

**Wissenschaftliche Alpenvereinshefte — Heft 28**



**Gletscherhaushalt und klimatische Umwelt  
des Hochköniggletschers 1965–1975**

**Von Josef Goldberger**

**Innsbruck 1986**

*Dipl. Ing. Franz Hoffmann  
mit Dank für die GPS-  
Messung 2005!  
Herd. Friedl  
Aern Sepp*

**Wissenschaftliche Alpenvereinshefte**  
**Heft 28**

Gemeinsam herausgegeben von den Hauptausschüssen  
des Deutschen und des Österreichischen Alpenvereins  
Schriftleitung: Gernot Patzelt

---

**Gletscherhaushalt und  
klimatische Umwelt des  
Hochköniggletschers 1965–1975**

von

JOSEF GOLDBERGER

Innsbruck 1986

HANS KINZL

*in dankbarem Gedenken gewidmet*

Alle Rechte vorbehalten.  
Nachdruck, auch auszugsweise, nur  
mit vorheriger Genehmigung durch  
die Herausgeber.

Gesamtherstellung: Universitätsverlag Wagner, Innsbruck

## VORWORT

Für das Verständnis der Zusammenhänge von Klima- und Gletscherschwankungen ist die gleichzeitige Untersuchung des Massenhaushaltes eines Gletschers und der meteorologischen Parameter seiner klimatischen Umwelt eine wichtige Voraussetzung. Der Hochköniggletscher ist aufgrund seiner Lage und ungewöhnlichen Form ohne Zweifel ein für diese Fragestellungen interessantes Untersuchungsobjekt. Als Folge der geringen Eismächtigkeit und flachen Neigung ist er weitgehend bewegungslos, wegen der geringen Höhererstreckung kann seine Oberfläche zur Gänze zum Abschmelzgebiet oder zum Akkumulationsgebiet werden. Der Vergleich der Massenhaushalte des Hochköniggletschers mit denen alpiner Gletscher anderen Typs ist daher von grundsätzlichem wissenschaftlichem Interesse.

Massenhaushaltsstudien mit der direkten glaziologischen Methode sind jedoch sehr arbeitsaufwendig. Am Hochköniggletscher kommt noch ein langer anstrengender Anstieg und Materialtransport dazu. Mit bewundernswertem Einsatz hat sich der Autor dieser Mühen durch 11 Jahre hindurch unterzogen. Begeisterungsfähig konnte er in diesen Jahren über 60 jugendliche Mitarbeiter aus einer dazu ins Leben gerufenen Forschungsgruppe der Sektion Salzburg für die Aufgabe gewinnen. Sie haben die Geländearbeiten im notwendigen Umfang ermöglicht.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung liegen nun vor. Die Aufnahme der Arbeit in die Reihe der wissenschaftlichen Alpenvereinshefte hat noch Professor Kinzl († 1979) angeregt. Dazu war allerdings eine zeitaufwendige Überarbeitung und Kürzung des Manuskriptes notwendig, die zusammenfassend, jedoch ohne Informationsverlust erfolgen mußte. Geduldig hat der Autor die Ratschläge und Wünsche der Schriftleitung und des Herausgebers erfüllt. Der verzögerte Erscheinungstermin geht nicht zu Lasten des Autors.

Das vorliegende Heft ist ein Beitrag zur wissenschaftlichen Erforschung der Alpengletscher, die der Alpenverein seit seinen Anfängen pflegt. Es ist aber nicht zuletzt auch ein Dokument für unermüdliche Arbeit und für eine begeisternde Leistungsfreude jugendlicher Menschen, die mit dieser Publikation entsprechend gewürdigt werden soll.

Gernot Patzelt  
Schriftleiter

## INHALT

Vorwort . . . . .	4
1. Einleitung . . . . .	7
2. Das Untersuchungsgebiet . . . . .	7
3. Untersuchungszeit und Arbeitsmethoden . . . . .	10
4. Akkumulationsperiode und Winterschneedecke . . . . .	11
4.1. Analyse der Winterschneedecke . . . . .	13
4.2. Die Akkumulationsperioden 1965—1975 . . . . .	18
4.3. Die Akkumulationsperioden 1940—1970 . . . . .	18
4.4. Das Bilanzvolumen der Winterschneedecke . . . . .	21
5. Die Massenbilanz . . . . .	23
5.1. Die spezifischen Bilanzen . . . . .	27
6. Die Temperaturverhältnisse . . . . .	29
6.1. Der Jahresgang der Temperatur . . . . .	29
6.2. Dauer der Perioden . . . . .	31
7. Die Niederschläge . . . . .	32
7.1. Beziehungen zwischen Niederschlag und Temperatur . . . . .	32
7.2. Das Verhältnis von Winterniederschlag zu Sommerniederschlag . . . . .	33
7.3. Fester Niederschlag und Sommerschneefälle . . . . .	36
8. Wetterlagen und Gletscherhaushalt . . . . .	37
8.1. Wetterlagen und Sommerschneefälle . . . . .	38
8.2. Analyse der Wetterlagen: Hochdrucklage H . . . . .	40
8.3. Hochdrucklagen h, Hz, HF, HNw, HiE . . . . .	41
8.4. Höhenströmungen N, NW, W . . . . .	42
8.5. SW- und Südströmung . . . . .	43
8.6. Tiefdrucklagen TB, TwM, TiS, Vb . . . . .	44
8.7. Tiefdrucklagen TM und TR . . . . .	45
8.8. Wetterlagen — Zusammenfassung . . . . .	46
9. Der Temperaturgradient . . . . .	46
9.1. Temperaturgradient und Wetterlagen . . . . .	48
9.2. Temperaturgradient und Föhn . . . . .	50
10. Sonnenschein . . . . .	51
10.1. Sonnenscheindauer . . . . .	51
10.2. Beziehung der Sonnenscheindauer von Hochkönig — Zugspitze — Sonnblick . . . . .	52
11. Globalstrahlung und Ablationsprozeß . . . . .	53
11.1. Der Ablationsprozeß 1973 . . . . .	54
11.2. Der Ablationsprozeß 1974 . . . . .	56
12. Ergebnisse . . . . .	57
13. Zusammenfassung . . . . .	60
14. Schlußwort und Dank . . . . .	61
15. Literatur . . . . .	62
16. Tabellenanhang . . . . .	65

## 1. EINLEITUNG

Die Gletscher mit ihren verschiedenen alten Moränenständen haben schon früh als Klimazeugen der Vergangenheit wissenschaftliche Bedeutung gewonnen. Nicht minder ist der Massenhaushalt der Gletscher ein Abbild des Klimas der Gegenwart. Meteorologische Fragen werden auch in der breiten Öffentlichkeit mit großem Interesse verfolgt, da nicht nur die Wirtschaft und der Fremdenverkehr, sondern alle Bereiche unserer Gesellschaft davon betroffen sind. Am Verhalten der Gletscher werden klimatische Veränderungen leichter überschaubar und fordern in besonderer Weise zur Erforschung heraus.

Der Hochköniggletscher oder die „Übergossene Alm“, wie man früher diesen kleinen, aber eigenartigen Gletscher nannte, ist für solche Untersuchungen besonders geeignet. Als Plateaugletscher weist er nur geringe Neigung und daher nur geringe Expositionsunterschiede sowie eine gleichförmige Oberfläche, die sich auch gut zur Anwendung von empirischen Formeln für die kurzweilige Strahlungsbilanz eignet, auf. Dazu bietet das Matrashaus als Gipfelhütte in 2941 m Höhe für die ständige Gletscherbeobachtung und für die Betreuung einer Wetterstation einen ausgezeichneten Stützpunkt.

Allerdings erfordert der Anmarsch zum Gletscher immer einen mehrstündigen steilen Anstieg. Die in den Jahren 1965—1974 durchgeführten umfangreichen Geländearbeiten wurden mit Hilfe der in der Sektion Salzburg des Österreichischen Alpenvereins ins Leben gerufenen „Forschungsgruppe“ durchgeführt. Das vorliegende Ergebnis dieser Untersuchungen war nur möglich durch die Mitarbeit dieser Gruppe aus einsatzbereiten und bergerfahrenen Jugendlichen. An den insgesamt 53 Begehungen des Hochkönigs zwischen 1965 und 1975 waren über 60 junge Helfer beteiligt.

## 2. DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Für die Eigenart dieses Gletschers sind die geologische Struktur und auch das tektonische Moment von grundlegender Bedeutung. Auch hier ist der Gletschertyp durch die morphologische Grundform geprägt:

Die jungtertiäre Landoberfläche mit ihren ausgedehnten Altflächen (Abb. 1), welche infolge der Karstentwässerung von der Abtragung verschont blieb, führte zur Bildung eines Plateaugletschers (J. GOLDBERGER, 1955, S. 189). Die domförmige Aufwölbung (E. SEEFELDNER, 1934, S. 166) kann besonders bei einem Flug über den Hochkönig eindrucksvoll beobachtet werden. Der Ostteil der Hochfläche ist nach Osten zu stark abgesenkt, wie auch die Altflächenreste der Mandlwand deutlich erkennen lassen (Abb. 2). Daher liegt auch der Ostteil des Gletschers um fast hundert Meter tiefer, so daß er bereits in vier getrennte Teile zerfallen ist (Abb. 3). Das Ausmaß des Gletscherschwundes in diesem Bereich zeigt der Bildvergleich einer Aufnahme von 1898 mit einer Aufnahme von 1966 (Abb. 4 und 5). Für die Berechnung des Massenhaushaltes wurde daher der Ostgletscher nicht mehr herangezogen.

Auch die Gesteinsfazies ist für die Eigenart des Gletschers entscheidend. Der Dachsteinriffkalk im Ostteil und in der Mitte der Hochfläche begünstigte durch seine Vertikalklüftung die Ausbildung tiefer Karsthohlformen. Andererseits apert zahlreiche Felsköpfe aus dem abschmelzenden Gletscher aus (Abb. 3). Der Westteil der Hochfläche besteht hingegen aus gebanktem Dachsteinkalk. Seine Schichtstrukturen führten daher in der „Sailermulde“, dem Westteil des Gletschers, zur Bildung eines Hanggletschers mit vier Eislappen (Abb. 6).

E. RICHTER (1888, S. 65) bezeichnet die Übergossene Alm noch als vollkommensten Typ des Plateaugletschers. Seither ist allerdings die Gletscherfläche um mehr als die Hälfte zurückgegangen. R. v. KLEBELSBERG (1948/49, S. 193) kennzeichnete den Gletscher mit einer Gesamtfläche von 2,44 km<sup>2</sup> nur mehr als Gletscherfleck. Durch den Vergleich der Sektionsblätter der Kartenaufnahme von 1873 mit der Österr. Karte vom Jahre 1932, 1 : 50.000, ist zu entnehmen, daß in diesem Zeitraum die Gletscherfläche um 30 m eingesunken ist (E. SEEFELDNER, 1935, S. 116). Die neue Gletscherkarte, welche durch Auswertung der Luftaufnahme der Gesamtbe-  
 fliegung der österreichischen Gletscher vom 25. September 1969 von F. LÖSCHNER im Maßstab 1 : 10.000 hergestellt wurde, läßt erkennen, daß seither die Gletscherfläche um weitere 25 m eingesunken ist.

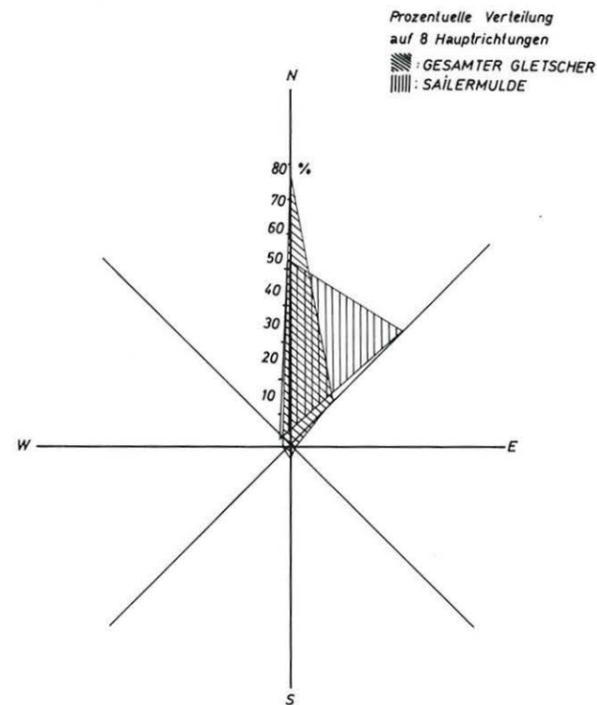


Diagramm 1: Flächenanteile der Exposition in den 8 Hauptrichtungen

Daß es sich beim Mittelteil des Hochköniggletschers auch heute noch um einen Plateaugletscher handelt, zeigt schon die Abb. 7. Der Gletscher hat nicht nur eine vorwiegende Abdachung nach Norden (78 %, Tab. 1 und Diagramm 1) und Nordosten (17 %), sondern auch fast horizontal liegende Flächenteile und sogar auch Süd- und Südostexposition (4 %). In diesem Teil des Gletschers ist die Schneeverfrachtung über die Südwände hinab und auch die Bildung sommerlicher Eisseen bemerkenswert.

Die Exposition des Sailergletschers unterscheidet sich durch einen höheren Anteil an Nordostauslage (Tab. 1). Sie wirkt sich sehr stark auf den Zustand des Gletschers aus: Im Juli vermag hier die steile Sonneneinstrahlung die ersten Blankeisflächen und überhaupt die höchsten Ablationsbeträge hervorzurufen. Die Sonneneinstrahlung am Vormittag ist intensiver als nachmittags, da häufig schon um die Mittagzeit das Aufsteigen der Bewölkung einsetzt.



Abb. 1: Das Hochkönigplateau mit dem Hochköniggletscher von Nordosten. Flugaufnahme am 17. 9. 1982 von H. Slupetzky. Freigegeben vom BMLV ZI. 13080/534—1.6/82



Abb. 2: Ostflanke des Hochkönig: Im Vordergrund links die Mandlwand mit Altflächenresten (Schrägflächen), in der Bildmitte die Torsäule; das Ochsenkar links von der Torsäule, die Teufelskirche (2523 m) rechts von der Torsäule. Flugaufnahme vom 2. Juli 1976, 8 Uhr. Foto: J. Goldberger. Freigegeben vom BMLV Zl. 13080/84—1.6/80



Abb. 3: Der Ostgletscher und die Karsthochfläche im Bereich des Dachstein-Riffkalkes. Gr. Bratschenkopf (2856 m) links, Hochkönigspitze rechts. Flugaufnahme vom 24. September 1975, 12 Uhr. Foto: J. Goldberger. Freigegeben vom BMLV Zl. 13080/84—1.6/80

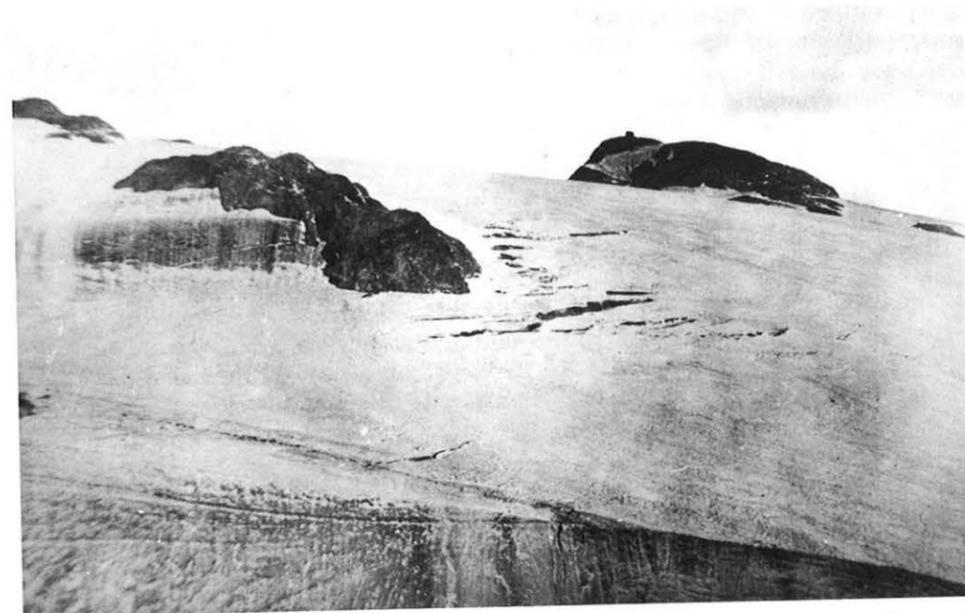


Abb. 4: Der Ostteil der „Übergossenen Alm“ (Ostgletscher) im Jahre 1898. Aufnahme von H. Crammer



Abb. 5: Der Ostgletscher am 24. September 1966. Foto: J. Goldberger



Abb. 6: Westlicher Teil des Hochköniggletschers in der „Sailermulde“ von NNW mit den typischen drei Blankeisfeldern. Am linken Bildrand der Hochköniggipfel, in der Mitte der Lammkopf (2842 m), anschließend der Felsgrat der Teufelslöcher. Flugaufnahme vom 24. September 1975, 12 Uhr. Foto: J. Goldberger. Freigegeben vom BMLV Zl. 13080/84—1.6/80



Abb. 7: Der Hochköniggletscher mit dem plateauartigen mittleren Teil rechts vom Hochköniggipfel. Flugaufnahme am 17. 9. 1982 von H. Slupetzky. Freigegeben vom BMLV Zl. 13080/534—1.6/82

Auch in der Hangneigung zeigen sich am Hochköniggletscher Verhältnisse, wie sie für einen Plateaugletscher typisch sind (Tab. 1). 6 % des Plateaugletschers haben eine Neigung unter  $5^\circ$ , und diese Flächen liegen im höchsten Bereich des Gletschers. Fast 50 % seiner Fläche haben eine Neigung unter  $15^\circ$ . Hangneigungen über  $25^\circ$  fehlen fast völlig, sie sind nur an den Windrandkanälen vertreten. Der größte Windrandkanal befindet sich am Südostrand des Plateaugletschers (Karte 1 bei Pegel 11; siehe auch Alpenvereinskarte Hochkönig-Hagengebirge 1:25.000, 1972).

Stark unterscheidet sich auch hier der Sailergletscher durch einen Flächenanteil von 38 % mit einer Neigung über  $25^\circ$ . Lediglich 8 % seiner Fläche sind weniger als  $15^\circ$  geneigt.

Gletscherbewegung und Spaltenbildung sind beim Plateaugletscher nur sehr gering. Im unteren Gletscherteil treten im Blankeis zwar Spannungsrisse auf, das Öffnen von Spalten bis 20 cm Breite ist nur in wenigen Sommern festzustellen. Die Gletscherbewegung wurde von P. TOMASI mit einem Wild Distomat Di 10 im Sommer 1974 gemessen. Die Pegel am Plateaugletscher hatten sich gegenüber dem Vorjahr nur um max. 3,7 m bewegt, beim Sailergletscher waren es nur 2,2 m.

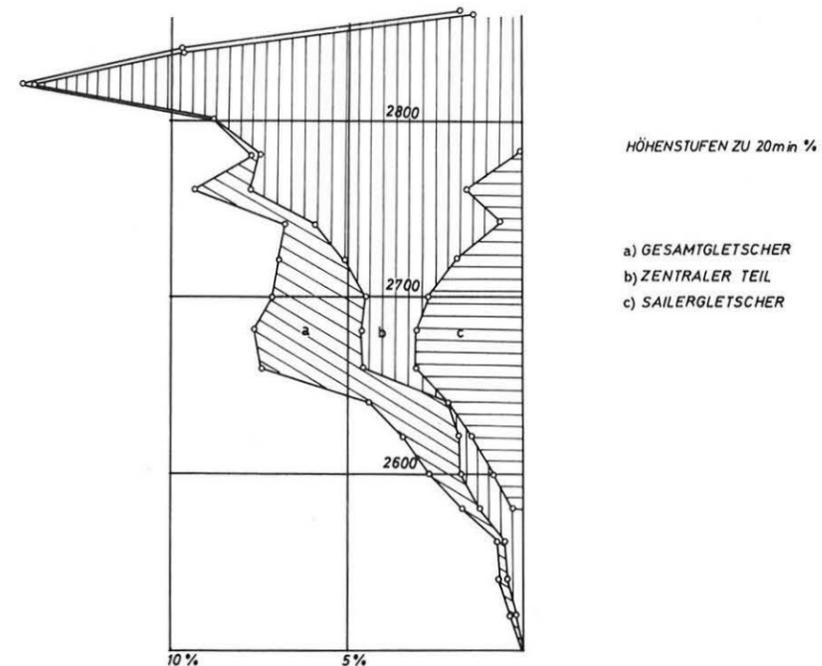


Diagramm 2: Höhenverteilung in Höhenstufen von 20 m

Die Gletscherkarte vom Hochkönig mit Höhenlinien im Abstand von 10 m, zum Teil sogar 5 m (Karte 1), und die geringe Vertikalerstreckung des Gletschers erlauben eine Aufgliederung in Höhenstufen von nur 20 m. Die Kurve der Höhenstufen in Prozent der Fläche (Diagramm 2, Tabelle 2) zeigt eine wichtige Gegebenheit des Plateaugletschers bezüglich der Massenbilanz auf: Wenn die „Altschneelinie“ (H. HOINKES, 1970, S. 50) — das ist etwa die Gleichgewichtslinie zwischen Akkumulation und Ablation — unter 2750 m liegt, werden die großen Flächen im Bereich von

2800 m und darüber zum Nährgebiet (über 40 %). Der höchste Punkt des 136,7 ha großen Plateaugletschers (ohne Felsfenster) liegt bei 2854 m, der tiefste bei 2558 m. Die mittlere Höhe des gesamten Gletschers beträgt 2770 m. Ein Steigen der Gleichgewichtslinie um nur 50 m bedeutet bereits einen stark negativen Massenhaushalt.

Der Sailergletscher mit 37,5 ha — auch in dieser Fläche sind die Felsfenster nicht einbezogen — unterscheidet sich in der Kurve der Höhenstufen deutlich. Das Maximum liegt zwischen 2640 und 2700 m. Sein tiefster Punkt reichte im Jahre 1969 noch bis 2480 m herab. Der Sailergletscher weist aber nicht nur die höchsten Ablationsbeträge (Pegel W 6 a im Jahre 1973: —126 cm Wasserwert, Karte 1) auf, sondern auch die größten Akkumulationsmengen (Schachtgrabung 25. 9. 1965 oberhalb W 15 mit 163 cm Wasserwert, Karte 1). Im Lee des Hochsailers 2793 m, und im Schutz des Felsrahmens bei den „Teufelslöchern“ wird durch Windverfrachtung sehr viel Schnee abgelagert.

### 3. UNTERSUCHUNGSZEIT UND ARBEITSMETHODEN

Während der Internationalen Hydrologischen Dekade 1965—1974 und noch darüber hinaus konnte eine größere Anzahl von Beobachtungsreihen angesetzt werden. Im Sommer 1965 wurde ein Pegelnetz am Gletscher errichtet und mittels der glaziologische Methode, in die mich H. HOINKES einführte, die Massenbilanz bestimmt. Jeweils am Ende des hydrologischen Jahres (30. September) wurde bei jedem Pegel, soweit noch Rücklagen vorhanden waren, eine Schachtgrabung durchgeführt und die Jahresrücklage mittels Schneebohrer und Balkenwaage in Dichte und Wasserwert bestimmt. Schließlich wurde der Jahreshorizont der Rücklagen im Bereich der Pegel eingefärbt.

Seit dem Winter 1968 wurde auch die Winterschneedecke am Gletscher in ihrer Mächtigkeit und Zusammensetzung durch Schachtgrabungen jeweils um den 1. Mai untersucht. Dank der großzügigen Unterstützung der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und des Hydrographischen Dienstes der Salzburger Landesregierung konnten am Gletscher zwei Totalisatoren und am Matrashaus eine kleine Klimastation mit Sonnenscheinautograph, Ombrometer, Stationsthermometer und Hydrograph errichtet werden.

Ein wesentlicher Fortschritt in den Feldbeobachtungen wurde durch die schon erwähnte Gletscherkarte 1:10.000 von der Übergossenen Alm erreicht, deren kostenlose photogrammetrische Auswertung nach Luftaufnahmen vom 25. 9. 1969 ich F. LÖSCHNER von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen verdanke und die im Gelände als Arbeitskarte im Maßstab 1:5000 verwendet wurde. Dipl.-Ing. P. TOMASI führte mit dem von Dipl.-Ing. G. FLEISCHMANN zur Verfügung gestellten Vermessungsgerät Wild Distomat Di 10 T, das auf 1 km Entfernung mit einer Genauigkeit von 1 cm arbeitet, die Nachmessungen des Pegelnetzes durch (Karte 1).

Die Forschungsgruppe war auch an der seismischen Eisdickenmessung, welche R. WÜSTRICH (1973, 1976) mit Geräten der Montanistischen Hochschule Leoben durchführte, beteiligt. Aus zwölf Profilen, die in Längsrichtung und Querrichtung am Gletscher geschossen wurden, erstellte R. WÜSTRICH eine Karte der Eismächtigkeit des Gletschers: Der Ostgletscher besitzt nur mehr eine maximale Eisdicke von 26 m, in der Nähe des östlichen Totalisators. Der Plateaugletscher weist in seinem östlichen Teil noch 45 m Dicke, im Westteil noch 58 m Eismächtigkeit auf. Es ist bemerkenswert, daß die Öffnung einer langgestreckten Gletscherspalte im Sommer 1973 genau der Richtung der Linien gleicher Eisdicke entspricht. Am Sailerglet-

scher wird eine größte Eisdicke von 30 m innerhalb der am Gletscher ausgeprägten Eismulde erreicht.

Vom Sommer 1972 an wurden die Massenhaushaltsberechnungen durch eine oder zwei Zwischenbilanzen während der Ablationsperiode erweitert, um auch über den Verlauf der Ablation Ergebnisse zu erhalten. Der Prozeß der Ablation wurde im Sommer 1973 in einem Testfeld mit Pegelablesungen im Abstand von wenigen Tagen verfolgt (siehe 9.2.). Im nächsten Sommer, 1974, der infolge der großen Mächtigkeit der Rücklagen und der vielen Sommerschneefälle mit einem bedeutenden Massengewinn abschnitt, wurde durch zahlreiche Schachtgrabungen der Abschmelzvorgang von der Winterschneedecke bis zum Ende des Haushaltsjahres beobachtet (siehe 9.3.).

Die vom Sommer 1972—1974 durch einen Thermoskript beim Totalisator am Plateaugletscher in 2770 m aufgezeichneten Temperaturen ergaben zusammen mit den täglichen Sonnenscheinmessungen beim Matrashaus für den Gletscherhaushalt wichtige Meßdaten. Der Thermoskript war in einem eigenen Wetterhäuschen im Gestänge des Totalisators befestigt. Die Kontrollmessungen des Thermoskripts, welche W. MAHRINGER beim Wetterdienst Salzburg vornahm, ergaben bezüglich der Amplitude des Gerätes richtige Werte.

Vom großem Wert waren die täglichen Wetteraufzeichnungen des Hüttenwirts vom Matrashaus, die Angaben über die Sommerschneefälle und den Zustand des Gletschers.

Für den Ablauf der winterlichen Akkumulationsperiode und für den Gletscherhaushalt auch früherer Jahre erwiesen sich die Klimawerte der Meßstelle Mitterberg am Hochkönig in 1440 m Höhe äußerst wertvoll. Die rechnerische Auswertung, für welche ich durch F. FLIRI wesentliche Anregungen erhielt, wurde mit einem Hewlett-Packard 25 und einem Texas Instruments 100 (mit Schreibgerät) durchgeführt. Die hierfür notwendigen Computerprogramme verdanke ich meinem Kollegen R. GRUBER. Aus der großen Anzahl von Werten, die bei den Haushaltsuntersuchungen am Gletscher und den klimatischen Messungen erzielt wurden, ergaben sich auch eine Reihe von Parametern, die im folgenden auf ihre Beziehungen untereinander mittels der Korrelationsrechnung überprüft werden sollen. Auf diesem Wege werden entscheidende Fragestellungen von Gletscherhaushalt und klimatischer Umwelt am Beispiel des Hochköniggletschers zu klären versucht.

### 4. AKKUMULATIONSPERIODE UND WINTERSCHNEEDECKE

Der Verlauf der Akkumulationsperiode ist jeweils in der Stratigraphie der Winterschneedecke abgebildet, sowohl bezüglich der Niederschlagsmenge und ihrer zeitlichen Verteilung als auch im Temperaturgang, der sich in Korngröße und Schmelzschichten ausprägt. Selbst der Akkumulationsvorgang ist zwischendurch von Ablationsphasen unterbrochen, wie ebenso die sommerliche Ablationsperiode durch Akkumulation bei Sommerschneefällen.

Zur Untersuchung der Winterschneedecke wurden in den acht Wintern von 1968—1975 jeweils um den 1. Mai Schachtgrabungen am Gletscher durchgeführt. Auch am Hochkönig tritt die größte Schneehöhe erst anfangs Mai ein (A. u. F. LAUSCHER, 1971, S. 5). Die Grabungen wurden in 2770 m Höhe, der mittleren Höhe des Plateaugletschers, ca. 20 m östlich vom Totalisator West, ausgeführt.

Im Diagramm 3 sind die Schneeprofile 1968—1975 dargestellt, wobei die Dichtewerte der einzelnen Schichtabschnitte auf der Abszisse, ihr Wasserwert unter jedem Profil angegeben sind. Allen Schneeprofilen ist eine Abnahme der Dichte an der

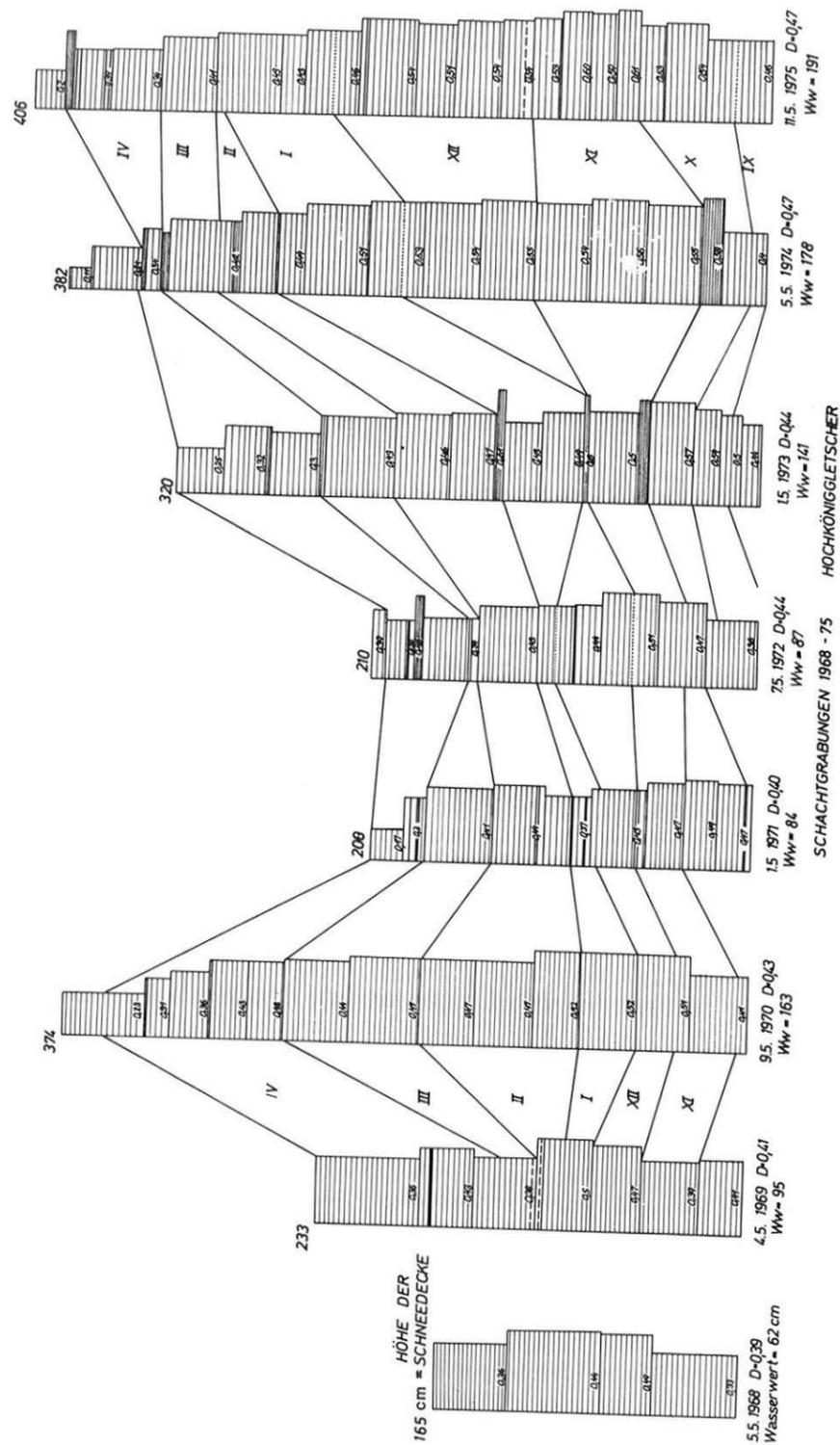


Diagramm 3: Schneehöhen- und Dichtepprofile der Winterschneedecke 1968 bis 1975

Basis gemeinsam. Die mittlere Dichte dieser Schneesäulen schwankt zwischen  $0,39$  und  $0,47 \text{ g cm}^{-3}$  und nimmt mit der Höhe der Winterschneedecke zu. Die Unterschiede in der Mächtigkeit sind sehr bedeutend. Der schneereichste Winter in der Beobachtungszeit war 1974/75 mit einer Schneehöhe von  $406 \text{ cm}$ , der schneearmste 1967/68 mit nur  $165 \text{ cm}$ . Die Beziehung zwischen mittlerer Dichte und der Schneehöhe betrug in diesen acht Jahren  $r=0,84$ . Es sind auch andere Faktoren auf die Dichte von Einfluß, welche im Wetterablauf begründet sind, besonders schneearme Perioden und Föhnlagen. Als Beispiel kann hierfür der Winter 1971/72 genannt werden. Ziemlich eng ist der Zusammenhang zwischen der Niederschlagsmenge von Mitterberg ( $1440 \text{ m}$ ) während der Akkumulationsperiode am Gletscher und dem Wasserwert der Winterschneedecke am Gletscher ( $2770 \text{ m}$ ). Für die sechs Winter 1969/70—1974/75 ergab sich eine sehr befriedigende Kohärenz von  $r=+0,88$  (siehe auch A. u. F. LAUSCHER, 1971, S. 18).

#### 4.1. ANALYSE DER WINTERSCHNEEDECKE

Es wurde auch versucht, die zeitliche Entwicklung der Winterschneedecke in den einzelnen Haushaltsjahren anhand der Schneeprofile zu verfolgen und zugleich eine Zuordnung zu den Großwetterlagen nach der Klassifikation von F. LAUSCHER (1958, 1972, Tab. 10) vorzunehmen. Mit dieser Analyse der Winterschneedecke wurde im Winter 1968/69 begonnen. Fünf Begehungen zur Ablesung der Totalisatoren während des Winters konnten dafür ausgewertet werden. Eine wesentliche Grundlage bildeten die Tageswerte von Mitterberg mit Temperatur, Niederschlag und Schneehöhen. Wichtige Anhaltspunkte für die zeitliche Einordnung sind dabei die Schmelzschichten im Profil der Winterschneedecke, welche durch Föhnlagen, Südströmung, Tauperioden und Schönwetterlagen im Frühjahr entstehen.

Für den Winter 1969/70 waren auch noch zwei Begehungen im November und Februar mit Schneetiefenmessungen für diese Analyse zur Verfügung. In der Folgezeit wurden aber diese monatlichen Ablesungen der Totalisatoren im Winter nicht mehr fortgesetzt. Das Risiko und der Aufwand standen auf die Dauer mit den ohnehin unsicheren Meßergebnissen von Totalisatoren im Hochgebirge nicht im Verhältnis (H. GOLDBERGER, 1973, S. 299). Dafür wurden bei den späteren Schachtgrabungen genauere Beobachtungen von Korngröße, Schmelzhorizonten, Eislamellen und auch von Temperaturen in den verschiedenen Lagen erzielt.

Das Ergebnis dieser Analyse der Winterschneedecke 1968—1975 ist in dem Diagramm 4 dargestellt. Es zeigt den Entstehungsprozeß der Winterschneedecke in den einzelnen Jahren auf, angegeben in den prozentuellen Anteilen der Monate an der Gesamtschneehöhe. Grundlegend ist zunächst der Wintereinbruch. Bezüglich des Zeitpunktes besteht eine hervorragende Übereinstimmung, meist auf den Tag genau, mit den Angaben von H. SLUPETZKY (1974, S. 34) in der Granatspitzgruppe und H. TOLLNER (1974A, S. 54—57) in der Glockner- und Goldberggruppe. Besonders der vorzeitige Wintereinbruch ist von einem Wettergeschehen getragen, das auf weitem Raum und größerem Höhenbereich sich auswirkt. So setzte im Sommer 1972 die Akkumulationsperiode am Hochköniggletscher bereits mit 18. August ein, als Folge einer fünf Tage andauernden nördlichen Höhenströmung (vorausgegangen war eine Hitzeperiode mit einem — besonders in Stuttgart — verheerenden Hagelgewitter).

Auch im Jahre 1965 erfolgte der Wintereinbruch am Hochköniggletscher bereits am 24. August als Folge einer Vb-Lage, auf welche dann NW-Strömung mit fünf Tagen Schneefall folgte. Vb-Lagen treten zwar selten auf, ihr Anteil betrug 1964—1975 durchschnittlich nur fünf Tage im Jahr, ihre Niederschlagsmenge sogar

WINTERSCHNEEDECKE HOCHKÖNIGGLETSCHER

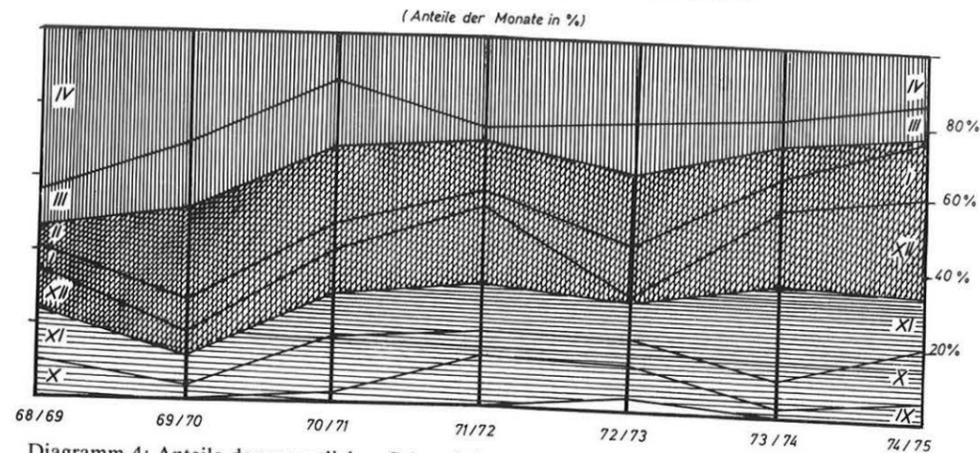


Diagramm 4: Anteile der monatlichen Schneehöhen an der Winterschneedecke 1968/69 bis 1974/75

nur 1,5 % der Akkumulationsperiode (Oktober–April), aber sie entfalten eine außergewöhnliche Wetterwirksamkeit. Auch in den Jahren 1968 und besonders 1975 waren Vb-Lagen am Wintereinbruch beteiligt (16. 9. 1971 und 21. 9. 1973).

Der frühe Wintereinbruch 1971 am 12. September war wiederum durch eine nördliche Höhenströmung von fünf Tagen Dauer verursacht. In ähnlicher Weise war es am 19. September 1964 eine NW-Strömung, welche in Nordströmung überging, vier Tage anhielt und Neuschnee bis 1000 m herab brachte.

Für einen späteren Winterbeginn am Gletscher reichen auch Westlagen von nur drei Tage Dauer oder auch Troglagen sowie Tiefs über dem westlichen Mittelmeer mit nur zwei bis drei Niederschlagstagen aus. Im Diagramm 4 erkennt man für die Jahre 1970–1973 die deutliche Tendenz zu einem früheren Wintereinbruch am Gletscher und auch einen hohen Anteil der frühwinterlichen Schneedecke (IX–XI). Der hochwinterliche Anteil schwankt insgesamt nicht so stark wie der einzelner Monate (XII–II). Am stärksten war in dieser Beobachtungszeit die Schwankung vom April, am schwächsten die vom Jänner. Diese Reihe von zeitlich aufgliederten Schneeprofilen wurde auch bezüglich der Bedeutung der Monate im Akkumulationsprozeß untersucht.

Der Oktober hat in dem Beobachtungszeitraum 1968–1975 am Hochkönigsgletscher den geringsten Anteil an der Gesamtschneehöhe, im Durchschnitt nur 9 %. Der Hochkönig gehört nach der Einteilung von F. FLIRI (1965, S. 7) dem „SFHW“-Typ an, entsprechend der Reihenfolge von der feuchtesten Jahreszeit, dem Sommer, über das Frühjahr und den Herbst zum Winter als der trockensten Jahreszeit. Es sind auch seit dem Jahre 1901 in Mitterberg kaum Beispiele hoher Oktoberschneefälle, wohl aber Beispiele sehr geringer Niederschläge (Oktober 1965 nur 5 mm) aufgetreten.

Im Oktober erreichen die Hochdrucklagen (Tab. 16) nicht nur das Maximum des Jahres an Häufigkeit, sondern auch an Andauer, welche in den Jahren 1965 und 1969 bei Hochdruck 20 und 25 Tage betrug, gekoppelt mit Föhn oder von einer Südströmung abgelöst. Im Oktober ist aber die Ablationswirkung am Gletscher schon stark reduziert. Die durchschnittliche Globalstrahlung erreicht nicht einmal mehr die Hälfte vom Juni (F. SAUBERER und J. DIRMHORN, 1960, S. 51). Im trocke-

nen Oktober 1965 änderte sich z. B. die Schneedeckenhöhe am Hochkönigsgletscher kaum mehr, wohl aber entstand eine Art Büßerschnee, deren Schmelzformen 20–30 cm tief waren.

November: Obwohl die durchschnittliche Niederschlagshöhe nicht viel größer ist als im Oktober, zeigt doch der November den zweithöchsten Anteil am Aufbau der Winterschneedecke am Gletscher. Die Wetterlagenstatistik 1964–1975 (Tab. 16, November) zeigt ein Absinken der Zahl der Hochdrucklagen auf die Hälfte des Oktoberwertes. Auch die Andauer erreichte in diesen zwölf Jahren höchstens zehn Tage. Bemerkenswert ist im November die häufige Koppelung von HF-Lagen mit darauffolgender Nordströmung. Ein einziger Tag mit Nordströmung vermag aber nach einer Schönwetterperiode die Tagestemperaturen nachhaltig herabzudrücken. West- und Nordwestlagen sind in Zunahme, und die Niederschlagsperioden erreichen eine Länge von elf Tagen.

Dezember: Im Durchschnitt hatte der Dezemberrniederschlag einen Anteil von 13 % an der Höhe der Winterschneedecke 1968–1975, dabei war aber die Schwankung sehr hoch. Dies läßt eine ausgeprägte Ambivalenz des Dezembers erkennen. In diesem Monat sind sowohl Hochdrucklagen von drei Wochen Dauer — verbunden mit Föhnlagen (wie 1972) — möglich, als auch das Maximum an West- und Nordwestlagen (Tab. 16). Es kam in den schneereichen Wintern der Jahre 1965, 1966 und 1974 zur Auswirkung. Unter den Hochdrucklagen zeigt das HiE ein Dezembermaximum, verbunden mit hoher Standardabweichung und hoher positiver Schiefe: es tritt also sehr unregelmäßig auf, kann aber manchmal bis zu sechs Tagen andauern.

Jänner: Der Anteil des Jäners an der Höhe der Winterschneedecke am Hochkönigsgletscher betrug im Durchschnitt 1969–1975 nur 10 %, die mittlere Schwankung war aber im Vergleich zum Dezember und auch Februar gering. Im Jänner nimmt die Zyklonalität zu (TWM, TB, TR, siehe F. FLIRI, 1974, S. 40), gleichzeitig nehmen aber die Höhenströmungen N und NW ab, während S und SW stark ansteigen (Tab. 16). Die SW-Lage hat im Jänner sogar ihr Maximum, und ihre Andauer erreichte 1965–1975 mehrmals bis zu sechs Tagen, verbunden mit Föhn und Tauwetter. Das erhöhte Niederschlagsangebot des Jäners wird also durch Tauwetter (1970) und Trockenperioden (1973) bezüglich der Schneehöhe wieder gemindert.

Februar: In der Niederschlagsmenge ist dieser Monat an letzter Stelle im Durchschnitt, zeigt aber eine deutliche Zunahme an Variabilität (F. FLIRI, 1974, S. 42f.). Diese hohe Variabilität ist durch das Maximum der Nordströmung im Februar begründet, welche eine Andauer von acht Tagen erreicht (1971), zu neuem Wintereinbruch und zu Lawinenabgängen führt (1971 und 1973). Auch die Vb-Lage trägt zu dieser erhöhten Variabilität bei. Die Hochdrucklagen haben in diesem Monat ihr Minimum (Tab. 16). Auch in den Temperaturen ist eine hohe Variabilität zwischen positiver und negativer Anomalie ausgeprägt. Die HF-, HNW- und HiE-Lagen drücken die Tagestemperatur von Mitterberg durchschnittlich um  $-0,9$ ,  $-3,7$  und  $-2,8^\circ$ . Die SW-Strömung erreicht im Februar ihre höchste positive Temperaturanomalie von  $5,1^\circ$  bei einer gelegentlichen Andauer bis zu vier Tagen. Sie führt zu frühlinghaftem Wetter, das sich in den Schneeprofilen in deutlichen, bis zu 4 cm breiten Schmelzschichten auswirkt (1969, 1973 und 1974).

März: Die Kennzeichnung dieses Monats durch F. FLIRI (1974, S. 44f.) ist auch hinsichtlich des Gletscherhaushaltes zutreffend: Keine entscheidende Veränderung gegenüber dem Februar. Es ist auch die Struktur der Wetterlagen in beiden Monaten ziemlich gleich, nur die Nord- und auch Südwestströmungen nehmen im März ab (Tab. 16). Eine Zunahme ist aber von HiE und HF zu verzeichnen. Die

#### 4.2. DIE AKKUMULATIONSPERIODEN 1965—1975

Wichtige Parameter für den Gletscherhaushalt sind sowohl die Gesamtmenge der Niederschläge in fester Form wie auch die Länge der Akkumulationsperioden. Da vor dem Jahre 1968 am Gletscher noch keine Schachtgrabungen am Winterende vorgenommen worden waren, mußten dafür die Niederschlagswerte von Mitterberg (1440 m) herangezogen werden (Diagramm 5).

Die errechnete lineare Korrelation zwischen einzelnen Klimadaten und Elementen des Gletscherhaushalts, wie sie besonders auch H. WAKONIGG (1971 B, S. 107f.) aufschlußreich geboten hat, stellt keineswegs eine ursächliche Abhängigkeit, sondern lediglich einen formellen Zusammenhang fest. Tabellarisch zusammengestellt ergaben sich für den Zeitraum 1965—1975 beim Hochköniggletscher folgende Beziehungen, nach zunehmender Übereinstimmung gereiht:

Durchschnittstemperatur der Winter zu ihrer Niederschlagsmenge (Werte von Mitterberg)	$r = -0,42$
Durchschnittstemperatur der Winter (Mitterberg) zur Länge der Akkumulationsperiode, Hochkönig	$r = -0,49$
Niederschlagsmenge Mitterberg zur Länge der Akkumulationsperiode, Hochkönig	$r = +0,61$
Monatsmittel Oktober (Mitterberg) zum Schneezuwachs (1965—1969 in Mitterberg)	$r = -0,81$
Wetterlage N, NW, W, TM, TR, Vb in der Akkumulationsperiode zur Schneemenge Mitterberg (Wasserwert)	$r = +0,82$

Bezüglich der Dauer der Akkumulationsperiode am Gletscher konnten also keine engeren Beziehungen zu Temperatur und Niederschlag von Mitterberg festgestellt werden. So hatte die Akkumulationsperiode 1974/75 trotz ihrer großen Schneemenge doch nur eine mittlere Dauer, während der Winter 1971/72 nicht einmal die Hälfte der Schneemenge aufwies, aber um zehn Tage länger währte. Hingegen konnten aber die in den Schneeprofilen 1969—1975 festgestellten engen Zusammenhänge zwischen Monatsmittel vom Oktober und dem Schneezuwachs und ebenso zwischen den angegebenen Wetterlagen und der Schneemenge bestätigt werden. Wenn die Korrelationskoeffizienten dabei etwas kleiner sind, so wohl deshalb, weil für die Jahre 1965—1969 nur die Niederschlagsmenge von Mitterberg, nicht aber die Schneehöhe am Gletscher in Beziehung gesetzt werden konnte.

#### 4.3. DIE AKKUMULATIONSPERIODEN 1940—1970

Die Klimadaten der Station Mitterberg reichen mit ihren „Ombrometer-Rapporten“ bis zum Jahre 1901 zurück. Sie wurden schon wiederholt für Untersuchungen der alpinen Schneeerhältnisse von A. und F. LAUSCHER (1975), M. ROLLER (1964) und F. STEINHAUSER (1973 B) herangezogen. Es wird nun versucht, die am Hochköniggletscher gewonnenen Erkenntnisse über den Akkumulationsvorgang auch auf frühere Jahre zu übertragen und so die Entwicklung der beiden vorangegangenen Jahrzehnte zu verfolgen.

Der Beginn der Akkumulationsperiode am Gletscher, der oft sehr deutlich ausgeprägt ist, läßt sich mittels der täglichen Aufzeichnungen von Mitterberg entweder durch den ersten, bis 1700 m herabreichenden Schneefall im Herbst oder auch durch Schnee-Regentage in Mitterberg unschwer abgrenzen. Gleichzeitig erfolgt auch in den Tagesmitteln von Mitterberg ein Temperaturrückgang von 8—10° C. Die nach dieser Methode durchgeführte Bestimmung ergab bei den zehn Wintern

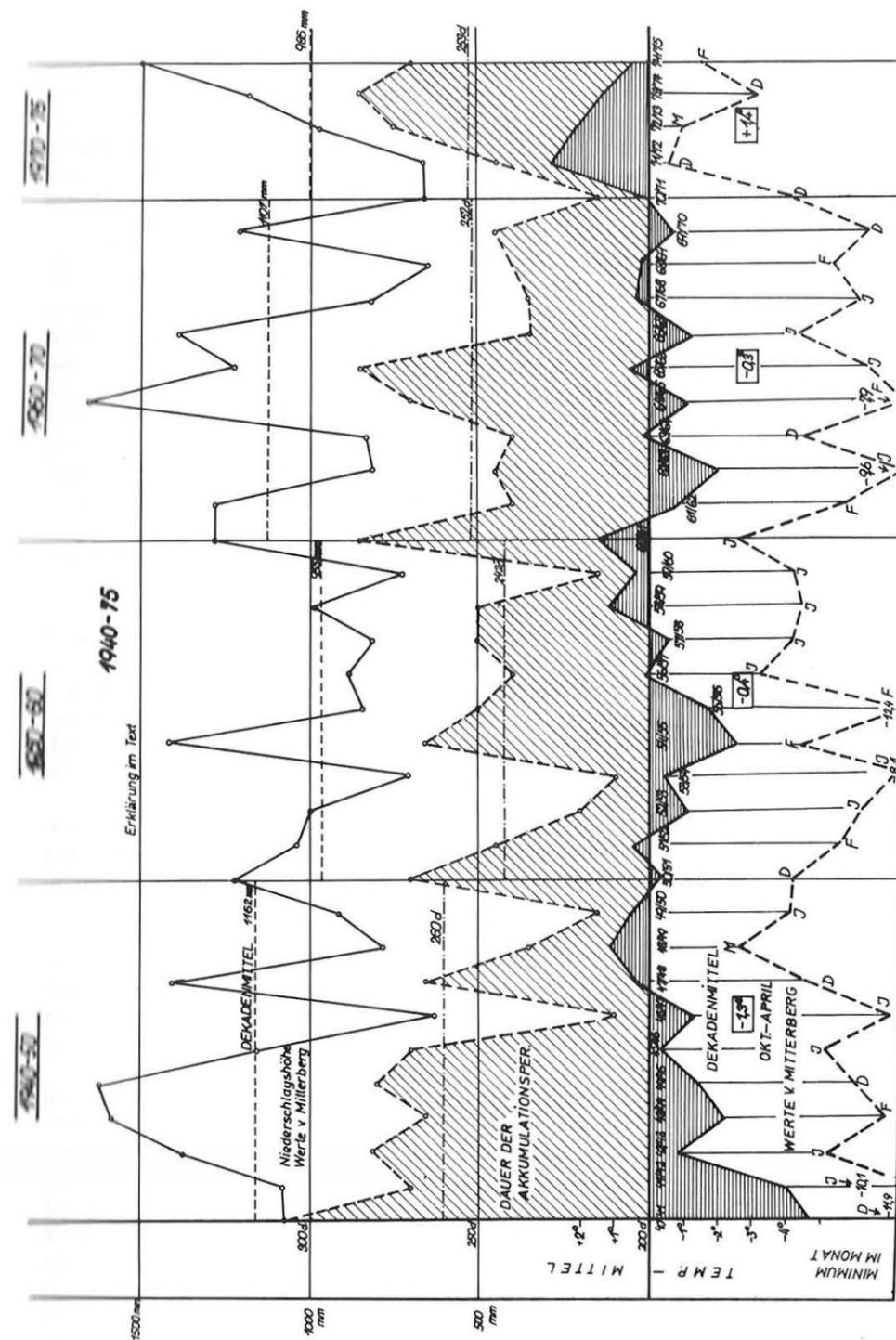


Diagramm 6: Andauer der Akkumulationsperioden für den Hochköniggletscher für die Jahre 1940 bis 1975, berechnet aus den Klimadaten der Station Mitterberg

1965—1975, deren Beginn am Gletscher selbst festgestellt worden war, nur ein einziges falsches Datum.

Das Ende der Akkumulationsperiode am Gletscher läßt sich aus den Klimadaten von Mitterberg als „terminus post quem“ nach dem Ende der geschlossenen Winterschneedecke von Mitterberg, dem Ansteigen der Tagesmittel über  $10^{\circ}\text{C}$  und den letzten Schnee-Regentagen oder Schneefällen bis 1700 m erkennen. Schwierig ist allerdings diese Bestimmung in Jahren mit kühlem und feuchtem Frühsommer (Juni), da häufige Schneefälle den Übergang zur Ablationsperiode (Rückgang des Wasserwertes der Rücklagen in 2770 m) oft lange hinauszögern.

Diese Untersuchung konnte nur bis 1940 zurückgeführt werden, weil vorher tägliche Temperaturmessungen fehlen. Das Diagramm 6, in welchem diese Auswertung seit dem Jahre 1940/41 zusammengefaßt ist, läßt sowohl die Veränderungen der Länge der Akkumulationsperiode am Gletscher als auch der Winterniederschläge und Wintertemperaturen verfolgen. Die längste Akkumulationsperiode in diesem Zeitraum war im Winter 1940/41 mit 310 Tagen. Zugleich war dies der weitaus kälteste Winter: Das Dezembermittel betrug in Mitterberg  $-11,9^{\circ}\text{C}$ , im Jänner  $-8,4^{\circ}$ ; vom Februar fehlt zwar das Blatt der Ombrometer-Rapporte, aus den Nachbarstationen Bischofshofen und St. Johann läßt sich aber ein Temperaturmittel von ca.  $-6^{\circ}$  interpolieren. Auch das Märzmittel war in Mitterberg noch  $-4,6^{\circ}$ , das Aprilmittel  $-2,1^{\circ}$  und selbst im Mai noch  $-0,6^{\circ}$ .

Die Beziehung zwischen Akkumulationsdauer am Gletscher und der Niederschlagsmenge von Mitterberg in derselben Zeit ist nicht so eng, wie sie vielleicht auf den ersten Blick im Diagramm erscheint. In der Dekade 1940—1950 war sie nur  $r = +0,54$ , in der nächsten Dekade stieg sie etwas an ( $r = +0,73$ ), ist aber in den 30 Jahren 1940—1970 nur  $r = +0,61$ . Noch geringer sind die Beziehungen zwischen mittlerer Wintertemperatur und Länge der Akkumulationsperiode am Gletscher ( $r = -0,40$ ). Die Akkumulationsdauer am Hochköniggletscher ist auch weder aus der Dauer der geschlossenen Winterschneedecke in Mitterberg ( $r = +0,17$ ), noch aus der Zahl der Tage mit Schneebedeckung in Mitterberg ( $r = +0,14$ ) rechnerisch erfaßbar.

Aus dem Diagramm 6 geht aber hervor, daß Winter mit einem späten Temperaturminimum (Februar) durchwegs sehr schneereich sind. Jahre mit den höchsten Schneemengen am Gletscher haben aber deshalb noch nicht die längste Akkumulationsperiode.

Welche Extreme oft unter einer Dekade zusammentreffen, zeigt besonders deutlich der Zeitraum von 1940—1950. In dieser Dekade war die längste Akkumulationsperiode mit 310 Tagen (Winter 1940/41), aber auch die kürzeste mit nur 210 Tagen im Winter 1946/47. Sie trug auch zu dem großen Massenverlust der Übergossenen Alm im Sommer 1947 bei, den ich bereits aus eigener Anschauung kennenlernte.

Der Vergleich der Dekaden ergibt eine deutliche Abnahme der Winterkälte von  $-1,3^{\circ}\text{C}$  (1940/41—1949/50) auf  $-0,4^{\circ}$  (1950/51—1959/60) und auf  $-0,3^{\circ}$  (1960/61—1969/70) und schließlich sogar auf  $1,4^{\circ}$  in den Wintern 1969/70—1974/75 (Diagramm 6). Gleichzeitig erfolgte eine Verschiebung der Temperaturminima vom Dezember und Jänner in der Dekade 1940/41—1949/50 (8 Fälle) auf den Jänner und Februar in der Dekade 1950—51—1959/60 (9 Fälle). Die Dekade 1960/61—1969/70 brachte eine Zunahme des Durchschnittes der Niederschläge von 955 mm auf 1107 mm (Diagramm 6). Daran sind besonders die hohen Februarniederschläge in den Jahren 1961 (243 mm), 1962 (251 mm), 1964 (121 mm in einem trockenen Winter), 1965 (139 mm) und 1970 (256 mm) wesentlich beteiligt, gekennzeichnet auch durch kalte Februar-Monate.

In den letzten Wintern 1969/70—1974/75 erfolgte wieder eine Rückverlegung der Minima auf den Dezember und eine Abnahme der Niederschlagsmenge. Die Auswirkung dieser Verlagerungen sind für den Gletscherhaushalt beträchtlich.

#### 4.4. DAS BILANZVOLUMEN DER WINTERSCHNEEDECKE

Eine interessante Möglichkeit bot sich am Ende des schneereichen Winters 1974/75: Am 11. Mai wurde eine Gruppe von acht Mann mit dem Hubschrauber am Hochköniggletscher abgesetzt, ausgerüstet mit dem Vermessungsgerät Wild Distomat Di 10 T und mit bis zu 8 m langen Lawinsonden. Es konnte nicht nur ein Schacht in 2770 m Höhe mit einer Tiefe von 512 cm bis zum Eis genau ausgewertet werden, sondern auch durch Sondierung an 13 Punkten, darunter bei 9 Pegeln (Tab. 3) die Mächtigkeit der Schneedecke, einschließlich der Rücklagen von 1973/74, bestimmt werden. Der Arbeitsaufwand dieses Unternehmens, das erst bei einbrechender Dunkelheit und mit einer Schiabfahrt bei schlechtesten Schneever-

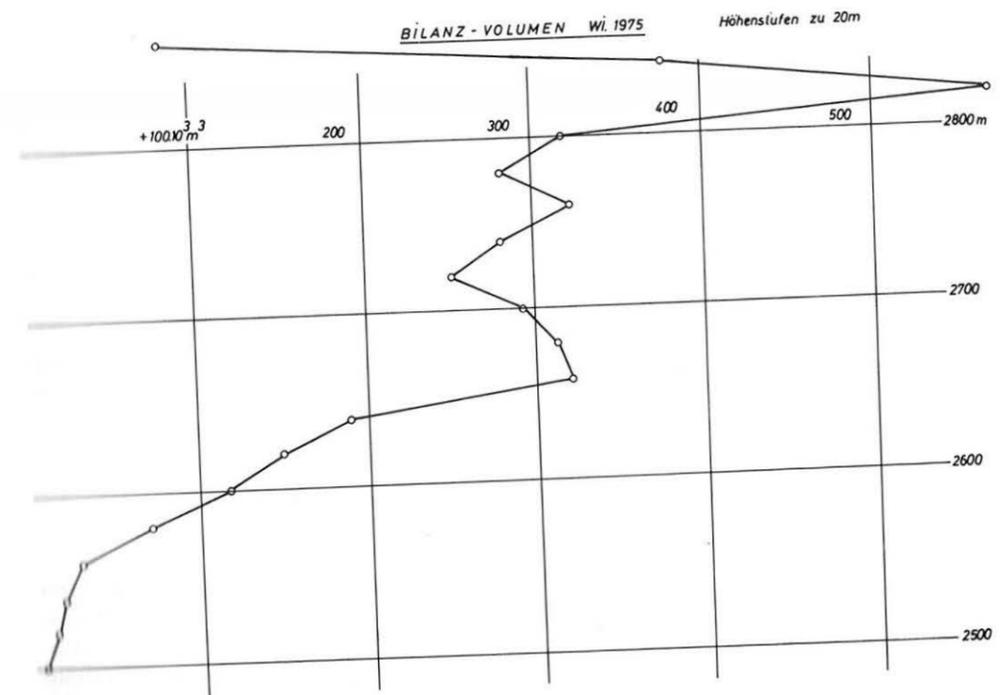


Diagramm 7: Volumen der Winterschneedecke 1974/75 in 20 m Höhenstufen

hältnissen abgeschlossen werden konnte, stand aber doch dafür. Durch Interpolieren weiterer Pegelwerte (Tab. 3) — aufgrund der Erfahrungen von zehn Jahren Massenberechnungen — konnte der Wasserwert der gesamten Schneedecke berechnet werden. Auch hier ist der Plateaugletscher mit seinem einfachen Relief für die Erzielung eines Näherungswertes von Vorteil.

Der Wert des Bilanzvolumens von rund 4 Millionen  $\text{m}^3$  Wasseräquivalent für die gesamten Rücklagen 1974/75 und die mittlere spezifische Winterbilanz von  $230\text{ g/cm}^2$  sind wichtige Größen (H. HOINKES, 1970, S. 53). Es ist sowohl der Ausgangs-

wert für den nun folgenden Ablauf der Ablation, wie auch für das potentielle Wasserangebot — abzüglich der Verdunstung — für die Karsthydrographie im Bereich des Gletschers.

Diagramm 7 zeigt das Bilanzvolumen des gesamten Gletschers am Ende des Winters 1974/75 in Höhenstufen zu 20 m. Das Maximum der Rücklagen befindet sich zwischen 2800 und 2840 m, bedingt durch die ausgedehnten Flächen des Plateaugletschers. Eine weitere Ausbuchtung zwischen 2660 und 2700 m bewirkt der Sailer-gletscher, dessen Flächenmaximum um mehr als 100 m tiefer liegt.

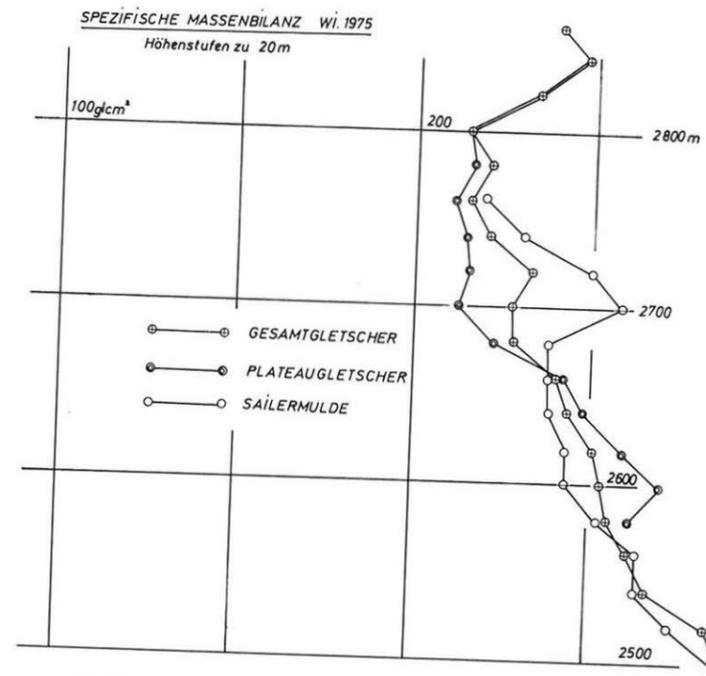


Diagramm 8: Die spezifische Wintermassenbilanz 1974/75 in 20 m Höhenstufen

Diagramm 8 zeigt nun die spezifischen Bilanzen vom Mai 1975 in Höhenstufen zu 20 m. Bei einem Vergleich mit den spezifischen Bilanzen am Ende der Ablationszeit der Jahre 1970—1975 (Diagramm 11) erkennt man einige erhebliche Unterschiede. Für das Ausmaß der Akkumulation sind mehr die orographischen Verhältnisse, weniger aber die Höhenlagen ausschlaggebend. Entgegengesetzt aber der Verlauf der Kurven der Ablationszeit, da die tiefsten Lagen auch die höchsten Ablationsbeträge aufweisen. Auf den freien, dem Winde ausgesetzten Flächen des Plateaugletschers zwischen 2780 und 2800 m ist die winterliche Akkumulation geringer als in den tiefergelegenen Mulden der Gletscherenden. In den höchsten Lagen des Plateaugletschers macht sich auch die Schneeverfrachtung über die Südwände hinaus bemerkbar. Hingegen hat der Sailer-gletscher infolge seiner windgeschützten Lage ab 2680 m höchste Akkumulationsbeträge aufzuweisen.

Die Kurve der höhenmäßigen Verteilung des Bilanzvolumens vom Winter 1974/75 ermöglicht, auch frühere Jahre zu erfassen. Der Wert solcher Rekonstruktionen liegt darin, das Gesamtausmaß der Ablation in einem Jahr erfassen zu können. Es ergaben sich folgende Werte:

Winter	Nettoakkumulation, Wasserwert	Mittlere spezifische Bilanz
1974/75	4 Millionen m <sup>3</sup>	233 g/cm <sup>2</sup>
1973/74	2,8 Millionen m <sup>3</sup>	163 g/cm <sup>2</sup>
1972/73	2,2 Millionen m <sup>3</sup>	126 g/cm <sup>2</sup>
1971/72	1,3 Millionen m <sup>3</sup>	77 g/cm <sup>2</sup>
1970/71	1,4 Millionen m <sup>3</sup>	78 g/cm <sup>2</sup>
1969/70	2,6 Millionen m <sup>3</sup>	151 g/cm <sup>2</sup>
1968/69	1,5 Millionen m <sup>3</sup>	89 g/cm <sup>2</sup>

## 5. DIE MASSENBILANZ

Die Massenbilanz ist nicht nur der wichtigste, sondern auch der schwierigste Parameter, was Geländearbeit und Auswertung betrifft. Über die Massenbilanzen 1965—1970 wurde bereits in der Festschrift für H. TOLLNER, dem ich die jahrelange Förderung dieser Untersuchungen zu danken habe, berichtet (J. GOLDBERGER, 1973, S. 293—297). In Tab. 4 sind die Werte der einzelnen Haushaltsjahre zusammengestellt. Seit 1970 konnte mittels der Gletscherkarte von F. LÖSCHNER (Arbeitskarte 1:5000) durch genauere Kartierung der Rücklagenmuster und vor allem bezüglich der höhenmäßigen Verteilung von Akkumulation und Ablation eine Verfeinerung der Untersuchungsmethoden erzielt werden (Karte 2 sowie Diagramm 9). Die Feldarbeiten zur Feststellung der Massenbilanz wurden jeweils um den 30. September (Ende des hydrologischen Jahres; H. HOINKES, 1970, S. 53) vorgenommen.

In dem Diagramm der Bilanzvolumina des Hochköniggletschers 1965—1975 (Diagramm 9a) sind Nettoakkumulation und Nettoablation im Wasseräquivalent dargestellt. Die mittleren spezifischen Bilanzen (Diagramm 9b), welche den Mittelwert des gesamten Gletschers jeweils in g/cm<sup>2</sup> der Gletscherfläche angeben, ermöglichen Vergleiche mit anderen Gletschern.

Ein Vergleich der Bilanzen des Hochköniggletschers mit den Stubacher Sonnblickkees und dem Hintereisferner ist in Tab. 5 gegeben, und es wird dabei deutlich, daß der Hochköniggletscher in diesem Zeitraum im Mittel eine negative Bilanz gehabt hat. Mit dem Stubacher Sonnblickkees (H. SLUPETZKY, 1974), der als Hanggletscher rascher als die Talgletscher reagiert, ergaben sich nur in den extrem negativen Jahren 1970/71 und 1972/73 und im Haushaltsjahr 1973/74 mit hohem Massengewinn Übereinstimmungen. Die Eigengesetzlichkeit des Hochköniggletschers stellt sich vor allem 1971/72 und 1974/75 mit der außergewöhnlich hohen Strahlenbilanz noch im September heraus. Der Vergleich mit dem Hintereisferner in den Ötztaler Alpen zeigt hohe Ablationsbeträge 1971 und besonders 1973, während sich der Massengewinn 1973/74 bei diesem großen alpinen Talgletscher kaum abzeichnet.

Zur Charakteristik der einzelnen Haushaltsjahre ist beim Hochköniggletscher im besonderen anzuführen:

1964/65: resultiert der große Massengewinn vor allem aus dem außerordentlich schneereichen Winter (1641 mm Niederschlag in Mitterberg) mit einer langen Akkumulationsperiode von 271 Tagen (bis 17. Juni). Die hohen Sommerniederschläge führten zu 13 Neuschneeperioden. Der Massengewinn betrug ca. 750.000 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent, der Wert wurde aufgrund von Sondierungen erzielt (J. GOLDBERGER, 1973, S. 293).

1965/66: Eine sehr lange Akkumulationsdauer von 283 Tagen, die Winterrücklagen sind aber nicht mehr so hoch (1217 mm, Mitterberg). Juli und August waren außerordentlich niederschlags-

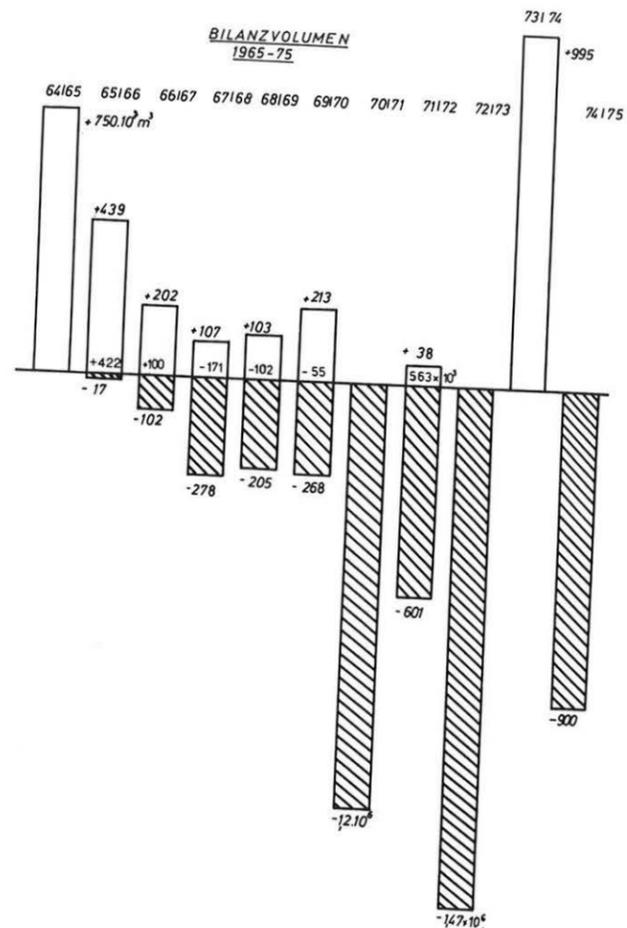


Diagramm 9 a: Bilanzvolumina des Hochköniggletschers für die Jahre 1964/65 bis 1974/75

- reich und kühl (Juli 386 mm, 11,3° Monatsmittel; August 382 mm, 11,4°, Werte von Mitterberg). Der September brachte aber spätsommerliches Wetter, die Ablationsperiode endete erst am 12. Oktober. Massengewinn von 422.000 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent.
- 1966/67: Eine schneereiche Akkumulationsperiode (1378 mm, Mitterberg) endete erst am 1. Juni. Juli und August waren zwar sehr feucht (212 und 202 mm), jedoch mit hoher Gewittertätigkeit und nur drei Sommerschneefällen. Der September brachte aber ein Kaltlufttief mit Neuschnee vom 8.—20. September. Die Ablationsperiode endete am 3. Oktober mit 100.000 m<sup>3</sup> Massengewinn.
- 1967/68: Eine niederschlagsarme Winterperiode (812 mm, Mitterberg, 64 cm Wasserwert am Gletscher in 2770 m) endete zwar erst am 22. Mai. Der Juni brachte im monsonalen Wechsel vier Neuschneeperioden. Durch subtropische Warmluft wurde aber bereits in der 1. Julihälfte auf weite Flächen am Gletscher Blankeis sichtbar. In der 2. Monatshälfte brachte eine langanhaltende Nordströmung bis 1,5 m Neuschnee. Der August brachte viel Regen, aber nur drei Sommerschneefälle, auch der September war in der ersten Hälfte reich an Regen und Gewittern. Ende der Ablationsperiode am 16. September mit einem Massendefizit von 171.000 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent.
- 1968/69: Eine schneearme Winterperiode (Winterschneedecke mit 95 cm Wasserwert am Gletscher in 2770 m) endete am 11. Mai. Der Juni war sehr kühl (8,7° Monatsmittel, Mitterberg) und brach-

**SPEZIFISCHE BILANZEN 1965-1975**

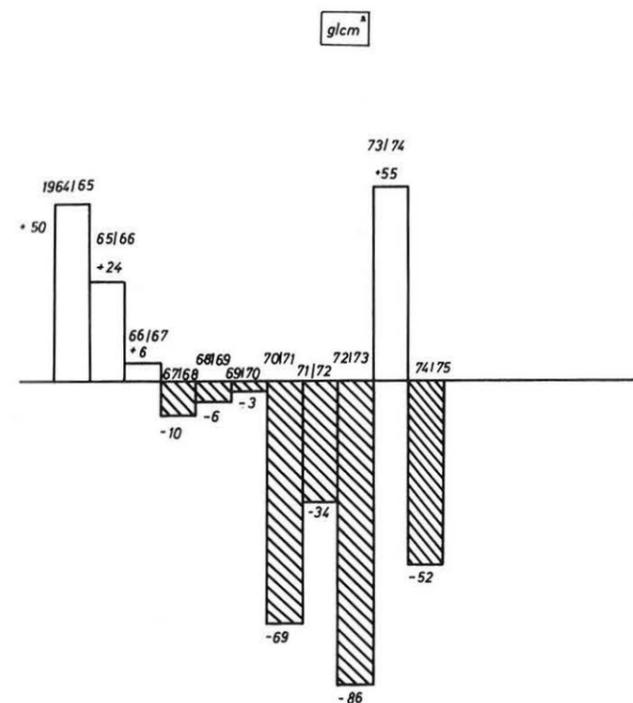


Diagramm 9 b: Die spezifischen Massenbilanzen des Hochköniggletschers für die Haushaltsjahre 1964/65 bis 1974/75

te viele Neuschneefälle. Im Juli erfolgte ein Kälteeinbruch vom 8.—14. 7. mit sechs Neuschneetagen (N- und NW-Strömung) und anschließend zwei Wochen Hochdrucklage. Der August mit 368 mm Niederschlag (Mitterberg) brachte in der 1. Hälfte bei Hochdrucklagen viele Gewitter, in der 2. Hälfte bei anhaltender NW-Strömung fast täglich Neuschnee. Das Hochdruckwetter im September wurde durch zwei Neuschneefälle in der Wirkung etwas gebremst. Ende der Ablation am 1. Oktober mit einem Defizit von 102.000 m<sup>3</sup>.

- 1969/70: Dieses Haushaltsjahr kam einer ausgeglichenen Massenbilanz am nächsten. Aus seiner Kurve der höhenmäßigen Verteilung von Nettoakkumulation und Nettoablation ließ sich die mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie (= klimatische Schneegrenze) bei 2790 m ermitteln. Aus den Rücklagen war auch erkennbar, daß diese Gleichgewichtslinie im Ostteil des Plateaugletschers höher liegt als in seiner westlichen Hälfte und daß sie in der Sailermulde bis gegen 2700 m absinkt.
- Die Akkumulationsperiode 1969/70 brachte erst ab Februar große Schneemengen (163 cm Wasserwert am Gletscher) und dauerte bis 5. Juni. Die Ablationsperiode umfaßte nur 114 Tage. Der Juni war übermäßig warm (12,6° Monatsmittel, Mitterberg). Juli und August waren reich an Wärmegewittern, fünfmal wurde durch Sommerschneefälle die Ablation unterbrochen. Die Massenbilanz war mit einem Massenverlust von 55.000 m<sup>3</sup> Wasserwert knapp negativ.
- 1970/71: Eine kürzere Akkumulationsperiode von 217 Tagen und wenig Winterschnee (83 cm Wasserwert am Gletscher). Am Beginn der Ablationsperiode (5. Mai) brachte kräftige Südströmung bereits sommerliche Wärme. Hingegen überwogen im kühlen Juni mit 24 Niederschlagstagen weitaus die Schneefälle. Der Juli mit 15,9° Monatsmittel (Mitterberg) brachte eine Hochdruckperiode von 13 Tagen und eine weitere Hitzeperiode mit SW-Strömung, welche sich bis in den August hinein erstreckte. Die Sonnenscheindauer am Matraschhaus erreichte im August

223<sup>h</sup>. Auch die erste Septemberwoche war noch Hochdruckwetter. Schon am 12. September endete die Ablationsperiode mit einem allerdings hohen Massendefizit von 1,2 Mill. m<sup>3</sup> Wasserwert.

1971/72: Auch dieser Winter war für den Gletscher schneearm (86 cm Wasserwert), erst der April hatte stärkere Schneefälle gebracht). Die Ablationsperiode begann am 13. Mai. Der Juni war niederschlagsreich mit häufigem Wechsel von Schnee und Regen. Noch niederschlagsreicher war der Juli (278 mm, Mitterberg), aber gradientschwach, und nur zweimal kam es zu Neuschneefällen. Eine Hitzeperiode in der ersten Hälfte des August führte zu starker Eisablation. Am 14. August zeigte der Thermoskript am Gletscher in 2770 m eine Mittagstemperatur von 13,6°. Am 18. August erfolgte bereits der Wintereinbruch am Gletscher. In diesem Haushaltsjahr war starke „Aufeisbildung“ (W. AMBACH, 1961) eingetreten. Das Massendefizit betrug 600.000 m<sup>3</sup> Wasserwert.

1972/73: Die lange Akkumulationsdauer von 274 Tagen brachte aber nur eine mittlere Winterrücklage von 141 cm am Gletscher. Von 20 Niederschlagstagen im Juni war die Hälfte mit Neuschnee verbunden, auch der Juli mit 23 Niederschlagstagen hatte sogar 13 Neuschneetage. Eine Hitzewelle vom 4.—19. August und eine zweite Hitzewelle vom 1.—9. September durch kräftiges Azorenhoch brachte das größte Massendefizit während der Hydrologischen Dekade mit 1,5 Mill. m<sup>3</sup> Wasserwert. Wintereinbruch am 21. September durch Vb-Lagen.

1973/74: Die Akkumulationsperiode von 283 Tagen Dauer und einem Wasserwert von 178 cm in 2770 m am Gletscher reichte bis Ende Juni. Auch im Juli brachten 12 von 16 Niederschlagstagen noch Neuschnee (NW und TR). Die hohen Rücklagen konnte selbst eine hochsommerliche Hitzewelle im August und eine zweite im September nicht aufbrauchen, da dazwischen wieder Sommerschneefälle erfolgten. Das Haushaltsjahr endete mit fast 1 Mill. m<sup>3</sup> Massengewinn (Wasserwert), der Wintereinbruch erfolgte am 21. September.

1974/75: Die Akkumulationsperiode mit den hohen Rücklagen von 255 cm Wasserwert endete am Gletscher erst am 20. Juni. Auch der Juli hatte von 17 Niederschlagstagen noch 6 mit Neuschnee. Der August (12,9° Monatsmittel, Mitterberg) brachte aber mit 12 Regentagen und nur einem einzigen Sommerschneefall erst am Monatsende die hohen Rücklagen zum Schwinden. Entscheidend war aber die Hitzewelle in der 2. Septemberhälfte bis anfangs Oktober, wobei das Septemberrmittel mit 13,3° (Mitterberg) sogar höher war als das Monatsmittel von Juli und August in diesem Jahr. Durch Südströmung mit Warmluft aus dem nordafrikanischen Raum (am 18. September in Mitterberg mittags 29°) wurden auch noch die großen Rücklagen des Vorjahrs aufgezehrt. Der Altschnee verfärbte sich fast schwärzlich, auf großen Flächen trat Eis-

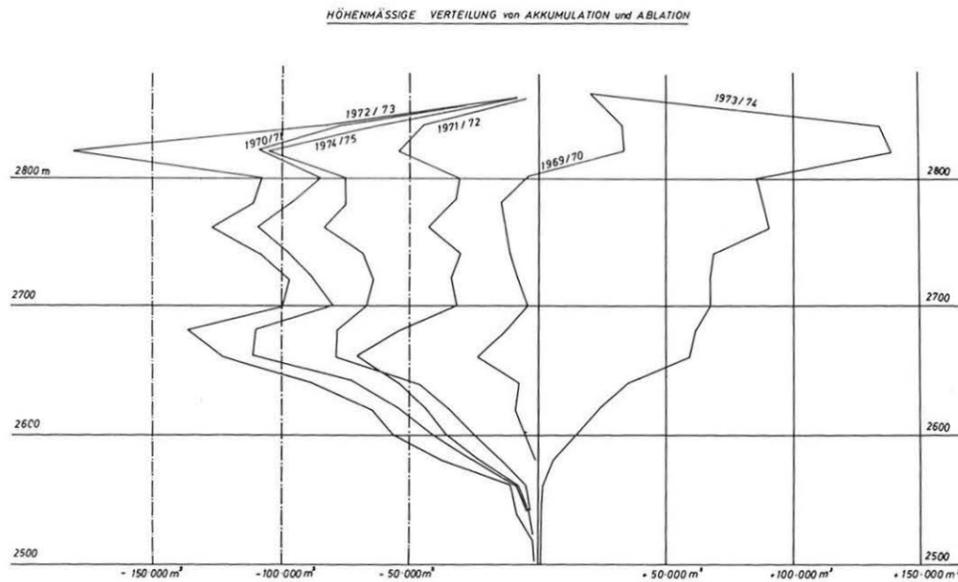


Diagramm 10: Höhenverteilung von Nettoakkumulations- und Nettoablationsbeträgen am Hochkönigsgletscher in angegebenen Jahren

ablation auf, und Schmelzwasserseen bildeten sich. Die Übergossene Alm als Plateaugletscher fiel mit einem hohen Massenverlust von 900.000 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent aus der Reihe der anderen Alpengletscher heraus.

Die Individualität des Plateaugletschers läßt besonders das Diagramm 10 mit der höhenmäßigen Verteilung von Akkumulation und Ablation in Höhenstufen zu 20 m erkennen. Der Kurvenverlauf der Haushaltsjahre 1970—1975 zeigt als entscheidende Höhenzone sowohl im positiven wie im negativen Sinne den Bereich zwischen 2800—2840 m auf, an den sowohl die größten Beträge an Nettoakkumulation (Bilanz 1973/74) wie auch an Nettoablation (Bilanz 1972/73) gebunden sind. Ein zweites Maximum, aber nur auf der Ablationsseite stark ausgeprägt, liegt zwischen 2660 und 2680 m, verursacht durch die hohen Ablationsbeträge des Sailer-gletschers.

### 5.1. SPEZIFISCHE BILANZEN

Von größtem praktischen Wert für die Ermittlung der Massenbilanz erwies sich eine Ausbuchtung der Kurven (Diagramm 10) im Bereich von 2760—2800 m. Hierfür werden auch noch die Kurven der spezifischen Bilanzen nach Höhenzonen von 20 m herangezogen (Diagramm 11). Aus ihrem Verlauf ersieht man, daß bei der Übergossenen Alm der Höhenfaktor eine viel geringere Rolle spielt als bei den anderen alpinen Gletschern.

Aus dem Verlauf der spezifischen Bilanzen 1970—1974 läßt sich eine große

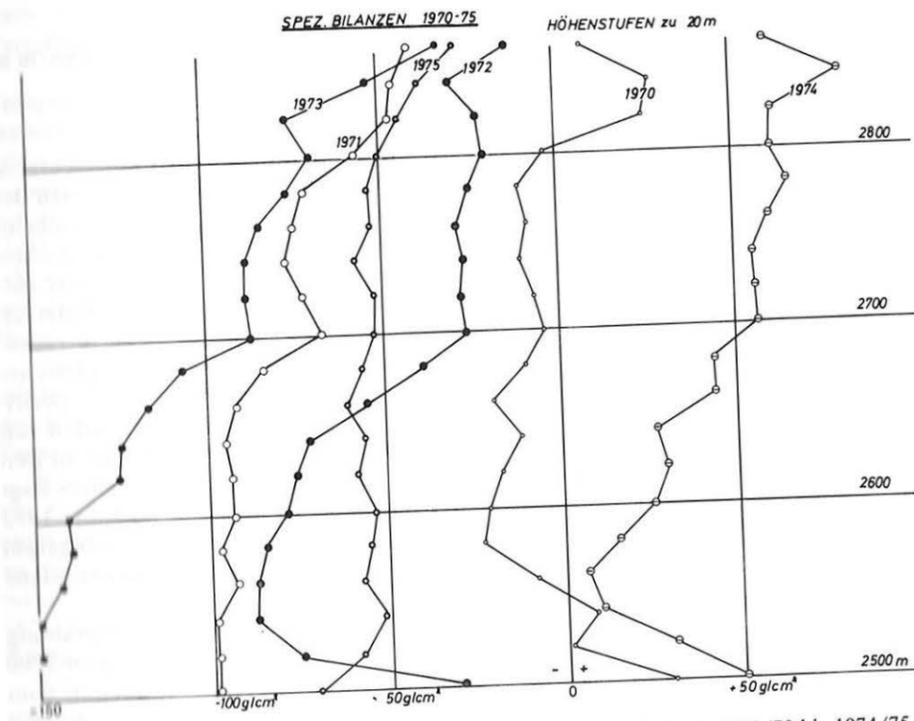


Diagramm 11: Spezifische Bilanzen in 20 m Höhenstufen für die Jahre 1969/70 bis 1974/75

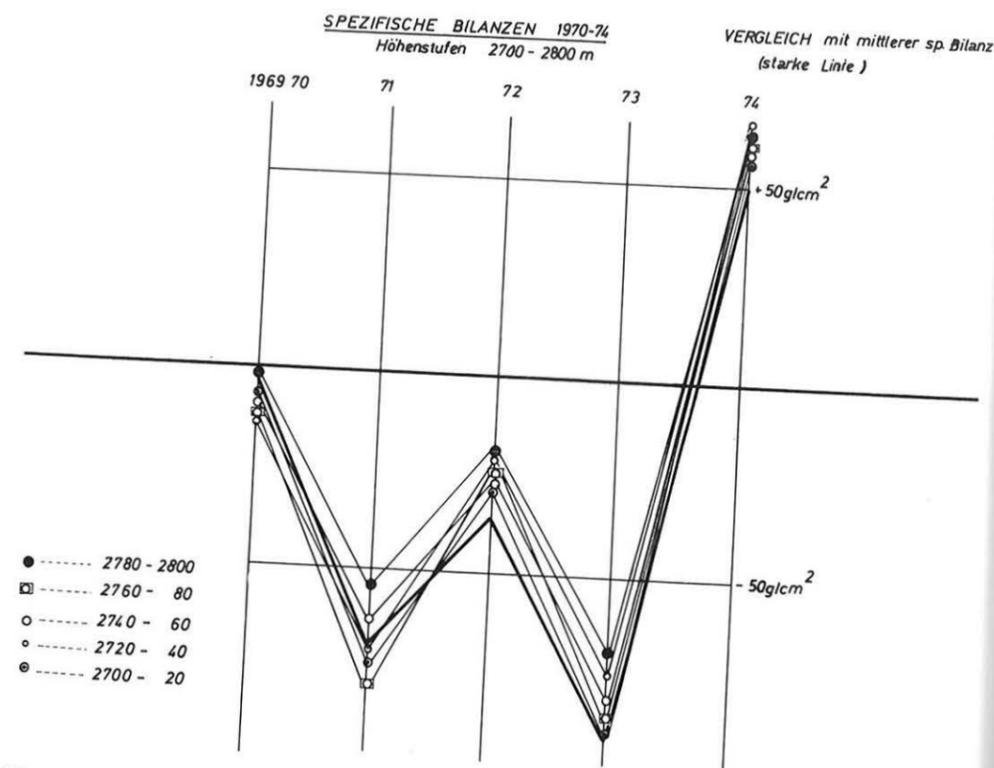


Diagramm 12: Spezifische Bilanzen in der Höhenstufe 2700 m bis 2800 m für die Jahre 1969/70 bis 1973/74

Gleichmäßigkeit der Kurven im Höhenbereich 2700–2800 m in allen Jahren erkennen. Es entspricht aber die spezifische Bilanz dieser Höhenstufe ziemlich genau der mittleren spezifischen Bilanz des Gesamtgletschers in einem Jahr. Damit erscheint beim Hochköniggletscher erreicht, was H. HOINKES (1970, S. 71) als methodisches Ziel langjähriger Haushaltsbeobachtungen hingestellt hat: Das Erfassen jener entscheidenden Zonen des Gletschers, deren Messung und Berechnung es gestattet, einen Annäherungswert für die Massenbilanz des gesamten Gletschers zu erstellen. Aus dem Diagramm 12 geht hervor, wie sehr diese Zone beim Hochköniggletscher mit seinen einfachen Reliefverhältnissen als repräsentativ für die mittlere spezifische Bilanz des gesamten Gletschers gilt. Das Diagramm stellt die Höhenstufen von je 20 m zwischen 2700–2800 m mit den Werten ihrer spezifischen Bilanz in den Jahren 1970–1974 dar. Die mittlere spezifische Bilanz des Gesamtgletschers liegt dabei in allen Jahren wertmäßig im Bereich dieses Zonenwertes, nur im Jahre 1972 bestand eine Abweichung von  $-6 \text{ g/cm}^2$ . In Hinkunft wird also mit viel geringerem Arbeitsaufwand am Gletscher ein befriedigender Näherungswert der Massenbilanz erhältlich sein.

Für die Berechnung des Massenhaushaltes 1974/75 standen die Schachtgrabung beim Totalisator (2770 m) und vier Pegelwerte in dieser Höhenzone zwischen 2700 und 2800 m zur Verfügung. Außerdem waren aufgrund von Luftaufnahmen vom 24. September 1975 die Ausaperungsmuster am Gletscher genau erfaßbar, so daß auch eine Karte mit Isolinien der Rücklagen und Ablation angelegt und ausgewer-

tet werden konnte. Als Gegenkontrolle wurde noch die kurzweilige Strahlungsbilanz des Sommers 1975 (siehe auch 11.) berechnet.

Diagramm 11 zeigt weiters, daß die spezifischen Bilanzen in den tieferen Bereichen starke Divergenzen aufweisen, ganz im Gegensatz zur Gleichartigkeit zwischen 2700 und 2800 m. Für den Bereich zwischen 2600 und 2660 m liegen die Ursachen beim Sailergletscher. Bei positiver Massenbilanz bewirken seine Rücklagen einen positiven Beitrag zur Bilanz dieser Höhenstufen, bei negativem Massenhaushalt aber in die andere Richtung.

Die stärksten Divergenzen treten jedoch noch tiefer, zwischen 2500 und 2600 m auf, wobei für diesen Bereich aber nur die Pegel W 5 b, W 6 und W 6 a zur Verfügung standen. In den Jahren mit Massenüberschuß bleiben in den Gletscherenden, durch die Muldenlage bedingt, noch größere Altschneereste zurück. In Jahren mit großem Massenverlust hat aber hier der Eiszerfall seine höchsten Beträge, zum Teil in Verbindung von Eisseen.

Auch die Überschneidung der Kurven von 1972 und 1975 ist auf diese Weise zu erklären. Beim frühen Wintereinbruch im Haushaltsjahr 1971/72 verblieben in den tiefsten Gletscherteilen noch Rücklagen, nicht aber 1974/75.

## 6. DIE TEMPERATURVERHÄLTNISSE

### 6.1. DER JAHRESGANG DER TEMPERATUR

Aus rund 4000 Tagesmitteln von Mitterberg (1440 m) der Jahre 1964–1975 wurde die Durchschnittstemperatur jedes Tages berechnet und im Diagramm 13 dargestellt. Mit Absicht wurde auf eine Zusammenziehung zu Pentaden verzichtet, um Verschleifungen der Temperaturwerte zu vermeiden.

Sehr interessant ist nun der Vergleich dieser Kurve mit dem Jahresgang der Temperatur, den M. ROLLER (1939, Abb. 3) vom Hochköniggipfel aufgrund der Jahresbeobachtungen 1935 und 1936 erstellte. Trotz der verschiedenen Zeiträume ergibt sich nur im Februar und März eine stärkere Abweichung, indem die Temperaturwerte von Mitterberg relativ niedriger und ausgeglichener sind. Der Temperaturunterschied zwischen den beiden Stationen Mitterberg (1440 M) und Matrashaus (2941 m) beträgt auch in diesen beiden Kurven durchschnittlich  $10^\circ$ . Dies wurde schon durch eigene Temperaturmessungen am Matrashaus in den Sommern 1969 und 1970 erwiesen (GOLDBERGER, 1973, Abb. 6, S. 299) und entspricht dem von H. Hoinkes (1970 A, S. 112) angegebenen mittleren Temperaturgradienten von  $0,6^\circ$ .

Ebenso wichtig wie der durchschnittliche Tageswert der Temperatur ist auch die mittlere Schwankung (Standardabweichung) und die Schiefe, welche die Verteilung der Extremwerte erkennen läßt. Diese beiden Werte wurden im Diagramm 13 in Pentadenwerten dargestellt.

Übereinstimmend mit der Temperaturkurve vom Hochköniggipfel von den Jahren 1935 und 1936 ergibt sich in der zweiten Dekade des Jänners und am Monatsende ein auffallender Temperaturanstieg. Die hohe Standardabweichung, welche zu dieser Zeit mit  $7,1^\circ$  ihr Jahresmaximum aufweist, deckt sich mit dem Temperaturanstieg um den 13. Jänner. Das Minimum der Standardabweichung von  $1,8^\circ$  am 28. Jänner zeigt, daß der Temperaturanstieg Ende des Monats alljährlich sehr regelmäßig eintritt.

Mitte Februar treten noch tiefe Kältewerte auf (wie M. ROLLER, 1939, S. 5). Dieses Temperaturminimum ist noch dazu mit einer hohen Standardabweichung und negativer Schiefe verbunden, was auf Extremwerte hinweist.

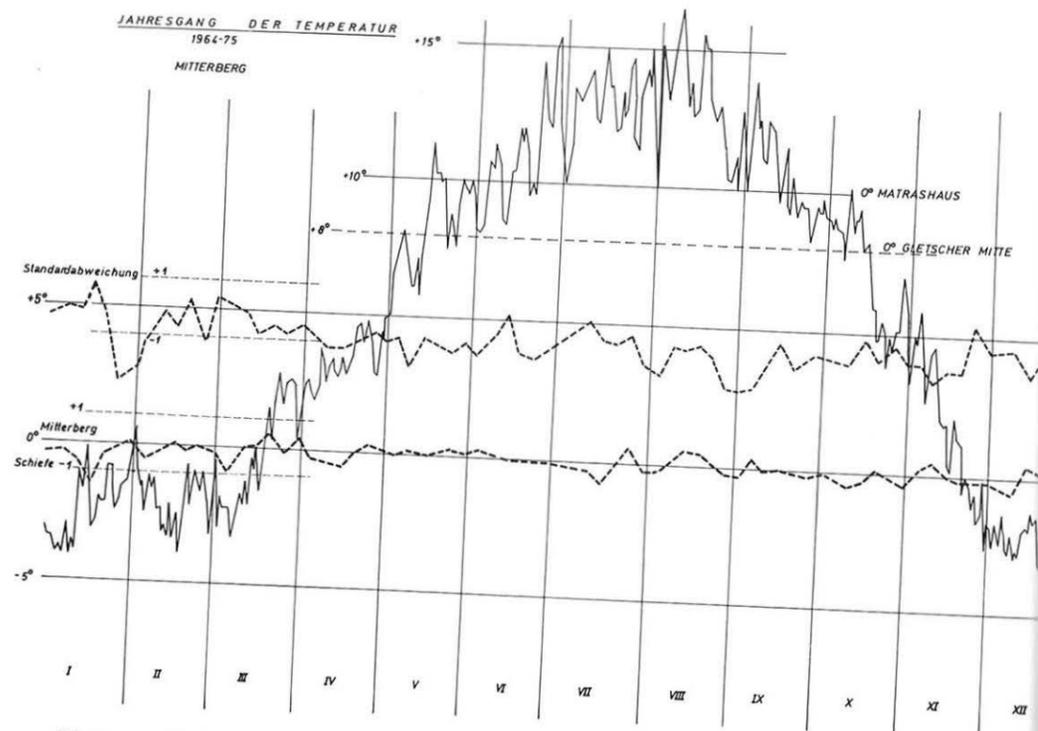


Diagramm 13: Jahresgang der Lufttemperatur der Station Mitterberg (1440 m) aus Tagesmitteln von 1964 bis 1975

Im März herrscht bis zur Monatsmitte noch ein Temperaturrückgang — in gleicher Weise beim Matrashauss wie beim Sonnblickgipfel. Dem nun folgenden steilen Temperaturanstieg in der zweiten Monatshälfte entspricht auch in der Kurve der Schiefe ein positiver Wert. Es treten nun erstmals höhere Temperaturwerte auf.

Im April zeigen die Temperaturen eine auffallend geringe Schwankung, sind aber mit einer Schiefe von  $-0,6$  verbunden. Die erste Monatshälfte neigt also noch zu negativen Extremen. In der dritten Dekade tritt neuerdings ein plötzlicher Anstieg ein, der mit einem Kälterückfall am 25. April abgeschlossen wird.

Der stärkste Temperaturanstieg des Jahres überhaupt erfolgt im Mai, und im Gletscherhaushalt ist damit der Beginn der Ablationsperiode gegeben (vergleiche Diagramm 5). Es zeichnen sich im Kurvenverlauf aber auch die Eismänner (12.—14. Mai) deutlich ab. Die Monate Mai und Juni zeigen bezüglich der Schiefe weitgehend eine Normalverteilung, da die Temperaturschwankungen jährlich mit großer Regelmäßigkeit auftreten. Der Wärmeanstieg Ende Mai bis Anfang Juni wird durch den Sommermonsun mit einem Kälterückfall unterbrochen (M. ROLLER, 1939, S. 13/14). Sehr deutlich sind im Juni die insgesamt vier Einschaltungen dieser monsonalen Strömungen ausgebildet.

Von größter Auswirkung für den Gletscherhaushalt im Juni und Juli ist der antizyklische Verlauf der Standardabweichung. Es treffen die größten Schwankungen mit den Monsunperioden zusammen, wobei die Schiefe sowohl positiv wie negativ sein kann. Dadurch wird der Monsun entweder in seiner Wirkung verstärkt oder aufgehoben. Es sind im Juni und Juli sowohl relativ kühle und feuchte wie auch

sehr heiße Perioden vertreten. Vor allem Mitte Juli herrscht eine hohe Standardabweichung und Ende des Monats ein starker Temperaturrückgang. Für den Gletscherhaushalt bedeutet dies häufiges Auftreten von Sommerschneefällen. Auch an der Wende Juli/August ist ein starker Kälterückfall ausgeprägt, obendrein durch ein Maximum an negativer Schiefe verstärkt (M. ROLLER, 1939, S. 13).

Die absoluten Temperaturspitzen treten meist um den 7. und 14. August auf (Tab. 6, Diagr. 13). In der letzten Dekade dieses Monats setzt aber dann ein rascher Temperaturrückgang ein.

Für den Temperaturgang des Jahres ist eine deutliche Asymmetrie kennzeichnend: Die Phase der Abkühlung geht nämlich doppelt so rasch vor sich. Sechs Monaten der Erwärmung stehen nur drei Monate der Abkühlung gegenüber.

Der Monat September hat mit seinen Schönwetterperioden an der Ablation oft noch einen entscheidenden Anteil, wie sich besonders 1975 zeigte. Der „Altweibersommer“ ist mit einer positiven Schiefe und einer nur geringen Schwankung begleitet, er tritt also stark und oft in Erscheinung. Die zweite Hälfte des Septembers mit seinem raschen Temperaturrückgang und vorwiegend negativer Schiefe führt das Ende der Ablationsperiode herbei. Im Diagramm 13 ist dies auch erkenntlich, da die Temperaturkurve die  $8^{\circ}$ -Linie ( $=0^{\circ}$ -Linie der Gletschermitte) erreicht.

## 6.2. DAUER DER PERIODEN

Die Ablationsperiode beginnt am Hochköniggletscher durchschnittlich mit der zweiten Dekade im Mai und endet um den 5. Oktober, das sind im Mittel 140 Tage (Diagramm 13). Bezogen auf das Matrashauss, ergibt dieses Diagramm durchschnittlich 75 frostfreie Tage im Jahr. Das entspricht auch den von M. ROLLER (1939, S. 16) angeführten Werten: im Jahre 1935 71 frostfreie Tage, 1936 aber nur 63.

Im Ablationsprozeß der Übergossenen Alm sind daher die Monate Juni und Juli entscheidend für den größeren oder kleineren Verbrauch an Altschnee und Rücklagen vom Vorjahr, während im August und September in manchen Jahren auch die Eismasse stark abgeschmolzen wird und dann — wegen der niedrigen Albedo — erhebliche Massenverluste eintreten (z. B. in der Hitzeperiode in der 1. Augusthälfte 1972 starke Eisablation).

Am 22. September ist eine sehr deutliche Einschaltung in der Temperaturkurve des Diagramms 13 ersichtlich, zugleich auch eine hohe negative Schiefe, desgleichen auch am 5. Oktober. Das sind erfahrungsgemäß häufige Termine für den Wintereinbruch am Gletscher (Tab. 7).

Ab Mitte Oktober wird der Temperaturrückgang sehr steil und erreicht im November den schärfsten Abstieg des Jahres. In der ersten Dekade des Novembers vermag aber eine hohe positive Schiefe den Temperaturrückgang manchmal noch etwas aufzufangen. In der letzten Dekade tritt dann durch eine große negative Schwankung das Gegenteil ein. Im Dezember ist das Weihnachtstauwetter sehr ausgeprägt. Insgesamt geht aus der Temperaturkurve hervor, daß sich der Wintereinbruch in einem viel engeren Zeitraum abwickelt, während am Ende der Akkumulationsperiode große Verzögerungen vom Mai bis Ende Juni möglich sind.

## 7. DIE NIEDERSCHLÄGE

Die Reihenfolge der Monate in Prozenten des Jahresniederschlags, berechnet aus den Niederschlägen von Mitterberg 1964—1975, ist folgende (Monatssummen siehe Tab. 8):

Juli	12,8 %	März	7,2 %
August	12,4 %	Dezember	7,1 %
Juni	11,0 %	September	7,1 %
April	8,6 %	Jänner	6,4 %
Mai	8,5 %	Feber	6,1 %
November	7,5 %	Oktober	5,3 %

Für den Gletscherhaushalt der Übergossenen Alm ist es äußerst bedeutsam, daß die Monate der Ablationszeit zugleich die niederschlagsreichsten sind, nur der September macht eine Ausnahme. Deshalb kann er auch in manchen Jahren noch zu einer negativen Massenbilanz führen. Mit dem Niederschlagsreichtum nimmt aber nach F. FLIRI (1964, S. 4) auch der Anteil an Sommerschneefällen zu. Es ergibt sich für den Gletscherhaushalt daraus ein doppelter Vorteil: geringere Temperatur und Sonneneinstrahlung und außerdem eine maximale Albedo durch die häufigeren Sommerschneefälle.

Im Diagramm 14 sind der Niederschlag Mitterberg 1964—1975 in Pentaden und die mittlere Schwankung dargestellt. Im Jänner ist die Monatsmitte auffallend niederschlagsarm. Die hohe Variabilität im Februar (F. FLIRI, 1974, S. 42/43) wirkt sich in einer großen Zahl von Niederschlagstagen bei nur geringer Niederschlagsmenge aus. Das gleiche gilt für den März, besonders für die Monatsmitte. Im April steigt das Niederschlagsniveau kräftig an, in der ersten Pentade infolge der großen Niederschlagsdichte, in der Monatsmitte durch große Niederschlagshäufigkeit.

### 7.1. BEZIEHUNGEN ZWISCHEN NIEDERSCHLAG UND TEMPERATUR

Der Vergleich der beiden Diagramme vom Jahresgang der Temperatur (Diagramm 13) und des Niederschlags (Diagramm 14) läßt bereits die wechselnden Beziehungen zwischen den beiden verfolgen. Im Februar verlaufen die Kurven identisch, den Niederschlagsgipfeln entsprechen meist auch höhere Temperaturen. Besonders in der zweiten Dekade sind die Tage mit tiefen Temperaturen auch niederschlagsarm. Im März löst sich diese Beziehung wieder. Im April tritt nun sehr klar bezüglich der Temperaturen eine Umkehr ein, indem die kühleren Tage zugleich auch die niederschlagsreichsten sind.

Sehr klar ist dann im Mai und Juni die Gegenläufigkeit von Temperatur und Niederschlag ausgeprägt. Der Rhythmus der monsonalen Strömungen entspricht den Temperatureinsparungen. Sehr regenreich ist im Juni die zweite und dritte Dekade (als Einzeltag besonders der 24. Juni mit 12 Niederschlagstagen in 12 Jahren). Für den Gletscherhaushalt ist der Juni mit seinen vielen Niederschlagstagen und der hohen Niederschlagssumme sehr günstig. Seit dem Jahre 1901 waren die Niederschläge des Juni in Mitterberg nur im Jahre 1930 unter 100 mm, dagegen aber in 26 Jahren über 200 mm. Viel häufiger ist hingegen ein trockener Mai, in welchem bereits die Ablation stark an den Winterrücklagen zehrt. Seit 1901 waren in Mitterberg im Mai 21 Jahre unter 100 mm Niederschlag und nur 10 Jahre über 200 mm.

Im Niederschlagsgang des Juli treten nicht nur hohe Tageswerte, sondern auch das Maximum an positiver Schiefe in Erscheinung, oft durch Gewitterregen am Gletscher bedingt. Gewitterregen vermögen die Albedo am Gletscher stark zu sen-

## NIEDERSCHLAG Mitterberg 1964-75

Pentaden

untere KURVE: mittlere Abweichung

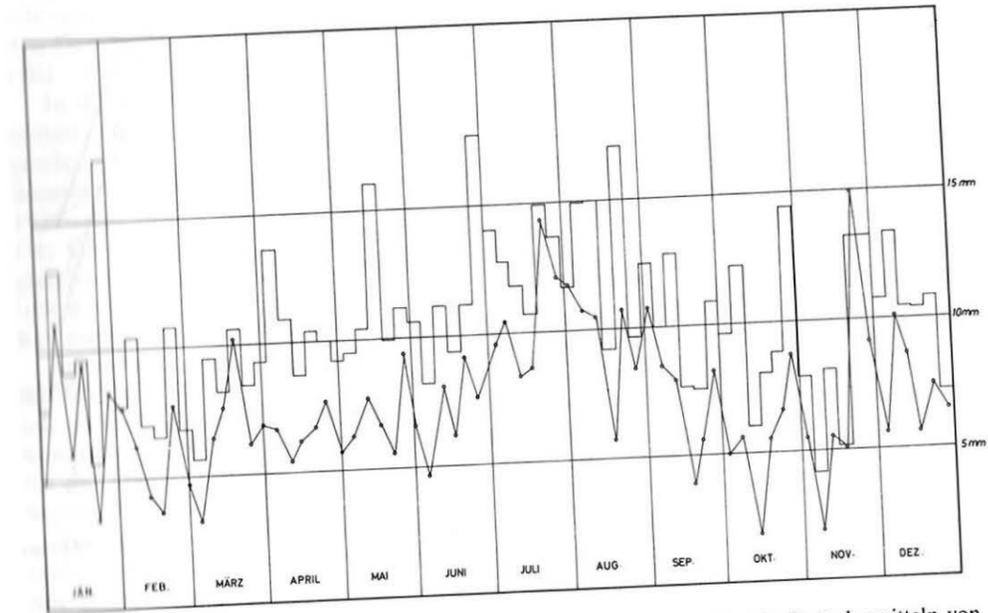


Diagramm 14: Jahresgang der Niederschlagsmengen von Mitterberg (1440 m) in Pentadenmitteln von 1964 bis 1975, mittlere Abweichung in %

ken, sie können aber auch durch Abkühlung zu Neuschneefällen führen. Im Juli ist die höchste Schwankung der Niederschlagsmenge festzustellen, und dadurch unterscheidet sich dieser Monat bezüglich des Gletscherhaushalts ungünstig gegenüber dem Juni.

Im August deutet das häufige Zusammentreffen von Niederschlagsgipfeln mit den Wärmespitzen auf Wärmegewitter (besonders in den Jahren 1967, 1969, 1971 und 1975). Im August ist aber sowohl die mittlere Schwankung wie die Schiefe geringer als im Juli. Nur drei Jahre seit 1901 blieben unter 100 mm Monatsniederschlag im August: 1939, 1944 und 1947. Für den Gletscherhaushalt bedeutet ein trockener August aber hohen Massenverlust, wie besonders im Sommer 1947.

Die Witterung im September ist für den Gletscherhaushalt oft wichtiger als die der Sommermonate (H. HOINKES, 1970, S. 81). Vor allem ist das Ende der ersten Dekade oft niederschlagsarm („Altweibersommer“). In der letzten Dekade nehmen aber Niederschlagstage und Niederschlagsmenge zu, ein rascher Wechsel der Schiefe tritt ein, und damit beginnt häufig die Akkumulationsperiode.

### 7.2. DAS VERHÄLTNISS ZWISCHEN WINTERNIEDERSCHLAG ZU SOMMERNIEDERSCHLAG

In den beiden Diagrammen 15 und 16 sind die Niederschläge von Mitterberg (1440 m) seit dem Jahre 1901 in den Anteilen der Monate am Jahresniederschlag dargestellt. Für den Gletscherhaushalt ist dabei das Verhältnis Niederschlag der Akkumulationsperiode (X—IV) zum Niederschlag der Ablationsperiode (V—IX)

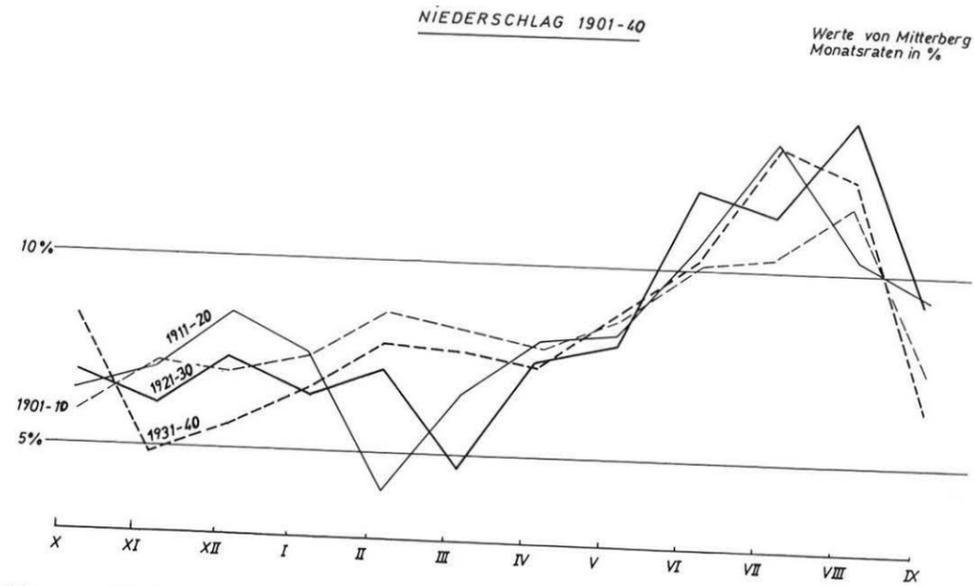


Diagramm 15: Anteile der Monatsniederschlagsmengen an der Jahressumme von Mitterberg (1440 m) für Dezennien von 1901 bis 1940

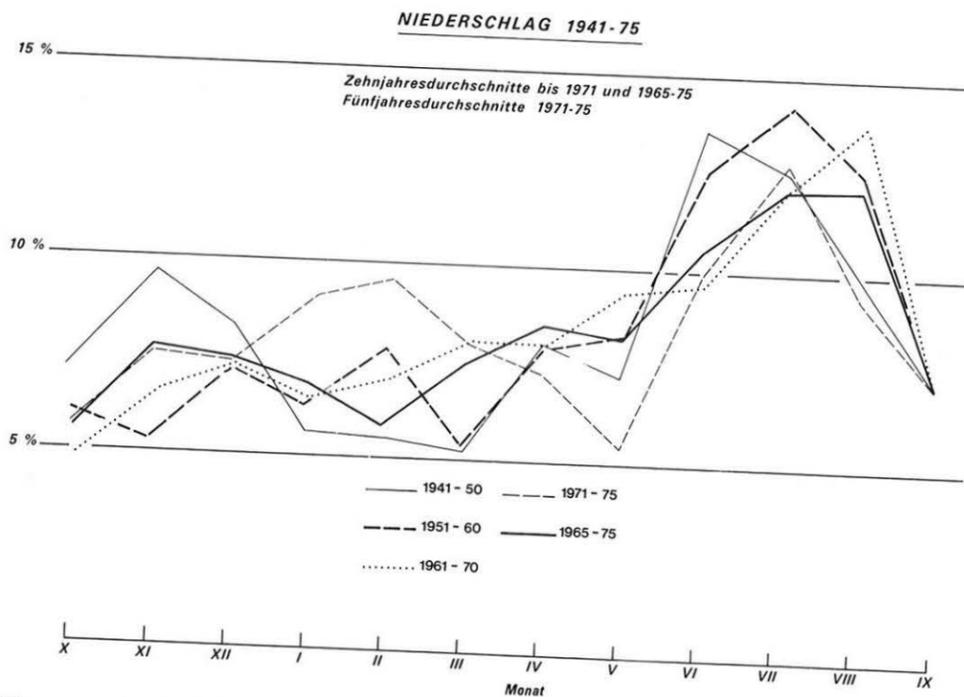


Diagramm 16: Anteile der Monatsniederschlagsmengen an den Jahressummen von Mitterberg (1440 m) für Dezennien von 1941 bis 1975

wichtig. Um den Massenhaushalt am Hochköniggletscher aufrechterhalten zu können, kommt es vor allem auf hohe Sommerschneefälle an. Bezüglich der Niederschlagsmenge überhaupt ist die geringe Schwankung der „Normalzahl“, welche den Durchschnittswert einer oder mehrerer Dekaden angibt, auffallend. Sie betrug 1901—1951 1641 mm, 1951—1961 1644 mm, 1961—1971 1657 mm.

In der Dekade 1901—1911 war ein hoher Anteil der Niederschläge der Akkumulationsperiode von 52 % gegenüber nur 48 % der Ablationsperiode. In der folgenden Dekade 1911—1921 ging aber der Winterniederschlag auf 48 % zurück, die Sommerniederschläge stiegen auf 52 % an. Noch stärker kommt diese Tendenz 1921—1931 mit einer Zunahme der Sommerniederschläge auf 54 % zum Ausdruck. Der Gletschervorstoß der zwanziger Jahre ist darin begründet. Es verschob sich gleichzeitig das Niederschlagsmaximum vom Juli auf den August, was sich vermutlich durch eine Erhöhung der Sommerschneefälle positiv auf den Gletscherhaushalt auswirkte. Auch der sehr hohe Junianteil spricht für den Massengewinn.

Im Jahrzehnt 1931—1941 ist der sehr hohe Oktoberniederschlag das Zeichen eines frühen Winterbeginns. Bemerkenswert ist auch, daß der April in allen Jahrzehnten die geringsten Schwankungen im Mittelwert der Niederschläge aufweist. Die Sommerniederschläge gehen in dieser Dekade wieder auf 52 % zurück. Ungünstig für den Haushalt des Hochköniggletschers war auch der Rückgang der August- und Septemberniederschläge.

Eine ungünstige Entwicklung weist die Dekade 1941—1951 auf, der Niederschlag der Ablationsperiode geht auf 46 % zurück, das Minimum seit 1901. Der weitere starke Rückgang der Augustniederschläge läßt die hohe Ablation am Hochköniggletscher in dieser Zeit erkennen.

In dem Jahrzehnt 1951—1961 sind die Niederschläge der Akkumulationsperiode im Durchschnitt gering, mit einem Minimum im März. Dafür weisen die Niederschläge der Ablationszeit nun ein Maximum von fast 55 % auf. Die Gletschermessungen auf der Übergossenen Alm 1951—1961 (Mitteilungen des Österreichischen Alpenvereins, 1952—1960) lassen eindeutig die hohen Rücklagen an Altschnee erkennen.

In der nächsten Dekade, 1961—1971, ist das Minimum wiederum im Jänner, das Maximum im August, der Niederschlag der Ablationsperiode geht aber auf 52 % zurück. Schließlich zeigt die Kurve des Zeitraums 1971—1975 einen viel stärker akzentuierten Verlauf, so sehr werden bei einem längeren Durchschnitt die Werte nivelliert. Die Winterniederschläge 1971—1975 zeigen ein Frühwintermaximum, gefolgt von einem Hochwinterminimum und einem sekundären Maximum im April. Der Großteil der Niederschläge der Ablationszeit fiel bereits im Juni, während der Augustniederschlag stark zurückging. Darin ist auch der Massenverlust der Jahre 1971 und 1973 enthalten, verschleiert allerdings durch das Jahr 1972, in welchem die Ablation schon am 18. August endete.

Es ist aber auch die Wirkung der Sommerniederschläge komplex, wie die Gewitterregen im Juli und August zeigen. Von großer Bedeutung für den Gletscherhaushalt der Übergossenen Alm ist aber die Feststellung, daß sich niederschlagsarme Jahre viel stärker auf den Winter auswirken. Niederschlagsarme Jahre sind meist schneearme Jahre, es schwanken die Niederschlagsmengen während der Akkumulationsperiode stärker, während ihr Sommeranteil relativ hoch bleibt.

### 7.3. FESTER NIEDERSCHLAG UND SOMMERSCHNEEFÄLLE

Bisher wurde nur das Verhältnis zwischen Niederschlag in der Akkumulationsperiode (X—IV) und Niederschlag in der Ablationsperiode (V—IX) verglichen. Die täglichen Beobachtungen am Matrashaus während der Sommer 1970—1975 erlauben nun auch eine Angabe des Schneeanteils am Gesamtniederschlag. Der Niederschlag in der Akkumulationsperiode wurde zur Gänze als Schnee gerechnet, die Sommerschneefälle sind direkt beim Matrashaus beobachtet worden. Wie Diagramm 17 zeigt, ist dieser Parameter für den Massenhaushalt sehr wichtig, wie das Haushaltsjahr 1970/71 im negativen Sinne, das Haushaltsjahr 1973/74 im positiven Sinne erkennen läßt. Bei den Sommerschneefällen ist aber nicht allein die Menge des festen Niederschlags, sondern oft noch mehr die zeitliche Verteilung maßgebend. Trotz bedeutenden Schneeanteils war das Haushaltsjahr 1972/73 stark negativ, während das Haushaltsjahr 1971/72 bei geringem Schneeanteil nur schwach negativ endete.

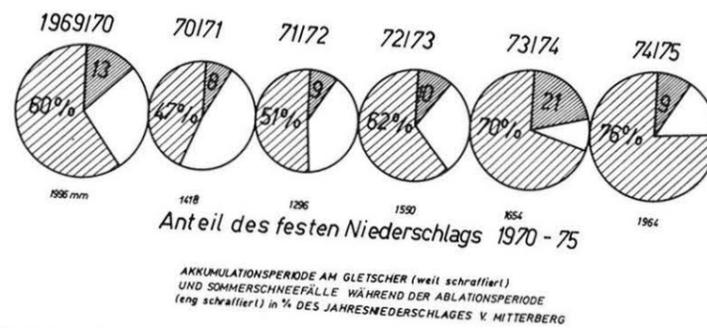


Diagramm 17: Anteil des festen Niederschlags am Hochköniggletscher in den Jahren 1969/70 bis 1974/75

Im Durchschnitt der sechs Haushaltsjahre 1969/70—1974/75 betrug der Niederschlag in fester Form beim Hochköniggletscher nur etwas über 70 % vom Jahresniederschlag, die Schwankungen von Jahr zu Jahr sind aber sehr bedeutend (Diagramm 17). H. HOINKES und G. WENDLER (1968, S. 229) hatten bei den Gletschern im Venter Tal (Öztaler Alpen) einen viel höheren Schneeanteil von mehr als 80 % festgestellt. Der größere Wert ist nicht nur in der Höhenlage, sondern auch in der verschiedenen jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge in beiden Gebieten bedingt.

Die Sommerschneefälle Juli bis September machen beim Hochköniggletscher im Durchschnitt 12 % des Jahresniederschlags 1970—1975 (Werte von Mitterberg) aus (mittlere Schwankung 4,9 %) und 42 % des Niederschlags vom Juli bis September. Auf die entscheidende Bedeutung der Sommerschneefälle haben besonders F. FLIRI (1964), H. HOINKES (1970), F. SAUBERER und I. DIRMHORN (1960), F. SCHEIBNER und W. MAHRINGER (1968), H. TOLLNER (1969) und H. WAKONIGG (1971 A, B) hingewiesen.

Der Prozeß der sommerlichen Ablation wird von den Sommerschneefällen immer wieder unterbrochen. Je größer der Abstand der Sommerschneefälle, umso mehr sinkt die Albedo ab, während das Ausmaß der Ablation umso rascher wächst. Es kommt daher der Zeitspanne zwischen den Neuschneefällen eine wichtige Funktion zu. Die Wirkung der Sommerschneefälle ist auch umso größer, je später in der Ablationszeit sie fallen (W. V. TRONOW, 1962). Die Albedo des Altschnees ist näm-

lich im Juni noch ziemlich hoch, die Schneefälle werden also die Ablation nicht so grundlegend vermindern als im August oder im September. Es kann also weder die Zahl noch die Menge der Sommerschneefälle für sich allein das Ausmaß der Ablation bestimmen, sondern es handelt sich auch hier um eine differenzierte Wirkung. Die Tabelle 9 zeigt z. B. vom Sommer 1973, welcher den größten Massenverlust in der Beobachtungszeit 1965—1975 aufwies, zwar eine hohe Anzahl von Neuschneetagen, dabei aber eine Zeitspanne von 24 neuschneefreien Tagen im August. Im Sommer 1975 waren es sogar 30 Tage ohne Sommerschneefälle, Ende Juli bis Ende August, welche trotz hoher Rücklagen zu einem Massendefizit führten. Im Sommer 1971 war der Anteil der Sommerschneefälle an den Sommerniederschlägen zwar 30 %, aber sie traten schon vorwiegend im Juni auf und ihre Wirkung war daher relativ gering.

### 8. WETTERLAGEN UND GLETSCHERHAUSHALT

In Erweiterung der Wetterlagenkunde von F. FLIRI (1962, 1974) wurde die spezifische Wirksamkeit der Wetterlagen auf den Gletscherhaushalt untersucht, sowohl anhand der Klimawerte von Mitterberg wie auch durch die Beobachtung am Hochköniggletscher selbst.

Als Grundlage diente die bewährte Klassifikation ostalpiner Wetterlagen von F. LAUSCHER (1958, 1972, Tab. 10). Für die Bestimmung der Wetterlage wurden die Wetterkarte der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, der Wetterbericht der Wetterwarte Salzburg und die Tagesaufzeichnungen der Wetterstelle Mitterberg (Gewitter, Föhn) herangezogen. Die für den Zeitraum von 1964—1975 erstellte Wetterlagenstatistik brachte gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen von F. FLIRI (1974, S. 40—63).

Nach A. u. F. LAUSCHER (1971, S. 22) ist „jede Wetterlage ein Individuum . . . es gibt wirkungsvolle und wirkungsarme Mitglieder“. Durch die Auswertung von zwölf Jahren mit mehr als 13.000 Terminwerten wurde der Jahresgang der Wetterlagen, ihre wechselnde Niederschlagsbereitschaft, die Mengenstruktur der Niederschläge, vor allem aber auch die Temperaturanomale der Wetterlagen anhand des Datenmaterials von Mitterberg errechnet und in Beziehung zum Gletscherhaushalt gebracht.

Großwetterlagen haben eine große Reichweite, aber ihre Wetterwirksamkeit ist regional sehr verschieden. Einen ersten Überblick über die Wetterlagenstruktur der Akkumulationsperiode (X—IV) und der Ablationsperiode (V—IX) gibt Diagramm 18. Dabei ist im Sommer eine Trennung in eine „Kaltwettergruppe“ und eine „Warmwettergruppe“ nach F. FLIRI (1962, S. 168) vorgenommen worden.

Für den Gletscherhaushalt ist die allgemeine Zunahme der Niederschlagsbereitschaft von der Akkumulationsperiode zur Ablationsperiode sehr bedeutsam. Dabei erfolgen bei den einzelnen Wetterlagen differenzierte Veränderungen, welche die Tabelle der Niederschlagsbereitschaft (Tab. 11) angibt. Während im Winter die NW-Lage höchste Werte in der Niederschlagsbereitschaft aufweist, tritt in der Ablationsperiode die W-Lage an ihre Stelle. Auch die Nordlage verliert im Sommer bedeutend an Niederschlagsbereitschaft, dagegen zeigen die TiS-Lage und die südliche Höhenströmung eine kräftige Zunahme.

Ähnliche Verschiebungen erfolgen im Jahresgang der Niederschlagsmenge (Tab. 11, 12). Die Reihenfolge der niederschlagsreichsten Wetterlagen im Untersuchungsgebiet während der Akkumulationsperiode lautet: NW, W, TM, N, TR, TB. In der Ablationsperiode ändert sich die Rangfolge: TM, TR, NW, TB, W, H, N,



trashaus geht aber eindeutig die starke Beteiligung der TR-Lage an den Sommerschneefällen (18 Schneetage gegenüber 9 Regentagen 1970–1974) hervor. Vor allem sprechen dafür auch die Werte der Temperaturanomalie der TR-Lagen, sie betragen nämlich für den Zeitraum 1964–1975 im Juli um  $2,6^\circ$ , im August sogar um  $2,8^\circ$  und auch im September noch  $3,5^\circ$  unter dem Tagesdurchschnitt (Werte von Mitterberg). Da bei Durchgang eines Troges zuerst eine Warmfront, dann aber eine Kaltfront durchzieht (A. u. F. LAUSCHER, 1971, S. 19), erscheinen bei der Höhenlage des Hochkönigglatschers die Sommerschneefälle durchaus möglich.

## 8.2. ANALYSE DER WETTERLAGEN: HOCHDRUCKLAGE H

Neben der nach Monaten aufgliederter Verteilung der einzelnen Wetterlagen und ihrer Veränderlichkeit, wie sie in Standardabweichung und Schiefe erkenntlich ist, wurde auch die Aufeinanderfolge und Kombination mit anderen Wetterlagen zu erfassen gesucht, ebenso auch die Andauer bestimmter Lagen.

Im Jahresdurchschnitt aus dem Beobachtungszeitraum 1964–1975 sind 85 Tage mit H, wovon auf die Akkumulationsperiode durchschnittlich 46 Tage, auf die Ablationszeit nur 39 Hochdrucktage entfallen. Das Oktobermaximum der Hochdrucklage mit durchschnittlich 12 Tagen (Tab. 16) ist aber für den Gletscherhaushalt nicht mehr sonderlich wirksam. Ein zweites, untergeordnetes Maximum im Dezember mit durchschnittlich 7 Hochdrucktagen kann sich in manchen Jahren bis auf 14 Tage erstrecken, wobei negative und positive Temperaturanomalie sehr stark wechseln (Tab. 21 und Diagramm 20). Erst im Jänner macht sich die negative Temperaturanomalie der Hochdrucklage in Strahlungswetter und strenger Winterkälte bemerkbar, vor allem bei Übergang zu HZ ( $-2,7^\circ$  Anomalie) und noch mehr bei HF

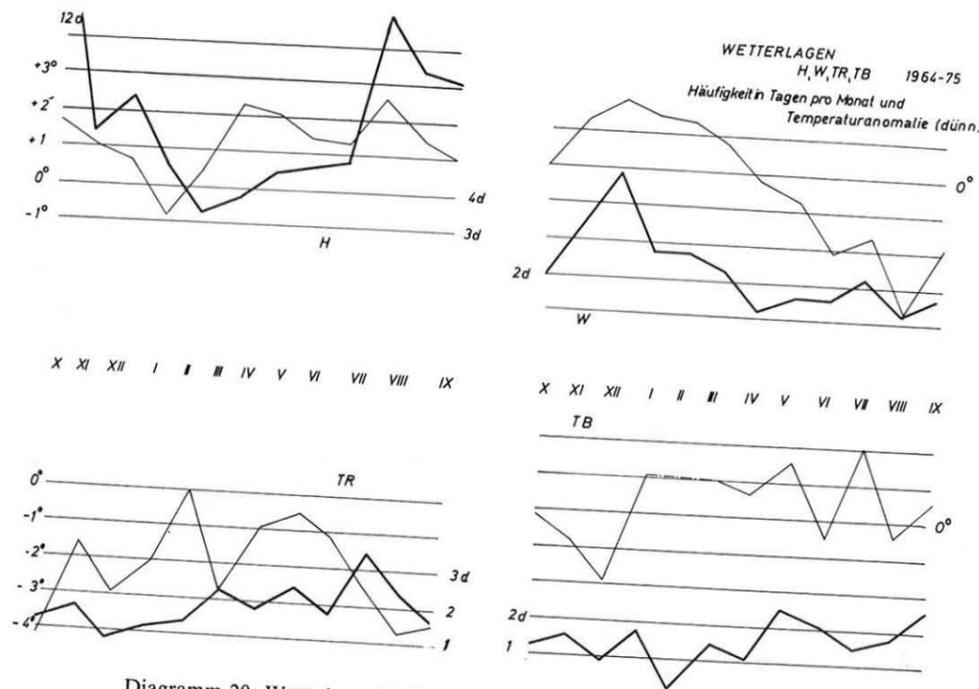


Diagramm 20: Wetterlagenhäufigkeiten in Tagen pro Monat, 1964 bis 1975

( $-3,0^\circ$ ), ähnlich auch bei dem häufigen Übergang zu HiE ( $-2,8^\circ$  Anomalie, Werte von Mitterberg), wobei die Inversion infolge der Hanglage von Mitterberg 500 m über Mühlbach keine wesentliche Rolle spielen dürfte.

Nach dem Minimum der Hochdrucklage im Februar steigt nicht nur die Zahl der Hochdrucktage im März und April wieder an, sondern besonders auch die positive Temperaturanomalie (Tab. 21). Größte Auswirkung auf den Ablationsvorgang hat der Hochdruckgipfel im Juli und August (Tab. 17 und 18, Diagramm 20). Im Durchschnitt sind es je 10 und 9 Hochdrucktage, verbunden mit hoher positiver Temperaturanomalie ( $+2,6^\circ$ ) und in Zusammenhang damit auch die hohe Gewitterbereitschaft (F. FLIRI, 1962, S. 137). Dadurch hat die Hochdrucklage innerhalb der Regengruppe eine führende Stellung. Die nach Gewitterregen auftretende starke Verschmutzung der Rücklagen infolge der Ansammlung des Kryokonits steigert die Ablation noch im weiteren Maße. Hitzeperioden mit einer Andauer von zwei Wochen traten im Juli 1968 (27. 6.–10. 7.), 1969 (15.–28. 7.) und 1971 (2.–14. 7.; Mittagstemperaturen in Mitterberg  $25^\circ$ – $26^\circ$ ) auf, welche die Rücklagen des Plateaugletschers stärkstens aufzehrten. Sehr deutlich machen sich die warmen und trockenen Sommer 1970, 1971, 1973 und 1975 in der Statistik der Hochdrucklagen mit über 50 Tagen H und HZ in den Ablationsperioden dieser Jahre bemerkbar (Tab. 18). Die Ablationsbeträge erreichten 1973 bei Pegel W 6a  $-126$  cm Wasserwert, bei Z 19  $-151$  cm und bei 12b  $-153$  cm Wasserwert).

Die Hitzeperioden im August sind in ihrer Ablationswirkung oft durch den Übergang in Hz und SW-Strömung mit subtropischen Luftmassen gesteigert (Sommer 1971, 31. 7.–7. 8., und 1973, 4.–19. 8.). Im September ist das spätsommerliche Schönwetter durch antizyklonalen Föhn, durch Übergang zur Hochdruckzone oder durch Südströmung (1975) in maximaler Eisablation auf der Übergossenen Alm wirksam.

## 8.3. HOCHDRUCKLAGEN h, HZ, HF, HNw, HiE

Mancher dieser Wetterlagen ist trotz geringer Häufigkeit eine große Wirksamkeit an Ablation zu eigen. Beim Zwischenhoch ist die fast durchgehend negative Temperaturanomalie bemerkenswert (Tab. 21). Im Jahresgang und auch im Vergleich der Jahre untereinander hat diese Wetterlage nur eine geringe Schwankung (Tab. 16 und 17). Im Jahresdurchschnitt sind 33 Tage mit h, mit einem Maximum im Juni und einem Rückgang im Hochsommer. Da seine Niederschlagsbereitschaft im Sommer nur 29 % beträgt, ist auch die Beteiligung an Sommerschneefällen eher irregulär.

Die Hz-Lage hat eine außerordentlich hohe Standardabweichung und hohe positive Schiefe. Häufungen treten im Oktober in Verbindung mit  $+2,1^\circ$  Temperaturanomalie, im Jänner aber mit  $-2,7^\circ$  Anomalie auf. Im März bringt die Hochdruckbrücke von den Azoren bis Rußland eine starke Erwärmung. Den Höhepunkt ihrer Wirksamkeit auf den Gletscherhaushalt entfaltet sie aber im September mit Strahlungswetter und oft noch einer Hitzewelle. Im Herbst 1973 hatten 96 Stunden Sonnenscheindauer innerhalb von 8 Tagen (2.–9. September) entscheidenden Anteil am größten Massenverlust des Hochkönigglatschers während der Hydrologischen Dekade. Pegel 7b hatte z. B. am 5. September bereits 43 cm Eisablation, während bei der letzten Begehung vorher, am 16. August, noch 60 cm Altschnee gemessen wurden.

HF gehört zu den sehr seltenen Wetterlagen mit nur 2 % Jahresanteil (1964–1975). Im Dezember fehlt sie fast völlig. Die im Jänner auftretenden Kaltluftmassen sind aber oft an HF gebunden (F. FLIRI, 1962, S. 141). Gelegentlich tre-

ten HF-Lagen auch im März, Juni und August noch auf, meist im Gefolge einer Hochdruckperiode.

HNW ist noch seltener und unregelmäßiger. Im Jänner fehlte sie in der Beobachtungszeit überhaupt, im Februar und März ist sie durch Kaltluftzustrom gekennzeichnet. Im Sommer gewinnt sie an Gewicht. Entsprechend der Temperaturanomalie (im Juli  $1^\circ$  unter dem Tagesdurchschnitt, im August aber sogar  $2,7^\circ$  über dem Durchschnitt) ist diese Wetterlage sowohl in der Schnee- als auch in der Regen-Gruppe vertreten.

HiE tritt durchschnittlich an 13 Tagen im Jahr auf. Im Hochwinter bringen HiE-Lagen mit ihren arktischen Luftmassen Kältewellen. Im Sommer hat die HiE-Lage die geringste Niederschlagsbereitschaft unter allen 16 ostalpinen Wetterlagen. Im Juli hat sie aber die höchste positive Temperaturanomalie unter allen Wetterlagen ( $+6,7^\circ$ ), meist als Ausklang einer Hochdruckperiode. Gleichzeitig tritt häufig Föhn auf, besonders im September (siehe auch F. FLIRI, 1962, S. 140). Dadurch kann die HiE-Lage an der Ablationstätigkeit noch kräftig beteiligt sein, wie besonders im September 1969 und 1975.

#### 8.4. HÖHENSTRÖMUNGEN N, NW, W

Die Nordströmung ist in allen Monaten des Jahres vertreten, ihre hohe Standardabweichung und positive Schiefe lassen zusätzlich sehr wirksame Phasen erkennen. Ihr Jahresanteil beträgt zwar durchschnittlich nur 18 Tage, sie hat aber das ganze Jahr hindurch eine hohe negative Temperaturanomalie, im Durchschnitt die höchste unter allen Wetterlagen (Tab. 21). Ihre Niederschlagsbereitschaft ist in der Akkumulationsperiode mit 84 % sehr hoch, in der Ablationsperiode sinkt sie zwar auf 63 % ab, dafür ist aber die Mengenstruktur im Sommer auf hohe Niederschläge konzentriert. Daher auch der hohe Anteil der Nordströmung an den Sommerschneefällen. Wenn auch auf die Ablationsperioden 1965–1975 durchschnittlich nur 5 Tage mit Nordströmung entfielen, so war doch ihre Wirksamkeit für den Gletscherhaushalt im positiven Sinne sehr nachhaltig. So bewirkten im Sommer 1972 5 Tage mit Nordströmung schon am 18. August den Wintereinbruch am Gletscher (Tab. 7).

Die Nordwestströmung unterscheidet sich von der Nordströmung zwar durch eine geringere negative Temperaturanomalie (Tab. 21), es sind aber seltene Fälle, wenn bei NW-Lage die Temperatur nicht unter den Normalwert absinkt. Auch die Tagestemperatur ist ein komplexes Ergebnis, indem sie sowohl von der vorhergehenden Wetterlage wie auch von der nachfolgenden beeinflusst wird. So kann es sein, daß die Veränderung der Temperatur erst am zweiten Tage der betreffenden Wetterlage voll zur Geltung kommt.

Die Nordwestströmung hat ihr Maximum im Dezember und eine zweite Häufung im April. Von der dominanten Bedeutung der NW-Lage für die Winterschneedecke war schon ausführlich die Rede. Durch ein häufiges Auftreten im Juli hat sie auch eine führende Stellung in den Sommerschneefällen. Im August weist sie aber ein Minimum auf (Tab. 17), die hohe positive Schiefe zeigt aber an, daß sie doch auch in Erscheinung treten kann.

Die westliche Höhenströmung nahm zwischen 1964 und 1975 im Jahresdurchschnitt 27 Tage ein, davon in der Ablationsperiode allein durchschnittlich 19 Tage. F. FLIRI (1962, S. 83) hatte für den Zeitraum 1948–1960 jedoch einen höheren Jahreswert von 45 Tagen für die Westlage angegeben. Westlage und Nordwestlage sind sowohl untereinander häufig in Verbindung, indem die Höhenströmung häufig von W auf NW dreht und umgekehrt, sie zeigen auch im jahreszeitlichen Gang eine en-

ge Bindung. Nur im April hat die Westlage ein Minimum, während die Nordwestlage sehr häufig vertreten ist.

Im Dezember zeigt die Westlage eine hohe Standardabweichung, verbunden mit großer positiver Schiefe. Da die Westlage ebenfalls ein Dezembermaximum aufweist, können in manchen Jahren durch die Westströmung hohe Schneemassen auftreten (Winter 1974). Von den 275 Westlagen, die insgesamt ausgewertet wurden, ergab sich der sehr interessante Verlauf der Temperaturanomalie (Diagramm 20 und Tab. 21). Im Dezember bedeutet die Westströmung fast immer Temperaturanstieg, wie er besonders im Weihnachtstauwetter 1965, 1967 und 1968 zur Auswirkung kam.

Der Wendepunkt von der positiven zur negativen Temperaturanomalie tritt bei den Westlagen in der 3. Dekade des März ein. Im April erfolgt aber wieder ein unregelmäßiges Schwanken der Temperaturanomalie. Im Mai und Juni werden die Westlagen gegenüber dem Tagesdurchschnitt zunehmend kühler, im Juli ist aber die Temperaturanomalie wiederum geringer, woraus sich die Zugehörigkeit der Westlage zur Regen-Gruppe ergibt. Im August hat zwar die Westlage ihr Minimum, aber sie wirkt stärker abkühlend und bringt auch teilweise Sommerschneefälle (z. B. August 1967).

#### 8.5 SÜDWEST- UND SÜDSTRÖMUNG

Der Südwestströmung kommt bereits in der Akkumulationsperiode größere Bedeutung zu. An den Schneeprofilen konnte aufgezeigt werden, wie deutlich sich die SW-Lage im Jänner und Februar sowohl in Schmelzschichten wie auch in Dichtunterschieden und in der Korngröße bemerkbar macht. Südwest- und Südlage haben das ganze Jahr hindurch eine große positive Temperaturanomalie (Tab. 21), das Maximum bei SW im Februar mit  $5,1^\circ$ . Die SW-Lage trat 1964–1975 durchschnittlich an 22 Tagen im Jahr auf (Tab. 20), davon bereits an 13 Tagen während der Akkumulationsperiode (Tab. 19). Die Niederschlagsbereitschaft ist im Winter geringer (22 %), steigt aber während der Ablationsperiode etwas an (38 %). Das Minimum der SW-Lage ist im März, eine Häufung tritt in der ersten Maiwoche auf. Besonders ist aber im August die Südwestströmung wieder häufiger vertreten und führt in diesem Monat zu den höchsten Temperaturen. Das Aufeinanderfolgen von Hz und SW unter Zufuhr tropischer Luftmassen verursachte im August 1971 mit 8 Tagen SW-Lage das Umfallen der meisten Pegel, weil zur Verankerung in größeren Eistiefen erst ab 1972 ein Dampfbohrgerät zur Verfügung stand.

Die Südströmung trat in der Beobachtungszeit 1964–1975 im Jahresdurchschnitt mit 11 Tagen auf, wobei auch bereits 8 Tage auf die Akkumulationsperiode entfielen (Tab. 19 und 20). Sie tritt während des hydrologischen Jahres nur vom November bis zur 1. Dekade im Juni in Erscheinung, fehlt im Juli ganz und ist auch in den folgenden Monaten selten. Daß ihr Auftreten aber gerade im September äußerst wirksam sein kann, erwies sich am 17. und 18. September 1975. Mit der südlichen Höhenströmung gelangten extrem warme Luftmassen aus dem nordafrikanischen Raum bei gleichzeitig hohem Barometerstand in unseren Raum. Diese späten Extremlagen trugen mit dazu bei, den Massenhaushalt des Hochköniggletschers noch im Herbst zu einem negativen Ausgang zu bringen. Die Südströmung hat eine positive Temperaturanomalie von  $5,8^\circ$  schon im März. Für August und September sind in Tab. 21 wegen des seltenen Auftretens keine Werte mehr angeführt.

Die Kurve der Temperaturanomale der TB-Lage (Diagramm 20) läßt schon den Unterschied zur Westlage deutlich erkennen und zeigt auch die wechselhafte Rolle dieser Wetterlage während der Ablationsperiode des Gletschers. Das Tief über den Britischen Inseln kommt im Durchschnitt 1964—1975 an 18 Tagen (5 % des Jahres) vor. Im Winter ist es bei einer relativ geringen Niederschlagsbereitschaft von 59 % an den Winterniederschlägen auch nur mit 5 % beteiligt. In der Ablationsperiode steigt aber seine Niederschlagsbereitschaft auf 77 % an und der Anteil an den Niederschlägen auf 11 % (Tab. 11 und 12).

Die TB-Lagen fehlen im Februar fast ganz und sind auch im Frühjahr nur schwach vertreten. Ein Maximum der Häufigkeit ist im Mai bei gleichzeitig ansteigender positiver Temperaturanomale (Tab. 21). Die TB-Lage geht häufig in Troglage über oder wird zu einem mitteleuropäischen Tief. Sie wird auch oft von einer NW- oder W-Strömung abgelöst. Auffallend ist im Juni das Absinken der Temperaturanomale auf  $-0,6^\circ$ , wohl eine Folge des Sommermonsuns mit einer besonderen Häufung vom 26.—29. Juni.

Für den Gletscherhaushalt sind nun höchst bedeutsam die TB-Lagen im Juli, die mit einer positiven Temperaturanomale von  $2,1^\circ$  der Regengruppe zuzuordnen sind und damit die Ablation der Rücklagen beschleunigen. Im August führen aber die häufigen TB-Lagen zu einem Temperaturrückgang und zu Sommerschneefällen. Vor allem Mitte August ist eine Häufung von TB-Lagen erkenntlich, die auch mit Sommerschneefällen verbunden sind (1968, 1970).

Das Tief über dem westlichen Mittelmeer weist ein Wintermaximum, verbunden mit einer positiven Temperaturanomale, auf. Es gehört im Sommer zu den seltenen Wetterlagen. In manchen Sommern fehlte diese Wetterlage überhaupt (1967, 1968, 1970), im Sommer 1975 waren hingegen wieder 5 TwM-Lagen vertreten, zwei davon innerhalb einer Neuschneeperiode im Mai und zwei weitere im August, ebenfalls mit Neuschneefällen verbunden. Für sich allein spielt diese Wetterlage keine entscheidende Rolle und steht meist mit TR-Lagen oder mit TM in Verbindung.

Lage TiS und Zugstraße Vb sind ebenfalls zwei seltene Wetterlagen, deren Bedeutung aber weit über ihren prozentuellen Durchschnittsanteil hinausgeht. TiS hat ein Winterminimum und Sommermaximum, ist also gerade gegenläufig zu TwM. Die Temperaturanomale bei TiS ist dabei in der Ablationszeit immer negativ, sie hat im Juli den außerordentlichen hohen Wert von  $9,3^\circ$  unter dem Normalwert (Tab. 21). Dazu kommt eine hohe positive Schiefe, weiters noch eine außerordentlich hohe Niederschlagsdichte und eine Niederschlagsbereitschaft von 66 %. Dadurch ist die TiS-Lage, sooft sie im Juli oder August auftritt, vorwiegend innerhalb der Schneegruppe (siehe auch F. FLIRI, 1962, S. 167). (Sommerschneefälle bei TiS am Hochköniggletscher waren am 10. 8. 1965, 31. 7. und 15.—17. 8. 1966, 25. 8. 1966, 24. 8. 1969, 12.—14. 7. 1972).

Auf den entscheidenden Einfluß der Vb-Lage wurde sowohl bei der Besprechung der Akkumulationsperiode wie bei den Sommerschneefällen und beim Wintereinbruch schon hingewiesen. Dabei handelt es sich ebenfalls um eine seltene Wetterlage. Übereinstimmend mit F. FLIRI (1962, S. 119) nimmt sie im Jahresdurchschnitt nur 5 Tage oder 1,4 % in Anspruch. Die Vb-Lage tritt in der Ablationsperiode zwar selten auf (Tab. 20), ihr statistischer Wert ist aber mit einer hohen Standardabweichung und großen positiven Schiefe verbunden. Da ihr Auftreten mit einer kräftigen Abkühlung — mit Ausnahme des Februars (Tab. 21) —, mit hoher Niederschlagsbereitschaft (63 % im Winter, 79 % im Sommer) und auch einer hohen Niederschlagsdichte verbunden ist, so ist jeder der seltenen Fälle als markanter Ab-

schnitt im jahreszeitlichen Rhythmus des Gletscherhaushaltes zu verfolgen. Im April fehlte diese Wetterlage in den zwölf Jahren 1964—1975 fast völlig, in der letzten Maiwoche bringt aber die Vb-Lage noch starke Abkühlung und Schneemassen (bes. Mai 1965). Im Juni tritt sie meist auch nur in der ersten Dekade auf (Winterrückfall Juni 1968), im Juli fehlt sie überhaupt, und sie tritt auch im August nur selten gegen Ende des Monats auf, aber ihre extrem kalt-feuchten Lagen (F. FLIRI, 1962, S. 119) führten immer zu Sommerschneefällen (24. 8. 1965 mit Neuschnee bis 1900 m, 36,8 mm Niederschlag Mitterberg; 26. u. 27. 8. 1975). Im September treten Vb-Lagen gegen Ende des Monats wieder kräftig in Erscheinung und beenden oft abrupt die Ablationszeit (z. B. 23.—27. 9. 1973).

Der von H. WAKONIGG (1971) aufgestellte Index für jede Wetterlage in ihrer Auswirkung auf den Gletscherhaushalt bedürfte beim Hochköniggletscher doch einiger Änderungen, bedingt durch die Nordstaulage und auch den speziellen Gletschertyp. Beim Vergleich der Aufstellung von H. WAKONIGG (1971 B, S. 118) mit Tab. 43 (Wetterlagen und Sommerschneefälle 1965—1975 am Hochköniggletscher) fällt zunächst die NW-Lage heraus. Sie hat beim Hochköniggletscher eine führende Rolle, während sie bei den Zentralalpengletschern gleichwertig mit N, TiS und TM gereiht wird. Die Auswirkung der Vb-Lage und auch des TiS ist am Alpennordrand sicher geringer als in den Zentralalpen. Vor allem aber stellt sich die TR-Lage beim Hochköniggletscher als eine eher ablationshemmende Wetterlage heraus, während sie in den Zentralalpen als neutral zu werten ist.

## 8.7. DIE TIEFDRUCKLAGEN TM UND TR

Die Auswertung von 350 Tieflagen über Mitteleuropa vom Oktober 1964 bis Dezember 1975 ergab eine Verteilung im Jahresgang, welche zur Westlage gerade gegenläufig ist und ein Maximum im Juni, ein Minimum von Dezember bis Jänner aufweist (Diagramm 20). Die Kurve der Temperaturabweichung vom Tagesdurchschnitt ergab interessanterweise in allen Monaten eine Abkühlung, mit einem allerdings stark differenzierten Verlauf. Die Niederschlagsbereitschaft beträgt in der Akkumulationsperiode 72 % und erhöht sich im Sommer etwas (76 %), die Niederschlagsmenge ist mittelmäßig (Tab. 11 und 12).

Die sehr hohe Abkühlung der TM-Lagen im Oktober um  $4,6^\circ$  dürfte wohl im Kontrast zu den häufigen Hochdruck- und Föhnlagen dieses Monats begründet sein. Häufig gehen TM aus TB hervor und leiten über zu TR, TiS und NW-Lagen. In der ersten Dekade des Dezembers fehlt TM meist. Im Februar und März weist die Temperaturanomale dieser Wetterlage starke Schwankungen auf. Im April tritt eine sehr große Häufigkeit der TM-Lagen ein, verbunden mit einer Abkühlung um  $1,6^\circ$  (Tab. 21). Damit stellt sich diese Wetterlage als bedeutsam für die großen Frühjahrsschneefälle heraus, häufig verbunden mit NW-Lagen. Ebenso ist im Mai und Juni die TM-Lage mit Schneefällen am Gletscher und an der Ausprägung der kühlen und feuchten Juniwitterung entscheidend beteiligt. Im Mai tritt gelegentlich in Verbindung mit TM auch Föhn ein. Folgen mehrere TM-Lagen aufeinander, so sinkt das Tagesmittel um  $5-6^\circ$  ab (z. B. 1967, 30.—31. 5. in Mitterberg Tagesmittel  $2,3^\circ$ ).

Im Juli ist die Schwankung zwischen positiver und negativer Temperaturabweichung sehr groß. Im August sind in der Zeit vom 6.—12. des Monats sehr große negative Abweichungen vertreten, zwischen 22. und 24. August tritt aber bei TM wiederum eine starke Erwärmung ein, durch Föhnlagen bedingt. Das erklärt die Beteiligung der TM-Lage sowohl an der Schneegruppe wie auch an der Regengruppe (siehe auch F. FLIRI, 1964, Abb. 8). Im September sind aber die TM-Lagen stärker

in der Kaltwettergruppe vertreten, mit Ausnahme einer positiven Anomalie um den 20. September.

Für die Berechnung der TR-Lagen standen über 200 Fälle zur Verfügung. Diese Wetterlage hatte einen Jahresdurchschnitt von 22 Tagen, davon 10 in der Akkumulationsperiode. Die Niederschlagsbereitschaft ist mit 81 % im Winter und Sommer gleich bedeutend, in der Niederschlagsmenge ist die Schwankung groß (Tab. 11 und 12). Diese meridional verlaufenden Höhenträge mit weit in den Süden reichenden polaren Kaltluftausbrüchen (F. FLIRI, 1962, S. 128) weisen bezüglich der Temperaturanomalie nur negative Werte auf, besonders im Sommer (Diagramm 20, Tab. 21). Im Juli beträgt die Temperatursenkung  $2,6^\circ$ , im August sogar  $3,8^\circ$ . Damit steht diese Beobachtung im Widerspruch zur Feststellung von F. FLIRI (1962, S. 133) von „relativ milden Luftmassen im Sommer, so daß die Ablation gefördert wird“. Wohl aber reiht F. FLIRI (1964, S. 8) die Troglage auch unter jene Wetterlagen ein, die besonders oft Neuschnee im Sommer bringen, und weist auch auf ihre häufige Verbindung mit der Hochdruckzone hin (F. FLIRI, 1962, S. 128).

Die Troglagen haben im Juli ein Maximum, eine Häufung tritt in der Monatsmitte auf. Dieser Zeitpunkt, der außerdem nur negative Temperaturabweichungen aufweist, bringt häufig Sommerschneefälle, so in den Jahren 1966, 1968, 1970 und 1974. Im August treten Troglagen mit Neuschnee besonders in der zweiten Monatshälfte auf, wodurch die in vollem Gang befindliche Ablation wirkungsvoll unterbrochen wird. Beispiele hierfür sind die Jahre 1965, 1968, 1969, 1970, 1972 und 1974.

Im September sind die TR-Lagen seltener, und sie sind dann sowohl in der Schneegruppe (1965, 1971, 1972, 1974 u. 1975) wie auch bei der Regengruppe vertreten (1966, 1975). Damit geht eindeutig hervor, daß die Troglage im Hochköniggebiet mit mehr Berechtigung in die Kaltwettergruppe einzuordnen ist.

#### 8.8. WETTERLAGEN - ZUSAMMENFASSUNG

Das Auftreten gewisser Wetterlagen, und dazu zählten neben NW, N, Vb auch TR und TiS, läßt mit Bestimmtheit eine positive Auswirkung auf die Massenbilanz des Hochköniggletschers erwarten, wie andererseits auch die Wetterlagen H, Hz, HiE, SW und S innerhalb der Warmwettergruppe während der Ablationszeit eine verstärkte Ablation bewirken. Jene Wetterlagen, die auch bei der Regengruppe in Erscheinung treten, wie TB und TM, haben nur bei hohen Niederschlagsmengen Schneefälle aufzuweisen. Es finden also die Ergebnisse von FLIRI (1964) aus den Klimadaten vom Säntis bezüglich der Sommerschneefälle auch hier ihre volle Bestätigung. Es lassen auch die Tabellen der Wetterlagenstatistik (16–20) bereits Rückschlüsse auf den Gletscherhaushalt zu, falls außerdem die Aufeinanderfolge der Wetterlagen und Klimawerte von Mitterberg vorliegen.

#### 9. DER TEMPERATURGRADIENT

Dieser Parameter, der den Temperaturunterschied pro hundert Meter in einem bestimmten Zeitabschnitt angibt, läßt die Schichtung der Luftmassen und den vertikalen Luftaustausch erkennen (F. FLIRI, 1975, 21. S. 147). Diagramm 21, in welchem der Tagesgang der Temperatur am Hochköniggletscher in 2773 m (Thermoskript) und von Mitterberg in 1440 m mit den Terminwerten  $8^h - 13^h - 19^h$  vom August 1974 dargestellt ist, zeigt bereits interessante Zusammenhänge auf. Zunächst bezüglich der Charakteristik der beiden Stationen: Die Tagesschwankung am Gletscher ist höchstens halb so groß wie bei Mitterberg, die Höhenstation ist

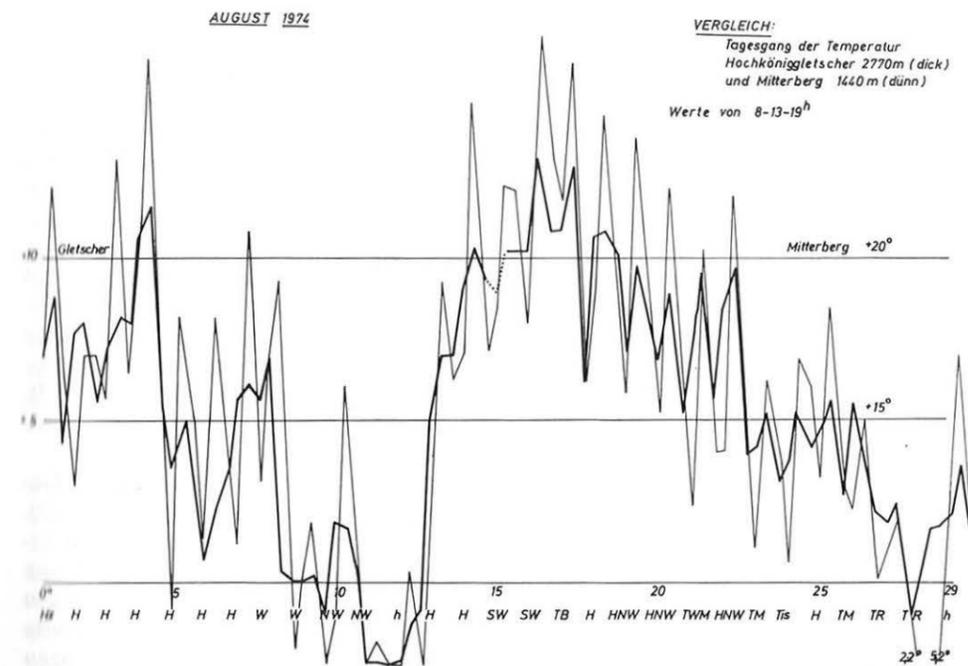


Diagramm 21: Verlauf der Lufttemperatur nach Terminbeobachtungen am Hochköniggletscher (2773 m) und in Mitterberg (1440 m) im August 1974

stark ventiliert, Mitterberg ist hingegen eine Hangstation, welche starke Tagesschwankungen aufweist. Mittags wird der Hang stark überhitzt, nachts aber sammeln sich Kaltluftmassen an oder Kaltluft strömt von den Hängen herab. Es läßt sich aus dem Diagramm auch bereits der stetig sich verändernde Temperaturgradient erkennen. Bei Schönwetter ist der Unterschied zwischen Gletscher und Talstation sehr groß (1.–4. 8., 15.–20. 8.). Bei Schlechtwetter ist die Schwankung der Terminwerte in Mitterberg gedämpft, es ist auch die Überlappung nicht mehr so deutlich (9. und 23. 8.). Bei Kaltlufteinbrüchen, wie am 26. 8., sieht man sehr genau, daß der Verlauf von Mitterberg und der Gletscherstation entgegengesetzt ist.

Die Berechnung des Temperaturgradienten und seines Tagesganges erfolgte ab Juli 1970 durch Auswertung der Temperaturmessungen vom Matraschhaus (2941 m) und der entsprechenden Werte von Mitterberg. Ab Juli 1972 konnten die Temperaturwerte des Thermoskripts am Gletscher, in einem Wetterhäuschen beim Totalisator West in 2773 m aufgestellt, ausgewertet werden. Weil vor allem die Frage Regen oder Schnee untersucht werden sollte, gelangten nur Tage mit über 1 mm Niederschlag in Mitterberg zur Auswertung.

Hohe Gradienten (über  $-1,0^\circ$  pro 100 m) deuten labile Schichtung der Luftmassen und dadurch einen ständigen Auftrieb, Gradienten unter  $-0,5^\circ$  und darunter deuten stabile Schichtung an, da die zu kalte und schwere Luft nicht aufsteigen kann (F. FLIRI, 1975, S. 147). Die vom Hochköniggletscher berechneten Gradienten der Ablationsperioden 1970–1974 ergeben interessante Einblicke in die Dynamik der verschiedenen Wetterlagen und in den Wärmehaushalt über dem Gletscher.

### 9.1. TEMPERATURGRADIENT UND WETTERLAGEN

Der Temperaturgradient bei Hochdrucklagen, aus 54 Tagen mit über 1 mm Tagesniederschlag in Mitterberg ausgewertet, ergab für Mai bis September einen hohen Durchschnitt von  $-0,73^\circ$  bei einer Standardabweichung von 0,16 (Tab. 22). Es wirken sich dabei vor allem die vielen Gewitter im August aus. Gewitter am späten Abend lassen sich durch einen hohen Temperaturgradienten bei der Abendmessung erkennen (z. B. 2. August 1974:  $-0,44^\circ$ ,  $-0,67^\circ$  und  $-0,86^\circ$ ; Mittagsgewitter am 11. August 1973:  $-0,62^\circ$ ,  $-1,06^\circ$ ,  $-0,72^\circ$ ).

Das Zwischenhoch zeigt auch im Tagesgang des Temperaturgradienten an, daß es stark entweder von der vorausgehenden oder nachfolgenden Wetterlage beeinflusst wird. Da außerdem nur Tage mit Niederschlag gewählt wurden, ist auch die Standardabweichung sehr groß. Es bestehen sowohl Übergänge zu Schlechtwetter (geringe Amplitude des Temperaturgradienten) als auch Neigung zu Gewitter (z. B. 7. August 1970, am Vortag einer TR-Lage:  $-0,69^\circ$ ,  $-0,75^\circ$ ,  $-0,63^\circ$ ; bei Gewitter am 16. Juli 1974:  $-0,50^\circ$ ,  $-1,22^\circ$ ,  $-0,85^\circ$ ).

Die Hz-Wetterlage steht nur im Hochsommer und Herbst in Verbindung mit Gewitterregen, gekennzeichnet durch einen hohen Temperaturgradienten (Tab. 22).

HF und HNW treten im Sommer nur selten und auch wenig bedeutsam in Erscheinung. Die meisten HNW-Lagen sind niederschlagsfrei und bilden auch keine Gewitterlagen, wohl aber können bei HF Gewitter eintreten (Tab. 22). Hingegen neigt HiE zu großen Extremen: niedrige Werte am Morgen und Abend, hohe Werte mittags, verbunden mit Föhn oder auch Gewittern. HiE hat unter allen Wetterlagen die höchste Standardabweichung (0,41). Die starke Auswirkung auf die Ablation ist durch die außerordentlich hohe Labilität und die starke vertikale Luftbewegung bedingt (z. B. 19. Juli 1972, Gewitter:  $-0,35^\circ$ ,  $-1,19^\circ$ ,  $-0,69^\circ$ ; die Pegel W 5 b, W 6, W 6 a, welche am 19. 7. eingemessen worden waren, hatten am 21. 7. um 19–22 cm Altschnee eingebüßt).

Unter den Höhenströmungen hat die Nordlage an Tagen mit Niederschlag den geringsten Wert des Temperaturgradienten, nur  $-0,59^\circ$ . Die negative Schiefe zeigt, daß an Tagen mit Niederschlag die Ausbildung labiler Schichtung fehlt. Im Mai steigt der Temperaturgradient am Abend, infolge der starken Abkühlung auf dem Gletscher während der Nacht (z. B. 6. Mai 1974:  $-0,62^\circ$ ,  $-0,64^\circ$ ,  $-0,72^\circ$ ). Im Juni und Juli treten Nordlagen selten auf. Im August lassen sich die Sommerschneefälle durch die polare Kaltluft der Nordströmung auch in den Temperaturgradienten deutlich erkennen (z. B. 19. August 1972:  $-0,52^\circ$ ,  $-0,57^\circ$ ,  $-0,63^\circ$ ). Wie sehr sich die Nordlagen schützend auf den Gletscher auswirken, zeigen die Temperaturgradienten im September: Am 16. September 1971 sanken bei Schneefällen am Nachmittag und in der Nacht die Temperaturen am Gletscher auf  $-13,3^\circ$  (Thermoskript um 19<sup>h</sup>) ab, die Temperaturgradienten betrugen  $-0,43^\circ$ ,  $-0,43^\circ$  und  $-0,86^\circ$ . Auch am 24. September 1972 erfolgte bei Schneefällen eine Abkühlung auf  $-9,4^\circ$  am Gletscher, und der Temperaturgradient stieg bereits um 13<sup>h</sup> auf  $-1,1^\circ$ . In den folgenden Tagen sank aber der Temperaturgradient wieder ab, da sich auch im Talgebiet die Kaltluftmassen durchgesetzt hatten.

Bei NW-Lagen ergab der Durchschnitt des Temperaturgradienten aus 74 Fällen  $-0,71^\circ$  bei einer geringen Standardabweichung von nur  $-0,16^\circ$  (Tab. 22). Der Monatsgang des Temperaturgradienten bei NW-Lagen steigt von  $-0,66^\circ$  im Mai bis auf  $-0,76^\circ$  im Juli an und sinkt im September wieder auf  $-0,67^\circ$  ab. Schneefälle führen bereits im Mai durch raschere Abkühlung der Hochfläche gegenüber dem Tal zu labiler Schichtung beim Abendtermin (z. B. 11. Mai 1973:  $-0,38^\circ$ ,  $-0,60^\circ$ ,  $-0,79^\circ$ ). Bei Regenfällen sinkt hingegen der Temperaturgradient zum Abendter-

min ab. Auch bei NW-Lagen treten im Sommer gelegentlich Werte über  $-1,0^\circ$  des Temperaturgradienten ein, wenn Kaltfrontgewitter auftreten.

Die Westlage hat im Durchschnitt von 48 Tagen mit Niederschlag über 1 mm einen Temperaturgradienten von  $-0,71^\circ$  (Tab. 22). Im Juli ist der Temperaturgradient noch gering (z. B. 6. Juni 1974:  $-0,60^\circ$ ,  $-0,72^\circ$ ,  $-0,57^\circ$ ). Im Juli sind die Abendwerte häufig höher, da sich die Talräume relativ stärker erwärmt haben. Die Maxima treten bei Westlage mittags auf, z. B.  $-1,4^\circ$  am 3. Juli 1974 durch eine Kaltfront mit Schneesturm nach einer Hochdrucklage und Strahlungswetter. Ähnlich auch am 8. August 1974 ein Temperaturgradient von  $-1,3^\circ$  bei Gewitter mit Hagel.

Die S- und SW-Höhenströmungen ergaben an 42 Tagen mit über 1 mm Niederschlag einen sehr hohen Temperaturgradienten von durchschnittlich  $-0,77^\circ$  bei einer ebenfalls hohen Standardabweichung von 0,25. Das Maximum dieser Höhenströmungen ist im August, häufig mit Gewittern am Nachmittag oder auch in der Nacht verbunden (z. B. 26. August 1971:  $-0,64^\circ$ ,  $-1,17^\circ$ ,  $-0,92^\circ$ ).

Bei den Temperaturgradienten der Tiefdrucklagen läßt sich eine ganze Reihe für den Gletscher bedeutsamer Gesetzmäßigkeiten ableiten. Der Durchschnittswert des Temperaturgradienten liegt bei den zyklonalen Wetterlagen durchwegs niedriger, keineswegs aber die Standardabweichung (Tab. 22). Ein Tief über den Britischen Inseln, aus 63 Fällen ermittelt, hat einen mittleren Temperaturgradienten von  $-0,66^\circ$ . Bei den Mai-Gradienten kommen bei der TB-Lage gelegentlich noch Inversionen (positiver Temperaturgradient) zur Ausbildung (z. B. 6. Mai 1973 mit  $+0,06$  am Morgentermin; 30. Mai 1973 mit  $+0,02$  am Abendtermin). Ein hoher Temperaturgradient tritt hingegen bei Eintreffen einer Kaltfront und auch bei starken Abendgewittern in Erscheinung (z. B. Kaltfront am 25. September 1974:  $-0,56^\circ$ ,  $-1,35^\circ$ ,  $-0,71^\circ$ ; Abendgewitter am 28. Juni 1973:  $-0,71^\circ$ ,  $-0,63^\circ$ ,  $-1,0^\circ$ ).

Die TwM-Lagen haben einen mittleren Temperaturgradienten von  $-0,67^\circ$ . Sie führen im Hochsommer sowohl zu Gewittern als auch zu Neuschneefällen. Die TIS-Lage wurde nur im August und September erfaßt und weist einen mittleren Temperaturgradienten von  $-0,73^\circ$  auf. Beim Eintreffen dieser Wetterlage steigt der Temperaturgradient stark an, oft verbunden mit Gewittern (z. B. 10. September 71, Schneefall:  $-1,0^\circ$ ,  $-1,08^\circ$ ,  $-0,69^\circ$ ; 8. September 1972, Gewitter:  $-0,46^\circ$ ,  $-1,01^\circ$ ,  $-0,66^\circ$ ). Am folgenden Tag herrscht nur noch ein schwacher Tagesgang des Temperaturgradienten.

Konnte die Vb-Lage auch nur in zwei Fällen erfaßt werden, so sind doch die Temperaturgradienten für diese Wetterlage äußerst kennzeichnend. Am 23. September 1973 führte das Eintreffen der Vb-Lage zu einem sehr hohen Gradienten von  $-1,24^\circ$ , verbunden mit Gewitter und Schneefällen, aber am folgenden Tag sank der Temperaturgradient auffallend stark ab (Terminwerte:  $-0,59^\circ$ ,  $-0,56^\circ$ ,  $-0,26^\circ$ ). Das bedeutet radikales Durchgreifen dieser kalten und feuchten Luftmassen bis in den Talbereich hinab.

Von der TM-Lage liegen — dank der größeren Zahl von 99 Fällen — auch die Mittelwerte der Monate vor (Tab. 22). Sie beginnen mit höheren Werten im Mai, entgegengesetzt den Temperaturgradienten der NW-Strömung. Im Juni sinken die Temperaturgradienten stark ab. Diese Werte stammen aus den Jahren 1973 und 1974, in welchen der Juni besonders kühl und niederschlagsreich war und die TM-Lagen fast ausschließlich zu Schneefällen führten. Gegenüber der Unregelmäßigkeit der Terminwerte im Juni ist aber im Juli und August ein deutliches Maximum ausgebildet, häufig auch durch aufkommende Gewitter hervorgerufen. Vor allem im September nehmen mittags die Temperaturgradienten der TM-Lagen sehr

stark zu, meist durch Schneefälle verursacht. Die Morgenwerte im September sind durchwegs niedrig (zwischen  $-0,3^\circ$  bis  $-0,5^\circ$ ). Das Maximum des Temperaturgradienten am Abend betrug  $-1,3^\circ$  (29. September 1974), da am Gletscher bereits eine Temperatur von  $-5^\circ$  herrschte, während in Mitterberg die Abendtemperatur noch  $12,5^\circ$  betrug.

Für die TR-Lage standen 84 Fälle zur Verfügung, jedoch ohne Werte für den Juni. Der mittlere Temperaturgradient beträgt  $-0,65^\circ$ . Außer der höheren Gewitterneigung bei TR besteht gegenüber der TM-Lage in der Zeit Juli bis September kein wesentlicher Unterschied. Niedrige Temperaturgradienten bei TR-Lage treten nach vorausgegangenen Neuschneefällen auf, die weit ins Tal hinabreichen und auch hier eine Abkühlung bewirken (z. B. 28. August 1974 mit Neuschnee bis 1700 m:  $-0,15^\circ$ ,  $-0,30^\circ$ ,  $-0,22^\circ$ ). Für die TR-Lage und ihre Auswirkung auf den Gletscherhaushalt sind kennzeichnend: hohe Niederschläge, tiefe Temperatur und häufig auch kein Sonnenschein, übereinstimmend mit Zugspitze und Sonnblick, woraus die große Reichweite dieser Wetterlage erkenntlich ist.

In Tab. 22 sind die Monatswerte der Temperaturgradienten während der Sommermonate, begonnen vom August 1970 bis September 1974, zusammengestellt. In Monaten mit starker Ablation, wie im September 1971 und 1973, ist der Monatswert des Temperaturgradienten kleiner. Monate mit noch geschlossener Altschneedecke oder Monate, in denen die Ablation stark gedämpft wurde, haben einen hohen Temperaturgradienten. Als Beispiele dafür können gelten der September 1972 und der September 1974. Die größten Schwankungen des Temperaturgradienten treten im September auf, was sowohl durch Föhnlagen, durch Schneefälle oder auch durch starke Abkühlung der Gletscherfläche bewirkt wird.

Der Temperaturgradient als Parameter für den Gletscherhaushalt läßt die spezifisch verschiedenen Auswirkungen der Wetterlagen deutlich verfolgen, besonders die Vertikalstruktur und die Vertikalbewegungen der Luftmassen und deren Tagesgang. Aus dem Temperaturgradienten lassen sich sowohl Sommerschneefälle wie auch Gewitter und Föhnlagen erkennen.

## 9.2. TEMPERATURGRADIENT UND FÖHN

Für die Aufstellung einer eigenen Föhnstatistik sind die Unterlagen der Station Mitterberg nicht ausreichend, da in manchen Jahren Föhnlagen kaum vermerkt werden, in anderen aber eher zuviel Eintragungen erfolgten. Es wurden daher nur jene Tage als Föhntage registriert, die auch im Wetterbericht der Zentralanstalt oder des Wetterdienstes Salzburg angeführt wurden.

Der antizyklonale Föhn (F. FLIRI, 1962, S. 52/53) tritt bei H seltener auf, als bei Hz und auch HiE. Eine besonders hohe Schwankung des Temperaturgradienten, bedingt durch antizyklonalen Föhn bei HiE, wurde am 9. September 1973 verzeichnet (Terminwerte:  $-0,32^\circ$ ,  $-1,20^\circ$ ,  $-0,22^\circ$ ). Bei Hz tritt antizyklonaler Föhn bereits im Juli, besonders aber im September auf (27. Juli 1974:  $-0,57^\circ$ ,  $-1,13^\circ$ ,  $-0,63^\circ$ ; 20. September 1972:  $-0,47^\circ$ ,  $-1,06^\circ$ ,  $-0,83^\circ$ ).

Zyklonaler Föhn ist mit TB-Lagen häufig in Verbindung, besonders im August und September (z. B. 11. August 1971:  $-0,75^\circ$ ,  $-0,91^\circ$ ,  $-0,44^\circ$ ), ebenso mit TM u. TR (z. B. 31. Juli 1972:  $-0,48^\circ$ ,  $-0,95^\circ$ ,  $-0,72^\circ$ ).

Unter „Föhn“ wird auch die Südströmung inbegriffen, bei welcher die Föhneigenschaften bei großer Kondensationshöhe sogar fehlen können (F. FLIRI, 1962, S. 52/53). Als Beispiel dafür die S-Lage am 19. Mai 1973 mit folgenden Terminwerten des Temperaturgradienten:  $-0,02^\circ$ ,  $-0,98^\circ$ ,  $-1,05^\circ$ ; oder auch die SW-Lage am 15. September 1970 mit den Terminwerten:  $-0,18^\circ$ ,  $-0,89^\circ$ ,  $-0,48^\circ$ . Auch bei

der Westströmung tritt Föhn auf. Am 14. Juli 1974 trat sogar bei Nordwestströmung Föhn in Erscheinung. Die Terminwerte des Temperaturgradienten in diesem besonderen Falle lauteten:  $-0,58^\circ$ ,  $-1,15^\circ$ ,  $-0,76^\circ$ .

## 10. SONNENSCHNEIN

### 10.1. SONNENSCHNEINDAUER

In der Wärmebilanz  $WB = SB + F + L$  (H. (HOINKES, 1970, S. 78) — der Summe von Strahlungsbilanz, den turbulenten Strömen fühlbarer Wärme und den Strömen latenter Wärme — spielt die Strahlung die weitaus überwiegende Rolle. H. HOINKES und G. WENDLER (1968, S. 195) hatten den Anteil der Strahlungsbilanz an der Wärmebilanz mit 64 % bestimmt. In den Monaten August und September, der Zeit der stärksten Ablation, beträgt ihr Anteil nach H. HOINKES (1970, S. 80) über 80 %, am Gepatschferner sogar 96 %. Daß beim Hochkönig mit einem ähnlich hohen Wert gerechnet werden muß, lassen auch die Flugaufnahmen, Abb. 1 und 7, erkennen. Die Beobachtung der Sonnenscheindauer bildet daher die wohl wichtigste Meßreihe überhaupt. Den beiden Hüttenpächtern des Matrashauses, K. SCHMID und H. GSCHWENDTNER, ist die Wartung des Sonnenscheinautographen 1970—1974 zu danken. Die Messungen konnten aber erst immer mit Beginn der Bewirtschaftung des Matrashauses anfangs Juli aufgenommen werden. Leider wurden auch gelegentlich von Touristen Meßstreifen entwendet, im August 1974 sogar die Glaskugel des Meßgerätes selbst. Es ist der Zentralanstalt zu danken, daß sie sofort eine neue zur Verfügung stellte. Die Auswertung der Meßstreifen erfolgte nach der Vorschrift von J. GUTMANN (1948).

Der Vergleich der Tageswerte des Sonnenscheins vom Hochkönig mit den Wer-

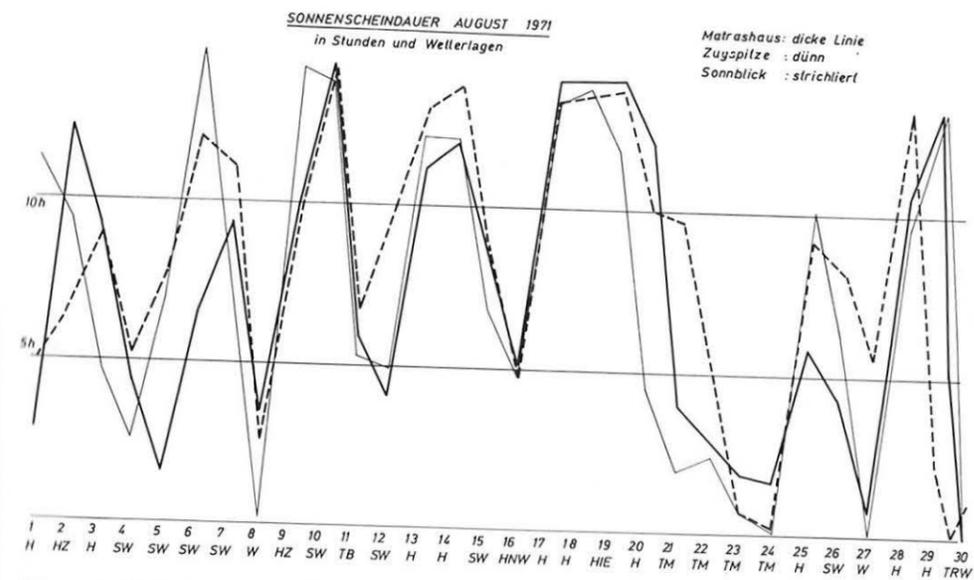


Diagramm 22: Tageswerte der Sonnenscheindauer der Stationen Matrashaus, Zugspitze und Sonnblick im August 1971

ten der Zugspitze (2968 m) und des Sonnblicks (3106 m) ist deshalb von Bedeutung, weil damit auch für frühere Jahre die Meßreihen der beiden anderen Höhenstationen zur Beurteilung herangezogen werden konnten. Das als Beispiel ausgewählte Diagramm 22 vom August 1971 zeigt gute Übereinstimmung in den Höchstwerten wie auch in den Tagen mit geschlossener Bewölkung. Tage mit Frontendurchzug (z. B. bei NW-Lagen, bei TR und TM) zeichnen sich in den scharfen Kerben aller drei Stationen gleichzeitig ab.

Hingegen zeigten Tage mit SW- und S-Strömung sowie Föhntage eine starke Streuung.

In den Jahressummen der Sonnenscheindauer hat der Hochkönig eine Zwischenstellung zwischen den höheren Werten der Zugspitze und dem Sonnblick, wie auch M. ROLLER (1939, S. 42) festgestellt hatte.

Nachdem die Tageswerte vom Matrashaus in die relative Sonnenscheindauer nach der Formel  $\text{Tatsächliche Dauer in Stunden} \times 100 : \text{maximal mögliche nach den Tabellen von F. STEINHAUSER (1973 A, Tab. 70)}$  umgerechnet waren, wurden folgende zwei Fragen durch Korrelationsrechnung zu klären gesucht: die Beziehung der drei Gipfelstationen in der Sonnenscheindauer und der Einfluß der Wetterlagen auf die Sonnenscheindauer am Hochkönig.

#### 10.2. BEZIEHUNG DER SONNENSCHINDAUER VON HOCHKÖNIG - ZUGSPITZE - SONNBlick

Die Beziehung zwischen der relativen Sonnenscheindauer von Hochkönig, Sonnblick und Zugspitze, berechnet aus 292 Tageswerten, ergab: Gegenüber dem Sonnblick ist die Beziehung  $r=0,73$ , gegenüber der Zugspitze ist die Beziehung etwas enger,  $r=0,75$ . Die Zugspitze ( $47^\circ 25' N$  und  $10^\circ 59' E$ ) ist vom Hochkönig ( $47^\circ 25' N$  und  $13^\circ 04' E$ ) 176 km entfernt, der Sonnblick ( $47^\circ 03' N$  und  $12^\circ 57' E$ ) hingegen nur 43 km. Zwischen den drei Stationen scheint bei manchen Wetterlagen eine zeitliche Verschiebung auf, indem bei W und auch H die Zugspitze gegenüber dem Sonnblick um einen Tag voraus ist, hingegen bei TwM Sonnblick und Hochkönig voraus sind.

In der Tab. 23 sind die Mittelwerte der relativen Sonnenscheindauer bei den einzelnen Wetterlagen berechnet und für alle drei Stationen angeführt. Die höchste relative Sonnenscheindauer herrscht bei allen drei Stationen bei Hz. An zweiter Stelle ist die Hochdrucklage, dann folgt bereits die SW-Strömung. Sehr deutlich tritt hier auch die Abstufung Zugspitze - Hochkönig - Sonnblick hervor, bedingt durch die von Süden aufziehende Bewölkung. Die Standardabweichung ist nicht nur bei SW hoch, sondern auch bei Hz und H. Sie bringt die Gewitterlagen und Föhnwirkung zum Ausdruck. HiE tritt auch in der Sonnenscheindauer wirksamer hervor als HF und HNW.

Bisher wurden die sonnenscheinreichen Wetterlagen angeführt. Wetterlagen mit der größten Bewölkung sind: TR, NW und TiS. Sie haben im Hochköniggebiet auch eine geringe Standardabweichung, sie bilden durchwegs sonnenlose oder zumindest sonnenarme Tage. Hingegen sind W und TM öfters durch Föhn aufgeheitert. Auffallend ist die noch relativ hohe Sonnenscheindauer bei Nordströmung, beim Hochkönig 24 %, bei der Zugspitze sogar ein wenig höher (26 %). Die selteneren Wetterlagen Vb, TwM haben wegen ihrer geringen Häufigkeit nur unsichere Werte.

Aus der Korrelation der Sonnenscheindauer der drei Stationen läßt sich auch die Reichweite und Wirksamkeit bestimmter Wetterlagen erkennen. Sehr enge Beziehungen sind zwischen den drei Stationen bei HiE, nämlich  $r=0,84$  zwischen

Hochkönig und Zugspitze und sogar  $r=0,94$  zwischen Hochkönig und Sonnblick. Sehr interessant ist auch die Hochdrucklage, indem die Beziehung Hochkönig - Zugspitze im Juli  $r=0,74$  beträgt, im August auf  $r=0,55$  absinkt und im September nur mehr  $r=0,28$  beträgt. Auch gegenüber dem Sonnblick sinkt die Korrelation vom Juli  $r=0,71$  zum August  $r=0,51$  und im September auf  $r=0,45$  ab.

Bei Zwischenhoch ist die Beziehung in der Sonnenscheindauer zwischen Zugspitze und Hochkönig mit  $r=0,71$  enger als zwischen Sonnblick und Hochkönig ( $r=0,66$ ). Bei HNW bestehen zwischen den drei Stationen nur weitläufige Beziehungen, bei HF aber besteht die höchste Übereinstimmung überhaupt, nämlich zwischen Hochkönig und Zugspitze  $r=0,96$  und zwischen Hochkönig und Sonnblick  $r=0,95$ , ein Beweis für die Großräumigkeit dieser Wetterlage.

Unter den Höhenströmungen herrscht nur bei der Nordströmung eine sehr enge Übereinstimmung zwischen Hochkönig und Zugspitze mit  $r=0,92$ , wobei die Bewölkung bei Nordströmung viel geringer ist als bei Nordwestströmung. Bei NW-Höhenströmung sind die Beziehungen vom Hochkönig nach beiden Seiten nur ziemlich lose. Bei Westlage herrscht zwischen Hochkönig und Zugspitze eine noch engere Beziehung in der Sonnenscheindauer ( $r=0,71$ ), zum Sonnblick aber fast keine Übereinstimmung ( $r=0,26$ ). Bei SW- und S-Strömung herrscht untereinander keine einheitliche Beziehung in der Sonnenscheindauer. Sehr weitgehend ist diese nur bei kontinentalem Tief (zum Sonnblick  $r=0,81$ ), nicht aber bei den anderen Tiefdrucklagen.

#### 11. GLOBALSTRAHLUNG UND ABLATIONSPROZESS

Die Strahlungsbilanz ist die Differenz der auf einer Oberfläche auffallenden und von ihr ausgehenden Strahlungsströme und setzt sich aus kurzwelligen und langwelligen Strahlungskomponenten zusammen. Die langwelligen Strahlungsströme ( $3\mu-100\mu$ ) sind zwar bei Tag und Nacht wirksam, aber die langwellige Strahlungsbilanz ist im Sommer nicht sehr hoch. Gegenstrahlung und Ausstrahlung sind gegeneinander gerichtet und heben sich fast auf (F. SAUBERER und J. DIRMHIRN, 1960, S. 68-78).

Die kurzwellige Strahlungsbilanz ist gleich der Globalstrahlung, vermindert um die kurzwellige Rückstrahlung. Die Globalstrahlung umfaßt die direkte Sonnenstrahlung und die Himmelsstrahlung, welche bei wolkenlosem Himmel einen Anteil über 20 % beträgt und bei zunehmender Bewölkung in nicht linear verlaufender Abhängigkeit wächst (W. MAHRINGER, 1976, S. 7). Mit zunehmender Höhe nimmt der vorherrschende Einfluß der Globalstrahlung zu, die langwellige Bilanz verzeichnet eine leichte Abnahme. Von größter Bedeutung für den Gletscherhaushalt ist die äußerst unterschiedliche Albedo. Sie kann bei Neuschnee bis zu 90 % betragen, bei schwarz erscheinenden Schnee- und Eisstellen aber nur 5 % der Globalstrahlung (F. SAUBERER und J. DIRMHIRN, 1960, S. 64-65, siehe Tab. 24).

Auch die neueren Untersuchungen von H. P. WAGNER (1978, S. 125) über die Strahlungsbilanz am Hintereisferner haben ergeben, daß die Änderung der kurzwelligen Bilanz mit der Albedo das entscheidende Moment der Strahlungsbilanz darstellen.

### 11.1. DER ABLATIONSPROZESS 1973

Zur genaueren Beobachtung des Ablationsprozesses wurde im Sommer 1973 ein Testfeld mit vier Pegeln, Z1, Z2, Z3 und R3, im Nahbereich des Thermoskripts gewählt und vom Hüttenpächter des Matrashauses von Anfang Juli bis Ende September im Abstand von wenigen Tagen durch Pegelmessungen kontrolliert. Gleichzeitig wurde durch Schachtgrabungen die Veränderung der Altschneedecke in Struktur und Dichte während der Ablationszeit verfolgt.

Der Ablationsprozeß wurde außerdem in Tagesbilanzen aufgelöst, indem für jeden Tag die kurzweilige Strahlungsbilanz aufgrund der täglichen Sonnenscheindauern am Matrashaus errechnet wurde (Tab. 25). Sehr zustatten kam hier die Untersuchung von F. SCHEIBNER und W. MAHRINGER (1968, S. 177) über die Albedo der Sonnblickgletscher und ihre zeitlichen Variationen und dazu die täglichen Aufzeichnungen am Matrashaus über den Zustand des Gletschers. In Tab. 24 sind die Albedowerte für die verschiedenen Zustände der Gletscheroberfläche, welche durch die Metamorphose des Altschnees infolge Verdichtung, Abtauen und Wiedergefrieren, durch Verschmutzung, besonders aber durch Neuschneefälle hervorgerufen werden, zusammengestellt.

Die Berechnung der Globalstrahlung erfolgte aufgrund der Tabellen der Tagessummen der Globalstrahlung für verschiedene relative Sonnenscheindauer nach F. SAUBERER und J. DIRMHORN (1960, Tab. 34). Die Differenz zur Horizontalen (Tab. 1) wurde durch einen Abzug von 5% (H. HOINKES und G. WENDLER, 1968, S. 206, 207) berücksichtigt. Es erfolgte auch eine Umrechnung auf die mittlere Höhe des Hochköniggletschers, 2770 m, nach Tab. 35 von F. SAUBERER und J. DIRMHORN (1960). Die mittlere Bewölkung jedes Tages wurde aus der relativen Sonnenscheindauer abgeleitet, wobei schon MAHRINGER (1976, S. 11) auf eine gewisse Problematik solcher Umrechnungen hinweist. Die Horizontalabschirmung spielt beim Hochköniggletscher infolge der geringen Übertagung nur an wenigen Stellen eine Rolle (siehe Abb. 1, 6 und 7). Ebenso sind die Höhenunterschiede des Gletschers gering, so daß die berechneten Werte für den ganzen Plateaugletscher mehr als bei den anderen Gletschern Gültigkeit haben dürften.

Als Kontrolle für die errechneten Tagesbilanzen der Globalstrahlung diente die Auswertung der Pegelablesungen. Die Schmelzwärme für ein Gramm trockenen Schnee beträgt 80 Kalorien und wird für nassen Schnee entsprechend geringer.

Im Diagramm 23 ist der Ablationsprozeß des Sommers 1973 in diesem Testfeld graphisch dargestellt, in der Tab. 25 ist sowohl die berechnete kurzweilige Strahlungsbilanz wie auch der Ablationsprozeß angeführt. Die Neuschneefälle, deren Albedowerte nach H. HOINKES und G. WENDLER (1968, S. 223) für die ganze Ablationsperiode ziemlich gleich sind, wirken sich auch an den unmittelbar nachfolgenden Tagen als eine Unterbrechung im Ablationsprozeß aus (23.—30. Juli 1973, 80 cm Neuschnee).

Als Mittelwert aus den Neuschneemessungen 1971—1974 ergab sich, daß 1 mm Niederschlag in Mitterberg 0,8 cm Neuschnee am Matrashaus gleichkommt. Der Ablationsprozeß im Monat Juli 1973 hatte die Abschmelzung von insgesamt 80 cm Altschnee (Dichte 0,6 bis 12.7., Dichte 0,65 bis 2.8.) zur Folge. Die Schachtgrabung am 1. Juli 1973 in 2770 m ergab noch eine Altschneedecke von 185 cm Höhe, einer mittleren Dichte von 0,59 und daher einem Wasserwert von 108 cm. Der Schacht am 2. August betrug noch 103 cm Tiefe mit einem Wasserwert von 68 cm. Für die Abschmelzung des Altschnees im Juli, einschließlich der 80 cm Neuschnee, wurden  $19,65 \text{ kJ/cm}^2$  ( $= 4700 \text{ cal/cm}^2$ ) als kurzweilige Strahlungsbilanz berechnet.

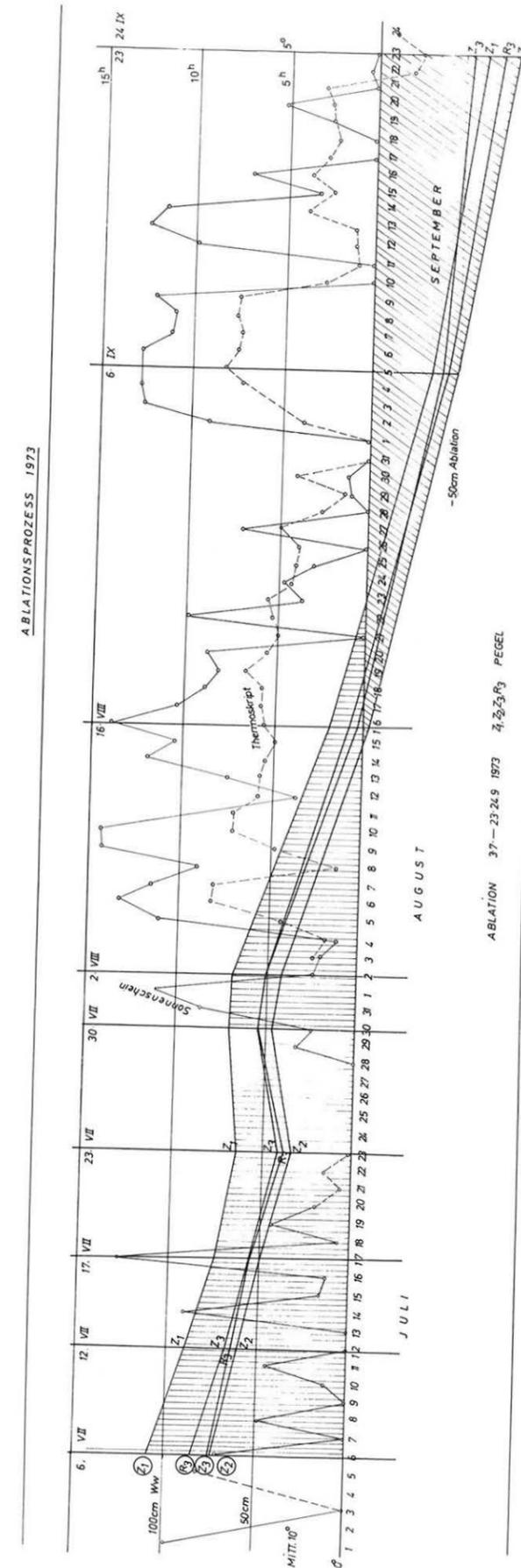


Diagramm 23: Der Ablationsprozeß am Hochköniggletscher im Sommer 1973

Im August war aber die Sonnenscheindauer mehr als doppelt so hoch als im Juli 1973. Bei allen drei Gipfelstationen betrug die Monatssumme über 200 Stunden, und entsprechend hoch war die berechnete kurzweilige Strahlungsbilanz dieses Monats am Hochköniggletscher mit  $27,59 \text{ kJ/cm}^2$  ( $= 6600 \text{ cal/cm}^2$ ). Die gänzliche Abschmelzung des Altschnees erfolgte in dieser Höhenlage um den 20. August (Diagramm 23), die Altschneelinie oder temporäre Schneegrenze befand sich also damals in 2770 m Höhe. Während der Tageswert der Ablation von Altschnee im Juli 1973 5–6 cm ergab ( $= 35 \text{ mm Wasseräquivalent}$ ), betrug der Tageswert der Eisablation fast 4 cm.

Diese Untersuchungen des Ablationsprozesses haben auch einen wirtschaftlichen Bezug, der einmal größere Bedeutung gewinnen kann. Der Hochkönig als Schigebiet — die erste Winterbesteigung erfolgte schon im Jahre 1905 durch Oberst BILGERI — besitzt zwar eine der längsten Abfahrten der Ostalpen (14 km durch das Ochsenkar und Höllental bis Bischofshofen), aber er ist als Sommerschigebiet ungeeignet. In heißen Sommern ist bereits Ende Juli die Altschneedecke aufgebraucht. Seine „Gletscherspende“ ist auch für die Energiewirtschaft infolge der Karsthydrographie nur beschränkt nutzbar. Hingegen ist in Trockenjahren, wie z. B. im Jahre 1976, da gebietsweise empfindlicher Trinkwassermangel auftrat und eine Notversorgung mit Tankwagen durchgeführt werden mußte, das Angebot an Schmelzwasser am größten. In den Karstquellen auf allen Seiten des Hochkönigsmassivs ist es für die Nutzung verfügbar.

Es gewinnen andererseits die Berechnungen der Globalstrahlung einen aktuellen Bezug für eine mögliche Nutzung der Sonnenenergie (F. STEINHAUSER, 1977). Da das Hochgebirgsklima eine sehr hohe Strahlungsbilanz aufweist, sind auch solche Überlegungen durchaus realistisch. Besonders hoch sind die Tagessummen von Mai bis anfangs August mit über  $2,09 \text{ kJ/cm}^2/\text{d}$  ( $= 500 \text{ cal/cm}^2/\text{d}$ ).

#### 11.2. DER ABLATIONSPROZESS 1974

Ein Gegenstück zum Ablationsverlauf des Sommers 1973 mit seinem hohen Massenverlust war im Ablationsprozeß des Sommers 1974 gegeben. Die großen Altschneerücklagen wurden durch 15 Sommerschneefälle immer wieder für einige Tage der Ablation entzogen. Durch sechs Schachtgrabungen während der Zeit von Anfang Mai bis Anfang Oktober wurde auch die Umwandlung der Altschneedecke beobachtet. Im Diagramm 24 (Beilage in Kartentasche) sind neben den Schneeprofilen auch die Tagesmittel des Thermoskripts, die tägliche Sonnenscheindauer vom Matraschhaus und die täglichen Schnee- und Regenfälle eingezeichnet. Weiters ist auch eine „Rekonstruktion der Albedowerte“ nach W. MAHRINGER (1968, S. 190) angegeben und die Kurve der Tagesbilanz der Globalstrahlung, wie sie nach F. SAUBERER und J. DIRMHORN (1960, Tab. 34) berechnet wurde, eingetragen. Während die Albedowerte von Tag zu Tag sinken, steigt gleichzeitig die kurzweilige Strahlungsbilanz umso stärker an.

Die Schachtgrabung vom 16. Juni 1974 ergab noch die gleiche Schachttiefe von 382 cm wie die Grabung vom 5. Mai 1974, jedoch im Juni den größeren Wasserwert von 0,5 gegenüber 0,47 anfangs Mai. Wenn der Wasserwert der Schneedecke als entscheidendes Merkmal für die Andauer der Akkumulationsperiode gilt, so war bei der Schachtgrabung am 25. Juli ein noch größerer Wasserwert der Schneedecke von 198 cm gegenüber 191 cm am 16. Juni festzustellen, aber die Schneedecke hatte sich bereits um 50 cm gesenkt, und die Dichte war auf 0,59 angestiegen. Das Maximum der Rücklagen war somit erst im Juli eingetreten, wenn auch die Wassermenge des Regens, der inzwischen gefallen war, nicht als Rücklage zu betrachten ist.

Die Regenfälle machten allerdings kaum ein Viertel der Niederschlagsmenge der Sommerschneefälle aus.

Während die beiden Schneeprofile vom 16. Juni und 25. Juli (Diagramm 24) noch einen stark gestuften Aufbau durch den Wechsel von Sommerschneefällen und Abschmelzperioden (hohe Dichte und verschmutzter Naßschnee) zeigen, schreitet im August die Verdichtung zu einer einheitlichen Altschneedecke rasch vorwärts. Beim Schacht vom 15. August treten Eislamellen weniger deutlich hervor, während sie im Juli noch häufig waren (strichlierte Horizonte). Das Augustprofil zeigt bereits eine sehr gleichmäßige Zunahme der Dichte. Die mittlere Dichte betrug 0,61, die Altschneedecke hatte dabei aber noch eine Höhe von 234 cm.

Das Schneeprofil vom 6. September 1974 hatte zwar an Höhe einen Meter eingebüßt, aber die Altschneedecke war noch 138 cm mächtig, bei einer mittleren Dichte von 0,68. Während die oberen Lagen bei einer Korngröße unter 0,5 mm stark verschmutzt waren, zeigten die tieferen, nicht verschmutzten Altschneelagen Schmelzwassergänge in waagrechter und auch senkrechter Richtung. Zur Basis hin folgte reiner, grobkörniger Frühwinterschnee.

Der Schacht vom 5. Oktober zeigt deutlich, daß bereits die Akkumulationsperiode begonnen hatte. Eine Schönwetterperiode hatte am 11. September mit Regen geschlossen und bewirkte im Profil die ausgeprägte Schmutzschicht. Sie wirkte sich in der Folge in niedriger Albedo und entsprechend höherer Strahlungsbilanz aus. Die mittlere Dichte war auf 0,69 gestiegen. Am 20. September erfolgte mit einem Tief über dem westlichen Mittelmeer der Wintereinbruch. Die Massenbilanz des Haushaltsjahres 1973/74 ergab einen Massengewinn von 1 Million  $\text{m}^3$  Wasseräquivalent oder eine mittlere spezifische Bilanz von  $+55 \text{ g/cm}^2$ . Infolge der hohen Altschneemengen waren die Pegel anfangs September großteils noch nicht ausgeapert.

Dieser Ablationsprozeß 1974 zeigt in der errechneten Strahlungsbilanz der kurzweiligen Komponenten folgenden Verlauf:

Juli	146,3 MJ/m <sup>2</sup>	(= 3500 cal/cm <sup>2</sup> )
August	246,6 MJ/m <sup>2</sup>	(= 5900 cal/cm <sup>2</sup> )
September	117 MJ/m <sup>2</sup>	(= 2800 cal/cm <sup>2</sup> )
insgesamt	520 MJ/m <sup>2</sup>	(= 12.200 cal/cm <sup>2</sup> )

#### 12. ERGEBNISSE

Ziel dieser Untersuchung war es, die bei den Massenhaushaltsbeobachtungen am Hochköniggletscher 1965–1975 gewonnen Parameter in ihren Beziehungen zur klimatischen Umwelt zu erfassen. Dabei wurden sowohl die am Gletscher beobachteten Klimawerte als auch die Daten der Station Mitterberg herangezogen. Trotz ihrer relativ niedrigen Lage von 1440 m weist sie, wie auch das Diagramm 21 hervor, erregend erkennen läßt, im Sommer enge Beziehungen zum Temperaturgang am Gletscher auf. Die Temperaturgradienten, welche für die Sommermonate in den Jahren 1970–1974 berechnet wurden, geben auch Aufschluß über den Anteil der verschiedenen Wetterlagen an Sommerschneefällen, Gewitterregen oder Föhnlagen, somit an den für die Massenbilanz des Gletschers entscheidenden Vorgängen. Die größten Schwankungen des Temperaturgradienten, die ein Maß für den vertikalen Luftaustausch darstellen, treten gewöhnlich im September auf. Monate mit starker Ablation haben im Durchschnitt einen geringeren Temperaturgradienten, während Monate mit noch bedeutenden Altschneerücklagen einen diesbezüglich größeren Monatsdurchschnitt aufweisen.

Enge Beziehungen konnten weiters zwischen den Niederschlägen von Mitter-

berg und dem Aufbau der Winterschneedecke am Gletscher durch eine Analyse der Schachtgrabungen am Gletscher 1968—1975 nachgewiesen werden. Mittels der linearen Korrelationsrechnung ergaben sich dabei folgende Werte:

Niederschlagsmenge Mitterberg während der Akkumulationsperiode am Gletscher zum Wasserwert der Winterschneedecke am Gletscher	$r = +0,88$
Niederschlagsmenge Oktober bis April von Mitterberg zur Schneehöhe am Gletscher	$r = +0,73$
Summe der Neuschneehöhen von Mitterberg Oktober bis April zur gesamten Schneehöhe am Gletscher (Messung anfangs Mai)	$r = +0,61$
Niederschlagsmenge Oktober bis April von Mitterberg zur Akkumulationsdauer am Hochköniggletscher	$r = +0,61$

Die enge Beziehung zwischen der Niederschlagsmenge von Mitterberg während der jeweiligen Akkumulationsperiode und dem Wasserwert am Gletscher ermöglicht eine Berechnung der Rücklagen am Gletscher allein aus den Werten von Mitterberg. Die übrigen Beziehungen, wie zwischen der Niederschlagsmenge in Mitterberg oder der mittleren Wintertemperatur von Mitterberg und der Länge der Akkumulationsperioden am Gletscher, weisen aber nur einen geringen Zusammenhang auf. Für einzelne Monate ergaben sich aber noch folgende Beziehungen:

Temperaturmittel vom Oktober in Mitterberg zur Schneehöhe am Gletscher im Oktober	$r = -0,87$
Temperaturmittel von April in Mitterberg zur Schneehöhe am Gletscher (Aprilanteil)	$r = -0,88$
Wetterlagen N, NW, W, TR und TM im Dezember zur Schneehöhe am Gletscher (Dezemberanteil)	$r = +0,95$

Aus den Klimadaten von Mitterberg ist auch der Wintereinbruch am Gletscher ziemlich eindeutig und der Beginn der Ablationsperiode noch hinreichend genau zu bestimmen. Eine „Interpretation der Meßergebnisse langjähriger Klimastationen bezüglich des Gletscherverhaltens“ (H. HOINKES, 1970, S. 80) konnte anhand der Werte von Mitterberg für den Hochköniggletscher bis 1940 vorgenommen werden. In den drei Dekaden von 1940—1970 erfolgte eine deutliche Abnahme der Winterkälte und eine Verschiebung der Temperaturminima vom Dezember auf den Februar, verbunden mit hohen Februar-Niederschlägen. Die Niederschlagsmengen schwanken während der Akkumulationsperiode stärker, niederschlagsarme Jahre wirken sich auch stärker auf den Winter aus, während der Sommeranteil der Niederschläge relativ groß bleibt. Auch die Wetterlagenstatistik 1964—1975 zeigt eine deutliche Zunahme der Niederschlagsbereitschaft in der Ablationsperiode.

Während der Akkumulationsperiode führen in der Niederschlagsdichte im Hochköniggebiet die Wetterlagen NW, W, SW, N, TM, in der Ablationsperiode aber TR, TiS, N, H (Gewitter), W, TM.

Eine Schlüsselstellung im Massenhaushalt nehmen die Sommerschneefälle ein. An den 207 Tagen mit Neuschnee (Juli bis September) in den Jahren 1965—1975 führten der Häufigkeit nach die Wetterlagen NW, TR, N, TiS, Vb. Aber auch seltene Wetterlagen können eine entscheidende Wende im Gletscherhaushalt herbeiführen. Verfrühter Wintereinbruch wird meist durch Vb oder N verursacht. TiS hatte im Untersuchungsgebiet die größte negative Temperaturanomale ( $-9,3^\circ$  im Juli), HiE andererseits die höchste positive ( $+6,7^\circ$  im Juli,  $+4,0^\circ$  im September) und auch die geringste Niederschlagsbereitschaft unter allen Wetterlagen. HiE ist im September oft mit Föhn verbunden. Die Südwestströmung, häufig auf Hz folgend, führt im

August zu verstärkter Ablation, die Südströmung in gleicher Weise im September. Unter den zyklonalen Wetterlagen ist aber TR im Hochköniggebiet vorwiegend ablationshemmend, im Unterschied zur ihrer Wirksamkeit im Bereich der Zentralalpengletscher.

Bezüglich der Massenbilanz des Hochköniggletschers (Zeitraum der Hydrologischen Dekade) ergaben sich folgende lineare Korrelationen, wie sie in ähnlicher Weise H. WAKONIGG (1971 A, S. 108) für den Hintereisferner und die Pasterze geboten hatte:

Der Anteil der Sommerschneefälle am Jahresniederschlag zur Massenbilanz	$= +0,91$
Sommerschneefälle im August und September zur Massenbilanz	$= +0,80$
Gruppe der Wetterlagen H, Hz, HiE, HF, SW, S, TB (Mai bis September) zur Massenbilanz	$= -0,78$
Neuschneetage Mai bis September zur Massenbilanz	$= +0,76$
Niederschlagsmenge Mitterberg, Mai bis September zur Massenbilanz	$= +0,67$
Kaltwettergruppe N, NW, Vb, TR, Mai bis Sep. zur Massenbilanz	$= +0,57$
Temperaturmittel Juli und August (Mitterberg) zur Massenbilanz	$= -0,42$
Niederschlag Oktober bis April (Mitterberg) zur Massenbilanz	$= +0,22$

Wie man sieht, ist die Höhe der Sommerniederschläge (Mitterberg V—IX) für den Gletscherhaushalt viel entscheidender ( $r = +0,67$ ) als die Höhe der Winterniederschläge ( $r = +0,22$ ). Die engste Beziehung zur Massenbilanz weisen die Sommerschneefälle auf, besonders in den Monaten ihrer höchsten Wirksamkeit: August und September mit  $r = 0,80$ . Der Anteil der Sommerschneefälle am Jahresniederschlag weist zur Massenbilanz sogar die Beziehung  $r = +0,91$  auf.

Die Massenbilanz ist aber weniger durch Temperaturmittel bestimmt, auch weniger durch die Kaltwettergruppe (N, NW, Vb, TR), als durch jene Wetterlagen, die sich durch geringe Bewölkung, Strahlungswetter, geringen Niederschlag auszeichnen und negativ auf den Gletscherhaushalt auswirken. Über die Sonnenscheindauer ist aber die Massenbilanz nicht erfaßbar. In unserem Falle sind die Werte von nur vier Sommern (Messungen am Matrashaus 1970—1974) für eine Korrelationsrechnung nicht ausreichend, aber auch bei anderen Gletschern mit langen Meßreihen ist die Beziehung der Sonnenscheindauer während der Ablationsperiode zum Gletscherhaushalt sehr gering ( $r = -0,16$  beim Sonnblick, H. WAKONIGG, 1971 B, S. 108). Es zeigt sich hier die entscheidende Rolle der Albedo, durch welche beinahe die gesamte Strahlung reflektiert oder absorbiert werden kann, je nach der Beschaffenheit von Schnee und Eis. Die Albedo ändert sich von Tag zu Tag, auch wenn die Wetterlage gleichbleibt. Entscheidender als die angebotene Globalstrahlung ist die absorbierte Strahlung.

E. DREISEITL (1973, S. 64) hatte aufgrund zahlreicher, am Hintereisferner gewonnener linearer Korrelationen auch eine multiple Regressionsanalyse vorgenommen, wobei u. a. ein Pegel an der Gletscherzunge als repräsentativer Punkt ausgewählt wurde. Am Hochköniggletscher wurde am Beispiel der zwei extrem verschiedenen Ablationsperioden des Sommers 1973 (Meßfeld von vier Pegeln) und des Sommer 1974 (Schachtgrabungen) auch mittels der Strahlungsbilanz eine Berechnung des Ablationsprozesses durchgeführt.

### 13. ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen des Gletscherhaushaltes der Übergossenen Alm auf dem Hochkönig (2941 m) (Salzburger Kalkalpen) während der Internationalen Hydrologischen Dekade klärten die Eigenart dieses typischen ostalpinen Plateaugletschers. Neben seiner geomorphologischen Grundlage in den jungtertiären Altflächen und ihrer Aufwölbung sind ebenso die klimatischen Bedingungen für seine Existenz entscheidend. Aufgrund seiner ausgedehnten, nur wenig geneigten Flächen und der geringen Felsüberragung ist er mehr als die anderen Ostalpengletscher vom Niederschlag abhängig. Sosehr er in strahlungsreichen Sommern der Ablation ausgesetzt ist, wird er ebenso durch ein ausgeprägtes Sommermaximum der Niederschläge und die damit verbundenen Sommerschneefälle geschützt. Die Schwankungen der Albedo zwischen fast totaler Rückstrahlung und völliger Absorption sind auch die Extremfälle seine Verhaltens während der Ablationsperiode. Er reagiert auch sehr rasch, weil er klein ist und sein Flächenmaximum in 2800–2840 m, dem Schwankungsbereich der Gleichgewichtslinie, liegt.

Die Akkumulationsperiode des Gletschers schwankt in der Dauer sehr stark, zwischen 220 bis über 300 Tagen, ebenso die Schneehöhen, zwischen 170 cm bis über 400 cm (1968–1975). Als ein Gletscher mit geringer Höhenerstreckung pendelt er entsprechend zwischen extremen Verhaltensweisen. Eine Analyse der Schneeprofile (jeweils anfangs Mai) ergab nicht nur Einblicke in den Ablauf der Akkumulation, sondern mittels der Korrelationsrechnung wurden auch die engen Zusammenhänge zwischen den Wetterlagen und der Schneehöhe am Gletscher und in den Monaten Oktober und April auch zwischen Temperatur und Niederschlag festgestellt. Mittels Schachtgrabungen und Sondieren wurde Ende des Winters 1975 der Wasserwert der gesamten Rücklagen am Gletscher berechnet und Näherungswerte auch für die vorausgehenden Winter 1969–1974 ermittelt.

Der Jahresgang der Temperatur und des Niederschlages, aus den Klimadaten der Station Mitterberg 1964–1975 in Tagesdurchschnitten, Standardabweichung und Schiefe berechnet, ergab sehr enge Zusammenhänge zwischen klimatischer Umwelt und dem Verhalten des Gletschers. Noch enger konnten die Wetterlagen mit ihrer Niederschlagsbereitschaft, ihrer Temperaturanomale, dem Temperaturgradienten und der Sonnenscheindauer mit dem Gletscherhaushalt in Beziehung gesetzt werden.

Als Gesamtergebnis konnte eine Reihe von Parametern in ihrer linearen Korrelation zur Massenbilanz des Hochköniggletschers aufgezeigt werden. Darunter bilden die Sommerschneefälle vom August und September die engste Beziehung, aber auch sie stellen eine komplexe Erscheinung dar.

Der Ablationsprozeß konnte sowohl an einem Testfeld von Pegeln im strahlungsreichen Sommer 1973 und durch Schachtgrabungen im schneereichen Sommer 1974 verfolgt wie auch rechnerisch durch die kurzweilige Strahlungsbilanz erfaßt werden. Diese Untersuchungen des Massenhaushaltes der Übergossenen Alm wollen nicht isoliert für sich gesehen werden, sondern sie haben einen engen Bezug sowohl zur Wasserwirtschaft wie auch zur Sonnenenergie. Gerade für die Untersuchung von Fragen des Strahlungsklimas bildet der Hochköniggletscher mit dem Matraschhaus als Gipfelhütte die besten Voraussetzungen, die weiter genutzt werden sollten.

### 14. SCHLUSSWORT UND DANK

Langjährige Beobachtungen des Gletscherhaushaltes sind nur unter Mithilfe einer freiwilligen Arbeitsgruppe, die an der Sache interessiert ist, möglich. Weiters bedarf es dazu auch namhafter materieller Mittel.

Beides fand ich bei der Sektion Salzburg des Österreichischen Alpenvereins mit ihrem Vorsitzenden Prof. Dr. TOLLNER, wofür ich herzlichst danke. Ebenso auch dem VERWALTUNGS-AUSSCHUSS des ÖSTERREICHISCHEN ALPENVEREINS in Innsbruck für die jahrelange Förderung.

Weiters habe ich zu danken:

der LANDESREGIERUNG SALZBURG für finanzielle Beihilfen, dem HYDROGRAPHISCHEN DIENST der Landesregierung, Oberinspektor PRODINGER und seinen Mitarbeitern, für ständige technische Hilfe, dem KATASTROPHENDIENST der Landesregierung, Hofrat KOBLER, dem WETTERDIENST SALZBURG, Dr. MAHRINGER, für Geräte und fachliche Hilfe, dem ÖSTERREICHISCHEN NATIONALKOMITEE für die Internationale Hydrologische Dekade, der ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK für die Bereitstellung der Geräte, dem BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN für die Flugaufnahmen, dem BUNDESMINISTERIUM FÜR INNERES für die Bewilligung von Hubschraubertransporten;

für die Auswertung und Anfertigung der Gletscherkarte:

Univ.-Prof. Dr. F. LÖSCHNER, Technische Hochschule Aachen,

Dipl.-Ing. P. TOMASI für die Vermessungsarbeiten am Gletscher,

Dipl.-Ing. G. FLEISCHMANN für die Bereitstellung des Wild Distomat;

für wissenschaftliche Beratung:

Univ.-Prof. Dr. F. FLIRI, der mir die Wege moderner Auswertung wies,

Univ.-Prof. Dr. H. RIEDL, dem ich auch die Aufforderung verdanke, diese Untersuchung zu einer Habilitation auszubauen.

Größter Dank gebührt den vielen Helfern der „Forschungsgruppe“, auch wenn ich nur jene namentlich anführen kann, die gegen zehnmal oder darüber — oft bei Sturm und Nebel — am Hochköniggletscher beim Schachtgraben, Totalisatorenablesen oder Pegelsuchen mitgeholfen haben: A. HÖLLER, J. EGGERTSBERGER, CHR. GOLDBERGER, J. KRENDL, R. MAYER, K. STANGL, H. SCHECHNER. Auch den beiden Hüttenpächtern, K. SCHMID und H. GSCHWENDTNER, sei für die Betreuung der Klimastation am Matraschhaus gedankt, schließlich auch meinem Sohn Siegfried für das Reinzeichnen der Diagramme.

Für die Begutachtung der Arbeit habe ich Univ.-Prof. Dr. FRIEDRICH LAUSCHER sehr zu danken. Ebenso bin ich Univ.-Prof. Dr. M. KUHN für die mühevollen Durchsicht des Manuskripts und seine Beratung zu außerordentlichem Danke verpflichtet.

## 15. LITERATUR

- AMBACH, W., 1961: Die Bedeutung des aufgefrorenen Eises (superimposed ice) für den Massen- und Energiehaushalt eines Gletschers. Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. IV, 1961, S. 169—189.
- DREISEITL, E., 1973: Witterungsklimatologie von Vent und Massenbilanz des Hintereisferners 1955—1971. Ein Beitrag zur Meteorologie der Gletscher. Diss. Univ. Ibk. Manuskript Dez. 1973, 81 S.
- FLIRI, F., 1962: Wetterlagenkunde von Tirol, Tiroler Wirtschaftsstudien, Ibk. 1962, 436 S.
- FLIRI, F., 1964: Zur Witterungsklimatologie sommerlicher Schneefälle in den Alpen, Wetter und Leben, Jahrg. 16, 1964, S. 1—11.
- FLIRI, F., 1965: Die Niederschläge in Tirol und den angrenzenden Gebieten im Zeitraum 1931—1960. Wetter und Leben, Sonderheft 10, Jahrg. 17, S. 3—16.
- FLIRI, F., 1974: Niederschlag und Lufttemperatur im Alpenraum, Wiss. Alpenvereinshefte, H. 24, Ibk. 1974, 110 S.
- FLIRI, F., 1975: Das Klima der Alpen im Raume von Tirol, Monogr. z. Landeskunde Tirols, 1975, 453 S.
- GOLDBERGER, J., 1955: Die Altlandschaft auf dem Hochkönig, Mitt. Geogr. Ges. Wien, 1955, H. III, S. 183—191.
- GOLDBERGER, J., 1973: Der Massenhaushalt des Hochkönnigletschers 1965—1971, Beiträge zur Klimatologie, Meteorologie und Klimamorphologie, Festschr. für H. Tollner, S. 291—305.
- GOLDBERGER, J., 1973 A: Übergossene Alm — wie lange noch? Alpenvereinsjahrbuch 1972, S. 51—53.
- GOLDBERGER, J., 1973 B: Die Übergossene Alm, Wiss. Alpenvereinshefte, H. 23, S. 27—33.
- GUTMANN, J., 1948: Beobachtungs- und Meßmethoden des Wetterdienstes, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.
- HOINKES, H., 1970: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern; Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. VI, H. 1—2, S. 37—90.
- HOINKES, H., 1970 A: Ergebnisse des glazial-meteorologisch-hydrologischen IHD-Programms im Rofental bei Vent, 1964—1968. Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 22, H. 5/6, S. 101—113.
- HOINKES, H., LANG, H., 1962: Winterschneedecke und Gebietsniederschlag 1957/58 und 1958/59 im Bereich des Hintereis- und Kesselrandferners (Ötztaler Alpen), Archiv f. Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Bd. 11, S. 424—446.
- HOINKES, H., WENDLER, G., 1968: Der Anteil der Strahlung an der Ablation von Hintereis- und Kesselwandferner (Ötztaler Alpen) im Sommer 1958, Arch. Met. Geophys. Bioklim., Serie B, 16, S. 195—236.
- HYDROGRAPHIE ÖSTERREICH, Beiträge zu: Der Schnee in Österreich im Zeitraum 1901—1950, Heft N. 34, Wien 1962, 174 S. und 5 Karten 1:500.000.
- HYDROGRAPHIE ÖSTERREICH, Beiträge zur Hydrographie Österreichs, Niederschläge, Schneebeziehungen, Luft- und Wassertemperatur in Österreich, Heft N. 38, Wien 1964, 480 S., Heft N. 43, Wien 1973, 364 S.
- KLEBELSBERG, R. v., 1948/49: Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, 2 Bände, 1028 S.
- LAUSCHER, F., 1958: Studien zur Wetterlagen-Klimatologie der Ostalpenländer, Wetter und Leben, 10/5—7, S. 79—83.
- LAUSCHER, A. u. F., 1971: Der Aufbau und Abbau der Schneedecke im Wechselspiel der Wetterlagen, 68. und 69. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins, S. 3—30.
- LAUSCHER, F., 1972: 25 Jahre mit täglicher Klassifikation der Wetterlage in den Ostalpenländern, Wetter und Leben, Jahrgang 24, S. 185—189.
- LAUSCHER, A. u. F., 1975: Zur Berechnung der Schneeverdunstung auf dem Sonnblick, 72. u. 73. Jahresbericht des Sonnblickvereins, S. 3—10.
- LAUSCHER, A. u. F., 1975 A: Die Zeitpunkte größter Schneehöhen in den Ostalpenländern, Wetter und Leben, Jahrgang 27, S. 26—30.
- MAHRINGER, W., 1976: Das Strahlungsklima im Bereich der Stadt Salzburg, in: Klima und Witterung der Stadt Salzburg, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, N. 211, S. 5—19.
- RICHTER, R., 1888: Die Gletscher der Ostalpen, Stuttgart, 288 S.
- ROLLER, M., 1939: Das Klima des Hochkönigs im Verhältnis zum Klima auf dem Hohen Sonnblick und der Zugspitze, Diss. Inst. für Physik der Erde, Univ. Wien, Dez. 1939, Manuskript, 71 S.
- ROLLER, MARIA, 1964: Die Normalwerte der Schneedichte in den Ostalpenländern, Wetter und Leben, 6, 50—53, 201.
- SAUBERER, F., DIRMHORN, J., 1960: Das Strahlungsklima, Klimatographie von Österreich, 1958—1960, S. 13—18.
- SCHEIBBNER, F., MAHRINGER, W., 1968: Die Albedo der Sonnblickgletscher und ihre zeitlichen Variationen, Archiv f. Meteor., Geophys., Bioklimatologie, Serie B, 1968, S. 174—194.
- SEEFELDNER, E., 1934: Die alten Landoberflächen der Salzburger Alpen, Z. f. Geom. VIII, Bd. 1934, S. 157—198.
- SEEFELDNER, E., 1935: Der verschwundene Gletschersee auf dem Hochkönig, Mitt. d. Gg. Ges., Bd. 78, 1935, S. 113—118.
- SLUPETZKY, H., 1974: Untersuchungen zur Massenbilanz eines Hanggletschers, Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus der Meßreihe 1963/64—1970/71 vom Stubacher Sonnblickkees (Hohe Tauern), Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. X, 1974, S. 11—69.
- STEINHAUSER, F., 1973 A: Tages- und Jahresgang der Sonnenscheindauer in Österreich 1929—1968, Zentralamt für Met. und Geodyn. in Wien, Publ. N 202, 1973, 111 Tabellen, 5 Diagramme.
- STEINHAUSER, F., 1973 B: Über die Schneeverhältnisse auf der Großglockner Hochalpenstraße, Festschrift für H. Tollner, Salzburg, 1973, S. 81—100.
- STEINHAUSER, F., 1977: Die Veränderlichkeit der Tagessummen der Globalstrahlung in den Ostalpen, 74.—75. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für 1976/77, S. 11—19.
- TOLLNER, H., 1969: Das Verhalten von Gletschern der Großglocknergruppe in den letzten Jahrzehnten, Wiss. Alpenvereinshefte, H. 21.
- TOLLNER, H., 1969 A: Niederschlagsverhältnisse auf der Karsthochfläche des Höllengebirges in Oberösterreich, 66.—67. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für 1968/69, S. 19—33.
- TOLLNER, H., 1974 A: Das Verhalten der Gletscher in der Großglocknergruppe und Goldberggruppe in den Jahren 1970, 1971 und 1972, 68. und 69. Jahresbericht des Sonnblickvereins, S. 54—64.
- TOLLNER, H., 1974 B: Klimaschwankungen und Gletscherverhalten in historischer Zeit, Alpenvereinsjahrbuch 1974, Bd. 99, S. 101—109.
- TRONOW, M. V., 1962: On the role of summer snowfall in glacier variations, Comm. of snow and ice Symposium of Obergurgl, 1962, ASH Publ. N 58, p. 262—269.
- WAGNER, H. P., 1978: Strahlungshaushaltsuntersuchungen am Hintereisferner/Ötztal während der Hauptablationsperiode, Dissertation, Manuskript, 1288 S., 99 Tabellen.
- WAKONIGG, H., 1971 A: Gletscherverhalten und Klimaelemente, Festschrift f. H. Paschinger, Mitt. naturw. Ver. Steiermark 101, S. 175—194.
- WAKONIGG, H., 1971 B: Gletscherverhalten und Witterung, Z. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. VII, H. 1—2, S. 103—123.
- WÜSTRICH, R., 1976: Die Übergossene Alm am Hochkönig — Refraktionseisnische Untersuchungen an einem Plateaugletscher, Dissertation, Montanuniversität Leoben, Manuskript, 125 Seiten Text, Karte 1:10.000.
- WÜSTRICH, R., 1973: Seismische Messungen auf der Übergossenen Alm am Hochkönig, Wissensch. Alpenvereinshefte, H. 23, S. 35—38.

Anschrift des Verfassers: Doz. Dr. Josef Goldberger  
Gaswerksgasse 12/III  
A-5020 Salzburg

Wissenschaftliche Alpenvereinshefte — Heft 28



## **Gletscherhaushalt und klimatische Umwelt des Hochköniggletschers 1965–1975**

Von Josef Goldberger

Innsbruck 1986

Tabelle 1: Flächen und Flächenanteile für Hangrichtung und Hangneigung des Hochköniggletschers

Hangrichtung: Hochköniggletscher			Sailergletscher		
N	134 ha	= 77 %			52 %
NE	30 ha	= 17 %			45 %
NW	3 ha	= 2 %			3 %
W	1 ha	= 0,6 %			
S	5 ha	= 3 %			
SE	1 ha	= 0,6 %			

Hangneigung: Hochköniggletscher			Sailergletscher		
unter 5°	11 ha	= 6 %			0
5 - 15°	73 ha	= 42 %			8 %
15 - 25°	72 ha	= 41 %			54 %
über 25°	18 ha	= 11 %			38 %

Tabelle 2: Flächen und Flächenanteile in 20 m Höhenstufen für den Hochköniggletscher insgesamt und dessen Teilgletscher

Höhenstufen (m ü.M.)	Hochköniggletscher		Plateaugletscher		Sailergletscher	
	Fläche (ha)	Anteil (%)	Fläche (ha)	Anteil (%)	Fläche (ha)	Anteil (%)
über - 2840	2,92	1,68	2,92	1,7		
2820 - 2840	16,70	9,58	16,70	9,6		
2800 - 2820	24,61	14,12	24,61	14,0		
2780 - 2800	15,35	8,81	15,35	8,8		
2760 - 2780	13,23	7,59	12,97	7,4	0,26	0,1
2740 - 2760	16,12	9,25	13,25	7,6	2,87	1,6
2720 - 2740	11,59	6,65	10,32	5,9	1,27	0,7
2700 - 2720	11,98	6,88	8,66	5,0	3,32	1,9
2680 - 2700	12,42	7,13	7,89	4,5	4,53	2,6
2660 - 2680	13,21	7,58	7,97	4,6	5,24	3,0
2640 - 2660	12,94	7,43	7,76	4,5	5,18	3,0
2620 - 2640	7,53	4,32	3,66	2,1	3,87	2,2
2600 - 2620	5,69	3,27	2,55	1,5	3,14	1,8
2580 - 2600	4,56	2,62	1,64	0,9	2,92	1,7
2560 - 2580	2,75	1,58	0,48	0,3	2,27	1,3
2540 - 2560	1,11	0,64			1,11	0,6
2520 - 2540	0,82	0,47			0,82	0,5
2500 - 2520	0,53	0,30			0,53	0,3
unter 2500	0,19	0,11			0,19	0,1
	174,25	100,01	136,73	78,5	37,52	21,5

Tabelle 3: Winterschneedecke 1975 (11. Mai) - Ergebnisse der Sondierung (Lage der Pegel siehe Karte 1)

Pegel	Schnee	Wasserwert
	cm	cm
Z 1	512	255
R 2	460	220
Z 11	430	215
Z 14	350	175
Z 15	410	205
Z 18	500	250
7 B	500	250
W 15	460	230
W 1	410	205

Als mittlere Dichte wurde bei der Schachtgrabung  $0,5/\text{cm}^3$  bestimmt.

Beispiel für Interpolationen:

- Z 2 240 cm Wasserwert (gegenüber Z 1 um 15 cm Wasserwert weniger, gilt für 1971, 1972 und 1973)
- Z 3a 230 cm Wasserwert (1970 um 20 cm kleiner als Z 1, 1972 um 24 cm kleiner als Z 1)
- W 3 270 cm Wasserwert (regelmäßig um 30 cm höheren Wert als Z 1, um 70 cm höheren Wert als Z 15).

Tabelle 4: Massenbilanz vom Hochköniggletscher 1965/66 bis 1974/75

Haushaltsjahr	Nettoakkumulation			Nettoablation			Massenbilanz			Mittlere Höhe d. Gleichgewichtslinie m	Flächenverhältnisse	
	Sc ha	Bc $10^4 \text{m}^3$	bc g/cm <sup>2</sup>	Sa ha	Ba $10^3 \text{m}^3$	ba g/cm <sup>2</sup>	S ha	B $10^3 \text{m}^3$	b g/cm <sup>2</sup>		Sc/S	Sc/Sa
1965/66	165	+439	+27	9	-17	-2	174	-422	+24	-	(0,95)	(18,33)
1966/67	115	+202	+17,6	59	-102	-17	174	+100	+6	(2750)	0,66	1,95
1967/68	58	+107	+18	116	-278	-24	174	-171	-10	(2820)	0,33	0,50
1968/69	67	+103	+16	107	-205	-19	174	-102	-6	(2800)	0,49	0,62
1969/70	95	+213	+22	79	-268	-34	174	-55	-3	2790	0,55	1,20
1970/71	0	0	0	174	-1200	-69	174	-1200	-69	-	-	-
1971/72	19	+38	+2	136	-639	-37	174	-601	-34	2850	0,11	1,28
1972/73	0	0	0	171	-1472	-86	171	-1472	-86	-	-	-
1973/74	174	+995	+55	0	0	0	174	+995	+55	2650	1	-
1974/75	0	0	0	174	-900	-52	174	-900	-52	-	-	-

Tabelle 5: Die mittleren spezifischen Massenbilanzen des Hochköniggletschers 1967/68 bis 1974/75 im Vergleich zum Stubacher Sonnblickkees und Hintereisferner (aus M.Kuhn 1978, p.2 und 5)

	Hochkönig- gletscher B (g/cm <sup>2</sup> )	Stubacher Sonnblickkees B (g/cm <sup>2</sup> )	Hintereisferner B (g/cm <sup>2</sup> )
1967/68	-10	+23,6	+ 34
1968/69	- 6	-24,7	- 43
1969/70	- 3	+14,4	- 55
1970/71	-69	-39,2	- 60
1971/72	-34	+12,8	- 7
1972/73	-86	-72,1	-123
1973/74	+55	+57,6	+ 6
1974/75	-52	+39,7	+ 6

Tabelle 6: Temperaturen am Hochköniggletscher in 2770 m,  
7. - 14. August 1970 - 74  
Temperatur um 13 Uhr, Thermoskript, °C

	1970	1971	1972	1973	1974
7. August	8,8 <sup>o</sup>	12,8	7,6	11,6	6,6
8.	5,4	0,0	9,6	2,4	0,4
9.	-0,2	1,4	9,6	5,4	0,2
10.	1,4	10,0	9,4	8,7	2,6
11.	0,4	8,2	11,6	9,0	-2,4
12.	0,6	-0,2	12,6	6,6	-1,3
13.	6,0	6,2	13,1	6,6	6,7
14.	6,4	10,3	13,3	7,5	10,2

Tabelle 7: Wintereinbruch am Hochköniggletscher 1964 - 74 und Wetterlagen in den Folgetagen

1964: 19. September	NW, NW, N, N (Neuschnee bis 1000 m)
1965: 24. August	Vb, Vb, TR, NW, NW (Neuschnee bis 1900 m)
1966: 12. Oktober	TwM, SW, SW
1967: 3. Oktober	W, W, W (Neuschnee bis 1400 m)
1968: 16. September	TM, SW, Vb, N, TB, TM
1969: 1. Oktober	W, NW, NW
1970: 1. Oktober	NW, NW, NW, NW
1971: 12. September	NW, N, N, N, N (Neuschnee bis 800 m)
1972: 18. August	TR, N, N, N, N, N (Vorher Hitzeperiode)
1973: 21. September	W, h, Vb, Vb, Vb, Vb, Vb (Neuschnee bis 1700)
1974: 21. September	H, TR, TR, TB, TB, NW (Neuschnee bis 1200 m)

Tabelle 8: Monatssummen und ihr Anteil an der Jahressumme des Niederschlages von Mitterberg 1964 bis 1975

Monat	mm	%
Oktober	91	5,3
November	130	7,5
Dezember	123	7,1
Jänner	110	6,4
Februar	106	6,1
März	124	7,2
April	149	8,6
Mai	146	8,5
Juni	189	11,0
Juli	220	12,8
August	214	12,4
September	123	7,1

Tabelle 9: Hochköniggletscher, Anzahl der Tage mit Schneefall >5 cm in den Sommermonaten 1970 bis 1975 sowie die längsten Perioden ohne Schneefall

Hochkönig-Gletscher									
Tage mit Schneefall >5 cm									
Neuschneetage Sommer 1970 - 75									
Jahr	V	VI	VII	VIII	IX	Summe	Längste Periode ohne Schneefall		
							Zeit	Anzahl Tage	
1970		1	7	4	2	14	17.9. - 26.9.	9 d	
1971	5	7	2	5	1	20	13.8. - 23.8. 1.9. - 10.9.	10 d 10 d	
1972	5	8	5	3		21	15.7. - 28.7.	14 d	
1973	1	8	12	4	1	26	5.8. - 29.8.	24 d	
1974			9	3	3	15	12.8. - 26.8.	14 d	
1975	2	11	7	3	5	28	26.7. - 24.8.	30 d	

Tabelle 10: Wetterlagen - Klassifikation nach F.Lauscher (1958, 1972)

Hochdrucklagen: H = Hochdruck  
h = Zwischenhoch  
Hz = Zentrale Hochdruckbrücke

Hochdruck-Randlagen: HiE = Hoch im Osten  
HF = Hoch über Fennoskandia  
HNW = Hoch im NW

Strömungslagen: Weiträumige Höhenströmungen aus N, NW, W, SW und S

Tiefdruck-Randlagen: TB = Tief über den Britischen Inseln  
TwM = Tief über dem westlichen Mittelmeer  
TiS = Tief im Süden

Tiefdrucklagen: TR = Meridionaler Trog  
TM = Tief über Mitteleuropa  
Vb = Zugstraße Vb Adria - Alpenrand - Polen

Die erst später eingeführte Wetterlage "Gradient-schwach" wurde aus methodischen Gründen nicht verwendet.

Tabelle 11: Niederschlagsbereitschaft in Mitterberg 1964 - 75  
(Niederschlagsbereitschaft =  $\frac{\text{Wetterlagentage}}{\text{Tage über 1 mm N}}$  in %)

Akkumulationsperiode X. - IV.		Ablationsperiode V. - IX.	
NW	94 %	W	91 %
N	83 %	TR	81 %
TR	81 %	NW	80 %
W	75 %	TB	77 %
TM	72 %	TM	76 %
Vb	69 %	Vb	73 %
TB	59 %	TiS	66 %
TwM	46 %	N	63 %
		TwM	53 %
HNW	29 %	SW	38 %
TiS	23 %	h	29 %
SW	20 %	HF	29 %
h	20 %	HNW	27 %
HF	19 %	S	23 %
HiE	12 %	Hz	19 %
S	7 %	H	16 %
H	7 %	HiE	12 %
Hz	6 %		

Tabelle 12: Anzahl der Niederschlagstage, mittlere Jahresniederschlagsmengen und Anteile bei einzelnen Wetterlagen, Mitterberg 1964 bis 1975

	Akkumulationsperiode			Ablationsperiode			
	Tage über mm	%		Tage über mm	%		
	1 mm			1 mm			
NW	206	252	30,3	TM	170	175	19,6
W	155	157	18,8	TR	102	156	17,5
TM	123	103	12,4	NW	98	124	13,9
N	111	102	12,3	TB	86	100	11,2
TR	87	69	8,3	W	82	91	10,2
TB	54	41	4,9	H	66	53	5,9
TwM	46	22	2,7	N	35	42	4,7
SW	28	20	2,4	SW	38	38	4,3
Vb	20	13	1,5	TiS	27	32	3,6
TiS	15	11	1,3	Vb	19	20	2,2
				TwM	9	11	1,2
				Hz	13	11	1,2

Tabelle 13: Sommerschneefall- und Regentage (Juli - September) am Matrashaus 1970 bis 1974 (bei mehr als 3 mm N in Mitterberg)

Schneefalltage				Regentage über 1 mm			
1	2	3	4	1	2	3	4
NW	24	27	80	H	17	19	16
TR	18	20	81	TB	16	18	77
W	11	13	91	TM	10	11	76
TM	9	10	76	TR	9	10	81
N	7	8	63	SW	9	10	38
TB	5	6	77	W	7	8	91
Vb	5	6	73	NW	4	4	80
TiS	3	3	66	TiS	4	4	66
h	3	3	29	Hz	4	4	19
HNW	2	2	27	HNW	3	3	27
TwM	1	1	53	HiE	2	2	12
				S	2	2	23
				h	2	2	29
				TwM	1	1	53
				HF	1	1	29
Summe	88	99		Summe	91	99	

Spalten: 1: Wetterlage  
 2: Anzahl der Tage  
 3: % der Tage  
 4: Niederschlagsbereitschaft in %

Tabelle 14: Mengenstruktur der Wetterlagen mit Sommerschneefällen (bei über 3 mm N in Mitterberg), Juli - September 1965 bis 1975

Wetterlage	mm/Tag	Standardabweichung	Schiefe
TB	20	10,6	0,60
TR	18	10,4	2,07
TwM	15,5	7,8	0,15
N	14,9	12,5	1,9
TiS	14,7	19,6	1,7
W	14,5	10,1	0,97
TM	14,4	17,2	1,4
Vb	13,9	10,5	0,9
NW	13,9	10,2	1,2
h	6,8	2,8	0,5
HNW	9,5		

Niederschlagssummen in Mitterberg bei Wetterlagen mit Sommerschneefällen (über 3 mm N in Mitterberg), Juli - September 1965 bis 1975

Wetterlage	mm	Wetterlage	mm
TR	66	TiS	17
NW	58	TB	16
T	46	Vb	11
W	33	TwM	7
N	19	h	3

Tabelle 15: Anteil der Wetterlagen in %, die zu Sommerschneefällen führten, Juli - September 1965 bis 1975, bei über 3 mm N in Mitterberg, insgesamt 207 Sommerschneefälle:

Wetterlage	%	Wetterlage	%
NW	22	Vb	4
Tr	19	TB	4
TM	18	TwM	2
W	12	h	2
N	8	unsicher	2
TiS	7		

Tabelle 16: Anzahl der Tage der Wetterlagen in den Wintermonaten der Jahre 1964 bis 1974

	H	h	H <sub>Z</sub>	H <sub>F</sub>	HNW	HiE	N	NW	W	SW	S	TB	TwM	TiS	Vb	TM	TR
Oktober	137	27	15	9	5	10	14	25	22	17	3	12	3	3	2	22	14
November	70	35	12	6	2	9	10	29	38	28	7	17	20	4	2	22	19
Dezember	81	37	11	2	2	23	21	48	49	8	10	10	10	4	2	14	8
Jänner	60	36	12	4	1	27	16	33	30	35	16	19	22	1	3	14	12
Februar	46	33	9	4	6	7	32	29	30	25	16	2	18	1	8	29	15
März	53	25	3	17	3	29	16	33	26	11	21	15	19	5	8	30	25
April	60	30	7	5	12	8	32	40	13	19	13	12	8	10	1	39	20
Winter	507	223	69	47	31	113	141	239	208	143	86	87	100	28	26	170	113

Tabelle 17: Anzahl der Tage der Wetterlagen in den Sommermonaten der Jahre 1965 bis 1975

	H	h	H <sub>Z</sub>	H <sub>F</sub>	HNW	HiE	N	NW	W	SW	S	TB	TwM	TiS	Vb	TM	TR
Mai	62	20	17	13	2	4	16	26	18	24	12	27	5	6	10	54	25
Juni	63	39	10	14	11	-	4	30	18	19	5	23	3	8	5	59	19
Juli	110	27	11	1	6	5	14	34	25	15	2	16	-	5	-	32	38
August	103	23	13	8	10	5	8	15	13	23	5	19	8	15	5	44	25
September	88	27	18	2	8	19	13	18	16	17	6	27	3	7	9	34	17
Sommer	426	136	69	38	37	33	55	123	90	98	30	112	19	41	29	223	124

Tabelle 18: Anzahl der Tage der Wetterlagen in den Jahren 1964/65 bis 1974/75 sowie Summen, Mittelwerte und deren Standardabweichung in der Akkumulationsperiode

	H	h	H <sub>Z</sub>	H <sub>F</sub>	HNW	HiE	N	NW	W	SW	S	TB	TwM	TiS	Vb	TM	TR
64/65	47	23	6	2	3	3	15	24	23	5	5	12	10	0	0	23	15
65/66	50	20	8	3	3	6	5	17	32	20	0	9	12	4	0	17	1
66/67	35	15	11	6	1	6	6	33	22	15	13	12	5	12	0	12	8
67/68	44	20	12	3	0	8	14	23	19	15	3	10	3	3	0	19	17
68/69	42	18	1	12	4	19	9	16	16	15	10	8	8	2	8	18	6
69/70	36	23	2	3	0	16	16	11	27	20	4	7	4	0	0	16	16
70/71	55	20	5	0	9	11	19	13	15	14	18	8	3	2	9	4	7
71/72	51	26	3	4	3	14	7	17	9	7	10	6	25	4	6	11	10
72/73	60	27	5	2	2	12	23	19	20	5	5	3	10	1	5	11	6
73/74	35	20	4	7	6	17	9	29	11	16	13	6	10	2	1	10	9
74/75	52	13	12	5	0	1	10	27	14	11	5	10	10	0	0	29	13
Summe	507	225	69	47	31	113	133	229	208	143	86	91	100	30	29	170	108
Mittel	46,1	20,6	6,3	4,3	2,8	10,3	12,1	20,8	18,9	13,0	7,8	8,4	9,1	2,7	2,6	15,5	9,8
σ	8,1	3,9	3,8	3,1	2,6	3,7	5,5	6,6	6,6	5,1	5,1	2,7	5,9	3,2	3,4	6,6	4,7

Tabelle 19: Anzahl der Tage der Wetterlagen in den Jahren 1964/65 bis 1974/75 sowie Summen, Mittelwerte und der Standardabweichung in der Ablationsperiode

	H	h	H <sub>Z</sub>	H <sub>F</sub>	HNW	HiE	N	NW	W	SW	S	TB	TwM	TiS	Vb	TM	TR
64/65	38	10	4	0	1	1	4	13	9	13	3	17	2	2	11	16	9
65/66	38	7	9	1	0	4	6	15	10	6	0	12	1	10	0	22	12
66/67	40	15	11	0	2	2	0	3	12	12	2	9	0	3	3	27	12
67/68	34	21	2	13	1	1	9	5	5	8	1	11	0	0	5	24	13
68/69	39	15	6	4	7	8	6	11	6	8	1	12	2	1	0	23	4
69/70	46	17	4	3	4	0	7	16	3	6	3	11	0	2	1	16	15
70/71	44	11	5	1	9	5	3	9	7	15	3	8	2	2	0	21	8
71/72	29	10	9	5	1	3	10	8	9	2	8	6	2	15	0	21	15
72/73	34	15	5	6	4	1	5	15	11	18	3	11	1	3	2	10	5
73/74	40	10	6	2	4	3	2	19	12	6	2	9	3	2	2	20	11
74/75	44	5	8	3	4	5	4	9	6	5	4	6	4	1	2	23	20
Summe	426	136	69	38	37	33	56	123	90	99	30	112	17	41	26	223	124
Mittel	38,8	12,4	6,3	3,5	3,4	3,0	5,1	11,2	8,2	9,0	2,7	10,2	1,6	3,7	2,4	20,3	11,3
σ	4,7	4,5	2,6	3,6	2,6	2,3	2,8	4,7	2,9	4,6	2,0	3,0	1,3	4,5	3,1	4,5	4,4

Tabelle 20: Anzahl der Tage der Wetterlagen in den Haushaltsjahren 1964/65 bis 1974/75 sowie Summen, Mittelwerte und deren Standardabweichung

	H	h	H <sub>Z</sub>	H <sub>F</sub>	HNW	HiE	N	NW	W	SW	S	TB	TwM	TiS	Vb	TM	TR
64/65	85	33	10	2	4	4	19	37	32	18	8	25	12	2	11	39	24
65/66	88	27	17	4	3	10	11	32	42	26	0	21	13	14	0	39	18
66/67	75	30	22	6	3	8	6	36	34	27	15	21	5	15	3	39	20
67/68	78	41	14	16	1	9	23	28	24	23	4	21	3	3	5	43	30
68/69	81	33	7	16	11	27	15	27	22	23	11	20	10	3	8	41	10
69/70	82	40	6	6	4	16	23	37	30	26	7	18	4	2	1	32	31
70/71	99	31	10	1	18	16	22	22	22	29	21	16	5	4	9	25	15
71/72	80	36	12	9	4	17	17	25	18	9	18	12	27	19	6	32	25
72/73	94	42	10	8	6	13	28	34	31	23	8	14	11	4	7	21	11
73/74	75	30	10	9	10	20	18	48	23	22	15	15	13	4	3	30	20
74/75	96	18	20	8	4	6	14	36	20	16	9	16	14	1	2	52	33
Summe	933	361	178	85	68	146	196	362	298	242	116	199	117	71	55	393	237
Mittel	84,8	32,8	12,5	7,7	6,2	13,3	17,8	32,9	27,1	22,0	10,6	18,1	10,6	6,4	5,0	35,7	21,5
σ	8,1	6,6	4,9	4,6	4,7	6,4	5,9	6,9	6,9	5,5	5,9	3,8	6,6	6,0	3,4	8,4	7,5

Tabelle 21: Temperaturanomalien bei entsprechenden Wetterlagen, Station Mitterberg, 1964 bis 1975

	H	h	H <sub>Z</sub>	H <sub>F</sub>	HNW	HiE	NW	N	W	Vb	SW	S	TM	TB	TwM	TiS	TR
Oktober	+1,8	-1,0	+2,1	-1,0	-1,0	+3,0	-3,7	-1,7	+0,2	-	+3,6	-	-4,6	-0,1	+0,2	-3,6	-4,1
November	+1,1	-1,9	+4,4	-1,9	-	-1,7	-1,6	-4,5	+1,2	-	+4,0	+2,9	-1,0	-0,8	-0,4	-0,7	-1,6
Dezember	+0,7	-2,3	-0,3	-	+0,9	-0,2	-1,1	-4,5	+1,9	-	+3,8	+4,8	-2,3	-1,9	+1,5	-	-2,9
Jänner	-0,9	-0,1	-2,7	-3,0	-	-0,7	-1,8	-4,9	+1,5	-1,2	+3,3	+3,7	-1,2	+1,1	+0,4	-	-2,0
Februar	+0,5	+0,7	0,3	-0,9	-3,7	-2,8	-2,5	-5,4	+1,4	+0,3	+5,1	+4,6	-0,5	-	+2,2	-	+0,1
März	+2,3	+0,2	+4,5	+0,9	-3,2	-0,3	-3,3	-5,3	+0,8	-2,0	+4,0	+5,9	-0,1	+1,0	+1,2	-	-2,8
April	+2,1	-1,9	+2,3	-	-1,4	+4,5	-3,4	-3,4	-0,2	-	+4,1	+4,2	-1,6	+0,7	-0,3	+2,4	-0,9
Mai	+1,4	-1,5	+2,2	+0,6	-	+3,8	-3,8	-5,1	-0,8	-3,0	+3,4	+3,8	-1,0	+1,6	0,0	-	-0,5
Juni	+1,3	+0,3	+1,8	-0,2	+1,0	-	-3,6	-4,7	-2,1	-3,6	+3,8	+5,8	-1,1	-0,4	-	+0,2	-1,1
Juli	+2,6	-1,4	+2,3	-	-1,1	+6,7	-2,6	-6,3	-1,7	-	+3,7	-	-0,4	+2,1	-	-9,3	-2,6
August	+1,6	-1,0	+2,6	+0,3	+2,7	+2,8	-2,7	-6,1	-3,7	-3,9	+4,0	-	-0,9	-0,4	+0,4	-2,2	-3,8
September	+1,0	-2,1	+2,0	-0,2	-0,8	+4,0	-2,2	-3,6	-1,9	-3,6	+3,1	-	-1,5	+0,6	+1,3	0,3	-3,5

Tabelle 22: Wetterlagen und Temperaturgradienten Mitterberg -  
Matrashaus - Thermoskript am Gletscher, an Tagen mit  
über 1 mm Niederschlag in Mitterberg (n = Zahl der  
Fälle Mai - September 1970 bis 1974,  $\sigma$  = Standardab-  
weichung)

Wetterlage	$^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$	n	$\sigma$
H	-0,73	54	0,16
h	-0,72	15	0,25
Hz	-0,79	12	0,21
HiE	-0,75	6	0,41
HF	-0,77	6	0,22
HNW	-0,73	15	0,20
N	-0,59	18	0,20
NW	-0,71	75	0,16
W	-0,71	48	0,20
SW + S	-0,77	42	0,25
TB	-0,66	63	0,28
TwM	-0,67	6	0,17
TiS	-0,73	15	0,18
TR	-0,65	84	0,20
TM	-0,75	21	0,35
Vb	-0,67	6	0,34

Temperaturgradienten ( $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ) der Wetterlagen NW und  
TM in den Monaten Mai bis September

Monatsgang	NW	TM	
V	-0,66	-0,70	
VI	-0,73	-0,62	
VII	-0,76	-0,76	
VIII	-0,75	-0,70	
IX	-0,67	-0,75	$\sigma = 0,35$

Fortsetzung Tabelle 22: Temperaturgradient an Tagen mit über 1 mm  
N, Mittelwerte von den täglichen Terminab-  
lesungen (8<sup>h</sup>, 13<sup>h</sup>, 21<sup>h</sup>)

Monat	n	$^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$	$\sigma_f$
August 1970	45	-0,69	0,16
September 1970	39	-0,64	0,22
August 1971	42	-0,68	0,19
September 1971	21	-0,64	0,21
August 1972	-	-	-
September 1972	36	-0,75	0,24
Mai 1973	30	-0,59	0,29
August 1973	36	-0,77	0,17
September 1973	21	-0,64	0,30
Mai 1974	30	-0,69	0,15
Juni 1974	39	-0,71	0,16
Juli 1974	48	-0,73	0,23
August 1974	39	-0,72	0,25
September 1974	42	-0,72	0,29

Tabelle 23: Wetterlagen und relative Sonnenscheindauer 1970 - 74  
auf den Gipfelstationen Hochkönig, Zugspitze und Sonn-  
blick (Lineare Regression Zugspitze : Hochkönig  
 $r = 0,75$ )

Wetterlage	Hochkönig	Zugspitze	Sonnblick
	(%)	(%)	(%)
H <sub>z</sub>	70	72	70
H	61	71	66
SW	55	59	51
HiE	51	60	52
h	47	56	40
HF	45	46	44
TB	42	34	31
T	27	22	26
N	24	26	14
HNW	23	48	37
W	20	16	21
TiS	10	27	20
NW	8	7	14
TR	4	9	6

Tabelle 24: Albedowerte für verschiedene Zustände der Gletscher-  
oberfläche nach F.SCHEIBNER und W.MAHRINGER (1968,  
S.176)

	Mittelwerte	
Neuschnee	88 - 70 %	80 %
Altschnee rein	70 - 50 %	60 %
Altschnee verschmutzt	50 - 35 %	45 %
Firn rein	63 - 50 %	52 %
Firn mäßig verschmutzt	50 - 30 %	40 %
Firn verschmutzt	30 - 15 %	25 %
Eis rein	45 - 30 %	33 %
Eis mäßig unrein	30 - 20 %	26 %
Eis unrein	20 - 6 %	13 %

Tabelle 25: Kurzwellige Strahlungsbilanz ( $SB_k$ ) und Ablation 1973

Datum	$SB_k$ (cal/cm <sup>2</sup> /d)	Ablation (mm Ww/d)	$SB_k$ zur Ablation
1.7. - 5.7.	254	--	--
6.7. - 11.7.	165	34	4,85
12.7. - 16.7.	200	36	5,50
17.7. - 22.7.	183	Neuschnee	--
23.7. - 29.7.	65	Neuschnee	--
30.7. - 1.8.	110	19	--
2.8. - 15.8.	215	35	6,00
16.8. - 4.9.	200	28	7,10
5.9. - 23.9.	160	17	9,40