

Glazio-meteorologische Studien in Spitzbergen

Alfred Güller

Die vom Geographischen Institut der Universität Zürich im Sommer 1970 durchgeführte Expedition nach Spitzbergen, mit dem Basislager auf der flachen Vorlandzunge «Hotellneset» am Adventfjord 5 km NW Longyearbyen, galt vorab dem Studium von Problemen des Frost- bzw. Auftaubodens, der Solifluktion und der Morphologie. Mit glaziologischen Fragen befaßte sich allein der Autor, soweit die erwähnten Untersuchungen und die damit verbundenen Umstände es zuließen.

Problemstellung und Untersuchungsgebiet

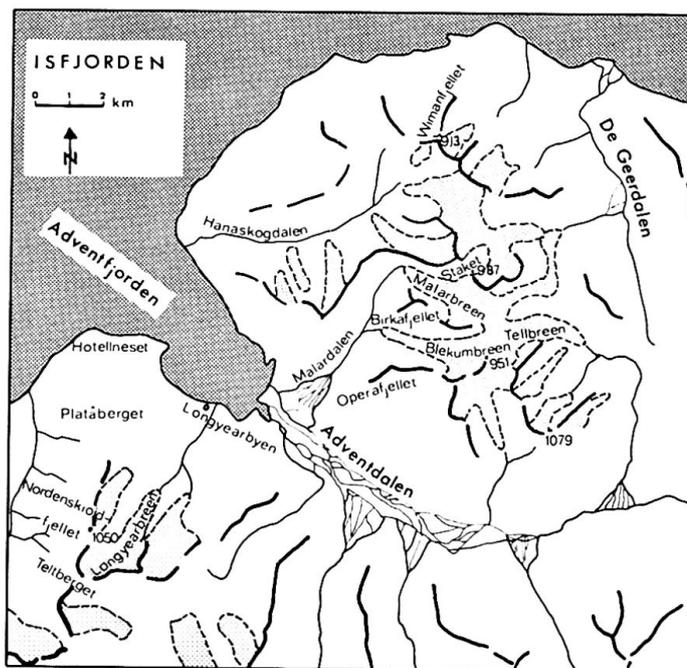
Über das Verhalten der großen Gletscher auf Spitzbergen, insbesondere der sich in den Fjorden der Westküste bis ins Meer vorschiebenden Talgletscher liegen verschiedene Arbeiten vor (siehe Literaturverzeichnis). Hingegen sind bisher an kleinen und verhältnismäßig hoch liegenden Gletschern anscheinend wenig Beobachtungen angestellt und Messungen vorgenommen worden. Auf solche Gletscher wollen sich die nachfolgend dargelegten Untersuchungen beziehen, und zwar hinsichtlich Fließgeschwindigkeit, Ablation und Akkumulation unter Berücksichtigung der Exposition und der Witterung während der Beobachtungszeit. Anfänglich war vorgesehen, auf vier Gletschern, von denen je einer nach den Hauptrichtungen N, E, S und W orientiert sein sollte, in Höhen von 400 und 600 m Sonden einzusetzen, um dann in zeitlichen Abständen die oberflächliche Abschmelzung zu messen und Bewegungsbeträge zu ermitteln. Ferner bestand die Absicht, nach Möglichkeit Beobachtungen über den Einfluß der Witterung auf die Vergletscherung anzustellen, denn die außerordentlich uneinheitliche Verteilung der Gletscher auf Svalbard bedeutet immer noch ein höchst interessantes und keineswegs vollständig gelöstes Problem.

Als Arbeitsgebiet war ursprünglich die Gebirgsgruppe des Ståket und Operafjellet vorgesehen, die sich auf der Ostseite des Adventfjords zwischen Målar- und De Geerdal bis zu Höhen von über 1000 m erhebt. In Anbetracht der beschränkten Zeit und der bescheidenen Transportmittel, die zur Verfügung standen, ließ sich jedoch das optimale Arbeitsprogramm nicht durchführen. Außerdem war die als Stützpunkt ausersehene, auf der topographischen Karte von Svalbard 1 : 100 000 (Blatt C 9)

eingetragene Hütte im Målardal nicht mehr vorhanden. Schließlich erwies sich, daß die Wetterverhältnisse, insbesondere die oft tiefliegende Bewölkung in den verschiedenen orientierten Tälern, eine gleichzeitige Kontrolle und Vermessung aller Sonden nur an ganz wenigen Tagen erlaubt hätten. So gelangte ein wesentlich einfacheres Programm zur Durchführung, welches bezüglich der Transportmittel geringere Anforderungen stellte und hinsichtlich der Wetterverhältnisse flexibler war. Auf der Ostseite des Adventfjords beschränkten sich die Messungen auf den am einfachsten zu erreichenden *Blekumbreen*, und anstelle der übrigen Gletscher der Ståketgruppe trat der vom Lager aus zu Fuß erreichbare *Longyearbreen*.

Meßanordnung

Zur Messung der Ablation wurden runde, weißgestrichene Holzstäbe von 1 cm Durchmesser lotrecht in Bohrlöcher auf der Gletscheroberfläche einge-



Figur 1. Kartenskizze des Untersuchungsgebietes. Schreibweise der geographischen Namen nach norwegischem Sprachgebrauch. Endung -en entspricht dem Artikel (z. B. -breen = bre-en = der Gletscher)



Abbildung 1. Gletschermulde des Blekumbre. Die obere Sonde befand sich in der Mitte der Mulde auf 600 m ü. M. Links Pt. 951, recht östlicher Gipfel des Operafjellet (Pt. 919). Blickrichtung ESE

führt. Die Ablesungen erfolgten durch die Ermittlung der Länge des aus dem Eise ragenden Teils der Sonden. Die Längendifferenzen zwischen den einzelnen Ablesungen ergaben die Werte der jeweiligen Ablation. Um die auf Distanz kaum sichtbaren Sonden bei den Kontrollgängen wieder auffinden zu können, wurden zusätzlich in je 1 m Abstand etwas dickere Bambusstangen eingebohrt und mit roten Fähnchen versehen. Diese Markierungen dienten zugleich als Kontrollstäbe für die Messungen an den Sonden.

a) *Blekumbre*

Der *Blekumbre* befindet sich im Tal zwischen dem Birkafjellet im N und dem Operafjellet im S. Mit einer Länge von ca. 4,5 km und einer mittleren Breite von 600 m zieht er sich vom unbenannten Gipfel Pt. 951 und dem nördlich davon liegenden Firnsattel, durch den er mit dem gegen E abfließenden *Tellbre* verbunden ist, gegen W und mündet über eine leichte Gefällestufe auf ca. 200 m ü. M. ins *Mälardal*. Eine markante, bis 20 m hohe Moräne,

die auf etwa 600 m Höhe einsetzt, flankiert seine rechte Seite, während auf der linken Moränenwälle fast völlig fehlen. Die Zunge trägt eine zusammenhängende Schuttbedeckung, die das Eis nur an wenigen Stellen sichtbar werden läßt.

Die Sonden konnten des schlechten Wetters wegen erst am 17. Juli eingebohrt werden. Die untere kam auf 400 m ü. M. in die Mitte des Gletschers zu stehen, ungefähr dort, wo die konkave Gletscheroberfläche in die konvexe Form übergeht. Die Meßstelle bestand aus aperem Eis, das von ca. 3 cm sulzigem Neuschnee überdeckt war. Die obere Sonde fand ihren Platz im flachen Firnkessel WSW des Sattels zum *Tellbre* auf 600 m ü. M. zwischen parallel zueinander verlaufenden Spalten (Abb. 1). Die Eisoberfläche war hier noch durchwegs mit Firnschnee (Eiskörner) überdeckt, der bei der Sonde 6 bis 7 cm hoch lag.

b) *Oberer Longyearbre*

Als *Longyearbre* bezeichnet die erwähnte Karte 1 : 100 000 den 4,5 km langen Eisstrom, der vom

Teltberg (ca. 1040 m) gegen NE ins Longyeardal hinunterreicht. Ein kleinerer Eisstrom fließt vom nördlichen Vorgipfel des *Nordensköldfjellet* aus in der gleichen Richtung ab und mündet auf die Hochfläche am Süden des *Platåberget*. Seine von Moränenschutt vollständig überdeckte Zunge dürfte auf ca. 500 m ü. M. enden. Nach der Karte sollte dieser Eisstrom auf der Ostseite des Nordenskjöldfjellet mit dem Longyearbre in Verbindung stehen. Im Sommer 1970 fanden wir ihn aber durch einen Felsgrat östlich von Pt. 1039 vollständig von diesem getrennt, weshalb wir das selbständige Gletscherchen zwecks Unterscheidung vom eigentlichen Longyearbre als *Oberen Longyearbre* bezeichneten.

Auf diesem 2,5 km langen und ca. 600 m breiten Gletscherchen wurden am 8. Juli zwei Sonden abgeteuft und eingemessen. Die untere Meßstelle befand sich auf 600 m Höhe im konkaven Teil der Zunge, wenig oberhalb der hier einsetzenden Schuttbedeckung des ausapernden Gletscherendes.

Weil an diesem Tage in der Firnmulde eine aufliegende Wolkendecke auf 800 m das Einmessen verunmöglichte, erfolgte das Einbohren der oberen Sonde auf 650 m ü. M., ungefähr am Übergang von der konvexen in die konkave Oberfläche, ca. 50 m westlich einer ausapernden kleinen Mittelmoräne.

Die Meßresultate

Infolge der bereits erwähnten Umstände konnten die beiden Sonden auf dem *Blekumbre* leider nicht vermessen und nur ein einziges Mal abgelesen werden. Auf dem *Oberen Longyearbre* jedoch waren mehrere Ablesungen möglich, wenn auch in unregelmäßigen Abständen. Die Vermessung der Horizontalbewegungen mit dem Theodoliten allerdings ließ sich nur ein einziges Mal bewerkstelligen. Folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Ablationsmessungen:

Tabelle 1 Ergebnisse der Ablationsmessungen

Datum	<i>Longyearbre</i>			<i>Blekumbre</i>				
	Untere Sonde 600 m ü. M.	Diff. cm/T	Obere Sonde 650 m ü. M.	Diff. cm/T	Untere Sonde 400 m ü. M.	Diff. cm/T	Obere Sonde 600 m ü. M.	Diff. cm/T
8. Juli	51 cm	1,5	54 cm	0,7	—	—	—	—
10. Juli	54 cm		55,5 cm		—		—	
13. Juli	Kälteeinbruch	0,79	—	0,87	49 cm	1,6	50 cm	2,0
17. Juli	—		—				—	
22. Juli	63,5 cm	2,6	66 cm	1,6	64 cm	68 cm	—	—
23. Juli	Beginnende Erwärmung		—				—	
26. Juli	—		—					
28. Juli	79,5 cm		75,5 cm		—		—	
Total	28,5 cm		21,5 cm		15 cm		18 cm	
Mittel Abl.	1,4 cm/T		1,1 cm/T		1,6 cm/T		2,0 cm/T	

Vergleicht man vorerst die aus der Differenz der ersten und letzten Ablesungen zu errechnende *mittlere tägliche Ablation* der einzelnen Meßpunkte, so schwanken die Werte zwischen 1,1 und 2,0 cm/Tag. Das Gesamtmittel aller vier Meßstellen beträgt 1,5 cm/Tag. Dieser Wert dürfte als mittlere Größe für die Ablation zwischen 400 und 600 m ü. M. gelten.

Setzt man die einzelnen Werte mit der Höhe in Beziehung, so fällt auf, daß nicht überall, wie erwartet werden sollte, die Abschmelzung mit zunehmender Höhe geringer wird. An der oberen Sonde auf dem *Blekumbre* war auf 600 m ü. M. eine um

0,4 cm/Tag größere Ablation festzustellen als an der 200 m tiefer gelegenen untern Sonde. Diese Diskrepanz scheint ihre Ursache in der Orographie der Umgebung zu haben: Die obere Meßstelle, in einer weiten, relativ offenen Gletschermulde gelegen, war der direkten Sonnenstrahlung verhältnismäßig lang ausgesetzt. Die untere Meßstelle auf dem zwar gleichmäßig gegen W abfallenden, in 400 m ü. M. aber nur noch ca. 400 m breiten und zudem im N und S von steil aufstrebenden Bergflanken gesäumten Gletscher jedoch erfuhr auch zur Zeit des höchsten Sonnenstands eine Abschirmung der Besonnung von N und S her. Die «un-

logischen» Ablationswerte scheinen demnach auf *ungleiche Strahlungsexposition* zurückzuführen zu sein. Zu ähnlicher Auffassung gelangte auch F. Wilhelm (1961) für die von ihm auf dem Koller-gletscher gemessenen unterschiedlichen Ablationsbeträge. Eine Ursache, wie sie Pillewizer (Lit. 9) für die Ablationsumkehr auf dem Hornbre gefunden hatte, kommt hier jedenfalls nicht in Frage.

Außer der Strahlungsexposition dürfte in unserem Fall aber noch ein weiterer Faktor als Grund für die anomalen Ablationswerte in Frage kommen, nämlich die *Beschaffenheit der Gletscheroberfläche*. Beim Plazieren der obern Sonde war die Umgebung der Meßstelle fast überall noch mit 6 bis 7 cm Neuschnee bedeckt, der vermutlich am 14. Juli gefallen war. Die Einpflanzung erfolgte zwischen zwei parallel zueinander verlaufenden Spalten, wo kein Neuschnee mehr lag. Die mehr oder weniger horizontale Gletscheroberfläche aber bestand aus ca. 2 cm mächtigem, grobfirrigem (körnigem) Eis, in dessen Zwischenräume sich zahlreiche dunkle Staubteilchen (Kryokonith) eingelagert fanden. Diese waren entweder mit dem Neuschnee vom Kamm des Operafjellet hergetragen worden oder lagen schon vor dem Schneefall auf der Gletscheroberfläche. In den folgenden zehn Tagen dürften die Partikel jedenfalls eine stärkere Wärmeabsorption bewirkt und so zur Anomalie der Ablation beigetragen haben.

Im Bereich der untern Sonde war beim Einbohren der Neuschnee als 3 cm tiefer, stellenweise aber auch bis 15 cm mächtiger, wasserdurchtränkter, breiiger Schneematsch vorgefunden worden. Diese Bedekung vermochte das Gletschereis vor dem Abschmelzen weitgehend zu schützen und damit die Ablation zu verzögern.

Die Verhältnisse auf dem *Blekumbre* zeigen, wie schwierig es ist, in Höhenlagen nahe der Firngrenze die Ergebnisse von Ablationsmessungen zu interpretieren, da lokale Faktoren, insbesondere Relief und Beschaffenheit der Gletscheroberfläche, entscheidend ins Gewicht fallen können.

Da, wie schon dargelegt, die Sonden auf dem *Blekumbre* nur ein einziges Mal abgelesen werden konnten, war es hier nicht möglich, den Einfluß der Witterung auf die Ablation zu beurteilen. Günstiger gestalteten sich in dieser Beziehung die Beobachtungsverhältnisse auf dem *Oberen Longyearbre*. Erstens war die Meßperiode mit zwanzig Tagen doppelt so lang wie diejenige auf dem *Blekumbre*. Dann erlaubten hier die Umstände, daß unabhängig von einem Transportmittel die Ablesungen mehrmals vorgenommen werden konnten. Daraus ergab sich die Möglichkeit, unter Berücksichtigung der im Basislager regelmäßig durchgeführten Wetterbeobachtungen und der als Kontrolle dienenden gleichzeitigen Beobachtungsreihe der meteorologischen Station *Longyearbyen* den Ein-

fluß der Witterung auf die Ablation zu studieren. Es lassen sich daher die aus Tabelle 1 ersichtlichen starken Schwankungen in den Ablationswerten mit den jeweiligen Wetterlagen in Beziehung setzen.

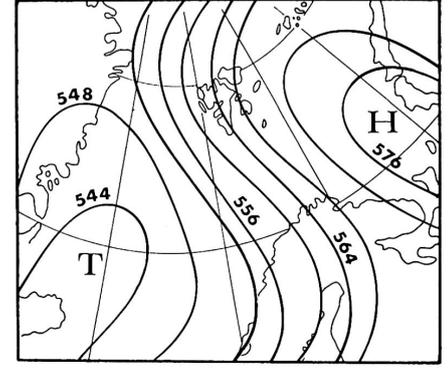
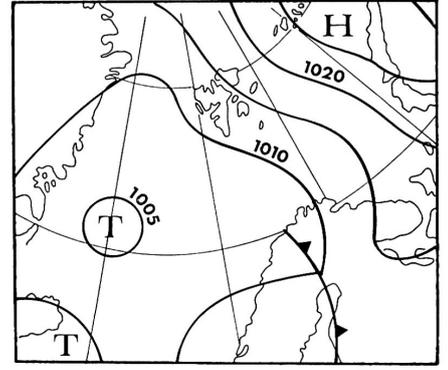
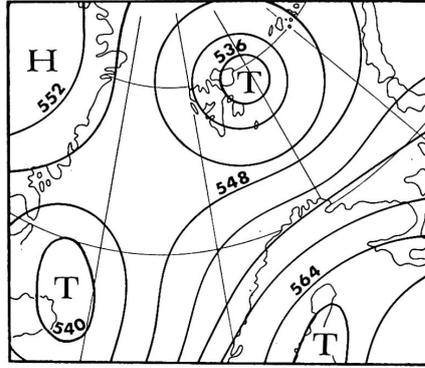
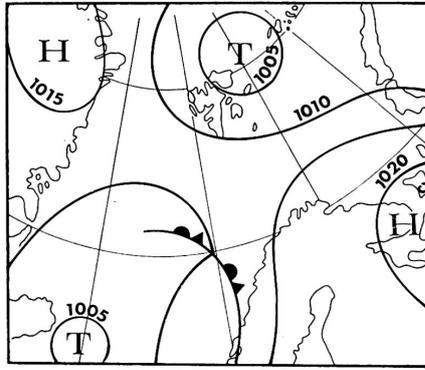
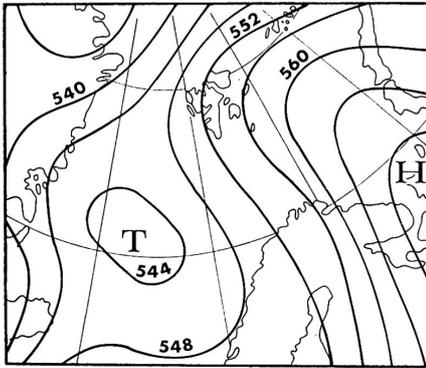
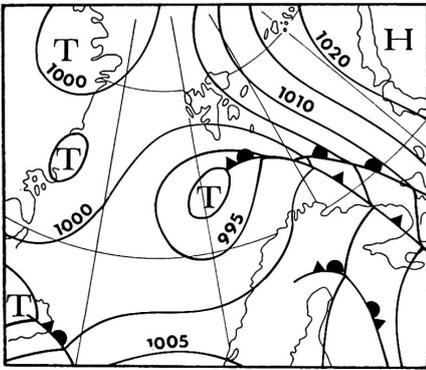
Die nachfolgende Darlegung des Wetterablaufs in der Untersuchungsperiode mag hierzu dienlich sein:

Der Wetterablauf im Juli 1970

Sowohl nach den eigenen täglichen Aufzeichnungen über das allgemeine Wettergeschehen als auch nach den Temperaturmessungen im Lager und denjenigen der ständigen Beobachtungsstation *Longyearbyen* läßt sich der Ablauf des Wetters während unseres Aufenthaltes in Spitzbergen in drei Abschnitte gliedern:

1. Von unserer Ankunft am 2. Juli bis etwa zum 12. Juli herrschte leidlich gutes Wetter mit meist stark bewölktem oder bedecktem Himmel, schwachen Winden und gelegentlich etwas Regen. Das Temperaturmittel (drei tägliche Terminablesungen um 07.00, 13.00 und 19.00 GMT) betrug für diese Periode 5,5° C im Lager und 6,2° C in *Longyearbyen*.
2. Vom 13. bis 21. Juli herrschten Winde aus W bis N vor. Obschon die Temperaturen nur unbedeutend tiefer lagen (Mittel: Lager 5,4° C; *Longyearbyen* 5,0° C), wurde das Wetter als wesentlich «unangenehm» empfunden.
3. Die dritte Dekade des Juli war ausgezeichnet durch nordöstliche bis südöstliche, zum Teil recht stürmische Winde und hohe Temperaturen, die sich besonders gegen Monatsende zu extremen Werten steigerten. Das Mittel im Lager betrug 6,5° C, dasjenige von *Longyearbyen* sogar 8,7° C, während die Extremwerte bei föhnartigen Aufhellungen, stürmischen SE- bis SSE-Winden und geringer Luftfeuchtigkeit am 30. Juli im Lager mit 11,0° C und in *Longyearbyen* mit 17,2° C registriert wurden.

Die Stationen *Longyearbyen* und *Hotellneset* liegen beide am Südufer des Isfjords, nahezu im Zentrum Spitzbergens. In klimatischer Hinsicht darf ihre Lage als durchaus ähnlich beurteilt werden. Hingegen prägen sich in bezug auf deren nähere Umgebung doch erhebliche Unterschiede aus: Die Station *Longyearbyen* befindet sich im innern Adventfjord am Ausgang des sich vom Nordenskjöldfjellet tief zwischen steilen Bergflanken zum Meer hinunterziehenden *Longyeardal*. Deshalb ist sie vor Winden weitgehend geschützt, ausgenommen vor den aus dem Adventdal wehenden E- bis SE- und den durchs *Longyeardal* streichenden SSW-Winden. Die Lagerstation dagegen stand den über den Isfjord



Figur 2

Oben:
Bodenwetterkarte vom 4. Juli 1970/00 GMT
Unten:
Absolute Topographie 500 mb vom 4. Juli
1970

Figur 3

Oben:
Bodenwetterkarte vom 18. Juli 1970/00 GMT
Unten:
Absolute Topographie 500 mb vom 18. Juli
1970

Figur 4

Oben:
Bodenwetterkarte vom 30. Juli 1970/00 GMT
Unten:
Absolute Topographie 500 mb vom 30. Juli
1970



Abbildung 2. Gipfel des Nordenskjöldfjellet, 1050m ü. M., mit den Überresten der von NW her angelaagerten Schnee- und Rauhreifmengen an der Wetterhütte. Aufnahme vom 20. Juli 1970

kommenden Winden aus W bis N und den SE-Winden aus dem Adventdal völlig offen. Gegen S aber war sie durch den bis 400 m ü. M. ansteigenden Hang des Platåbergets relativ gut abgeschirmt. Dennoch erscheint der ähnliche Verlauf des Wettergeschehens in den beiden orographisch voneinander abweichenden Stationen sehr ausgeprägt.

Unter Benützung der täglich erscheinenden Karten des Deutschen Wetterdienstes (Lit. 3), welche in ihrem Umfang ganz Svalbard einschließen, wurde nun versucht, den Zusammenhang zwischen den Großwetterlagen und dem lokalen Wettergeschehen im Gebiete des innern Isfjords während unseres Aufenthalts und besonders im Hinblick auf die drei oben unterschiedenen Wetterperioden zu ermitteln:

1. Vom 1. bis zum 12. Juli lagen barometrische Tiefdruckgebiete im Raume SW oder W von Spitzbergen. Die Höhenwinde im Bereich der 850-mb-Fläche, d. h. über der Gipfflur von Spitzbergen, wie auch auf dem 500-mb-Niveau wehten vorwiegend aus SE bis S (Fig. 2). Am 3., 5. und 6. Juli fiel leichter Regen, der mit einem flachen, über die Inselgruppe hinwegziehenden Bodentief zusammenhing. Die Höhe der Nullgradgrenze betrug nach den uns leider nur lückenhaft zur Verfügung stehenden Ergebnissen von Radiosondenaufstiegen der sowjetischen aerologischen Station Barentsburg im Grönfjord im Mittel etwa 1400 m.

2. Am 13. Juli erfolgte eine Umstellung der Wetterlage, indem sich über Ostgrönland ein Hoch aufbaute und das Tief im Raume von Nowaja Semlja auf das Wetter in Svalbard Einfluß gewann. In der

Höhe drehten die Winde auf N und dann auf NW (Fig. 3). Im Isfjord setzten starke, zeitweise böige Westwinde ein. Der 14. und 15. Juli brachten Niederschläge. Schnee fiel bis auf wenige hundert Meter ü. M., so daß die Berge bis tief hinunter angeschnitten wurden. Die Temperaturen sanken auf die während der Beobachtungsperiode festgestellten Minimalwerte ab. Während dieser Zeit lag die Nullgradgrenze auf ca. 650 m ü. M.

Im Lager und in Longyearbyen waren jedoch nur ganz unbedeutende Niederschläge zu registrieren, während in bereits 500 m Höhe 5–10 cm Neuschnee hingeworfen wurde. Auf dem Nordenskjöldgipfel waren die Neuschnee- (und Rauhrost-)mengen zu dieser Zeit aber noch weit beträchtlicher, wie aus Abb. 2 ersichtlich wird.

3. Vom 22. Juli bis zum Monatsende befanden sich die atlantischen Tiefdruckzentren wieder vorherrschend im S oder SW, während sich im E ein relatives Hochdruckgebiet aufbaute. Die Höhenwinde wehten wiederum hauptsächlich aus S bis SE (Fig. 4). Von leichten Schwankungen abgesehen, stieg die Temperatur dauernd an und erreichte gegen das Monatsende Tagesmittel von über 10° C. Die Nullgradgrenze lag in der freien Atmosphäre im Mittel um 2500 m, gegen Monatsende sogar auf 3000 m ü. M.

Die geschilderten Wechsel in der Wetterlage äußerten sich nicht nur in starken Schwankungen der Lufttemperatur, sondern auch sehr ausgeprägt in der Wasserführung von Flüssen und Bächen. Nach dem Kälteeinbruch vom 13. Juli setzte allgemein ein deutlicher Rückgang der Abflußmengen ein. Die Wasserführung des am Lager vorbeifließenden Baches reduzierte sich auf mehr als die Hälfte. Gletscherbäche, deren Querung in der ersten Woche einige Schwierigkeiten verursachte, ließen sich nach dem 17. Juli leicht überwinden. Gegen das Monatsende hin aber wiesen alle Gewässer wieder dieselbe Wasserführung auf wie zu Beginn der Beobachtungsperiode.

Die Schwankungen der Nullgradgrenze

Der Umstand, daß die beiden permanenten Wetterbeobachtungsstationen auf Spitzbergen – *Longyearbyen* und *Isfjord Radio* – in geringer Meereshöhe liegen und zudem durch lokale orographische Faktoren sehr stark beeinflußt sind, bringt es mit sich, daß die Meßwerte nur mit Einschränkungen auf die Verhältnisse in den Regionen der Gipfel und Gletscher übertragen werden können. Auf diese Unzulänglichkeit wurde schon öfters hingewiesen (Wilhelm, Pillewizer). Der Berechnung von Anhaltspunkten über die Temperatur in der Region unserer Meßstellen sollen die Daten von *Isfjord*

Radio zugrunde liegen. Diese sind infolge der offenen Lage der Station am Eingang zum Isfjord hauptsächlich bei Wetterlagen mit SW-, W- und NW-Winden bedeutend repräsentativer als diejenigen von *Longyearbyen* im Innern des Fjords. Das kommt u. a. darin zum Ausdruck, daß *Isfjord Radio* im langjährigen Mittel während der Sommermonate wesentlich tiefere Werte aufweist.

Im Juli 1970 waren die Mitteltemperaturen wie folgt:

	Longearbyen	Lager Hotellneset	Isfjord Radio
Julimittel	6,4° C	5,6° C	4,6° C

Um einen brauchbaren Wert für den thermischen Temperaturgradienten zu erhalten, wurden bei jeder sich bietenden Gelegenheit Messungen auf Gipfeln durchgeführt und mit den gleichzeitigen Temperaturablesungen im Lager verglichen.

Nachfolgend einige Werte:

	20.7.70 18.00	22.7.70 19.00	25.7.70 22.00	26.7.70 7.00
Hotellneset				
4 m	6,0°C	6,5°C	7,0°C	5,5°C
Nordenskjöldfj. 1050 m	-1,0°C	-1,5°C		
Widmannfj. 913 m			3,0°C	0,0°C
Temp.diff.	7,0	8,0	4,0	5,5
Gradient/100 m	0,7	0,8	0,4	0,6

Daraus ergibt sich für den thermischen Gradienten ein mittlerer Wert von 0,6° C/100 m.

Zum Vergleich seien die von G. Wagner (Lit. 17) im Sommer 1960 auf der Barent-Insel aus täglichen Terminbeobachtungen auf den Stationen Talavera (16 m ü. M.) und «Würzburger Hütte» (402 m ü. M.) errechneten Werte angeführt: Für den rund 400 m betragenden Höhenunterschied ergab sich eine gemittelte Temperaturdifferenz von 2,50° C im Juli und 3,04° C im August, was Gradienten von 0,5° C/100 m im Juli und 0,78° C im August entspricht.

Mit Hilfe des errechneten Gradienten ließ sich nun die Höhe der Nullgradgrenze aus den OÖz-Bodentemperaturen von Isfjord Radio bestimmen. Das Ergebnis ist in Fig. 5 graphisch festgehalten.

Einfluß der Witterung auf die Ablation

Aus Fig. 5 ist ersichtlich, welchen Einfluß die Großwetterlagen auf die Höhe der Nullgradgrenze und damit weitgehend auch auf die Beträge der Ablation ausüben. So kommt die Depression der Nullgradgrenze vom 13. bis zum 22. Juli sehr deutlich zum

Ausdruck, welche sich in stark verminderten Ablationsbeträgen äußert. Andererseits drückt sich die starke Erwärmung in der letzten Dekade des Monats Juli im Anstieg der Nullgradgrenze und den entsprechend hohen Werten der Ablation aus.

Wenn in der Periode vom 13. bis 22. Juli, wo die Nullgradgrenze höhenmäßig im Bereich der Meßstellen lag, die Werte der Ablation immer noch Beträge bis zu 1 cm/Tag aufweisen, ist dies einerseits darauf zurückzuführen, daß die Meßperiode noch in die vorangegangene wärmere Phase hineinreicht, andererseits aber mit der Strahlung in Zusammenhang zu bringen, deren Anteil bei den Messungen nicht berücksichtigt werden konnte. Nach verschiedenen Autoren (siehe Klebelsberg Lit. 6, Bd. I, p. 100–101) soll dieser sehr hoch sein. Sverdrup (Lit. 15) beziffert dessen Wert für Spitzbergen auf 24% in Meereshöhe, 35% bei 600 m ü. M. und 55,9% oberhalb der Schneegrenze bei 850 m ü. M.

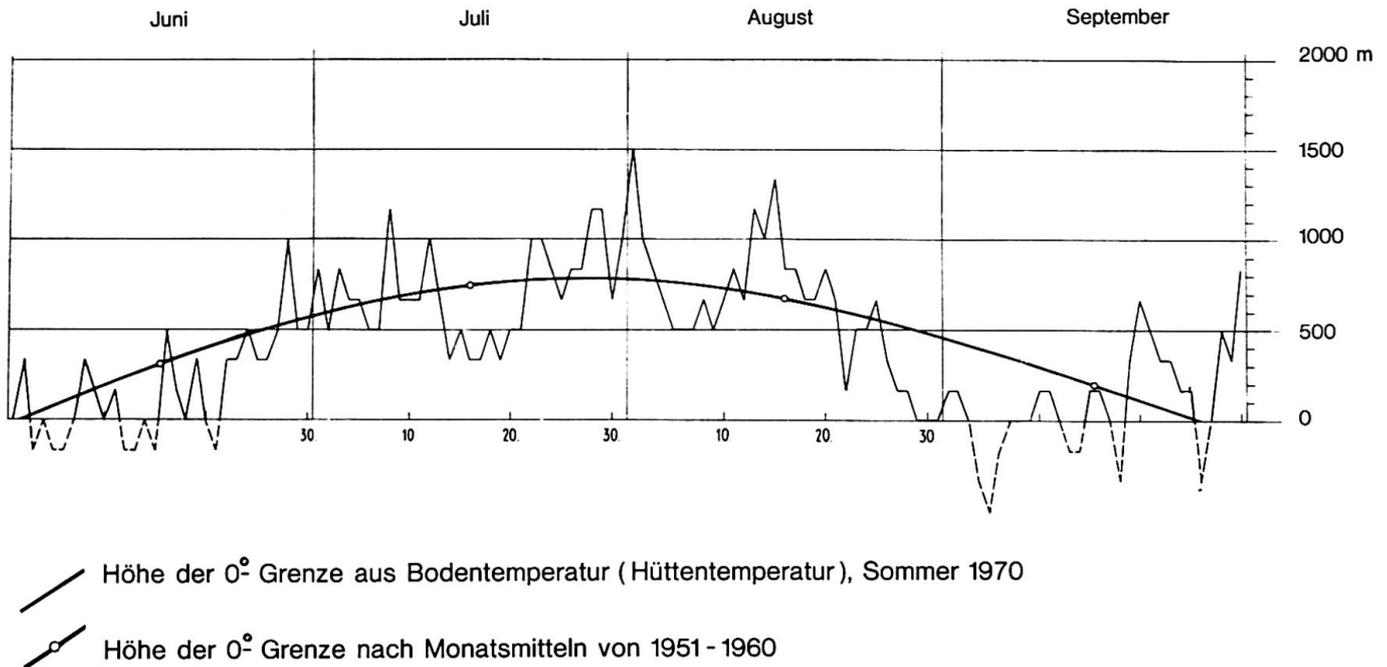
Unsere *Niederschlagsbeobachtungen* haben ergeben, daß die von den meteorologischen Stationen angegebenen Regenmengen für die höheren Regionen nicht repräsentativ sind. Nach dem Kälteeinbruch vom 13. Juli fielen am Isfjord verschiedentlich geringe Niederschläge. Bis zum 20. Juli wurden im Lager gesamthaft 4,2 mm, in *Longyearbyen* aber nur 0,3 mm registriert. Die Differenz dürfte auf die orographischen Unterschiede der beiden Stationen zurückzuführen sein. Im Laufe des 20. Juli trat wieder eine Wetterbesserung ein, was die Besteigung des *Nordenskjöldfjellets* erlaubte. Dabei konnten folgende Feststellungen gemacht werden:

Während auf dem Platåberg (400–450 m ü. M.) kein Neuschnee mehr vorhanden war, lag solcher in 600 m Höhe auf dem Gletscher noch 10–12 cm tief. An Markierstange und Sondenstab hatten sich je 2,5 cm breite Rauhreifbahnen gebildet, welche kurz vor der Beobachtung infolge des Temperaturanstiegs über 0° C abgefallen waren. Beim Aufstieg über den Gletscher nahm die Tiefe des nun leicht überfrorenen Neuschnees zu. Auf dem Gipfel des *Nordenskjöldfjellet* lag er in windabgewandten Mulden schuhtief (15–20 cm). An der windexponierten NW-Seite dagegen war der den Gipfel bildende Felsschutt sichtbar und an der Oberfläche blankgefegt. Die neben der unbewohnbaren Schutzhütte stehende, vermutlich von der Expedition Ahlmann aufgestellte englische Wetterhütte wies eine 50 cm dicke, horizontal angelagerte Schnee- und Rauhreifeissschicht auf. Aus derselben ging eindeutig hervor, daß der Schnee nicht von früheren Niederschlägen stammen konnte, sondern vom 14. bis zum 18. Juli von aus WNW kommenden Stürmen hergetrieben worden war (Abb. 2, Fig. 3).

Leider lassen sich bei solcher Ablagerungsweise keine genauen Messungen von Schnee- bzw. Niederschlagsmengen durchführen. Es darf aber an-

Höhe der 0° Grenze bei Isfjord Radio

(Ablationszeit und - Höhen)



Figur 5. Verschiebung der Nullgradgrenze im Sommer 1970

genommen werden, daß auf dem Gipfel des Nordenskjöldfjellet ein Mehrfaches des im Adventfjord gemessenen Betrages gefallen war, wenn auch der größte Teil vom Sturmwind wieder weggeblasen und im Windschatten auf den oberen Partien des Longyearbre abgelagert wurde. Dies bestätigt die Annahme von H. W. Ahlmann (Lit. 1): Seine Messungen auf demselben Gipfel vom Sommer 1932 bis zum Sommer 1933 ergaben einen fast ausschließlich aus Schnee bestehenden Jahresniederschlag von 600 mm. Der nicht vom Meßgerät erfaßte Niederschlag in Form von Rauheis aber wurde auf 1000 mm geschätzt, so daß sich der Jahresniederschlag auf 1600 mm beziffert. Für die Höhe von 640 m muß nach Ahlmann mit einer Jahressumme von 920 mm gerechnet werden. Dem gegenüber stehen die Jahresmittel der Stationen nahe dem Meeresniveau, welche über die letzten Jahrzehnte für *Isfjord Radio* 378 mm und für *Longyearbyen* nur 206 mm betragen (Steffensen E., Lit. 13).

Aus Beobachtungen und Angaben geht somit hervor, daß die tiefer gelegenen Partien Spitzbergens, insbesondere die innern Teile der Fjorde, viel niederschlagsärmer sind (Trockentäler) als die umliegenden Gebirgsregionen und daher für *Eishaltsberechnungen* außer Betracht gelassen werden

müssen. Ebenso ergibt sich daraus, daß in der Gipfelregion die fast ausschließlich als Schnee fallenden Niederschläge je nach der Anströmungsrichtung der Winde sehr uneinheitlich abgelagert werden. Die statistische Übersicht über die Höhenwinde (Tabelle 2) zeigt, daß diese während des ganzen Jahres sowohl im 850-mb- als auch im 500-mb-Niveau vorherrschend aus W und SW und etwas weniger häufig aus S und NW anströmen, während östliche Winde stark zurücktreten. Bei Witterungslagen mit SW-, W- und NW-Höhenströmungen werden die Schneemassen – zumindest bei starkem Wind – vorwiegend im Windschatten bzw. auf den Ostflanken der Berge abgelagert. Hier kommt es zur Bildung von Firnhängen und Gletschern, während die den vorherrschenden Winden zugekehrten Westflanken nicht oder nur spärlich vergletschert sind. Dies gilt für die westliche Gebirgskette von Wedel-Jarlberg-Land bis hinauf zum Kongsfjord, ganz besonders aber für das Gebiet zwischen Bellsund und Isfjord (Ytterdalsgubben, Linnéefjella). Auch bei vielen küstenferneren Ketten und Gipfeln scheint die «einseitige» Vergletscherung auf der gleichen Ursache zu beruhen, so an vielen Bergen beidseits des Van Keulen- und Van Mijenfjords und im nördlichen Nordenskjöld-Land. Für die östlichen Teile Spitzbergens (Ny Friesland, Olav-V.-Land)

mit den riesigen Gletschermassen und besonders für Nordostland scheinen die Verhältnisse anders zu liegen, da dort nach neueren Forschungsergeb-

nissen die ohnehin geringeren Niederschläge hauptsächlich von der Barentsee, also von SE her abgelagert werden (Schytt V., Lit. 11).

Tabelle 2 Anströmungsrichtung der Höhenwinde auf Spitzbergen aus einem Umkreis von ungefähr 500 km in % (berechnet nach Lit. 3 vom Verfasser)

850 mb	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Var.
1969	6,8	6,6	7,4	13,4	13,4	18,9	14,0	7,7	11,8
1970	14,5	9,6	2,6	9,6	10,0	15,4	12,4	13,8	12,1
Mittel 1969/1970	10,6	8,1	5,0	11,5	11,7	17,2	13,2	10,8	11,9

500 mb	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Var.
1969	4,6	4,4	3,8	8,0	17,1	21,7	22,5	12,1	5,8
1970	12,1	6,1	3,3	6,3	12,6	15,4	22,7	17,5	4,1
Mittel 1969/1970	8,3	5,3	3,5	7,2	14,8	18,6	22,6	14,8	4,9

Beobachtungen über das Verhalten der Gletscher

Es liegt auf der Hand, daß die hier dargelegten Ablationsmessungen keine zuverlässige Aussage über das langjährige Verhalten der untersuchten kleinen Gletscher erlauben. Dennoch soll abschließend unter Zuhilfenahme der Messungen von Ahlmann (Lit. 1) und anderer Autoren eine überschlagsmäßige Eishaushaltsberechnung angestellt werden:

Der Obere *Longyearbre* weist bei mittlerer Breite von ca. 600 m eine Länge von 2,5 km auf. Davon entfallen 1,5 km auf das Firngebiet und 1,0 km auf die Gletscherzunge. Deren unterste 200 m sind jedoch derart mit Moränenschutt bedeckt, daß sie für eine direkte Ablation außer Betracht fallen, weshalb die der Abschmelzung ausgesetzte Gletscherzunge nur mit 800 m eingesetzt werden soll. Diese Annahme erscheint um so berechtigter, als die untersten Gletscherteile anscheinend bewegungslos sind (Toteismassen). Zahlreiche parallel austreichende Scherflächen im unteren Teil der Zungenoberfläche beweisen, daß die tiefstgelegenen Eishorizonte die Gletscherbewegung nicht mehr oder nur noch teilweise mitmachen (kalter Gletscher) und von den höher liegenden Partien überschoben werden. Auf Grund obiger Abmessungen ergeben sich folgende *Flächenverhältnisse*:

Firngebiet: $600 \text{ m} \cdot 1500 \text{ m} = 900\,000 \text{ m}^2$
 Ablationsgebiet: $600 \text{ m} \cdot 800 \text{ m} = 480\,000 \text{ m}^2$

Für die jährliche Akkumulation im Firngebiet rechnen wir nach den Schätzungen von Ahlmann mit einem mittleren Betrag von 0,9 m Wasser, was einem *jährlichen Niederschlag* von

$$0,9 \text{ m} \cdot 900\,000 \text{ m}^2 = 810\,000 \text{ m}^3$$

entspricht. Die sommerliche Ablation im Firngebiet ist zahlenmäßig schwer zu erfassen. Pillewizer (Lit. 9, p. 27) setzt hierfür 0,9 cm/Tag ein. Wilhelm (Lit. 18, p. 169) rechnet mit rund 40 cm in 800 m Höhe, was bei einer Ablationszeit von 60 Tagen 0,66 cm/Tag ergäbe. Da wir den ersten Wert als zu hoch, den zweiten aber als zu niedrig erachten, setzen wir eine tägliche Ablation von 0,8 cm ein, die während der Zeitspanne von rund 60 Tagen (nach Fig. 5 von Anfang Juli bis Ende August) wirksam sein soll. Daraus ergibt sich ein *Volumen* von

$$0,008 \text{ m} \cdot 60 \cdot 900\,000 = 432\,000 \text{ m}^3 \text{ Wasser,}$$

welches nicht zur Verfirnung gelangt. Die *anrechenbare Akkumulationsmenge* beträgt somit

$$810\,000 \text{ m}^3 - 432\,000 \text{ m}^3 = 378\,000 \text{ m}^3 \text{ Wasser.}$$

Nach unseren Ermittlungen beträgt die Ablation unterhalb der Firnlinie im Mittel 1,5 cm Eis/Tag oder 1,35 cm Wasser/Tag. Bei einer Ablationszeit von 75 Tagen (Anfang Juli bis Mitte September) ergibt sich ein *Gesamtverlust* von

$$0,0135 \text{ m} \cdot 75 \cdot 480\,000 \text{ m}^2 = 486\,000 \text{ m}^3 \text{ Wasser.}$$

Somit resultiert ein *Ablationsüberschuß* von

$$486\,000 \text{ m}^3 - 378\,000 \text{ m}^3 = 108\,000 \text{ m}^3$$

oder, bezogen auf die gesamte Fläche der Gletscherzunge, ein Betrag von 0,22 m. Bei gleichbleibenden Verhältnissen würde somit die Gletscherzunge eine jährliche Einsenkung von 22 cm erfahren.

Der Obere *Longyearbre* befindet sich also im Sta-

dium des Schwindens, welches aber nicht im Zurückschmelzen des Zungenendes, sondern in der *Volumenabnahme infolge Einsinkens der Oberfläche* zum Ausdruck kommt. Daß dieser Zustand (vielleicht mit kurzfristigen Unterbrüchen) seit Jahrzehnten anhält, läßt sich aus verschiedenen Erscheinungen ableiten:

Eingangs wurde erwähnt, daß der oberste Teil des Gletscherchens heute durch einen auf der Karte noch nicht vermerkten Felsgrat vom Firngebiet des eigentlichen Longyeargletschers getrennt ist. Dies entspricht einer Volumenabnahme im Firngebiet seit der Aufnahme der topographischen Karte von Svalbard 1 : 100 000 (1938). Ferner weisen die beträchtlichen, noch frisch erscheinenden Seitenmoränen, die sich auf der östlichen (orographisch rechten) Flanke des Gletscherchens erheben, auf eine vor Jahrzehnten weit größere Mächtigkeit der Gletscherzunge hin. Endlich ergab sich, daß der Standort der barometrisch auf 650 m ü. M. ermittelten oberen Sonde um einiges südlicher lag, als er nach den auf der Karte eingetragenen Isohypsen hätte liegen sollen. Aus dieser Feststellung muß geschlossen werden, daß ein Einsinken der Eisoberfläche stattgefunden hat, dessen Betrag durchaus in der Größenordnung von 8 m vertikaler Abschmelzung liegen dürfte.

Der Schwund von kleineren Gletschern durch Einsinken der Gletscherzunge, wobei aber die eigentliche Stirn unter Moränenschutt vor der weiteren Ablation geschützt bleibt, scheint im mittleren Teil von Westspitzbergen eine allgemeine Erscheinung darzustellen. Jedenfalls war sie nicht nur an den beiden näher untersuchten Gletschern festzustellen. Wir beobachteten das gleiche Phänomen an den namenlosen Kargletscherchen, die sich vom *Hiorthfjellet* ins *Hanaskogdal* hinunterziehen, auf dem Mälärbre und an andern Gletschern. Ähnliche Feststellungen machte der Verfasser 1968 an den aus dem Lunkefjellet gegen Süden ins Kjellströmdal hinunterreichenden Gletscherzungen und am Torellgletscher im hinteren Van Mijenfjord. Selbst bei großen Gletschern treten entsprechende Erscheinungen auf. Anfang August 1968 konnte im Gebiet innerhalb der ausgedehnten rechtsseitigen Moränenlandschaft des Paulabre im innern Van Mijenfjord, 10 km von der heutigen aktiven Gletscherfront entfernt, unmittelbar an der Küste eine Stelle beobachtet werden, wo auf einer größeren Fläche eine 1 bis 2 m mächtige, bereits mit Vegetation überwachsene Moränenschuttmasse abgeglitten war und darunter das blanke Eis eines früheren Gletscherstandes zum Vorschein kam. Im Gegensatz zur ausgeglicheneren Moränenbedeckung dieser Toteismasse konnten auf der Oberfläche des aktiven Gletschers langgezogene, wohl 20 bis 30 m hohe, schuttbedeckte Rücken über der blanken Eisfläche in Erscheinung treten, wie dies in

kleinerem Maßstab auch bei vielen Alpengletschern der Fall ist.

Diese Art des Gletscherschwundes kommt dadurch zustande, daß die Schuttbedeckung Zunge und seitliche Randpartien der Ablation entzieht und der tiefgründige Permafrost ein Abschmelzen von unten her ausschließt. In letzterem Umstand vor allem liegt das unterschiedliche Verhalten von arktischen und alpinen Gletschern begründet (*kalte* und *warme* Gletscher). In der Arktis werden inaktivierte unterste Gletscherpartien dann von den aktiven Gletscherzungen überschoben, sofern sie den Zusammenhang mit dem ganzen Gletschersystem nicht schon verloren haben.

Auch in Bünsow-Land zwischen Tempel- und Billefjord ist diese Art des Gletscherrückgangs zu beobachten. Sweeting und Groom (Lit. 14) beschreiben folgenden Fall: Ein ursprünglich durch zwei Eisströme gebildeter Talgletscher besteht heute aus einer schuttbedeckten Toteismasse, die völlig isoliert im Haupttal liegt, während die einst nährenden Eisflächen infolge Ausdünnung und Abschnürung zu selbständigen kleinen Gletscherchen zusammengeschrunpft sind, welche nur noch die Talhintergründe bedecken.

Aus der vorstehenden Eishaushaltsberechnung geht aber hervor, daß eine geringe Depression der Firnlinie das Verhältnis zwischen Firn- und Ablationsgebiet sofort wieder zugunsten des ersteren verschieben muß. Damit käme ein Akkumulationsüberschuß zustande, der bei längerem Anhalten zu erneuter Zunahme der Eismächtigkeit führen würde. Zurzeit scheint jedoch in weiten Gebieten Spitzbergens die gegenläufige Tendenz zu bestehen: *Langsames Ansteigen der Firnlinie und damit genereller Schwund der meisten Gletscher.*

Zusammenfassung der wichtigsten Beobachtungen

Nach unseren Messungen und Beobachtungen, die sich über eine kurze Zeitspanne innerhalb eines Polarsommers erstreckten, ergeben sich zusammenfassend die nachgenannten Schlußfolgerungen:

I. Auf den Gletscherchen im Gebiet des innern Isfjordes beträgt die Ablation im Monat Juli auf 400–600 m Höhe im Mittel 1,5 cm/Tag. Auf die Zeit von Ende Juni bis Ende August, in der vorwiegend positive Temperaturen zu verzeichnen sind, ergibt sich demnach eine jährliche Gesamtablation von 100–110 cm.

II. Ein Unterschied in der Größe der Ablation bezüglich der Exposition ist nicht feststellbar, da der Einfluß der Sonneneinstrahlung infolge der meist starken Bewölkung und der während der Zeit des arktischen Sommers über dem Horizont kreisenden Sonne keine wesentlichen Unterschiede bewirkt.

III. Die Firnlinie liegt hier, wie sich aus direkten Beobachtungen ergab, auf 600–700 m ü. M.

IV. Die Niederschläge in der Gipfelregion (um 1000 m ü. M.) betragen ein Mehrfaches derjenigen in den Tälern und an den Ufern des Isfjordes.

V. Die Menge der festen Niederschläge ist örtlich stark abhängig, einerseits von der vorherrschenden Wetterlage (Höhe der Nullgradgrenze), andererseits vom Relief (Luv und Lee in bezug auf die Hauptwindrichtungen).

VI. Die von uns beobachteten Gletscherchen befinden sich in einem Zustand des Rückgangs, der sich weniger durch ein Zurückschmelzen der Gletscherzungen als durch Einsinken der Gletscheroberflächen bemerkbar macht.

Diese Schlußfolgerungen gelten jedoch nur für die verhältnismäßig gering vergletscherten Gebiete zwischen Isfjord und Van Mijenfjord. Bei einem Versuch, die Ursachen für die außerordentlich verschiedenartige und in ihrem Grad in den einzelnen Gebieten von Svalbard sehr unterschiedlichen Vergletscherung abzuklären, dürften sie jedoch ebenfalls zu berücksichtigen sein.

Literatur

1. Ahlmann H. W.-son: The Fourteenth of July Glacier. Scientific Results of the Norwegian-Swedish Spitsbergen Expedition 1934. Geogr. Ann., Stockholm 1936, Part V.
2. Birkeland R. J. und Föyn N. J.: Klima von Nordwesteuropa. In: Köppen W. und Geiger R.: Handbuch der Klimatologie. Berlin 1932. Bd. III.
3. Deutscher Wetterdienst: Täglicher Wetterbericht. Teil A: Karten.
4. Drygalski E. von: Spitzbergens Landformen und ihre Vereisung. Abh. d. königl. Bayrischen Akademie d. Wissenschaften. XXV. Bd., 1911.
5. Harland W. B.: The Cambridge Spitsbergen Expedition, 1949. Geographical Journal, Vol. 118, Part 3, 1952.
6. Klebelsberg R. v.: Handbuch der Gletscherkunde und Glaziologie. Bd. 1 und 2. Wien 1949.
7. Knothe H.: Spitzbergen. Eine landeskundliche Studie. Petermanns Mitteilungen. Ergänzungsheft Nr. 211. Gotha 1931.
8. Lange R.: Zur Erwärmung Grönlands und der Atlantischen Arktis. Annalen der Meteorologie. Bd. 8, 1957/58.
9. Pillewizer W.: Die kartographischen und gletscherkundlichen Ergebnisse der deutschen Spitzbergen-Expedition 1938. Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft Nr. 238. Gotha 1939.
10. Schytt V.: Scientific results of the Swedish glaciological expedition to Nordaustlandet, Spitsbergen, 1957 und 1958. Geogr. Annaler. XLVI. Stockholm 1964, Part. 3.
11. — Some comments on glacier surges in Eastern Svalbard. Canadian Journal of Earth Sciences, Ottawa, 6 (4 Pt. 2) 1969.
12. Stäblein G.: Die pleistozäne Vereisung und ihre isostatischen Auswirkungen im Bereiche des Bellsundes (West-Spitzbergen). Eiszeitalter und Gegenwart, Bd. 20. Oehringen/Württ. 1969.
13. Steffensen E.: The Climate and its Recent Variations at the Norwegian Arctic Stations. Det Norske Meteorologiske Institutt, Meteorologiske Annaler Vol. 5 No. 8, Oslo 1969.
14. Sweeting M. and Groom G.: Notes on the glacier fluctuations in Bünsow Land, Central Vestspitsbergen. Journal of Glaciology. Vol. 2, No. 19 March 1956.
15. Sverdrup H. U.: The ablation on Isachsen's Plateau and on the Fourteenth of July glacier in relation to radiation and meteorological conditions. Geogr. Ann. 17, 1935.
16. U. S. Department of commerce: World Weather Records 1951–60. Vol. 6. Washington 1966.
17. Wagner G.: Klimatologische Beobachtungen in Südostspitzbergen 1960. Ergebnisse der Stauferland-Expedition 1959/60. Heft 10. Wiesbaden 1965.
18. Wilhelm F.: Die glaziologischen Ergebnisse der Spitzbergenskundfahrt der Sektion Amberg des Deutschen Alpenvereins. Mitteilungen d. Geogr. Ges. München 1961.

Adresse des Verfassers:
Dr. sc. nat. Alfred Güller
Meteorologe, Flugwetterzentrale Zürich-Flughafen
Bahnhofstraße, 8112 Otelfingen