

# Firnfeldschwankungen, Gletscherhaushalt und Klimaelemente

Von Erwin TRAXL, Wien

## 1. Teil: Jährliche Firnfeldschwankungen

### 1. Die Grundlagen.

Selbstverständlich ist es verlockend, ja es erscheint geradezu als erforderlich — will man eine Korrelation zwischen den Firnfeldschwankungen und den dazugehörigen meteorologischen Klimaelementen in den einzelnen Jahren finden —, jene Beobachtungen heranzuziehen, die sich aus den Aufzeichnungen der meteorologischen Station auf dem Sonnblick ergeben. Leider hat sich dieser Weg, wie aus der Literatur mehrfach zu ersehen ist, als nicht sehr erfolgreich erwiesen. Die Ursache hiefür dürfte in den unzuverlässigen Meßwerten des Niederschlages auf dem Sonnblick gelegen sein. Daß die an Ombrometern normaler Ausführung abgelesenen Niederschlagswerte nicht der wahren Niederschlagsmenge in der Nivalregion entsprechen, ist bekannt. Totalisatoren sollten diesem Übelstand abhelfen. Doch auch diese Instrumente haben nicht voll entsprochen, denn F. MITTERECKER und H. TOLLNER (1) führen in Bezug auf die im Glocknergebiet aufgestellten Totalisatoren aus: „Die Resultate standen vielfach nicht im Einklang mit den Niederschlagsverhältnissen, wie sie die Abflüsse der Tauernachen verlangten (auch nicht unter Annahme einer Gletscherspende). Es floß mehr Wasser in die Speicher, als nach den Totalisatoren zu erwarten gewesen wäre“; ferner „Alle hochgelegenen Totalisatoren repräsentieren kaum die Niederschläge der riesigen Einzugsflächen der Gletscher, sondern nur die räumlich viel weniger ausgedehnten, unvergletscherten, stärker windgestörten und damit niederschlagsärmeren Teile der Firnfeldränder, oder aus dem Firn herausragenden Felsköpfen und Moränen“. In demselben Aufsatz führt TOLLNER des weiteren aus, daß eine Aufstellung von Totalisatoren mitten in den Firngebieten wegen der horizontalen und vertikalen Bewegung des Firns sehr unsicher ist. Ein solches auf dem Firn des Karlingerkees aufgestelltes Instrument verschwand sogar in einer Spalte.

Zu dieser Unsicherheit der Meßwerte des Niederschlages auf dem Sonnblick kommt noch der Umstand, daß die charakteristische jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge in Talstationen weitaus ausgeprägter ist als auf Bergstationen, bei denen der Gang der Niederschläge innerhalb eines Jahres bedeutend mehr ausgeglichen ist.

Diese beiden Komponenten, Unsicherheit der Niederschlags-Meßwerte auf Höhenstationen und größere Ausgeglichenheit des jahres-

zeitlichen Niederschlages in der Nivalregion sind es, welche es bisher verhinderten, eine Korrelation von Klimaelementen und Firnfeldschwankungen herzustellen. Einen Ausweg aus dieser enttäuschenden Situation deutet TOLLNER (2) mit den Worten an: „So paradox es klingt, entsprechen wahrscheinlich Niederschlagswerte tiefer gelegener Meßstellen eher noch den Verhältnissen der Nivalregion“, ferner „Die sommerlichen Temperaturveränderungen in der Niederung stimmen mit den Temperaturschwankungen in der Höhe in den grundsätzlichen Merkmalen derart überein, daß die Sommervariationen der Temperatur tieferer Lagen ohne prinzipiellen Fehler auch auf die ostalpinen Gletscherregionen übertragen werden dürfen“.

Es soll in den folgenden Ausführungen versucht werden, sich von den Messungen in der Nivalregion zu lösen und zu untersuchen, inwieweit von den Elementen einer Talstation auf Firnfeldschwankungen geschlossen werden kann.

Diesen Weg zu begehen, ist selbstverständlich ohne jede weitere Begründung dann erforderlich, wenn für Zeitspannen, die sich vor der Errichtung der meteorologischen Station auf dem Sonnblick erstrecken, eine Korrelation von Firnfeldschwankungen und Klimaelementen dargestellt werden soll.

## 2. Versuch einer Extrapolation.

Man muß sich darüber im klaren sein, daß jede Extrapolation von meteorologischen Elementen, die sich auf eine Talstation gründen und in die Nivalregion übertragen werden sollen, eines bestimmten Ordnungssystems bedarf, das aber das Ergebnis der Extrapolation wesentlich beeinflußt. Die Bewährung des gewählten Systems kann erst in einer empirisch gewonnenen Verifikation gefunden werden. Als eine solche sollen in der Folge für die jährlichen Firnschwankungen die in der Fleißcharte der Sonnblickgruppe gemessenen Firnrücklagen und für den gesamten Gletscherhaushalt in den Ostalpen seit dem Jahre 1825 die in der Literatur bekannten Gletschervorstöße und Gletscherrückgänge Geltung haben.

Als Talstation wurde die meteorologische Station Zell am See (762 m) gewählt, deren geographische Lage im Zentrum des nördlichen Tauernabfalles von der Reichenspitzgruppe bis zum Ankogel als typisch für die Elemente von Niederschlag und Temperatur angesehen werden kann. Nach den einleitenden Ausführungen können die tatsächlichen Sommervariationen der Temperatur in Zell am See als repräsentativ auch für die Nivalregionen der Tauern angenommen werden. Es soll ferner die Annahme gemacht werden, daß der gesamte Niederschlag von September bis einschließlich Mai des folgenden Jahres in den Nivalregionen als Schnee zu Boden geht. Daß diese Annahme gerechtfertigt ist, wird von F. STEINHAUSER (3) bestätigt, der schon im Jahre

1938 festgestellt hat, daß der Niederschlag auf dem Sonnblick im Mai aus 99% Schnee, im September aus 82% Schnee, 12% Schnee-Regen-Graupelgemisch und 6% Regen besteht. Die Summe der in Zell am See in diesen Monaten gemessenen Wasserwerte sollten unter Berücksichtigung des Höhenunterschiedes mit einem Faktor, der jedenfalls größer als 1 ist, multipliziert werden, um eine Relation zu den winterlichen Schneehöhen in der Nivalregion zu erlangen. Da dieser Faktor aber nicht bekannt und sicherlich größeren Variationen unterworfen ist, sollen die Änderungen der Wasserwerte der Station Zell am See auch für die Änderungen der Schneehöhen in der Nivalregion als repräsentativ gelten. Die in den Monaten September bis Mai gefallenen Schneemengen stellen jene Schmelzaufgabe dar, die die Temperaturen der Monate Juni bis August leisten haben. Sommerliche Schneefälle in der Nivalregion vergrößern diese Aufgabe, zumal die Zeit, die der Schmelzarbeit dann noch zur Verfügung steht, wesentlich verkürzt wird. Für die Höhen der Firnrücklagen sind also sommerliche Schneefälle von Wichtigkeit, so daß jede nur halbwegs brauchbare Extrapolationsordnung verwendet werden muß, um nicht den Sommerschnee zu vernachlässigen. So mag das gewählte System vorerst als vage und konstruiert erscheinen. Jedes solche System kann zwar die Situation nicht voll und ganz klären, es wird aber sicherlich zur Erhellung der Größe der Schmelzaufgabe beitragen. Unter diesen Voraussetzungen sollen folgende Annahmen Geltung haben: Beträgt die Durchschnittstemperatur eines Sommermonates in Zell am See (762 m) 15 Grad oder darüber, so geht der gesamte Niederschlag auch in den Firngebieten als Regen zu Boden. Bei Durchschnittstemperaturen von 14'0 bis 14'9 Grad wird die Annahme gemacht, daß  $\frac{1}{4}$  der monatlichen Niederschlagsmenge in der Firngebieten als Schnee zu Boden geht. Temperaturen zwischen 13'0 und 13'9 Grad haben zur Folge, daß die Hälfte des gemessenen Niederschlages von Zell am See in der Nivalregion in fester Form fällt, während bei einem Absinken der Durchschnittstemperatur eines Sommermonates unter 13'0 Grad in Zell am See in den Firnfeldern der ganze in diesem Monate gemessene Niederschlag als Schnee fallen wird.

### 3. Graphische Darstellung der Differenzen N minus T als Kriterium für Firnrücklagen und Firnverluste in den Jahren 1938—1967.

Vorausgeschickt soll werden, daß erstmals H. TOLLNER (2) die Größe N—T verwendet und hierfür den Ausdruck „Gletschererhaltungstendenz“ geprägt hat. Es muß aber ausdrücklich betont werden, daß in der vorliegenden Arbeit unter N nicht die gesamten Jahresniederschläge und unter T nicht der Jahrestemperaturdurchschnitt verstanden werden dürfen, vielmehr bezeichnet N n u r die Summe der in den Monaten September bis Mai in Zell am See gefallenen Niederschläge, wäh-

rend T die Durchschnittstemperatur n u r der Monate Juni, Juli und August darstellt.

Die in den Sommermonaten herrschenden Temperaturen vermindern mengenmäßig die in den Wintermonaten angesammelten Schneemengen in der Nivalregion (allenfalls zuzüglich des im Sommer gefallenen Schnees), doch läßt sich eine solche Differenz graphisch nicht darstellen. Trotzdem muß man, will man ein entscheidendes Kriterium für Firnfeldschwankungen finden, zu diesem Problem Stellung nehmen. Die Frage lautet: „Welche sommerliche Durchschnittstemperatur ist erforderlich, um eine bestimmte Schneemenge in der Nivalregion zur Gänze abschmelzen zu können?“ Zur Beantwortung dieser Frage wurden die Messungen der Firnrücklagen bzw. Firnverluste in der Fleißcharte (2980 m) am Sonnblick zu Hilfe genommen, welche zum Teil in der Literatur verlautbart sind (2, 4), zum Teil freundlicherweise von H. TOLLNER schriftlich mitgeteilt wurden. Aus diesen Meßergebnissen, die den Zeitraum von 1938 bis 1967 umfassen, kann entnommen werden, daß immer dann, wenn in Zell am See der Meßwert von N 500 mm betrug und sich der Wert von T auf 16 Grad belief, die aufgelegte Schmelzaufgabe in der Nivalregion restlos erfüllt werden konnte, das heißt: die Firnrücklage war Null geworden. Beide Werte sind somit auf derselben Ordinate aufzutragen. Die von dieser Ordinate ausgehende Abszissenachse sei in folgendem als „Hauptachse“ bezeichnet.

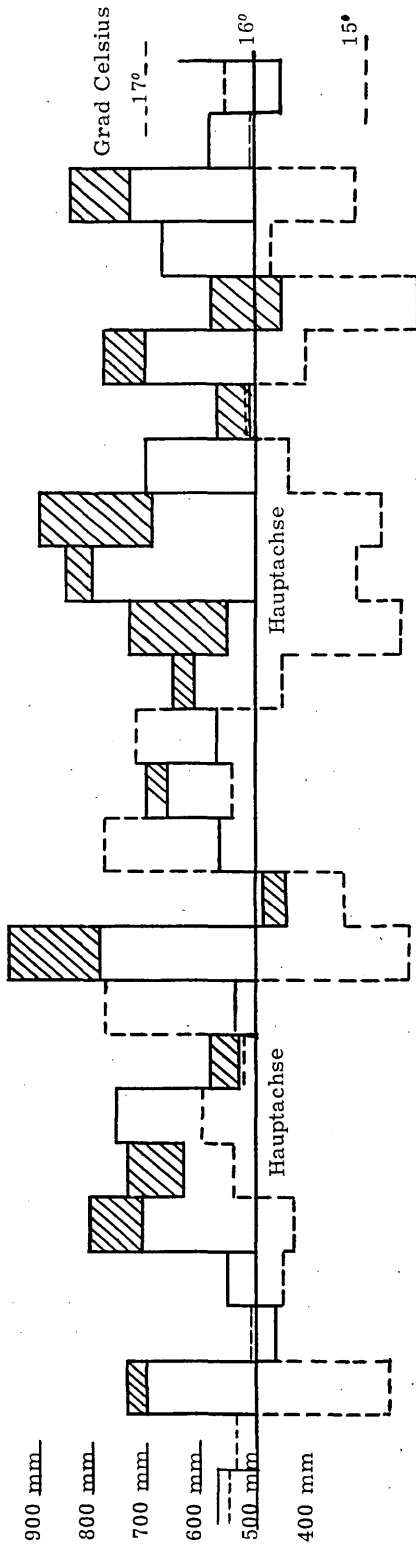
Die jährlichen Variationen von N und T sind oberhalb oder unterhalb dieser Hauptachse verzeichnet, je nachdem die Meßwerte dieser beiden Elemente in den einzelnen Jahren 500 mm, bzw. 16 Grad überschreiten oder darunterliegen.

Das Diagramm der Abbildung 1a zeigt mit vollen Strichen die jährliche Summe der Wasserwerte der Niederschläge in Zell am See während der Monate September bis Mai an, welchen Werten schraffiert allfällige sommerliche Schneefälle in der Nivalregion (nach den obigen Annahmen) aufgesetzt sind. Beide Größen zusammen stellen die Schmelzaufgabe dar, die von den Temperaturen der Sommermonate zu leisten ist. Die Durchschnittstemperaturen dieser Monate in Zell am See sind strichliert verzeichnet. Die jährliche Differenz der Ordinate N — als Schmelzaufgabe — und der Ordinate von T — als Schmelzarbeit — bildet nunmehr das gesuchte Kriterium für Firnfeldschwankungen, Diese so dargestellten jährlichen Differenzen sind aber nur in ihren Variationen, in ihrem Mehr oder Weniger aufzufassen, nicht aber in ihren absoluten Werten, denn die Maßstäbe von N und T mußten — abgesehen von der Hauptachse — willkürlich gewählt werden. Diese Darstellung des Geschehens in den Firnfeldern ist aber notwendig gewesen, um sich von den mannigfachen Schwierigkeiten direkter Beobachtungen in den Höhenregionen zu befreien, wie es oben unter I/1 grundsätzlich gefordert wurde.

Glazialjahre

1938 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64

Abbildung 1a



Zeichenerklärung: ——— Summe der Wasserwerte jener Niederschläge in Zell am See, die in der Nivalregion als Schnee gefallen sind. Die Sommerschneefälle sind schraffiert verzeichnet.  
 - - - - - Durchschnittstemperaturen der Monate Juni bis August in Zell am See.

Um in der Abbildung 1a die verschiedenen  $N - T$  Differenzen in ihrer Aufeinanderfolge besser übersehen und vergleichen zu können, werden nunmehr die Ordinaten von  $N$  und  $T$  in gleichem Maße so weit gehoben oder gesenkt, bis die Ordinate von  $T$  mit der Hauptachse zusammenfällt. So wird die Ordinate von  $N$  in Bezug auf die Hauptachse gleichzeitig ein Maßstab für die Größe der Differenz  $N - T$ . Ist diese Differenz positiv, d. h. liegt  $N$  oberhalb der Hauptachse, so ist in einem solchen Jahr ein Anwachsen des Firnvolumens zu erwarten, liegt  $N$  unterhalb der Hauptachse, so ist der Firnhaushalt als defizitär zu betrachten, die Firnsubstanz der Wintermonate hat sich vermindert, ja es kann sogar ein Verlust alter Rücklagen stattgefunden haben. Die Abbildung 1b zeigt diese Aufeinanderfolge der  $N - T$  Differenzen. Zur Verifikation dieser Darstellung sind die Firnrücklagen, gemessen in der Fleißscharte, strichliert eingezeichnet.

#### 4. Diskussion der Diagramme der Abb. 1a und 1b.

In den Glazialjahren 1938 und 1939 bewegten sich die Werte von  $N$  und  $T$  in der Nähe der Hauptachse, es war in diesen Jahren nur mit geringen oder gar keinen Rücklagen zu rechnen. Das Jahr 1940 verlangte eine größere Schmelzarbeit, der die Sommertemperaturen nicht nachkommen konnten, da sie auf einen Tiefstand gesunken waren. Vom Jahre 1941 an ist ein langsames, aber stetiges Steigen der Sommertemperaturen zu verzeichnen, dem wechselnde Niederschläge entgegenstehen. Das Jahr 1946 findet die  $N - T$  Differenz wieder in unmittelbarer Nähe der Hauptachse, während das Jahr 1947 bei einem Minimum von  $N$  ein Maximum von  $T$  aufzuweisen hat. In diesem Jahre war auch ein katastrophaler Firnverlust zu beobachten. Im Gegensatz hierzu stellt das Jahr 1948 einen besonderen Sonderfall dar, denn einem Maximum von  $N$ , vermehrt um einen erheblichen Sommerschnee, steht ein Minimum von  $T$  gegenüber. Die Jahre 1949 bis 1953 zeigen bei mäßigen Werten von  $N$  und bei nur geringen Sommerschneemengen ein verhältnismäßig hohes Ansteigen von  $T$ , so daß sich in diesen Jahren nur geringe Rücklagen bilden konnten.

Ein gänzlich anderes Bild zeigen die folgenden Jahre 1954 bis 1962. Verhältnismäßig großen Winter- und Sommerschneemengen stehen abnorm tiefe Sommertemperaturen gegenüber, die Firnfelder wuchsen wieder an. Diese Jahre sind gekennzeichnet durch kühle und regenreiche Juni-Monate, die die Schmelzaufgabe des Winters wesentlich vergrößerten und die Zeit, die zur Bewältigung dieser Aufgabe nötig war, verminderten.

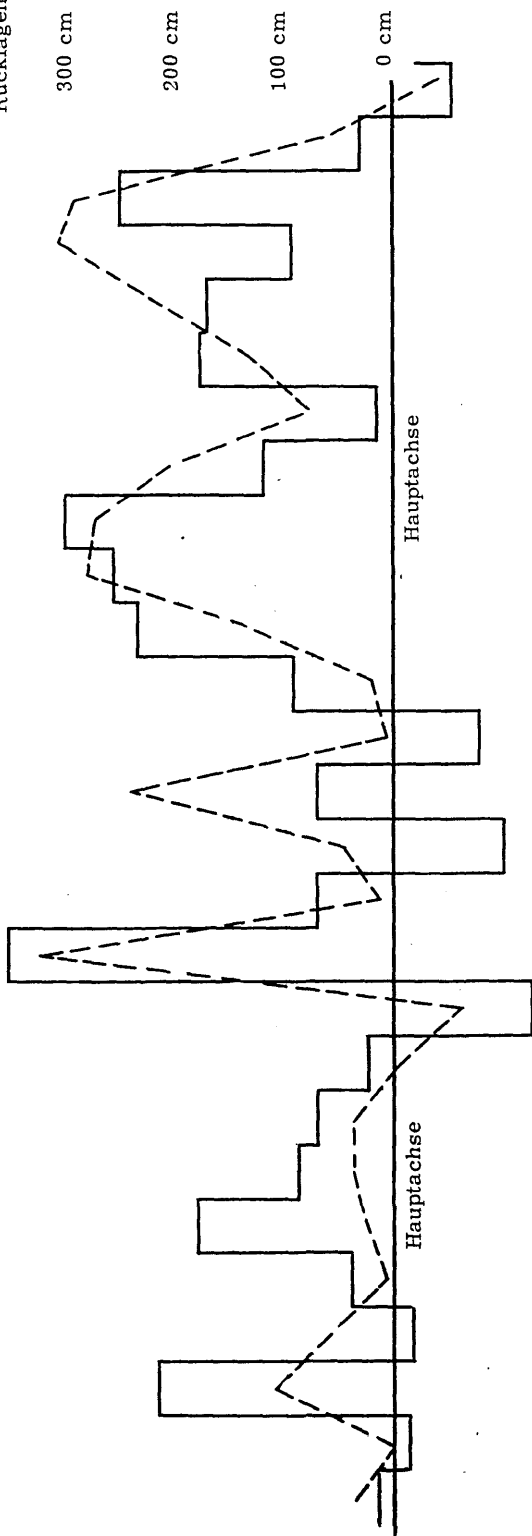
In den beiden Jahren 1963 und 1964 bewegten sich die Werte von  $N - T$  wieder in der Nähe der Hauptachse, es kann daher nur mit geringen Rücklagen gerechnet werden, eher ist noch mit einem Aufzehren alter Firnbestände zu rechnen.

Glazialjahre

38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64

Abbildung 1 b

Rücklagen



Zeichenerklärung: — zeigt das jährliche Mehr oder Weniger der Differenz N—T bezogen auf die Hauptachse  
- - - - - jährliche Firnrücklagen in der Fleisscharte.

Im Diagramm der Abbildung 1b sind die Firnrücklagen strichliert eingezeichnet. Der Verlauf dieser beiden Größen, das sind die Werte von  $N-T$  einerseits und die Firnrücklagen oder Verluste andererseits, zeigt einen hohen Grad von Kongruenz.

## 5. Kongruenzen und Inkongruenzen.

Untersucht man die Größen der Firnrücklagen in Bezug auf die  $N-T$  Differenz in den einzelnen Jahren, so ergibt sich folgendes Bild: Die Firnrücklagen der Jahre 1938–1940, 1944–1949, 1952, 1954–1956, 1959, 1962–1964 verlaufen konform den Werten von  $N-T$ . Nichtkonformes Verhalten der Firnrücklagen ist zu verzeichnen

im Jahre 1941 mit einem Plus von ca. 70 cm,  
im Jahre 1957 mit einem Plus von ca. 100 cm,  
im Jahre 1958 mit einem Plus von ca. 80 cm,  
im Jahre 1960 mit einem Plus von ca. 50 cm,  
im Jahre 1942 mit einem Minus von ca. 30 cm,  
im Jahre 1943 mit einem Minus von ca. 70 cm,  
im Jahre 1953 mit einem Minus von ca. 50 cm,

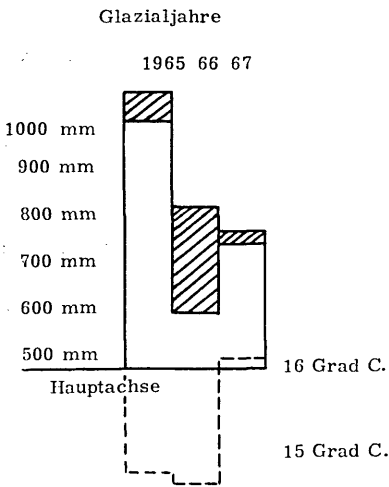
Alle diese Inkongruenzen haben gemeinsam, daß erhöhte Rücklagen eines Jahres immer dann auftraten, wenn die Firnfelder des Vorjahres reich, verminderte Rücklagen dann auftraten, wenn die Firnfelder des Vorjahres verarmt waren. Diese Feststellungen lassen eine für den gesamten Gletscherhaushalt wichtige Annahme gerechtfertigt erscheinen, daß nämlich reichgewordene Firnfelder den Schmelzprozeß des Folgejahres hemmen, während verarmte Firnfelder dem Schmelzprozeß des Folgejahres förderlich sind.

Nur für die allzu hohen Firnrücklagen des Jahres 1950 mit einem Plus von ca. 50 cm, des Jahres 1951 mit einem Plus von ca. 200 cm und des Jahres 1961 mit einem Plus von ca. 100 cm können keine eindeutigen Erklärungen gefunden werden. Mag sein, daß die Ursachen dieser Inkongruenzen in besonders hohen Niederschlagsmengen in der Nivalregion, in Südwetterlagen am Tauernhauptkamm oder auch in besonders lang dauernden und kräftigen Luftbewegungen in der Fleißscharte zu suchen sind. Immerhin konnten nur für 11% der gemessenen Rücklagen keine eindeutigen Erklärungen gefunden werden, so daß die Verifikation des für die vorgenommene Extrapolation gewählten Ordnungssystems als gelungen bezeichnet werden kann.

Es erübrigt sich noch, die Jahre 1965–1967 (siehe Abbildung 2a und 2b) zu diskutieren, als einen Nachtrag, weil die Auswirkungen der in diesen Jahren kräftig angestiegenen Werte von  $N$  minus  $T$  erst von den Klimaelementen kommender Jahre entschieden werden, weshalb

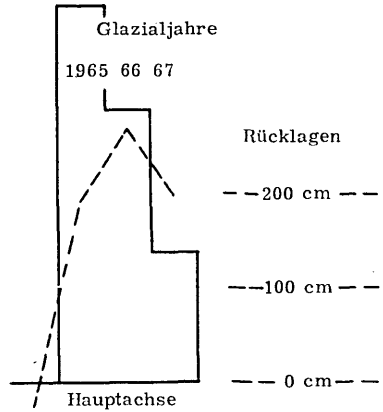


Abbildung 2a



Zeichenerklärung wie Abb. 1a

Abbildung 2b



Zeichenerklärung wie Abb. 1b

diese Jahre im folgenden Teil II der vorliegenden Arbeit nicht einbezogen werden konnten. Aber eine Besonderheit dieses, wenn auch kurzen Abschnittes muß erwähnt werden. Es ist die Relation von  $N - T$  und den Firnrücklagen. Es wird die oben angeführte Annahme wiederholt, daß verarmte Firnfelder der Ablation des Folgejahres förderlich, reiche Firnfelder hingegen hinderlich sind. Die defizitären Firnfelder der Jahre 1963 und 1964 waren die Ursache, daß die Firnrücklage des Jahres 1965 mit nur 190 cm um ca. 50 bis 100 cm zurückblieb, reichere Firnfelder des Jahres 1965 verursachten, daß die Firnrücklage des Jahres 1966 trotz eines merklich geringeren Wertes von  $N - T$  um 80 cm anstieg, und daß schließlich die Firnrücklage des Jahres 1967 bei einem starken Verfall von  $N - T$  noch immer eine Größe von 200 cm erreichte, weil der Firnreichtum des Vorjahres wirksam und der Ablation hinderlich war. Es sieht wie eine „Phasenverschiebung“ aus, bei der die Werte von  $N - T$  den Firnrücklagen vorausziehen, während die Firnrücklagen den Werten von  $N - T$  nachhinken. Es würde aber jahrelanger Beobachtungsreihen bedürfen, um festzustellen, ob ein solches „Firnbeharrungsvermögen“ tatsächlich besteht, denn die bisherigen Beobachtungszeiträume sind viel zu kurz, um feste Schlüsse formen zu können. Es war in dieser Arbeit auch nur beabsichtigt, Lösungsmöglichkeiten der mannigfachen Problematik der Relation von Firnfeldschwankungen und Klimaelementen darzulegen und graphisch darzustellen.

## II. Teil: Der Gletscherhaushalt seit 1825

### 1. Die Grundlagen

Bisher wurde der Versuch unternommen, aus klimatischen Meßwerten einer Talstation auf die Firnfeldschwankungen orographisch benachbarter Nivalregionen zu folgern. Nunmehr soll das „Wagnis“ unternommen werden, aus den angeführten meteorologischen Elementen auf den Gletscherhaushalt der Ostalpen Schlüsse zu ziehen. Hiezu muß in erster Linie ein möglichst langer Zeitraum betrachtet werden, will man nicht durch zu kurze Fristen irreführenden Zufälligkeiten ausgesetzt sein. Mit der Wahl eines Zeitraumes von 140 Jahren, d. i. von 1825 bis 1964, dürfte diese Bedingung erfüllt sein. Die Jahre 1965–1967 müssen noch unberücksichtigt bleiben, weil ihre Auswirkungen erst in künftigen Jahren entschieden werden. Leider konnten für den Zeitraum seit 1825 nicht die Klimatelemente ein und derselben Talstation zugrundegelegt werden, da die bezüglichen Aufzeichnungen von Zell am See nur bis zum Jahre 1875 zurückreichen. Es mußten daher für die Jahre von 1825 bis 1874 die klimatischen Elemente des Stiftes Kremsmünster zu Hilfe genommen werden. Um aber die Einheit der Darstellung zu erhalten, muß die Hauptachse in ihren Grundwerten konstant gehalten werden; das heißt, es müssen ihr dieselben Klimatelemente — das sind 500 cm Niederschlag in fester Form und 16 Grad Sommerdurchschnittstemperatur in einer Meereshöhe von 762 m — zugrunde liegen. Daher war eine Umrechnung der Elemente von Kremsmünster auf Zell am See nötig. Ein durchgeführter Vergleich ergab ein Temperaturgefälle von 2 Grad — entsprechend der Höhendifferenz von 400 m — und eine Verminderung der Niederschlagswerte um 10%.

### 2. Beschreibung des Verlaufes von N und T sowie des Verlaufes von N minus T in den einzelnen Zeitabschnitten.

Aus den für die einzelnen Jahre errechneten Differenzen N—T lassen sich innerhalb des zu behandelnden Zeitraumes folgende Zeitabschnitte erkennen (siehe Abbildung 3a für die Werte von N und T, Abbildung 3b für die Werte von N minus T).

Zeitabschnitt I: Die Jahre 1825 bis 1834 erbrachten nur geringe Werte von N verbunden mit mäßig hohen Werten von T, N—T war daher klein, die Firnfelder konnten nur bescheidene Rücklagen bilden, sie verarmten, der Gletscherhaushalt war defizitär.

Zeitabschnitt II: Die folgenden 17 Jahre, das sind die Jahre 1835 bis 1851 zeigen ein kräftiges Ansteigen der als Schnee in der Nivalregion gefallenen Niederschläge bei einem gleichzeitigen beträchtlichen Absinken der Sommertemperaturen. Die Differenz N—T hat sich da-



durch derart erhöht, daß sie das Maximum innerhalb des ganzen zu behandelnden 140jährigen Zeitraumes erreicht. Da überdies dieses Maximum 17 Jahre hindurch andauerte, kam es zu dem bekannten großen Vorstoß der „Fünziger Jahre“, der in seinem Ausmaße bis 1964 nie wieder erreicht worden ist. Heute noch wird das Gletscherbild der Ostalpen von „Fünziger-Moränen“ beherrscht.

Die Zeitabschnitte III., IV., V., sowie VII. ergeben ein ganz anderes Bild. Diese Jahre, das sind die Jahre 1852–1877, 1878–1896, 1897–1911, sowie 1927–1953, zeichnen sich dadurch aus, daß die Durchschnittswerte von N in allen genannten Abschnitten praktisch gleich gewesen sind. Das Geschehen in den Firnfeldern und in weiterem Verlaufe das Geschehen in den Gletscherströmen wurde ausschließlich vom thermischen Charakter der Sommermonate bestimmt. Mäßig hohe Werte von T im Abschnitt III. verursachten Rückzüge, niedrigere Werte von T im Abschnitt IV. waren die Ursache des mäßigen Vorstoßes um 1890, ein kräftiges Ansteigen von T im Abschnitte V. hatte mäßige Rückgänge zur Folge. Besonders auffällig ist das kräftige Ansteigen von T im Abschnitte VII., das ist in den Jahren 1927 bis 1953, also in einem Zeitraum von mehr als einem Vierteljahrhundert. Die Differenz N–T ergab eine minimale Größe, ein katastrophaler und langanhaltender Rückgang der Gletscher war die notwendige Folge. Im Abschnitt VI., das ist in den Jahren 1912 bis 1926, verursachten hohe Werte von N und niedrige Werte von T ein Ansteigen der Differenz N–T, somit den mäßigen Vorstoß um das Jahr 1920.

Nochmals schnellten im Abschnitt VIII., das ist in den Jahren 1954 bis 1962 die Werte von N in die Höhe bei gleichzeitigem Absinken der Sommertemperaturen, die Pulsation um 1960 war die Folge. Dieses Anwachsen der Firnfelder wurde in den Jahren 1963 und 1964 gestoppt, weil sich in diesen Jahren die Werte von N und T knapp oberhalb der Hauptachse befanden.

### 3. Schlußbemerkungen

Ist das Wagnis gelungen? Diese Frage kann wohl mit Recht bejaht werden, denn jedenfalls zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit eine völlige Übereinstimmung der Differenzen N–T mit den von H. TOLLNER beschriebenen Vorstößen und Rückgängen der Ostalpengletscher in den letzten 140 Jahren (2).

Die Kongruenz der Werte von N–T einerseits und der Gletscherbewegungen andererseits geht soweit, daß nicht nur Vorstöße und Rückgänge von N–T abgeleitet werden können, sondern daß man auch von der Größe der genannten Differenzwerte auf das Ausmaß der Gletscherbewegungen schließen kann. Im ganzen besprochenen Zeitraum von 140 Jahren entspricht dem Maximum von N–T auch der maximale Vorstoß der Fünziger-Jahre, dem Minimum von N–T

der katastrophale Rückgang der Gletscher im zweiten Viertel des 20. Jahrhunderts.

Zusammenfassend kann daher festgestellt werden, daß der Weg, der in dieser Arbeit begangen wurde und dem jahreszeitlichen Gange von Niederschlag und Temperatur Rechnung getragen hat, auch dann, wenn Extrapolationen und geeignet gewählte Ordnungssysteme verwendet werden mußten, sich als erfolgreich erwiesen hat und geeignet ist, der Abhängigkeit der Gletscherbewegungen von den zugehörigen Klimaelementen ganz wesentlich näherzukommen.

#### Literatur

- (1) MITTERECKER und H. TOLLNER, Jahresbericht des Sonnblickvereines für die Jahre 1960 und 1961, „Ergebnisse von Niederschlagsmessungen mittels Totalisatoren im Glocknergebiet“.
- (2) H. TOLLNER, Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft Wien, Band 96, 1954 „Meteorologisch-klimatische Ursachen der Gletscherschwankungen in den Ostalpen“.
- (3) F. STEINHAUSER, „Die Meteorologie des Sonnblicks“ Wien, Verlag Springer, 1938.
- (4) H. TOLLNER, Wetter und Leben, 8 (1956), „Stehen die Ostalpen vor einer Änderung ihres Verhaltens“.

Anschrift des Verfassers:

Senatsrat i. R. Dipl.-Ing. und Dr. phil. Erwin Traxl, Vordere Zollamtsstraße 11, 1030 Wien.

## Zur Geomorphologie der Kreuzeckgruppe

Von G. WEISSEL

Mit einer Karte als Beilage

Mit H. POLSCHERs Dissertation über die Hochseen der Kreuzeckgruppe (1910) liegt erstmalig eine auch die Morphologie berücksichtigende Arbeit über diese Gebirgsgruppe vor. 1926 ist es wiederum eine diesmal rein morphologische Dissertation von S. MORAWETZ, welche die Oberflächenformen in der Kreuzeckgruppe behandelt. 1930 legt S. MORAWETZ grundlegende Gedanken über die Geomorphologie derselben Gruppe nieder, die in der nun vorliegenden Abhandlung eine Würdigung und Erweiterung erfahren sollen.

Der Aufbau der Kreuzeckgruppe hat nach H. BECK (1930—1939) eine überraschende Ähnlichkeit mit der Defereggengruppe in Osttirol. Die Kreuzeckgruppe gliedert sich in eine ältere, südliche Scholle von Glimmerschiefern mit Einschaltung von sauren und basischen Eruptivgesteinsmassen und in eine vom alpidischen Bauplan beherrschte, nördliche Scholle von Paragneisen. BECK (1931, S. 28 ff) meint, daß in der Oberflächengestaltung die alte Bauform der Südscholle dadurch zum Ausdruck komme, daß der Hauptkamm des Gebirges unregelmäßig hin und her springe, indem er eine Strecke weit quer auf das Streichen