOINKES 1965, 1970 b).

Für die Pasterze, den größten österreichischen Gletscher, liegen solche Messungen noch nicht vor, obwohl von diesem Gletscher neben dem Hintereisferner die ältesten homogenen Meßreihen indirekter Art bekannt sind. An der Pasterze werden im Zungenbereich Einsinkbeträge der Gletscheroberfläche entlang von drei Profilen gemessen und daraus die Volumsänderung der Zunge errechnet, sowie die Änderung der Lage des Zungenendes (H. PASCHINGER 1969, original). Unabhängig davon werden von H. TOLLNER seit etwa 1948 Akkumulationsmessungen im Firngebiet der Pasterze durchgeführt, die von Jahr zu Jahr intensiviert wurden, sodaß seit etwa 1953, genauer seit 1955 für das Firngebiet ähnlich wie am Hintereisferner gewonnene Nettoakkumulationswerte vorliegen (H. TOLLNER 1954 b, 1957 a, b, 1961, 1962, 1963, 1966, 1968, 1969).

Die Differenz zwischen Firnakkumulation und Volumsänderung der Pasterzunge kann aber noch nicht als Massenbilanz angesehen werden, da dieser Betrag um die jeweilige Vertikalkomponente (Eisnachschub) in positivem Sinn verfälscht wird (H. HOINKES 1965, G. PATZELT & H. SLUPETZKY 1970). Über die Größe der Vertikalkomponente gibt es aber noch keine gesicherte Aussage, die Angaben schwanken zwischen 6 Mill. m³ Eis (G. PATZELT & H. SLUPETZKY 1970), 6—10 Mill. m³ Eis (H. HOINKES 1965), 15 Mill. m³ Eis (H. TOLLNER 1968, 1969) und 15,2 Mill. m³ Wasser (= 17 Mill. m³ Eis), wenn man für 1952—1968 ein stationäres Firngebiet annimmt, aus dem der Gesamtbetrag der Nettoakkumulation (nach TOLLNER) zum Abfluß kommt.

Die für die Wasserwirtschaft so wichtige Größe der Vertikalkomponente ist aber, sofern sie für alle Jahre konstant angenommen wird, für einfache statistische Vergleiche des Gletscherverhaltens mit Klimadaten ohne Einfluß. Für solche Zwecke könnten daher Massenbilanzwerte aus Firnakkumulation, Volumsänderung der Zunge und einer beliebigen Größe (auch Null) der Vertikalkomponente herangezogen werden. Trotzdem empfiehlt es sich nicht, die Werte der Volumsänderung der Zunge überhaupt für eine Bilanzrechnung heranzuziehen, da sie nicht wie die Akkumulation am Ende des Haushaltsjahres, sondern schon Ende August gewonnen werden und mit ersterer, sowie auch mit den Daten für den Hintereisferner leider nicht vergleichbar sind. So ergibt eine Korrelation der Nettoablation am Hintereisferner mit der Volumsänderung an der Pasterzunge nur einen Koeffizienten von $+ 0,138 \pm 0,245$, d. h. es herrscht keinerlei überzufälliger Zusammenhang zwischen beiden Komponenten.

Für die weitere Bearbeitung verbleiben daher nur die Angaben über die Nettoakkumulation an der Pasterze, wobei es noch fraglich ist, wie weit durch sie allein das Gletscherverhalten ausgedrückt werden kann. Das ist umso eher der Fall, je stärker der Zusammenhang zwischen Nettoakkumulation und Massenbilanz eines Gletschers ist, wofür sich am Hintereisferner für den beobachteten Zeitraum von 1952/53 bis 1967/68 ein Korrelationskoeffizient von $+ 0,96$

$\pm 0,02$ errechnen läßt, d. h. der Zusammenhang entspricht fast einer funktionalen Abhängigkeit, was schon dadurch begründet ist, daß die Nettoakkumulation in der Berechnung der Massenbilanz als entscheidende Größe enthalten ist. Aber auch zwischen den unabhängig voneinander gewonnen Größen der Nettoakkumulation und Nettoablation am Hintereisferner ist mit einem Koeffizienten von $-0,851 \pm 0,069$ ein genügend hoher Zusammenhang gegeben. Die Nettoakkumulation allein ist daher für den Zustand des Gletschers genügend aussagekräftig.

Weniger leicht zu beantworten ist die Frage, wie weit die Angaben der Nettoakkumulation an der Pasterze reale Gültigkeit besitzen, da über die Methoden ihrer Gewinnung fast nichts bekannt ist, doch stimmen sie mit der Nettoakkumulation am Hintereisferner mit einem Koeffizienten von $+0,840 \pm 0,074$, und mit der Massenbilanz des Hintereisfernens mit einem Koeffizienten von $+0,854 \pm 0,068$ sehr gut überein, womit zumindest die Realität ihrer Variabilität (wenn auch nicht ihre absolute Größe) als gesichert gelten kann, da die geringe Abweichung zu den westlichen Zentralalpen einfach aus Witterungsunterschieden erklärt werden kann.

Die Werte für die Massenbilanz des Hintereisfernens liegen in einer geschlossenen Reihe vor (H. HOINKES 1970 b), die Werte für die Nettoakkumulation an der Pasterze werden in Tabelle 1 zur besseren Übersicht zusammengefaßt.

T a b. 1: Nettoakkumulation an der Pasterze in Mill. m³ (Wasser)

1952/53	/54	/55	/56	/57	/58	/59	/60
+12,7	+16,2	+14,5	+13,5	+9,8	+2,5	+7,3	+19,3
/61	/62	/63	/64	/65	/66	/67	Mittel
+21,5	+16,9	+10,7	+6,6	+35,6	+21,1	+11,8	+23,5
							+15,2

Da über meteorologische Beobachtungen auf Gletschern selbst oder in deren unmittelbarer Nähe noch keine homogenen Reihen vorliegen, muß zur Verwendung meteorologischen Beobachtungsmaterials auf andere Stationen zurückgegriffen werden, wobei die Frage der Eignung, bzw. Repräsentation dieser Werte für Gletschergebiete nur bedingt zu beantworten ist. H. HOINKES fordert als Voraussetzung für die Verwendbarkeit von Stationen ihre unmittelbare Nachbarschaft zu Gletschergebieten, bzw. eine Seehöhe von mindestens 2000 m (H. HOINKES et al. 1967). Nach diesen Kriterien fällt die Wahl automatisch auf Vent (1904 m), Mooserboden (2036 m) und Sonnblick (3106 m). Wie weit die an diesen Stationen gewonnenen Daten für ein größeres Gebiet, bzw. für die beiden Gletscher repräsentativ sind, läßt sich am ehesten durch Vergleiche mit direkt auf Gletschern gewonnenen Daten beantworten, die nur vom Niederschlag vorliegen (H. HOINKES 1954, F. MITTERECKER & H. TOLLNER 1963), wobei sich aber gerade für den Niederschlag nur unbefriedigende Zusammenhänge erkennen lassen, während etwa die Temperatur wesentlich leichter reduzierbar ist, wie schon die hohe Übereinstimmung im Temperaturgang der Ablationsperiode (VI—IX) zwischen den verwendeten Stationen mit Korrelationskoeffizienten von $+0,91 \pm 0,04$ (Sonnblick-Mooserboden), $+0,87 \pm 0,06$ (Sonnblick-Vent) und $+0,89 \pm 0,05$ (Mooserboden-Vent) beweist.

Etwas geringer ist die Übereinstimmung für den Gang der Sonnenscheindauer der Ablationsperiode, wofür sich in der selben Reihenfolge Koeffizienten von $+0,74 \pm 0,11$, $+0,77 \pm 0,10$ und $0,65 \pm 0,15$ errechnen lassen.

Durch Stationsmittel lassen sich daher die thermischen Verhältnisse in den Gletschergebieten am besten, die Strahlungsverhältnisse nur mäßig, und die Niederschlagsverhältnisse am schlechtesten erfassen.

Im folgenden werden nun in analytischer Weise Mittelwerte meteorologischer Elemente mit dem Gletscherverhalten in Beziehung gesetzt, wobei hier aber das Gletscherverhalten einerseits durch die Massenbilanz (Hintereisferner), andererseits durch die Nettoakkumulation (Pasterze) ausgedrückt wird, und der Vergleich nach Einzeljahren und nicht nach übergreifenden Mitteln, Lustren oder Dezennien erfolgt. Zahlenmäßiger Ausdruck der Übereinstimmung ist der Korrelationskoeffizient, der aber keineswegs eine ursächliche Abhängigkeit, sondern lediglich einen formalen Zusammenhang (Gleichklang) beweisen kann.

Jahresniederschlag

Da die Einnahmeseite der Massenbilanz der Gletscher primär durch die Niederschläge bestimmt wird, hat man diesen schon früh große Bedeutung beigemessen, aber nie optimale Zusammenhänge feststellen können. Eine Gegenüberstellung der Gletscherhaushaltswerte des Hintereisferners bzw. der Pasterze mit den Niederschlagssummen der Haushaltsjahre (1. X.—30. IX.) der drei Hochgebirgsstationen zeigt dagegen überraschend gute Zusammenhänge, die durch Koeffizienten von $+ 0,733 \pm 0,116$ für Vent—Hintereisferner (Abb. 1), $+ 0,712 \pm 0,123$ für Mooserboden—Pasterze und $+ 0,548 \pm 0,175$ für Sonnblick—Pasterze (Abb. 2) ausgedrückt werden.¹⁾ Es muß aber davor gewarnt werden, aus den recht deutlichen Zusammenhängen die Ursache der Gletscherschwankungen ausschließlich oder auch nur erstrangig im Jahresniederschlag zu sehen. Dagegen spricht, daß die hier gewonnenen Koeffizienten vornehmlich durch Extremjahre bestimmt wurden und der Jahresniederschlag mit anderen für den Gletscherhaushalt wichtigen Faktoren selbst in mehr oder weniger gutem Zusammenhang steht.

Niederschlag der Akkumulationsperiode

Geht vom Jahresniederschlag noch ein Teil als Regen im Sommer für die Gletscherernährung verloren, so kommt der Niederschlag der Akkumulationsperiode (hier X—V) als Schnee fast vollkommen der Ernährung zugute.

Trotzdem sind die Übereinstimmungen zum Gletscherhaushalt mit Koeffizienten von $+ 0,287 \pm 0,229$ für Vent—Hintereisferner (Abb. 3), $+ 0,657 \pm 0,142$ für Mooserboden—Pasterze und $+ 0,421 \pm 0,206$ für Sonnblick—Pasterze (Abb. 4) äußerst gering und nur im Fall Mooserboden hinreichend signifikant. Der Winterniederschlag allein ist also sicher nicht ausschlaggebend für den Gletscherhaushalt.

¹⁾ In den Zeitdiagrammen der Abbildungen werden statt der Absolutwerte die standardisierten Werte verwendet, was den Vorteil einer direkten (gleichmaßstäbigen) Vergleichbarkeit der Kurven unter Berücksichtigung der ursprünglichen Quantitäten der Einzelwerte bietet.

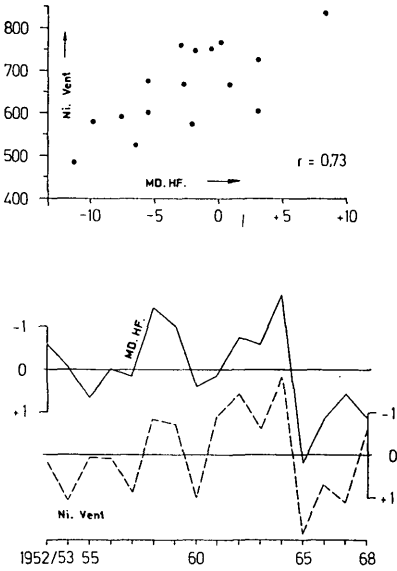


Abb. 1

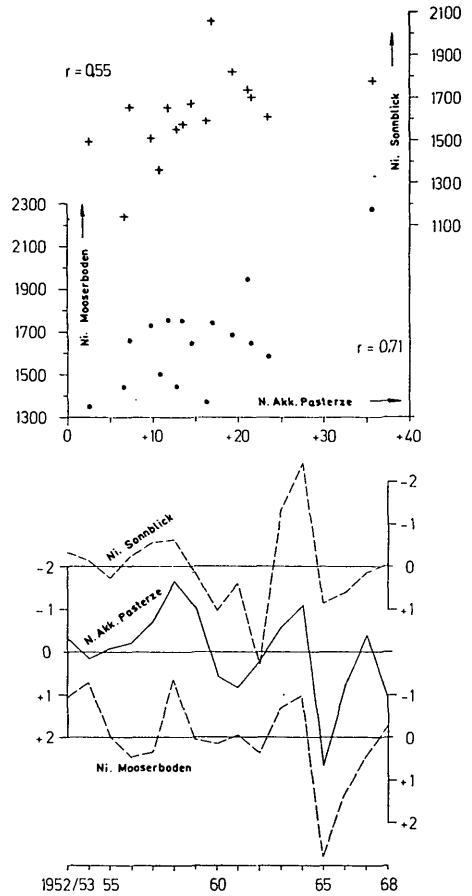


Abb. 2

Abb. 1: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m³ (Wasser) und Niederschlagssumme (Ni) der Haushaltsjahre in Vent in mm.
 Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
 Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Abb. 2: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m³ (Wasser) und Niederschlagssumme (Ni) der Haushaltsjahre am Mooserboden und Sonnblick in mm.
 Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
 Zeitdiagramm: standardisierte Werte

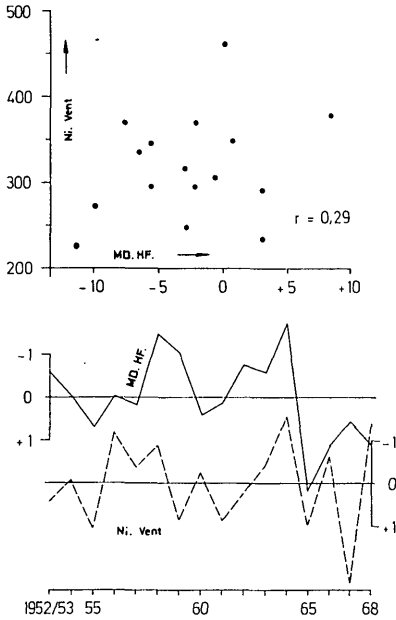


Abb. 3

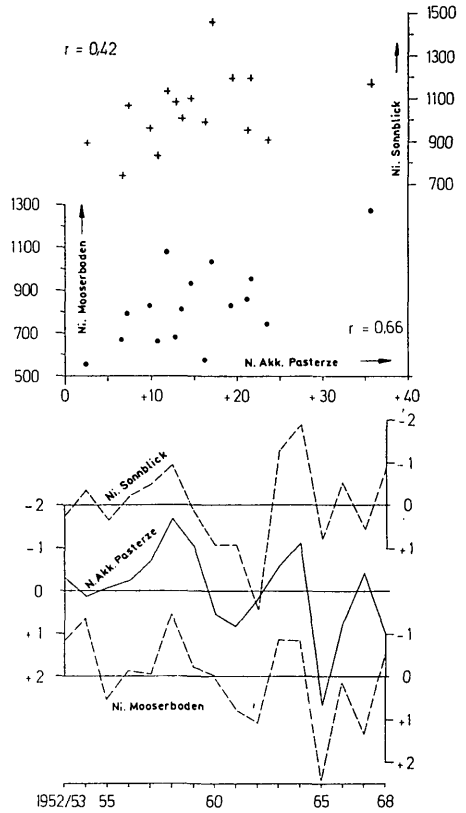


Abb. 4

Abb. 3: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m³ (Wasser) und Niederschlagssumme (Ni) der Akkumulationsperiode (X—V) in Vent in mm.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Abb. 4: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m³ (Wasser) und Niederschlagssumme (Ni) der Akkumulationsperiode (X—V) am Mooserboden und Sonnblick in mm.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Niederschlag der Ablationsperiode

Auch die Niederschlagssumme des Hochgebirgssommers (VI—IX) zeigt mit Koeffizienten von $+0,568 \pm 0,169$ für Vent-Hintereisferner (Abb. 5), $+0,306 \pm 0,227$ für Mooserboden-Pasterze und $+0,437 \pm 0,202$ für Sonnblick-Pasterze (Abb. 6) nur eine mäßige Übereinstimmung, da die Summe allein keine Aussage über Art, Häufigkeit und zeitliche Verteilung der Niederschläge zuläßt. Allerdings sind zwischen Gletscherhaushalt und Zahl der Niederschlagstage während der Ablationszeit überhaupt keine Zusammenhänge mehr feststellbar.

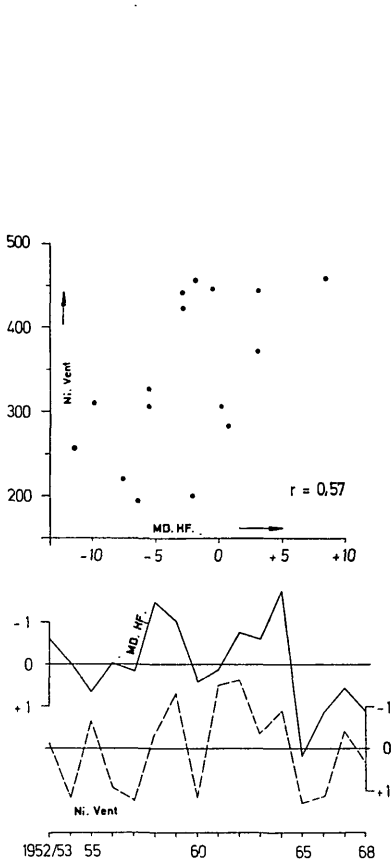


Abb. 5

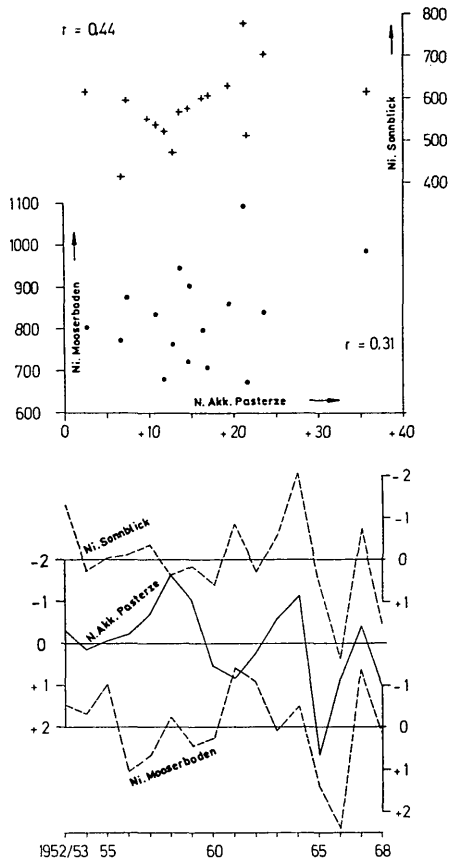


Abb. 6

Abb. 5: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m³ (Wasser) und Niederschlagssumme (Ni) der Ablationsperiode (VI—IX) in Vent in mm. Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Abb. 6: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m³ (Wasser) und Niederschlagssumme (Ni) der Ablationsperiode (VI—IX) am Mooserboden und Sonnblick. Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Jahrestemperatur

Die mittlere Jahrestemperatur wurde lange Zeit als augenfälligstes Merkmal von Klimaschwankungen betrachtet und häufig mit den Gletschervorstößen in Beziehung gebracht, zeigt aber im Einzeljahr mit den Haushaltsgrößen der

Gletscher kaum Übereinstimmungen, da sie weitgehend von der Temperatur der Akkumulationszeit bestimmt wird, die mit ihren negativen Werten trotz größerer Streubreite in einigen Wintermonaten für den Gletscherhaushalt belanglos ist. Das wird auch durch die schwache Korrelation von $-0,345 \pm 0,220$ für Vent-Hintereisferner (Abb. 7), $-0,448 \pm 0,2$ für Mooserboden-Pasterze und $-0,447 \pm 0,2$ für Sonnblick-Pasterze bestätigt (Abb. 8).

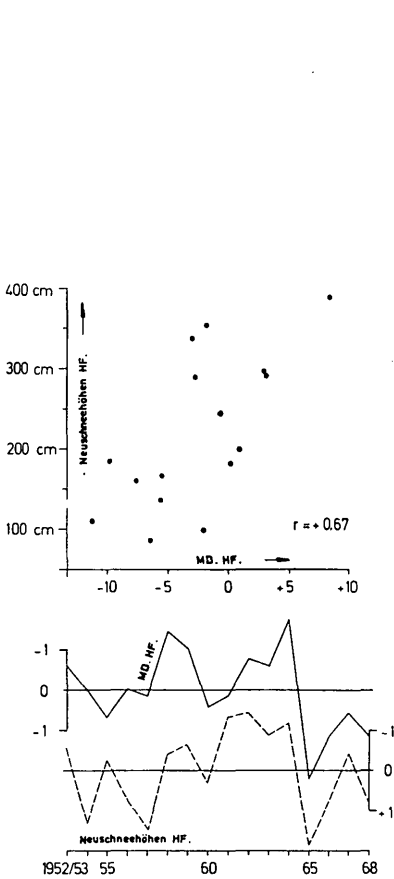


Abb. 7

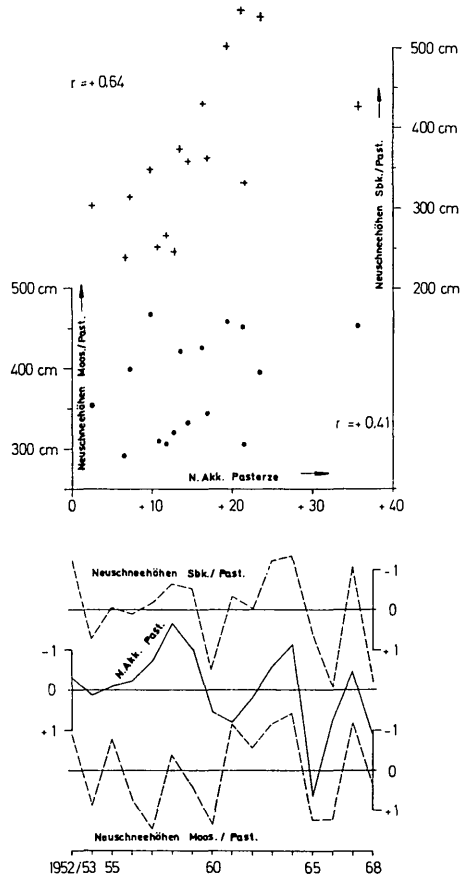


Abb. 8

Abb. 7: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m³ (Wasser) und mittlere Temperatur der Haushaltsjahre in Vent.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Abb. 8: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m³ (Wasser) und mittlere Temperatur der Haushaltsjahre am Mooserboden und Sonnblick.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Temperatur der Ablationsperiode

Wichtigster Faktor für die Ausgabenseite des Gletscherhaushaltes ist die thermische Eigenschaft des Hochgebirgssommers, die am einfachsten durch die mittlere Temperatur der Ablationszeit ausgedrückt wird und auch häufig mit dem Gletscherverhalten gut in Beziehung gebracht werden konnte (H. TOLLNER 1948, 1954 a, 1969, S. MORAWETZ 1949, 1961, H. HOINKES 1962, 1965, 1970 a, H. HOINKES et al. 1967, H. PASCHINGER 1969). Ein Vergleich der mittleren Temperaturen der Ablationsperioden mit den Haushaltszahlen der Gletscher ergibt für Vent-Hintereisferner einen Koeffizienten von $-0,669 \pm 0,138$, für Mooserboden-Pasterze $-0,564 \pm 0,170$ und für Sonnblick-Pasterze $-0,549 \pm 0,175$, was neben dem Jahresniederschlag die bisher beste Übereinstimmung darstellt.

Wärmesummen der Sommermonate

Die mittlere Sommertemperatur setzt sich im Gletscherbereich aber selbst wieder aus positiven und negativen Werten zusammen, wobei die Größenordnung der letzteren wohl den Mittelwert beeinflusst, für die Ablationsleistung aber unwesentlich ist. Das Maß des sommerlichen Wärmeangebots läßt sich daher besser durch Aufsummieren aller positiven Tagesmittel zu positiven Temperatursummen ausdrücken (H. HOINKES et al. 1967, H. HOINKES 1970 a). Dazu müssen die Stationstemperaturen zuerst auf Gletscherniveau reduziert werden. Der mittlere Temperaturgradient in den Ostalpen für die Zone zwischen 1800 und 3000 m beträgt in den Monaten Juni bis September 0,66 0,68 0,65 und 0,56 °/100 m (F. LAUSCHER 1960). Reduziert man nun die Temperatur von Vent vom Juni bis August um -7° und im September um -6° , dann erhält man die Temperaturen für eine Höhe von etwa 2970 m, nur wenig unter der für den Haushalt entscheidenden Zone größter Flächenentwicklung des Gletschers (H. HOINKES 1970 a Abb. 8, 1970 b Abb. 10).

Reduziert man die Temperatur des Mooserbodens mit denselben Gradienten im Juni bis August um -6° und im September um -5° , dann erhält man die Temperaturen des für die Akkumulation an der Pasterze wichtigen Bereichs von 2940—2950 m, was man gleichermaßen durch eine Reduktion der Sonnblicktemperaturen um jeweils $+1^\circ$ erreichen kann. Diese so ermittelten positiven Temperatursummen zeigen natürlich eine hohe Übereinstimmung mit den mittleren Sommertemperaturen, doch läßt sich in allen Fällen eine gewisse Verbesserung der Übereinstimmung mit dem Gletscherhaushalt erkennen, was in Korrelationskoeffizienten von $-0,701 \pm 0,127$ für Vent-Hintereisferner (Abb. 9), $-0,596 \pm 0,161$ für Mooserboden-Pasterze und $-0,568 \pm 0,169$ für Sonnblick-Pasterze (Abb. 10) seinen zahlenmäßigen Ausdruck findet.

Aufgrund der geringen Abweichungen von den Mitteltemperaturen erübrigt sich auch deren graphische Darstellung.

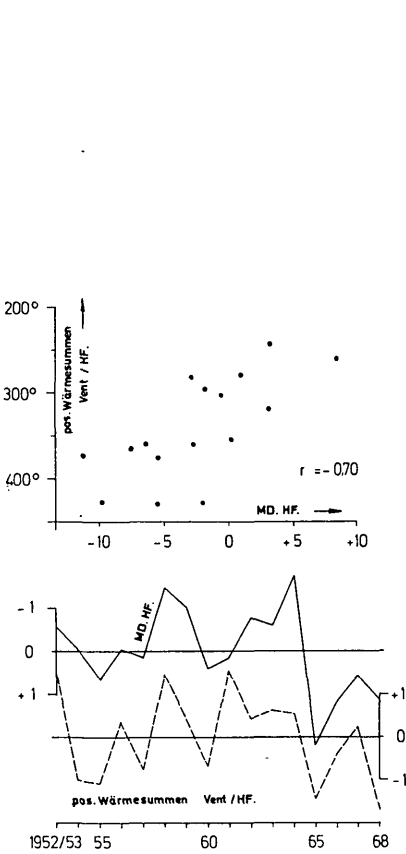


Abb. 9

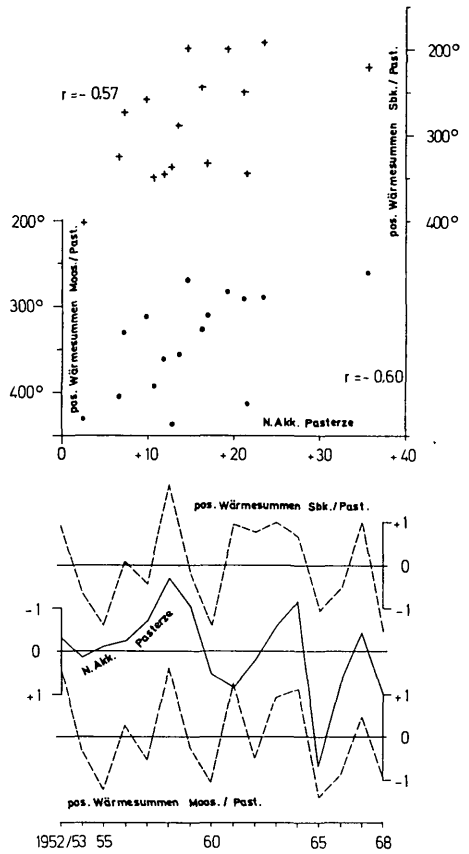


Abb. 10

Abb. 9: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m³ (Wasser) und positive Wärmesummen der Ablationsperiode (VI—IX) für Vent/Hintereisferner in °C.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Abb. 10: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m³ (Wasser) und positive Wärmesummen der Ablationsperiode für Mooserboden/Pasterze und Sonnblick/Pasterze in °C.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Sonnenscheindauer der Ablationsperiode

Nachdem der hohe Anteil der Strahlung an der Ablation (60—80 %) erkannt und bewiesen war (J. MAURER 1914, H. HOINKES & N. UNTERSTEINER 1952, H. HOINKES 1955, H. HOINKES & G. WENDLER 1967, 1968), war es naheliegend, das Gletscherverhalten mit der Sonnenscheindauer im Hochgebirge zu parallelisieren, was aber nicht den gewünschten Erfolg zeitigte. Auch ein Vergleich der Sonnenscheindauer von Vent mit der Massenbilanz des Hintereisferners (Abb. 11) ergibt nur einen Koeffizienten von $-0,290 \pm 0,229$, während zwischen der

Sonnenscheindauer am Mooserboden bzw. Sonnblick und der Nettoakkumulation an der Pasterze (Abb. 12) mit Koeffizienten von $+0,032 \pm 0,247$ und $-0,164 \pm 0,243$ überhaupt kein Zusammenhang erkennbar ist, was im Korrelationsdiagramm durch die Streuung der Punkte noch besser erkennbar ist als durch den Verlauf der Kurven im Zeitdiagramm der beiden Abbildungen. Die Sonnenscheindauer allein zeigt daher kaum Einfluß auf das Gletscherverhalten, zeigt sie doch auch zu den positiven Temperatursummen keine signifikanten Zusammenhänge.

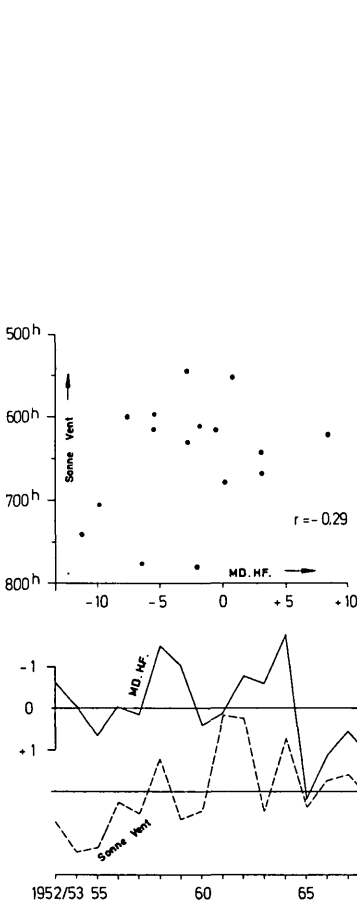


Abb. 11

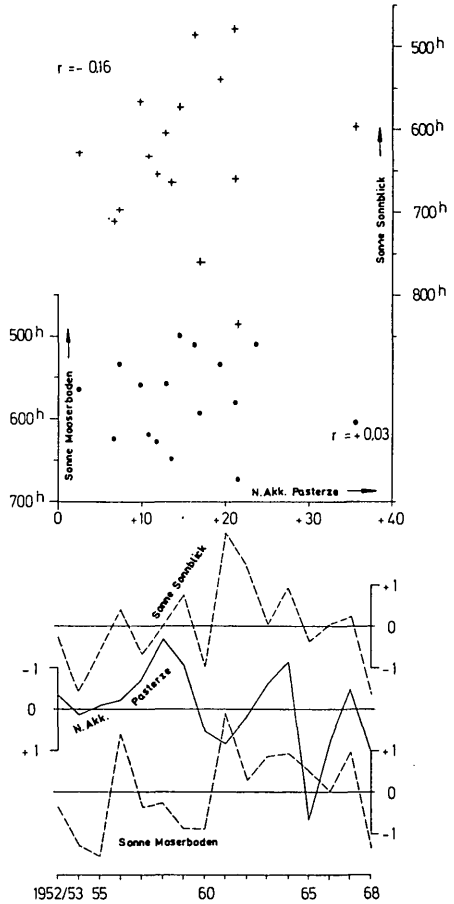


Abb. 12

Abb. 11: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m^3 (Wasser) und Sonnenscheindauer der Ablationsperiode (VI—IX) in Vent in Stunden. Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Abb. 12: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m^3 (Wasser) und Sonnenscheindauer der Ablationsperiode (VI—IX) am Mooserboden und Sonnblick in Stunden. Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Neuschneefälle der Ablationsperiode

Von der Sonnenscheindauer allein kann schon deshalb keine eindeutige Beziehung zum Gletscherverhalten hergestellt werden, da die durch Bewölkung hervorgerufenen Unterschiede in der Strahlungsbilanz der Gletscheroberfläche weit weniger ins Gewicht fallen, als die durch die Veränderung der Albedo der Gletscheroberfläche hervorgerufenen, oder einfacher ausgedrückt: der bedeutendste Faktor für die sommerliche Abschmelzleistung bleibt die Variabilität der Albedo (F. SAUBERER & I. DIRMHORN 1949/50, 1952, 1958, F. SAUBERER 1954,

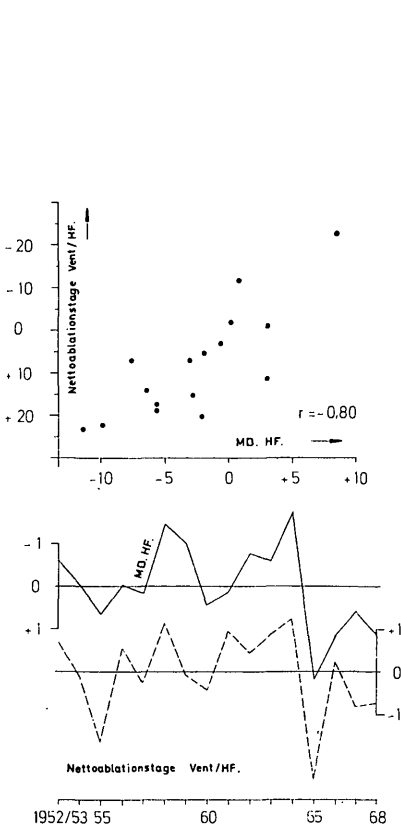


Abb. 13

Abb. 13: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m³ (Wasser) und Summe der Neuschneehöhen der Ablationsperiode für Vent/Hintereisferner in cm.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Abb. 14: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m³ (Wasser) und Summe der Neuschneehöhen der Ablationsperiode für Mooserboden/Pasterze und Sonnblick/Pasterze in cm.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

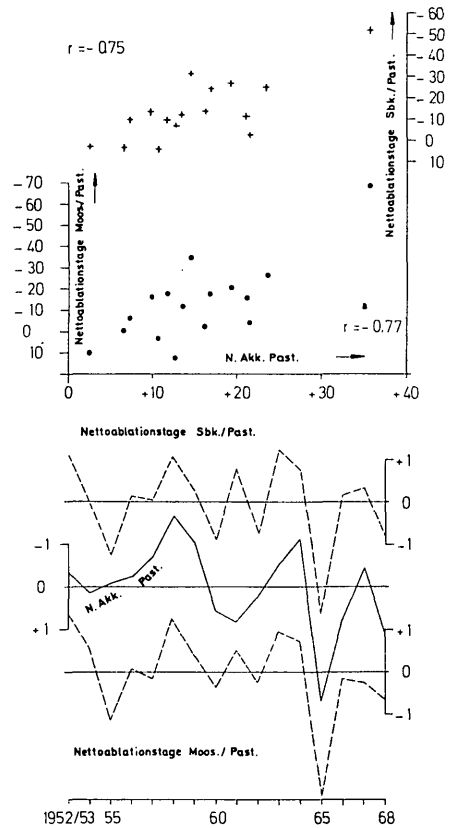


Abb. 14

I. DIRMHORN & E. TROJER 1955, H. HOINKES 1955, H. HOINKES & R. RUDOLPH 1962 a, H. HOINKES & G. WENDLER 1968). Entscheidende Veränderungen der Albedo werden aber durch sommerliche Neuschneefälle hervorgerufen, die als Akkumulationsbeitrag zwar meist unbedeutend sind, den Gletscher aber regelrecht konservieren und die Ablation auch über einige strahlungsreiche Tage unterbinden können.

Die Rekonstruktion sommerlicher Neuschneefälle auf den Gletschergebieten wurde nach folgender Methode vorgenommen: Niederschlagssteigerung von den Stationen auf Gletscherniveau in der Größenordnung: Vent-Hintereisferner um 100 %, Mooserboden-Pasterze um 0 % und Sonnblick-Pasterze um 50 %, was durch verschiedene Totalisatorenbeobachtungen berechtigt erscheint. Dazu wurde in grober Vereinfachung des Diagramms von F. FLIRI (1964, Abb. 1) der Schneeanteil am Niederschlag bei negativen Temperaturen zu 100 %, bei 0 bis $+2^{\circ}$ zu 50 % und bei $>+2^{\circ}$ zu 0 % (nur Regen) angenommen, und die Dichte des Neuschnees bei Niederschlagsmengen von unter 20 mm zu 0,1, bei größeren Mengen zu 0,2 angenommen. So lange keine direkten Schneefallbeobachtungen auf den Gletschergebieten selbst vorliegen, kann man nur mit dieser starken Schematisierung operieren.

Aber auch mit der Zahl der Neuschneefälle allein steht der Gletscherhaushalt nur in loser Beziehung, wie die Koeffizienten von $+0,530 \pm 0,180$ für Vent-Hintereisferner, $+0,525 \pm 0,181$ für Mooserboden-Pasterze und $+0,464 \pm 0,196$ für Sonnblick-Pasterze, die durchwegs nur mäßig signifikant sind, zeigen.

Etwas besser sind die Übereinstimmungen mit den rekonstruierten Summen der Neuschneehöhen, die sich am Hintereisferner zwischen 86 und 389 cm, an der Pasterze zwischen 291 und 466 (nach Mooserboden) bzw. 238 und 547 cm (nach Sonnblick) bewegen, und wofür sich am Hintereisferner ein Koeffizient von $+0,674 \pm 0,136$ (Abb. 13) und an der Pasterze einer von $+0,411 \pm 0,208$ (nach Mooserboden), bzw. $+0,642 \pm 0,147$ nach Sonnblick (Abb. 14) errechnen läßt.

Der analytische Vergleich einzelner Klimaelemente zeigt also in keinem Fall optimale Ergebnisse. Diese können nur bei Beachtung der Gesamtwitterung der Haushaltsjahre erzielt werden. Die Gesamtwitterung läßt sich einerseits durch Kombination der die Akkumulation, bzw. die Ablation fördernden meteorologischen Elemente ausdrücken, andererseits durch die Häufigkeit charakteristischer Großwetterlagen oder durch die Abweichung des Luftdrucks in einem Höhendruckfeld als Ausdruck der Zyklonalität oder Antizyklonalität einer Jahreszeit (H. HOINKES & R. RUDOLPH 1962 a, H. HOINKES 1962, 1965, 1967, 1970 a, H. HOINKES et al. 1967, H. TOLLNER 1969).

Die günstigsten Zusammenhänge wurden dabei mit der Dauer der effektiven Ablationsperiode, gerechnet ab dem ersten Auftauchen von Eis (H. HOINKES 1962, H. HOINKES & R. RUDOLPH 1962 a, H. HOINKES et al. 1967), bzw. mit den effektiv wirksamen positiven Temperatursummen nach Abzügen von Beträgen für die Schmelzung von Neuschnee, den sogen. „reduzierten Temperatursummen“ (H. HOINKES et al. 1967, H. HOINKES 1970 b) erzielt.

Von den die Ablation fördernden Faktoren hat sich die Höhe der positiven Temperatursummen im Gegensatz etwa zur Sonnenscheindauer am wirksamsten erwiesen, unterbrochen wird die Ablation durch die hier schon ausgeschalteten Tage mit negativen Temperaturen, sowie durch Neuschneefälle. Schließlich muß noch die Akkumulation an Winterschnee als Variable beachtet werden. Wünschenswert, aber kaum zu beantworten ist die Frage nach der Beziehung zwi-

schen positiver Temperatursumme und Abschmelzleistung einer bestimmten Schneehöhe. In grober Vereinfachung kann man für eine Temperatursumme von 10° eine Abschmelzleistung von 15 cm Schnee annehmen, wobei dieser Betrag für alle Arten von Schnee (auch Winterschnee) vorausgesetzt wird, da sich Albedo und Strahlungsbilanz annähernd verkehrt proportional zur Dichte des Schnees verhalten. Mit abnehmender Albedo (zunehmender Schneedichte) werden zwar größere Abschmelzleistungen in mm Wasserwert erreicht, nicht aber in cm Schneehöhe. Die Summe der Neuschneehöhen wurde nach den oben angegebenen Methoden ermittelt, die Höhe der Winterschneedecke erhält man, wenn man die an den Stationen gewonnenen Niederschlagszahlen der Akkumulationsperiode auf die Gletschniveaus reduziert, wobei der Niederschlag von Vent um 200 %, vom Sonnblick um 20 % und vom Mooserboden um 50 % vermehrt und eine Schneedichte von 0,4 zugrunde gelegt wird. Nach Abzug der für die Schmelzung des Winter- und Sommerschnees nötigen Temperatursummen von den positiven Temperatursummen der Ablationsperiode verbleiben *Nettowärmesummen*, die, wenn sie positiv sind, für die Abschmelzung älterer Firn- und Eislagen wirksam werden, wenn sie negativ werden aber anzeigen, daß die Gleichgewichtslinie tiefer als das für die Reduktion verwendete Gletschniveau liegt, bzw. in dieser Höhe noch Schnee des abgelaufenen Haushaltsjahres gespeichert bleibt.

Auf diese Weise ergibt sich am Hintereisferner für die Höhe von 2970 m im Mittel der Jahre 1952/53 bis 1967/68 ein Überschuß von 34° oder eine zusätzliche Abschmelzleistung von ca. 50 cm Firn, an der Pasterze für die Höhe von 2940—2950 m bei Verwendung der Station Mooserboden ein Defizit von 118° oder eine Rücklage von ca. 180 cm Schnee; bei Verwendung des Sonnblicks ein Defizit von 167° oder eine Rücklage von ca. 250 cm Schnee.

Diese Nettowärmesummen als Ausdruck der Gesamwitterung der Haushaltsjahre zeigen für alle drei Stationen die bisher beste Übereinstimmung mit dem Gletscherhaushalt. Für den Hintereisferner ergibt sich zwischen den Nettowärmesummen (nach Vent) und Massenbilanz ein Koeffizient von $-0,811 \pm 0,086$ (Abb. 15), d. h. eine äußerst hohe negative Übereinstimmung, während der Zusammenhang zwischen der Nettoakkumulation an der Pasterze und den Nettowärmesummen (nach Mooserboden) mit einem Koeffizienten von $-0,705 \pm 0,126$ bzw. $-0,709 \pm 0,124$ (nach Sonnblick) weniger deutlich, aber immerhin der höchste bisher ermittelte ist (Abb. 16).

Noch eindeutiger werden diese Beziehungen, wenn man auch die Sonnenscheindauer während der Ablationsperiode berücksichtigt, was am besten durch partielle Korrelation geschieht. Auf diesem analytischen Weg werden für Gletscherhaushalt und Nettowärmesummen Korrelationskoeffizienten unter Annahme konstanter Sonnenscheindauer während der Ablationszeit berechnet. Sie belaufen sich dann für Vent-Hintereisferner auf $-0,824 \pm 0,080$, Mooserboden-Pasterze auf $-0,738 \pm 0,114$ und Sonnblick-Pasterze auf $-0,724 \pm 0,119$, was eine weitere deutliche Verbesserung der Beziehungen darstellt.

Eine weitere Möglichkeit die Gesamwitterung der Haushaltsjahre auszudrücken, ist die Feststellung der Häufigkeit bestimmter „gletschergünstiger“ und „gletscherungünstiger“ Wetterlagen (H. HOINKES et al. 1967, H. HOINKES 1968). Mit Hilfe der oben angegebenen Reduktionsmethoden kann man den für den Gletscherhaushalt entscheidenden Witterungscharakter der Ostalpinen Wetterlagen (F. LAUSCHER 1958) im Gletschniveau während der Ablationsperiode untersuchen, wobei die mittlere Temperatur, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens positiver Temperaturen, die Wahrscheinlichkeit des Auftretens

von Neuschneefällen, die mittlere Neuschneehöhe, sowie die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer an den drei Stationen beachtet wurden.

Dabei ergibt sich für die Pasterze durch Reduktion nach Mooserboden oder Sonnblick ein etwas anderer Witterungscharakter der einzelnen Wetterlagen als für den Hintereisferner bei Reduktion nach Vent.

Am Hintereisferner können die Tage mit den Wetterlagen: Hochdruck, Hochdruckbrücke, Hoch im Osten, Süd- und Südwestströmung sowie Tief im Südwesten als ausgesprochene Ablationstage gewertet werden, während Tage

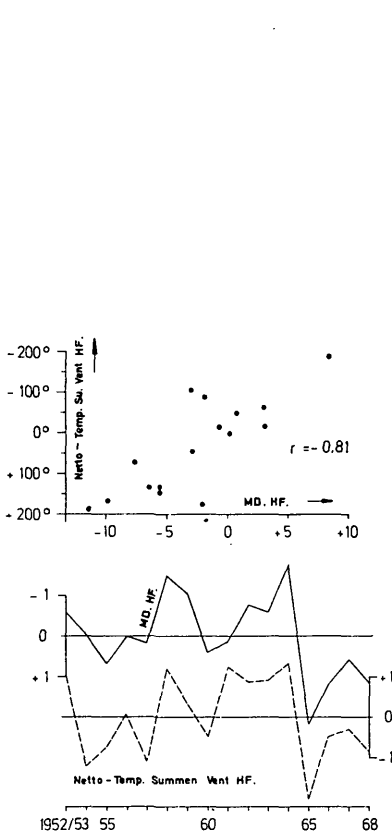


Abb. 15

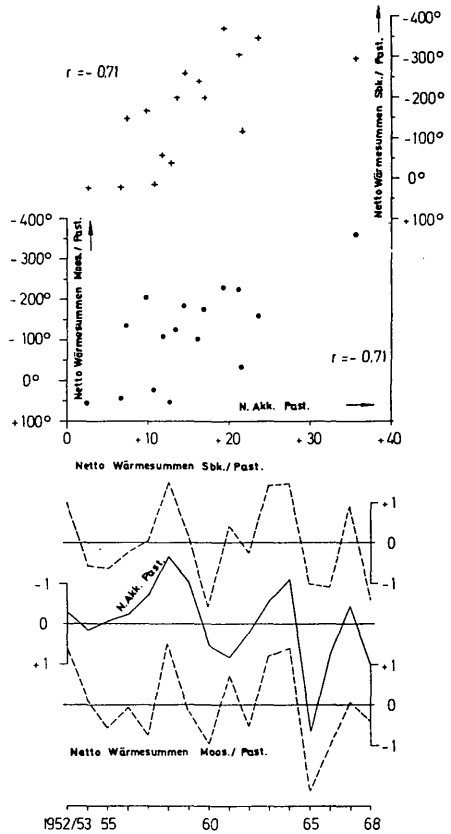


Abb. 16

Abb. 15: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m³ (Wasser) und Nettowärmesummen der Ablationsperiode für Vent/Hintereisferner in ° C.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte.

Abb. 16: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m³ (Wasser) und Nettowärmesummen der Ablationsperiode Mooserboden/Pasterze und Sonnblick/Pasterze in ° C.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

mit den Wetterlagen: Zwischenhoch, Hoch über Finnland, Westströmung, Tief über den Britischen Inseln und über dem westlichen Mittelmeer nur das Gewicht eines halben Ablationstages besitzen. Durch einfaches Abzählen kann man so die Summe der vollwertigen Ablationstage für jeden Sommer (VI—IX) ermitteln. Dagagen haben die Tage mit den Wetterlagen: Tief im Süden, Nordströmung und Vb das Gewicht eines ganzen Akkumulationstages, mit den Wetterlagen: Tief über dem Kontinent und Nordwestströmung nur das eines halben Akkumulationstages und müssen entsprechend von der Summe der Ablationstage abgezogen werden, womit man jeweils „reduzierte“ Summen der Ablationstage erhält.

An der Pasterze ändert sich der Witterungscharakter der Wetterlagen sowohl bei Reduktion nach Mooserboden als auch nach Sonnblick insofern, daß die Tage mit Nordwestströmung und Tief über dem Kontinent nun aufgrund erhöhter Schneefallintensität als ganze Akkumulationstage gezählt werden müssen, Tage mit Vb-Lagen sogar als doppelte Akkumulationstage. Tage mit meridionaler Tiefdruckrinne sind übrigens für beide Gletscher neutral und erhalten den Wert Null. Dadurch verringert sich die durchschnittliche reduzierte Summe der Ablationstage an der Pasterze auf 28 gegenüber 40 für den Hintereisferner.

Davon müssen für die Schmelzung der Winterschneedecke noch gewisse Beträge abgezogen werden, wobei für je 15 cm „der nach den erwähnten Methoden ermittelten Winterschneehöhen zwei ganze Ablationstage in Abzug gebracht werden. Auf diese Weise erhält man für beide Gletscher „Nettosummen“ der Ablationstage, die am Hintereisferner mit durchschnittlich +8 noch knapp positiv, an der Pasterze mit durchschnittlich —14 sowohl nach Mooserboden als auch nach Sonnblick stark negativ sind, was mit den Ergebnissen der Nettowärmesummen ausgezeichnet übereinstimmt.

Ein Vergleich der Gletscherhaushaltswerte mit den Nettosummen der Ablationstage zeigt ein hohes Maß an Übereinstimmung, für die Pasterze sogar höher als mit den Nettowärmesummen. Für Vent-Hintereisferner erhält man einen Koeffizienten von $-0,799 \pm 0,09$ (Abb. 17), für die Pasterze bei der Berechnung der Winterschneedecke nach Mooserboden $-0,765 \pm 0,104$, nach Sonnblick $-0,752 \pm 0,109$ (Abb. 18). Alle Koeffizienten sind im höchsten Grad (99,9 %) signifikant. Die Gesamtwitterung der Haushaltsjahre läßt sich daher ausgezeichnet durch die Summe bestimmter Wetterlagen ausdrücken, sofern deren Wetterwirksamkeit bekannt ist.

Ähnlich wie man durch die reduzierten Wärmesummen die Gesamtwitterung alpiner Hochlagen ausdrücken kann, läßt sich dies auch durch Angabe der Abweichung der 500mb-Fläche (H. HOINKES 1965, H. HOINKES et al. 1967), die weitgehend mit den Temperaturabweichungen parallel läuft oder mit der Abweichung der 700mb-Fläche (H. TOLLNER 1969), die vielleicht noch besser die Abweichungen in der atmosphärischen Zirkulation auszudrücken vermag, tun.

Für diese Fälle sind die Abweichungen des mittleren Luftdrucks der Ablationsperiode auf dem Sonnblick mit Schwankungen zwischen 701,91 mb (1959) und 697,89 mb (1965) bei einem Mittel von 700,13 mb genügend aussagekräftig.

Ein Vergleich der Haushaltswerte der beiden Gletscher mit dem sommerlichen Luftdruck auf dem Sonnblick ergibt für den Hintereisferner einen Koeffizienten von $-0,735 \pm 0,115$, für die Pasterze $-0,744 \pm 0,111$, wobei aber der Einfluß der Winterschneedecke noch nicht berücksichtigt ist. Auf dem

Wege partieller Korrelation lassen sich wieder Korrelationskoeffizienten unter Zugrundelegung konstanter Winterniederschläge an den drei Stationen er- rechnen, die sich für Vent-Hintereisferner auf $-0,824 \pm 0,080$, Mooserboden- Pasterze auf $-0,804 \pm 0,088$, und Sonnblick-Pasterze auf $-0,820 \pm 0,082$ belaufen. Diese Koeffizienten sind natürlich in höchstem Maß signifikant.

Es zeigt sich damit, daß zumindest für den beobachteten Zeitraum und die hier verwendeten Gletscher mit den einfachsten Methoden das beste Er- gebnis zu erzielen ist.

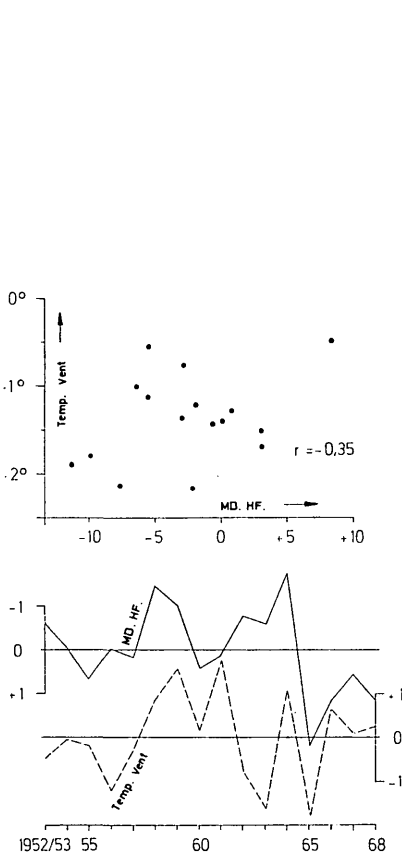


Abb. 17

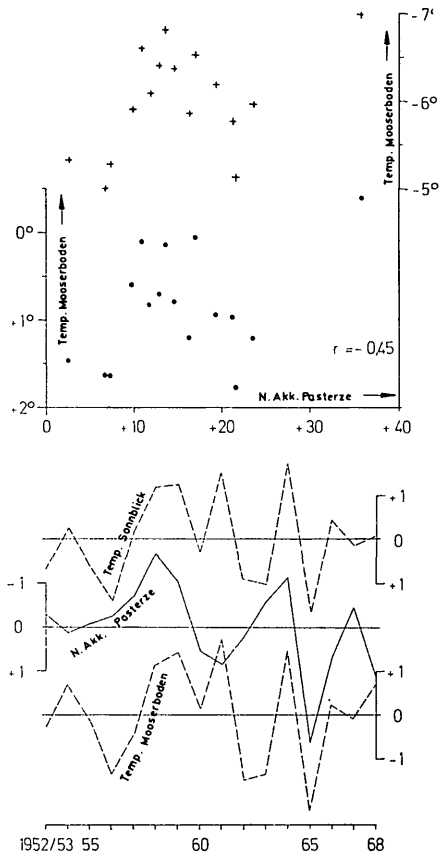


Abb. 18

Abb. 17: Massenbilanz des Hintereisferners (MB. HF.) in Mill. m^3 (Wasser) und Nettoablationstage der Haushaltsjahre für Vent/Hintereisferner.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Abb. 18: Nettoakkumulation der Pasterze in Mill. m^3 (Wasser) und Nettoablationstage der Haushaltsjahre für Mooserboden/Pasterze und Sonnblick/Pasterze.

Korrelationsdiagramm: Absolutwerte
Zeitdiagramm: standardisierte Werte

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Übereinstimmung zwischen dem Gletscherverhalten, das ausgedrückt durch die Massenbilanz oder eine Bilanzkomponente allein, wie etwa die Nettoakkumulation die einzig direkt mit Klimafaktoren vergleichbare Größen darstellt, mit einzelnen Klimaelementen in keinem Fall wirklich befriedigend ist, wogegen mit der Gesamtwitterung der Haushaltsjahre, welche auf verschiedene Weise ausgedrückt werden kann, hochgradige Übereinstimmungen gefunden werden. Diese Übereinstimmungen sind sicher noch durch verfeinerte Beobachtungs- und Reduktionsmethoden von Klimaelementen auf Gletscherniveau zu verbessern, wobei als erreichbares Optimum eine Korrelation im Bereich von 0,9 angesehen werden kann.

Literatur

- AHLMANN H. W. 1946. Researches on snow and ice 1918—40. Geogr. J., 107 (1, 2):11-28.
- DIRMHIRN I. & TROJER E. 1955. Albedountersuchungen auf dem Hintereisferner. Arch. Met., Geophys. u. Bioklim., B 6:400-416.
- FINSTERWALDER R. 1953. Die zahlenmäßige Erfassung des Gletscherrückganges an Ostalpengletschern. Z. Gletscherkunde, 2:189-239.
- FLIRI F. 1964. Zur Witterungsklimatologie sommerlicher Schneefälle in den Alpen. Wetter u. Leben, 16:1-11.
- HOINKES H. & UNTERSTEINER N. 1952. Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern I. Vernagtferner, Aug. 1950. Geogr. Ann., 34:99 ff.
- HOINKES H. 1954. Neue Niederschlagszahlen aus den zentralen Öztaler Alpen. 49—50. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1951—1952:19-27.
- 1955. Measurements of ablation and heat balance on alpine glaciers. J. Glaciol., 2/17:497-501.
- 1962. Schwankungen der Alpengletscher — ihre Messungen und Ursachen. Umschau, 18:558-562.
- HOINKES H. & RUDOLPH R. 1962 a. Variations of the mass — balance of Hintereisferner (Oetztal Alps), 1952—1961 and their relation to variation of climatic elements. Publ. Nr. 58 of the I. A. S. H. Commission of Snow and Ice: 16-28.
- 1962 b. Mass balance studies on the Hintereisferner, Oetztal Alps 1952—1961. J. Glaciol., 4/33:266-278.
- HOINKES H. 1965. Zirkulationsbedingte Gletscherschwankungen. Ber. 8. int. Tagung alp. Met. (Villach 1964) Carinthia II, 24. Sonderheft: 272-278.
- 1967. Gletscherschwankungen und Wetter in den Alpen. 9. Int. Tagung alp. Met. 1966, Veröff. Schweizer Met. Z. A. 4:9-24.
- HOINKES H., DREISEITL E., HOWORKA F., LAUFFER I., QUECK H., SCHNEIDER W. & SLUPETZKY H. 1967. Combined water, ice and heat budget investigations in the Austrian Alps. Unesco Contract NS/2803/65.
- HOINKES H. & WENDLER G. 1967. Die Berechnung des Strahlungsanteils an der Ablation im Gebiet des Hintereis- und Kesselwandferners (Öztaler Alpen) im Sommer 1958. 9. Int. Tagung alp. Met. 1966. Veröff. Schweizer Met. Z. A. 4:43-45.
- 1968. Der Anteil der Strahlung an der Ablation vom Hintereis- und Kesselwandferner (Öztaler Alpen, Tirol) im Sommer 1958. Arch. Met. Geophys. u. Bioklim., B 16:195-236.
- HOINKES H. 1968. Glacier Variation and weather. Journal Glaciol., 7/49:3-19.
- 1970 a. Ergebnisse des glazial-meteorologisch-hydrologischen IHD-Program-

- mes im Rofental bei Vent 1964—1968. Ber. 12. Hydrographentagung in Wien 17.—21. Nov. 1969, Mitt. Hydro. Dienstes in Österr., 45:101-113.
- 1970 b. Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Z. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 4 (1, 2):37-90.
- LAUSCHER F. 1958. Studien zur Wetterlagen-Klimatologie der Ostalpenländer. Wetter u. Leben 10:79-83.
- 1960. Lufttemperatur. In: Klimatographie von Österreich, hrsg. F. STEINHAUSER, O. ECKEL, F. LAUSCHER, österr. Akad. d. Wiss. Denkschr. Gesamtakad., 3 (2. Lief.): 137-206.
- MAURER J. 1914. Über Gletscherschwund und Sonnenstrahlung. Meteor. Z. 31:23-27.
- MITTERECKER F. & TOLLNER H. 1963. Ergebnisse von Niederschlagsmessungen mittels Totalisatoren im Großglocknergebiet. 58.—59. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1960—1961:50-63.
- MORAWETZ S. 1941. Zur Frage der letzten Gletscherschwankungen in den Ostalpen. Z. Gletscherkunde 27:36-49.
- 1949. Gletschergang und Klimafaktoren. Petermanns Mitt., 93:164-168.
- 1953. Klimabeziehungen des Gletscherverhaltens in den Ostalpen. Z. Gletscherkunde 2:100-105.
- 1961. Schneegrenze, Gletscherablation, Temperatur und Sonnenstrahlung in den Ostalpen. Petermanns Mitt., 105:93-104.
- PASCHINGER H. 1969. Die Pasterze in den Jahren 1924—1968. Neue Forsch. im Umkreis d. Glocknergruppe, Wiss. Alpenver.-Hefte, 21:201-215.
- PASCHINGER H., GRUBER G. & AIGELREITER H. Originalberichte über die Nachmessungen an der Pasterze, 1948—1968. (Meist veröffentlicht in der Z. Gletscherkunde oder Mitt. Österr. Alpenver.).
- PATZELT G. & SLUPETZKY H. 1970. Die Vertikalkomponente der Gletscherbewegung auf der Pasterze 1968—69 und ihr Einfluß auf die Berechnung der Massenbilanz. Z. Gletscherkunde u. Glazialgeol., 6:119-127.
- SAUBERER F. & DIRMHORN I. 1949/50. Die Bedeutung des Strahlungsfaktors für den Gletscherhaushalt. Wetter u. Leben 2:248-261.
- 1952. Der Strahlungshaushalt horizontaler Gletscherflächen auf dem Hohen Sonnblick. Geogr. Ann., 24:261-290.
- 1958. Das Strahlungsklima. In Klimatographie von Österr. hrsg. F. STEINHAUSER, O. ECKEL, F. LAUSCHER, Österr. Akad. Wiss., Denkschr. d. Gesamtakad., 3 (1. Lief.): 13-102.
- SAUBERER F. 1954. Zur Problematik der Gletscherschwankungen. 49.—50. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahr 1951:37-43.
- SCHIMPP O. 1959. Der Haushalt des Hintereisferner (Ötztal). Veröff. Mus. Ferd. in Innsbruck 39:66-138.
- SONKLAR K. v. 1858. Über den Zusammenhang der Gletscherschwankungen mit den meteorologischen Verhältnissen: Sitzungsber. mathem. naturw. Cl. Kaiserl. Akad. Wiss. 32:169-206.
- TOLLNER H. 1937. Neue Ansichten über die klimatischen Ursachen der rezenten Gletscherschwankungen. Mitt. geogr. Ges. Wien, 80:248-252.
- 1948. Über die Ursachen des ungewöhnlich starken Ostalpen-Firnrückganges der letzten Jahre. Wetter u. Leben 1:196-198.
- 1954 a. Die meteorologisch-klimatischen Ursachen der Gletscherschwankungen in den Ostalpen während der letzten zwei Jahrhunderte. Mitt. geogr. Ges. Wien, 96:31-74.

- 1954 b. Die Eisstände einiger Sonnblick- und Glocknergletscher im Spätsommer 1952 und 1953. 49.—50. Jber. Sonnblick-Ver. für die Jahre 1951 bis 1952:48-49.
- 1957 a. Bericht über die Eisstände der Gletscher der Großglockner- und Sonnblickgruppe im Frühherbst 1954, 1955 und 1956. 51.—53. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1953—1955, 1957:33-38.
- 1957 b. Die Folgen des Rückganges der österreichischen Gletscher auf die Wasserspeicherung hochalpiner Kraftwerksanlagen. 51.—53. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1953—1955:38-42.
- 1961. Das Verhalten der Gletscher des Sonnblick- und Glocknergebietes von 1957—1959. 54.—57. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1956—1959:19-27.
- 1962. Der Zustand von Gletschern des Großglockner- und Sonnblickgebietes am Ende des Sommers 1962. Wetter u. Leben 14:246-250.
- 1963. Über den Zustand der Gletscher der Großglocknergruppe und des Sonnblickgebietes im Spätsommer 1960 und 1961. 58.—59. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1960—1961:74-82.
- 1966. Über die Veränderung der Gletscher im Großglockner- und Sonnblickgebiet in den Jahren 1963 und 1964. 60.—62. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1962—1964:56-64.
- 1968. Der Zustand von Gletschern des Großglockner- und Sonnblickgebietes am Ende der Sommer 1965, 1966 und 1967. 63.—65. Jber. Sonnblick-Ver. f. d. Jahre 1965—1967:73-83.
- 1969. Das Verhalten von Gletschern der Großglocknergruppe in den letzten Jahrzehnten. Neue Forsch. i. Umkreis d. Glocknergruppe, Wiss. Alpenver.-Hefte, 21:181-197.

WALCHER J. 1773. Nachrichten von den Eisbergen in Tyrol. Wien.

Anschrift des Verfassers: Dr. Herwig WAKONIGG, Universität Graz, Geographisches Institut, Universitätsplatz 2, A-8010 G r a z.